

Muhamediyeva Dilnoz Tulkunovna

Muhamediyeva Dilnoz Tulkunovna

SUST SHAKLLANGAN JARAYONLARNING INTELLEKTUAL TIZIMLARINI YARATISH USUL VA ALGORITMLARI

SUST SHAKLLANGAN JARAYONLARNING INTELLEKTUAL TIZIMLARINI YARATISH USUL VA ALGORITMLARI

**«TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ XO'JALIGINI
MEXANIZATSIYALASH MUHANDISLARI INSTITUTI»
MILLIY TADQIQOT UNIVERSITETI**

Muhamediyeva Dilnoz Tulkunovna

**SUST SHAKLLANGAN JARAYONLARNING
INTELLEKTUAL TIZIMLARINI YARATISH
USUL VA ALGORITMLARI**

**Toshkent – 2023
“Fan ziyosi” nashriyoti**

UO'K: 519.71

D.T.Muhamediyeva. «Sust shakllangan jarayonlarning intellektual tizimlarini yaratish usul va algoritmlari». Monografiya – T.: « Fan ziyosi» nashriyoti, 2023.348 bet.

Monografiyada sust shakllangan jarayonlarning intellektual tizimlarni yaratish, ularni noravshan axborotni qayta ishlash asosida hamda neyron to'rlar va evolyutsion algoritmlar yordamida amaliyotga tadbiiq etish kabi dolzarb nazariy-uslubiiy masalalar ko'rib chiqilgan. Qo'llanilayotgan matematik apparatning noan'anaviyiligi hisobiga kitobda noravshan kattaliklar, neyron to'rlar va evolyutsion algoritmlar asosida modellashtirish masalalarini tizimlashtirilgan izohiga katta e'tibor qaratiladi. Izoh qat'iy, ayni vaqtda tushunarli shaklda olib boriladi. Hamma asosiiy holat va amallar ko'pgina misollar bilan tasvirlanadi.

Kitob keng doiradagi o'quvchilar, shu jumladan, amaliy matematika bo'yicha mutaxassislar, injenerlar, hamda matematik iqtisodiiyot, tizimlar nazariyasi, qaror qabul qilishning umumiiy masalalariga qiziquvchi shaxslarga mo'ljallangandir.

Muhammad al-Xorazmiiy nomidagi Toshkent axborot texnologiiyalar universiteti huzuridagi axborot-kommunikatsiiya texnologiiyalari ilmiy-innovatsion markazi ilmiy kengashi tomonidan bosmaga tavsiiya etilgan

Mas'ul muharrir
Texnika fanlari doktori, professor Fazilov Sh.X.

© D.T.Muhamediyeva

© «FAN ZIYOSI» nashriyoti, 2023

MUNDARIJA

Kirish	5
1-bob. INTELLEKTUAL TIZIMLARNI QURISH MUAMMOLARI	6
1.1. Intellektual tizimlarning tasnifi	6
1.2. Interval analizning asosiy tushunchalari va asosiy masalalari	15
1.3. Noravshan mantiq	32
1.4. Neyron tarmoqlarini analitik tahlil qilish	57
1.5. Evolyutsion algoritmlar va uning ilovalari	87
2-bob. AQLLI SHAHAR KONTSEPTSIYASINI AMALGA OSHIRISH YO‘LLARI	125
2.1. “Aqlli shahar” kontsepsiyasi iqtisodiy mohiyati va mazmuni	125
2.2. O‘zbekistonda raqamli iqtisodiyotni rivojlantirishning me’yoriy-xuquqiy jihatlari	132
2.3. Innovatsion rivojlanish va “aqlli texnologiya”lar amalga oshirish masalalari	145
2.4. Toshkent shahrida “Aqlli shahar” kontsepsiyasini amalga oshirish xolati taxlili	156
2.5. Toshkent shahrida «xavfsiz shahar» integratsiyalangan tizimni yaratish masalalari	161
2.6. Toshkent shahrida raqamli texnologiyalar va aqlli uylarning “Aqlli shahar” asosida rivojlantirish holati tahlili	166
2.7. “Aqlli shahar” kontsepsiyasini amalga oshirishda raqamli texnologiyalardan foydalanishning xorij tajribasi	176

2.8. O‘zbekistonda “Aqlli shahar” kontsepsiyasini amalga oshirishda raqamli texnologiyalardan foydalanish ustuvor yo‘nalishlari	179
3 bob. AMALIY INTELLEKTUAL TIZIMLARNI QURISH	200
3.1. Kompyuterda interval hisoblashlarni tashkil qilish	200
3.2. Birlamchi ishlov berishning noravshan algoritmlarini takomillashtirish	239
3.3. Talabalarning o‘rtacha reyting ballarini asosida klaster tahlilni o‘tkazish	282
3.4. Sust shakllangan jarayonlarni tashxislashda immun algoritmlarini qo‘llash	301
3.5. Sust shakllangan jarayonlarni tashxislashda zarralar galasi algoritmlarini qo‘llash	323
XULOSA	340
Foydalanilgan adabiyotlar	341

KIRISH

Sust shakllangan jarayonlarning intellektual tizimlarini yaratish masalasini yechish tadqiqotchidan ushbu masalaning yechimini olish uchun hisoblashlar eng kam sarf-harajatlar bilan amalga oshiradigan yoki mazkur yechim haqida yetarlicha axborot olish imkonini beradigan matematik usulni tanlab olishni talab qiladi. U yoki bu usulni tanlash ma'lum darajada masalasining qo'yilishi va uning matematik modeliga bog'liq.

Hozirgi vaqtda sust shakllangan jarayonlarni modellashtirish va muqobillashtirishda noaniqliklarni hisobga olish zaruriyati hech kimda shubha tug'dirmay qo'ydi. Ayni vaqtda noaniqlikni qo'llashga doir klassik nazariy-ehtimollik yondashuvning cheklanishlarini anglash oxirgi uchta o'n yillik ichida ko'p sonli ustvor nazariyalar va usullarning paydo bo'lishiga olib keldi. Ulardan noravshan to'plamlar nazariyasini, uning asosida qurilgan imkoniyatlar nazariyasi va noravshan mantiqni, amaliy interval tahlil, neyron to'rlar, genetik algoritmni ajratib ko'rsatish mumkin. Ushbu asosiy nazariyalarning ko'pgina zamonaviy ko'rinishlari, shu jumladan relyativistik va kvant nazariyalari, noravshan to'plamlarning intuitiv nazariyasi va h.k.lar mavjud. Jumladan yangi yondashuvlar klassik nazariya-ehtimolli uslubiyatni rad etmasdan, aksincha usullarni to'g'ri birlashtirish yo'li bilan amaliy muammolarni samarali yechishga imkoniyat yaratgan holda uni to'ldiradilar va kengaytiradilar.

Evolyutsion algoritmlar muqobillashtirish masalalarni yechishning stoxastik usuli bo'lib, ular haqidagi dastlabki ma'lumotlar Xollandning ilmiy ishlarida o'z aksini topgan. Keyinchalik Goldberg ilmiy izlanishlari natijasida ommalashdi.

Ushbu algoritmlarda evolyutsiyaning ikki asosiy mexanizmi, ya'ni avlod qoldirish va raqobat yoki eng yaxshilarni yashab ketishi mexanizmi qo'llaniladi. Bunda individlar vazifasini maqsad funktsiya aniqlanish sohasi elementlari bajaradi va ularning atrof-muhitga moslashishi maqsad funktsiya qiymati bilan baholanadi.

Evolyutsion yondoshuv va evolyutsion algoritmlar amaliy va nazariy jihatdan turli sohalarda jumladan, konstruktsiyalash, boshqaruv, muqobillashtirish masalalarini yechish, jadvallar tuzish, marshrutlashtirish va boshqa sohalarda keng qo'llanilishi kutilmoqda.

1-bob. INTELLEKTUAL TIZIMLARNI QURISH MUAMMOLARI

1.1. Intellektual tizimlarning tasnifi

Sun'iy intellekt (SI) – bu dasturiy muhitning shunday tizimiki, unda inson tafakkuri kompyuter jarayoniga imitatsiyalangan. Sun'iy intellekt atamasi 1956-yilda Stanford universiteti(AQSh) tomonidan taklif qilingan. Intelekt – bu maqsadga erishishda zarur bo'ladigan faktlar va metodlar to'plamidan iborat. Maqsadga erishish – bu faktlarga zaruriy qoidalarni qo'llashdan iborat [1].

Inson aqliga xos va o'xshash narsani yaratish va undan murakkab ishlarda foydalanish fikri qadimdan kishilarni o'ylantirib kelgan. 14 asrda yashagan olim R.Lulliy tushunchalar kvalifikatsiyasiga asoslanib mashina yaratishga harakat qilgan [2].

18 asrda yashagan G.Leybnits va R.Dekart bir-biridan mustaqil holda hamma fanlar bo'yicha universal til taklif etishgan. Ushbu taklif sun'iy intellekt rivojiga asos bo'ldi.

Sun'iy intellektning fan yo'nalishi sifatida rivojlanishi EHM paydo bo'lganidan so'ng mumkin bo'ldi. Bu narsa 20 asrning 40-yillariga to'g'ri keladi. Shu paytda N.Viner yangi fan kibernetikaga asos soldi.

Sun'iy intellekt termini (artifikal intelligence) 1956 yilda Amerikada taklif etildi. Sun'iy intellekt tan olingandan ko'p o'tmasdan u ikki asosiy yo'nalishga ajraldi: "Neyrokibernetika" va "qora yashik" kibernetikasi. Faqat hozirgi paytga kelib bu ikki yo'nalish yana qo'shilish tendentsiyasiga yo'l tutmoqda [3].

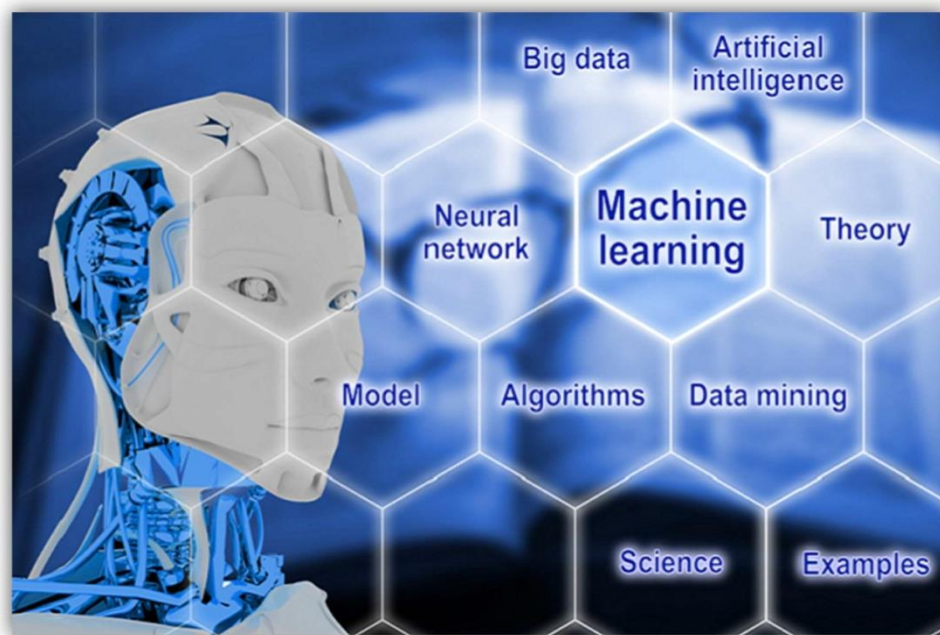
"Neyrokibernetika" yo'nalishini quyidagicha izohlash mumkin: O'ylashi va fikr qilishi mumkin bo'lgan birdan-bir ob'ekt bu-inson miyasidir. Shuning uchun boshqa yaratiladigan fikrlovchi qurilma uning tuzilishini aks ettirishi kerak [4].

Shunday qilib neyrokibernetika inson miyasiga o'xshash strukturalarni modellashtirishga qaratilgan. Fiziologlar tomonidan inson miyasida o'zaro bog'langan va o'zaro amal qiluvchi 10^{21} tadan ko'p nerv to'qimalari - neyronlar borligi oldindan aniqlangan. Shuning uchun neyrokibernetika maqsadi neyronlarga o'xshash elementlarni yaratish va ulardan amal qiluvchi birikmalar tuzish edi. Bu birikmalarni neyron tarmoqlari (neyroset) deb qabul qilingan [5].

Birinchi tarmoqlar Amerika olimlari G.Rozenblat va Mak-Kamok tomonidan 50-yillar oxirida yaratilgan. Bunda inson ko'zini va uni miya

bilan aloqasini modellashga harakat qilingan edi. Ular yaratgan qurilma perseptron deb atalgan.

Ushbu qurilma bir ko'rinishda yozilgan xarflarni ajrata olgan, lekin uning ikkinchi ko'rinishini ajrata olmagan, masalan A, kabi ko'rinish bu qurilma uchun ikkita belgi hisoblangan. 70-80 yillarga kelib bu yo'nalishdagi ishlar kamaya boshladi. Birinchi urinishlar natijasi muvaffaqiyatli emas edi. Buni mualliflar o'sha paytda bo'lgan EHMlar ishlash tezligi past va xotirasi kichikligi bilan izohlaganlar.



80-yillarga kelib Yaponiyada bilimlarga asoslangan EHM 5-avlod bazasida 6-avlod EHM yaratildi, bu bilan tezlik va xotira kamchiliklari amalda olib tashlandi. Bu kompyuterlar neyrokompyuterlar deb ataldi. Parallel ishlovchi kompyuterlar - transpyuterlar paydo bo'ldi. Neyrokompyuterlar uchun maqsad belgilarni ajratish bo'lib qoldi.

Hozirgi davrga kelib neyron tarmoqlarini ajratishning uch yo'nalishi mavjud [6-8]:

barcha algoritmlarni bajara oluvchi mikrosxemalar birligidan iborat maxsus kompyuterlar yaratish;

tez ishlovchi kompyuterlarga asoslangan maxsus dasturlar yaratish;

yuqoridagi ikki yo'nalishni birlashtirish, ya'ni hisoblash bir qismini maxsus sxemalar, bir qismini dasturlar bajaradi.

"Qora yashik" kibernetikasi yo'nalishi neyrokibernetikaga qarama-qarshidir.

"O'ylovchi" qurilma qanday qurilgani ahamiyatga ega emas. Asosiysi, berilgan ko'rsatmaga u inson miyasidek javob qaytarsa yetarli.

1963-70 yillarga kelib sun'iy intellekt masalalariga matematik mantiq usullarini qo'llay boshlashdi. Shu asnoda 1973 yilda Prolog algoritmik tili yaratildi. 70-yillar o'rtalarida AQShda mutaxassis - ekspertlar bilimni modellashtirish g'oyasi tug'ilishi sun'iy intellekt amaliy qo'llanilishida katta turtki bo'ldi. AQSh da birinchi bilimlarga asoslangan tizimlar, ya'ni ekspert tizimlar paydo bo'ldi. MUCIN va DENDRAL nomli meditsina va ximiyada qo'llaniluvchi ekspert tizimlar qo'llanila boshlandi.

80-yillar o'rtalaridan boshlab sun'iy intellekt tadbirkorlik mashg'ulotiga aylana bordi. O'z-o'zini o'qitish tizimlariga bo'lgan qiziqish kuchaya bordi.

Intellektual axborot tizimlarini to'g'risida ma'lumot

Sun'iy intellektni an'anaviy algoritmdan nimasi bilan ajratib turishini bilasizmi? Berilgan dastlabki ma'lumotlar to'plami uchun algoritm har qanday urinishlar uchun bir xil natijani beradi. Chunki o'quv jarayonida u o'tgan natija hozirgi natijadagidek yaxshi emasligini "hal qilishi" mumkin. Ya'ni, algoritm natijasini tekshirishimiz va asoslashimiz mumkin, ammo sun'iy intellekt natijasi qila olmaydi. Bu sun'iy intellektning asosiy cheklovi va asosiy imkoniyatdir.

Nima uchun cheklash kerak? Chunki sun'iy intellektning natijasini oldindan aytib bo'lmaydi. Muayyan vaziyatda u o'zini qanday tutishini oldindan ayta olmaymiz. Taxminan, xuddi odam kabi: kim qaysi daqiqada va nima asosida u yoki bu qarorni qabul qilishini biladi. Algoritmning eng mashxur xatti-harakati sifatida juda murakkab avtomatlashtirish yordamida amalga oshirilgan bo'lib, avtomatizatsiya ob-havo sharoitiga qarab qo'nish trayektoriyasini optimallashtirish to'g'risida qaror qabul qilganida, Buran kosmik kemasining avtomatik ravishda qo'nishini esga olish mumkin.

Nima uchun imkoniyat? Chunki sun'iy intellektning asosi qat'iy algoritmdan uzoqlashish, "insonparvarlik" ga qadam qo'yish, ya'ni ma'lum darajada gumanoidga aylanishdir. Bu shuni anglatadiki, qarorlar nafaqat algoritmgga, balki tajribaga asoslangan holda ham qabul qilinishi kerak. Sida klassik ma'noda "agar - keyin" ustunlik qilmaydi. Shunga ko'ra, u barcha keyingi oqibatlarga olib keladigan algoritmdan yuqori bo'lishi mumkin (ijobiy ham, unchalik ham emas).

Neyron tarmoqlari va sun'iy intellekt: xuddi shu narsa?

Juda keng tarqalgan bayonot shundaki, neyron tarmog'i aslida sun'iy aqldir. Bu butunlay to'g'ri emas: neyron tarmoq SIni amalga oshirishning asosiy algoritmlaridan biri bo'lishi mumkin. Shuningdek,

media-makonda ma'lum bo'lgan mavzular orasida SI sifatida mashinani o'rganish qo'llaniladi (ma'lumotlar tahlili asosida model tuzilganda). Umuman olganda, bu sun'iy intellekt deb ataladigan neyron tarmoqlari va mashinasozlik kombinatsiyasi asosida yaratilgan murakkab dasturiy ta'minot tizimlari.

Bu yerda cheklovlar haqida yana bir narsani ta'kidlash kerak: neyron tarmoqlarda qurilgan sun'iy intellekt va mashinani o'rganish, o'qitish uchun ishlatiladigan ma'lumotlar sifatiga juda sezgir. Bir misol bilan tushuntirib beraylik: agar biz kameraga va uning ustiga o'rnatilgan LED belgisiga biron bir odam yaqinlashganda, unda "Xush kelibsiz, Vali" yozuvi yonishini xohlaymiz. Buning uchun biz sun'iy intellekt Valini "ajratib" olishi va belgini yoqish buyrug'ini berishi uchun biz Valining 500 ta fotosuratini SIga yuklaymiz. Va bu yerda bir nozik narsa bor: agar Valining fotosuratlari bir burchakdan olingan bo'lsa, unda SI katta ehtimollik bilan Valini faqat va faqat shu burchakdan ajrata oladi. Va agar u boshqa burchakdan chiqsa, belgi yonmaydi. Agar biz Valining har xil tomondan olingan fotosuratlarini tanlasak, u holda SI, ehtimol Valini har qanday nuqtadan taniydi.

Bilimlarni ifodalashning mantiqiy modellari

Yuqorida qayd etilganidek, sun'iy intellektning barcha an'anaviy tizimlari, shu jumladan inson faoliyatining turli xil jabhalarida keng qo'llaniluvchi ekspert tizimlari neyron to'rlar asosida, ko'pincha kompyuterlar asosida ishlab chiqarilgan. Hisoblashlarning bunday asosi esa, tabiiyki samaradorlikni va umuman olganda har xil maqsadlarga yo'naltirilgan sun'iy intellekt tizimlarini yaratish imkoniyatini chegaralab qo'ygan. Bugungi kunda belgili qayta ishlash va an'anaviy neyron to'rlarga emas, neyron tarmoqlar, noravshan qayta ishlash (fuzzy computing), evolyutsion hisoblashlar, belief-tarmoqlarga asoslangan sun'iy intellektning amaliy tizimlari soni sezilarli darajda ortib bormoqda. Shuningdek, ilmiy konferensiyalarning ishlari, sun'iy intellektga oid jurnallarda noravshan mantiq (fuzzy logic), genetik algoritmlar, sun'iy hayot (artificial life), biologik hisoblashlar (biological computing), neyron hisoblashlar (neural computing) va boshqalarga oid maqolalar soni sezilarli darajada ortib bormoqda.

Qayd etilganlarning guvoh berishicha, sun'iy intellekt tizimlarini ishlab chiqish va o'rganishning og'irlik markazi Soft Computing tomonga siljib bormoqda.

Hozirgi vaqtda Soft Computingning asosiy qismlari quyidagilardir: Noravshan Mantiq-FL (fuzzy logic), Neyron Tarmoqlar Nazariyasi-NN

(neural networks), Ehtimolli Mulohazalar – PR (probabilistic reasoning), ular o'z ichiga Genetik Algoritmalar (genetic algorithms), Xaos Nazariyasi-CT (chaos theory) ni oladi. Soft Computing tarkibidagi FL asosan noaniqlik va taxminiy mulohazalar, NN-talimot bilan va PR-noaniqlik bilan ish ko'radi. Umuman olganda FL, NN va PR lar ustuvor yondashuvlardan ko'ra, bir-birini to'ldiruvchi yondashuvlardir [5,6].

SC tarkibiy qismlarining taqqoslama tavsiflari

Soft Computing qismlari mustaqil ravishda, masalan noravshan hisoblashlar (fuzzy computing), neyron hisoblashlar (neural computing), evolyutsion hisoblashlar (evolutionary computing) da, hamda ko'pincha kombinatsiyali ko'rinishda qo'llanilishi mumkin. Mustaqil qo'llanilishga asoslanib, Soft Computingni tashkil etuvchilar, noravshan texnologiya, neyron texnologiya, xaos texnologiya va boshqalar ayni vaqtda sanoat sohasida ham, undan tashqarida ham keng qo'llanilib kelinmoqda.

Soft Computingning old tarkibiy qismi noravshan mantiq (fuzzy logic) dir. Soft Computingda noravshan mantiq (FL) sonli vazifani o'taydi. FL so'z bilan ifodalanishni va hisoblashlarning interpretatsiyalanishini ta'minlaydi [5]. Noravshan mantiq ko'pgina sanoat sohaslarida muvaffaqiyatli qo'llanilgan. Robot texnikasi, mayatnik tizimi (inverted pendulum system) ni muvozanatlash, qaror qabul qilish va tashxis qo'yishning murakkab tizimlarida, ma'lumotlarni siqishda, TV va boshqa sohalarda, lingvistik shaklda yoki noravshan sonli ma'lumotlar ko'rinishida berilgan bilimlarni boshqarishga qaratilgan tizimli protsessorni loyihalashtirishda biz tizimning noravshan modeliga muhtojlik sezamiz. Noravshan to'plamlarni mukammal approksimatsiya tariqasida ishlatish mumkin, bu esa noma'lum obyektlarni modellashtirishda, hamda operator berilgan vaziyatda qanday turdagi amaldan foydalanishi to'g'risida aniq tasavvurga ega bo'lmaganida o'ta muhimdir, uning boshqaruv faoliyatini sonli ma'lumotlardan foydalangan holda modellashtirish foydalidir.

Lekin sof ko'rinishdagi noravshan mantiq intellektual tizimlarni yaratishda har doim ham o'rinli bo'lavermaydi. Xususan, loyihalashtiruvchi tizim to'g'risidagi yetarli aprior axborot(bilim) ga ega bo'lmasa, noravshan qoidalarining o'rinli bazasini qurishning iloji bo'lmaydi. Tizim murakkablashib borishi bilan tizimning xatti-harakatini to'g'ri ta'riflash uchun qoidalar va tegishlilik funksiyalarning to'g'ri to'plamini aniqlash bilan bog'liq qiyinchilik paydo bo'ladi. Noravshan tizimlar ham tajriba natijalari bo'yicha qo'shimcha bilimlarni ajratib olish va tizimning funksionallashtirish sifatini aniqlash uchun

noravshan qoidalarni to'g'irlashga taaluqli kamchiliklardan aziyat chekadilar.

Soft Computing ning boshqa muhim qismi neyron tarmoqlardir. Sun'iy neyron tarmoqlar parallel hisoblash modellari bo'lib, nochiziqli statistik va dinamik tizimlarning mayda sodda parallel ishlab chiqarilishni ifodalaydilar. Ushbu tarmoqlarning eng muhim omili ularning "misolga qarab o'rganish" ning o'rnini an'anaviy "dasturlash" egallovchi moslanadigan tabiatidir. Boshqa kalit omil biriktirilgan parallelizmdir, u parallel sonli kompyuterlar asosida tez yechadigan sxemalarni ishlab chiqarishga imkon beradi. Sun'iy neyron tarmoqlar aniqlashtirish, egri chiziq va funksiyalarni approksimatsiyalash, ma'lumotlarni siqish, bog'liqli xotira, nochiziqli no'malum tizimlarni modellashtirish va boshqarish kabi masalarni yechishning zaruriy hisoblash modellaridir [6,7].

Neyron tarmoqlar hisoblash samaradorligi va ularning samarali apparatli amalga oshirilish jihatidan ajralib turadi. Ular umumlashtirish xossasi-yangi obrazlarni to'g'ri sinflashtirish qobiliyatiga egadirlar. Neyron tarmoqlarning kamchiligi yomon interpretatsiyalanishidir. Neyron tarmoqlarning kamchiligini qayd etayotganda ularni "qora quti" bilan solishtiradilar [5].

Evolutsion hisoblashlar-EC (evolutionary computing)-muqobillashtirishga revolyutsion yondashuv. EC ning tarkibiy qismi-genetik algoritmlar natural seleksiya va natural gentika mexanizmlariga asoslangan global muqobillashtirish algoritmlaridir [8]. Genetik algoritmlarning ulkan ustuvorliklaridan biri ularni parallel ko'p o'lchovli qidiruv asosida samarali ishlab chiqarish imkoniyatidir.

Genetik algoritumni bajarish mexanikasi juda sodda. Amallarning oddiyliigi va quvvatli hisoblash samarasi genetik algoritmlarning ikkita asosiy ustuvorligidir. Genetik algoritmlarning kamchiligi, birinchidan yaqinlashish muammosi va umuman nazariy tuzilmaning yo'qligidir. Haqiqiy (natural) o'zgaruvchilarni bitli qatorlarga kodlash zarurati ham genetik algoritmlarning kamchiligidir. 1.1-jadvalda Soft Computing qismlarining taqqoslama tavsiflari keltirilgan [9-10].

Soft Computing qismlarini qo'llash sohasiga taaluqli o'ziga xos muammolar mavjud. Masalan, avtomobilni joylashtirish masalasi neyron tarmoqlar, GA va boshqalarni qo'llamasdan, faqatgina noravshan mantiqdan foydalanish asosida yechilishi mumkin. Perexvat masalasini FL, GA, NN da emas, CN da yechish maqsadga muvofiq.

Soft Computing qismlarining taqqoslama tavsiflari			
	Noravshan to'plamlar	Sun'iy neyron tarmoqlar	Evolyutsion hisoblashlar
Kamchilik jihatlari	Bilimlarni ajratib olish, O'rganish	Interpretatsiyalanuvchilik "Qora quti" ning tabiati	Kodlash Hisoblash tezligi
Ustuvor jihatlari	Interpretatsiyalanuvchilik Shaffoflik Chinlik Navbatmanavbatlilik Modellashtirish Mantiqiy chiqarish Noaniqlikka tolerantlik	O'rganuvchanlik Moslashuvchanlik Xatolarga tolerantlilik Egri chiziqlarning approksimatsiyasi Umumlashtirish qobiliyati Approksimatsiyalash qobiliyati	Hisoblash samaradorligi Global muqobillash tirish

SC tarkibiy qismlarining intellektual kombinatsiyasi

Gibrid tizimlar

Yuqorida qayd etilganidek, Soft Computingning qismlari-noravshan mantiq, neyronli qayta ishlash va ehtimolli mulohazalar o'zaro bellashmasdan, bir-birini to'ldirib turadi. FL, NN, PR ni GA bilan avtonom tarzda emas, kombinatsiyada qo'llash maqsadga muvofiq ekanligi aniq bo'lmoqda. L.Zadening qayd etishicha "bugungi kunda Gibrid Intellektual Tizimlar atamasi FL, NN va PR lar kombinatsiyada qo'llanilgan tizimlarga nisbatan odatiy bo'lib bormoqda. Bizning nuqtai nazarimizga ko'ra Gibrid Intellektual Tizimlar kelajakning tezkor suratlar bilan rivojlanib boruvchi tizimlaridir" [10].

Soft Computing qismlarining quyidagi kombinatsiyalari ma'lum:

neuro computing + fuzzy logic (neuro fuzzy - NF);

fuzzy logic + genetic algorithms (FG);

fuzzy logic + chaos theory (FCh);

neural networks + genetic algorithms (NG);

neural networks + chaos theory (NCh);

neural networks + fuzzy logic + genetic algorithms (NFG);

fuzzy logic + neural networks + genetic algorithms (FNG).

Soft Computing tarkibiy qismlarining boshqa kombinatsiyalari ham kuzatilishi mumkin.

Neyron tarmoqlarning yomon interpretatsiyalanish qobiliyati bir tomondan, va boshqa tomondan noravshan tizimlarda bilim olishga oid

qiyinchiliklar FL&NC ning gibridlashuviga sabab bo'ladi. Neyro-noravshan tizimlar shu muammoni noravshan tizimlarning interpretatsiyalashuvi xossasiga ega bo'lgan konneksionistik qobiliyatlarini birlashtirish yordamida yechishga harakat qiluvchi gibrid tizimlardir.

Yuqorida qayd etilganidek, dinamik ishchi muhit holida noravshan tizimlarda bilimlar bazasini avtomatik ravishda to'g'irlash zarur bo'ladi.

Boshqa tomondan, sun'iy neyron tarmoqlar misollarga qarab o'rganish asosida zaruriy darajadagi aniqlikda boshqarish va muqobillashtirish jarayonlari uchun bilimlar ajratib olish bilan bog'liq muammolarda muvaffaqiyatli qo'llanilib kelinmoqda. Noravshan qoidalarda tegishlilik funksiyalari egri chiziqlarining shaklini muqobillashtirish uchun neyron ta'limot tamoyili hamda zaruriy aniqlikka erishish uchun yetarli bo'lgan qoidalar sonining minimallashtirish- neyro-noravshan yondashuvning mazmunidir.

Keng qamrovli funksiyalarning muqobilini global qidirish imkonini beruvchi qarorlarni va genetik algoritmlarning inson tomonidan qabul qilinishida ishlatiluvchi empirik, intiutiv qoidalarga asoslangan(rule-based) noravshan tizimlar kombinatsiyasi samarali, ishchan, moslashuvchan boshqaruv tizimini yaratishga imkon beradi.

Noravshan tizimlar bilimlar bazasining noravshan qoidalarida tegishlilik funksiyalari LR-turdagi noravshan sonlar, masalan trapetsiya, uchburchak ko'rinishida tasvirlanadi. Noravshan bilimlar bazasini to'g'irlash, ya'ni tegishlilik funksiyalari markazlarining qiymatlari va ko'rinishlarini aniqlash uchun gradientli usullardan foydalanish o'zini oqlamaydi. Bunda samarali vosita GA dir. FL va GA ning kombinatsiyasi noravshan nazoratgichning noravshan bilimlar bazasini MB dagi qoidalarning muqobil sonini va tegishlilik funksiyalarining ko'rinishini aniqlash orqali muqobillashtirish imkonini beradi. Bunda GA loyihalannuvchi noravshan tizimning munosabatlar matrisasi va tegishlilik funksiyalarini qurish uchun ishlatiladi.

O'z navbatida, FL va GA birgalikdagi ko'rinishida noravshan to'plamlar nazariyasi genetik operatorlar va umuman olganda genetik algoritmlarning xatti-harakatini yaxshilash uchun qo'llanilishi mumkin, ya'ni GA ning samaradorligini oshirish maqsadida noravshan vositalar (tools) ni yaratish mumkin.

Genetik algoritmnning neyron tarmoq bilan birikmasi ham samarali natija beradi. Ma'lumki, sun'iy neyron tizimlarni ishlab chiqishning asosiy masalalaridan biri neyro-tarmoqning parametrlarini sozlash uchun

mos usulni tanlashdir. Ushbu usullardan eng mashhuri “backpropagation” algoritmi. Afsuski backpropagation bilan bog’liq ayrim muammolar mavjud. Birinchidan, ta’limot samaradorligi neyron tarmoq og’irliklarining boshlang’ich majmuasiga bog’liq bo’lib, u tasodifiy tarzda aniqlanadi. Ikkinchidan, backpropagation boshqa gradient usul singari lokal minimumlarni bartaraf etishga imkon bermaydi. Uchinchidan, agar o’quv tezligi juda ham kichkina bo’lsa, yechimni topish uchun ko’p vaqt talab etiladi. To’rtinchidan, backpropagation aktivatsiya funksiyalari differensiallanuvchan bo’linishini talab etadi. Bu shart neyron tarmoqlarning ko’pgina turlariga nisbatan bajarilmaydi. Ko’pgina masalalarni muqobillashtirish uchun “kuchli” usullar yaxshi yechim topa olmaganida qo’llaniladigan genetik algoritmlar yuqorida qayd etilgan kamchiliklardan holi ravishda neyron tarmoqlarni o’rganish uchun ishlatiladi. Biologik hisoblashlar (biological computation) ga yaqinroq bo’lgan noravshan xaotik neyron tarmoqlardan foydalanish orqali to’g’riroq natijalarni olish mumkin.

Neyron tarmoqlarni o’rganish uchun, ya’ni noravshan signalli va/yoki, noravshan og’irlikli neyron tarmoqlar ko’zdan kechirilganda, ularni o’rganishda har xil usullardan foydalaniladi. Xususan, standart δ -qoidani to’g’ridan-to’g’ri fazzifikatsiyalash, noravshan og’irliklarni qidirish uchun backpropagation algoritmdan foydalaniladi. Shuningdek uchburchak, trapetsiyalar ko’rinishida berilgan neyron tarmoqlarning noravshan og’irliklarini qidirish uchun α -cut protseduradan foydalaniladi. Bunda qidirish masalasi backpropagation va oraliq arifmetikani qo’llashga asoslanadi.

Birinchi holda algoritmning ishi og’irliklarning to’g’ri qiymatiga yaqinlashish ma’nosida muvaffaqiyatsiz bo’lib chiqishi mumkin. Har bir holatda xato gradientini (error measure) hisoblash zarur, lekin hosilalarni olish juda qiyin (ayniqsa kiruvchi, chiquvchi signallar va og’irliklar uchun umumiy noravshan tarmoqlar holida). FL, NC va GA turmushga asoslangan noravshan neyron tarmoqlarni o’rganish algoritmlari yuqorida qayd etilgan kamchiliklardan holi bo’lib, juda samarali natijalar beradi [11-14].

Shubxa yo’qki, Soft Computingning yuqorida qayd etilgan intellektual kombinatsiyalari rivojlanib boradi va yangilari ham paydo bo’lib boraveradi. Ular hisoblash intellekti(Computational Intelligence), biologik hisoblashlar(Biological Computing) va sun’iy hayotning (Imitating Life) fundamenti bo’lib qoladi [15-20].

1.2. Interval analizning asosiy tushunchalari va asosiy masalalari

O'tgan asrning 60 yillaridan boshlab elektron hisoblash mashinalarining matematik, texnik va texnologik hisoblash jarayonlariga keng ko'lamda qo'llanilishi foydalanuvchilar (dasturchilar) oldiga turli xarakterdagi muammolarni qo'ya boshladi. Ya'ni, EHM da hosil qilingan sonli taqribiy yechimlarning izlanayotgan haqiqiy yechimdan chetlanishini baholash muammosi turli foydalanuvchilar tomonidan turlicha hal qilina boshlandi [21].

Taqribiy yechimning izlanayotgan yechimdan chetlanishini baholash maqsadida quyidagi:

- sonli yechimlarni tajriba natijalari bilan taqqoslash;
- aniq yechimi mavjud bo'lgan turli model-test masalalarni yechish;
- masalalardagi parametrlarning (masalan, integrallash qadami, yechim aniqligi va h. k.) turli qiymatlarida hisoblashlarni tashkil etish usullari

qo'llanila boshlangan bo'lsada, ammo bu usullar yagona bir matematik aniqlikkaolib kelaolmadi.

Hisoblash jarayonida (EHMda) xatoliklar paydo bo'lishining ba'zi manbalari bilan tanishib chiqaylik [22]:

1. Beriladigan ma'lumotlardagi xatoliklar. Juda ko'p algoritmlarda foydalaniladigan parametrlar, koeffitsientlar va boshlang'ich qiymatlar o'lchash natijalari har xil fizik va texnik asboblar yordamida olinadi. Yoki ba'zi taqribiy algoritmlarning natijalari foydalaniladigan algoritim uchun boshlang'ich qiymat sifatida ishlatiladi.

2. Algoritimning prinsipial xatoligi. Masalan, iteratsion algoritmlar izlanayotgan aniq yechimga ketma-ket yaqinlashish asosida ko'rilgan.

3. EHMlarda algoritimni aniq bajarish mumkin emasligi. Hatto algoritim aniq berilsa ham yaxlitlash xatoliklari tufayli izlanayotgan aniq yechim olinayotgan taqribiy yechimdan ancha farq qilishi mumkin. Masalan, kvadrat tenglamaning ildizlarini topish algoritmi. Bu algoritim aniq bo'lgan holda ham, agar uning ildizlari irratsional sonlar bo'lsa, u holda hisoblashlar ma'lum bir aniqlik bilan bajariladi.

Hozirgi kunda xatoliklarni, noaniqliklarni va ularni keltirib chiqaradigan manbalarini hisobga olish uchun bir necha usullardan foydalanilmoqda. Masalan, L. Zadening noravshan to'plamlar nazariyasi, ehtimolli matematikstatistika usullari, interval analiz apparati

va hokazolar. Bu usullar matematik apparati, qo'llanilish sohasi va imkoniyatlari bilan bir-biridan farq qiladi [7-9].

Interval analiz elementlari dastlab EHMda yaxlitlash xatoliklarini avtomatik ravishda hisobga olish vositasi sifatida paydo bo'ldi. Keyingi tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, interval analiz nafaqat xatoliklarni hisobga oladigan apparat, balki amaliy matematikaning dolzarb masalalarini muvaffaqiyatli yecha oladigan hamda informatika va matematik tahlilning eng yaxshi xususiyatlarini o'zida mujassamlashtirgan fanning yangi yo'nalishi sifatida namoyon bo'ldi. Natijada, interval matematika, interval algebra, interval topologiya hamda amaliy matematikaning masalalarini yechish uchun mo'ljallangan interval metodlar kabi yo'nalishlar paydo bo'ldi. Hozirgi kunda interval analiz fani nafaqat nazariy tadqiqotlar olib borishga mo'ljallangan fan, balki interval noaniqlikka ega bo'lgan amaliy masalalarni yechishning ishonchli vositasiga aylandi. Zamonaviy adabiyotlarda interval analizning meditsinaga, iqtisodiyotga, optimal boshqarishga, biologiya hamda bir qancha sohalarga tatbiqini ifodalaydigan ilmiy izlanishlarni ko'rish mumkin. Shunday qilib, amaliy matematikadagi yangi yo'nalish - interval analizning predmeti berilgan ma'lumotlarda yoki oraliq hisoblashlarda yoki olinadigan ma'lumotlarda interval noaniqliklar bo'lgan masalalarni o'rganishdan hamda olinadigan yechimlarni baholashdan iboratdir [23].

Interval analizda biron a parametring noaniqligi uning qabul qilishi mumkin bo'lgan qiymatlari diapazoni (to'plami) yopiq interval- $[\underline{a}, \bar{a}]$ orqali ifodalanadi. Bunda \underline{a} - diapazonning quyi(chap) chegarasi, \bar{a} esa yuqori (o'ng) chegarasi deyiladi. Shubhasiz, endi a parametr bitta haqiqiy qiymat bilan emas, balki $[\underline{a}, \bar{a}]$ to'plam bilan tasniflanadi. Bu diapazon (to'plam)ga *interval son* deyiladi.

Interval sonni ikki xil ma'noda:

- 1) sonlarning yangi bir shakli – mustaqil bir matematik obekt sifatida;
- 2) qandaydir xatolik bilan berilgan haqiqiy son sifatida tushunish mumkin.

Interval analizning asosiy yutug'i, ya'ni boshqa usullardan ustunligi shundaki, bunda EHMda biror bir muayyan masalani yechish jarayonida uchraydigan xatoliklarning barcha manbalari: hisoblashlardagi xatolik – yaxlitlash xatoligi; foydalaniladigan ma'lumotlardagi xatolik; qo'llaniladigan sonli usul xatoligi bir vaqtning

o'zida hisobga olinib, olinadigan taqribiy yechimning izlanadigan haqiqiy yechimdan chetlanishi baholanadi.

Interval analizdagi ilmiy muammolarni, shartli ravishda, quyidagi 3 guruhga:

- interval sonlar sistemasini muayyan matematik sistema sifatida qarab tadqiq etish;
- interval analiz apparatini amaliy masalalarni yechish jarayoniga qo'llash;
- interval algoritmlarni EHM da hal qilish (hisoblash) muammolariga bo'lish mumkin.

Endi tabiiy savol to'g'iladi. Interval analiz fan sifatida qachondan buyon mavjud? Bu yo'nalishning fanda shakllanishida qaysi olimlarning xizmatlari singgan?

«Interval analiz» atamasini fanga kiritgan amerikalik olim Raymon Murning fikricha [21], bu sohada birinchi bo'lib Arximedning nomini tilga olish kerakdir. Chunki, Arximed o'z hisoblashlarida π sonini hosil qilish uchun, ya'ni aylana uzunligini uning diametriga nisbatini olib, matematika tarixida ilk bor ikki tomonlama yaqinlashuvchi hisoblashlarni (ichki va tashqi baholash asosida) bajargan.

Ammo interval analiz fan sifatida faqat XX asrga kelib shakllandi va rivojlandi. Ya'ni, EHM larning jadallik bilan hayotga kirib kelishi, amaliy masalalarni EHMda yechish jarayonida duch kelingan muammolar bu fanni shakllanishini tezlashtirdi.

Arximeddan so'ng, 1931 yilda ingliz olimasi Rozalinda Yang[22] sonli to'plamlar ustida arifmetik amallar bajarish usulini taklif etdi. 1951 yilda esa, P.Duvayer [23] sonli analizning hisoblashlaridagi xatoliklarni hisobga olish maqsadida yopiq interval (sonli diapazon)lar tushunchasini taklif qildi. 1955-1958 yillarda Polshalik Mechislav Varmus hamda Yaponiyalik Teruo Sunagalar o'z ilmiy tadqiqotlarida haqiqiy sonli intervallar ustida amallarni ta'minlaydigan, hozirgi kunda *klassik interval arifmetika* nomi bilan ataladigan arifmetikaning xossalarini o'rgandilar. Shuni ta'kidlash joizki, T. Sunaganing izlanishlarida «*interval*», «*intervalli*» atamalari, fanda birinchi bor, qo'llanilgan. Bundan tashqari, T. Sunagi [24] intervallar arifmetikasini qo'llab sonli analizning ba'zi masalalarini, masalan, differensial tenglamalarga qo'yilgan Koshi masalasini yechish usulini taklif etgan birinchi tadqiqotchidir.

Interval arifmetika va uning tatbiqlari bilan 1959 yildan shug'ullanishni boshlagan Raymon Mur, o'zining 1966 yilda chop

ettirgan “Interval Analysis” nomli monografiyasida [21], sistemali tarzda, *interval sonlar*, *interval arifmetika*, *interval qiymatli funksiyalar* kabi tushunchalarni qiziqarli va tushunarli tilda bayon etgan. Bundan tashqari, ushbu monografiyada interval analiz apparatining algebraik va differensial tenglamalarni yechishga tatbiqlari hamda interval arifmetikani va interval algoritmlarni EHMda hal etish muammolari yoritilgan. Bu monografiyani paydo bo‘lishi fanda interval analizning shakllanishiga va turli-tuman tadqiqotchilar tomonidan izchillik bilan rivojlantirilishiga turtki bo‘ldi desak xato bo‘lmaydi.

Sobiq Sovet Ittifoqida, «interval analiz» tarixini boshlanish sanasi o‘tgan asrning 20-yillariga to‘g‘ri keladi. Bu sana mashhur rus matematigi va pedagogi V.M. Bradis nomi bilan bog‘liqdir. V.M. Bradis Tver Pedagogika institutida ishlash jarayonida talabalarga «chegaralar usuli»ni, ya’ni hisoblash jarayonidagi izlanayotgan qiymatga ikki tomonlama yaqinlashish usulini o‘rgatgan. Bu usulning tavsifi uning ilmiy tadqiqotlarida o‘z aksini topgan [25]. Uning bu usuli «Энциклопедия элементарной математики» (M.: Учпедгиз, 1951 г.) kitobiga kiritilib va bu ensiklopediya Germaniyada nemis tiliga o‘girilganidan so‘ng, bu usul haqida xorijlik olimlar xabar topgan desak xato bo‘lmaydi.

Aslida, rus akademiklari N.N. Yanenko va Yu.I. Shokinlarning sayi-harakatlari bilan Sobiq Sovet Ittifoqiga interval analiz o‘tgan asrning 70-yillarining boshlarida kirib keldi. Dastlab, N. N. Yanenko SSSR FA Sibir bo‘limining «Nazariy va amaliy mexanika» ilmiy-tekshirish institutida interval analiz masalalari bilan shug‘ullanadigan, yosh iqtidorli olimlardan iborat, guruhni tashkil etdi va unga raxnamolik qildi. 1981 yilda rus tilida, ilk bor Yu. I. Shokin qalamiga mansub, N. N. Yanenko muharrirligida «Interval analiz» monografiyasi chop etildi. Krasnoyarsk shahridagi «Hisoblash markazi» institutida «Interval analiz» ilmiy laboratoriyasi tashkil etildi. Yu. I. Shokinning tashabbusi bilan Krasnoyarsk shahrida 1984-1989 yillarda interval analiz va uning tatbiqlariga bag‘ishlangan Butun ittifoq ilmiy anjumanlari tashkil etildi. 1990 yildan boshlab bu anjuman Rossiyaning boshqa shaharlarida o‘tkazila boshlandi. 1986 yilda Yu. I. Shokin va uning shogirdlari tomonidan «Metodi intervalnogo analiza» nomli monografiya chop ettirildi. 1987 yilda esa Germaniyadagi interval analizning targ‘ibotchilaridan bo‘lgan G. Alefeld va J. Herzbergerlarning «Introduction to Interval Computations» nomli monografiyasi «Vvedeniye v intervalniye vichesleniya» nomi bilan rus tiliga o‘girildi.

Bularning barchasi SSSRda interval analizning shakllanishiga va rivojlanishiga asos bo'ldi.

Hozirgi kunda deyarli barcha mamlakatlarda interval analiz masalalari bilan ko'pgina olimlar shug'ullanadi va interval analiz masalalari yoritiladigan bir qator ilmiy jurnallar chop etilmoqda. Rivojlangan xorijiy mamlakatlarda sistemali ravishda interval analiz muammolariga bag'ishlangan ilmiy anjumanlar o'tkazilib kelinmoqda. AQSh, Rossiya, Germaniya, Xitoy, Buyuk Britaniyalik olimlar o'zlarining sermahsul izlanishlari bilan interval analiz fanini rivojlantirmoqdalar. Minglab ilmiy maqolalar, o'nlab monografiyalar chop ettirildi. Bundan tashqari, interval analiz fan sifatida juda ko'p universitetlarda o'rganilmoqda. Rossiyaning Novosibirsk, Krasnoyarsk, Sankt - Peterburg davlat universitetlarida interval analiz yo'nalishlari bo'yicha mutaxassis kadrlar tayyorlanmoqda.

O'zbekistonlik olimlar interval analizning SSSR da dastlabki shakllanish yillaridan boshlab bu jarayonda faol ishtirok etmoqdalar. Shuni ta'kidlash joizki, SSSRda himoya qilingan dastlabki tarixiy nomzodlik dissertatsiya (1977 yil) yurtdoshimiz Z.X.Yuldashevga tegishlidir. SSSRda tashkil etilgan birinchi ilmiy laboratoriyada (1984-1987 yillar, Krasnoyarsk shahri) faoliyat ko'rsatgan olimlar qatorida yurtdoshlarimizning bo'lishi (M. B. Bazarov) ham yuqoridagi fikrlarning isbotidir. Hozirgi kunda, interval analiz mavzusida yurtdoshlarimiz tomonidan yuzlab ilmiy maqolalar, bir qator o'quv qo'llanma va monografiyalar chop ettirilgan.

1.2.1. Interval sonlar va ularning xarakteristik xossalari

Faraz qilaylik R -haqiqiy sonlar to'plami bo'lsin.

1.1-Ta'rif. Interval son deb

$$\mathbf{a} = [\underline{a}, \bar{a}] = \left\{ x \mid x \in R, \underline{a} \leq x \leq \bar{a} \right\}$$

ifoda bilan aniqlanadigan R ning chegaralangan va yopiq qism to'plamiga aytiladi.

Soha olimlarining formal bo'lmagan kelishuviga asosan, interval kattaliklar qalin shriftlarda yoziladi, boshqa tipli kattaliklarni yozishda esa oddiy shriftlardan foydalaniladi, ya'ni alohida ajratilmaydi [6]. Shuningdek, interval sonlar to'plamini \mathbb{IR} bilan belgilaymiz. Agar \mathbf{a} interval \mathbb{IR} ning elementi bo'lsa: $\mathbf{a} \in \mathbb{IR}$ hamda \mathbf{a} ning chap va o'ng chegaralarini, mos ravishda, \underline{a} va \bar{a} shaklida, ya'ni $\mathbf{a} = [\underline{a}, \bar{a}]$ deb yozish

o‘zaro kelishib olingan.

Agar $\mathbf{a} = [\underline{a}, \bar{a}]$ da $\underline{a} = \bar{a} = a$ bo‘lsa, ya’ni intervalning chap va o‘ng chegaralari ustma–ust tushsa, u holda \mathbf{a} interval a haqiqiy songa teng deyiladi. Shunday qilib, $\mathbb{R} \subseteq \mathbb{IR}$.

1.2-Ta’rif. Agar $\mathbf{a} = [\underline{a}, \bar{a}]$ va $\mathbf{b} = [\underline{b}, \bar{b}]$ intervallar uchun $\underline{a} = \underline{b}$, $\bar{a} = \bar{b}$ munosabat o‘rinli bo‘lsa, u holda \mathbf{a} va \mathbf{b} intervallar o‘zaro teng intervallar deyiladi.

\mathbb{IR} to‘plamda tartib munosabati quyidagicha aniqlanadi: $\mathbf{a} \leq \mathbf{b}$ munosabat faqat $\bar{a} \leq \underline{b}$ tengsizlik o‘rinli bo‘lgandagina bajariladi. Demak, \mathbb{IR} bu ma’noda qisman tartiblashgan to‘plam.

\mathbf{a} va \mathbf{b} to‘plamlarning kesishmasi quyidagicha aniqlanadi:

$$\mathbf{a} \cap \mathbf{b} = \begin{cases} \text{agar } \mathbf{a} < \mathbf{b} \text{ yoki } \mathbf{b} < \mathbf{a} \text{ bo'lsa,} \\ \left[\max \{ \underline{a}, \underline{b} \}, \min \{ \bar{a}, \bar{b} \} \right] \text{ aks holda.} \end{cases}$$

\mathbf{a} intervalning kengligi (uzunligi) $wid(\mathbf{a})$ kabi belgilanib, $wid(\mathbf{a}) = \bar{a} - \underline{a}$ formula bilan hisoblanadi.

\mathbf{a} intervalning o‘rtasi – o‘rta qiymati $mid(\mathbf{a})$ esa quyidagicha aniqlanadi:

$$mid(\mathbf{a}) = \frac{1}{2}(\underline{a} + \bar{a}).$$

\mathbf{a} intervalning radiusi $rad(\mathbf{a})$ kabi belgilanib,

$$rad(\mathbf{a}) = \frac{1}{2}(\bar{a} - \underline{a}) = 0.5 * wid(\mathbf{a})$$

formula bilan hisoblanadi.

\mathbf{a} intervalning absolyut miqdori yoki moduli yoki magnitudasi – $|\mathbf{a}|$:

$$|\mathbf{a}| = \max \{ |a|, a \in \mathbf{a} \} = \max \{ |\underline{a}|, |\bar{a}| \}.$$

Interval \mathbf{a} ning magnitudasi, ya’ni uning chegaralarining absolyut qiymati bo‘yicha eng kichigi deb $\langle \mathbf{a} \rangle$ belgi bilan belgilanib va quyidagi munosabat:

$$\langle \mathbf{a} \rangle = \min \{ |a|, a \in \mathbf{a} \} = \begin{cases} \min \{ |\bar{a}|, |\underline{a}| \}, & \text{agar } 0 \notin \mathbf{a} \\ 0, & \text{agar } 0 \in \mathbf{a} \end{cases}$$

orqali aniqlanuvchi miqdorga aytiladi.

Metrika (masofa) \mathbb{IR} to‘plamda quyidagicha aniqlanadi. Agar

$a, b \in \mathbb{R}$ bo'lsa, u holda

$$\rho(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \max \{ |\underline{a} - \underline{b}|, |\bar{a} - \bar{b}| \}.$$

Agar $\mathbf{a} = [\underline{a}, \bar{a}]$ interval uchun $-\underline{a} = \bar{a}$ tenglik o'rinli bo'lsa, u holda $-\mathbf{a}$ simmetrik interval deyiladi. Bunda $mid(\mathbf{a}) = 0$ ekanligi kelib chiqadi.

Yuqorida keltirilgan tushunchalar asosida interval sonning uni o'rtasi va radiusi orqali ifodalanishini quyidagicha yozish mumkin:

$$\mathbf{a} = mid(\mathbf{a}) + [-1, 1] \cdot rad(\mathbf{a}).$$

Shunday qilib, \mathbf{a} intervalni ikki xil usul: 1) uning chegaralari $-\underline{a}, \bar{a}$; 2) uning o'rtasi $mid(\mathbf{a})$ va radiusi $rad(\mathbf{a})$ bilan tasvirlash mumkin ekan. Bu tasvirlashlar o'rtasidagi bog'liqlik quyidagicha:

$$\mathbf{a} = [\underline{a}, \bar{a}] = mid(\mathbf{a}) + [-1, 1]rad(\mathbf{a}).$$

Endi, interval sonning ba'zi xarakteristikalarini belgilovchi kattaliklarning xossalari bilan tanishamiz.

1. *Interval sonning magnitudasi va magnitudasining xossalari.*

\mathbf{a} va \mathbf{b} intervallar uchun quyidagi munosabatlar hamma vaqt o'rinlidir:

$$\mathbf{a} \subseteq \mathbf{b} \Rightarrow |\mathbf{a}| \leq |\mathbf{b}| \quad \text{va} \quad \langle \mathbf{a} \rangle \geq \langle \mathbf{b} \rangle, \quad (1.1)$$

$$|\mathbf{a}| - \langle \mathbf{b} \rangle \leq |\mathbf{a} \pm \mathbf{b}| \leq |\mathbf{a}| + |\mathbf{b}|, \quad (1.2)$$

$$\langle \mathbf{a} \rangle - |\mathbf{b}| \leq \langle \mathbf{a} \pm \mathbf{b} \rangle \leq \langle \mathbf{a} \rangle + |\mathbf{b}|, \quad (1.3)$$

$$|\mathbf{ab}| = |\mathbf{a}| |\mathbf{b}|, \quad (1.4)$$

$$|\mathbf{a/b}| \leq |\mathbf{a}| / \langle \mathbf{b} \rangle, \quad \langle \mathbf{a/b} \rangle = \langle \mathbf{a} \rangle / |\mathbf{b}|, \quad \text{agar } 0 \notin \mathbf{b}, \quad (1.5)$$

$$\left| \frac{1}{\mathbf{a}} \right| = \langle \mathbf{a} \rangle^{-1}, \quad \text{agar } 0 \notin \mathbf{a}. \quad (1.6)$$

2. *Interval son o'rtasining xossalari:*

$$mid(\mathbf{a} \pm \mathbf{b}) = mid(\mathbf{a}) \pm mid(\mathbf{b}), \quad (1.7)$$

$$mid(a\mathbf{b}) = a mid(\mathbf{b}), \quad \text{bu yerda } a \in R. \quad (1.8)$$

3. *Interval radiusining xossalari:*

$$\mathbf{a} \subseteq \mathbf{b} \Rightarrow rad(\mathbf{a}) \leq rad(\mathbf{b}), \quad (1.9)$$

$$rad(\mathbf{a} \pm \mathbf{b}) = rad(\mathbf{a}) + rad(\mathbf{b}), \quad (1.10)$$

$$|\mathbf{a}| \cdot rad(\mathbf{b}) \leq rad(\mathbf{ab}) \leq |\mathbf{a}| \cdot rad(\mathbf{b}) + rad(\mathbf{a}) \cdot |mid(\mathbf{b})|, \quad (1.11)$$

$$rad(\mathbf{a}) \cdot |\mathbf{b}| \leq rad(\mathbf{ab}) \leq rad(\mathbf{a}) \cdot |\mathbf{b}| + |mid(\mathbf{a})| \cdot rad(\mathbf{b}), \quad (1.12)$$

$$rad\left(\frac{1}{\mathbf{a}}\right) = \frac{rad(\mathbf{a})}{\langle \mathbf{a} \rangle |\mathbf{a}|}, \text{ agar } 0 \notin \mathbf{a}, \quad (1.13)$$

$$rad(\mathbf{a}^n) \leq n |\mathbf{a}|^{n-1} rad(\mathbf{a}), \quad \forall \mathbf{a} \in \mathbf{I}(R), \quad (1.14)$$

$$rad(\mathbf{a}^n) = |\mathbf{a}|^{n-1} rad(\mathbf{a}), \text{ agar } 0 \in \mathbf{a}. \quad (1.15)$$

Yuqorida keltirilgan xossalardan birining isbotini keltiramiz.

Masalan, (1.14) munosabatning o'rinli ekanligini isbotlashda matematik induksiya usulidan foydalanamiz.

$n = 1$ da tengsizlikning o'rinli ekanligini ko'rish qiyin emas. (1.14) munosabatni ixtiyoriy n da o'rinli deb faraz qilib, $n + 1$ da (1.14) tengsizlikning o'rinli ekanligini ko'rsatamiz:

$$\begin{aligned} rad(\mathbf{a}^{n+1}) &= rad(\mathbf{a}^n \mathbf{a}) \leq |\mathbf{a}^n| rad(\mathbf{a}) + rad(\mathbf{a}^n) \cdot |mid(\mathbf{a})| \leq \\ &\leq |\mathbf{a}^n| rad(\mathbf{a}) + n |\mathbf{a}|^{n-1} rad(\mathbf{a}) \cdot |\mathbf{a}| \leq (n+1) |\mathbf{a}^n| rad(\mathbf{a}). \end{aligned}$$

Demak, (1.14) tengsizlik n ning ixtiyoriy qiymatida o'rinli.

1.3-Ta'rif. Agar $\sigma(\mathbf{a}) = sign(\underline{a} + \bar{a})/2 \mathbf{a}$ interval o'rtasining ishorasini bildirsa va har qanday $\mathbf{a}, \mathbf{b} \in \mathbf{I}(R)$ uchun $\sigma(\mathbf{a}) \cdot \sigma(\mathbf{b}) \geq 0$ bajarilsa, u holda \mathbf{a} va \mathbf{b} intervallar nolga nisbatan bir tomonda joylashgan deyiladi.

Intervalning radiusi va kengligi interval noaniqlikning absolyut o'lchovini bildiradi. Ammo, bazida interval noaniqlikning nisbiy o'lchovini bilish ham foydadan holi bo'lmaydi. Masalan, $[1, 2]$ va $[1001, 1002]$ intervallar bir xil radiusga ega bo'lsada, birinchi intervalda noaniqlik 100% ni, ikkinchisida esa 0.1%dan kamni tashkil etadi. Noaniqlikning nisbiy o'lchovi sifatida \bar{a}/\underline{a} nisbatni olsa ham bo'ladi, ammo $0 \in \mathbf{a}$ uchun bu nisbat kutilgan natijani bermaydi.

1.2.2. Interval hisoblashlarning zarurligi

Ushbu paragrafda ananaviy usullar vositasida hal qilinishi qiyin bo'lgan, ammo interval hisoblash yordamida samarali hal qilinadigan ba'zi masalalar bilan tanishamiz.

Taqribiy hisoblashlarni EHM larda bajarganda ro'y beradigan quyidagi tipik holatlarni keltiraylik.

1.1- misol. Faraz qilaylik va $x_0 = 1 - 10^{-21}$, $x_{n+1} = x_n^2$, $n = 0, 1, 2, \dots$ bo'lsin. Bunda x_{75} ning qiymatini hisoblash talab etilsin.

Agar biz verguldan keyin 20 ta raqamli arifmetikada hisoblashlarni bajarsak, u holda $x_0 = 1$, $x_1 = 1$, ..., $x_{75} = 1$ ga ega bo‘lamiz.

Ammo x_{75} ni aniq qiymatini yuqoridan quyidagicha baholash mumkin

$$x_{75} = (1 - 10^{-21})^{2^{75}} < (1 - 10^{-21})^{10^{22.2}} < \\ < \{(1 - 10^{-21})^{10^{21}}\}^{31,6} < e^{-31,6} < 10^{-10}.$$

Bu misolni yechish uchun qo‘llanilgan interval arifmetika (verguldan keyin 10 ta raqam saqlagan holda) esa $[0, 1]$ intervalga yaqin natijani, 20 ta raqamni saqlagan holda bajarilgan hisoblashlar yanada aniqroq natijani beradi. Misoldan ko‘rinib turibdiki hisoblashlar 21 ta raqamdan ko‘proq raqamlarni saqlagan holda bajarilishi kerak.

1.2-misol. Berilgan $a = 77617.0$ va $b = 330096.0$ qiymatlarda $f = 333.75b^6 + a^2(11a^2b^2 - b^6 - 121b^4 - 2) + 5.5b^8 + a/(2b)$ ifodaning qiymatini hisoblash talab qilinsin.

Aslida f ning aniq qiymati -0.8273960599468213 ga tengdir.

Tuzilgan dasturda oddiy aniqlik (6 ta raqamni saqlagan holda), ikkilangan aniqlik (17 ta raqam) hamda kengaytirilgan aniqlik (34 ta raqam) hisoblashlar bajarilganda quyidagilarga ega bo‘lamiz:

-oddiy aniqlikda- $f = +1.172603\dots$;

-ikkilangan aniqlikda - $f = +1.1726039400531\dots$;

-kengaytirilgan aniqlikda - $f = +1.172603940053178\dots$

Excel dasturida esa hisoblashlarni bajarsak kompyuter 0 natijani beradi.

1.3-misol. Endi $I_n = \frac{1}{e} \int_0^1 x^n e^x dx$ integralni hisoblash masalasi bilan

shug‘ullanamiz.

Bo‘laklab integrallash formulasidan foydalanib quyidagi rekurrent formulaga ega bo‘lamiz:

$$I_n = 1 - n \cdot I_{n-1}, \quad I_0 = 1 - \frac{1}{e}$$

hisoblashlarni bajarganda quyidagi hollarni kuzatish mumkin (1.2-jadval).

1.2–jadval

n	I_n	n	I_n	n	I_n
0	. 632 1205	7	. 112 4296	14	-597. 5973
1	. 367 8795	8	. 100 563	15	119 6496
2	. 207 2786	9	9. 493 256 E-02	16	-194 38. 3
3	. 170 8932	10	5. 067 444	17	325 4453
4	. 145 534	11	. 442 5812	18	-485 8015 E+07
5	. 126 7958	12	-4. 310 974	19	1. 113 023 E+09
6	. 129 4790	13	57. 04 216 E-05	20	-2. 226 046 E+10

Iteratsion jarayonni noto‘g‘ri natijaga olib kelishiga asosiy sabablardan biri, o‘zaro yaqin sonlarning ayirilishidir. I_n ketma-ketlik yuqoridan va quyidanchegaralangan, ya‘ni $1/(n+1) < I_n < 1/n$. Shu kesmani quyidagi ko‘rinishda yozib olamiz $I_n \in [1/(n+2), 1/(n+1)] = \mathbf{I}'_n$. so‘ngra \mathbf{I}_0 berilgan deb faraz qilib, quyidagi iteratsion jarayonni tuzamiz

$$I_n \in \mathbf{I}_n = (1 - n\mathbf{I}_{n-1}) \cap \mathbf{I}'_n, \quad (n = 1, 2, 3, \dots). \quad (1.16)$$

Bu jarayon natijasida olinadigan interval yechimlarning aniqligini quyidagicha baholash mumkin

$$\text{wid}(I_n) < \text{wid}\left(\left[\frac{1}{n+2}, \frac{1}{n+1}\right]\right) = \frac{1}{(n+1)(n+2)}.$$

Bu yerda, $n \rightarrow \infty$, $\text{wid}(I_n) \rightarrow 0$

1.3–jadval

n	$\underline{\mathbf{I}}_n$	$\bar{\mathbf{I}}_n$	$\text{wid}(\mathbf{I}_n)$
0	. 632 1203	. 632 1208	4. 77 E-07
1	. 367 8789	. 367 88	4. 01 E-07
2	. 264 2398	. 264 2424	2. 56 E-07
3	. 207 2724	. 207 281	8. 52 E-07
4	. 170 8758	. 170 9106	3. 48 E-05
5	. 145 4466	. 145 6215	1. 75 E-04
6	. 126 2766	. 127 3209	1. 05 E-03
.
.
13	6. 66 6666 E-02	7. 142875 E-02	7. 76 E-03
14	6. 24 9999 E-02	6. 66 6668 E-02	4. 17 E-03

Bu xarakterdagi misollarni yana ko‘plab keltirish mumkin. Yuqorida keltirilgan misollar shuni ko‘rsatadiki, EHMda an’anaviy usullar yordamida olingan yechim «taqribiy yechim izlangan haqiqiy yechimdan qanchaga farq qiladi?» yoki «EHMda olingan taqribiy yechimlarimizga qay darajada ishonsak bo‘ladi?» degan savollarga hamma vaqt ham javob bera olmaydi. Bu savollarga javoblarni izlash—olimlarimiz va EHMning tajribali foydalanuvchilari oldida hozirgi kunda muammo bo‘lib turibdi. Interval analiz apparati yordamida shu muammolarning ba’zilarini hal etish mumkin.

1.2.3. Interval sonlar ustida arifmetik amallar. Klassik interval arifmetika va uning algebraik xossalari

Agar $*$ $\in \{+, -, \times, /\}$ bo‘lsa, u holda \mathbf{a} va \mathbf{b} intervallar uchun arifmetik amallar quyidagicha ifodalanadi:

$$\mathbf{a} * \mathbf{b} = \{a * b \mid a \in \mathbf{a}, b \in \mathbf{b}\}. \quad (1.17)$$

Bunda bo‘lish amali uchun $0 \notin \mathbf{b}$. Agar $\mathbf{a} = [\underline{a}, \bar{a}]$ va $\mathbf{b} = [\underline{b}, \bar{b}]$ bo‘lsa, u holda (1.1) formula moshollarda, quyidagi formulalarga ekvivalentdir:

$$\begin{aligned} \mathbf{a} + \mathbf{b} &= [\underline{a}, \bar{a}] + [\underline{b}, \bar{b}] = [\underline{a} + \underline{b}, \bar{a} + \bar{b}], \\ \mathbf{a} - \mathbf{b} &= [\underline{a}, \bar{a}] - [\underline{b}, \bar{b}] = [\underline{a} - \bar{b}, \bar{a} - \underline{b}], \\ \mathbf{a} * \mathbf{b} &= [\underline{a}, \bar{a}] * [\underline{b}, \bar{b}] = \\ &= [\min\{\underline{a} * \underline{b}, \underline{a} * \bar{b}, \bar{a} * \underline{b}, \bar{a} * \bar{b}\}, \max\{\underline{a} * \bar{b}, \underline{a} * \underline{b}, \bar{a} * \bar{b}, \bar{a} * \underline{b}\}], \\ \mathbf{a} / \mathbf{b} &= [\underline{a}, \bar{a}] / [\underline{b}, \bar{b}] = [\underline{a}, \bar{a}] * [1/\bar{b}, 1/\underline{b}]. \end{aligned} \quad (1.18)$$

Agar \mathbf{a} va \mathbf{b} intervallarda chap va o‘ng chegaralari o‘zaro teng bo‘lsa, ya’ni $\mathbf{a} = a$, $\mathbf{b} = b$ bo‘lsa, u holda (1.18) formulalar haqiqiy sonlar ustidagi arifmetik amallarni aniqlovchi formulalarni ifodalashini ko‘rish qiyin emas.

Demak, interval son haqiqiy sonning umumlashmasi, interval arifmetika esa haqiqiy arifmetikaning umumlashmasidir. Interval qo‘shish va ko‘paytirish amallari assotsiativlik va kommutativlik qonuniyatlariga bo‘ysunadi. Ya’ni, $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c} \in \mathbb{IR}$ bo‘lsa, u holda

$$\begin{aligned} \mathbf{a} + \mathbf{b} &= \mathbf{b} + \mathbf{a}, \\ \mathbf{a} + (\mathbf{b} + \mathbf{c}) &= (\mathbf{a} + \mathbf{b}) + \mathbf{c}, \end{aligned}$$

$$\mathbf{a} * \mathbf{b} = \mathbf{b} * \mathbf{a},$$

$$\mathbf{a} * (\mathbf{b} * \mathbf{c}) = (\mathbf{a} * \mathbf{b}) * \mathbf{c}.$$

Interval sonni butun darajaga ko‘tarish quyidagi formula asosida amalga oshiriladi

$$\mathbf{a}^n = [\underline{a}, \bar{a}]^n = \begin{cases} [\underline{a}^n, \bar{a}^n], & \text{agar } n = 2i + 1 \text{ bo'lsa} \\ [\underline{a}^n, \bar{a}^n], & \text{agar } n = 2i \text{ va } \underline{a} > 0 \text{ bo'lsa} \\ [\bar{a}^n, \underline{a}^n], & \text{agar } n = 2i \text{ va } \bar{a} < 0 \text{ bo'lsa} \\ [0, \max(\underline{a}^n, \bar{a}^n)], & \text{agar } n = 2i \text{ va } 0 \in \mathbf{a} \text{ bo'lsa.} \end{cases} \quad (1.19)$$

(1.17)–(1.19) formulalar bilan aniqlangan interval arifmetika, interval analizga tegishli adabiyotlarda, *klassik interval arifmetika* yoki *R. Mur arifmetikasi* ham deb yuritiladi.

(1.17)–(1.19) formulalarning tahlili shuni ko‘rsatadiki, interval arifmetikada: qo‘shish amali, ayirish amaliga, ko‘paytirish amali esa bo‘lish amaliga teskari emasdir. Ya’ni, $\mathbf{a} - \mathbf{a} \neq [0, 0]$, $\mathbf{a}/\mathbf{a} \neq [1, 1]$. Ammo, $0 \in \mathbf{a} - \mathbf{a}$, $1 \in \mathbf{a}/\mathbf{a}$.

Chunki, (1.10) formuladan ko‘rinib turibdiki, intervallarning yig‘indisini yoki ayirmasining radiusi (kengligi) qo‘shiluvchilarning radiuslarining yig‘indisiga teng bo‘ladi. Shuning uchun, \mathbb{R} ga tegishli ixtiyoriy interval uchun unga qarama-qarshi interval mavjud emas, ya’ni $\mathbf{a} - \mathbf{a} \neq 0$. Ikkinchi tomondan, (1.11)-(1.12) formulalardan ko‘rinib turibdiki, ixtiyoriy chegaralari ustma-ust tushmagan intervalni, intervallar ko‘paytmasining nolga teng bo‘lmagan radiusiga ko‘paytirganda natija hech qachon nolga teng bo‘lmaydi. Shu sababli, \mathbb{R} ning ixtiyoriy chegaralari ustma-ust tushmagan intervalning teskarisi mavjud emas, ya’ni $\mathbf{a}/\mathbf{a} \neq [1, 1]$.

Ammo, \mathbb{R} da, quyidagi xossalar o‘rinlidir:

$$\mathbf{a} + \mathbf{c} = \mathbf{b} + \mathbf{c} \implies \mathbf{a} = \mathbf{b},$$

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{c} = \mathbf{b} \cdot \mathbf{c}, 0 \notin \mathbf{a}, 0 \notin \mathbf{b}, 0 \notin \mathbf{c} \implies \mathbf{a} = \mathbf{b}.$$

Klassik interval arifmetikani qo‘llanilishiga doir quyidagi misollar bilan tanishamiz:

$$\begin{array}{ll} [1, 2] + [4, 6] = [5, 8], & [2, 4]/[-2, 1] = \text{aniqlanmagan,} \\ 1 + [-3, 2] = [-2, 3], & 2/[1, 2] = [1, 2], \\ [2, 5] - [0, 2] = [0, 5], & [2, 4]/[-2, -1] = [-4, -1], \\ [-2, 1] \times [0, 4] = [-8, 4], & [2, 3]^2 = [4, 9], \\ 3 \times [-2, 3] = [-6, 9], & [-1, 2]^2 = [0, 4]. \end{array}$$

Interval arifmetikaning subdistributivlik xossasi. Interval arifmetikada $a, b, c \in \mathbb{R}$ intervallar uchun, distributivlik xossasi, ya'ni

$$\mathbf{a} * (\mathbf{b} + \mathbf{c}) = \mathbf{a} * \mathbf{b} + \mathbf{a} * \mathbf{c}. \quad (1.20)$$

munosabat hamma vaqt o'rinli bo'lmaydi. Haqiqatdan ham, $[0,1](1-1) = 0$ bo'lgan holda $[0,1] - [0,1] = [-1,1]$ ekanini ko'rish mumkin.

Interval arifmetikada *subdistributivlik* deb ataladigan quyidagi xossa

$$\mathbf{a} * (\mathbf{b} + \mathbf{c}) \subseteq \mathbf{a} * \mathbf{b} + \mathbf{a} * \mathbf{c},$$

doimo o'rinlidir.

Shunday bo'lsada, quyidagi hollarda, ya'ni:

- 1) Agar $\text{oid}(\mathbf{a}) = 0$ yoki $\mathbf{b} = [0, 0]$, yoki $\mathbf{c} = [0, 0]$;
- 2) Agar \mathbf{b} va \mathbf{c} intervallar uchun $\text{sign}(\mathbf{b}) = \text{sign}(\mathbf{c})$ munosabat o'rinli;
- 3) Agar $\mathbf{d} = \mathbf{bc} = [\underline{d}, \bar{d}]$ interval hamma vaqt musbat;
- 4) Agar \mathbf{b} va \mathbf{c} intervallar – simmetrik intervallar bo'lsa, u holda interval arifmetikada distributivlik qonuni bajariladi, ya'ni (1.4) tenglik o'rinli bo'ladi, aks holda (1.5) munosabat, ya'ni subdistributivlik xossasi bajariladi.

Interval arifmetikaning monotonlik xossasi.

1.4. Ta'rif. Agar $\mathbf{a} \subseteq \mathbf{c}$ va $\mathbf{b} \subseteq \mathbf{d}$ bo'lgan holda

$$\mathbf{a} + \mathbf{b} \subseteq \mathbf{c} + \mathbf{d},$$

$$\mathbf{a} - \mathbf{b} \subseteq \mathbf{c} - \mathbf{d},$$

$$\mathbf{ab} \subseteq \mathbf{cd},$$

$$\mathbf{a/b} \subseteq \mathbf{c/d}.$$

munosabat o'rinli bo'lsa, *interval arifmetika monotonlik xossasiga* (\subseteq amali bo'yicha) ega deyiladi.

1.1. Teorema. Agar $\mathbf{f}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n)$ chekli sondagi $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n$ interval o'zgaruvchilar hamda interval arifmetik amallar yordamida hosil qilingan ratsional ifoda bo'lsa, u holda barcha $x_i \in \mathbf{x}_i, i = 1, n$ uchun

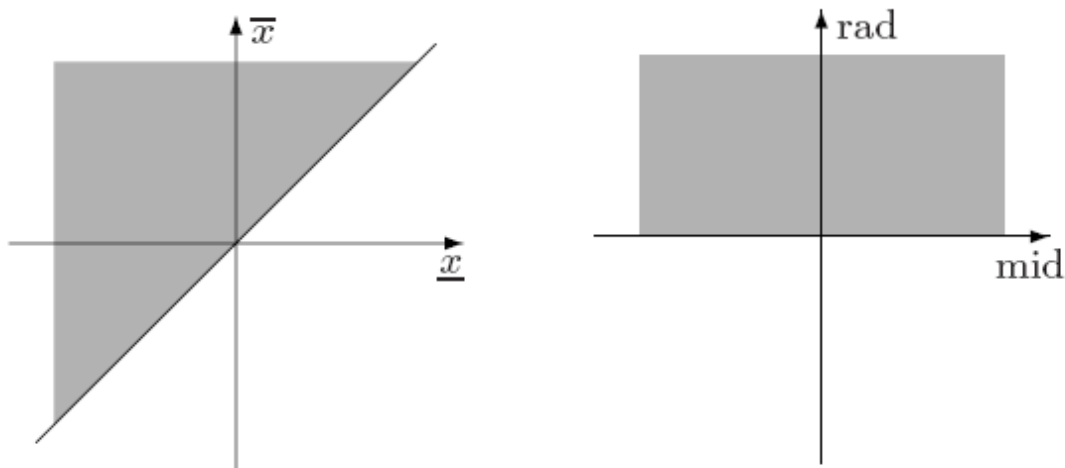
$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = F(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \subseteq \mathbf{f}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n),$$

munosabatlar o'rinli bo'ladi.

Yuqorida keltirilgan teorema interval analizda, *interval arifmetikaning asosiy (fundamental) teoremasi* deb ham yuritiladi.

Oldingi paragrafda intervallarni tasvirlashning ikki usuli, ya'ni uning chegaralari hamda o'rtasi va radiusi orqali ifodalanishi bilan tanishgan edik. Agar sonlar tekisligida shu tasvirlashlarni ifodalamoqchi bo'lsak, u holda quyidagi grafiklarga ega bo'lamiz:



1.1-rasm. Interval tekisliklar

Bu grafiklardan ko'rinib turibdiki, \mathbb{R} ni koordinatalar tekisligida tasvirlaganimizda, interval tekisliklar (ikkala holda ham) to'laligicha foydalanilmay qolayapti, uning yarmisi foydalaniladi. Bu cheklashlar klassik interval arifmetikaning takomillashgan ko'rinishlarida, masalan, kengaytirilgan Kauxer arifmetikasida [33] ma'lum bir manoda yo'qotiladi.

1.2.4. Kompleks intervallar va ular ustida arifmetik amallar

Haqiqiy sonlar to'plami - \mathbb{R} dan farqli o'laroq kompleks sonlar to'plami - \mathbb{C} «ikki o'lchovli» to'plamdir. Shuning uchun bu to'plamda intervallarni bir necha usullarda tasvirlash mumkin.

To'g'ri to'rtburchaklar va kompleks tekisligining aylanalari - eng ko'p qo'llaniladigan kompleks intervallar hisoblanadi. $a, b, c \in \mathbb{R}$ intervallar uchun to'g'ri to'rtburchakli kompleks interval - $\mathbf{a} + i\mathbf{b}$ deb kompleks tekislikning quyidagicha aniqlanadigan

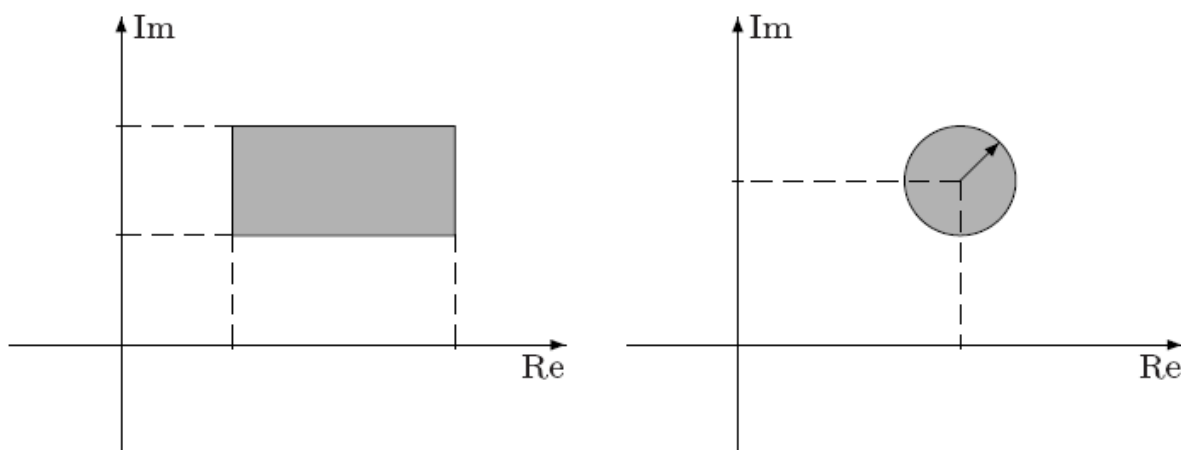
$$\{z = a + ib \in \mathbb{C} \mid a \in \mathbf{a}, b \in \mathbf{b}\}$$

to'plamiga aytiladi. Bundan keyingi bayonimizda to'g'ri to'rtburchakli kompleks intervalni oddiygina qilib *kompleks interval* deb ataymiz.

Kompleks tekisligining quyidagicha

$$\{z \in \mathbb{C} \mid |z - c| \leq r\}$$

aniqlanadigan to'plamiga esa *doiraviy kompleks interval* deb ataladi va $\langle c, r \rangle$ kabi belgilanadi. Bundan $c \in \mathbb{C}$, $r \in \mathbb{R}$ va $r \geq 0$.



1.2-rasm. To‘gri to‘rtburchakli vadoiraviy kompleks intervallar

Quyidagicha belgilash kiritib olamiz: \mathbb{IC}_{rect} - barchato‘g‘rito‘rtburchaklikompleks intervallar to‘plami; \mathbb{IC}_{circ} - barchadoiraviy kompleks intervallar to‘plami. Agar matnning mazmunidan ikkala to‘plamga ham tegishli arifmetik amallar ustida so‘z yuritilsa, u holda kompleks intervallar to‘plamini qisqacha qilib \mathbb{IC} deb belgilaymiz.

1.5.Ta‘rif. $z \in \mathbb{IC}$ kompleks intervalning absolyut qiymati deb, $|z| = \max\{|z| \mid z \in \mathbf{z}\}$ munosabat bilan aniqlanuvchi kattalikkaaytiladi.

$z = \mathbf{a} + i\mathbf{b}$ formula bilan aniqlanadigan kompleks interval uchun u $|z| = \sqrt{|\mathbf{a}|^2 + |\mathbf{b}|^2}$ ga teng, $\mathbf{z} = \langle c, r \rangle$ doiraviy kompleks interval uchun esa uning qiymati $|z| = |c| + r$ bilan ifodalanadi.

Kompleks intervallar ustida arifmetik amallar quyidagicha aniqlanadi:

$$(\mathbf{a}_1 + i\mathbf{b}_1) + (\mathbf{a}_2 + i\mathbf{b}_2) = (\mathbf{a}_1 + \mathbf{a}_2) + i(\mathbf{b}_1 + \mathbf{b}_2),$$

$$(\mathbf{a}_1 + i\mathbf{b}_1) - (\mathbf{a}_2 + i\mathbf{b}_2) = (\mathbf{a}_1 - \mathbf{a}_2) + i(\mathbf{b}_1 - \mathbf{b}_2),$$

$$(\mathbf{a}_1 + i\mathbf{b}_1) * (\mathbf{a}_2 + i\mathbf{b}_2) = (\mathbf{a}_1\mathbf{a}_2 - \mathbf{b}_1\mathbf{b}_2) + i(\mathbf{a}_1\mathbf{b}_2 + \mathbf{a}_2\mathbf{b}_1),$$

$$(\mathbf{a}_1 + i\mathbf{b}_1) : (\mathbf{a}_2 + i\mathbf{b}_2) = \frac{1}{|\mathbf{a}_2 + i\mathbf{b}_2|^2} ((\mathbf{a}_1\mathbf{a}_2 + \mathbf{b}_1\mathbf{b}_2) + i(\mathbf{a}_2\mathbf{b}_1 - \mathbf{a}_1\mathbf{b}_2)) =$$

$$= \frac{1}{|\mathbf{a}_2|^2 + |\mathbf{b}_2|^2} ((\mathbf{a}_1\mathbf{a}_2 + \mathbf{b}_1\mathbf{b}_2) + i(\mathbf{a}_2\mathbf{b}_1 - \mathbf{a}_1\mathbf{b}_2)).$$

Bunda bo‘lish amalida $0 \notin (\mathbf{a} + i\mathbf{b})$.

Doiraviy kompleks intervallar uchun arifmetik amallar quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned} \langle c_1, r_1 \rangle + \langle c_2, r_2 \rangle &= \langle c_1 + c_2, r_1 + r_2 \rangle, \\ \langle c_1, r_1 \rangle - \langle c_2, r_2 \rangle &= \langle c_1 - c_2, r_1 + r_2 \rangle, \\ \langle c_1, r_1 \rangle * \langle c_2, r_2 \rangle &= \langle c_1 c_2, |c_1| r_2 + |c_2| r_1 + r_1 r_2 \rangle, \\ \frac{1}{\langle c, r \rangle} &= \left\langle \frac{c^*}{|c|^2 - r^2}, \frac{r}{|c|^2 - r^2} \right\rangle, \\ \langle c_1, r_1 \rangle : \langle c_2, r_2 \rangle &= \langle c_1, r_1 \rangle * \frac{1}{\langle c_2, r_2 \rangle}. \end{aligned}$$

Bu yerda $c^* - c$ kompleks songa qo'shma sonidir.

Kompleks intervallar arifmetikasining algebraik xossalari.

Interval kompleks $u, v, \omega \in \mathbb{IC}$ sonlar uchun quyidagilar o'rinli:

1. $u + v = v + u$,
2. $(u + v) + \omega = u + (v + \omega)$,
3. $u \cdot v = v \cdot u$,
4. $u(v + \omega) \subseteq uv + u\omega$.

Shuni ta'kidlash kerakki, kompleks intervallar arifmetikasida ko'paytirish amali assotiativlik xossasini saqlamaydi. Masalan, $u = ([1, 2] + i)$, $v = (1 + i)$ va $\omega = (1 + i)$ intervallar uchun

$$(uv)\omega = ([0, 1] + i[2, 3]) * (1 + i) = [-3, -1] + i[2, 4],$$

$$u(v\omega) = ([1, 2] + i) * 2i = -2 + i[2, 4].$$

Buning sababi shundaki, distributivlik xossasi \mathbb{IC} da hamma vaqt bajarilmaydi. Ammo doiraviy kompleks intervallar arifmetikasida esa distributivlik xossasi bajariladi:

$$(uv)\omega = u(v\omega), \quad u, v, \omega \in \mathbb{IC}_{circ}.$$

Kompleks intervallar arifmetikasining monotonlik xossasi.

Kompleks interval arifmetika monotonlik xossasiga ega, ya'ni har qanday $u, v \in \mathbb{IC}$ ntervallar hamda $*$ $\in \{+, -, *, /\}$ arifmetik amallar uchun

$$u \subseteq u', v \subseteq v' \Rightarrow u * v \subseteq u' + v'$$

munosabat o'rinlidir.

Haqiqiy intervallar to'plamida bu munosabatning bajarilishini tekshirish hech qanday qiyinchilik tug'dirmaydi. Doiraviy kompleks intervallar uchun bu munosabatning bajarilishi oshkor ko'rinmaydi va maxsus shakl almashtirishlarni talab qiladi.

Kompleks intervallar arifmetikasida interval arifmetikaning asosiy teoremasi.

Teorema 1.2. Agar kompleks ratsional funksiya $f(z_1, z_2, \dots, z_n)$ da z_1, z_2, \dots, z_n kompleks miqdorlar, mos ravishda $\mathbf{z}_1, \mathbf{z}_2, \dots, \mathbf{z}_n$ interval kompleks miqdorlar hamda ular ustida bajariladigan arifmetika esa kompleks interval arifmetika bilan almashtirilib, $\mathbf{f}(\mathbf{z}_1, \mathbf{z}_2, \dots, \mathbf{z}_n)$ - kompleks qiymatli interval funksiya hosil qilingan bo'lsa, u holda

$$\{f(z_1, \dots, z_n) \mid z_1 \in \mathbf{z}_1, \dots, z_n \in \mathbf{z}_n\} \subseteq \mathbf{f}(\mathbf{z}_1, \mathbf{z}_2, \dots, \mathbf{z}_n), \mathbf{z}_1, \mathbf{z}_2, \dots, \mathbf{z}_n \in \mathbb{IC}$$

munosabat hamma vaqt o'rinli bo'ladi, ya'ni, $(\mathbf{z}_1, \mathbf{z}_2, \dots, \mathbf{z}_n)$ da $\mathbf{f}(\mathbf{z}_1, \mathbf{z}_2, \dots, \mathbf{z}_n) - f(z_1, z_2, \dots, z_n)$ funksiyaning qiymatlar to'plamini o'z ichiga oladi.

Bu teoremaning isboti haqiqiy intervallar arifmetikasidagi kabi amalga oshiriladi.

Ushbu paragraf Interval analizga kirishni nazarda tutadi, unda interval analiz rivojlanishining qisqacha tarixi, haqiqiy va kompleks interval sonlar va ularning xarakteristik xossalari, interval arifmetik amallar, interval hisoblashlarning zaruriyligi aniq misollar asosida ko'rib chiqildi. Shuningdek, klassik interval arifmetika va uning algebraik xossalari, kompleks intervallar to'plami to'g'ri to'rtburchakli va doiraviy turlari bo'yicha alohida tavsiflandi. Interval arifmetika, interval analizning fundamental tushunchasi hisoblanadi va masalalarning qo'yilishiga qarab mos interval arifmetika masalani yechish jarayoniga tadbiiq etiladi. Interval arifmetika turlari va ularining xossalari batafsil tahlil qilinishiga – ishlab chiqiladigan dasturiy majmuaning “*ko'p arifmetikalik*” tizim ekanligi sabab bo'ldi.

1.3. Noravshan mantiq

Keng tarqalgan ta'riflarga ko'ra mantiq mulohazalar usullarini tahlil qilishdir. Shu usullarni o'rganish asosida, mantiq birinchi navbatda u yoki bu mulohazalarning mazmuni bilan emas, shakli bilan qiziqadi. Alohida yo'llanma va xulosalarning chin yoki yolg'onligi mantiqni qiziqitirmaydi. Uni yo'llanmalarning chinligidan xulosaning chinligi kelib chiqish yoki chiqmasligi qiziqtiradi. Mulohaza qilishning to'g'ri usullarini tizimli shakllantirish va kataloglashtirish- mantiqning asosiy masalalaridan biri [8-10].

Mantiqda sodda mulohazalardan ularni har xil yo'l bilan birlashtirish orqali yangi, murakkabroq mulohazalarni tuzish mumkin. Kelgusida biz yangi mulohazalarning chin yoki yolg'onligi tashkil etuvchi mulohazalarning chin yoki yolg'onligiga qarab aniqlanuvchi chin-funksional kombinatsiyalarni ko'rib chiqamiz xolos.

Mulohazalar ustidagi eng sodda amallardan biri inkordir. Masalan, agar A mulohaza bo'lsa, u holda A ning inkori $\neg A$ ko'rinishda belgilanib, "A emas" deb o'qiladi.

Mulohazalar ustidagi boshqa chin-funksional amal konyunksiya VA bo'lib, $A \& B$ orqali belgilanadi. Mulohaza A va B mulohazalarning ikkalasi ham chin bo'lgandagina chin bo'ladi. A va B mulohazalar $A \& B$ konyunksiyaning konyunktiv hadlari deyiladi.

A va B mulohazalar ustidagi dizyunksiya amali YOKI bog'lovchisiga mos bo'lib, $A \vee B$ orqali belgilanadi. Oddiy tilda YOKI bog'lovchisi ikkita: ajratuvchi va birlashtiruvchi ma'noda qo'llaniladi. Dizyunksiya amalida YOKI bog'lovchisi birlashtiruvchi ma'noga ega.

Keyingi muhim chin-funksional amal natijaviylikdir: AGAR A BO'LSA U HOLDA B . Bu mulohaza A yo'llanma rost, B xulosa esa yolg'on bo'lganda yolg'on bo'ladi. AGAR A U HOLDA B ning belgilanishi quyidagicha: $A \supset B$. Bu ifoda implikasiya deyiladi.

"A faqat va faqat B bo'lganda" ifodasi $A \equiv B$ orqali belgilanadi. Bunday ifoda ekvivalentlik deyiladi. Demak, $A \equiv B$ A va B bir xil chinlik qiymatiga ega bo'lganidagina rost bo'ladi.

Quyida mulohazalar ustidagi ushbu amallarning chinlik jadvali keltirilgan:

A	B	$\neg A$	$A \& B$	$A \vee B$	$A \supset B$	$A \equiv B$
R	R	Y	R	R	R	R
Y	R	R	Y	R	R	Y
R	Y	Y	Y	R	Y	Y
Y	Y	R	Y	Y	R	R

$\neg, \&, \vee, \supset, \equiv$ belgilar propozitsional bog'lovchilar deyiladi. Ushbu bog'lovchilar yordamida qurilgan har qanday mulohaza tashkil etuvchi mulohazalarning chinligiga bog'liq bo'lgan ma'lum bir rost qiymatga ega. A,B,C va h.k proporzitsional harflardan proporzitsional bog'lovchilar yordamida qurilgan ifodaga propozitsional shakl deyiladi.

Har qanday propozitsional shakl ma'lum bir rost funksiyani aniqlaydi va shu proporzitsional shaklning chinlik funksiyasi orqali tasvirlanishi mumkin. n argumentlardan iborat rost funksiya deb rost qiymatlar qabul qiluvchi R(rost) va Y(yolg'on) qiymatlarni argumentlar huddi shu qiymatlarni qabul qilganda qabul qiluvchi har qanday n ta argumentli funksiyaga aytiladi. Propozitsional harflarning qanday qiymat qabul qilishiga qaramay rost bo'ladigan propozitsion shakl tautologiya deyiladi. Propozitsion shakl mos chinlik funksiyasi faqatgina R qiymat qabul qilganidagina tautologiya bo'ladi. Masalan, quyidagi mulohazalar proporzitsional tautologiyalardir:

- 1) $\neg(A \& \neg A)$ - ziddiyatni inkor etish qonuni;
- 2) $((A \vee B) \rightarrow (\neg A \rightarrow B))$ va $(\neg B \rightarrow A)$ - dizyunksiyalarni inkor va implikasiya orqali ifodalash;
- 3) $((A \rightarrow B) \& A) \rightarrow B$.

O'z navbatida, propozitsional harflarning barcha qiymatlarida yolg'on bo'lgan propozitsional shaklni ziddiyat deb atashadi, masalan $(A \equiv \neg A)$ yoki $(A \& (\neg A))$ propozitsional shakl.

Shuni qayd etish joizki, implikasiya ajratish(modus—ponens) qoidasi deb ataluvchi muhim xossaga ega: AGAR $(A \rightarrow B)$ rost va A rost bo'lsa U HOLDA B rost. Bu qoidaning boshqacha qilib gipotetik sillogizmning birinchi shakli deb atashadi. Sillogizm deganda bitta mulohaza qolgan ikkitasining zarurati bo'lgan deduktiv mulohaza tushuniladi. Bu xossa, yuqorida qayd etilganidek, murakkab texnologik jarayonlarni modellashtirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Hozirgacha binar(bull) mantiq ko'rib kelindi. Mantiqlar mulohazalarning asosi tariqasida uchta tashkil etuvchisi: chinlik qiymati; operatorlar; chiqarish proseduralari bilan farq qiladi.

1.6-ta'rif. Noravshan mantiq. Noravshan mantiq nazariy-to'plamli ko'p qiymatli mantiqning kengaytmasi bo'lib, undagi chinlik qiymati lingvistik o'zgaruvchi bo'ladi [10].

Noravshan mantiqda $\vee, \neg, \wedge, \Rightarrow$ amallar ham chinlik jadvalidan foydalangan holda aniqlanganligi tufayli, Zadening kengaytma tamoyilini qo'llash natijasida ushbu operatorlar chiqariladi.

Ushbu mantiqdagi chinlik fazosi $[0,1]$ haqiqiy oraliqdan iboratdir. Ko'p qiymatli yoki noravshan deb ataluvchi ushbu mantiq noravshan to'plamlar nazariyasiga asoslanadi. Shu ko'p qiymatli mantiqning semantik chinlik funksiyasini aniqlaymiz. P mulohaza, $\vee(P)$ -esa uning chinlik qiymati bo'lsin, bunda $\vee(P) \in [0,1]$.

P mulohazaga nisbatan inkor qiymati quyidagicha aniqlanadi:
 $\vee(\neg P) = 1 - \vee(P)$. Demak, $\vee(\neg\neg P) = \vee(P)$.

\rightarrow implikatsiya-bog'lovchisi har doim quyidagi tarzda aniqlanadi:

$$\vee(P \rightarrow Q) = \vee(\neg P \vee Q)$$

Ekvivalentlik esa

$$\vee(P \leftrightarrow Q) = \vee[P \rightarrow Q \wedge (Q \rightarrow P)].$$

Ajratuvchi dizyunksiya, inkorlar dizyunksiyasi yoki Sheffer chizig'i $/$, inkorlar konyunksiyasi \downarrow va \rightarrow (umumiy nomga ega emas) mos ravishda \leftrightarrow ekvivalentlik, \wedge konyunksiya, \vee dizyunksiya va \rightarrow implikatsiyalarning inkoridir. Tautologiya va ziddiyat mos ravishda quyidagicha bo'ladi:

$$\vee(\dot{P}) = \vee(P \vee \neg P); \quad \vee(\dot{P}) = \vee(P \wedge \neg P).$$

Umumiyroq tarzda esa:

$$\vee(\dot{P}Q) = \vee((P \vee \neg P) \vee (Q \vee \neg Q)); \quad \vee(PQ) = \vee((P \wedge \neg P) \wedge (Q \wedge \neg Q)).$$

Ikkita asosiy noravshan to'plamlar nazariyalarida noravshan mantiqning asosiy bog'lovchilarini aniqlaymiz.

$(\mathfrak{R}(x), \cup, \cap, -)$ ga asoslangan mantiq. Bunday holatda dizyunksiya va konyunksiya quyidagicha aniqlanadi:

$$\vee(P \vee Q) = \max(\vee(P), \vee(Q)); \quad \vee(P \wedge Q) = \min(\vee(P), \vee(Q)).$$

Ma'lumki, \wedge va \vee - kommutativ, assotsiativ, idempotent, distributiv, uchinchi inkor etish qoidasini qanoatlantirmaydi, ya'ni va $\vee(P \wedge \neg P) \neq 0$, lekin yutilish qonuni

$$(\vee((P) \vee (P \wedge Q))) = \vee(P); \quad (\vee((P) \wedge (P \vee Q))) = \vee(P),$$

hamda De-Morgan qonunlari

$\vee(\neg(P \wedge Q)) = \vee(\neg P \vee \neg Q)$; $\vee(\neg(P \vee Q)) = \vee(\neg P \wedge \neg Q)$ ni qanoatlantiradi.

Dizyunksiyani inkor etish qoidasi

$$\vee[(\neg P \wedge Q) \vee (P \wedge \neg Q)] = \vee[(P \vee Q) \wedge (\neg P \vee \neg Q)].$$

Quyida 16 ta bog'lovchiga nisbatan ifodalar keltirilgan:

PQ	$\dot{P}Q$	$P \vee Q$	$Q \rightarrow P$	P
pq	$\max(p, 1-p, q, 1-q)$	$\max(p, q)$	$\max(p, 1-q)$	p
PQ	$P \rightarrow Q$	Q	$P \leftrightarrow Q$	$P \wedge Q$
pq	$\max(1-p, q)$	q	$\min(\max(1-p, q), \max(p, 1-q))$	$\min(p, q)$
PQ	P/Q	$P \times Q$	$\neg Q$	$Q \leftrightarrow P$
pq	$\max(1-p, 1-q)$	$\max(\min(1-p, q), pQ \min(p, 1-q))$	1-q	$\min(p, 1-q)$
PQ	$\neg P$	$P \approx \rightarrow Q$	$P \downarrow Q$	$\dot{P}Q$
pq	1-p	$\min(1-p, q)$	$\min(1-p, 1-q)$	$\min(p, 1-p, q, 1-q)$

Bu yerda $\vee(P) = p$ va $\vee(Q) = q$ deb olingan.

Mulohazalardagi kvantorlar:

$$\vee(\exists x P(x) = \sup(\vee P(x))); \quad \vee(\forall x P(x) = \inf(\vee P(x))),$$

Bu yerda x – mulohaza sohasining elementi.

$\tilde{\mathfrak{R}}(x), \cup, \cap, -$ ga asoslangan ko'p qiymatli mantiqni odatda K-standartli ketma-ket mantiq deb atashadi. Bu mantiqda bog'lovchilar quyidagi xossalarni qanoatlantiradilar:

Implikatsiya $\vee[P \rightarrow (Q \rightarrow R)] = \vee[(P \wedge Q) \rightarrow R]$;

Tavtologiya va ziddiyat

$$\vee(P \rightarrow P) = \vee(\dot{P}); \quad \vee(\dot{P} \rightarrow P) = \vee(P); \quad \vee(P \rightarrow \dot{P}) = \vee(\dot{P});$$

$$\vee(P \leftrightarrow P) = \vee(\dot{P}); \quad \vee(\dot{P} \rightarrow P) = \vee(\dot{P}); \quad \vee(P \rightarrow \dot{P}) = \vee(\neg P);$$

$$\vee(P \leftrightarrow \neg P) = \vee(\dot{P});$$

Sheffer va Pirs bog'lovchilari

$$\vee(\neg P) = \vee(P/P); \quad \vee(P \rightarrow Q) = \vee(P/(Q/Q)); \quad \vee(\dot{P}) = \vee(P/(P/P)).$$

[10] da ko'rsatilishicha, ko'p qiymatli mantiq mulohazalarning standart hisobi (kengaytma tamoyilining ma'nosida) ning tarqoqligidir (noravshanlik ma'nosida). Bu mantiqda har bir P mulohazaga $[0,1]$ dagi normallangan, noravshan to'plam mos qo'yiladi, ya'ni $\{\mu_p(0), \mu_p(1)\}$ juftlik

yolg'onlik va rostlik darajasi sifatida talqin etiladi. Mulohazalar standart hisobining mantiqiy bog'lovchilari chinlik funksionallari bo'lganligi, ya'ni funksiyalar ko'rinishida tasvirlanganligi uchun ularni tarqoqlashtirib yuborish mumkin. Shuni qayd etish joizki, berilgan mantiq birinchi bora Klin va Deynes tomonidan mustaqil tarzda taqdim etilgan.

$(\tilde{\vee}(x), \dot{\cup}, \dot{\cap}, -)$ **ga asoslangan mantiq**. Bunday holatda dizyunksiya va konyunksiya quyidagicha aniqlanadi:

$$\vee(P \dot{\vee} Q) = \min(1, \vee(P) + \vee(Q)); \quad \vee(P \wedge Q) = \max(0, \vee(P) + \vee(Q) - 1).$$

$\dot{\vee}$ va \wedge ham $-$ kommutativ, assotsiativ, idempotent emas, distributiv emasligi va

$$\vee(\neg(P \wedge Q)) = \vee(\neg P \dot{\vee} \neg Q);$$

qonunni, De-Morgan qonunini

$$\vee(\neg(P \dot{\vee} Q)) = \vee(\neg P \wedge \neg Q),$$

hamda uchinchini inkor etish qonunini qanoatlantirishi ravshan.

$$\vee(P \dot{\vee} \neg P) = 1, \quad \vee(P \wedge \neg P) = 0.$$

Quyida 16 ta bog'lovchining baholari berilgan:

PQ	$P \cdot Q$	$P \dot{\vee} Q$	$Q \Rightarrow P$	P
pq	1	$\min(1, 1+q)$	$\min(1, p+1-q)$	p
PQ	$P \Rightarrow Q$	Q	$P \leftrightarrow Q$	$P \wedge Q$
pq	$\min(1, 1-p+q)$	q	$1- p-q $	$\max(0, p+q-1)$
PQ	$P \parallel Q$	$P \text{ex} Q$	$\neg Q$	$Q \approx \Rightarrow P$
pq	$\min(1, 1-p+1-q)$	$ p-q $	$1-q$	$\max(0, p-q)$
PQ	$\neg P$	$P \approx \Rightarrow Q$	$P \downarrow \downarrow Q$	$\dot{P}Q$
pq	$1-p$	$\max(0, q-p)$	$\max(0, 1-p-q)$	0

Bu yerda $\vee, \rightarrow, \leftrightarrow, \wedge, /, \text{ex}, \Rightarrow, \downarrow$ lar mos ravishda $\dot{\vee}, \Rightarrow, \leftrightarrow, \wedge, \parallel, \text{ex}, \approx \Rightarrow, \downarrow \downarrow$ orqali belgilanadi. Tautologiya va ziddiyat quyidagi xossalarni qanoatlantiradi:

$$\begin{aligned} \vee(P \Rightarrow P) &= \vee(\dot{P}), & \vee(\dot{P} \Rightarrow P) &= \vee(P), & \vee(P \Rightarrow \dot{P}) &= \vee(\dot{P}), \\ \vee(P \leftrightarrow P) &= \vee(\dot{P}), & \vee(\dot{P} \Rightarrow \dot{P}) &= \vee(\dot{P}), & \vee(P \leftrightarrow \dot{P}) &= \vee(\neg P). \end{aligned}$$

Zadening belgilashlarida \Rightarrow implikasiya noravshan to'plamlarni oddiy kiritish, $\approx\Rightarrow$ simmetrik Δ va cheklangan \parallel ayirmalarga tog'ri keladi. Ushbu mantiq Lukasevich mantiqi nomi bilan mashhur edi (L).

Shuni qayd etish joizki, noravshan to'plamlarning ikkita nazariyasi va ular asosida qurilgan mantiqlar bugungi kunda ma'lum bo'lganlarning bir qismigina xolos. Shu asosda asosiy ma'lum bo'lgan ko'p qiymatli mantiqlarni semantik tahlil etish maqsadga muvofiq bo'lib, buni shu kabi mantiqlarni semantik tahlil etish uchun zarur bo'lgan noravshan "kuchli" to'plamlar nazariyasidagi ma'lumotlarni bayon etishdan boshlash kerak.

A va B ravshan U universumning noravshan qism to'plamlari bo'lsin; noravshan to'plamlar nazariyasida $A \mu_A \leq \mu_B$, T.e. $\forall x \in U, \mu_A x \leq \mu_B x$ bo'lgandagina B ning qism to'plami bo'ladi deb fikr yuritish an'anaga aylandi.

1.7-ta'rif. Kuchli noravshan to'plam. Agar [10] noravshan implikasiya amali \rightarrow va U universumdan olingan B noravshan to'plam berilgan bo'lsa, u holda B dagi noravshan "kuchli" to'plam $\mathfrak{R}B$

$$\mu_{\mathfrak{R}B} A = \bigwedge_{x \in U} (\mu_A x \rightarrow \mu_B x).$$

Ko'rinishdagi $\mu_{\mathfrak{R}B}$ tegishlilik funksiyasi orqali beriladi.

U holda A B ning qism to'plam bo'lish darjasi

$$\pi(A \subseteq B) = \mu_{\mathfrak{R}B} A \text{ dir.}$$

1.8-ta'rif. Implikasiya amali. Agar [10] implikasiyaning noravshan operatori \rightarrow berk birlik oraliq $[0,1]$ da berilgan bo'lsa, u holda

$$a \leftarrow b, \quad b \rightarrow a,$$

$$a \leftrightarrow b = (a \rightarrow b) \wedge (a \leftarrow b) = (a \rightarrow b) \wedge (b \rightarrow a).$$

1.9-ta'rif. Noravshan to'plamlarning ekvivalentligi. 1.7 ta'rifning shartlariga ko'ra, A va B noravshan to'plamlarning ekvivalent bo'lish darajasi, yoki ularning "ekvivalentlik" darajasi

$$\pi(A \equiv B) = \pi(A \subseteq B) \wedge \pi(A \supseteq B);$$

$$\pi(A \equiv B) = \bigwedge_{x \in U} (\mu_A x \leftrightarrow \mu_B x)$$

ko'rinishga ega.

1.3.1. Noravshan implikatsiyalar

[8-10] da ko'rsatilishicha, amaliy maqsadlarda, ko'pgina hollarda mantiqiy o'zgaruvhilar $I=[0,1]$ haqiqiy oraliqni 10 ta qism oraliqqa bo'lgan holda, ya'ni $\vee_{10} [0,0.1,0.2,\dots,1]$ qism to'plamdan foydalangan holda, undagi qiymatlarni qabul qiluvchi ko'p qiymatli mantiqlar bilan ishlash maqsadga muvofiqdir.

[10] da keltirilgan tahlil etiluvchi mantiqlardagi implikatsiya amallari quyidagi ko'rinishga egadir:

1) $s^\#$ - mantiq:

$$a \xrightarrow{s^\#} b = \begin{cases} 1, & \text{agar } a \neq 1 \text{ yoki } b = 1; \\ 0, & \text{aksholda;} \end{cases}$$

2) S-mantiq («standart ketma-ketlik»):

$$a \xrightarrow{s} b = \begin{cases} 1, & \text{agar } a \leq b; \\ 0, & \text{aksholda;} \end{cases}$$

3) G-mantiq («Gedelinan ketma-ketlik»):

$$a \xrightarrow{s} b = \begin{cases} 1, & \text{agar } a \leq b; \\ b, & \text{aksholda;} \end{cases}$$

4) G43-mantiq:

$$a \xrightarrow{G43} b = \min(1, b/a) \quad a = 0 \text{ da, } a \xrightarrow{G43} b = 1 ;$$

5) L-mantiq, yoki muhokama qilib o'tilgan Lukasevich mantig'i:

$$a \xrightarrow{L} b = \min(1, 1 - a + b) ;$$

6) Yuqorida ko'rsatilgan KD-mantiq:

$$a \xrightarrow{KD} b = (1 - a) \vee b = \max(1 - a, b) .$$

O'z navbatida, berilgan kitobning keyingi boblarida muhokama etiladigan ALI 1 – ALI 3 –mantiqlar implikatsiyaning quyidagi amallari bilan xarakterlanadi [9-10]:

7) ALI 1-mantiq:

$$a \xrightarrow{ALI1} b = \begin{cases} 1 - a, & \text{agar } a < b; \\ 1, & \text{agar } a = b; \\ b, & \text{agar } a > b; \end{cases}$$

8) ALI 2 – mantiq:

$$a \xrightarrow{ALI2} b = \begin{cases} 1, & \text{agar } a \leq b; \\ (1 - a) \wedge b, & \text{agar } a > b; \end{cases}$$

9) ALI 3 - mantiq:

$$a \xrightarrow{ALI3} b = \begin{cases} 1, & \text{agar } a \leq b; \\ b/[a + (1-b)], & \text{aksholda.} \end{cases}$$

Implikasiya amallarini o'n bir qiymatli mantiqlarga implikativ o'tish jadvallari ko'rinishida tasvirlash qulay. S# - mantiqning bunday jadvali quyidagi ko'rinishga ega (gorizontal bo'yicha chegara ostida chiquvchi mantiqiy yo'llanmaning qiymatlari, vertikal bo'yicha-kiruvchining chinlik qiymati ajralib qoladi):

$\bar{s}^{\#}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

\bar{s}	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0,4	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
0,5	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
0,6	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
0,7	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

\bar{G}	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,2	0	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,3	0	0,1	0,2	1	1	1	1	1	1	1	1
0,4	0	0,1	0,2	0,3	1	1	1	1	1	1	1
0,5	0	0,1	0,2	0,3	0,4	1	1	1	1	1	1
0,6	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1	1	1	1	1
0,7	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	1	1	1	1
0,8	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1	1	1
0,9	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1
1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

\bar{G}_{43}	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,2	0	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,3	0	0,33	0,67	1	1	1	1	1	1	1	1
0,4	0	0,25	0,5	0,75	1	1	1	1	1	1	1
0,5	0	0,21	0,4	0,6	0,8	1	1	1	1	1	1
0,6	0	0,17	0,33	0,5	0,67	0,83	1	1	1	1	1
0,7	0	0,14	0,29	0,43	0,57	0,71	0,86	1	1	1	1
0,8	0	0,13	0,25	0,38	0,5	0,63	0,75	0,88	1	1	1
0,9	0	0,11	0,22	0,33	0,44	0,56	0,67	0,78	0,89	1	1
1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

\bar{L}	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,1	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,2	0,8	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,3	0,7	0,8	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1
0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1	1	1	1	1
0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1	1	1	1
0,6	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1	1	1
0,7	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1	1
0,8	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1
0,9	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1
1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

\overrightarrow{KD}	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1
0,2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	1
0,3	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	1
0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,8	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,9	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

$\overrightarrow{ALI1}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,1	0	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
0,2	0	0,1	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
0,3	0	0,1	0,2	1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
0,4	0	0,1	0,2	0,3	1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
0,5	0	0,1	0,2	0,3	0,4	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,6	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1	0,4	0,4	0,4	0,4
0,7	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	1	0,3	0,3	0,3
0,8	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1	0,2	0,2
0,9	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	0,1
1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

$\overrightarrow{ALI2}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,2	0	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,3	0	0,1	0,2	1	1	1	1	1	1	1	1
0,4	0	0,1	0,2	0,3	1	1	1	1	1	1	1
0,5	0	0,1	0,2	0,3	0,4	1	1	1	1	1	1
0,6	0	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	1	1	1	1	1
0,7	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	1	1	1	1
0,8	0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1	1	1
0,9	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

$\overline{ALI3}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,2	0	1/11	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,3	0	1/12	2/11	1	1	1	1	1	1	1	1
0,4	0	1/13	1/6	3/11	1	1	1	1	1	1	1
0,5	0	1/14	2/13	1/4	4/11	1	1	1	1	1	1
0,6	0	1/15	1/7	3/13	1/3	5/11	1	1	1	1	1
0,7	0	1/16	2/15	3/14	4/13	5/12	6/11	1	1	1	1
0,8	0	1/17	1/8	1/5	2/7	5/13	1/2	7/11	1	1	1
0,9	0	1/18	2/17	3/16	4/15	5/14	6/13	7/12	8/11	1	1
1	0	1/19	1/9	3/17	1/4	1/3	3/7	7/13	2/3	9/11	1

Taklif etilgan ALI1-ALI3 noravshan mantiqlar uchun ikkilamchi implikasiya amalini aniqlashning analitik ifodalarini yozib olamiz

$$a \leftrightarrow b = \begin{cases} 1-ka, & \text{agar } a < b; \\ 1, & \text{agar } a = b \\ 1-kb, & \text{agar } a > b; \end{cases}$$

$$a \leftrightarrow b = \begin{cases} 1, & \text{agar } a = b; \\ \min[(-a \wedge b), (-b \wedge a)], & \text{qolg an hollarda;} \\ 0, & \text{agar } (ka = 1) \vee (kb = 1); \end{cases}$$

$$a \rightarrow b = \begin{cases} 1, & \text{agar } a = b; \\ \min\left(\frac{a}{b + \neg a}; \frac{b}{a + \neg b}\right), & \text{qolg an hollarda;} \\ 0, & \text{agar } (a = 0) \vee (b = 0), \end{cases}$$

Bu yerda $ka = \max(a, 1-a)$.

1.10-ta'rif. Noravshan to'planning cho'qqisi. B noravshan to'planning cho'qqisi deb

$$hB = \bigvee_U \mu_B X$$

ga aytiladi [9].

1.11-ta'rif. Noravshan to'planning quyisi. B noravshan to'planning quyisi deb

$$pB = \bigwedge_U \mu_B X$$

ga aytiladi [8-9].

1.12-ta'rif. Noravshan to'planning ravshanligi.

$a \in v$ noravshanning ravshanligi deb $ka = a \vee (1-a)$ ko'rinishdagi ifodaga aytiladi. Noravshan B to'planning ravshanligi quyidagicha aniqlanadi

$$kB = \bigwedge_U k\mu_B X.$$

Kuchli noravshan to'plamlar nazariyasida qabul qilingan atamalardan foydalangan holda taklif etilgan noravshan mantiqlarga qisqa semantik tahlil keltirib o'tamiz. Ushbu maqsadda quyidagilarni shakllantiramiz.

1.13- ta'rif. (to'plamlarni kiritish imkonining darajasi). $\pi_i(A \subseteq B)$ ko'rinishdagi funksiyalarni ALI1-ALI3 noravshan mantiqlarda aniqlab olamiz [10].

$$1. \pi_1(A \subseteq B) = \begin{cases} 1 - \mu_A x, & \text{agar } \mu_A x < \mu_B x; \\ 1, & \text{agar } \mu_A x = \mu_B x; \\ \mu_B x, & \text{agar } \mu_A x > \mu_B x. \end{cases}$$

$$2. \pi_2(A \subseteq B) = \begin{cases} 1, & \text{agar } \mu_A x \leq \mu_B x; \\ (1 - \mu_A x) \wedge \mu_B x, & \text{agar } \mu_A x > \mu_B x. \end{cases}$$

$$3. \pi_3(A \subseteq B) = \begin{cases} 1, & \text{agar } \mu_A x \leq \mu_B x; \\ \frac{\mu_B x}{\mu_A x + (1 - \mu_B x)}, & \text{agar } \mu_A x > \mu_B x. \end{cases}$$

ALI1 noravshan mantiqqa nisbatan $\mu_A x = 0$ yoki $A = \emptyset$ bo'lgandagina ravshan kiritishni amalga oshirish mumkin. Kelgusida to'plamlarning ekvivalentlik masalasini ko'rib chiqamiz.

1.14- ta'rif. (to'plamlar ekvivalent bo'la olish darajasi). Bu yerda $T = \{x \in U / \mu_A x \neq \mu_B x\}$ to'plam va $A=B \forall x$ da $\mu_A x = \mu_B x$ bo'lishini, yoki boshqa so'z bilan aytganda $T = \emptyset$ ekanligini anglatadi [10].

$$1. \pi_1(A \equiv B) = \begin{cases} 1 - [(1 - \mu_A x) \vee \mu_A x], & \text{agar } \mu_A x < \mu_B x; \\ 1, & \text{agar } \mu_A x = \mu_B x; \\ 1 - [(1 - \mu_B x) \vee \mu_B x], & \text{agar } \mu_A x > \mu_B x. \end{cases}$$

$$2. \pi_2(A \equiv B) = \begin{cases} 1, & \text{agar } A = B; \\ T\{(1 - \mu_A x) \wedge \mu_B x, [(1 - \mu_B x) \wedge \mu_A x]\}, & \text{agar } A \neq B; \\ 0, & \text{agar } \exists x \parallel \mu_A x = 0, \mu_B x \neq 0 \text{ (yokiak sin cha)} \\ \text{shuningdek } \exists x \parallel \mu_A x = 1, \mu_B x \neq 1 \text{ (yokiak sin cha)}. \end{cases}$$

$$3. \pi_3(A \equiv B) = \begin{cases} 1, & \text{agar } A = B; \\ T\left[\frac{\mu_A x}{\mu_B x + (1 - \mu_A x)}, \frac{\mu_B x}{\mu_A x + (1 - \mu_B x)}\right], & \\ \text{aksholda} & \\ 0, & \text{agar } \exists x \parallel \mu_A x = 0, \text{ lekin } \mu_B x \neq 0 \\ & \text{(yokiak sin cha)}. \end{cases}$$

\parallel belgisi “singari” degan ma’noni bildiradi.

$\pi_i(A \equiv B)$ ifodalardan kelib chiqadiki, uchala noravshan mantiqlarga nisbatan $\pi_i(A \equiv B) = 1$ ekvivalentlik imkoni to’plamlarning haqiqiy ekvivalentligida, ya’ni $A=B$ da o’rinli bo’ladi. Ekvivalentlik imkoni mulohazalardan biri ravshan, ya’ni rost, yoki yolg’on, boshqasi noravshan bo’lganida 0 ga teng bo’ladi.

1.15-ta’rif. (B noravshan to’planning boshlik darajasi). Ta’rifdagi $B = \emptyset \forall x \mu_B x = 0$ yoki ekvivalent ravishda $hB=0$ ekanligini anglatadi.

$$1. \pi_1(B \equiv \emptyset) = \begin{cases} 1, & \text{agar } B = \emptyset; \\ 0, & \text{aksholda.} \end{cases}$$

$$2. \pi_2(B \equiv \emptyset) = \begin{cases} 1, & \text{agar } hB < 1 \text{ yoki } B = \emptyset; \\ 0, & \text{aksholda.} \end{cases}$$

$$3. \pi_3(B \equiv \emptyset) = \begin{cases} 1, & \text{agar } B = \emptyset; \\ 0, & \text{aksholda.} \end{cases}$$

Noravshan to’plamlarning mos emaslik tushunchasini kiritamiz.

“Mos kelmaslikning” ikkita turi mavjud: birinchi tur to’plamlardan biri A ikkinchisi kengaytmasining B^c qism to’plam bo’lish darajasi bilan aniqlanadi; ikkinchi tur- to’plamlari kesishmasining bo’sh bo’lish darajasi, shuning uchun quyidagini bayon etamiz.

1.16-ta'rif. (A va B to'plamlarning mos bo'lmaslik darajasi A va B larning mos kelmaslik darajasidir) [8-10].

$$\pi(\text{Adisj}_1 B) = \pi(A \subseteq B^c) \wedge \pi(B \subseteq A^c), \quad (1.21)$$

$$\pi(\text{Adisj}_2 B) = \pi(A \cap B) = \emptyset. \quad (1.22)$$

$T = \{x \mid \mu_A x > 1 - \mu_B x\}$ da birinchi turdagi mos kelmaslikni ko'rib chiqamiz:

$$1. \pi_1(\text{Adisj}_1 B) = \begin{cases} 1, & \text{agar } \exists x \mid \mu_A x = 1 - \mu_B x; \\ (1 - \mu_A x) \wedge (1 - \mu_B x), & \text{qolg an hollarda;} \\ 0, & \text{hechqachon.} \end{cases}$$

$$2. \pi_2(\text{Adisj}_1 B) = \begin{cases} 1, & \text{agar } \mu_A x \leq 1 - \mu_B x; \\ T[(1 - \mu_A x), (1 - \mu_B x)], & \text{qolg an hollarda;} \\ 0, & \text{agar } \exists x \mid \mu_A x = 1, \text{ lekin } \mu_B x \neq 0 \\ & \text{yoki } \mu_B x = 1, \text{ lekin } \mu_A x \neq 0. \end{cases} \quad (1.23)$$

$$3. \pi_3(\text{Adisj}_1 B) = \begin{cases} 1, & \text{agar } \mu_A x = \mu_B x \text{ agar } \mu_B x = 0; \\ T\left(\frac{1 - \mu_B x}{\mu_A x + (1 - \mu_B x)}, \frac{1 - \mu_B x}{\mu_B x + (1 - \mu_A x)}\right), & \\ \text{aksholda} & \\ 0, & \text{hechqachon.} \end{cases}$$

Mos kelmaslik darajasi ALI2 noravshan mantiqqa nisbatangina 0 ga teng bo'lishi mumkin, bunda zaruriy shart ko'rilyotgan noravshan to'plamlardan biri subnormal bo'lganida, boshqasi normal bo'lishidir.

1.17-ta'rif. (To'plam o'z kengaytmasining qism to'plami bo'lish darajasi). Ko'rilyotgan tizimlarga nisbatan $\pi_i(A \subseteq A^c)$ quyidagi ko'rinishda bo'ladi [10]:

$$1. \pi_1(A \subseteq A^c) = \begin{cases} 1, & \text{agar } hA = 0; \\ 0, & \text{agar } hA = 1; \\ 1 - hA, & \text{qolg an hollarda.} \end{cases}$$

$$2. \pi_2(A \subseteq A^c) = \begin{cases} 1, & \text{agar } hA \leq 0,5; \\ 0, & \text{agar } hA = 1; \\ 1 - hA, & \text{qolg an hollarda.} \end{cases}$$

$$3. \pi_3(A \subseteq A^c) = \begin{cases} 1, & \text{agar } hA \leq 0,5; \\ 0, & \text{agar } hA = 1; \\ 1 - hA/(2hA), & \text{qolg an hollarda.} \end{cases}$$

ALI1 noravshan mantiqda to'plam o'z kengaytmasining qism to'plami bo'lish darajasi bu to'plam bo'sh bo'lish darajasiga tengdir. Shuni qayd etish joizki, [5-10] da olib borilgan semantik tahlil, hamda yuqorida o'tkazilgan tahlil ham ALI1 va KD noravshan mantiqlar xossalaridagi katta oxshashlikni ko'rsatib turadi. Lekin quyida ko'rsatilishicha, noravshan ALI1 mantiq KD-mantiqqa nisbatan noravshan shartli chiqarish qoidalarini shakllantirish va turli xil texnologik jarayonlarni modellashtirish paytida muvaffaqiyatli qo'llash imkonini beruvchi bir qator ustuvorliklarga ega.

1.3.2. Noravshan lingvistik modellashtirish

Noravshan to'plamlar murakkab nochiqli, noaniq obyektlarni modellashtirish va funksiyalarni approksimatsiyalashda keng qo'llaniladi [8-10]. Noravshan modellashtirish g'oyasi shundan iboratki, obyekt parametrlari o'rtasidagi matematik bog'lanish odatda lingvistik qoidalarning atamaları bilan ifodalanuvchi sifatli munosabatlar bilan almashtiriladi.

1.18-ta'rif. Noravshan modellashtirish. Noravshan modellashtirish - tizim tavsiflarini noravshan qoidalardan foydalangan holda ta'riflash usulidir. Noravshan modellar asosan uchta sinfga ajratiladi:

- lingvistik noravshan modellar;
- noravshan relyasion modellar;
- Sugeno-Takagi-Kang (TSK) modellari.

Noravshan modellarni qurish

1) tuzilmani;

2) parametrlarni obyektning kiruvchi va chiquvchi ma'lumotlaridan foydalangan holda aniqlashtirishga olib kelinadi.

Ko'p kirishli (n) va ko'p chiqishli obyektlar yoki tizimlarga nisbatan lingvistik noravshan modellarning (MIMO-model) tuzilmasi:

AGAR $X_1 A_{11}$ VA $X_2 A_{12}$ VA ... $X_n A_{1n}$ BO'LSA U HOLDA

$Y_1 B_{11}$ VA $Y_2 B_{12}$ VA ... $Y_m B_{1m}$ DIR

HAMDA

AGAR $X_1 A_{21}$ VA $X_2 A_{22}$ VA ... $X_n A_{2n}$ U HOLDA

$Y_1 B_{21}$ VA $Y_2 B_{22}$ VA ... $Y_m B_{2m}$ DIR (1.24)

.....

SHUNINGDEK

AGAR $X_1 A_{r1}$ VA $X_2 A_{r2}$ VA... $X_n A_{rn}$ BO'LSA U HOLDA
 $Y_1 B_{r1}$ VA $Y_2 B_{r2}$ VA ... $Y_m B_{rm}$ DIR.

Bitta kirishli (x) va bitta chiqishli (y) obyektlar uchun (SISO-model) model quyidagi shaklda redusiyanadi:

AGAR $X A_i$ BO'LSA U HOLDA B_i , $i = \overline{1, n}$. (1.25)

(1.24) va (1.25) noravshan modellarni noravshan graf, lingvistik qoidalar jadvali (look-up-table with interpolation) va kirish va chiqishlarning ixtiyoriy aklatirilishi (structure-free) ko'rinishida tuzilmaviy ta'riflash mumkin. (1.24) va (1.25) modellarni qurish quyidagi bosqichlarni o'z ichiga oladi:

1. Qoidalar sonini aniqlash. Kirishlar fazosi uchun ham, chiqishlar fazosi uchun ham noravshan klasteringni qo'llash kirish va chiqishlar fazolari bo'linuvchi noravshan tarmoqlar hosil bo'ladi. Bo'linishdan so'ng hosil bo'lgan noravshan tarmoqlar soni (1.24) yoki (1.25) modellardagi qoidalar sonini aniqlaydi.

2. Tegishlilik funksiyasini tanlash. Noravshan modellarni konstruksiyalashda qidiruvning asosiy parametrlari tegishlilik funksiyasining markazi va shakli (shape) dir. Bu parametrlar ko'pincha noravshan modellarni adaptasiyalash uchun ishlatiladi. Modellashtirilayotgan obyektning kirishlari va chiqishlari to'g'risidagi tajribaviy ma'lumotlarini qo'llab, (1.24) yoki (1.25) modellar lingvistik qoidalarining ham antesedent, ham konsekvent qismlarida qo'llab, nazariy jihatdan approksimatsiyaning ixtiyoriy aniqligiga erishish mumkin. Shuni qayd etish joizki, bu masalani yechishning to'g'ridan-to'g'ri usuli, ya'ni muqobil tegishlilik funksiyalar tanlovi yo'q. Oxirgi paytda bu muammo ko'pincha sonly muqobillashtirish, ta'lim muammosi sifatida qo'yiladi. Neyron texnika, genetik algoritmlardan foydalangan holda tegishlilik funksiyasining shunday parametrlari tanlanadiki, ular asosida modellarning aniqligi va to'g'riligi ta'minlanadi. Noravshan modellarning ko'rib chiqilgan turi yaxshi semantic impretatsiyalashuvga, modelning aniqligi va ishonchliligida muhim omil hisoblangan boshqariluvchi interpolyatsiyaga, evristikani umumlashuvga qo'shish imkoniyatiga ega bo'lishi kerak.

1.3.3. Munosabatning noravshan modeli

Noravshan relyatsion modelni qurish noma'lum noravshan R munosabatli relyatsion tenglamalar sistemasini yechish muammosi sifatida qaraladi:

$$B = A \circ R, \quad (1.26)$$

Bu yerda $A \in F(x)$ va $B \in F(y)$ - universumlar fazosida aniqlanuvchi noravshan to'plamlar va $R \in F(X * Y)$ - modellashtiriluvchi obyekt yoki sistemaning kirishlari va chiqishlari orasidagi munosabatni ifodalovchi karteziyan ko'paytma orqali aniqlanuvchi noravshan munosabat, \circ - kompozitsiyaning sup-min operatori.

(1.26) bilan berilgan noravshan tizimni identifikatsiyalash masalasi A_i va $B_i, i = \overline{1, n}$ noravshan tarmoqlar ko'rinishida tasvirlanuvchi kiruvchi va chiquvchi ma'lumotlar asosida R baholashga olib kelinadi.

$$R_i = A_i \circ R, \quad i = \overline{1, n}. \quad (1.27)$$

$i = \overline{1, n}$ ga nisbatan ushbu muammoning yechimi [10] da Sanches orqali quyidagi teorema ko'rinishida berilgan [10]:

1.3-teorema. Agar noravshan A va B to'plamlar (1.26) tenglamani qanoatlantirsa, eng katta noravshan R munosabat

$$B = A \circ R \quad \text{da} \quad R = A \alpha B \quad (1.28)$$

Ga teng bo'ladi, bu yerda α A va B ning α -kompozitsiyasini anglatadi.

R tegishlilik funksiyasi quyidagi munosabatlardan aniqlanadi:

$$\begin{aligned} R(x, y) &= 1, & \text{agar } A(x) \leq B(y) \\ R(x, y) &= Y(y), & \text{agar } A(x) > B(y) \end{aligned} \quad (1.29)$$

$n \geq 2$ da indentifikatsiya muammosi [8-10] da ko'rib chiqilgan. Istalgan R^* noravshan munosabat quyidagi formulaga asosan kelib chiqadi:

$$R^* = \bigcap_{i=1}^n R_i, \quad R_i = A_i \alpha B_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (1.30)$$

Quyidagi ikkita teorema (1.27) yechimlarning mavjudligini, ya'ni R[12] munosabatlarning olinishini kafolatlovchi yetarli va zaruriy shartlarini beradi.

1.4-teorema. Agar (1.27) sistema yechimga ega bo'lsa, u holda (1.30) munosabat (1.27) ning eng katta yechimi bo'ladi.

1.5-teorema. (1.27) sistema yechimga ega bo'lishining zaruriy va yetarli sharti

$$\forall i \forall y \exists x ((A_i(x) \geq B_i(y)) \wedge \forall j \neq i (B_j(y) < B_i(y) \rightarrow A_j(x) \leq B_j(y))) \quad \text{dir}$$

1.3.4. Sust shakllangan jarayonlarni baholashda ma'lumotlarni intellektual tahlil qilish masalalari

Noravshan shartli mulohazalar ko'rinishida ifodalanuvchi noravshan boshqaruv qoidalarining majmui qoidalar bazasi yoki NMN qoidalar majmuini hosil qiladi.

Ma'lumotlar bazasini loyihalashtirish uchun holat o'zgaruvchilari (kiruvchi parametrlari) va boshqaruv o'zgaruvchilari (chiquvchi o'zgaruvchilar) noravshan qoidalar turlarining manbaini aniqlashi kerak. Noravshan qoidalarini olishning 4 ta tartibi mavjud [7-10].

a) Boshqaruvning noravshan qoidalar holat o'zgaruvchilarini antesendetda va boshqaruv o'zgaruvchilarini konsekvntlarda o'lchovchi noravshan shartli mulohazalar shakliga ega.

Boshqaruvning noravshan qoidalarini shakllantirish ikkita evristik yondashuv orqali olib borilishi mumkin. Eng umumiyrog'i ekspertizaning shakllangan ko'rinishidan foydalanadi. Bunday shakllantirishning an'anaviy misoli texnologik jarayonni boshqarishning yo'riqnomalaridir. Boshqa yondashuv tajribali ekspertlarning so'rovi yoki sinchkovlik bilan tayyorlangan so'rovlarga asoslangan operatorlarni o'z ichiga oladi.

b) Operatorning boshqaruv amallari.

Berilgan holda noravshan qoidalar insonning boshqaruv faoliyati va kirish-chiqish aloqasini aniqlashdagi kuzatuvlardan keltirib chiqarilishi mumkin.

c) Jarayonning noravshan modeli.

Lingvistik yondashuvda boshqariluvchi jarayon dinamik tavsiflarining lingvistik ta'rifi jarayonning noravshan modeli sifatida qabul qilinishi mumkin. Noravshan modelga asoslangan holda biz dinamik tizimning muqobil funkcionallashuvini qo'llab-quvvatlovchi noravshan boshqaruv qoidalar tarmog'ini generasiyalashimiz mumkin.

d) Ta'limot.

O'z-o'zidan tashkil etiluvchi nazoratchilar [5-10] yordamida NMN ning bilimlar bazasini shakllantirish mumkin. Bunday nazoratchilar ikkita qoidalar bazasidan iborat ierarxik tuzilmaga ega. Birinchi baza - NMN qoidalarining umumiy qoidalar bazasi. Ikkinchisi butun tizimning funkcionallashuvi asosida umumiy qoidalar bazasini yaratish va o'zgartirishga ko'niktirishning insonga mos qobiliyatini namoyon qiladi.

Zamonaviy ta'limot yondashuvlari, xususan neuro-fuzzy, genetic yondashuvlar bilim olishga va NMN bilimlar bazasini muqobillashtirishga imkon beradi.

Tizimlarning NMN sini qurishda boshqarishning ikkita turdagi noravshan qoidalaridan foydalaniladi. Ko'pgina NMN larga nisbatan ko'p kirishli va bitta chiqishli tizimda qo'llaniluvchi noravshan qoidalarining ko'rinishi quyidagicha:

$$\begin{aligned}
 &\text{Agar } x_1 A_{11} \text{ va } x_2 A_{12} \dots \text{ va } x_n A_{1n} \text{ bo'lsa u holda } y B_1 \text{ bo'ladi} \\
 &\text{hamda} \\
 &\text{agar } x_1 A_{21} \text{ va } x_2 A_{22} \dots \text{ va } x_n A_{2n} \text{ bo'lsa u holda } y B_2 \text{ bo'ladi} \quad (1.31) \\
 &\dots \\
 &\dots \\
 &\text{hamda} \\
 &\text{agar } x_1 A_{m1} \text{ va } x_2 A_{m2} \dots \text{ va } x_n A_{mn} \text{ bo'lsa u holda } y B_m \text{ bo'ladi.}
 \end{aligned}$$

Bu yerda x_1, x_2, \dots, x_n jarayonning holat va boshqaruv o'zgaruvchilarini aks etuvchi lingvistik o'zgaruvchilar; A_{i1}, \dots, A_{in} va $B_i - x_1, x_2, \dots, x_n$ o'zgaruvchilarning mos ravishda U, V va W universumlardagi lingvistik qiymatlari.

Ko'pincha boshqaruv noravshan qoidalarining quyidagi shaklidan foydalaniladi (TSK-modeldan foydalangan holda):

$$R_i: \text{Agar } x_{i1} A_{i1} \text{ va } x_{in} A_{in} \text{ bo'lsa u holda } y = f_i(x_1, \dots, x_n). \quad (1.32)$$

Bunday turdagi noravshan boshqaruv qoidalari ko'pincha "holatni baholash asosida noravshan boshqaruv qoidalari" deb atalib, t vaqt momentidagi jarayon holati (masalan, holat, holat xatoligi, holatning integrali) ni $(x_1, x_2, \dots, x_n, y)$ funksiya va boshqaruv qoidalari sifatida baholaydi.

"Obyektni baholash asosida noravshan boshqaruv" yoki "predikativ noravshan boshqaruv" larda qo'llaniluvchi boshqa turdagi qoidalar quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$R_i: \text{Agar } (u C_i \rightarrow (x A_i \text{ va } y B_i \text{ bo'lsa u holda } u C_i \text{ dir})). \quad (1.33)$$

Boshqaruv buyrug'i zaruriy holat va maqsadlarni qanoatlantiruvchi noravshan boshqaruv natijalarini obyektiv baholashdan keltirib chiqariladi. u boshqaruv buyrug'i o'zining qiymati sifatida ravshan to'plamni qabul qiladi va x, y i -qoidani "yaxshi" yoki "yomon" qiymat yordamida baholashning sifat mezonlari hisoblanadi. Eng mos

boshqaruv qoidasi har bir boshqaruv qoidasi C_i ga mos (x,y) natijalarni bashoratlash asosida tanlanadi.

Chiqarish mexanizmi.

Noravshan nazoratchilarning yadrosi chiqarish mexanizmidir. Noravshan regulyatorlarning chiqarish mexanizmi noravshan implikasiyaga asoslanadi.

Uchburchaksimon norma. Uchburchaksimon norma $*$ - $[0,1]$ dagi $[0,1] \times [0,1]$ dan tarkib topgan ikki o'lchovli funksiya, ya'ni $*: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$, kesishma, algebraic ko'paytma, chegaralangan ko'paytma va qat'iy (drastic) ko'paytmani o'z ichiga oladi. Eng katta uchburchaksimon norma - kesishma, eng kichigi esa - qat'iy (drastic) ko'paytma. Uchburchaksimon normalar bilan bog'liq amallar barcha $x, y \in [0,1]$ lar uchun aniqlangan:

Kesishma:	$x \wedge y = \min(x, y).$
Algebraik ko'paytma:	$x \cdot y = xy.$
Chegaralangan ko'paytma:	$x \otimes y = \max\{0, x, y - 1\}.$
Qat'iy (drastic) ko'paytma:	$x \cap y = \begin{cases} x, & y = 1, \\ y, & x = 1, \\ 0, & x, y < 1. \end{cases}$

Uchburchaksimon konorma. Uchburchaksimon konorma $+$ - bu $[0,1]$ dan olingan $[0,1] \times [0,1]$ iborat uchburchaksimon konorma, ya'ni $+: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ kesishma, algebraic yig'indi, chegaralangan yig'indi, qat'iy (drastic) va dizyunktiv yig'indini o'z ichiga oladi. Uchburchaksimon konormalar bilan bog'liq barcha amallar barcha $x, y \in [0,1]$ lar uchun aniqlangan:

Birlashma:	$x \vee y = \max(x, y).$
Algebraik yig'indi:	$x \hat{+} y = x + y - xy.$
Chegaralangan yig'indi:	$x \oplus y = \min(1, x + y).$
Qat'iy (drastic) yig'indi:	$x \cup y = \begin{cases} x, & y = 0, \\ y, & x = 0, \\ 0, & x, y > 0. \end{cases}$
Dizyunktiv yig'indi:	$x \cap y = \max\{\min(x, 1 - y), \min(1 - x, y)\}.$

Uchburchak normalar taxminiy mulohazalarda konyunksiyalarni aniqlash uchun qo'llaniladi, ayni vaqtda uchburchaksimon konormalar dizyunksiyani aniqlash uchun xizmat qiladi.

Noravshan konyunksiya. Noravshan konyunksiya barcha $u \in U$ va $v \in V$ larga nisbatan

$$A \rightarrow B = A \times B = \int_{U \times V} \mu_A(u) * \mu_B(v) / (u, v)$$

yordamida aniqlanadi, bu yerda $*$ - uchburchaksimon normani aks etuvchi amaldir.

Noravshan dizyunksiya. Noravshan dizyunksiya barcha $u \in U$ va $v \in V$ larga nisbatan

$$A \rightarrow B = A \times B = \int_{U \times V} \mu_A(u) + \mu_B(v) / (u, v)$$

yordamida aniqlanadi, bu yerda $+$ - uchburchaksimon konormani akslantiruvchi operator.

Ifodalarni birlashtirish operatorlari “va”, “hamda”.

Ko'pgina NMN larda “va” bog'lovchisi qayd etilgan o'zgaruvchilar har xil universumlarda qiymat qabul qiluvchi karteziyan ko'paytma fazosida noravshan konyunksiya sifatida qo'llaniladi. Agar noravshan tizim boshqaruvning noravshan qoidalari to'plami bilan xarakterlansa, qoidalarning tartibi ahamiyatga ega emas. Shu tufayli, “hamda” bog'lovchisi kommutativlik va assotsiativlik xossalariga ega bo'lishi kerak.

Bu borada uchburchaksimon norma va konormalardagi operatorlar shu xossalarga ega bo'lib, “hamda” bog'lovchisini qayd etishda nomzod sifatida baholanadi. Umuman olganda, uchburchaksimon konormalarni noravshan konyunksiyalar va dizyunksiyalar bilan, uchburchaksimon normalarni esa noravshan implikasiya bilan birgalikda qo'llash maqsadga muvofiqdir.

Kompozitsiya operatori. Umumiy holda kompozitsiya operatori “sup-star” sifatida ifodalanishi mumkin, bu yerda “star” ma'lum bir qo'llanishga to'g'ri keluvchi min, ko'paytirish va h.k kabi operatorni ifodalaydi. Adabiyotda xulosaning kompozitsion qoidasiga nisbatan 4 turdagi kompozitsiya operatorlaridan foydalaniladi:

sup-min amali;

sup-ko'paytma amali ;

sup-chegaralangan ko'paytma amali;

sup-qat'iy ko'paytma amali.

Yuqorida bayon etilganlarni umumlashtirib, chiqarish mexanizmining amallar bosqichlari ketma-ketligini ifodalash mumkin [10].

1) Har bir kiruvchi o'zgaruvchining joriy ravshan qiymatini qoidalarining shartli qismlarida shu o'zgaruvchining tegishlilik funksiyasi bilan solishtirish asosida o'zgaruvchining har bir lingvistik termga tegishlilik darajasini aniqlash. (Ushbu bosqich ko'pincha fazzifikasiya deb ataladi).

2) Faollashtirish kuchini (firing strength) aniqlash maqsadida har bir qoida shartli qismining tegishlilik darajasini kombinatsiyalash (maxsus T-norm operator, odatda ko'paytma yoki min yordamida).

3) Har bir qoidaning natijasini (noravshan yoki ravshan) faollashtirish kuchiga qarab generatsiyalash. Chiqarish mexanizmlarning quyidagi uchta turi misolida noravshan chiqarish prosedurasini ko'rib chiqamiz [1].

1-tur. Har bir faollashtirilgan qoidaning chiqishi faollashtirish kuchi (tegishlilik darajasining ko'paytmasi yoki minimum) va mos qoida o'ng qismining tegishlilik funksiyasi asosida aniqlanadi. Bu sxemada qo'llanilgan chiqishlarning chiquvchi tegishlilik funksiyalari monoton bo'lishi kerak.

2-tur. Umumiy noravshan chiqarish har bir qoidaning noravshan chiqishlariga nisbatan max amalini qo'llash asosida keltirib chiqariladi. Har bir chiqarish faollashtirish kuchining minimum va har bir qoida o'ng qismining tegishlilik funksiyasi bilan aniqlanadi. Bir qator sxemalar noravshan chiqarish asosida natijaviy ravshan chiqarishni aniqlash maqsadida taklif etilgan. Ular qatoriga, yuzaning markazi, yuzaning bisektori, maksimumning markazi, maksimum mezoni kiradi.

3-tur. Takagi va Sugenoning AGAR-U HOLDA noravshan qoidalaridan foydalaniladi. Har bir qoidaning xulosasi - chiquvchi o'zgaruvchilarning chiziqli yoki nochiziqli kombinatsiyasi plyus o'zgarimas, yakuniy chiqish esa - har bir qoida chiqishlarining "o'lchangan o'rtachasidir".

Bunda bilimlar bazasi quyidagi ko'rinishda deb olinadi:

Agar $x A_1$ va $y B_1$ bo'lsa, u holda $z C_1$ dir.

Agar $x A_2$ va $y B_2$ bo'lsa, u holda $z C_2$ dir . (1.34)

(birinchi ikkitasiga nisbatan).

Agar $x \in A_1$ va $y \in B_1$ bo'lsa, u holda $z_1 = ax + by + c$.

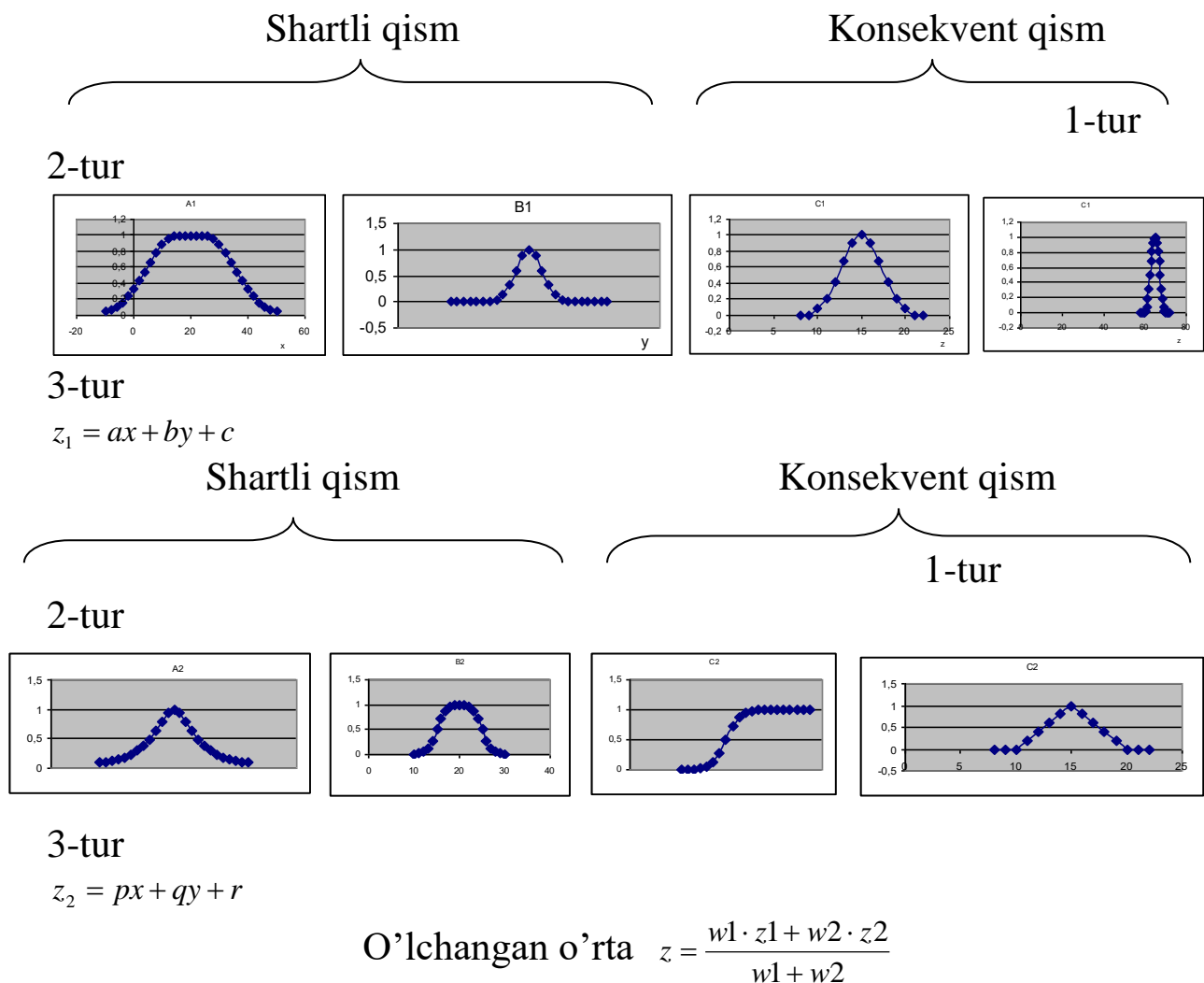
Agar $x \in A_2$ va $y \in B_2$ bo'lsa, u holda $z_2 = px + qy + r$. (1.35)
(uchinchisiga nisbatan).

5. Defazzifikasiya. Defazzifikasiya - mavjud noravshan boshqaruvchi ta'sirlar fazosidan ravshan boshqaruvchi ta'sirlar fazosiga akslantirishdir.

Ayni vaqtda eng ko'p qo'llaniluvchi strategiyalar maksimum mezoni, maksimum o'rtasi (MO') va sohaning markazi (SM) dir.

Maksimum mezoni boshqaruvchi ta'sirning imkoniyatlar taqsimoti maksimal qiymatga erishadigan nuqtani aniqlaydi.

1.3-rasmda chiqarish mexanizmining yuqorida qayd etilgan turlarning uchta turiga nisbatan noravshan mantiqiy chiqarish natijalari keltirilgan.



1.3-rasm. Noravshan chiqarish mexanizmining geometrik tasviri

MO' – strategiya har bir noravshan boshqaruvchi ta'sir tegishlilik funksiyasining maksimal qiymati bo'yicha hisoblanuvchi barcha local boshqaruvchi ta'sirlarning o'rtacha qiymatini ifodalovchi boshqaruv amallarini generatsiyalaydi. Xususan, diskret holda boshqaruvchi ta'sir quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$z_0 = \sum_{j=1}^l \frac{W_j}{l}, \quad (1.36)$$

bu yerda $w_j - \mu_z(W_j)$ tegishlilik funksiyasi maksimal qiymatga erishadigan qiymat tashuvchisi va l - bunday qiymat tashuvchilarining soni.

Keng qamrovli SM strategiyasi natijaviy boshqaruvchi ta'sir imkoniyatlar taqsimotining og'irlik markazini generatsiyalaydi. Diskret universum holda bu usul ko'pincha quyidagiga olib keladi:

$$z_0 = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_z(W_j)W_j}{\sum_{j=1}^n \mu_z(W_j)}, \quad (1.37)$$

bu yerda n – chiqishlarni kvantorlash bosqichlari soni.

[10] da defazzifikasiyalash usullarining solishtirma bahosi keltiriladi. MO'-usuli afzalroq natijalarni beradi.

Lekin, SM-strategiya eng yaxshi o'tish jarayonini beradi, ayni vaqtda MO'-strategiya eng yaxshi strategic aniqlikka olib keladi.

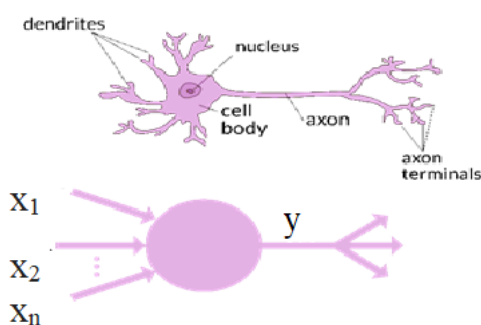
MO' ga asoslangan NMN SM ga asoslangan NMN ga nisbatam kichikroq o'rtakvadratik xatolikni ko'rsatadi [95]. O'z navbatida SM-strategiya umumiy holda maksimum mezoni strategiyasiga qaraganda yaxshiroq natijalarni beradi.

1.4. Neyron tarmoqlarini analitik tahlil qilish

Neyron tarmoqlari odatda juda yaxshi samaradorlikka ega bo'lgan timsollarni tanish tizimlarini yaratishda foydalaniladi. "Sun'iy neyron tarmog'i" ilmiy atamasi ushbu modellarning biologik neyronlarga o'xshashligidan kelib chiqadi. Neyron tarmoqlarining eng foydali xususiyatlaridan biri ma'lumotlari to'plamini o'rganish va umumlashtirish imkoniyatini beriladi.

Neyron tarmoqlari birinchi bo'lib Mc Culloch va Pitts tomonidan kiritilgan [53]. Perseptron tushunchasi Rosenblat tomonidan kiritilgan [54] va bir necha yil o'tgach, ko'p qatlamli perseptronlar joriy etildi [55]. Rekurrent neyron tarmoqlar ketma-ketlikni qayta ishlash qobiliyatlarini tufayli qo'lyozmalarni tanish muammosini hal qilish uchun eng qulay neyron tarmoqlar turi hisoblanadi [56].

Sun'iy neyron tarmog'ining asosiy tarkibiy qismi Perseptron deb nomlanuvchi sun'iy neyron hisoblanadi. Sun'iy neyron to'rt - kirish va chiqishlarga ega bo'lgan qayta ishlash blokidan iborat. Aslida, biologik neyronlar dendritlar to'plami orqali o'zining uyali tanasida qayta ishlash uchun signallarni qabul qiladi va akson orqali qayta ishlangan signallarni boshqa neyronlarga yuboradi. Xuddi shunday, sun'iy neyron to'rti 1.4-rasmda ko'rsatilgandek bir nechta kirish va qayta ishlash blokidan iborat.



1.4-rasm. Biologik neyronning sun'iy neyronga taqqoslanishi

Chiqish qiymatlari quidagicha formula bilan hisoblanadi:

$$y_j = f\left(\sum_{i=1}^n x_i w_{ij} - \theta_j\right) = \text{step}(w_{1j}x_1 + w_{2j}x_2 + \dots + w_{nj}x_n - \theta_j), \quad (1.38)$$

bunda

$x_i \in \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ kirish qiymatlari $i \in \{1, 2, \dots, m\}$;

$y_i \in \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ kirish qiymatlari $j \in \{1, 2, \dots, n\}$;

$f(x)$ -aktivatsiya funksiyasi.

$w_{ij} \in \{w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{nj}\}$ og'irliklarning kirish vektori va θ_j – j-neyron bilan bog'liq bo'lgan qaror chegarasi, bunda $step(x) = 1$, agar $x_i > \theta$ va aksincha bo'lsa 0 ga teng.

Bitta perseptronni o'rgatish mos keladigan og'irlik va chegaralarni aniqlashni anglatadi, natijada esa ba'zi bir kirishlar persepronga o'tkazilgandan keyin kutilgan natijaga olib keladi. Neyron chegarasini kirish bog'lanishining yana bir og'irligi kabi qaragan holda matematikani soddalashtirish yoki j-neyron uchun $\theta = w_0 - x_0 = 1$ kirish og'irligi deb faraz qilish [7] yoki j-neyronning chegarasini b_j deb nomlanadigan siljish bilan ifodalanishi masalaning yechimini topishni yengillashtiradi. Shunday qilib, (1.38) tenglamasini quyidagicha qayta yozish mumkin:

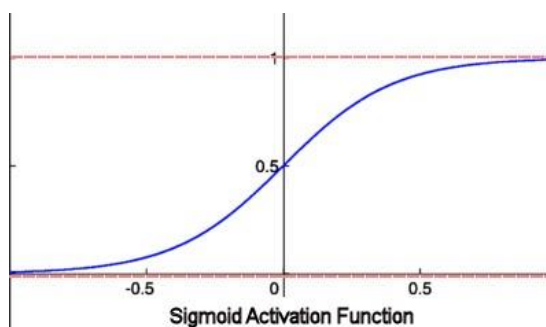
$$y_j = step\left(\sum_{i=1}^n w_{ij}x_i + b_j\right) = step\left(\sum_{i=1}^n w_{ij}x_i\right).$$

f- funksiya uchun amaliy sabablarga ko'ra uzlkusiz va differensial funksiya afzal ko'riladi, masalan, giperbolik tangens funksiyasi (tanh), to'g'rilangan chiziqli blok (rectified linear unit – ReLU) va sigmoid funksiyalar. Eng sodd tanlov sigmasimon funksiya tanlanadi, chunki bu funksiya chiziqli emas va hosilaviy tabiatga ega.

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}};$$

$$\frac{d\sigma(x)}{dx} = \sigma(x) \times (1 - \sigma(x)).$$

Sigmoid funksiya asimptotik tabiati tufayli hech qachon 0 yoki 1 qiymat qaytarolmaydi.



1.5-rasm. Sigmoid faollashtirish funksiyasi

Bundan tashqari, sigmasimon chiqishdan sinflash to'g'risida qaror qabul qilinishi mumkin, masalan:

$$y_j = \begin{cases} 0, & \text{agar } \sigma\left(\sum_{i=1}^n w_{ij}x_i + b_j\right), \\ 1, & \text{aks holda.} \end{cases}$$

Sigmoid funksiyaning chiqish ma'lumotlarining chegara qiymati keyingi daraja bilan mos holda gipertekislik sifatida ikkilik klassifikatorning yechim chegarasini aniqlaydi:

$$b_j + w_{1j}x_1 + \dots + w_{nj}x_n = 0.$$

Optimal perseptron sinflash masalalari sohasini chiziqli ravishda ajrata olishi mumkin bo'lgan tushunchadir.

Amaliy jihatdan, b siljish qiymati gipertekislikni kirish maydonida chapga va o'ngga siljitadi va W og'irliklar uni aylantiradi. Grafika terminlari bilan ifodalaganda, og'irliklar uni aylantirganda chegara gipertekislikni siljitadi. Ushbu chegara, kirish ma'lumotlari og'irliklari kabi o'rganish davomida yangilab borilishi kerak.

Perseptronni o'rganish qoidasi. Perseptronning qaror chegaralari gipertekislik bo'lib, har bir o'rganish namunasi to'g'ri tasniflanguniga qadar o'rganishni gipertekislik bo'ylab siljish jarayoni sifatida ko'rish mumkin. O'rganish jarayoni tasodifiy dastlabki og'irliklardan boshlanadi va iterativ o'rganish algoritmidan foydalangan holda kerakli natijalar olinmaguncha kam sonli bosqichlarda sozlanadi.

t momentda tarmoq og'irliklari $w_{ij}(t)$ bo'lsin, u holda siljish jarayoni ularning kam miqdorli $\Delta w_{ij}(t)$ siljishiga to'g'ri keladi, shuning uchun $t + 1$ vaqtda quyidagi og'irliklarga ega bo'lishimiz mumkin:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \Delta w_{ij}(t). \quad (1.39)$$

Faraz qilamiz, j perseptron blokining maqsadli chiqish signal targj va haqiqiy chiqish $y_j = \text{step}(\sum x_i w_{ij})$ bo'lsin, bu yerda x_i kirishning faollashtirishlari. $\Delta w_{ij}(t)$ siljitish kattaligini targ_j maqsadli chiqish va j-perseptron blokining y_j haqiqiy chiqish signali farqidan quyidagi tenglama ko'rinishida hisoblash mumkin:

$$\Delta w_{ij} = \eta(\text{targ}_j - y_j)x_i,$$

bunda η o'rganish reytingi yoki qadam hajmini anglatib, qaror chegaralari qanchalar ravon siljiganligini aniqlaydi. (1.39) vazni yangilash tenglamasi perseptronni o'rganish qoidasi deb ataladi va bu tenglama uchun uchta asosiy holatni ko'rib chiqamiz.

Agar $\text{targ}_j - y_j = 0$ ga intiladigan $y_j = \text{targ}_j$ bo'lsa, unda w_{ij} og'irliklar o'zgarishsiz qoladi.

Agar $\text{targ}_j - y_j = -1$ ga intiladigan $y_j = 1$ va $\text{targ}_j = 0$ bo'lsa, u holda $x_i = 1$ bo'lganda w_{ij} ni o'rganish reytingi qiymati orqali kamaytirish kerak bo'ladi:

$$w_{ij} = w_{ij} - \eta x_i.$$

Agar $targ_j - y_j = 1$ ga intiladigan $y_j = 0$ va $targ_j = 1$ bo'lsa, u holda $x_i = 1$ bo'lganda w_{ij} ni o'rganish reytingi qiymati orqali ko'paytirish kerak bo'ladi:

$$w_{ij} = w_{ij} + \eta x_i.$$

Δw_{ij} vaznining o'zgarishi tarmoqdagi har bir w_{ij} og'irligi uchun va o'rganish to'plamidagi har bir o'rganish namunasi uchun qayta qo'llanilishi kerak. Butun o'rganishlar to'plami uchun barcha og'irliklardan bitta o'tish bitta mashg'ulot davri deb ataladi. Tarmoqning barcha chiqish ma'lumotlari barcha o'rganish shablonlariga mos kelsa o'rganish jarayoni yechimga aylanadi, shuning uchun barcha Δw_{ij} nolga teng bo'lish holatiga keltiriladi.

Tarmoqning ikkita muhim jihatini hisobga olish kerak. Birinchisi ushbu o'rganish misollari to'g'ri tasniflanguniga qadar tarmoq o'rganilayotgan misollar to'plamidan qaror qabul qilish chegaralarini o'rganishi kerak. Ikkinchisi o'rganilgandan so'ng, tarmoq ilgari ko'rmagan test misollarini umumlashtirishi va to'g'ri tasniflashi kerak. Aslida, o'rganish va umumlashtirish o'rtasida tez-tez yuz beradigan muhim kelishuv mavjud [57].

Xatolikni minimallashtirib o'rganish. O'qitishning umumiy talabi - farqni minimallashtirish uchun w_{ij} tarmoq og'irliklarini y_j haqiqiy chiqishlar va $targ_j$ maqsadli chiqishlar orasidagi farqqa minimallashtirishni sozlaydigan algoritmdir. Ushbu farqni miqdorli baholash uchun xatolik funksiyasi yoki yo'qotishlar funksiyasi E dan foydalaniladi. Neyron tarmoqlarini o'rgatish uchun ko'p hollarda foydalaniladigan miqdorli baholash funksiyalardan biri Sum Squared Error (SSE) funksiyasidir. Bu funksiya barcha j chiqish bloklari bo'yicha yig'ilgan umumiy kvadratik xatolarini va p barcha o'rganish misollarini ifodalaydi:

$$E_{SSE}(w_{ij}) = \frac{1}{2} \sum_p \sum_j (targ_{jp} - y_{jp})^2. \quad (1.40)$$

Bir necha sinflarni tasniflash masalasi uchun ko'pincha foydalaniladigan yana bir yo'qotishlar funksiyasi kross-entropiya funksiyasi deb ataladi. Agar bizda j sinfning ehtimolini ifodalovchi y_j chiqish va $targ_j$ maqsadli chiqish mavjud bo'lsa, o'rganuvchi ma'lumotlarning butun to'plamini kuzatish ehtimoli bo'ladi, ushbu

ehtimollikning salbiy logarifmini minimallashtirish orqali yo'qotishlar funksiyasi quyidagicha bo'ladi:

$$E_{CE} = -\sum_p \sum_j t \arg_{jp} \log(y_{jp}).$$

O'rganish jarayonida ushbu xatolik funksiyasini minimallashtirishga harakat qilinadi. Kvadratik xato yig'indisini summasini minimallashtirish yo'li bilan tarmoqni o'rgatish hosilaviy xatolik tarmoqning har bir og'irligi uchun eng kamida (minimum) nolga teng bo'lishi kerakligini anglatadi:

$$\frac{\partial}{\partial w_{ij}} \left[\frac{1}{2} \sum_p \sum_j (t \arg_{jp} - f(\sum_j x_{ip} w_{ij}))^2 \right] = 0.$$

Agar biz x -ning berilgan qiymatini $f(x)$ funksiyasini minimallashtirish uchun Δx -ga o'zgartirmoqchi bo'lsak, bajariladigan ish x -ning joriy qiymatida $f(x)$ -ning gradientiga bog'liq bo'lib, quyidagi bilan mos keladi:

$$\Delta x = x_{new} - x_{old} = -\eta \frac{\partial f}{\partial x}, \quad (1.41)$$

bu yerda η - x ni qanchalik o'zgartirganimizni aniqlaydigan kichik musbat o'zgarma va $\partial f / \partial x$ hosilasi qaysi yo'nalishga harakat qilish kerakligini bildiradi. (1.41) tenglamasi iteratsiyasi orqali $f(x)$ funksiya minimal darajaga tushishda davom etadi. Ushbu iteratsion protsedura gradient tushishni minimallashtirish deb nomlanadi.

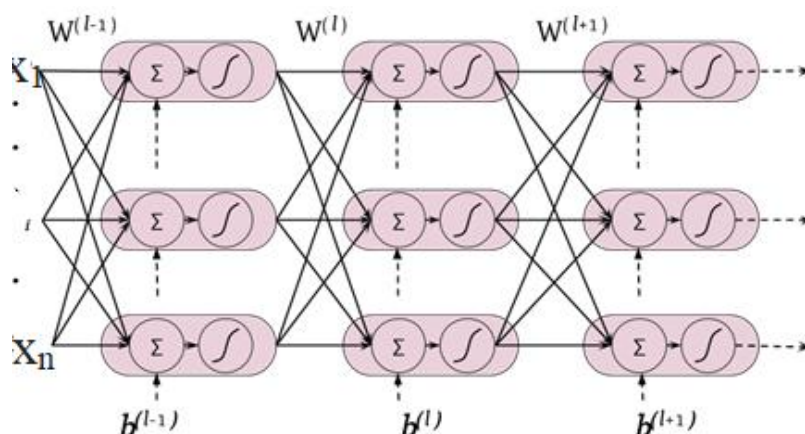
Ushbu g'oya, $E(w_{ij})$ qiymati "yetarlicha kichik" bo'lib qolmagunga qadar $w_{ij} \leftarrow w_{ij} + \Delta w_{ij}$ og'irliklariga bir qator kichik yangilanishlarni qo'llashda beriladi. Buning uchun yo'qotishlar funksiyasini eng yaxshi shaklda kamaytirish uchun og'irlik vektori o'zgarishi kerak bo'lgan yo'nalishni aniqlashimiz kerak. Bunga w_{ij} og'irliklarini o'zgartirishning E yo'qotishlar funksiyasi gradientiga ta'sirini bilish orqali erishish mumkin. Og'irlikni gradientga qarshi kichik qadamlarda qayta sozlash orqali yo'qotishlar funksiyasi og'irliklar oralig'ida harakat qiladi va gradientlar bo'ylab minimal qiymatga tushadi.

1.4.1. Ko‘p qatlamli perseptron (Multi-layer perceptron – MLP)

Neyron tarmoq topologiyasini analitik tahlil qilish

Perseptronlarning ko‘p qatlamli tushunchasi biologik neyronlarning strukturasidan ilhomlanib kiritilgan, ular ko‘p qatlamli perseptron deb ataladi[55]. Ushbu o‘xshashlik bo‘yicha, x_i kirish ma’lumotlari, 1.6-rasmda ko‘rsatilgandek, oraliq qatlamlar orqali kirish qatlamdan tortib to oxirigacha bo‘lgan turli xil og‘irlikdagi o‘zaro bog‘liq neyronlarning qatlamlaridan tashkil topgan neyronlarning boshqa ilgari faollashtirilgan chiqishlaridan olinadi.

Har bir kirish uchun qo‘llaniladigan 1 qatlamining har bir j neyronining og‘irliklarini $W_{ij}^{(l)}$ kabi belgilanib, bu 1-1 qatlamining i neyron chiqishi bo‘lsin. Shunday qilib, 1 qatlamining chiqishi (vektori), ya’ni, kirish ma’lumotlarining vektorini $x^{(l)}$ og‘irlik matritsasi $W^{(l)}$ -ga ko‘paytirib, kirish og‘irliklaridan biri sifatida noaniqlikni hisobga olgan holda va f_i -ning chiziqli bo‘lmagan funksiyasini qo‘llash orqali hisoblanishi mumkin.



1.6-rasm. Ko‘p qatlamli perseptron

$$y_i^{(l-1)} = x_i;$$

$$y_j^{(l)} = f_l \left(\sum W_{ij}^l y_i^{(l-1)} \right);$$

$$y_k^{(l+1)} = f_{l+1} \left(\sum W_{jk}^{l+1} y_j^{(l)} \right);$$

.

.

.

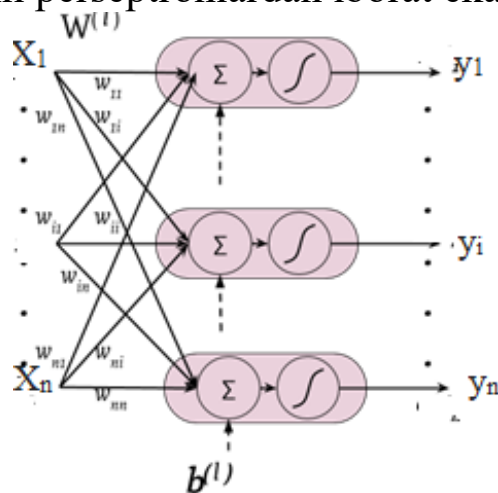
Qatlamlarning bunday joylashuvining afzalligi to‘g‘ridan-to‘g‘ri bog‘lanishli yagona o‘tishda qatlam chiqishini hisoblashda beriladi. Oxirgi ko‘p qatlamli perseptron qatlamining neyronlari bir xil kirish xususiyatlariga ega bo‘lgan chiziqli ikkilik klassifikatorlardir[58].

Shuning uchun, ko'p chiqishga ega bo'lgan ko'p qatlamli perseptron - bu multiklassifikator [59]. Keyingi ehtimolliklarni chiqish qatlamdagi sigmoid funksiya o'rniga softmax funksiyasidan foydalanish orqali olish mumkin. j neyronning aktivatsiyasi sifatida $h = P_i w_{ij} x_i$ kabi belgilash kiritib (chiziqli bo'lmagan faollashtirish funksiyasidan oldin) va z uning chiqishi bo'lsa, softmax funksiyasi h_1, \dots, h_n aktivatsiyasiga ega n neyronlar uchun quyidagicha aniqlanadi:

$$z_i = \text{soft max}(h_i) = \frac{e^{h_i}}{\sum_{k=1}^n e^{h_k}}.$$

Bu yerda z_i chiqish ikki shartni qanoatlantiradi, (i) $z_i \in [0,1]$, (ii) $\sum_{i=1}^n z_i = 1$. Shunga asoslanib, barcha sinflar uchun ehtimollik taqsimoti aniqlanadi, bu eng katta ehtimollik bilan, ya'ni yuqori rentabellikga ega sinfni tanlashga imkon beradi. Bir qatlamli perceptron yordamida chiziqli bo'lmagan ajratiladigan masalalarni yechish mumkin emas. Biroq, ko'p qatlamli perseptronlar chiziqsiz (chiziqli bo'lmagan) bo'linadigan muammolarni yechishga qodir.

Bir qatlamli perseptron, (1.7-rasmga qarang) ko'rsatilgani kabi, tarmoq o'rganish jarayoni va kirish ma'lumotlarining bir qatlamini qo'llaydigan bir qatlamli perseptronlardan iborat ekanligini bildiradi.



1.7-rasm. Ko'p qatlamli perseptron

SSE-ni (1.7) minimallashtirish uchun w_{ij} og'irliklarini sozlash orqali bir qatlamli tarmoqni quyidagilarga muvofiq bir necha gradusli tushish og'irliklarni yangilash orqali amalga oshirishni xohlaymiz deb faraz qilamiz:

$$\Delta w_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}.$$

Agar uzatish neyronlarning uzatish funksiyasi $f(x)$ va k neyronlarning oldingi qatlamining faollashishi x_i -ga teng bo'lsa, u holda chiqish $y_j = f(P_i x_i w_{ij})$ bo'ladi va

$$\Delta w_{ij} = -\eta \frac{\partial}{\partial w_{ij}} \left[\frac{1}{2} \sum_p \sum_j (t \arg_{jp} - f(\sum_i x_{ip} w_{ij}))^2 \right], \quad (1.42)$$

bu yerda $p \in p_1, p_2, \dots, p_N$ o'rganish shablони. Yagona qatlamli perseptronlar uchun delta qoida (1.42) tenglama hisoblanadi va perseptronni o'rganish qoidasi ikkita nazariy jihatdan bir-biridan farq qiladigan algoritmlarda olingan og'irlikni tenglashtirish tenglamasiga ega. Perseptronni o'rganish qoidasi qadam funksiyasi natijalari bo'yicha qaror gipertekislikda qanday harakatlanish kerakligini ko'rib chiqishdan kelib chiqqan bo'lsa, delta qoidasi chiziqli chiqishni faollashtirish funksiyasi uchun xato kvadratlari yig'indisining gradient tushishini minimallashtirishdan kelib chiqadi [57]. Perseptronni o'rganish qoidasi xatolikni nolga kamaytiradi va agar muammo chiziqli ravishda ajratiladigan bo'lsa, og'irlikni cheklangan sonli bosqichda o'zgartirmaydi, lekin aks holda og'irlik tebranishda davom etadi. Boshqa tomondan, delta qoidasi (yetarlicha kichik η uchun) har doim xato minimal bo'lgan og'irliklar to'plamiga yaqinlashadi, aniq maqsadlarga yaqinlashish odatda chiqish kelishmovchiligiga mutanosib ravishda kamayib boruvchi tezlikda sodir bo'ladi, aniq maqsadlarga yaqinlashish odatda chiqish $\text{delta}_j = t \arg_j - y_j$ ajratilishiga proporsional ravishda kamayib boruvchi tezlikda sodir bo'ladi [57]. j blokidagi chiqish xatosining delta_j blokidagi $t \arg_j$ ning maqsadli chiqishi bilan blokning chiqish qiymati y_j o'rtasidagi farqdir.

Teskari tarqatishliko'p qatlamli perseptron metodi bilan tarmoqni o'rganish (Learning MLP network by Back-propagation)

Teskari tarqatishli ko'p qatlamli perseptron metodi bilan tarmoqni o'rganish bir qatlamli tarmoqlarni o'rganish prinsipidan olingan. O'quv jarayoni E_{CE} kross-entropiya xato funksiyasi kabi ishlab chiqarish funksiyasini minimallashtirish uchun har bir l qatlamining $W_{ij}^{(l)}$ og'irliklarini to'g'rilashga yo'naltirilgan. Afsuski, har bir oraliq qatlamdagi xato noma'lum va bu har bir qatlamda to'g'ridan-to'g'ri tushish qoidasidan foydalanish imkonini bermaydi. Bunga bir necha gradientli tushish vaznini yangilash vositasida erishish mumkin:

$$\Delta w_{ij}^{(l)} = -\eta \frac{\partial E(\{w_{ij}^{(l+1)}\})}{\partial w_{ij}^{(l)}}.$$

Chiziqli so‘nggi chiqishlar quyidagicha yozilishi mumkin:

$$y_j^{(N)} = \sum_i y_i^{(N-1)} w_{ij}^{(N)} = \sum_i f\left(\sum_k x_k w_{ki}^{(N-1)}\right) w_{ij}^{(N)}.$$

ECE xatolar funksiyasining chiqishida so‘nggi $N(N \in \{0,1,\dots,n,\dots,N\})$ qatlamning $y_j^{(N)}$ chiqish ma’lumotlari paydo bo‘ladi. Ayni paytda, yakuniy qatlam natijalari barcha oldingi qatlamlar og‘irliklariga bog‘liq bo‘ladi. O‘rganish algoritmi, shuningdek, har bir qatlamdagi xatoni orqaga qaytarish va bir vaqtning o‘zida har bir qatlam parametrlarini yangilash orqali barchasini to‘g‘rilaydi.

Teskari tarqatish algoritmini amalga oshiishda quyidagini aniqlash qulay:

$$\text{delta}_j^{(N)} = (t \text{ arg}_j - y_j^{(N)}), \quad (1.43)$$

bunda chiqish xatoligi hisoblanadi. Chiqish qatlamining bitta deltasi (1.43) tenglamaga muvofiq hisoblanadi, so‘ngra delta ilgari qatlamlarga quyidagidan foydalanib teskari tarqaladi:

$$\text{delta}_j^{(l)} = \left(\sum_k \text{delta}_k^{(l+1)} w_{jk}^{(l+1)}\right) f'\left(\sum_i y_i^{(l-1)} w_{ij}^{(l)}\right),$$

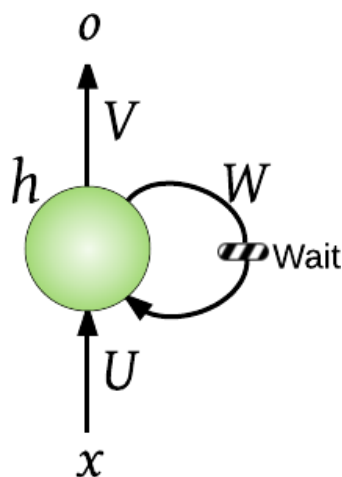
u holda har bir vazni yangilash tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\begin{aligned} \Delta w_{hj}^{(l)} &= \eta \sum_p \text{delta}_{pj}^{(l)} \cdot y_{ph}^{(l-1)}; \\ \Delta w_{hj}^{(l)} &= \eta \sum_p \left[\left(\sum_k \text{delta}_{pk}^{(l)} \cdot w_{jk}^{(l)} \right) \right] \cdot x_{ph}. \end{aligned}$$

Shunday qilib, h va j birliklar orasidagi $w_{hj}^{(l)}$ og‘irligi h birlik kuchiga va j birlik deltasiga mutanosib ravishda o‘zgaradi. Oldingi qatlamdagi vazn o‘zgarishi (1 – 1) endi l qatlamdagi kabi shaklga ega bo‘ladi, lekin har bir j blokidagi “xato” deltasi $w_{kj}^{(l)}$ og‘irliklari orqali har bir chiqish blokining (l)-dan teskari yo‘nalishda tarqaladi.

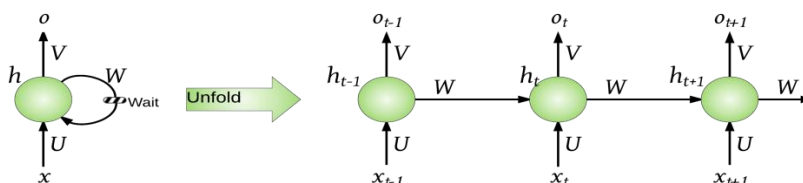
1.4.2. Rekurrent neyron tarmoqlarini analitik tahlil qilish

Tarmoqda kamida bitta teskari aloqa mavjud bo‘lib, vaqt o‘tishi bilan, (1.8-rasmga qarang) ko‘rsatilgandek, aktivizatsiya siklini amalga oshiradi. Ushbu xususiyat tufayli tarmoq qo‘lyozmalarni tanib olish, til modellashtirilishida ketma-ketliklarni o‘rganish kabi vaqtinchalik qayta ishlash vazifalarini bajaradi.

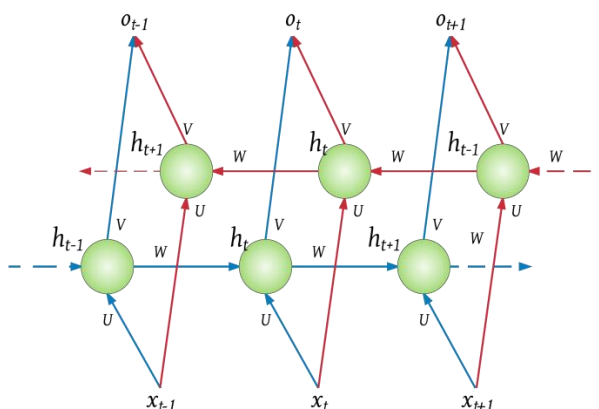


1.8-rasm. Rekurrent neyron tarmoqlar

1.9-rasmda bitta yashirin qatlamli to‘liq tarmoqqa ochiladigan (yoki ochiladigan) rekurrent neyron tarmog‘i ko‘rsatilgan. Joylashtirish deganda tarmoqni to‘liq ketma-ketlik uchun qayd etayotganlik tushuniladi. Masalan, agar biz ishlayotgan ketma-ketlik uchta hodisadan iborat bo‘lgan jumla bo‘lsa, tarmoq har bir hodica uchun bitta qatlam bo‘lgan uch bosqichli neyron tarmog‘iga kengaytiriladi.



1.9-rasm. Tekshirilmagan takrorlanadigan neyron tarmoq (RNN) illyustratsiyasi



1.10-rasm. Ikki yo‘nalishli rekurrent neyron tarmoqlari

Ular faqatgina bir-birining ustiga joylashgan ikkita rekurrent neyron tarmoqlaridirlar. Keyin natija ikkala rekurrent neyron tarmoqlarining yashirin holatiga qarab hisoblab chiqiladi. Bunda to'g'ri yashirish ketma-ketlik \vec{h} , teskari yashirin ketma-ketlik \vec{h} va o_t chiqish ketma-ketligini hisoblaydi, bunda to'g'ri qatlamni $t = 1$ dan T gacha va $ye = T$ dan 1 gacha teskari yo'nalishda iteratsiyalanadi, chiqish qatlamini yangilanadi.

$$\vec{h} = f_h(\vec{U}_{x_t} + \vec{W}\vec{h}_{t-1});$$

$$\vec{h} = f_h(\vec{U}_{x_t} + \vec{W}\vec{h}_{t-1});$$

$$o_t = f_o(\vec{V}\vec{h}_t + \vec{V}\vec{h}_t).$$

Ko'p yo'nalishli rekurrent neyron tarmoqlar 2009 yilda Graves va Schmidhuber tomonidan kiritilgan. Ko'p yo'nalishli rekurrent neyron tarmoqlar kiritilgan tasvirni to'rtta yo'nalishda rekurrent qatlamlar bilan qayta ishlashi mumkin. Mikolov va boshqalar 2011 yilda takrorlanadigan neyron tarmoqlariga asoslangan til modellarini o'qitish uchun bepul mavjud bo'lgan ochiq manbali vositalar to'plamini taqdim etdilar. Oddiy rekurrent neyron tarmoqlar 1994 yilda Robinson tomonidan nutqni tanishda va 1994 yilda Senior, 1995 yilda Lee va Kim, 1995 yilda Senior va Robinson tomonidan, 1998 yilda qo'lyozmani tanib olishda foydalanildi[16].

Vaqt bo'yicha teskari tarqatish algoritmi yordamida rekurrent neyron tarmoqlarini o'rganish, vaqt bo'yicha teskari tarqatish o'rganish algoritmi to'liq ochilmagan tarmoqqa gradient tushishni bajaradigan standart xatolarni teskari tarqatishning tabiiy kengaytmasidir.

Tarmoqni o'rganish t_0 da boshlanib t_1 vaqtda tugasa, u holda jami yo'qotishlar funksiyasi har bir vaqt qadamida standart xatolik funksiyasining $E(t)$ vaqt o'tishi bilan yig'indisiga teng:

$$E_{total}(t_0, t_1) = \sum_{t=t_0}^{t_1} E(t).$$

Bundan tashqari, umumiy xato ko'p qatlamli perceptronga o'xshash har bir ketma-ketlik namunasi bo'yicha umumlashtirilishi kerak, ammo vaqt o'tishi bilan umumiy darajani hisobga olish kerak bo'ladi. Shu yerdan vaqt bo'yicha teskari tarqatish deb, o'rganish algoritmining nomi ham kelib chiqqan.

Ba'zi sun'iy neyron tarmoqlarni gradientga asoslangan metodlar bilan o'rganishda (masalan, teskari tarqatishda) g'oyib bo'ladigan gradient muammosi nomi bilan tanilgan murakkab muammo paydo

bo‘ladi. Bunga sabablardan biri juda ko‘p qatlamlarni ustma-ust joylashtirish, shuningdek, ularning kiritilishini juda kichik chiqish oralig‘ida chiziqli bo‘lmagan tarzda siqadigan faollashtirish funksiyasi (sigmoid yoki tangensoid kabi) tufayli vujudga keladi. Bir nechta qatlamlarni joylashtirishda, hatto kirishning katta o‘zgarishi ham chiqishda ozgina o‘zgarishga olib keladi, bu yerdan gradientning ham kichikligi kelib chiqadi. Bu katta miqdordagi vaqt bog‘liqliklarni ushbu usul yordamida ko‘rib bo‘lmasligini anglatadi; bu esa sun‘iy neyron tarmoqlari vaqt o‘tishi bilan ketma-ketlikni modellashtirish uchun foydali deb hisoblanmaganligini tushuntiradi.

CTC learning criterion Reyting bo‘yicha tasniflash yondashuviga asoslangan o‘rganish mezonini 2006 yilda Graves va boshqalar rekurrent neyron tarmog‘ida asosan x kirish ketma-ketligi bilan L chiqish nishonlar ketma-ketligini moslashtirish uchun reyting bo‘yicha tasniflash yondashuvi mezonini taqdim etdilar, bunda keyingi qayta ishlashga hojat qoldirmasdan N-to-N bashoratlardan foydalanilgan. Muammo shundaki, neyron tarmog‘ining standart maqsadli funksiyalari o‘rganish ketma-ketligidagi har bir kadr uchun alohida aniqlanadi; boshqacha aytganda, Rekurrent neyron tarmoqlari faqat bir qator mustaqil nishonlar tasniflarini yaratish uchun o‘rganilishi mumkin. Bu o‘rganish ma‘lumotlari oldindan segmentlangan bo‘lishi kerakligini anglatadi va yakuniy nishonlar ketma-ketligini olish uchun tarmoq chiqishlari keyinchalik yana qayta ishlanishi kerak [56].

Tavsiya etilgan usul tarmoq chiqishlarini belgilarni yaxshiroq aks ettirish uchun kiritilgan yorliqlarning mumkin bo‘lgan ketma-ketliklar to‘plami va bo‘sh chiqish (\emptyset) sifatida aniqlaydi. Shu yo‘l bilan, bashoratlarning ketma-ketligi nishonlarning maqsadli ketma-ketligiga mos keladi, masalan, takroriy nishonlar va bo‘shliqlarni olib tashlash orqali:

$$aa\emptyset bb\emptyset a \Rightarrow aba .$$

Reyting bo‘yicha tasniflash yondashuvidan foydalangan holda takrorlanadigan neyron tarmog‘ini o‘rganish kirish ketma-ketligi berilgan nishonlar ketma-ketligi ehtimolini maksimal darajaga ko‘tarishga qaratilgan. Bir nechta bashoratlarning ketma-ketligi aynan bir xil nishonlarni beradi (masalan, aabb, aaab, a \emptyset bb, ...). Ilgari keltirilgan usullar bilan o‘xshashlikni soddalashtirish uchun, $Q_n(L)$ barcha nishonlar ketma-ketligi bo‘lsin, bunda L asosiy chinlik maqsadli ketma-ketlikni ko‘rsatadi:

$$p(L|x) = \sum_{q \in Q_{|x|}(L)} \prod_{t=1}^{|x|} p(q_t | L).$$

Ushbu miqdorni HMMga o'xshash to'g'ridan-to'g'ri protsedura yordamida ham samarali hisoblash mumkin. Xaritalash nishonlar orasidagi ruxsat etilgan o'tishni belgilaydi: agar farqlansa, xuddi shu nishonni bashorat qilishni davom ettirish mumkin, keyingisiga o'tish yoki bo'sh joyga o'tish mumkin. To'g'ridan-to'g'ri va teskari o'zgaruvchilar $L = l_1, \dots, l_n$ va $L' = l'_1, \dots, l'_n = \emptyset l_1 \emptyset, \dots, \emptyset l_n \emptyset$ bilan quyidagicha aniqlanishi mumkin:

$$\alpha_t(l'_s) = p(q_{1:t} \in Q_t(L_{1:s/2}, q_t = l'_s | x);$$

$$\beta_t(l'_s) = p(q_{t+1:T} \in Q_{T-t}(L_{s/2+1:L}), q_t = l'_s | x).$$

Rekurrentlik quyidagicha:

$$\alpha_t(l'_s) = p(q_t = l'_s | x) \sum_{n=0}^k \alpha_{t-1}(l'_{s-n});$$

$$\beta_t(l'_s) = \sum_{n=0}^k p(q_{t+1} = l'_{s+n} | x) \beta_{t+1}(l'_{s+n}).$$

bu yerda $k=1$ qachonki $l'_s = l'_{s-2}$ yoki $l'_s = l'_{s+2}$ to'g'ridan-to'g'ri teskari o'zgaruvchilar va $k=2$ aks holda α va β o'zgaruvchilar qo'yilgilarni hisoblashga imkon beradi:

$$p(L|x) = \sum_{q \in Q_{|x|}(L)} \alpha_t(q) \beta_t(q)$$

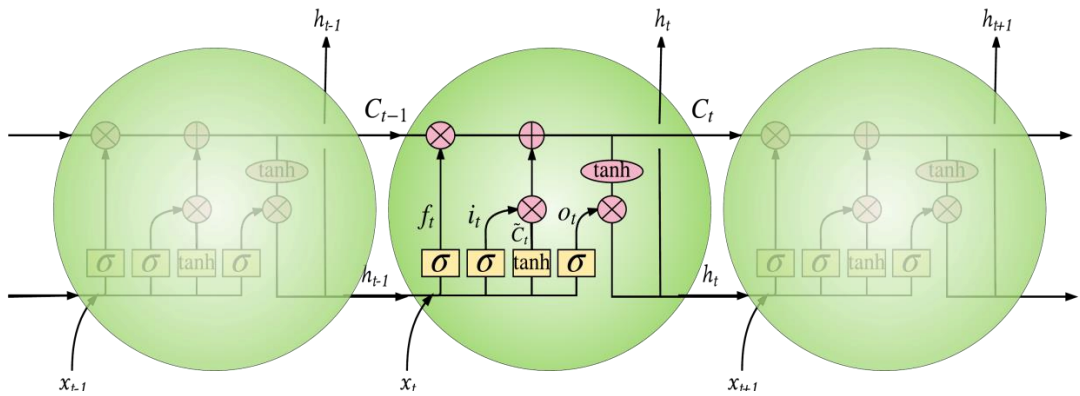
va $-\log p(L|x)$ qiymatlarni kelib chiqishi quyidagi teskari tarqatish xatoligiga olib keladi:

$$\frac{\partial E}{\partial a_k^t} = y_k^t - \sum_{s: \mu(s)=k} \frac{\alpha_t(s) \beta_t(s)}{\sum_r \alpha_t(r) \beta_t(r)},$$

bu yerda y_k^t – k nishon uchun t vaqtda neyron tarmoqning chiqishi va a_k^t softmaksdan avvalgi faollashtirish.

Uzoq-qisqa muddatli xotira birliklari- Long Short-Term Memory Units (LSTM) Rekurrent neyron tarmoqlarida g'oyib bo'ladigan gradient muammosi neyronlar tarmog'ining uzoq muddatli bog'liqliklarini o'rganishga xalaqit beradi [58;60-61]. Ushbu muammoni hal qilish uchun 1997 yilda Hochreiter va Schmidhuber tomonidan taklif qilingan yechim uzoq muddatli-qisqa muddatli xotiraga ega neyron tarmoq ko'rinishidagi yo'naltirish mexanizmini taqdim etdi. Kirish signalining og'irliklar summasini hisoblab chiqadigan va chiziqli bo'lmagan faollashtirish funksiyasini qo'llovchi takrorlanadigan blokdan farqli o'laroq har bir uzoq muddatli-qisqa muddatli xotira birliklari t vaqtda C_t

xotirani qo‘llab-quvvatlaydi. Vaqtinchalik rekurrent xotira yacheykasi C_t unutish shlyuzi tomonidan boshqariladi, tushirish uchun xizmat qiladigan kirish va chiqish mos holda xotira yacheykasidan ma’lumotlarni oladi yoki o‘zgartiradi. Yo‘naltirish mexanizmi uzoq muddatli-qisqa muddatli xotira birliklariga uzoq muddatli bog‘liqliklarni aniq modellashtirishga imkon beradi. Yo‘nalishlari parametrlarini o‘rganib, tarmoq xotira yacheykalari o‘zini qanday tutish kerakligini o‘rganadi. Mantiqiy element faollashtirish funksiyasidan (masalan, sigmoid) va nuqtalar bo‘yicha ko‘paytirish operatsiyasidan iborat [58]. Shlyuz noldan bittagacha raqamlarni chiqaradi, bunda yoki chiqish qiymati bir bo‘lganda barcha ma’lumotlarni o‘tkazib yuborishga yoki chiqish qiymati nolga teng bo‘lganda barcha ma’lumotlarni blokirovka qilish haqida qaror qabul qiladi.



1.11-rasm. Uzoq muddatli-qisqa muddatli xotira birliklari

Uzoq muddatli-qisqa muddatli xotira birliklarini quyidagi iboralarda tavsiflash mumkin:

o_t chiqish shlyuzi uzoq muddatli qisqa muddatli xotira blokining h_t xotirani faollashtirish chiqishini nazorat qiladi:

$$o_t = \sigma(W_o[x_t, h_{t-1}] + b_o);$$

$$h_t = o_t \odot \tanh(C_t),$$

bunda \odot ayirish amali. Unutish shlyuzi avvalgi holatdan keyingisiga o‘tish bilan f_t uzilishni boshqaradi:

$$f_t = \sigma(W_f[x_t, h_{t-1}] + b_f),$$

bunda i_t kirish shlyuzi C joriy yacheykaning kirishi keyingi C_{t+1} vaqt oralig‘idagi xotira yacheykasi holatiga o‘z hissasini qo‘shishini aniqlaydi:

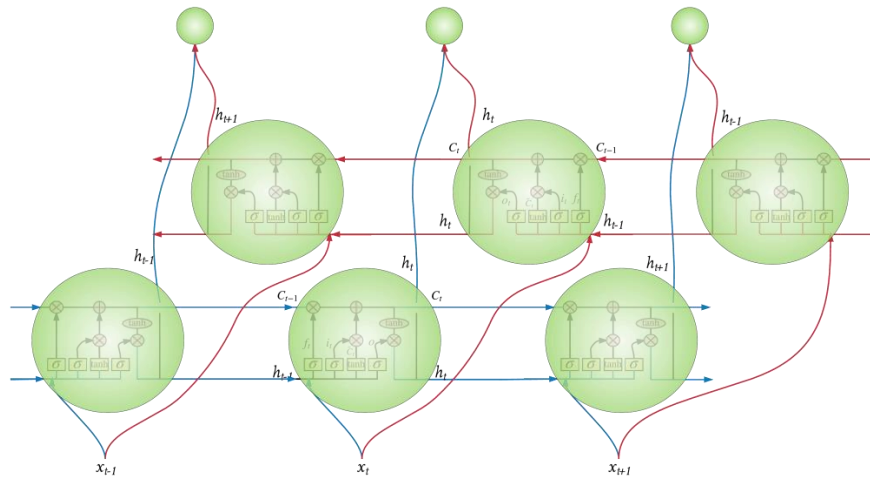
$$i_t = \sigma(W_i[x_t, h_t - 1] + b_c).$$

C_t katakchanning keyingi holatini quyidashicha olish mumkin:

$$C_t = \tanh(W_c[x_t, h_t - 1] + b_c);$$

$$C_t = f_t \odot C_{t-1} + i_t \odot C_t.$$

Har bir vaqt qadamida o‘zining mazmunini qayta yozib qo‘yadigan an’anaviy rekurrent blokdan farqli o‘laroq, uzoq muddatli qisqa muddatli xotira birligi shlyuz orqali kiritilgan joriy xotira holatini saqlash to‘g‘risida qaror qabul qilishi mumkin.



1.12-rasm. Ikki yo‘nalishli uzoq muddatli-qisqa muddatli xotira birliklari

Qo‘lyozma va nutqni aniqlash vazifalari kabi ko‘plab ketma-ketlikni markirovka qiladigan vazifalar uchun ikki yo‘nalishli uzoq muddatli-qisqa muddatli xotira birliklari tarmog‘i bilan avvalgi (chapda) va keyingi (o‘ngda) kontekstga murojaat foydalidir. Biroq, uzoq muddatli-qisqa muddatli xotira birliklarining h_t yashirin holatlari faqat oldingi ma’lumotni oladi va kelajak haqida hech narsa bilmaydi. Rekurrent ikki yo‘nalishli uzoq muddatli-qisqa muddatli xotira birliklarining neyronli tuzilmalaridan foydalanilganda qo‘lyozmalarni tanib olish uchun eng yaxshi natijalarni bergan [62-65]. Asosiy g‘oya shundan iboratki, har bir ketma-ketlikni ikkita alohida yashirin holatlarda, mos ravishda o‘tmish va kelajak ma’lumotlarini olish uchun ko‘rsatishdir. Keyin ikkita yashirin holat birlashtirilib, (1.12-rasmga qarang) ko‘rsatilgandek, yakuniy natija shakllantiriladi.

1.4.3. Kohonen neyron tarmog'ini qurish printsiplari

Kohonen neyron tarmoqlari deganda o'z-o'zini tashkil qiluvchi neyron tarmoqlarni nazarda tutiladi. O'z-o'zini tashkil qiluvchi tarmoq ma'lum umumiy xususiyatlarga ega kirish vektorlarining klasterlarini (guruhlarini) aniqlash imkonini beradi.

Klasterli tahlil – berilganlarni to'plash, tanlov obyektlari haqidagi ma'lumotlarni saqlovchi va ularni bir jinsli guruhlariga nisbatan tartiblashni bajaruvchi ko'p o'lchamli statistik protseduradir^[Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Klasterizatsiya- bu tekshirilayotgan obyektlarni "o'xshash" obyektlar klasterlari deb nomlangan guruhlariga ajratilishi. "Klaster" atamasi (Inglizcha Klaster - paket, guruh) sinf, takson, guruh atamalariga sinusim atamadir. Klasterizatsiya usuli klassifikatsiya usulidan tubdan farq qiladi. Klassifikatsiya usuli yechimi predmetlarni har biriga predmet sinflardan biriga tayinlashdir. Klasterizatsiya vazifasida obyekt oldindan aniqlanmagan sinflardan biriga tayinlanlash. Klasterlardagi obyektlarning klasterlarga ajratish bir vaqtning o'zida klasterlar shakllanishi bilan amalga oshiriladi^[Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Klasterizatsiya, ma'lumotlarni yig'ish vazifalarini bir qator hal qilishni osonlashtiradigan o'xshash ma'lumotlarni to'plash imkonini beradi.

- Ma'lumotlarni tahlil qilish, tahlil qilishni osonlashtirish. Olingan guruhlarini mazmunli tahlil qilish qonuniyatlarni aniqlash imkonini beradi. Masalan, siz uyali aloqa tarmog'i mijozlarini aniqlashingiz mumkin, ular uchun yangi tarif rejasini taklif qilishingiz mumkin. Boshqa misollar - savdo tarmog'ining xaridor guruhlarini aniqlash, bozorni segmentlash. Klaster tarkibining tahlili turli xil guruhlarining obyektlariga tahlilning turli usullarini qo'llash imkonini beradi;

- Prognozlash. Klasterlardan biriga yangi obyektini tayinlash orqali, uning xatti-harakati klaster obyektlarining xatti-harakati bilan o'xshash bo'lgani uchun, obyekt xatti-harakatlarini oldindan belgilashingiz mumkin;

- Anomaliyalarni aniqlash. Guruhlarni to'g'ri aniqlanishi anomaliyalarni aniqlashga yordam beradi. Odatda, bu klaster, yerda juda oz narsalar tushadi.

Har bir klasterni to'g'ri aniqlanishining ahamiyatini e'tiborga olish muhimdir. Har bir guruhga klaster xossalarini aks ettiruvchi nom berilishi kerak. Buning uchun obyektlarni klasterga birlashtiradigan

xususiyatlarni aniqlash kerak. Bu klaster obyektining xususiyatlarini statistik tahlil qilishni talab qiladi.

Kohonen tarmoqlari yordamida miqdoriy xususiyatlari bilan berilganobyektlar klasterlari hisoblanadi¹Ошибка! Источник ссылки не найден.¹.

Formal ravishda Klasterizatsiya usuli quyidagicha amalga oshirali. Har bir obyektningvektor x_j , $j=1,2,\dots,n$ atributlari (alomatlari) bilan ifodalanadigan obyektlar majmuasini $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ berilgan: $x_j = \{x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jm}\}$. C klaster to'plamini tuzish talab etiladi, C to'plami F to'plamini I to'plamga $F : I \rightarrow C$ akslantirishdan hosil bo'ladi. Klasterizatsiya to'plami quyidagicha tuziladi.

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_k, \dots, c_g\},$$

bu yerdac_k- to'plamdagi "o'xshash" obyektlarini o'z ichiga olgan klaster:

$$c_k = \{i_j, i_p \mid i_j \in I \text{ va } d(i_j, i_p) < \sigma\},$$

σ - bu bir obyektida obyektlarni kiritish uchun yaqinlik o'lchovini belgilovchi qiymat, $d(i_j, i_p)$ masofa deb ataladigan obyektlar orasidagi yaqinlik o'lchovidir.

Agar masofa $d(i_j, i_p)$ ma'lum bir qiymatdan kamroq bo'lsa, obyektlar yaqin deb hisoblanadi va bir xil klasterga joylashtiriladi. Aks holda, obyektlar bir-biridan farq qiladi va ular turli guruhlariga joylashtirilgan deb hisoblanadi.

Klasterizatsiya, vektor orasidagi masofani ishlatishga asoslangan. $d(x, y)$ quyidagi shartlar qondirilgan bo'lsa, x va y vektorlari orasidagi masofa deb nomlanadi¹Ошибка! Источник ссылки не найден.¹.

1. $d(x, y) \geq 0$, barcha x va y lar uchun.
2. $d(x, y) = 0$, faqat va faqat $x=y$ bo'lganda.
3. $d(x, y) = d(y, x)$.
4. $d(x, y) \leq d(x, k) + d(k, y)$ - uchburchak tensizligi.

Kohonentarmoqlarida odatda Yevklid masofa ishlatiladi¹Ошибка! Источник ссылки не найден.¹

$$d_E(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} = \|x - y\|.$$

Yevklid masofa x va y vektorlari orasidagi masofa vektorlar orasidagi farqning yevklid normasini, yoki x va y nuqtalarini birlashtiruvchi masofani o'zida aks ettiradi.

Yevklid masofasi Minkovskiy (H.Minkovskiy) masofasining xususiy holdir^[Ошибка! Источник ссылки не найден.].

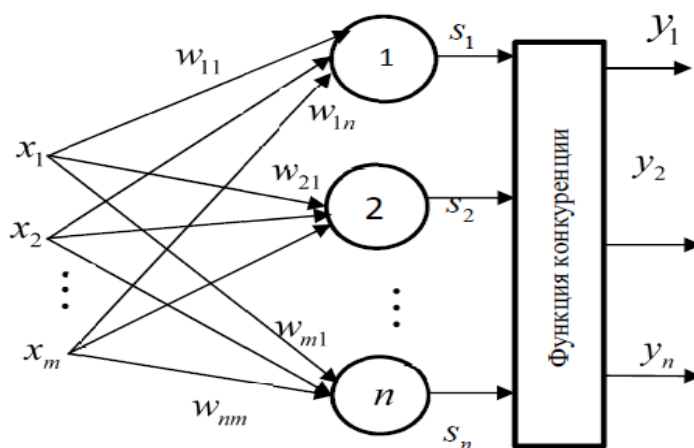
$$d_p(x, y) = \left(\sum_{i=1}^m |x_i - y_i|^p \right)^{1/p} = \|x - y\|_p,$$

bu yerda $\|z\|_p = \left(\sum_{i=1}^m |z|^p \right)^{1/p}$ z ni p - normasi.

Agar 2- normasi bo'lsa –Yevklid masofasi bo'ladi.Yana bir alohida holat 1-norma, Manxetten masofa deb nomlanadi (shaharlardagi masofa).

$$d_1(x, y) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|.$$

Kohonen neyrontarmog'ining har bir qatlami WTA (*Winner Takes All* - g'olib hammasini oladi) tipidagi neyronlardan tashkil topgan tarmoqdir^[Ошибка! Источник ссылки не найден.].



1.13-rasm. Kohonen neyrontarmog'ining strukturasi

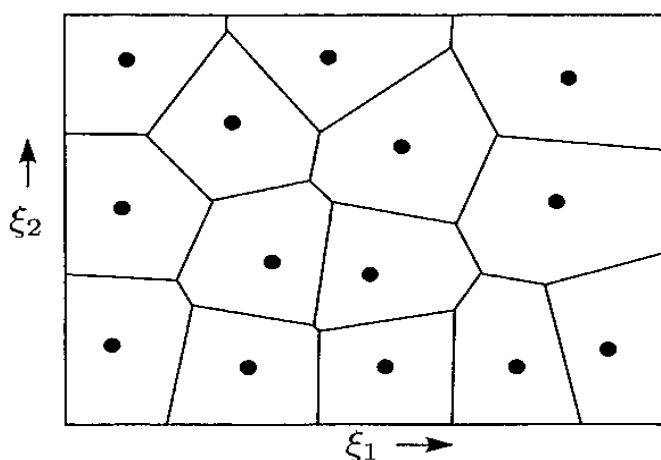
Neyron tarmoqning har bir neyroni m -o'lchovli $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$ kirish vektorining barcha komponentlaridan iborat. Kirish vektori – klasterizatsiya obyektlarning birining ko'rinishi. Neyronlar soni tarmog'ining ajratilishi kerak bo'lgan guruhlar soniga to'g'ri keladi. Kohonenneyron tarmog'ining neyronlari qo'shimchalar sifatida chiziqli og'irlikdagi belgilaydi.

$$s_j = b_j + \sum_{i=1}^m w_{ij} x_i,$$

bu yerda j - neyronlarning raqami, i – kiritish raqami, s_j – moslashuvchan katakchani chiqishi, w_{ij} - j -neyronning i - kirish og'irligi, b_j - chegara.

Har bir j - neyron vazn vektori $w_j = (w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{mj})$ bilan belgilanadi, bu yerda m - kirish vektorlarining komponentlari soni. Moslashuvchan qo'shimchalar chiqqandan so'ng, signal "g'olib hammasini oladi" qoidasiga ko'ra ishlaydigan tanlov funksiyasiga kiradi. Raqobat funksiyasi maksimal chiqish qiymatiga ega bo'lgan moslashuvchan yig'uvchining chiqishini topadi. k - bu kabi qabul qiluvchining raqami. Keyin tarmoqning chiqishi $y_k = 1$ chiqish signali bo'lib, boshqa chiqish signallari esa nolga teng. Maksimal bir vaqtning o'zida bir nechta chiqish signali birga teng bo'lsa, masalan, birinchisiga mos keladi.

Kohonen neyron tarmog'ining o'rgatish, vazn vektori tomonidan kiritilgan kirish vektorining o'lchovima'nosida yaqinlik almashinishdagi xatolar yuzaga keltirishni kamaytiruvchi og'irliklar tanlovidir. Ushbu yondashuv vektorning kvantlashi deb ataladi va audio-video signallarni siqish muammolarida ishlatiladi. Vektorning kvantlash g'oyasi kodli jadvalni tashkil qiluvchi kichik o'lchovli qo'llab-quvvatlash vektorlari yordamida ko'p o'lchovli kirish vektorlarining ixcham ko'rinishini tashkil qiladi. Bunday holda Kohonen neyron tarmog'i kirish vektorlari g'olib neyronlarning (klaster raqamlari) raqamlari bilan belgilangan bo'ladi. Shunday qilib, kirish maydonining muayyan mintaqasidan kelgan barcha vektorlar ularning eng yaqin qo'shnisi bo'lgan bir xil qo'llab-quvvatlovchi vektor bilan almashtiriladi. Yevklid masofasidan foydalanilganda, kirish maydoni Voronoy (Вороной Г.Ф.) ko'pburchaklarga bo'linadi. Voroniy ikki o'lchovli ko'pburchagi 1.14-rasmda misol qilib keltirilgan^[83].



1.14-rasm. Voronov ko'pburchagiga misol

Ko'p o'lchovli fazalarda Voronov ko'pburchagi gipersplanalar orqali hosil bo'ladi.

1.4.3.1. Kohonen neyron tarmog'ini o'qituvchisiz o'rganish

Kohonen neyron tarmoqlarida o'qituvchisiz buyruq ishlatiladi. Tarmoqni tayyorlash uchun raqobat mexanizmlari qo'llaniladi. Tarmoqning kirishiga bir vektor x kiritilganda, vazn vektori kirish vektoridan kam farq qiladigan neyron oladi. G'olib neyron uchun, munosabat

$$d(x, w_j) = \min_{1 \leq i \leq n} d(x, w_i).$$

Bu yerda, n - neyronlarning soni, j - g'olib neyronning raqami, $d(x, w)$ - x va w vektorlari orasidagi masofa (tanlangan metrikaning ma'nosida). Ko'pincha, masofa o'lchovi sifatida, Yevkliddagi o'lchov olinadi^[85].

$$d(x, w_j) = \|x - w_j\| = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_j - w_{ij})^2}.$$

Boshqa o'lchovda masofalar ham qo'llaniladi.

Raqobatchan faollashtiruvchi funksiya katakchanning qiymatlarini tahlil qiladi va natijada minimal qiymatga ega bo'lgan "g'olib neyron" dan tashqari barcha neyronlar uchun 0 ga teng bo'lgan neyron chiqishi hosil qiladi. Shunday qilib, chiqish vektorida 1 ga teng bitta element mavjud bo'lib, u neyronlarning g'olibiga to'g'ri keladi, qolganlari esa 0 ga teng. Faol neyronlarning soni kirish vektorining eng yaqin bo'lgan guruhini (klaster) aniqlaydi.

Kohonentarmog'ida kirish qiymatlari kerakli (normal bo'lmasa ham) normallashtiriladi. Buni amalga oshirish uchun quyidagi formulalardan birini tanlanadi:

$$x_{ni} = \frac{x_i}{\sum_{j=1}^m x_j^2}, \quad x_{ni} = \frac{x_i}{|x_i|}.$$

Bu yerda x_{ni} - kirish vektorining normallashtirilgan qismi. Kirish ma'lumotlarining normallashtirishi tarmoqning o'qitish tezligiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi.

O'rgatish jarayoni boshlanishidan oldin tarmoq hosil qilinadi, ya'ni vazn vektorlarining dastlabki instilizatsiya qilinadi. Eng oddiy holatda, vaznlarning tasodifiy qiymatlari berilgan. Kohonen tarmog'ini o'rganish jarayoni qator bosqichlarni takroriy takrorlashdan iborat^[Ошибка! Источник ссылки не найден.]:

1. Kirish ma'lumotlarini kirishga yuborish. Odatda bu kirish vektorlarining tasodifiy tanlovidir.

2. Har bir neyronning chiqishini topish.

3. "G'olib neyron"nitopish (uning vaznlari kirish vektorining tegishli tarkibiy qismlaridan farqli).

4. Kohonen qoidasiga ko'ra, "g'olib neyron" neyronlarning og'irliklarini o'zgartiriladi.

$$w_i^{(k+1)} = w_i^{(k)} + \eta_i^{(k)} \left[x - w_i^{(k)} \right],$$

bu yerda x – kirish vektori, k - o'qitishning siklini raqami, $\eta_j^{(k)}$ - i -neyronning k -siklidagi o'qitishning o'rgatish tezligi koeffsienti.

5. Agar o'ragatish tugatilmagan bo'lsa, 1-bosqichga o'ting. Xatolik funksiyasining kichik qiymatiga erishish mumkinligini tekshirish mumkin

$$E = \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \|x_i - w_{x_i}\|^2,$$

bu yerda $w_{x_i} - x_i$ kirish vektori g'olib neyron og'irlik vektori va Q – o'rgatish tanlanmasining o'lchovi.

Shunday qilib, vazni vektorlari kirish vektoriga yaqin bo'lgan neyron, yanada yaqinroq bo'ladi. Natijada, bu neyron kirishga yaqin vektor yuborish orqali raqobatlashadi va sezilarli darajada farqli vektorni yo'qotishnita'minlaydi. O'rgatishni bir necha martatakroriy ravishda amalga oshirilgandan so'ng, vektor klasterga tegishli bo'lganida 1 hosil qiluvchi neyron bo'ladi va vektor klasterga tegishli bo'lmaganida 0 hosil qiluvchi neyron bo'ladi. Shunday qilib, tarmoq kirish vektorlarini klassifikarsiyalash o'rganadi.

Kohonen neyron tarmog'ini o'rgatish paytida "o'lik" neyronlar deb ataladigan muammo tug'iladi. Har qanday raqobatlashuvchi qatlamning cheklashlaridan birida ba'zi neyronlarning ishlatilmay qolishi. Bu, kirish vektoridan sezilarli darajada ajralib chiqqan boshlang'ich vaznli vektorlarga ega bo'lgan neyronlar, o'qitishda qancha davom etishidan qat'i nazar, raqobatni g'olib chiqmaydi. Natijada, bunday vektorlarni o'qitish uchun ishlatilmaydi va tegishli neyronlar hech qachon g'olib chiqmaydi. Bunday "mag'lub neyron"larni "o'lik" neyronlar deb ataladi, chunki ular foydali vazifani bajarmaydi. Shunday qilib, kirish ma'lumotlari neyronlarning kichik soni bilan izohlanadi. Shuning uchun, biz barcha neyronlarni mag'lub qilish uchun imkoniyat berishimiz

kerak. Buning uchun o'qitish algoritmi "o'lik" neyronlarni o'qitishda ishtirok etishini modifikatsiya qilish kerak.

Masalan o'rgatish algoritmi neyron tanlovi g'olibni yo'qotadigan tarzda o'zgartiriladi. Neyronlarning faoliyatini hisobga olishning usullaridan biri – o'rgatish jarayonida har bir neyronning potentsialini hisoblash. Dastlab, neyronlarga $p_i(0) = \frac{1}{n}$ funktsiyasi beriladi, bu yerda n - neyronlarning (klasterlarning) soni, k -siklidagi o'rgatish salohiyati quyidagicha qoidalar bilan aniqlanadi:

$$p_i(k) = \begin{cases} p_i(k-1) + \frac{1}{n}, & i \neq j, \\ p_i(k-1) + p_{\min}, & i = j, \end{cases}$$

bu yerda j -g'olib vektor raqami.

Agar potentsial $p_i(k)$ ning qiymati p_{\min} darajasidan past bo'lsa, u holda neyron "dam olish" dan olib tashlanadi. $p_{\min} = 0$ neyronlar kurashdan chiqarib tashlanmaydi. $p_{\min} = 1$ bo'lsa, neyronlar o'z navbatida g'alaba qozonadi, chunki har bir o'quv kursida faqat bittasi kurashishga tayyor. Amalda, $p_{\min} \approx 0.75$ bilan yaxshi natija olinadi.

Neural Network Toolboxda, "o'lik" neyronlarga qarshi kurashish uchun neyronlarning almashinuvidagi o'zgarish qo'llaniladi. O'lgan neyronlarning befarqligini hisobga olgan holda, mos keladigan o'zgartirish qoidasi *learncon* funktsiyasi sifatida amalga oshiriladi va quyidagilardan iborat. O'rgatish jarayonining boshida raqobatlashadigan qatlamning barcha neyronlariga bir xil faoliyat parametri berilgan:

$c_0 = \frac{1}{N}$, bu yerda N - raqobatlashadigan qatlamning neyronlarning soni,

klasterlar soniga teng. O'rgatish jarayonida *learncon* funktsiyasi bu parametrni faol neyronlar uchun qiymatlar kattalashishi vafaol bo'lmaganlari uchun kamroq bo'ladi. Faoliyat parametrlari vektori uchun mos keladigan formulalar quyidagilar^{[[Ошибка! Источник ссылки не найден.](#)]}:

$$c^{(k+1)} = (1 - r_i)c^{(k)} + r_i s^{(k)}$$

Bu yerda, r_i - tezligni sozlash parametri; k - iteratsiya tartibi, $s^{(k)}$ - k -o'rgatish jarayonida moslashuvchan qo'shimchalar chiqaradigan natijaviy vektori. Natijaviy vektorining tarkibiy qismlari quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi.

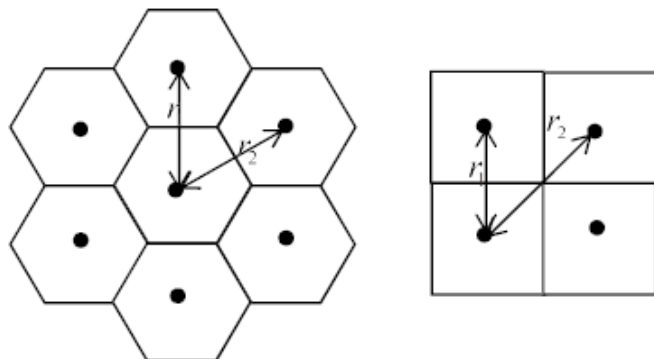
$$b_i^{(k+1)} = e^{(1 - \ln c_i^{(k+1)})} - b_i^{(k)}$$

Gʻolib neyron uchun xatoliklar miqdori kamayadi va qolgan neyronlarning joylashuvi biroz ortib boradi. Sozlashning r_i tezligi parametri 0,001 ga teng. Faol boʻlmagan neyronlarning almashinuvi ortishi kirish qiymatlarining kengayishini taʼminlaydi va nofaol neyronlar klasterlarini hosil qila boshlaydi. Natijada u yangi kirish vektorlarini jalb qilishni boshlaydi. Bu ikki afzallik beradi. Agar neyron raqobatni yutmasa, uning vazni vektori tarmoq kirishiga kiradigan vektorlardan sezilarli darajada farq qiladi, unda uning oʻrni oʻrganishdayetarli boʻladi va u raqobatlashadi. Bunday holatda vazn vektori maʼlum kirish vektorlari guruhiga yaqinlasha boshlaydi. Neyron gʻolib kela boshlagach, uning oʻrnini bosishi kamayadi. Shunday qilib, "oʻlik" neyronlarni faollashtirish vazifasi hal qilinmoqda. Oʻzgarishlarni sozlash bilan bogʻliq boʻlgan ikkinchi afzallik, ular siz faoliyat parametrlari qiymatlarini moslashtirish va taxminan bir xil miqdordagi kirish vektorlarini jalb qilishiga imkon beradi. Shunday qilib, agar klasterlardan biri boshqasidan koʻra koʻproq kirish vektorini tortadigan boʻlsa, toʻldirilgan maydon qoʻshimcha neyronlarni jalb qiladi va kichikroq guruhlariga boʻlinadi.

1.4.3.2. Kohonen xaritalarini qurish prinsiplari

Kohonen xaritalari (*oʻz-oʻzini tashkil qiluvchi xaritalar* yoki *SOM* — *self-organizing map*) ikki oʻlchovli xaritada obyektlarning koʻp oʻlchovli xususiyatlarini vizual koʻrsatish uchun moʻljallangan. Kohonen xaritalari kichik oʻlchovli (odatda, ikki oʻlchovli) elementlarga yuqori oʻlchovli kirish maʼlumotlarini xaritasini ishlab chiqadi. Kohonen xaritalari Kohonen neyron tarmoqlariga oʻxshash. Farq shundaki, xaritada klaster markazlari boʻlgan neyronlar bir necha tuzilishlarga (odatda ikki oʻlchovli tarmoqda) hosil qilinadi. Xaritani oʻrganish jarayonida biz nafaqat neyronlar gʻolibi, balki qoʻshnilarining ogʻirliklarini ham oʻzgartiramiz. Natijada, Kohonen neyron tarmogʻidagi baʼzi metrikalarda yopilgan kirish vektorlari bir neyronga (klasterning markazi) tegishli boʻlib, Kohonen xaritasida ular atrofdagi turli yaqin neyronlarga murojaat qilishlari mumkin. Odatda, neyronlar toʻrtburchaklar yoki olti burchakli neyron tarmoqlarga ega boʻlgan ikki oʻlchovli panjada joylashgan. Neyron-qoʻshnilar xaritadagi neyronlar orasidagi masofa bilan aniqlanadi (1.15-rasm). Markazlarida olti-burchakvatoʻrtburchaklar shaklidagi neyron tarmoqlar mavjud, ularning

markazlarida neyronlar mavjud. Oltiburchakli neyron tarmoqlar xarita ustida obyektlar orasidagi dekart masofasini aniqroq ko'rsatadi, chunki bu neyron tarmoqlar uchun qo'shni tugun markazlari orasidagi masofa bir xil bo'ladi^[81].



1.15-rasm. Oltiburchakli va to'rtburchakli neyron tarmoqlar

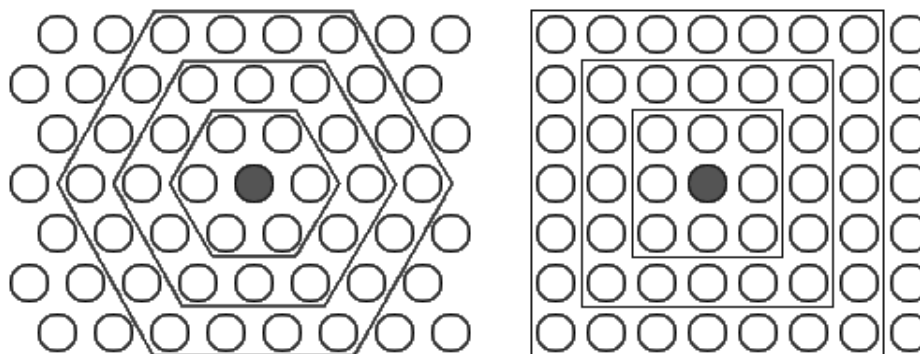
Har bir tugun Kohonen neyron tarmog'ining neyroniga to'g'ri keladi. Ya'ni, Kohonen xaritasida neyron soni xaritaning tugunlari soniga teng va Kohonen neyron tarmog'ining neyronlarning sonidan ko'p, klasterlar soniga teng. Xaritaning tugunlar soni qiymatini kerakli parametriga bog'liq va eksperimental ravishda tanlanadi. O'z-o'zini tashkil qiluvchi xaritalar neyron tarmoq algoritmlarining asosiy turlaridan biri hisoblanadi. Ushbu texnologiyaning boshqa neyron tarmoqlardan asosiy farqi, o'qituvchisiz o'qitish usulini qo'llanilgan, teskari tarqatish algoritmi bilan o'rgatilgan, ya'ni o'rgatishda natija faqatgina kirish ma'lumotlarining tuzilishiga bog'liq. Ushbu turdagi neyron tarmoqlar ko'pincha turli masalarni yechish uchun, ma'lumotlardagi bo'shliqlarni tiklashdan ma'lumotlarni tahlil qilish va qonunlarni topish uchun ishlatiladi, masalan, moliyaviy masalalarda^[Ошибка! Источник ссылки не найден.].

O'z-o'zini o'rgatish xaritalarining ishlash algoritmi ko'p o'lchovli vektorlarni klaster taxlil variantlaridan biri hisoblanadi. Bunday algoritmlarning misol sifatida "k-eng yaqin qo'shni" (k-means) algoritmini keltirish mumkin. SOM algoritmining muhim farqi shundaki, unda barcha neyronlar odatda ikki o'lchovli tarmoqni hosil qiladi. SOM da o'rgatish asosan "g'olib hammasini oladi" qoidasiga ko'ra amalga oshiriladi. Shu bilan birga, o'rgatish vaqtida nafaqat neyronlarning g'oliblari, balki qo'shni bo'lganlar ham o'zgarmaydi, biroq u kichik darajada o'lchovli fazoga o'tkaziladi. Shu sababli, SOM o'lchamli fazodan nisbatan kichik o'lchamli fazoga o'tish usullaridan

biri sifatida qaralishi mumkin. Ushbu algoritmni qo'llash natijasida, haqiqiy xarita fazosiga o'xshash vektorlar hosil qilinadi¹Ошибка! Источник ссылки не найден.¹.

SOM neyronlarning tartiblangan strukturasi qo'llashni nazarda tutadi. Odatda bir va ikki o'lchamli tarmoq qo'llaniladi. Bu holda har bir neyron n-o'lchovli vektor ustuni $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ bo'lib, bu yerda n haqiqiy fazo o'lchami (kirish vektorlarining o'lchami) bilan aniqlanadi. Bir va ikki o'lchovli tarmoqlardan foydalanish yuqori o'lchamdagi kengaytmali tuzilmalarni xaritada topishda muammolar yuzaga kelishi bilan bog'liq (bu yerda o'lchamni ikki o'lchovli o'lchamga tushirish, vizual ko'rish muammolarga bog'liq).

Odatda, neyronlar to'rtburchaklar yoki olti burchakli hujayralarga ega bo'lgan ikki o'lchovli tarmoq tugunlaridir. Bu holda, yuqorida aytib o'tilganidek, neyronlar ham bir-biri bilan ta'sir o'tkazishadi. Ushbu ta'sirning kattaligi xaritadagi neyronlar orasidagi masofa bilan belgilanadi. 1.16-rasmda olti burchakli va to'rtburchakli tarmoqlar uchun neyronlar orasidagi masofa keltirilgan.



1.16-rasm. Xaritada olti burchakli (a) va to'rtburchak (b) tarmoqlar uchun neyronlar orasidagi masofa

Oltinchali burchakli tarmoqdagi neyronlar orasidagi Yevklid masofa to'rtburchakli tarmoqqa qaraganda ko'proq ekanligini ko'rish oson.

Bunday holda, xaritaning yakuniy umumlashtirish qobiliyati tarmoqdagi neyronlar soniga qarab aniqlanadi.

1.4.3.3. Kohonen xaritalar o'rganish algoritmlari

Kohonenning o'z-o'zini tashkil qiluvchi xaritalarni o'qitish algoritmi quyidagi bosqichlardan iborat¹Ошибка! Источник ссылки не найден.¹:

1. Har bir tugunning og'irliklarini boshlang'ich aniqlash;

2. Berilganlar to‘plamidan tasodifiy vektorlar dastlabki o‘qitish uchun tanlanadi vatarmoq hosil qilinadi;

3. Tarmoqning har bir tugunidagi kirish vektoriga o‘xshashligi hisoblanadi. G‘olib chiqqan tugun odatda bir qiymatni o‘zlashtiradi va g‘olib neyron deb ataladi.

$$K^2 = \sum_{i=0}^{i=n} (I_i - W_i)^2, \quad (1.44)$$

bu yerda I - joriy kirish vektori, W_i - i -tugundagi og‘irlik vektori va n - og‘irliklar soni.

4. G‘olib neyronning radiusi atrofi hisoblanadi. Bu katta ahamiyatga ega. Odatda tarmoq radiusi sifatida g‘olib neyronning radiusi belgilanadi va har bir qadamda radius kamayib boradi.

$$\sigma(t) = \sigma_0 e^{(-t/\lambda)}, \quad (1.45)$$

$$\lambda = \frac{N}{\sigma_0},$$

bu yerda t - joriy itoratsiya, λ - o‘zgarish vaqt, σ_0 - xaritaning radiusi, N - takrorlanishlar soni.

5. Barcha tugunlarda g‘olib neyronidagi radius atrofi 4-qadamdagidek hisoblanadi, kirish vektori qiymatlari o‘zgaradi. Neyronlar g‘olib neyronning- tuguniga qanchalik yaqin bo‘lsa, unlarining vazni ham o‘zgaradi.

$$W(t+1) = W(t) + \theta(t)L(t)(I(t) - W(t)), \quad (1.46)$$

$$L(t) = L_0(t) e^{(-t/\lambda)}$$

$L(t)$ – o‘qitish tezligi, $L_0(t)$ – boshlang‘ich o‘qitish tezligi, $\theta(t)$ - g‘olib neyrondan Gauss funktsiyasi bo‘yicha masofasi.

6. N-qatlamgacha 2-bosqichdan boshlab takrorlanadi.

Muntazam ravishda o‘rgatish algoritmda har bir o‘rgatish bosqichidan keyin og‘irliklar yangilanadi. Neyronlarning o‘rgatish, Kohonen neyron tarmog‘idagi neyronlariga o‘xshaydi. Farq shundaki, g‘olib neyron atrofiga kiruvchi neyronlar yoki g‘olib neyronni o‘rganish radiusi qo‘shimcha ravishda o‘rgatiladi. Neyron xaritada g‘olib chiqqan neyron o‘rtasidagi masofa ma‘lum bir qiymatdan pastroq bo‘lsa (neyronlarning og‘irliklari o‘zgaradi, lekin ularning xaritadagi joylashuvi o‘zgarishsiz), neyron g‘olib neyronning radius atrofiga tegishli. Bunday algoritm WTM tipidagi algoritm deb ataladi (*Winner Takes Most*- g‘olib ko‘proq oladi). Klassik algoritmda g‘olib neyron va uning atrofidagi barcha neyronlarning vaznlari biroz o‘zgartirilgan Kohonen

qoidasiga (1.45) muvofiq o'rgatishga tobe bo'ladi. Radius atrofdan tashqaridagi neyronlarning og'irliklari o'zgarmaydi. Radius atrofning kattaligi va o'rgatish tezligi koeffitsienti - o'rgatish davrining ortishi bilan qiymati kamayadi.

Kohonen qoidalaridagi o'zgarish shundaki, $\eta_i^{(k)}$ o'rganish tezligi koeffitsienti ikki qismga bo'lingan: $\eta_i(d, k)$ qo'shnilik funksiyasi va $a(k)$ o'rgatish tezligi funksiyasi .

Qo'shnilik funksiyasi o'zgarmas sifatida

$$\eta_i^{(k)} = \eta_i(d, k) \cdot a(k) \quad (1.47)$$

yoki Gaus funksiyasi sifatida ishlatiladi.

$$\eta_i(d, k) = \begin{cases} const, & d_i \leq \sigma(k), \\ 0, & d_i > \sigma(k), \end{cases} \quad (1.48)$$

$$\eta_i(d, k) = e^{-\frac{d_i}{2\sigma(k)}}$$

Eng yaxshi natijaga Gauss funksiyasidan foydalanilganda erishiladi. (1.47) va (1.48) da $d_i = \|r_i - r_{c_j}\|$ i - neyron va c_j g'olib neyron orasidagi masofa, r_i va r_{c_j} i -kartasining tarmoqning tugunning va c_j g'olib bo'lgan neyron koordinatalari, $\|r_i - r_{c_j}\|$ kartasining tarmoqning i va c_j tugunlar orasidagi masofa. $\sigma(k)$ - funksiya bu o'rganishning takrorlashi bilan kamayib boruvchi funksiyasi. Eng odatda o'rganishning takrorlashi ishlatildi, chiziqli ravishda kamayadi.

Keling, $a(k)$ o'rganish tezligi funksiyasini ko'rib chiqaylik. Bu funksiya, shuningdek, o'rganishning takrorlashi kamayib boruvchi funksiyani ifodalaydi. Ushbu funktsiyaning odatda ikkita turi ishlatiladi: chiziqli takrorlanuvchi va teskari proporsional

$$a(k) = \frac{A}{k + B}$$

Bu yerda A va B lar o'zgarmaslar. Ushbu funktsiyani qo'llash o'rgatishning barcha vektorlari o'rgatishga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi.

O'rgatish ikki asosiy bosqichdan iborat: *boshlang'ich bosqich* vazn vektorlarini koeffitsientlarining aniqlash, bu neyron vektorlarini namunadagi misollarni taqsimlash o'rgatish tezligi va o'rgatish radiusining yetarlicha katta qiymati tanlanadi. *Oxirgi bosqichda* - sozlash bosqichi, o'rgatish tezligi parametrlarining dastlabki qiymatidan

ancha kichik bo'lgan taqdirda, muvozanat aniqlanadi. Tarmoq xatosi (1.46) yetarlicha kichik bo'lgunga qadar davom etadi.

1.4.3.4. Algoritmni paketli o'rganish

Bundan tashqari algoritmni paketli o'rganish algoritmi mavjud. Ushbu algoritm orasidagi farq kiritishda barcha vektorlarning kiritilishi bo'lib, bu holda faqat og'irliklar yangilanadi. Ushbu algoritm normallashtirilgan kirish vektorlarini ishlatadi. Algoritm bir necha bosqichdan iborat¹:
Ошибка! Источник ссылки не найден.

1. Barcha N ta vektorlar bir vaqtning o'zida kirishga yuboriladi. Keyin, har bir x_j kirish vektori va w_i vektorlar vazni Yevklid fazosida masofa bo'yicha hisoblanadi. G'olib neyronlar soni aniqlanadi:

$$c_j = \arg \min_i \left\{ \|w_i - x_j\| \right\},$$

2. Barcha vaznlar yangilanadi, chunki barcha vektorlar elementlari o'rtacha qiymatda berilgan:

$$w_i^{new} = \frac{\sum_{j=1}^N h_{c_j,i} x_j}{\sum_{j=1}^N h_{c_j,i}}.$$

Bu yerda $h_{c_j,i}$, i -qo'shnilik funksiya

$$h_{c_j,i} = \exp \left(\frac{\|r_i - r_{c_j}\|^2}{2\sigma^2(k)} \right).$$

Bu yerda r_i , r_{c_j} xaritasi tarmog'idagi i -neyron va c_j g'olib bo'lgan neyron koordinatalari bo'lib, $\|r_i - r_{c_j}\|$ - i va c_j qismlar orasidagi masofa, $\sigma(k)$ parametr o'tish sonini ortishi bilan kamayadi.

$$\sigma(k) = \sigma_0 (1 - k / k_{\max}),$$

σ_0 - tanlanadigan boshlang'ich qiymat, k_{\max} - maksimal o'tish soni. Xatolik funktsiyasi (1.46) yetarli darajada kichik bo'lgunga qadar takrorlanadi.

Xaritani yaratishdan avval uning konfiguratsiyasi va neyronlar sonini aniqlang. Neyronlar soni xaritaning tafsilotini aniqlaydi, ammo neyronlar qancha ko'p bo'lsa, o'rgatish shuncha uzoq davom etadi.

Ushbu ko'rsatish usuli yordamida, olingan xarita bir tort bo'lagi sifatida ifodalanishi mumkin. Ushbu qatlamning har bir qatlami asl ma'lumotlarning tarkibiy qismlaridan biri tomonidan yaratilgan rang. Olingan ranglar to'plami ma'lumotlar majmui komponentlari orasidagi mavjud naqshlarni tahlil qilish uchun ishlatilishi mumkin. Xaritani tashkil etgandan so'ng biz ikki o'lchamli tasvir sifatida ko'rsatilishi mumkin bo'lgan bir qator tugunlarni olamiz. Bu holda xarita har bir tugunni to'rtburchak yoki to'rtburchak shaklidagi bo'linma bilan bog'lash mumkin, ularning koordinatalari tarmoqdagi tegishli tugunning koordinatalari bilan belgilanadi. Vizualizatsiya uchun bu rasmning xujayralari rangini aniqlash uchungina qoladi. Buning uchun komponent qiymatlari ishlatiladi. Oddiy variant - bu kulrang o'lchamlardir. Bunday holda, komponentning minimal qiymatiga ega bo'lgan elementlar urilgan yoki hech qanday yozuvlar qayd qilinmagan xarita tugunlariga to'g'ri keladigan hujayralar qora rangda aks ettiriladi va bunday komponentning maksimal qiymatlari bilan yozuvlarni o'z ichiga olgan hujayralar oq hujayralarga mos keladi. Printsipial jihatdan bo'yoq uchun har qanday gradient palletidan foydalanishingiz mumkin.

Olingan ranglar birgalikda komponentlarning joylashishini, ular o'rtasidagi munosabatlarni va komponentlarning turli qiymatlarining nisbiy o'rnini ko'rsatadigan xaritani hosil qiladi.

1.4.3.5. O'z o'zini tashkil qiluvchi Kohonen neyron tarmog'ida klasterizatsiya usuli

Kohonen neyron tarmoqlari deganda o'z-o'zini tashkil qiluvchi neyron tarmoqlarni nazarda tutadi. O'z-o'zini tashkil qiluvchi neyron tarmoqlari ma'lum umumiy xususiyatlarga ega kirish vektorlarining klasterlarini (guruhlarini) aniqlash imkonini beradi.

Bizga har biri m ta alomatdan iborat $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$, $i = 1, 2, \dots, n$ vektorlar berilgan. Natijada kirish vektorlarini alomatlari bo'yicha bir-biriga o'xshash vektorlardan iborat klasterlarga ajratish kerak. Kohonen neyron tarmog'ida klasterlarga ajratish algoritmi quyidagicha^[Ошибка! Источник ссылки не найден.].

1-bosqich. Barcha x_{ij} ($i=1,2\dots n$, $j=1,2\dots m$) kirish vektorlari $[0:1]$ oraliqda o'tkazib (bu natijani tezroq topishga imkon beradi chunki $[0:1]$ oraliqda amallar katta sonlarga nisbatan kamroq kompyuter vaqtini oladi) normallashtiriladi.

2-bosqich. O'qitish uchun w_{ij} ($i=1,2\dots s$, $j=1,2\dots m$) (bu yerda t -klasterlar soni) vazn vektori koeffisientlari $[0:1]$ oraliqdan tasodifiy tanlab olinadi.

3-bosqich. O'qitish uchun tasodif kirish vektori tanlanadi va $k=1$ bo'ladi.

4-bosqich. Tanlangan kirish vektorining barcha neyronlarining har bir klastergacha bo'lgan Yevklid masofasi hisoblanadi.

$$d_j = \rho(x, w_j) = \|x - w_j\| = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - w_{ij})^2} \quad (1.49)$$

bu yerda, x_i tanlangan vektorining i - neyron kirishi, w_{ij} - i -neyronning j -klasterga kirishining vazn koeffisienti, m neyronlar (alamatlar) soni, d_j -klastergacha bo'lgan masofasi

5-bosqich. d_j lar orasidan minimum masofagi neyron topiladi va g'olib neyron hisoblanadi.

$$\min_{1 < j < m} d_j = \min_{1 < j < m} \|x - w_j\| = \min_{1 < j < m} \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - w_{ij})^2} \quad (1.50)$$

6-bosqich. G'olib neyron topilgandan keyin j -klasterdagi vazn koeffisientlari o'zgartiriladi.

$$w_{ij}^{k+1} = w_{ij}^k + a(k)(x_i - w_{ij}^k) \quad ,$$

$$a(k) = a_0 e^{-k/\lambda} \quad .$$

bu yerda, w_{ij}^k - (k)- qatlamdagi vazn koeffisienti, x_i -kirish vektorini i -neyroni, $a(k)$ -o'qitish tezligi koeffisienti, w_{ij}^{k+1} - ($k+1$)- qatlamdagi vazn koeffisienti .

7-bosqich. Agar $k < N$ bo'lsa 4-bosqichga o'tiladi, aks holda 3-bosqichga o'tiladi.

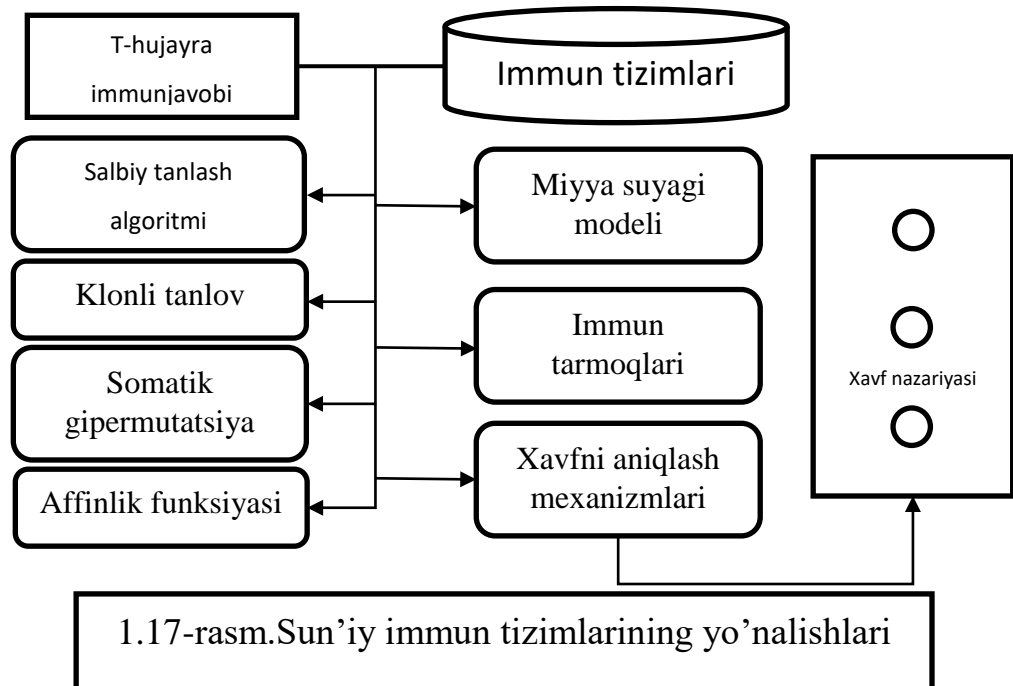
8-bosqich. Agar kirish vektorlarini hammasi ko'rib chiqilgan bo'lsa algoritm tugaydi.

1.5. Evolyutsion algoritmlar va uning ilovalari.

1.5.1 Sun'iy immun tizimlari xususiyatlari, zamonaviy xolati va modeli

Sun'iy immun tizimlari 1990 yilda sun'iy intellektning yangi bir tarmog'i sifatida paydo bo'ldi. So'nggi 7-10 yil ichida immun tizimlaridan o'zining asosida foydalangan ko'plab yangi modellar paydo bo'ldi. Immun tizimlari optimizatsiya vaklassifikatsiyalash masalalarida samarali foydalanilmoqda, bundan tashqari, suniy immune tarmoqlari axborotlarni siqish uchun, klasterizatsiyada, anomaliyalarni qidirishda, mashina o'qitishda (machine learning), strukturalanmagan axborotlarni qayta ishlash va chiqarish, computer xavfsizligi va adaptiv nazratda qo'llanilmoqda. Odatda butun populyatsiyani o'zgartiradigan ommabop genetik algoritmlardan farqli o'laroq, immun algoritmlari faqat topilgan eng yaxshi yechimlardan foydalanadi va ular multimodal optimallashtirishda samarali foydalanilishi mumkin. Shuni aloxida ta'kidlash lozimki, xozirgi kunda immun tizimlarini o'rganish yo'nalishi tabiiy va komputer tizimlarinng o'zaro munosabatini o'rganish va uni qo'llashning faol bosqichi sifatida rasmiylashtirish mumkin. 2006 yildagi ICARIS xalqaro konferensiyasida sun'iy immun tizimlarining ilmiy tadqiqot izlanishlarining asosiy maqsadlari belgilab olingan [85]. 2008 yildagi konferensiyada o'rganish uchun yana bir yo'nalish – T-hujayra immun javobi tanlab olindi [86] (1.17-rasm).

1.17-rasm sun'iy immun tizimlarining ilmiy tadqiqot yo'nalishlari grafik ko'rinishida tasvirlangan.



Miya suyagi modellarini tadqiq qilishda miya suyagi B-limfotsitlarni ishlab chiqarishda foydalanadigan hujayralar va molekulyar repertuarlarni ishlab chiqarish o'rganiladi. Affinlik funksiyasini rasmiylashtirishning yangi yondashuvlarni ishlab chiqishda sun'iy immun tizimlari modellarining yanada samarali algoritmik yondashuvlar uchun biologik modelidan foydalaniladi. Shuni ta'kidlash lozimki, tirik organizmda immun tizimini faollashtirilgan mexanizmlarini o'rganishda ularni cheklash mantiqan to'g'ri emas, (immunologiya va sun'iy immun tizimlarida taqdim etilgan "xavf nazariyasi", "o'ziniki-begona" modeli, "belgilar" prinsipi) chunki hozirgi vaqtda tasdiqlangan uchta model har xil immun tizimlarida o'zaro bog'liqlik uchun ishlatiladi. Masalan, izlanishlarda aloxida yo'nalish sifatida ajratib olish mumkin bo'lgan "o'ziniki-begona" modeli yetarlicha miqdoriga algoritmlarga asoslanadi.

1.4-jadvalda immunologiyadagi ushbu maydonlari ko'rsatilgan.

“O’ziniki-begona” modeliga asoslangan SIT algoritmlari

Immun nazariyasi	SIT algoritmi	Asosiy immun komponenti
“O’ziniki-begona” modeli	Salbiy tanlash algoritmi	T-hujayra
Retseptorlar namunasini tanib olish modeli	“O’zinikini” tanib oluvchi konservativ algoritm	T-hujayra, antigen taqdim etuvchi hujayra, patogen bilan bog'liq molekulyar shablon, tanib olish, tasdiqlash
Xavf nazariyasi	Dendrit hujayra va xavf nazariyasi modelini qo'llash/ishga tushirish	T-hujayra, antigen taqdim etuvchi hujayra, terilar, xavf zonasi, tanib olish, tasdiqlash

Immun tarmog'i

Sun'iy immun tarmog'i – sun'iy immun tizimidagi muvaffaqiyatli modellardan biri. Immun tarmog'i ilk marta [87] da taklif etilgan. Keyinchalik I. Ishida tomonidan taqdim etilgan model sun'iy immun tarmoqlariga nisbatan qayta belgilandi va amalga oshirildi. Sun'iy immun tarmoqlari o'zida klonlashtirish va mutatsiya jarayonlarini amalga oshiruvchilar bilan o'zaro bog'langan B-limfositlarni namoyon qiladi. Bunday tarmoqlar odatda axborotlarni olishda va strukturalanmagan axborotlarni qayta ishlashda, shuningdek, mashina o'qitishda (machine learning) foydalaniladi. Hozirgi kunda immun tizimini o'rganish biologiya sohasidagi yutuqlarni kompyuter fanida qo'llash, sun'iy immun hujayralardagi ish uslublarini takomillashtirish, yaqinlik funksiyalarini o'rganish va boshqalarni qamrab oladi. Ko'p obyektli optimallashtirish masalalari uchun SIT dan foydalanilganda, keyinchalik bo'ladigan universallik uchun murakkablikni yaratadigan, aniq bir vazifa uchun rasmiy algoritmnining moslashshi ishning katta qismini oladi. Sun'iy immun tarmoqlari yo'nalishining va ularning ko'p populatsiyali xususiyatlaridan foydalanish rivojlangani sari izlanuvchilar ikkilik klasterlash uchun ko'pobyektli ko'p populatsiyali sun'iy immun tarmoqlarini (ing. Multi-Objective Multipopulation-aiNet) ishlab

chiqdilar. Ushbu algoritm va boshqa ko'p obyektli optimallashtirish usullari orasidagi farq shundaki, ushbu algoritm munosib yechimlar to'plamiga qarama-qarshi bo'lgan bir nechta teng yechimlarni qaytaradi. Shuni e'tiborga loyiqlik, ushbu klassik sun'iy immun tarmog'ining modifikatsiyasi yagona emas: 2008 yilda opt-aiNet-AA-Clust deb nomlangan opt-aiNet algoritmining yana bir modifikatsiyasi taklif qilindi. U klasterlash va sun'iy immune tarmog'idan foydalanib aminokislota klassifikatsiya g'oyalarini ochib beradi.

Somatik gipermutatsiya

Somatik gipermutation - bu hali ham noma'lum bo'lgan begona elementlardan tahdidni qaytarish uchun immun tizimining moslashuvining bir qismi bo'lgan hujayra mexanizmidir. Somatik gipermutatsiya - bu gen segmentlarini o'zgartirib, ularning eng yaxshisini tanlab, ko'plab antitela versiyasini yaratishdan boshqa narsa emas. Somatik gipermutatsiya paytida immun tizimidagi klonlarni tanlash jarayoni davomida antigen - antitela juftlari hosil bo'ladi va bu juftlikning yaqinligi aniqlanganda B hujayralari faollashtiriladi yoki faollashtirilmaydi. Eng muvaffaqiyatli faol hujayralar katta sonlargacha ko'paytiriladi. Biroq, immun tizimining yuqori affinli antitellarning bir nechta variantlari orasida eng ko'p affinlisini tanlashga qodir emasligi aniqlanadi, shuning uchun ham umumiy aniqlash samaradorligi pasayadi.

Immun javobi

Immun javoblarini yaratishda immun tizimi antigenni aniqlashning turli xil mexanizmlaridan foydalanadi. Misol uchun, immunologiya sohasidagi so'nggi izlanishlar kabi SIT bizga ishonch bilan aytishi mumkinki, javobni ishlab chiqarishda ham antikorni aniq tanlash va muayyan ta'sir sohasidagi antikorlarni ishlab chiqarish qo'llaniladi. Ushbu tezislarni SITga tatbiq etilganidek foydalanib, mavhum modelni proyektini ko'p vazifali optimallashtirish masalasiga kiritish mumkin, bu esa ushbu vazifalarning samaradorligini oshirish imkonini beradi. Immun tizimining tuzilishiga javob beruvchi immun tizimining bir bo'lagi T-limfotsitlardir. T-limfotsitlar zararlangan hujayralar bilan ishlashda adaptiv immun tizimining javobida juda muhim rol o'ynaydi. T-retseptorlari (TCR) dan foydalanib, T-hujayra hujayra yadrosidagi

asosiy molekulalardan biri bilan ifodalangan antigen peptid populyatsiyasining javobini hosil qiladi.

Xavf nazariyasi

O'n yil o'tgach, Metsinger tomonidan taqdim etilgan xavf nazariyasi sun'iy immunitet tarmoqlariga nisbatan qo'llanildi. Uzoq yillar mobaynida immunologiyada "o'ziniki-begona" yondashuviga asoslangan javobni generatsiya qilish jarayoni mavjud bo'lgan. Unga ko'ra, inson immun tizimi inson tanasining tarkibiy qismi bo'lmagan narsalarga ta'sir qiladi. Immun tizimining reaksiyasi chetki hujayralarning yuzasidagi proteinlarni aniqlashga bog'liq bo'lgan. Bu yondashuv tasnifning tuzilish, shakl va mazmundagi hujayralarning barcha begona hujayralardan farqlari haqidagi aksiomatik bayonotga asoslanganligini ko'rsatdi. Ammo bu model noto'g'riligi borasida bir qator xolatlar mavjud, xususan, autoimmun kasalliklarida immun tizimi o'zining hujayrasiga hujum qiladi. Ichak yo'lining jarayoni shunga o'xshash: ichak trakti o'ziniki kabi belgilanmagan va immun javobi xarakter qilmaydigan, oziq-ovqat va boshqa ko'plab turli xil bakteriyalarga uchragan. Ushbu yondashuvni rad etib xavf mavjud yoki yo'qligiga qarab immune tizimini ishga tushiradigan boshqa model yaratilgan. Yuqorida ta'kidlanganidek, T-hujayra immun javobi generatsiyasi modeli generatsiyaning boshlang'ich qismi mexanizmini o'z ichiga olmaydi, u faqatgina miyya suyagi T-hujayralarning kerakli retseptor to'plamlari bilan qanday ishlab chiqishi va ta'sir qilishini tasvirlaydi. Xavf nazariyasi "o'ziniki-begona" o'rtasida farq borligini inkor etmaydi, aksincha, immun javobini boshlash uchun boshqa omillar mavjudligini aniqlaydi. Xavf nazariyasi atrofdagi mavjud shart-sharoitlardan kelib chiqib turli xil ta'sirlar o'rtasidagi farqni ko'rsatadi. Bunday ta'sirni qo'llashning imkoniyatlaridan biri odatiy nazorat tizimlarida ishlatilishi mumkin, masalan, robotning nazoratida amalga oshiriladi. Intellektual ma'lumotlarni qayta ishlashda mavjud bo'lgan usullarga xavf nazariyasi moslashuvi yuqori samaradorlikni ko'rsatishi mumkin.

Tanlov jarayoni

Immunitet tizimlarining sensor blokklarida biologik tizimlarda ishlatiladigan va kompyuter fani muammolarini yechishda qo'llaniladigan bir nechta usulni belgilab olish mumkin. Bular ijobiy

tanlov (va uning tez-tez namoyishi - klonal tanlov prinsipi (ing. CLONALG)), salbiy tanlov jarayonlari, dendritik hujayralar algoritmi, antigen-taqdim etuvchi hujayralar modellaridir. Salbiy tanlov algoritmi immunologiya modeliga asoslanadi, unda faqat organizm hujayralari bilan bog'lana olmaydigan tasodifiy hosil bo'lgan T-hujayralari tanlanadi. Salbiy tanlovning muhim xususiyatlaridan biri shundan kelib chiqadi: keyingi harakatlar uchun hujayraning begona hujayraga tegishlilikini tekshirish uchun o'zining ko'plab namunalar to'plamini bilish kifoya. Ushbu metoddan foydalanish kompyuter tahdidlari va kompyuter hujumlariga qarshi kurashishda samarali qo'llash imkonini beradi. Bundan tashqari, bunday aniq holat uchun aynan immun tizimlaridan foydalanish o'n barobar ustunlik yaratadi. Qo'shimcha sifatida shuni ta'kidlash lozimki, salbiy tanlov metodi anomaliyalarni aniqlashda juda samarali hisoblanadi. Huddi shuning biologik modeli kam qiziqish uyg'otadi. Turli xil texnikalardan foydalanib ushbu metodning samaradorligini bir necha barobarga oshirish mumkin.

Agar salbiy tanlov modelini alohida va biologik immun tizimiga nisbatan ko'rib chiqsak, ko'pgina tafsilotlarni tushuntirishga urinishda an'anaviy "o'ziniki-begona" modeli muvaffaqiyatsizlikka uchraydi. Yaqinda "o'ziniki-begona" funksional tanib olishning yangi modeli taklif etildi. Ushbu yangilangan "o'ziniki begona" modeli o'zinikini va xavf nazariyasini tanib oluvchi modeldir. Tavsiya etilgan barcha modellar o'zining hujayralarni yangi tushunchaga qaratadi. "O'ziniki-begona" algoritmining klassik versiyasi ishlab chiqariladigan noto'g'ri pozitsiyalarni yuqori ko'rsatkich bilan shakllantiradi, o'zining ishlari uchun begona hujayra shablonidan foydalanadi. Ammo immunologiyada ma'lum retseptorlarga ega bo'lgan T-hujayralariga qo'shimcha ravishda hujayralarni aniqlash uchun antigen beruvchi hujayralar ham qo'llaniladi. Ushbu taxmin sun'iy immunitet tarmoqlarida o'xshash algoritmnining asosini tashkil etdi. Bir vaqtning o'zida tanib olishning ikkita usulini qo'llash orqali algoritm bir vaqtning o'zida ham salbiy tanlov sifatida ham antigen taqdim qiluvchi hujayralar tomonidan tan olinuvchi sifatida xarakat qiladi.

Bu holda o'zlarning hujayralarini aniqlash ehtimoli ortadi, ammo algoritmik murakkablik oshmaydi va $O(n)$ ham qoladi. Bundan tashqari, o'zinikini shablon asosida konservativ ravishda tan olish algoritmi salbiy tanlovga qaraganda yuqori ko'rsatkich namoyon qildi. Xulosa sifatida shuni aytish kerakki, biologik tizimlarning ko'plab o'rganilmagan funksional mexanizmlari va qismlari, xususan immun tizimlari

tugatilmagan turli xil metod va algoritmlarni o'zida namoyon qiladi. Biologik tizimlarni nusxalashdan tashqari, ko'plab tadqiqotchilar ushbu shaklda hech qachon ko'rilmagan gibril algoritmlarni ishlab chiqishmoqda.

Tabiiy immun tizimlari turli funksiyalarga ega bo'lgan bir necha qismlardan iborat murakkab tizimni o'zida namoyon qiladi. Immun tizimi tashqi dushman antigenlariga qarshi noaniq (tug'ma) va aniq (o'zlashtirilgan) himoya mexanizmlari orqali ko'p bosqichli himoyadan foydalanadi. Immun tizimining asosiy roli hujayralar va molekulalarni "o'ziniki" va "begona" larga klassifikatsiyalashdan iborat. Immun tizimi ko'plab turli xil qo'zg'atuvchilarni - virusdan parazit qurtlarga qadar aniqlaydi va ularni o'z hujayralaridan farqlaydi. Qo'zg'atuvchilarni tanib olinishi ularning uyg'unlashishi va organizmni muvaffaqiyatli yuqtirgan yangi usullarning evolyutsion rivojlanishi bilan murakkablashadi. Begona hujayra aniqlangandan so'ng u boshqa tasnifga uchraydi va uning natijasiga qarab, immun tizimi tashqi molekulalarni yo'q qilishdan iborat bo'lgan himoya mexanizmini ishga tushiradi.

Immun tizimlari informatikada qatta qiziqish uyg'otdi, chunki u katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlash imkoniyatiga ega, undan tashqari u orqali amalga oshirilayotgan hisob-kitoblar yuqori paralellik va taqsimlangan xususiyatga ega. Immun tizimlarini amaliy masalalarni yechishda qo'llash foydali bo'ladigan xususiyatlarini ko'rib chiqamiz:

- Tanib olish. Immun tizimlari turli xil molekular strukturalarni tanib olish va klassifikatsiya qilish va ularga tanlab javob berish imkoniyatiga ega. Tanib olish hujayralar o'rtasida aloqa vaqtida amalga oshadi, bunda o'rnatilayotgan aloqa kuchi molekula formasi, elektrostatik zaryad kattaligi va boshqa kimyoviy xususiyatlar orqali belgilanadi. Antitela va antigen o'rtasidagi o'zaro yaxshi aloqa affinlik deb ataladi. O'zinikini va begonani tanib olish immun tizimi yechadigan asosiy masalalardan biri xisoblanadi.

- Xususiyatlarni belgilash. Antijen-taqdim etuvchi hujayralar (ATH) o'zlarining yuzalarida antijenik oqsillarni qayta ishlash va namoyish qilish orqali turli xil antijenlarni ajratib turadi.

- Xilma-xillik. Immun tizimi, butun populyatsiyaning kamida bitta lenfosit oldindan aniqlangan (ma'lum yoki noma'lum) antigenga javob berishini ta'minlash uchun ko'plab B-limfosit retseptorlarini yaratish uchun kombinatorial mexanizmdan foydalanadi.

- O'rganish. Immun tizimlari ushbu tizimni tashkil etuvchi hujayralarning tasodifiy aloqalaridan foydalangan holda aniq bir

antigenning strukturasi baxolaydi. O'rganish boshlang'ich javobda sodir bo'ladigan (antigen bilan ilk aloqasi natijasida) limfositlar konsentratsiyasining o'zgarishidan tashkil topadi. Shuning uchun, immun tizimini o'rganish qobiliyati asosan klonni to'ldirish mexanizmidan yotadi, bu tizimning joriy holatini (klonning ko'payishi) hisobga olib, yangi immun tanqisligiga mos hujayralar paydo bo'lishiga olib keladi.

- Xotira. Immun javobi va antigenni yo'q qilish yoki neytrallashtirishdan so'ng, faol holatda bo'lgan ba'zi limfotsitlar xotira hujayralari (assotsiativ xotira) bo'ladi. Xotira hujayrasining xayoti doimiy emas va antigen stimulatsiya chastotasi bilan belgilanadi. Immun xotiralarining qisqa muddatli va uzoq muddatli mexanizmlaridan foydalangan holda, minimal ehtiyoj lekin antigen bilan oldingi aloqa haqidagi yetarlicha xotirani saqlab qolib immun tizimi resurs va funksiyalar o'rtasidagi bajarilish muvozanatini ta'minlaydi.

- Taqsimlangan qidiruv. Immun tizimi mohiyatiga ko'ra – taqsimlangan tizimdir. Immun tizimining hujayralari, asosan limfotsitlar, qon, limfa, tana to'qimalari orqali doimo aylanadi, antigenning ko'rinishiga javob beradi.

- O'z-o'zini boshqarish. Immun tizimining barcha funksiyalarini nazorat qiluvchi organ yo'q. Antigenga va organizmga kirib borish uslubiga bog'liq holda, immun javobi lokal va global bo'lishi mumkin.

- Chegaraviy mexanizm. Immun javobi va hujayralar ko'payishi faqat antigen molekulalari va limfotsitlar orasidagi kimyoviy bog'lanishlarga bog'liq holda ma'lum bir chegaragayetib borganida paydo bo'ladi.

- Ehtimolli aniqlash. Immun javoblariga qarshi reaksiylar – staxotistik jarayon. Antigeni aniqlash muqarrar ravishda taxminan shaklda yuzaga keladi, shuning uchun limfosit bir necha o'xshash antigenlarga ta'sir qilishi mumkin.

Ishning qurilishi va mexanizmidan ko'rinib turibdiki, sutemizuvchilar va insonlar immun tizimi millionlab yillar evolyutsiyasini yaratishni talab qiluvchi tananing normal ishlashini ta'minlovchi qiyin mexanizm xisoblanadi. Sun'iy immun tizimlari modelini yaratishda soddalashtirish lozim. Limfotsitlar turi masalaning hal etish shartlari va genetik algoritmlarda bo'lgani kabi – chiquvchi ma'lumotlarni taqdim etilishi - xromosomalarning namoyishi bilan taqiqlangan; odatda yechimni topishga yoki anomal vaziyatlar va

ma'lumotlarni toppish uchun foydalaniladigan, faqatgina B-limfotsitlardan tashkil topgan tizimlarni ko'rib chiqiladi. Tabiiy immuni tizimining asosiy xususiyatlarini va uning asosiy tushunchalari va mexanizmlarini ro'yxatga olib, foydalanish sohalarini va sun'iy immun tizimlarini qanday ishlatilishini ko'rib chiqamiz.

- **Obrazni tanib olish, klassifikatsiya masalasi.** Tanib olish immun tizimining asosiy funksiyalaridan biri xisoblanadi, shuning uchun undan obrazni tanib olishda va klassifikatsiyalashda foydalanish mantiqiy qadam xisoblanadi. Sun'iy immun tizimlarida ushbu masalani yechadigan antigen (tashqi hujayra) klassifikatsiyalanadigan obyektlar xisoblanadi. Bunday tizimda o'zi bog'lanadigan klas nomeri bilan obyektning klassifikatsiyalanadigan vektor xarakteristikasi (feature vector) antitela xisoblanadi. Affinlik o'lchovi – antigen va antitela o'xshashlik darajasi (limfotsit), masalan, ularning vektorlar xarakteristikalari orasidagi masofa. Shuningdek, bunday tizimlarda antigenlarga ta'sir qilmaydigan, chiquvchi obyektlarni aniqlash va hujayra to'rlaridan o'chirish uchun limfotsit mutatsiyalari prinsplaridan foydalaniladi.

- **Komputer xavfsizligi.** Tabiiy immuni tizimi organizmni zarali bakteriya va viruslardan himoya qiladi, shuning uchun komputer xavfsizligini ta'minlaydigan immuni tizimlari yaratilgan. Komputering xavfsizligini ta'minlash masalasi o'ziniki (qonuniy foydalannuvchi, buzilmagan axborot, yaxshi dasturiy ta'minot) va begonalikning (noqonuniy foydalannuvchi, virus) orasidagi farqni topish kabi umumiy masalaning bir qismi xisoblanadi. Himoyalananayotgan ma'lumot va dasturiy fayllarning o'zgartirilganligini aniqlash uchun tizimning normal holatida o'rgatiladigan: o'zgartirilmagan to'g'ri fayllar salbiy tanlash algoritmidan foydalanish mumkin. Sun'iy immuni tizimlaridan foydalangan algoritmlar virus fayllarni yuqtirish yoki yuklab oluvchi sektorlarni, shuningdek, oldindan aniqlab bo'lmaydigan viruslarni aniqlashi mumkin. Ammo, bu algoritmlar faqat doimiy ma'lumotlar uchun ishlatilishi mumkin, aks holda foydalannuvchi faylni o'zgartirishi virus operatsiyalari sifatida tasniflashi mumkin. Bundan tashqari, xavfsizlikni ta'minlaydigan ikkinchi darajali masalalaridan biri hujumni aniqlash (intrusion detection) masalasidir: resursga noqonuniy ruxsat, qonuniy foydalannuvchilarning noqonuniy xarakatlari, tizimda noma'lum, noqonuniy dasturlar jarayonlari faoliyati kabi urinishlar. Bu muammo juda ko'p turli aloqa protokollari mavjudligi bilan murakkablashtiriladi: IP, ICMP, SNMP, TCP, UDP, HTTP, ARP. Ularning har biri alohida operatsion tizimlar va foydalannuvchi dasturlari kabi o'z zaifliklariga ega.

[87] ishda mualliflar taqqoslash algortimidan foydalanishni maslahat beradi. Agar ustma-ustlik aniqlansa, u holda ogohlantirish yaratiladi. Sun'iy immun tizimlarida ushbu metodni qo'llayadigan har bir antitela uchun bitta signatura mos keladi.

- Vaqtinchalik ma'lumotlar qatorida noto'g'rilikni aniqlash. Odatda bunday masalalarni yechish uchun salbiy ta'sir algoritmi qo'llaniladi. Bu holda o'zining kontsepsiyasi kuzatilgan tizimning normal faoliyatining varyantlari to'plami sifatida belgilanadi. Ma'lumotlarning xar qanday o'zgartirilib, belgilangan ruxsat etiladigan qiymatdan oshib ketishi anomalija sifatida ko'rib chiqiladi. Bunday algoritm detektorlar to'plamini konstruksiya qilish uchun ishlatiladigan, kiruvchi ma'lumotlarda noto'g'rilik va defekt varyantlari xaqida maxsus bilimlardan foydalanmagan holda o'zgarishlarni aniqlay oladigan normal ma'lumotlarning katta to'plamiga asoslanadi.

- To'g'irlanmaslik tashhisi. Ushbu tadqiqotda ishlatilgan model quyidagi xususiyatlarga ega: tizim komponentlari parallel ishlashi mumkin; noto'liq ma'lumot bilan ishlash qobiliyati; o'z-o'zini tashkil etish qobiliyati; teskari aloqa mexanizmsiz to'g'irlanmaslikning tarqalishi. ishda tashhis uchun ma'lumot uzatish kanalining ikki yo'nalishli bog'langan datchiklar tarmog'idan foydalaniladi. [88]

- Optimallashtirish masalasi. Kop'lab optimallashtirish masalasi yagona maqsad funksiyasiga ega bo'lishiga qaramay, tabiiy immun tizimi ko'pincha bir-biriga zid bo'lgan maqsadlarga egadir, bunday muammolarni bartaraf etish uchun sun'iy immun tizimlaridan foydalanishga urinishlar bo'ldi. Deyarli barcha tavsiya etilgan algoritmlar quyidagi takrorlanuvchi qadamlardan tashkil topadi: limfotsitlarni klonlashtirish, mutatsiya, tarmoqda qoluvchi hujayralarni tanlash. Bunday algoritmlarda immun tizimining o'zi ularning har biri mumkin bo'lgan yechimlarni taqdim etuvchi, optimallashtirish kerak bo'lgan funksiyalar antigen hisoblanuvchi B-hujayralaridan iborat. Algoritmlar hujayralar soni tizimda doimiy yoki dinamik joylashganligi, qanday mutatsiya operatorlaridan foydalanilishi, elitizm strategiyasidan foydalanilganligi bilan farqlanadi.

Immun tizimlariga asoslanib yaratilgan algoritmlar, ayniqsa, ko'p bosqichli optimallashtirish muammolarini hal qilishda eng yaxshi evolyutsion algoritmlarga o'xshash ishlarni ko'rsatadi.

- Robotlarni boshqarish. Sun'iy immun tizimlari bitta robotni boshqarish kabi ularning guruxini ham boshqara oladi. Bunday

algoritmlar turli maqsadlarga erishish uchun bunday algoritm bilan boshqariladigan vositalarga ruxsat beradi.

Immun tizimlarining murakkab strukturasi va keng funktsionalligi ko'plab sohalarda qo'llashga imkon beradi va faqatgina aniq bir masalani yechish uchun kerak bo'ladigan xususiyatlari va tizimli elementlar barcha sun'iy immun tizimlarida soddalashtirishidan foydalanadi.

Ko'rsatilgan ilovalar asosida, amaldagi sun'iy immun tizimlarining quyidagi xususiyatlarini farqlanish mumkin.

1. Limfotsitlar namoyishi. Massivdagi butun va xaqiqiy sonlarni daraxtsimon ko'rinishda namoyish qilishdan foydalaniladi.

2. Affinlik. Affinlik bu lenfositning qanday moslashtirilganligini va berilgan antigenga qanday javob berishini ko'rsatuvchi maqsad funksiyasini belgilaydi. n -o'lchovli maydonning ikkita nuqtasi o'rtasida masofa funktsiyalari (masalan, yevklid) qo'llaniladi, bu yerda bir nuqta limfotsit, ikkinchisi esa antigen hisoblanadi.

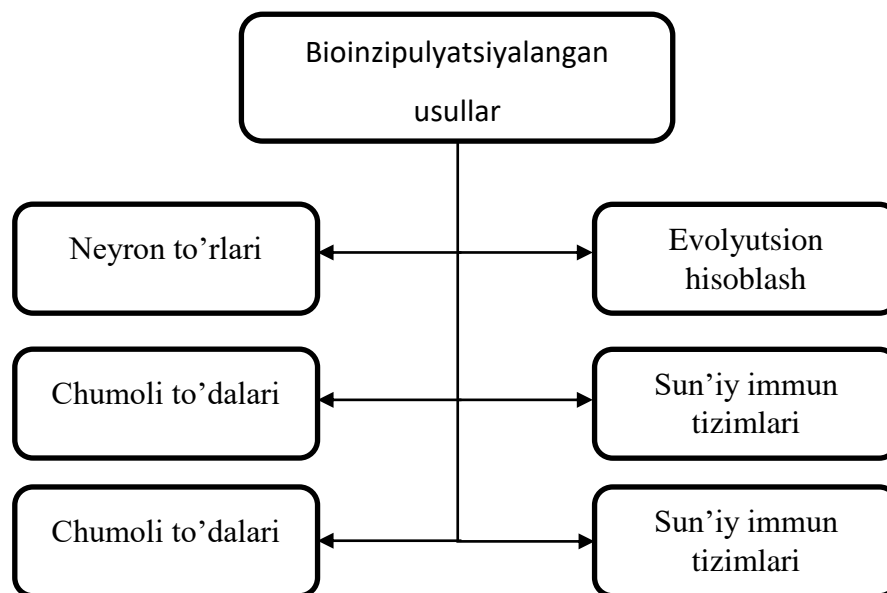
3. Funktsionallashtirish algoritmi. Odatda, birinchi bosqich - boshlang'ich bosqichi, bu jarayon davomida dastlabki limfositlar to'plami ko'pincha tasodifiy shakllanadi. Keyinchalik, antigen immun tizimiga uzatiladi, uning uchun limfotsitlarning affini aniqlanadi, eng yaxshisi tanlanadi, keyin mutatsion operatorlar qo'llaniladi yoki yangi limfositlar tizimga kiritiladi. Limfotsitlarning doimiy miqdorini saqlab qolish uchun, eng kam stimulyatsiyalanganlarni yo'q qilish strategiyasi qo'llaniladi va asosiy qadam yechim topilgunga qadar takrorlanadi yoki iteratsiya soniga qarab to'xtatiladi.

4. Tizimni tashkil qilish. Ko'pincha ularning xar biri ehtimoliy yechimlarni kodlaydigan bir turli limfotsit (B-limfotsit) tarmoqlaridan tashkil topadi. Limfotsitlar bir birini stimulatsiya qiladigan idiotipli tarmoqlardan kamdan-kam foydalaniladi, ya'ni, bir-biri uchun antigen rovida namoyon bo'ladi.

Hisoblash texnikalarining rivojlanishi jarayonida NP-muammo klasiga tegishli optimallashtirish muammosi tobora aktual bo'lib qolmoqda. Hisoblash kuchi vaqt bilan bog'liq ravishda chiziqli ravishda o'smoqda (Mur qonuniga muvofiq, chipdagi tranzistorlar soni ikki barobar ortmoqda), optimallashtirishning keng spektrini yangi samarali algoritm va usullarni ishlab chiqish yo'li bilan hal qilish mumkin. Bu vazifalar nochizizlik, nodifferensiallik, ko'p sathli chiziqlar, analitik ifodaning yetishmasligi, ruxsat etilgan qiymatlar majmuasining

murakkab topologiyasi, optimallashtirilgan funksiyalarning yuqori hisoblash murakkabligi, qidiruv maydonining kattaligi va boshqalar bilan tavsiflanadi. Ko'pincha bunday muammolarni hal qilish uchun ishlatiladigan usullar evristikdir: ular optimal yechim topishga kafolat bermaydilar, ammo ular tezda qabul qilinadigan sifatli yechimlarni topishga imkon beradi. So'nggi o'n yil ichida evristik algoritmlarning ko'plab tadqiqot usullari tabiiy tizimlardan kelib chiqadi: masalan, chumolilar koloniyalari, aql zakovati, sun'iy neyron tarmoqlari, evolyutsiya algoritmlari va boshqalar. Xorijiy va mahalliy nashrlarda bunday usullarning bir nechta ilovalari ko'rib chiqiladi.

1.18-rasmda bioinzipulyatsiyalangan usullarni tadqiq etish yo'nalishi berilgan. Neyron tarmoqlari inson miyasi modeliga asoslangan tizim hisoblanadi; evolyutsion hisoblash - genetik mutatsiyalar prinsipi va evolyutsion rivojlanish prinsipiga asoslangan algoritmlar; hasharotlar tabiatining tabiiy ekotizimlari xulq-atvori asosida chuqur o'ylab topilgan chumoli koloniyalari va boshqa ko'p tarmoqli tizimlar; bakteriyalarni optimallashtirish - bakteriyalarning xatti-harakatlarini aks ettiruvchi algoritmlar oilasi; bo'ri va qushlarning to'dasi – to'da hayvonlarining xatti-harakatlarini takrorlaydigan algoritmlar.



1.18-rasm. Bioinzipulyatsiyalangan usullar

Zamonaviy tadqiqotlardagi bioinzipulyatsiyalangan algoritmlarning haqiqiy sinflaridan biri immun tizimidir. Global optimallashtirish muammolarini hal etishga qaratilgan sun'iy immun tizimlari (SIT) usullari inson tanasini himoya qilish jarayonida inson

immunitetining xatti-harakatining ayrim jihatlariga asoslangan. Immun tizimining (antitela) himoya xujayralari juda ko'p o'zgarishlarga duch keladi, ularning maqsadi eng yaxshi himoya ta'minlovchi hujayralar yaratishdir. Sun'iy immunitet tizimlari sun'iy aqlning asosiy xususiyatlariga ega: xotira, o'rganish qobiliyati va begona vaziyatda qaror qabul qilish qobiliyati, 1.5-jadvalda bioinzipulyatsiyalangan usulning asosiy xususiyatlari keltirilgan.

1.5-jadval

Evristik bioinpopulyatsiyalangan usullarning taqqoslanishi

Komponent	Genetik algoritm	Neyron to'rlari	Sun'iy immun tizimlari
Komponentalar	Xromosomalar to'plami	Sun'iy neyronlar	Atributlar to'plami
Komponentalar joylashuvi	Dinamik	Oldindan belgilangan	Dinamik
Struktura	Diskret komponentalar	Tarmoq komponen- talar	Diskret komponentalar
Bilimlarni saqlash	Xromosomalar to'plami	Elementlar o'rtasida aloqa	Komponentalarni bog'lash
Xarakatlanuv - chi kuchlar	Evolutsiya	O'qitish	O'qitish va evolutsiya
Xarakatlanuv-chi kuchlarning tavsifi	Komponentalar- ni generatsiya qilish va tanlash	Aloqa konstruksiyasi va uni uzish	Komponentalarni generatsiya qilish va tanlash
Komponentalara ro o'zaro bog'liqlik	Almashish	Tarmoq ulanishlari	Tanib olish
Muhit bilan o'zaro bog'liqlik	Moslashtirish funktsiyasi	Tashqi shovqin	Tanib olish funktsiyasi

Jadvalda ko'rinib turganidek, biologic sinflardagi asosiy foydalanilayotgan algoritm oilalari ko'plab umumiylikka ega. Immun tizimlari genetik algoritmlar va sun'iy neyron to'rlari oldidagi mavjud ustunligi bu - o'qitish va xotiraning mavjudligi imkoniyatidir. Boshqacha qilib aytganda, immun tizimlari mavjud bioinzipirlangan algoritmlarning eng yaxshisi sifatida tanlab olindi va ularni turli sohalarga tatbiq etish uchun faol o'rganilib, tadqiq qilinmoqda.

Immun tizimlari xususiyatlariga asoslanib, uning strukturasi va parametr qiymatlarini moslashtira oladigan kompleks tizim quyidagi xususiyatlarga ega bo'lishi kerak deb taxmin qilish mumkin:

1. Tizimda muntazam ravishda ro'y beradigan tizimli moslashish vaqt o'lchovlari parametrik moslashuvning vaqt shkalasidan katta bo'lishi kerak.

2. Strukturaviy plastinkaning mavjudligi yoki yo'qligi tizimning yangi elementlarini qo'shish va ortiqcha elementlarni olib tashlash qobiliyati bilan belgilanadi.

3. Strukturaviy o'zgarishlar ichki jarayonlarga bog'liq va tashqi omillarga bog'liq bo'lmaydi.

4. Strukturaviy o'zgarishlar tabiatan kollektiv xarakterga ega bo'lib, empirik prinsiplarga asoslanadi, jumladan eng zaif elementlar uchun kompensatsiya, xilma-xillikni saqlab qolish, keraksizlarni olib tashlash.

[89] ishda ushbu yangi prinsplarning uchta sohada qo'llanilishi ko'rib chiqilgan. Quyidagi strukturali o'zgarishlar kiritildi: neyrotarmoq klassifikatorlariga yangi neyron qo'shish va eski neyronni o'chirish, mustahkamlash metodi orqali mashg'ulot davomida avtonom agentning qismmaydonlarini kamaytirish yoki yaxshilash, betartiblikni nazorat qilish uchun chiziqli adaptiv operatorlarni qo'shish. Shuningdek amaliy masalalarni yechishda muallif ikkilik plastiklik xususiyatidan foydalanishni tavsiya etadi.

Sun'iy immun tizimlarining quyidagi matematik ko'rinishini tavsiya etamiz. Sun'iy immun tizimlarini quyidagi elementlar to'lamini sifatida taqdim etish mumkin:

$$IIS = \langle L, G, A, \mu, S \rangle$$

Bunda:

IIS - Sun'iy immun tizimi

L - barcha ehtimoliy limfotsitlar maydoni. Vazifasiga qarab limfotsit qatorlarni, koordinata ro'yhatini, tasvirlash daraxtini namoyon qilishi mumkin.

G - barcha ehtimoliy antigenlar to'plami. Vazifasiga qarab qator, mantiqiy belgilar matritsasi, ma'lum nuqtalarning funktsiya qiymatlari ro'yxati bo'lishi mumkin.

$A: L \times G \rightarrow [0,1]$ - berilgan affinlik o'lchovi, bunda, har bir limfotsit va har bir antigenga mos ravishda $[0,1]$ oralig'ida beriladi va ushbu limfotsit berilgan antigenga qanchalik yaxshi reaksiya qilishini ko'rsatadi.

$\mu: L \rightarrow L$ - mutatsiya operatori, uni tanib olish xususiyatlarini yaxshilash maqsadida aloxida limfotsitga qo'llaniladi.

$S: A \subset L \rightarrow B \subset A \subset L$ - seleksiya operatori, tarmoq o'lchamini qo'llagan holda, ushbu immun tizimida eng yaxshi limfotsitlarni qoldiradi.

U holda algoritmni quyidagi ketma-ketlik ko'rinishida taqdim etish mumkin:

1. Dastlabki immun tizimini shakllantirish

$$\text{Im System} \subset L.$$

Ushbu qadamda bu vazifada ruxsat etilgan, oldindan belgilangan limfotsitlar tasodifiy hosil qilinib, ular birinchi immun tizimini hosil qiladi.

2. $g \in G, \forall l \in \text{Im System}: a_l = A(l, g)$ taqdim qilinadi.

Antigen taqdim etiladi, ushbu immune tizimlarining barcha limfotsitlari uchun affinlik hisoblanadi.

3. Eng yaxshi limfotsit aniqlanadi – quyidagi yechim

$$l^* = \arg \max(a_l)$$

4. Limfotsitlar uchun mutatsiya operatori qo'llaniladi:

$$M = \{\mu(l), l \in \text{Im System}\}.$$

Mutatsiya operatori barcha barcha limfositlarga emas, balki ba'zi (asosan, affinlik qiymati yuqori bo'lgan) qismto'plamlarga qo'llanilishi mumkin. Mutatsiya operatori - limfotsitning qiymatiga yoki tarkibiga kichik o'zgarishlarni kiritadi.

5. O'lchamni saqlab qolish uchun seleksiya operatori qo'llaniladi, bunda, joriy limfotsitlar to'plami va mutatsiyaga uchragan limfotsitlarning ko'pchiligi (4 tomonidan olingan) limfotsitlarni eng yuqori qiymatga egalarini qoldiradi:

$$\text{Im System} = S(\text{Im System} \cup M).$$

6. Agar l^* ning yechimi berilgan mezonni qanoatlantirsa yoki maksimal ittertasiya soniga erishsa yakunlanadi, aks holda 2 qadamga qaytadi.

Shunday qilib affinlikning har bir qadamida eng yaxshi limfotsitlar kamaymaydi aksincha ko'payadi va agar ma'lum bir ittertasiya sonidan keyin affinlik o'zgarmasa algoritm ishini to'xtatadi, yechim topilgan hisoblanadi (global yoki lokal optimal).

Xulosa qilib aytadigan bo'lsak, immun tizimi affinlikni o'zida namoyon qiladigan funksiyani optimallashtirish masalasini yechadi.

Turli xil texnik masalalar uchun ushbu model va algoritmlar yechiladigan muammosidan kelib chiqib o'zgaradi.

1.5.2 Immun algoritmi

Biologik immun tizimi (IT) intellektual axborotni qayta ishlashning murakkab taqsimlangan adaptiv tizimini o'z ichiga oladi. IT organizmni begona viruslardan va infeksiyalardan himoya qiladi. Immun tizimi eslab qolish, qidirish va tasniflashni o'rgana oladi va hal qiladi. IT juda katta miqdordagi axborotlar bilan ishlay oladi, shuning uchun tabiat tomonidan yaratilgan algoritmlar, qidirish va tanishning matematika muammolarida yaxshi natija ko'rsatdi.

Proteinlar makromolekulyar peptid bog'lovchi bilan bog'langan aminokislotalar yoki polipeptid zanjirlarining qoldiqlari bo'lgan murakkab strukturaning biopolimlari. Aynan proteinning kimyoviy, biologik va funksional xususiyatlarini aniqlaydigan oqsil strukturasi. Proteinning xususiyatlari, kamida bitta aminokislotalarning almashishi bilan juda katta farq qilishi mumkin. Buning sababi peptid zanjirlarining konstruksiyasini o'zgartirishni tanadagi barcha funktsiyalarni aniqlaydigan oqsil tarkibining shakllanishida boshqa shart-sharoitlarga olib keladi. Proteinlarda hal qiluvchi rol alohida aminokislotalar qoldiqlariga emas, balki ularning kombinatsiyasiga tegishli. Evolyutsiya jarayonida energiya muqobil tuzilmalar energiyasidan sezilarli darajada past bo'lgan muayyan uch o'lchovli mahalliy strukturalarga qatlanadigan oqsil tarkiblarini tanlash mexanizmlari. Jismoniy xususiyatlarini belgilaydigan protein sekanslarini asosiy xususiyati mahalliy (ishlab) strukturaning barqarorligi va mahalliy struktura energiyasi va to'g'ri qatlanmagan qatlamlarning minimal energiyasi o'rtasidagi katta bo'shliqning mavjudligi.

Tabiiy protein strukturalarining yuqorida keltirilgan xususiyatlari sun'iy immun tizimlarining biologik yondashuvi uchun asos bo'lib xizmat qiladi. Asosiy fikr inson immun tizimi va xorijiy antigenlarning oqsillari o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik, ya'ni rasmiy peptidlar orasidagi minimum bog'lanish energiyasini aniqlash orqali ixtiyoriy usul bilan majburiy (molekulyar tanib olish deb ataladigan) ehtimoli.

Sun'iy immun tizimi deb nomlangan yangi hisoblash usuli, immun tizimining tamoyillariga asoslanadi, yangi ma'lumotlarni o'rgana oladi, eski ma'lumotlarni saqlab qoladi va biomolekulyar tanib olish tamoyillariga asoslanib, tarqalgan usulda namunalarni aniqlaydi va ma'lumotlarni tahlil qiladi. Bu tizim qiyin masalalarni yechishda katta

o'rchamli massivlarni hisoblashda mustahkam va aniq yechimni ko'rsatib beradi. SIT ning jiddiy matematik asoslari immun tizimining biologik prototipi va rasmiy oqim va rasmiy immun (FIS) tushunchalarini asoslagan. Ushbu matematik modellarga formalli immun tizimi yoki SVD ga asoslangan immunokomputing deb nom berilgan.

SIT bo'yicha alohida maqolalar 1980-yildan chiqa boshladi, biroq SIT yo'nalishi 1990-yillarning o'rtalarida Forrest, Dasgupt, Xanta va Kuka larning harakatlaridan keyin ajralib chiqdi. Sun'iy immun tizimi haqidagi birinchi kitob 1998-yilda Dipankar Dasgupta tomonidan chop etilgan.

Organizmدا mavjud bo'lgan begona bakteriyalar antigen deb ataladigan molekulalarni hosil qiladi. Antigenning katta qismi maxsus kletkalar orqali tanib olinishi mumkin - antigenler bilan to'qnashuvni kutib turgan qon aylanishi va limfa tizimlarida tarqalgan B-lenfosit. Antigen B-limfotsitlar bilan o'zaro ta'sirlangandan so'ng, lensofit klonlash jarayoni vujudga keladi. Ushbu jarayon klonal tanlov deb ataladi. Antigen bilan o'zaro ta'sirlashuv natijasida B-lenfositlarni klonlash jarayoni immunning javob qaytarishi deyiladi.

Dastlabki operatsiyalar hisobga olingan tizimni ifodalovchi statistik taymlar asosida ma'lumotlar bazasini yaratish; eksport xulosalari asosida ma'lumotlar bazasini yaratish; kirish parametrlarini normalashtirish; ma'lumotlar jadvalida probellarni olib tashlash, ma'lumotlar bazasidan ma'lumotlarni olish bo'yicha operatsiyalar, ma'lumot bazalari va boshqalarni o'z ichiga oladi.

Yordamchi operatsiyalar quyidagilardan iborat: axborot taqsimoti - tahlil qilinayotgan xususiyatlar maydonining noyob xususiyatlari va o'lchamlarini kamaytirish; immun tizimining optimal tuzilishini yaratish; test qilish; tasvirni tanib olishda SIT ning energiya xatolarini baholash va boshqalar.

Ma'lumotlar bazasi ushbu sohada mavjud bo'lgan qonunlar o'lchovini aks ettiruvchi ma'lumotni o'z ichiga oladi, biz yangi bilimlarni olishimiz va tergov qilinayotgan maydonning potentsial holatini taxmin qilishimizga imkon beradi; ma'lumotlar bazasining tarkibi va mazmuni to'g'risida ma'lumot; aloqa tilida ma'lumot; axborotni qayta ishlash va qayta ishlash usullarini belgilovchi metaxognition. Axborot bazasi, shuningdek, ushbu mavzu bo'yicha aniq ma'lumot va ekspert bilimlarini, immunokomputing vositalarini qo'llash uchun hisoblash algoritmlarini, guruhlash va avtomatik tasniflash natijalarini, shuningdek hisob-kitob natijalarini sharhlashni o'z ichiga oladi.

1.5.3 Klassifikatsiya masalalarini yechishda immun algoritmi

Klassifikatsiya masalalarida aniq bo'lmagan mantiqiy tenglamalar (taxminan agar <kirish>, unda <chiqish>) aniqmas atamalar shartlarning tegishlilik funksiyalari bilan birga quyidagi algoritmdan foydalanib qaror qabul qilish imkonini beradi:

1. Obyektning holat parametrlari qiymatlari aniqlanadi:

$$X = [x_1 \dots x_n].$$

2. Parametrlarning eski qiymatlari uchun tegishlilik funksiyalarining qiymatlari $\mu^j(x_i^*)$ belgilanadi. $x_i^*, i = \overline{1, n}$

3. Mantiqiy tenglamadan foydalangan holda, funksiyaning tegishli qiymati hisoblanadi

$$\mu^{r_j}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \text{vektorning holati } X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*).$$

4. r_j^* yechimi uchun quyidagilar aniqlanadi:

$$\mu^{r_j^*}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) = \max_{j = \overline{1, n}} [\mu^{r_j}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)].$$

Ta'limning mohiyati loyqa yaqinlashuv natijalari va obyektning haqiqiy xatti-harakati o'rtasidagi farqni kamaytirish imkonini beruvchi a'zolik funksiyalari parametrlarini tanlashda qo'llaniladi.

Klassifikatsiya masalasini ko'rinib turgandek qilib belgilab olamiz $f(X) \rightarrow \{1, \dots, c\}$ X ning har qanday ko'rinishi 1, ..., c sinflaridan biriga kiradi.

Klassifikatsiya masalasi quyidagi ko'rinishda shakllantirilishi mumkin.

Berilgan:

- c sinflar soni;

- m o'qitish tasvirlari to'plami: X_1, X_2, \dots, X_m ;

- har qanday ta'lim qiyofasi sinfiga: $f(X_1) = c_1, \dots, f(X_m) = c_m$;

- ixtiyoriy n -o'lchovli vektor Z .

O'quv jarayoni quyidagi bosqichlardan iborat:

1. O'qitish matritsasini yaratish $- [X_1, \dots, X_m]^T m \times n$. o'lchamda tahlash

2. s maksimal yagona qiymatni hisoblash, hamda chap, o'ng singular vektorlarni L va R matritsasi keyini iteratorli (evolyutsiyaviy) sxema orqali hisoblash:

$$L_{(0)} = [1, \dots, 1]^T,$$

$$R^T = L_{(k-1)}^T A, R_{(k)} = R/|R|, \text{zde } |R| = \sqrt{r_1^2 + \dots + r_n^2},$$

$$L = AR_{(k)}, L_{(k)} = \frac{L}{|L|}, \text{zod}e |L| = \sqrt{l_1^2 + \dots + l_n^2}.$$

3. Quyidagi shartni bajarish uchun

$$\begin{aligned} S_{(k)} &= L_{(k)}^T AR_{(k)}, k = 1, 2, \dots, \\ |S_{(k)} - S_{(k-1)}| &< \varepsilon, \\ S &= S_{(k)}, L = L_{(k)}, R = R_{(k)} \end{aligned}$$

singulyar sonni saqlash s.

4. R o'ng singulyar vektorni saqlash ("antitelo-probu" sifatida).

5. Har qanday $i=1, \dots, m$ uchun l_1 komponentasini saqlash L vektorning chap yagona qiymati va c_i klassi X_i o'quviga mos keladi.

6. Z ning har bir n-o'lchovli obrazi uchun uning R bilan bog'lanish energiyasini hisoblash:

$$w(z) = Z^T R/s.$$

7. w bilan minimal masofada bo'lgan l_i ni tanlash:

$$d = \min_i |w - l_i|, i = 1, \dots, m,$$

va sinfni Z tasvirning kerakli klassi deb hisoblash.

Umuman olganda immun algoritmining bir bosqichini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\begin{aligned} \forall i \in \{1, \dots, m\}: x'_i &= \text{mut}(\text{clon}(x_1, \dots, x_n)), \\ (x''_1, \dots, x''_k) &= \text{aging}(x_1, \dots, x_n, x'_1, \dots, x'_m), \\ (y_1, \dots, y_n) &= \text{sel}(x''_1, \dots, x''_k), \end{aligned}$$

Bu yerda $(x_1, \dots, x_n) \in X^n$ antitelning mavjud populyatsiyasi; (x'_1, \dots, x'_m) – klonlash va mutatsiyadan kelib chiqqan antitel populyatsiyasi; (x''_1, \dots, x''_k) – populyatsiyadan o'chirib yuborilgan antitel; (y_1, \dots, y_n) – mavjud populyatsiyaga qo'shiladigan antitel.

Immun algortmi quyidagi operatorlar bilan tavsiflanadi: klonlash, mutatsiya, qarish va tanlash. Hozir shu operatorlarni batafsil ko'rib chiqamiz.

Klonlash operatori kelajak populyatsiyada antikorlarning yangi avlod nusxalarini yaratadi. Quyidagi asosiy klonlash operatorlari a

) Har qaysi B-xujayrasidan nusxa ko'chirib, transient populyatsiya ishlab chiqaradigan statik klonlash operatori;

b) B-katakchlarni ularning antigenik o'xshashligi mos ravishda klonlovchi mutanosib klonlash operatori;

c) B katakchalarni klonal tanlash ehtimoliga qarab joriy nasldan tanlab olingan probabolistik klonlash operatori.

Mutatsiya operatori mavjud bo'lgan klon populyatsiyasiga ko'ra harakat qiladi, har bir antitel uchun tasodifiy ravishda amalga oshirilgan muayyan miqdordagi mutatsion soni. Quyidagi mutatsion usullarni ajratish mumkin.

1. Statik mutatsiya. Mutatsiyalar soni minimal f funtsiyasiga bog'liq bo'ladi, shuning uchun antikor bir vaqtning o'zida muayyan miqdordagi mutatsiyaga duch keladi.

2. Proporsionalli mutatsiya. Antitel mutatsiyasining soni mos keladigan qiymat bilan mutanosib.

3. Teskari proporsionalli mutatsiya. Antitel mutatsiyasining soni mos keladigan qiymat bilan teskari proporsionaldir.

4. Aylana mutatsiya. Har bir antitel dumaloq birikmaning mutatsiyasida uchraydi.

Qarish operatori qarilarni yo'q qiladi. Antitel kattaroq bo'lganida, keyinchalik takrorlash uchun juda mos bo'lishi mumkin bo'lsa ham, u tizimdan chiqariladi

Klonal kengayishda klonlangan antitel ota-onaning yoshini meros qilib oladi. Mutatsion fazasidan keyin faqat eng yuqori yaqinlik qiymatiga ega bo'lgan antitellar 0 ga teng bo'ladi. Ushbu operatorning tanlab olingan variantini 0 ga teng bo'lgan avlodda aholining eng yaxshi antitellarini olish yo'li bilan qo'lga kiritiladi. Ushbu operatorning elitniy varianti aholi tomonidan avlodga eng yaxshi antitelni olish yo'li bilan olingan.

Tanlov operatori populyatsiyaning eng yomon antitelalarini yangi tasodifiy antitelalar bilan almashtiradi.

Sun'iy immun tizimi yangi hisoblash usuli, biologik immun tizimining tamoyillariga asoslanadi, yangi ma'lumotlarni o'rgana oladi, eski ma'lumotlarni saqlab qoladi va biomolekulyar tanib olish tamoyillariga asoslanib, tarqalgan usulda namunalarni aniqlaydi va ma'lumotlarni tahlil qiladi.

1.5.4. Qo'shni zarralar topologiyalari

Uzluksiz sonli o'lchovli optimallashtirish muammolari orasida amaliy jihatdan eng muhimi va shu bilan birga eng qiyini global shartli optimallashtirish muammolari sinfidir. Ushbu sinfnig muammolarini hal qilish usullarini ikkita katta guruhga bo'lish mumkin:

- jarima yoki to'siq funktsiyalari yordamida global shartli optimallashtirish muammosini global cheklanmagan optimallashtirish muammosiga kamaytirish usullari;
- global shartli optimallashtirish muammosini hal qilish uchun maxsus ishlab chiqilgan usullar.

Ushbu ishda ko'rib chiqilgan zarralar to'dasi usuli birinchi guruh usullariga tegishli va shuning uchun global cheklanmagan optimallashtirish muammolarini hal qilish uchun mo'ljallangan.

Global cheklanmagan optimallashtirish muammosini hal qilish usullari deterministik usullar, stoxastik usullar va evristik usullarga bo'linadi [91].

Evristik usullar nisbatan yangi va tez rivojlanayotgan usullardir. Ushbu usullar orasida evolyutsion va xulq-atvor (taqlid) usullari ajralib turadi.

Global cheklanmagan optimallashtirish muammosini hal qilishning o'zini tutish usullari o'zini o'zi tashkil etuvchi jonli yoki jonli bo'lmagan tizimlarning kollektiv xatti-harakatlarini modellashtirishga asoslangan. Ushbu tizimlarning o'zaro ta'sir qiluvchi elementlari odatda agentlar deb ataladi. Xulq-atvor usullarining asosiy g'oyalari - markazsizlashtirish, agentlarning o'zaro ta'siri, agentlik xatti-harakatlarining soddaligi.

Global shartsiz optimallashtirish muammosini hal qilishning quyidagi yurish-turish usullari mashhurlikka erishdi: asalarilarning o'zini tutish usuli; chumoli koloniyasi usuli.

Zarralar to'plamini optimallashtirishda (*particle swarm optimization - PSO*) agentlar optimallashtirish muammosining parametr maydonidagi zarralardir. Vaqtning har bir lahasida (har bir takrorlanishda) zarralar bu bo'shliqda ma'lum bir pozitsiyaga va tezlik vektoriga ega. Zarraning har bir pozitsiyasi uchun maqsad funktsiyasining mos keladigan qiymati hisoblab chiqiladi va shu asosda ma'lum qoidalarga ko'ra zarra qidiruv maydonidagi o'rnini va tezligini o'zgartiradi.

PSO usuli olomonning ijtimoiy-psixologik xulq-atvor modeliga asoslangan. Usulning bir nechta farqlari mavjud. Masalan, 1995 yilda Kennedi tomonidan taklif qilingan kanonik zarralar to‘dasi usulida Eberxart [92] har bir takrorlanishda zarraning navbatdagi holatini aniqlashda ma’lum bir zarraning “qo‘shnilari” ichidagi eng yaxshi zarra haqidagi ma’lumotlar, shuningdek, ushbu zarra haqidagi takrorlanishdagi ma’lumotlar, maqsad vazifasining eng yaxshi qiymati ushbu zarraga to‘g‘ri kelganda. Kanonik FIPS modelini modifikatsiya qilishda to‘daning barcha zarralariga mos keladigan maqsad funksiyasi qiymatlari hisobga olinadi; ba’zi modellarda zarralar bir nechta to‘dalarga va boshqalarga birlashtirilgan.

Ma’lum bo‘lgan zarralarni to‘ntarish usullarining aksariyati ketma-ket. Parallel usullar haqida kam narsa ma’lum va ularning barchasi 2004 yildan keyin paydo bo‘lgan. Maqola ketma-ket va parallel PSO usullarini ko‘rib chiqadi.

Kanonik zarralar to‘dasi usuli

$\Phi(X)$ ob’ektiv funksiyalarini n ning global cheklanmagan minimallashtirish muammosini ko‘rib chiqing. O‘lchovli arifmetik bo‘shliq R_n :

$$\min_{X \in R^n} \Phi(X) = \Phi(X^*) \quad (1.51)$$

Zarralar to‘plami $P = \{P_i, i \in [1: N]\}$ bilan belgilanadi, bu yerdan N – to‘dadagi zarralar soni (populyatsiyalar soni). $t = 0, 1, 2$ vaqtida ... P_i zarrasining koordinatalari aniqlanadi, vektor $X_{i,t} = (x_{i,t,1}, x_{i,t,2}, \dots, x_{i,t,n})$, va V_i vektor bo‘yicha uning tezligi, $V_{i,t} = (v_{i,t,1}, v_{i,t,2}, \dots, v_{i,t,n})$. P_i zarrasining dastlabki koordinatalari va tezliklari mos ravishda $X_{i,0} = X_i^0, V_{i,0} = V_i^0$ ga teng. Kanonik PSO (Particle Swarm Optimization) usulidagi takrorlashlar quyidagicha amalga oshiriladi:

$$X_{i,t+1} = X_{i,t} + V_{i,t+1}; \quad (1.52)$$

$$V_{i,t+1} = \alpha V_{i,t} + U[0, \beta] \otimes (X_{i,t}^b - X_{i,t}) + U[0, \gamma] \otimes (X_{g,t} - X_{i,t}). \quad (1.53)$$

Bu yerda $U[a, b]$ tasodifiy sonlarning n -o‘lchovli vektori, $[a, b]$ oralig‘ida teng taqsimlangan; \otimes - komponentli ravishda ko‘paytirish belgisi vektorlar; $X_{i,t}^b$ - zarraning koordinatalari vektori P_i (eng yaxshi ma’noda (1.51)) maqsad qiymati bilan butun qidirish vaqti uchun $\Phi(X)$ funksiyasi $X_{g,t}$ - qo‘shni zarraning koordinatalari vektori qidirish

paytida $\Phi(X)$ ob'ektiv funksiyasining eng yaxshi qiymati; α, β, γ erkin algoritm parametrlari.

Zarralar koordinatalarini (1.52), (1.53) formulalar bo'yicha qayta hisoblash sinxron sxema bo'yicha amalga oshirilishi (zarralar koordinatalari faqat barcha N zarralarning oqim tezligini aniqlagandan so'ng yangilanadi) yoki asinxron tarzda (qismning yangi koordinatalarini hisoblash belgilangan hisob-kitoblar tugagunga qadar amalga oshiriladi).

Takrorlashlar paytida $X_{i,t}^b$ nomli vektor hosil bo'ladi, P_i zarrasining xususiy yo'li (private guide) va $X_{g,t}$ vektori bu zarraning qisqa yo'li (local guide).

Erkin parametr α zarralarning "harakatsiz" xususiyatlarini aniqlaydi ($\alpha < 1$ uchun zarralarning harakati sekinlashadi). Parametrning tavsiya etilgan α qiymati 0.7298. Optimallashtirish jarayonida α koeffitsientining 0.9 dan 0.4 gacha bosqichma-bosqich pasayishi samarali bo'lishi mumkin. Shu bilan birga, parametrning katta qiymatlari qidiruv maydonini keng ko'rib chiqishni ta'minlaydi, kichik qiymatlar esa maqsad funksiyasi minimalini aniq lokalizatsiya qilishni ta'minlaydi. β, γ erkin parametrlarining tavsiya etilgan qiymatlari 1.49618 ga teng.

PSO (*particle swarm optimization – PSO*) uslubidagi eng muhim kontseptsiya - bu tegishli qo'shni topologiyasi bilan belgilanadigan qo'shni zarralar tushunchasidir.

(1.53) formuladagi ikkinchi komponent "kognitiv" komponent deb nomlanadi va zarraning maqsad funksiyasining minimal qiymati bilan o'z pozitsiyasiga qaytish tendentsiyasini formallashtiradi. (1.53) formuladagi uchinchi komponent "Ijtimoiy" komponent deyiladi. Komponent qo'shni zarralarining ma'lum bir zarraga ta'sirini aks ettiradi.

Ko'pincha (1.53) formula o'rniga uning varianti ishlatiladi.

$$V_{i,t+1} = \alpha(V_{i,t} + \varphi \oplus (Y_{i,t}^g - X_{i,t})). \quad (1.54)$$

α koeffitsienti bu holda cheklovchi omil deyiladi.

$$\begin{aligned} \varphi &= U[0, \beta] + U[0, \gamma], \\ Y_{i,t}^g &= \frac{U[0, \beta] \otimes X_{i,t}^b + U[0, \gamma] \otimes X_{i,t}^g}{\varphi}. \end{aligned} \quad (1.55)$$

β, γ parametrlarining tavsiya etilgan qiymatlari bu holda 2.05, ularning optimal ko'rsatkichlari $\Phi(X)$ maqsad funksiyasi sinfi bilan belgilanadi [3].

To'liq ma'lumotni yig'ish zarralari usuli (FIPS)

To'liq ma'lumotga ega bo'lgan zarralarni yig'ish usuli (FIPS) [94], [95] da taklif qilingan va PSO kanonik usulini umumlashtirishdir. FIPS (*fully informed particle swarm*) usuli, zarralarning xatti-harakatlarini nafaqat eng muvaffaqiyatli qo'shnisi, balki butun qo'shnilar to'plami belgilaydi degan kuzatuvga asoslanadi. Shunday qilib, FIPS usuli bilan kanonik PSO usuli o'rtasidagi asosiy farq shundaki, FIPS usuli barcha qo'shni zarralarning ma'lum bir zarraga ta'sirini hisobga oladi. Ma'lumki, bu holda zarralar to'dasining turli xil topologiyalari optimallashtirish jarayoniga sezilarli ta'sir ko'rsatmoqda. FIPS usulining takroriy sxemasida zarralarning koordinatalari (1.52) formula bo'yicha aniqlanadi va ularning tezliklari (1.54) formula bo'yicha hisoblanadi, unda faqat hisoblash sxemasi quyidagicha o'zgaradi.

$$Y_{i,t}^g = \frac{\sum_k (\varphi_k \otimes X_{k,t}^b)}{\sum_k \varphi_k}, k \in \hat{N}_i. \quad (1.56)$$

Bu yyerda $\hat{N}_i P_i$ zarrasining qo'shnilari bo'lgan zarralar sonlari to'plami;

$$\varphi_k = U \left[0, \beta / N_i \right];$$

$N_i - \hat{N}_i$ to'plamidagi elementlarning soni

Usul odatda kanonik PSO (*particle swarm optimization – PSO*) uslubiga qaraganda yaxshiroq konvergensiyaning ko'rsatadi. FIPS usulidagi asosiy muammo - bu qo'shni topologiyasining ishlashiga kuchli ta'sir. Usulning xususiyati uning X_i^0 zarralarning boshlang'ich pozitsiyasi markaziga yaqinlashish tendentsiyasidir $i \in [1:N]$. Ushbu munosabatda assimetrik boshlang'ich zarralar tartibidan foydalanish tavsiya etiladi.

Vaznli FIPS usuli

Vaznlangan FIPS usuli - bu kanonik usulning modifikatsiyasi va (1.54) tenglamaning oxirgi muddatiga og'irliklarni qo'shishdan iborat. Og'irliklarni to'g'ri tanlash bilan bunday modifikatsiya ob'ektiv funktsiyalarning eng yaxshi qiymatlariga ega bo'lgan qo'shni zarralarning ta'sirini kuchaytirishi mumkin. Vaznlangan FIPS usuli uchun takroriy formulalar (1.54) shaklga ega.

$$V_{i,t+1} = \alpha \left(V_{i,t} + \frac{\sum_k w(k,t) U[0, \gamma] \otimes (X_{k,t}^b - X_{i,t})}{\sum_k w(k,t)} \right), k \in \hat{N}_i, \quad (1.57)$$

bu yerda $w(k, t)$ - bu vaqt o'tishi bilan o'zgarib turadigan, k -chi qo'shni zarraning ma'lum bir zarraga ta'sirini aniqlaydigan skalyar og'irlik koeffitsienti. $w(k, t)$ og'irligi sifatida $\Phi(X_{k,t})$ funktsiyasining teskari qiymati eng ko'p ishlatiladi (biz ushbu funktsiyani minimallashtirish masalasini ko'rib chiqayotganimizni inobatga olgan holda):

$$w(k, t) = \frac{1}{\Phi(X_{k,t})}. \quad (1.58)$$

Boshqa kattaliklar $w(k, t)$ og'irliklar rovida ham ishlatilishi mumkin, masalan, zarralar orasidagi masofa.

Tartiblangan FIPSusul

Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, FIPS (*fully informed particle swarm*) usuli qo'shni zarralar topologiyasining ko'rib chiqilayotgan zarraga kuchli ta'siri sababli beqaror. Bundan tashqari, kattaliklarni (1.58) og'irlik sifatida ishlatganda quyidagi effekt paydo bo'lishi mumkin. Keyinchalik takrorlashda, maqsad funktsiyasining asosiy yaxshilanishlari amalga oshirilganda va barcha zarralar mahalliy minimal atrofida bo'lsa, barcha zarralarga mos keladigan ob'ektiv funktsiyalarning yaqin qiymatlari mavjud. Shuning uchun barcha $k \in \hat{N}_i$ uchun $w(k, t)$ og'irliklarining qiymatlari yaqin bo'lib chiqadi. Natijada, qidiruv sekinlashadi hatto to'xtaydi, shuning uchun (1.58) qiymatlarni og'irlik sifatida ishlatish ma'nosiz bo'ladi. Tartiblangan FIPS usuli [96] bu kamchilikni barataraf etadi. Tartiblangan FIPS (*fully informed particle swarm*) usulining g'oyasi maqsad vazifasi qiymatlari asosida og'irliklarni ishlatishdan saqlanishdir. Buning o'rniga $w(k, t)$, $k \in \hat{N}_i$ og'irliklari r_k darajalari bilan almashtiriladi, ular quyidagi qoida bilan belgilanadi:

$$r_k = 2r_{k+1}; \sum_k r_k = 1; \Phi(X_k) < \Phi(X_{k+1}). \quad (1.59)$$

E'tibor bering, ushbu qoidaga ko'ra, to'xadagi eng yaxshi zarraning og'irligi 0,5 ga teng. Shunday qilib, tartiblangan FIPS (*fully informed particle swarm*) usulda (1.53) formulani oladi .

$$V_{i,t+1} = \alpha(V_{i,t} + U[0, \beta] \otimes (X_{i,t}^b - X_{i,t})) + \sum_k r_k U[0, \gamma] \otimes (X_{g,t} - X_{i,t}), k \in \hat{N}_i \quad (1.60)$$

Tartiblangan FIPS usuli qo'shni zarra topologiyasi tomonidan ma'lum bir zarraga kamroq ta'sir ko'rsatadi, shuning uchun qo'shni zarralar to'plamidagi zarralar sonining ko'payishi qidiruv samaradorligiga salbiy ta'sir ko'rsatmaydi.

“Qiyamat-masofa” munosabatlariga asoslangan zarralar to‘dasi usuli (FDR PSO)

Qiyamat-masofa munosabatlariga asoslangan zarralar to‘dasi usuli (1.57) da taklif qilingan. Usul bir necha atrofdagi zarralar ta‘sirini hisobga olgan holda kanonik PSO (*particle swarm optimization - PSO*) dan farq qiladi. FIPS (*fully informed particle swarm*) usuli kanonik PSO (*particle swarm optimization - PSO*) usulidan bir xil asosiy farqga ega ekanligini unutmagan holda, FDR PSO (*fitness-distance ratio based PSO*) usulida qo‘shni zarralarning ta‘siri FIPS (*fully informed particle swarm*) usulidan farqli ravishda hisobga olinadi.

FDR PSO (*fitness-distance ratio based PSO*) usuli o‘zgartirilgan kanonik takrorlash jarayonidan (1.52), (1.53) dan foydalanadi. Modifikatsiyaning mohiyati (1.53) formulaga yana bitta atamani qo‘shishdan iborat.

$$k_3 U[0, \delta] \otimes (X_{q,t} - X_{i,t}), \quad (1.61)$$

bu yerda δ usulning erkin parametri.

Shunday qilib, FDR PSO (*fitness-distance ratio based PSO*) usulida zarra tezliklari formula bo‘yicha aniqlanadi.

$$V_{i,t+1} = \alpha V_{i,t} + k_1 U[0, \beta] \otimes (X_{i,t}^b - X_{i,t}) + k_2 U[0, \gamma] \otimes (X_{g,t} - X_{i,t}) + k_3 U[0, \delta] \otimes (X_{q,t} - X_{i,t}), \quad (1.62)$$

Bu yerda k_1, k_2, k_3 erkin parametrlar, $X_{q,t}$ - ba‘zi zarralar koordinatalarining vektori $P_q \in \mathbf{P}$, quyidagi qoidalarga muvofiq belgilanadi:

- P_q zarrasi P_i zarrasi bilan qo‘shni;
- P_q zarrasi barcha qo‘shni zarralar bilan solishtirganda $\Phi(X)$ maqsad funksiyasining eng yaxshi qiymatiga mos keladi.

P_j, P_i zarralarining \mathbf{P} populyatsiyasidan $FDR(X_j, X_i)$ funksiyasini hisobga olamiz:

$$FDR(X_j, X_i) = \frac{\Phi(X_j) - \Phi(X_i)}{\|X_j - X_i\|}. \quad (1.63)$$

Bu yerda $\|*\|$ vektor normasi.

Shakllangan qoidalarni eng yaxshi to‘ldiradigan zarra FDR funksiyasini minimal darajada ta‘minlaydi:

$$FDR(X_q, X_i) = \max_j FDR(X_j, X_i), \quad j \in \hat{N}_i.$$

(1.57) da tavsiya etilgan k_1, k_2, k_3 parametrlarining qiymatlari mos ravishda 1, 1, 2 ga teng. Uslub ushbu parametrlarning qiymatlariga

befarq ekanligi eksperimental tarzda ko‘rsatildi, hatto ularning nollanishi ham usulning yaqinlashish tezligini sezilarli darajada yomonlashishiga olib kelmaydi. Usulning yaqinlashish tezligiga asosiy hissa (1.61) tarkibiy qismlar tomonidan ta‘minlanadi.

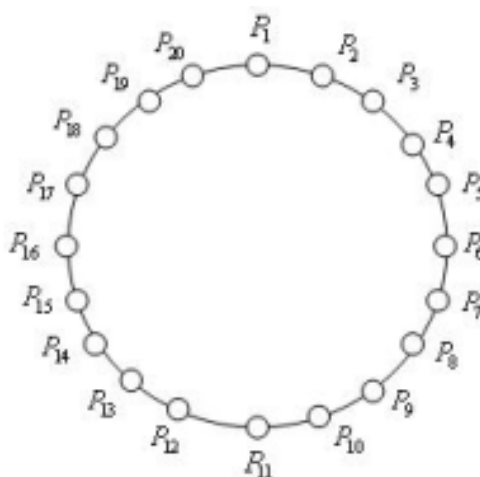
FDR PSO (*fitness-distance ratio based PSO*) usuli (1.57) da ko‘rib chiqilgan shaklda, tasodifiy koeffitsientlar $U[a,b]$ ishlatilmaydi, bu $U[a,b] = const = 1$ ni olishga teng. Biroq, xuddi shu ish tasodifiy o‘zgaruvchini ushbu koeffitsientlar sifatida ishlatish mantiqiy bir xil diapazonda teng taqsimlangan $[0, 2.05]$ ekanligini ko‘rsatadi.

Qo‘shni zarralar topologiyalari

PSO (*particle swarm optimization - PSO*) usulining samaradorligi ko‘p jihatdan qo‘shni zarralar topologiyasiga bog‘liq (*population topology, neighbourhood topology, swarm topology, sociometry*). Qo‘shni zarralar topo logiyasi yo‘naltirilmagan grafika bilan belgilanadi, uning tepalari to‘daning zarralariga to‘g‘ri keladi va qirralari yaqin qo‘shnilarni birlashtiradi. Hisoblash amaliyotida quyidagi qo‘shni zarralar topologiyalari eng ko‘p qo‘llaniladi [8]:

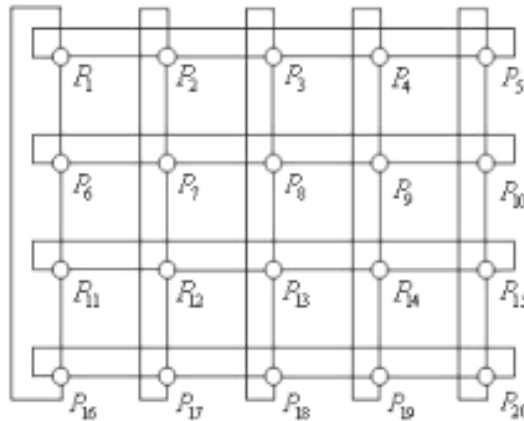
- klik (gbest topologiyasi - global miqyosda maqbul topologiya);
- Halqa (lbest topologiyasi - mahalliy maqbul topologiya);
- klaster topologiyasi.

“klik” topologiyasida (to‘liq bog‘langan grafik) $P_i, i \in [1, N]$ zarralarining har birining qo‘shnilari boshqa $(N - 1)$ zarralardir. To‘liq ulangan grafaning diametri biriga (1.59) teng. “Halqa” topologiyasida P_i zarralarining har birining qo‘shnilarikki zarradan iborat. Masalan, shaklda ko‘rsatilgan 1.19-rasm, P_3 zarrasining qo‘shnilari P_2, P_4 zarralari. Tegishli shaklning diametri $\sim N/2$.



1.19-rasm. Qo‘shni zarralarda “Halqa” topologiyasi

“Ikki o‘lchovli torus” topologiyasida $P_i, i \in [1, N]$ zarralarining har birining qo‘shnilari 4 zarradan iborat. Masalan, shaklda ko‘rsatilgan 1.20-rasm, P_3 zarrasining qo‘shnilari P_2, P_4, P_8, P_{18} zarralari. Agar “ikki o‘lchovli torus” tipidagi shakl $m \times m$ panjara asosida qurilgan bo‘lsa, u holda ushbu shaklning diametri $2 \lceil m/2 \rceil$ dir. Bu yerda $\lceil * \rceil$ - eng yaqin kamroq butun sonning belgisi; $N=m^2$.

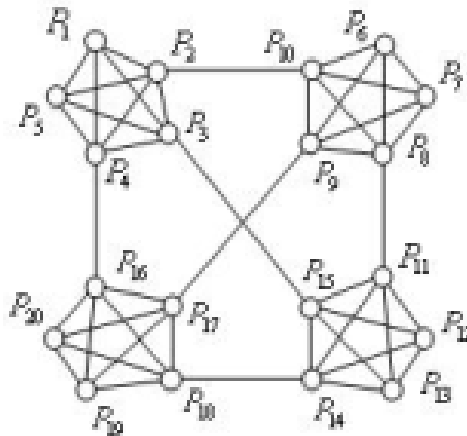


1.20-rasm. Qo‘shni zarralarda “Ikki o‘lchovli torus” topologiyasi:
 $N = 20$

Klaster topologiyasida shaklda tugun sifatida C_{clicue} tugunlaridan iborat. N_{clicue} klik soni to‘liq bog‘langan shaklga birlashtirilib, uning qirralari darajalari teng bo‘lgan kliklarning tugunlari bilan bog‘langan ($C_{clicue} - 1$).

Shubhasiz, bunday shaklning diametri 3 ga teng. $P_i, i \in [1, N]$ zarralarining har birining qo‘shnilari C_{clicue} zarralari.

Masalan 1.21-rasmning diametri 3 ga teng, $N_{clicue} = 4, C_{clicue} = 5, P_3$ zarraning qo‘shnilari quyidagi 5 ta zarralar: $P_1, P_2, P_4, P_5, P_{15}$.



1.21-rasm. Zarralar mahallasining klaster topologiyasi: $N = 20$

To‘da tomonidan ishlatiladigan qo‘shni zarralar topologiyasiga mos keladigan grafik diametri zarralar to‘dadasida ma’lumot tarqalish tezligini aniqlaydi.

Shuning uchun, “klik” topologiyasiga ega bo‘lgan to‘dada, u yoki bu zarralar tomonidan erishilgan maqsad funksiyasining eng yaxshi qiymati darhol boshqa barcha to‘dalar zarralariga ma’lum bo‘ladi. Ko‘rib chiqilayotgan topologiyalar orasida axborot tarqalishining eng past tezligi “halqa” topologiyasi tomonidan aniqlanadi. Axborotni tarqatish tezligining oraliq qiymatlariga “ikki o‘lchovli torus” zarralar topologiyasi va klaster topologiyasi bilan to‘dalarda erishiladi. “Ikki o‘lchovli torus” topologiyasi va klaster topologiyasi oraliq xususiyatlarga ega.

PSO usulining samaradorligi va yaqinlashuvi va uning modifikatsiyalari bo‘yicha ko‘plab tadqiqotlar qo‘shni zarralarning turli xil topologiyalari uchun (1.54), (15.5), (15.8), (1.60) ma’lum.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, «klik»tipidagi topologiya kichik gradiyentlar bilan $\Phi(X)$ funktsiyani minimalini topish uchun amal qiladi.

Topologiya yuqori samaradorlikni ta’minlaydi, ammo bu usulning $\Phi(X)$ funktsiyasining biron bir mahalliy minimal darajasiga erta yaqinlashishiga olib kelishi mumkin. Aksincha, halqa topologiyasi juda ko‘p ekstremal ob’ektiv funktsiyalarni optimallashtirishda samarali hisoblanadi. Ushbu holat halqaning “uzoq” qismlariga tegishli to‘da zarralari bilan bog‘liq bir-biri bilan erkin bog‘langan va qidiruv maydonining turli sohalarini samarali o‘rganishi mumkin. Topologiya ob’ektiv funktsiyalarning mahalliy minimallari bilan zarralarning zaif “tortishishini” ta’minlaydi va barvaqt yaqinlashishni oldini oladi. Ular maqsad funksiyasining global minimalini lokalizatsiya qilishning yuqori ehtimoli va yetarli darajada yuqori qidiruv samaradorligini ta’minlaydi.

PSO usulining samaradorligi populyatsiyalar sonining ko‘pligiga bog‘liq. Ushbu bog‘liqlik zarralar qo‘shnichiligining turli xil topologiyalari uchun har xil xarakterga ega bo‘lishi mumkin.

Klik topologiyasi va populyatsiyaning kata miqdori uchun kanonik PSO usuli erta yaqinlashishga olib kelishi mumkin. FIPS (*fully informed particle swarm*) usulida bir xil sharoitda, ko‘p sonli aholi ob’ektiv funktsiyalarning bir nechta mahalliy minimallarini qamrab olishi va zarralarning katta qismi ushbu minimallar orasida

o'zgarishi mumkin. Kanonik PSO usulida zarralar bir xil tebranishlari mumkin.

“Halqa” topologiyasi ko‘p sonli populyatsiyaga nisbatan ancha chidamli, chunki topologiyalar orasida u eng kam bog‘langan va eng past ma’lumot uzatish tezligini ta’minlaydi.

Katta populyatsiyalar uchun PSO usulining samaradorligi nuqtai nazaridan “ikki o‘lchovli torus” topologiyasidan universal topologiya sifatida foydalanish tavsiya etiladi, bu ko‘rib chiqilayotgan usullarning har qandayining yetarlicha yuqori samaradorligini ta’minlaydi.

Qo‘shni zarralar dinamik topologiyasidan foydalanish usullari

Ko‘rib chiqilgan PSO usullari qo‘shni zarralarning statik topologiyalaridan foydalanadi, ya’ni ma’lum bir to‘da uchun zarralarning qo‘shnisi takrorlanishlar boshlanishidan oldin o‘rnatiladi va takrorlanish jarayonida o‘zgarmaydi. Shu bilan birga, PSO usullarining katta qismi ma’lum, takrorlanish jarayonida o‘zgarib turadigan qo‘shni zarralar topologiyasidan foydalanish – qo‘shni zarralarning dinamik topologiyasi.

Klublarga asoslangan zarrachalar to‘dasini optimallashtirish

Klublarda CB PSO (*clubs-based PSO*) usuli bilan zarralarni yig‘ish usuli (1.61) da taklif qilingan. Usulning mohiyati quyidagicha. To‘plangan zarralar klub deb ataladigan dinamik guruhlarni hosil qiladi. Har bir zarra bir nechta klubga kirishi mumkin. Takrorlash paytida zarra klublar o‘rtasida ko‘chib o‘tishi mumkin. Qo‘shni zarralar bir xil klubning zarralari. Zarralar tezligi kanonik PSO usulining formulalari (1.52), (1.53) bilan aniqlanadi.

P_i zarrasi kiradigan M_i klublar soni zarraning klublarga kirish darajasi deyiladi. Vaqtning dastlabki momentida zarralarning har biri tasodifiy ravishda N_{cl} klublari bo‘yicha taqsimlanadi, bu erda N_{cl} - standart deb nomlangan klubga kirish darajasi. N_{cl} ortishi bilan CB PSO (*clubs-based PSO*) usulining yaqinlashish darajasi ortadi. Odatda 4 - 15 gacha kirish darajasini tanlash bilan cheklanadi.

CB PSO (*clubs-based PSO*) usulida optimallashtirish jarayonining har bir takrorlanishida mos ravishda P_{best} va P_{worse} zarralari maqsad funksiyasining eng yaxshi va yomon qiymatlariga ega. P_{best} zarrasi unga tegishli bo‘lgan ixtiyoriy klubdan chiqarib tashlanadi va P_{worse} zarrasi tasodifiy klubga kiradi. Klubda eng yaxshi yoki yomon

bo‘lmagan zarralar uchun har bir rr takrorlash, ularning klubga kirish darajasi standart kirish darajasiga qarab o‘zgaradi. Ushbu texnik usulning barqarorligini va zarralarning klublar orasida taqsimlanishining bir xilligini yaxshilaydi.

M_i parametriga $M_i \in [M^{\min}, M^{\max}]$ cheklov qo‘yilgan, shuning uchun $P_i, i \in [1:N]$ zarralarining har biri barcha holatlarda kamida M^{\min} va ko‘pi bilan M^{\max} klublariga kiritiladi. M^{\max} qiymati N dan kam bo‘lmasligi kerak, shunda zarra har xil klublarda bo‘lishi mumkin. (1.61)da, 20 ta zarralar to‘plami uchun $M^{\min} = 5$, $M^{\max} = 33$ qiymatlari ishlatiladi.

P_{best} zarrasini klubdan chetlatish usulning barvaqt yaqinlashishini oldini olishga qaratilgan, chunki bu zarra klubdagi qo‘shni zarralarga kuchli ta‘sir ko‘rsatadi. P_{worse} zarrasini boshqa biron bir klubga qo‘shilishi unga qo‘shni zarralar sonini ko‘paytirishga imkon beradi. Odatda yangi klublardagi zarralar asl klubdagi zarralardan yomonroq emasligi sababli, bu P_{worse} zarrasiga ob‘ektiv funktsiya qiymatini yaxshilashga imkon beradi.

Yuqorida ta‘kidlab o‘tilganidek, zarralar mahallasining statik topologiyasiga asoslangan PSO usullarida, erta yaqinlashish keng tarqalgan muammo. Ushbu ta‘sirning sababi shundaki, maqsad funktsiyasining har qanday lokal minimalini topgan zarra qo‘shni zarralarga kuchli va doimiy ta‘sir ko‘rsatadi va shu zarralarni bir xil mahalliy minimal yaqinida lokalizatsiya qilishga intiladi. Bu ushbu zarralarning boshqa mahalliy minimallarni o‘rganish imkoniyatini pasaytiradi. CB PSO (*clubs-based PSO*) usuli bu muammoni qo‘shnilar sonidan eng muvaffaqiyatli zarralarni chiqarib tashlash yo‘li bilan hal qiladi. Shu bilan birga, qidiruvning dastlabki bosqichlarida zarralar juda oz sonli qo‘shnilarga ega va alohida mahalliy minimallarni topish qolgan zarralarga juda oz ta‘sir qiladi.

(1.61) CB PSO (*clubs-based PSO*) usuli, kanonik PSO (*particle swarm optimization - PSO*) usuli bilan taqqoslaganda, "klik" topologiyasi uchun ham, "halqa" topologiyasi uchun ham ob‘ektiv funktsiyalarning mahalliy minimallaridan yaqinlashish va chiqish nuqtai nazaridan yaxshiroq natijalar beradi.

Stereotiplash bilan zarralarni to‘plash usuli

Stereotiplash bilan zarralarni to‘plash usuli (*PSO with stereotyping*) (1.62) da taklif qilingan. Usulning asosiy g‘oyasi - zarralarni belgilangan miqdordagi klasterlar bo‘yicha statik ajratish. Ajratish mezonini bu R_n parametrlar fazosidagi zarralarning geometrik yaqinligi. Klaster markazi sifatida geometrik markaz ishlatiladi ushbu klasterni tashkil etuvchi zarralarning koordinatalari. $P_i, i \in [1:N]$ zarra tezligini hisoblash formulalarida uning koordinatalari ushbu zarra tegishli bo‘lgan klaster markazining koordinatalari bilan almashtiriladi. Masalan, uchun zarra tezligini hisoblash formulasida kanonik PSO (*particle swarm optimization - PSO*) usulidan (1.53), $X_{i,t}$ komponent shu tarzda almashtiriladi. Usul ikkala kanonik PSO (*particle swarm optimization - PSO*) usuli va uning FIPS (*fully informed particle swarm*) modifikatsiyasi bilan birlashtirilishi mumkin.

Dinamik sotsiometriya zarralar to‘dasini optimallashtirish

DS PSO (*dynamic sociometry PSO*) qo‘shni zarralar grafigi qo‘shilgan PSO usuli (1.63), (1.64), (1.65) da taklif qilingan va o‘rganilgan. Usul deb nomlangan texnikani amalga oshiradi, “Ko‘rib chiqishdan qidiruvga o‘tish” (*switch from exploration to exploitation*).

Yuqorida ta’kidlab o‘tilganidek, zarralarning siyrak grafigi skanerlashda yuqori samaradorlikni, izlashda esa zich grafigini ta’minlaydi. DS PSO (*dynamic sociometry PSO*) uslubi g‘oyasi quyidagicha. Dastlabki optimallashtirish takrorlashlarida juda kam zarralar qo‘shni grafigi ishlatiladi. Belgilangan k sonli takrorlashdan so‘ng, ushbu grafikka muntazam yoki tasodifiy ravishda yangi chekka qo‘shiladi. Masalan, zarralar mahallasi topologiyasida “halqa” har bir k takrorlanishdan so‘ng zarralar mahallasining joriy grafigiga chekka (P_j, P_{j+i}) qo‘shiladi. Natijada, oxir-oqibat, yetarli miqdordagi takrorlash bilan “klik” tipidagi grafigi olinadi.

Faraz qilaylik, N zarralar to‘dasida bu masala I takrorlanishda yechilishi kerak va $0,8I$ takrorlashni bajargandan so‘ng to‘liq bog‘langan topologiyani olish talab qilinadi. Keyin zarralarning joriy grafigiga $(N - 2)$ marta, ya’ni har biriga chekka qo‘shilishi kerak, ya’ni har bir takrorlashda.

$$k = \frac{0.8I}{N - 2}. \quad (1.65)$$

Qidiruvning dastlabki bosqichlarida DS PSO (*dynamic sociometry PSO*) usuli parametrlar makonini global o‘rganish strategiyasini (ko‘rib

chiqish) amalga oshiradi va keyingi bosqichlarda olingan natijalarni (qidirish) yaxshilaydi .

1.5.5. Migratsiya usluli bilan zarralar to‘dasini optimallashtirish

MPSO(*PSO with migration*)zarralari migratsiyasi bilan ko‘p yo‘lli usul (migratsiya bilan PSO) (2.1) da taklif qilingan. Usulning g‘oyasi bir nechta zarralar to‘plamini (subwarms) hosil qilish va zarralar orasida zarralarning ko‘chishini tashkil qilishdir. Bunday holda, har bir to‘da, umuman aytganda, erkin parametrlarning o‘ziga xos qiymatlari va qo‘shni zarralar topologiyasidan foydalanadi. Zarra bir to‘dadan ikkinchisiga o‘tsa, o‘zaro ta’sir qilayotgan to‘dalar qo‘shni zarralar topologiyasi o‘zgarmaydi. Usul moslashuvchan bo‘lib, minimallashtirilishi kerak bo‘lgan $\Phi(X)$ funktsiyasi to‘g‘risida to‘liq ma’lumotga ega bo‘lmagan holda qo‘llaniladi .FIPS (*fully informed particle swarm*) usuli uchun, masalan, qo‘shni zarralar topologiyasi empirik ravishda olingan tavsiyalarga muvofiq funktsiya sinfiga qarab tanlanishi kerak.

Oddiy holatda, zarralarning to‘dalar orasidagi ko‘chishi qat’iy k takrorlanish soni orqali amalga oshiriladi. Hozirgi qiymatlarga asoslangan har bir to‘da S_i uchun ob’ektiv funktsiya $\Phi(X)$ ning bu to‘dasi $\psi(S_i)$ ning optimalligi funktsiyasining qiymati hisoblanadi, bu S_i to‘dasidagi eng yaxshi to‘g‘ri yo‘l uchun $\Phi(X)$ funktsiyasining qiymatiga teng. Shunday qilib, to‘daning optimalligi funktsiyasi to‘dadagi zarralarning eng yaxshi ishlashini aks ettiradi. Har bir k takrorlash, bitta zarralar to‘dadan minimal bilan o‘tish ψ funktsiyasining to‘dadagi qiymati, bu funktsiyaning maksimal qiymati bilan. Bu yerda k - usulning erkin parametri. (1.66) da $k = 60$ qiymati ishlatilgan.

O‘zgartirilgan multiplayer zarrachalar migratsiyasi usuli

O‘zgartirilgan MPSO(*PSO with migration*)usulining sxemasi quyidagicha (1.66).

1) Har bir juftlik uchun S_i, S_j , har bir k takrorlashdan so‘ng, ularning o‘zgartirilgan maqbullik funktsiyalari qiymatlarining nisbati $\psi^*(S_i), \psi^*(S_j)$

$$R(S_i, S_j) = R_{i,j} = \frac{\psi^*(S_i)}{\psi^*(S_j)}. \quad (1.66)$$

- 2) $R_{i,j} > R_{lim}$ tengsizligi amal qiladigan to‘da $\{S_k\}$ to‘plami topilgan.
- 3) To‘dalarning har biriga $\{S_k\}$ jarima nuqtasi B_k beriladi.
- 4) To‘dalar sonidan $\{S_k\}$, yangi to‘dalar to‘plami $\{S^*\}$ aniqlanadi, ularning har biri uchun $B_k > B_{lim}$ tengsizligi bajarilsin.

5) $\{S^*\}$ to‘plamining to‘dalari jarima nuqtalarining o‘sh tartibida tartiblangan.

6) Saralangan $\{S^*\}$ to‘plamining har bir to‘plamidan (oxirgi to‘dadan tashqari) tasodifiy tanlangan navbatdagi zarra navbatdagi to‘daga o‘tadi.

$\psi^*(S_i)$ funksiyasining maqsadi to‘dalar to‘plamini “muvaffaqiyatli” va “muvaffaqiyatsiz” turlarga ajratishdir. Ushbu funktsiya sifatida, maqbullik funksiyasining nisbiy yaxshilanishidan ma’lum miqdordagi takrorlash uchun foydalanish mumkin:

$$\psi^*(S_i) = \frac{\psi_t(S_i)}{\psi_{t-d}(S_i)}. \quad (1.67)$$

O‘zgartirilgan MPSO usulida R_{lim} , B_{lim} , d erkin parametrlardir. Usulni sinash uchun mualliflar $R_{lim} = 2$, $B_{lim} = 60$, $d = 200$ dan foydalanganlar. Ushbu parametrlarni ob’ektiv funktsiyalarning aniq sinflari uchun optimallashtirish mumkin.

Parallel zarralarni to‘plash usullarini tahlil qilish

PSO (*particle swarm optimization - PSO*) usuli asosida g‘oyalar usulning samarali parallel analoglari mavjudligiga umid qilish uchun asos bo‘ladi. Darhaqiqat, parallel PSO (*particle swarm optimization - PSO*) usullarining katta qismi ma’lum. Shuni ta’kidlash joizki, ularning parallel massiv usullari ketma-ket analoglardan algoritmik ravishda farq qiladi.

PSO usullari bilan taqqoslaganda ko‘proq o‘rganilgan genetik usullar uchun uchta parallel usul sinflari mavjud (1.66)

- global parallellik modeliga asoslangan usullar;
- orol parallelligi modeliga asoslangan migratsiya usullari;
- diffuz parallellik modeliga asoslangan usullar.

Ushbu tasnifga o‘xshashlik bilan PSO (*particle swarm optimization - PSO*) uchun quyida ko‘rib chiqilgan uchta parallel usul guruhi mavjud (1.67).

Global muvofiqlik modeliga asoslangan usullar

Ushbu usullar guruhiga mansub parallel PSO (*particle swarm optimization* - PSO) usullari yuqorida muhokama qilingan ketma-ket usullarning parallel analoglari. Ushbu usullar ma'lumotlar parallelligidan foydalanadi va "xo'jayin – qul" turidagi parallel hisob-kitoblarni tashkil etishga qaratilgan. Asosiy jarayon ob'ektiv funktsiyaning global minimal qiymatini $\Phi(X)$ topish bo'yicha ishlarni bajaradi va bo'ysunuvchi jarayonlar maqsad funktsiyasining qiymatlarini, shuningdek zarralarning tezligi va koordinatalarini hisoblab chiqadi.

Har bir takrorlashdan so'ng, ish oqimlari asosiy jarayonga zarralarning olingan koordinatalari va ularning tezliklari qiymatlarini hamda maqsad funktsiyasining mos qiymatlarini yuboradi. Har bir iteratsiya oldidan ish oqimlari asosiy jarayondan "eng yaxshi" zarralarning koordinatalarini oladi. Asosiy jarayon, ish oqimlaridan olingan ma'lumotlarga asoslanib, "eng yaxshi" zarralarning koordinatalarini hisoblab chiqadi va ularni ish oqimlariga yuboradi.

Ushbu sinf metodlarida parallel hisoblashlar ham sinxron, ham asinxron bo'lishi mumkin.

Global parallellik modeliga asoslangan usullarning afzalligi global "eng yaxshi" zarralar haqidagi ma'lumotlardan foydalanishdir. Ushbu usullardan foydalanganda optimallashtirish natijasi shunga o'xshash ketma-ket hisob-kitoblar bilan bir xil bo'ladi. Usullarning kamchiliklari - bu yuqori aloqa xarajatlari (aloqa tarmog'ining katta diametri bilan bog'liq).

Orolning bir xillik modeliga asoslangan usullar

Ushbu sinf metodlari ma'lumotlar parallelligidan foydalanadi va klasterli hisoblash tizimlarida amalga oshirishga qaratilgan. N zarralarning butun to'dasi m orollarga bo'linadi (tizimdagi protsessorlar soniga ko'ra) va har bir orolga tegishli zarralar o'z protsessorida qayta ishlanadi. Har bir k takroriy takrorlanishdan so'ng orollar bir-biri bilan eng yaxshi zarralarni almashadilar (qo'shni zarralarning ishlatilgan topologiyasiga muvofiq). Katta k uchun bu usul kam aloqa xarajatlariga ega, ammo boshqa orollarning eng yaxshi zarralari haqidagi ma'lumotlardan samarali foydalanmaydi. Orollarda zarralarni almashtirishning turli xil strategiyalari mavjud.

Diffuz paralellik modeliga asoslangan usullar

Ushbu sinfning usullarini orol paralellik modeliga asoslangan usullarning maxsus hodisasi deb hisoblash mumkin. Diffuz usullarning asosiy g'oyasi shundaki, "eng yaxshi" zarralar parallel ravishda va faqat qo'shni zarralar orasida aniqlanadi (qo'shni zarralarning ishlatilgan topologiyasi ma'nosida). Buning uchun har bir takrorlashda protsessor ishlaydi, zarra P_i qayta ishlanadi, unga qo'shni zarralar qayta ishlanadigan barcha protsessorlardan, ularning koordinatalarini, tezliklarini va $\Phi(X)$ maqsad funktsiyasining mos qiymatlarini oladi. Bunday aloqa barcha N protsessorlar tomonidan parallel ravishda amalga oshiriladi.

Diffuz modeldagi to'g'ridan-to'g'ri aloqa xarajatlari qo'shni zarralar topologiyasini ishlatish bilan aniqlanadi va agar mos keladigan grafik yuqori ulanish qobiliyatiga ega bo'lsa yuqori bo'ladi. Ushbu sinfning usullari yuqori ko'rsatkichlarni faqat ko'rsatilgan grafikning past ulanishi va maqsad funktsiyasining yuqori hisoblash murakkabligi bilan ta'minlaydi.

Umuman olganda, bu usul kuchli bog'langan (masalan, giperkubik yoki ikki o'lchovli torus) va tezkor aloqa tarmoqlari bo'lgan massiv parallel hisoblash tizimlariga yo'naltirilgan.

Parallel sinxron usul

Parallel sinxron usulda taklif qilingan (ushbu maqolada usul parallel PSO usuli deb nomlangan). Usul global paralellik modelini amalga oshiradi, unda faqat maqsad funktsiyasining qiymatlari parallel ravishda hisoblab chiqiladi.

Har bir takrorlashda asosiy protsessor zarralarning joriy koordinatalarini ishchi protsessorlarga yuboradi va $\Phi(X)$ maqsad funktsiyasining mos qiymatlarini qaytarilishini kutadi. Hozirgi takrorlash faqat asosiy protsessor barcha ishchi protsessorlardan ob'ektiv funktsiya qiymatlarini olgandan keyingina tugaydi (ya'ni global to'siq sinxronizatsiyasi qo'llaniladi). To'plangan holatni yangilash (tezlik va zarralar koordinatalari) faqat asosiy protsessor to'dadagi barcha zarralar to'g'risida belgilangan ma'lumotlarni olgandan keyingina sodir bo'ladi. Usul protsessorlarning statik yuk balansidan foydalanadi.

Parallel sinxron usulning yuqori ishlashi uchun shartlar, hisoblash tizimining bir xilligi, parametrlar fazosining istalgan nuqtasida ob'ektiv funktsiya qiymatlari uchun bir xil hisoblash vaqti, shuningdek, tizim protsessorlari o'rtasida hisoblashlarning teng

taqsimlanishi. Ushbu shartlarning odatda barchasi bajarilmaydi. Shunday qilib, ko‘pincha heterojen hisoblash tizimlaridan foydalanish kerak bo‘ladi; haqiqiy optimallashtirish masalalarida $\Phi(X)$ maqsad funksiyasining hisoblash murakkabligi o‘zgaruvchan parametrlar X vektorining tarkibiy qismlarining qiymatlariga bog‘liq.

Parallel asinxron usul

Parallel asinxron usul PAPSO (*parallel asynchronous PSO*)da taklif qilingan. Usul shuningdek, global muvofiqlik modelini amalga oshiradi. Sinxron usuldan farqli o‘laroq, bu holda asosiy protsessor ishchi protsessorlardan ma‘lumotlarni global sinxronlashdan keyin emas, balki istalgan vaqtda ushbu ma‘lumotlar tayyor bo‘lgandan keyin oladi. Qabul qilingan ma‘lumotlarga asoslanib, asosiy protsessor tegishli to‘da zarralarining tezligi va koordinatalarini yangilaydi va takrorlashni davom ettirish uchun ularni zudlik bilan bo‘sh ishchi protsessorlarga qaytaradi.

Usul protsessor yukini dinamik muvozanatlashni amalga oshiradi. Usul protsessor yukini dinamik muvozanatlashni amalga oshiradi. Zarralarning qayta ishlanmagan raqamlari FIFO oldida saqlanadi. FIFO usuli “birinchi keling, birinchi qoldiring” qoidasiga muvofiq qiymatlarni o‘chirishni o‘z ichiga oladi. Asosiy jarayon ushbu zarradan birinchi zarraning koordinatalarini va tezligini yangilaydi va uni birinchi bepul protsessorga yuboradi.

Sinxron va asinxron usullarning samaradorligini taqqoslash

Asinxron usuldan foydalanish X vektorining turli qiymatlari uchun $\Phi(X)$ ob‘ektiv funksiyasini hisoblash har xil vaqt oralig‘ida sodir bo‘lganda oqlanadi. Bu funktsiyaning hisoblash murakkabligi o‘zgaruvchan.

Sinxron va sinxron usullarning tezlashishi va samaradorligiga ob‘ektiv funktsiyani hisoblash murakkabligi dispersiyasining va hisoblash tizimining heterojenligining ta‘siri o‘rganildi. $\Phi(X)$ funksiyasining hisoblash murakkabligi berilgan taqsimot qonuni bilan tasodifiy o‘zgaruvchi deb qabul qilingan va tegishli vaqt kechikishlar yordamida modellashtirilgan.

Tadqiqot shuni ko‘rsatdiki, $\Phi(X)$ funktsiyani hisoblash murakkabligi dispersiyasining noldan oshishi bilan (bu doimiy hisoblash murakkabligiga teng), sinxron usulning samaradorligi chiziqli ravishda pasayadi. Kam miqdordagi protsessorlarda (15 dan kam) asinxron usul ushbu sharoitda past samaradorlikni ko‘rsatadi, ammoprotsessorlar sonining yanada ko‘payishi bilan usul samaradorligi asimptotik ravishda

93 foizgacha oshadi. Bu samaradorlikning protsessorlar soniga bog'liqligi parallel hisoblash uchun odatiy emas va hisoblash jarayonida kommunikatsiyalarning ozgina ulushi, shuningdek ularning vaqt ichida taqsimlanishi bilan izohlanadi (sinxron usulda bir vaqtning o'zida aloqa qilishdan farqli o'laroq). Maqsad funksiyasining hisoblash murakkabligidagi farqlar asinxron usul samaradorligiga deyarli ta'sir qilmaydi. Asinxron usulning ko'rsatilgan afzalliklari uning yuqori heterojen klasterli hisoblash tizimlaridan foydalanganda yuqori samaradorligini belgilaydi.

Shunday qilib, PAPSO (*parallel asynchronous PSO*) usuli oz sonli protsessorlar bilan samarasiz, ammo ko'p sonli protsessorlar bilan yuqori samaradorlikni ta'minlaydi (N gacha). Asinxron usulning katta N protsessor bilan samarali ishlashini ta'minlash uchun $\Phi(X)$ maqsad funksiyasi qiymatlarini hisoblashni parallel qilish kerak.

Shuni ta'kidlash kerakki, bir xil PSO (*particle swarm optimization - PSO*) usulini sinxron va asinxron versiyalarida parallel ravishda amalga oshirishda, boshqa barcha narsalar teng bo'lganda, optimallashtirish natijalari boshqacha bo'lishi mumkin.

Zarralar galasi algoritmlarining bir nechta eng samarali usullari o'rganilib ulardagi mavjud kamchiliklar va erishilgan natijalarni tadqiq qilgan holda quyidagicha xulosaga kelindi. Ya'ni zarralar galasi algoritmidan yanada samaraliroq foydalanish uchun ularni sinflarga ajratish zarralar galasi harakatlarini mustaqilashtirish imkon qadar marakazsizlashtirishga erishish kerak. Buning natijasida tibbiyot sohasida turli xil xastaliklarga tez va imkon qadar samarali tashxis qo'yishda keng foydalanish imkoniyatini yaratish. Sinflashtirish orqali tashxisdagi uchraydigan o'xshashliklarni ajratish va ular bilan sodir bo'ladigan xatoliklarni kamaytirishga erishish mumkin. Bundan tashqari sinflashtirish bir nechta masalalarning optimal yechimlarini topish imkonini yaratadi.

Xulosa o'rnida shuni aytish muumkinki zarralar galasi algoritmini optimallashtirish tibbiyot sohasidagi mavjud muammolarni tashxis qo'yish, yuzaga kelyotgan turli-xil kasalliklarni belgilarini tez va samarali aniqlash, transport qatnovidagi mavjud muammolarni hal etishda qo'llash imkonini yaratadi.

2-bob. AQLLI SHAHAR KONTSEPTSIYASINI AMALGA OSHIRISH YO‘LLARI

2.1. “Aqlli shahar” kontseptsiyasi iqtisodiy mohiyati va mazmuni

Ma'lumki, har qanday mamlakat iqtisodiyoning barqaror va izchil o'sishi uning raqobatbardoshligi bilan chambarchas bog'liqdir. Hozirgi kunda mamlakatimizning rivojlangan davlatlar qatoridan munosib o'rin egallashi iqtisodiyotimizda ro'y berayotgan ijobiy o'zgarishlar bunga asos bo'lib xizmat qiladi.

Hozirgi butun dunyoda amalga oshirilayotgan axborot texnologiyalarning shiddatli rivojlanishi jumladan “Aqlli shahar” loyihalari asosan barcha mamlakatlar turli darajalarda duch keladigan ijtimoiy-iqtisodiy muammolarni hal qilishda samarali usul sifatida qo'llaniladi. Dunyo aholisining yarmidan ko'pi shaharlarda yashayotganligini hisobga olsak, “Aqlli shahar” tizimini joriy etish va rivojlantirish masalasi kun sayin dolzarb bo'lib kelmoqda. “Aqlli shaharlar”ni qurish va rivojlantirish zarurati, shuningdek, ishlab chiqaruvchi kuchlarning ilmiy-texnikaviy rivojlanish darajasini, jamiyatning madaniy va ijtimoiy-ma'naviy hayotini yaxshilash talab etmoqda [11-15].

“Aqlli shahar”ni tashkil etishdan maqsad xizmatlarning samaradorligini oshirish va aholi ehtiyojlarini qondirish uchun shaharni yangi zamonaviy texnologiyalaridan foydalangan holda hayot sifatini yaxshilash lozim.

Ma'lumki, Muhtaram Prezidentimizning 2017 - 2021 yillarda O'zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuvor yo'nalishlari bo'yicha Harakatlar strategiyasida¹ belgilangan “Elektron Hukumat” tizimini yanada rivojlantirish, iqtisodiyot tarmoqlarida axborot tizimlarini tatbiq etish va jamoat tartibini ta'minlash vazifalarini amalga oshirish maqsadida, shuningdek, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining “O'zbekiston Respublikasi Prezidenti huzuridagi Loyiha boshqaruvi milliy agentligi faoliyatini tashkil etish to'g'risida”² 2017 yil 27 iyuldagi PQ-3150-sonli qaroriga muvofiq, O'zbekiston Respublikasi Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligining Kompyuter va axborot texnologiyalarini rivojlantirish va

¹O'zbekiston Respublikasi Prezidentining “O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha harakatlar strategiyasi to'g'risida” gi №PF-4947 sonli Farmoni. //Xalq so'zi. 2017 yil 8 fevral.

²O'zbekiston Respublikasi Prezidentining “O'zbekiston Respublikasi Prezidenti huzuridagi Loyiha boshqaruvi milliy agentligi faoliyatini tashkil etish to'g'risida” 2017 yil 27 iyuldagi PQ-3150-sonli Qarori <https://lex.uz/docs/3324016>

joriy etish markazi “Uzinfokom” negizida Davlat axborot tizimlarini yaratish va qo‘llab-quvvatlash bo‘yicha yagona integrator tashkil etish va yagona integrator oldiga bir qator vazifalar qo‘yildi.

Aholi turmush darajasini oshirish, fuqarolarning dolzarb muammolarini hal etish, ijtimoiy infratuzilmani yaxshilash va hududlarni rivojlantirish uchun munosib shart-sharoitlar yaratish, shuningdek, 2017—2021 yillarda O‘zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuvor yo‘nalishi bo‘yicha Harakatlar strategiyasida belgilangan vazifalarni izchillik bilan amalga oshirish maqsadida O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2019 yil 18 yanvardagi №48 sonli qarori bilan, O‘zbekiston Respublikasida “Aqlli shahar” texnologiyalarini joriy etish Kontseptsiyasi tasdiqlandi [18-20].

Mazkur qaror va farmonlar mamlakatimizda “Aqlli shahar” texnologiyalarini joriy etish va uni yanada rivojlantirishga asos bo‘lib xizmat qilmoqda.

Hozirgi kunda mamlakatimizda davlat byudjeti tizimida izchil islohotlar amalga oshirilib kelinmoqda. Bu esa byudjet tizimini rivojlanib, mustahkamlanib borayotganligidan dalolat beradi. Biz bularni mamlakatimizda qabul qilinayotgan qonunlar, Prezident farmonlari, qarorlar va amalga oshirilayotgan chora-tadbirlar asosida kurishimiz mumkin. Mamlakatimizda zamonaviy “Aqlli shahar” g‘oyalarini barpo etishdan ko‘zlangan maqsad, O‘zbekistonda “Aqlli shahar” innovatsion texnologiyalarini joriy etish. “Aqlli shahar” texnologiyalarini joriy etish bo‘yicha Toshkent shahrida “Xavfsiz shahar”, “Aqlli hisoblagichlar”, “Aqlli transport”, “Aqlli tibbiyot” yo‘nalishlari bo‘yicha dastlabki sinov loyihalarini rejalashtirish va amalga oshirish hamda zamonaviy shahar infratuzilmasini joriy etish bo‘yicha keng qamrovli ishlar bilan birga “Tashkent City” va “Delta City” loyihalari doirasida zamonaviy shaharsozlik infratuzilmasini joriy etish bo‘yicha kompleks ishlar amalga oshirish borasida keng qamrovli ishlar amalga oshirilmoqda.

Mamlakatimiz Prezidenti Sh. Mirziyoev tomonidan Oliy Majlisga Murojaatnomasida ta’kidlaganlaridek, “Taraqqiyotga erishish uchun raqamli bilimlar va zamonaviy axborot texnologiyalarini egallashimiz zarur va shart. Bu bizga yuksalishning eng qisqa yo‘lidan borish imkoniyatini beradi. Zero, bugun dunyoda barcha sohalarga axborot texnologiyalari chuqur kirib bormoqda [18].

Yurtimiz “Xalqaro axborot kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish indeksi” bo‘yicha 2019 yilda 8 pog‘onaga ko‘tarilgan

bo'lsa-da, hali juda ham orqadamiz. Aksariyat vazirlik va idoralar, korxonalar raqamli texnologiyalardan mutlaqo yiroq, desak, bu ham haqiqat [18-20].

Albatta, raqamli iqtisodiyotni shakllantirish kerakli infratuzilma, ko'p mablag' va mehnat resurslarini talab etishini juda yaxshi bilamiz. Biroq, qanchalik qiyin bo'lmasin, bu ishga bugun kirishmasak, ertaga juda kech bo'ladi. Shu bois, raqamli iqtisodiyotga faol o'tish – kelgusi 5 yildagi eng ustuvor vazifalarimizdan biri bo'ladi.”³

Mamlakatimizda axborot texnologiyalarning yanada rivoji hamda bu borada olib borilayotgan ijobiy ishlarni yanada takomillashtirish hozirgi kunda dolzarb masalalardan biri sanaladi.

Tadqiqotning dolzarbligi quyidagilar bilan izohlanadi:

- zamonaviy axborot texnologiyalarning o'рни va ahamiyatining ortib borayotganligi;
- axborot-kommunikatsiya texnologiyalari infratuzilmasining rivojlanmaganligi, shaharlar infratuzilmasining sezilarli darajada jismonan va ma'nan eskirganligi “Aqlli shahar” texnologiyalarini samarali joriy etish ta'sir etuvchi muammolarning mavjudligi;
- mamlakatimizda axborot-kommunikatsiya texnologiyalari infratuzilmasining yanada rivojlanishi va bu borada yuzaga kelayotgan munosabatlar.

Tadqiqot ob'ekti sifatida Toshkent shahrida hokimiyatlar, mahallalar va aqlli uylarning “Aqlli shahar” kontseptsiyasi asosida rivojlantirish va uni takomillashtirish masalalaritlangan.

Toshkent shahrida “Aqlli shahar” kontseptsiyasi asosida rivojlantirish tizimini tashkil etish va ular faoliyatini rivojlantirish mexanizmini takomillashtirish borasidagi munosabatlar majmui tadqiqot predmeti hisoblanadi.

Tadqiqotning maqsadi mamlakatimizda “Aqlli shahar” kontseptsiyasi asosida rivojlantirish tizimini samarali tashkil etish va ular faoliyatini rivojlantirishning mexanizmi va istiqbollari borada yuzaga kelayotgan muammolarni aniqlash hamda ularni bartaraf etish yuzasidan ilmiy taklif va amaliy tavsiyalarni ishlab chiqish.

Ushbu maqsadlarga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilandi.

➤ O'zbekistonda “Aqlli shahar” kontseptsiyasini rivojlantirishning nazariy-huquqiy asoslari va o'ziga xos xususiyatlarini o'rganish;

³O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoevning Oliy Majlisga murojaatnomasi <https://uza.uz/uz/posts/zbekiston-respublikasi-prezidenti-shavkat-mirziyeevning-oliy-25-01-2020>

➤ O‘zbekistonda “Aqlli shahar” kontsepsiyasini rivojlantirishning tizimini takomillashtirish tashkil etishning ahamiyatitahlil etish;

➤ “Aqlli shahar” kontsepsiyasini amalga oshirishda raqamli texnologiyalardan foydalanishning xorij tajribasi tahlil qilish;

➤ Toshkent shahrida hokimiyatlar, mahallalar va aqlli uylarning “Aqlli shahar” kontsepsiyasi asosida rivojlantirish xolatini aniqlash;

➤ “Aqlli shahar” kontsepsiyasini samarali amalga oshirishda xizmatlar sifati va aholi turmush darajasini rivojlantirishning xorij tajribasini istiqbolli yo‘llarini aniqlash va uni takomillashtirish.

O‘zbekistonda “Aqlli shahar” kontsepsiyasini rivojlantirish iqtisodiy faoliyatiga o‘rni va ahamiyati ortib bormoqda. “Aqlli shahar” kontsepsiyasini rivojlantirish samarali va maqsadli foylanish va ularning ijrosini to‘g‘ri tashkil mintaqalarning kelgusidagi barqaror rivojlanishi samarali amalga oshirishda xizmatlar sifati va aholi turmush darajasini rivojlantirishga keskin ta’sir qiladi.

“Aqlli shahar” tushunchasi (Smart City - asl ingliz tilida) chet ellik urbanistda 90-yillarning oxirlarida paydo bo‘lgan va birinchi navbatda texnologiyalar va infratuzilmani rivojlantirishga qaratilgan edi. Hozirga qadar ushbu atamani aniq va umuman qabul qilingan talqini yo‘q, garchi ochiq manbalarda o‘tkazilgan amaliy ishlarni sarhisob qiladigan va aqlli shaharlarning asosiy xususiyatlarini tavsiflovchi ko‘plab ma’ruzalar va maqolalar mavjud. Britaniya standartlari instituti (BSI)⁴ aqlli shaharni o‘z fuqarolari uchun barqaror, farovon va inklyuziv kelajakni ta’minlash uchun sun’iy ravishda yaratilgan muhitda jismoniy, raqamli va insoniy tizimlarni samarali birlashtiruvchi deb ta’riflaydi⁵.

⁴ <https://www.bsigroup.com>

⁵ Конференция Чарльза Корри (Charles Corrie), секретаря технических и проектных комитетов BSI и ISO, МГЛУ, 2017 год.



2.1-rasm. "Aqlli" shahar goyalari.⁶

Birlashgan Millatlar Tashkilotining Evropa Iqtisodiy Komissiyasining "Aqlli" barqaror shaharlari bo'yicha ishchi guruhi tomonidan ishlab chiqilgan "aqlli" barqaror shaharlarning ta'rifida shunday deyilgan: "aqlli" barqaror shahar - bu axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalangan holda innovatsion shahar. va hayot darajasini yaxshilash uchun boshqa vositalar, shaharlardagi faoliyat va xizmatlarning samaradorligi, shuningdek hozirgi va kelajak avlodlarning ehtiyojlarini iqtisodiy, ijtimoiy, madaniy va ekologik jihatdan qondirilishini ta'minlaydigan raqobatbardoshlik" Ushbu ta'rif UNECE Uy-joy va erni boshqarish bo'yicha qo'mitasi tomonidan tasdiqlanishi uchun taklif qilingan⁷.

Vikipediya Internet-entsiklopediyasida berilgan "aqlli" shaharning eng tez-tez keltirilgan ta'rifi: "aqlli" shahar - shahar mulkini boshqarish uchun narsalarning, shu jumladan mahalliy axborot tizimlarining bir nechta axborot-kommunikatsiya texnologiyalari va Internetini birlashtirish tushunchasi. ma'muriyatlar, maktablar, kutubxonalar, transport, kasalxonalar, elektr stantsiyalari, suv va chiqindilarni boshqarish tizimlari, huquqni muhofaza qilish organlari va boshqa davlat xizmatlaris tushuniladi. Ushbu ta'rifning muallifi doktor Sem Musa o'zining "Aqlli shahar xaritasi"⁹ maqolasida yana bir bor ta'kidlashicha, aqlli shaharni yaratish maqsadi xizmatlarning

⁶ <https://mininnovation.uz>

⁷ Доклад ЕЭК ООН Показатели "умных" устойчивых городов, разработанные ЕЭК ООН-МСЭ https://www.unece.org/fileadmin/DAM/hlm/documents/2015/ECE_HBP_2015_4.ru.pdf

⁸ https://ru.wikipedia.org/wiki/Умный_город

⁹ D-r Sam Musa. Smart City Roadmap https://www.academia.edu/21181336/Smart_City_Roadmap

samaradorligini oshiradigan va AKT orqali hayot sifatini yaxshilashdir. aholining ehtiyojlari, fuqarolarning hayotini osonroq va xavfsizroq qilish. AKT hayotni qo'llab-quvvatlash va xizmatlar va biznes-jarayonlarni takomillashtirish vositasi sifatida ishlatilishi mumkin, shaxsiy ma'lumotlarni himoya qilish va asosiy shahar infratuzilmasini himoya qilish, jinoyatchilikni kamaytirish va h.k. uchun xizmat qiladi. Aqlli shahar texnologik echimlarni taklif qiladi, bu erda sodir bo'layotgan voqealarni tasvirlaydi. shahar, shahar qanday rivojlanayotgani va hayotning yanada sifatli bo'lishini ta'minlash.

Aqlli shahar o'z aholisini birlashtiradi va jalb qiladi va butun shahar infratuzilmasini elektron echimlar orqali bog'laydi. McKinsey¹⁰ kompaniyasining mutaxassislari "Aqlli shaharlar texnologiyalari: fuqarolarning tanloviga nima ta'sir qiladi"¹¹ hisobotida xuddi avvalgi muallif singari aqlli shaharning zamonaviy modeli nafaqat aqlli texnologik echimlardan foydalanishning turli usullarini, balki shuningdek, ularni rivojlantirishda aholi va korxonalarni faol jalb qilish, shu bilan birga aqlli shahar kontseptsiyasini shakllantirishning dastlabki bosqichida u avvalo texnologiyalar va infratuzilmani rivojlantirishga qaratilgan edi.

"Texnologiya" yondashuvi ko'p millatli Cisco¹² kompaniyasining globallashuv bo'yicha bosh direktorining o'rinbosari Anil Menon tomonidan berilgan aqlli shahar ta'rifida aks etadi: "Bu shahar jamoalari muammolarini hal qilish uchun aqlli tarmoqlarga ulangan raqamli texnologiyalar yoki AKTdan foydalanadigan shahar, vertikal ravishda bog'langan tarmoqlar. Ushbu muammolar to'xtash joyiga, transport vositalariga, transportga, ko'chalarni yoritish, suv va chiqindi suvlarni boshqarish, xavfsizlik va hatto ta'lim va sog'liqni saqlash xizmatlariga ta'sir qilishi mumkin.

Aqlli shahar xizmatlarini ko'rsatishni yaxshiroq qo'llab-quvvatlash va optimallashtirish, resurslarni sarflashni kamaytirish va narxlarni ushlab turish, shuningdek fuqarolar, mehmonlar va korxonalar bilan faol va samarali aloqada bo'lish uchun vosita va imkoniyatlarni ta'minlash uchun mavjud jarayonlarning imkoniyatlarini kengaytiradigan texnologik echimlarga tayanadi.¹³

¹⁰<https://www.mckinsey.com>

¹¹ Джонатан Вотцель, Елена Кузнецова. Технологии умных городов: что влияет на выбор горожан? McKinseyCenter for Government, 2018

¹²<https://www.cisco.com>

¹³Teena Maddox. The world's smartest cities: What IoT and smart governments will mean for you. Журнал TechRepublic, ноябрь 2015 г. <https://www.techrepublic.com/article/smart-cities>, перевод – Фонд «Институтэкономики города»

Rossiyalik mutaxassislarining materiallarida ayni paytda “aqlli” shahar tushunchasi ham “texnologik” yondashuvni aks ettiradi. Shunday qilib, Rostelekom tushunchasida “aqlli” shahar - bu barqaror yashash uchun qulay sharoitlarni yaratish maqsadida resurslarni boshqarish va xizmat ko‘rsatishning eng yuqori sifatiga erishishga qaratilgan bir qator texnik echimlar va tashkiliy choralarni amalga oshiradigan innovatsion shahar, hozirgi va kelajak avlodlarning ishbilarmonlik faoliyati¹⁴.

Texnologiyalar bir qator muammolarni hal qilish uchun ishlatiladi:

- shahar infratuzilmasining barcha ob'ektlaridan oqilona foydalanish;
- atrof-muhitni kompleks yaxshilash;
- ma'lumotlarni tezkor yig'ish va shahar rasmiylariga etkazish;
- shahar hokimiyati o‘rtasida yaqin aloqalarni o‘rnatish apparati va mahalliy aholi.

Aqlli shaharning maqsadi, ko‘rsatilgandek Rossiya Qurilish vazirligining veb-sayti nafaqat raqamli transformatsiya vajarayonlarni avtomatlashtirish, shuningdek samaradorlikni har tomonlama oshirishda¹⁵ shahar infratuzilmasini rivojlantirishdan iborat.

Ko‘rib chiqishning navbatdagi savoli – “aqlli” shaharni oddiy shahardan qanday ajratish mumkunligi:

- shahar aholi punkti sifatida;
- turli xil manbalar turli xil to‘plamlarni beradi.

Ikkitasini aks ettiruvchi “aqlli” shaharning xususiyatlari va tarkibiy qismlari

asosiy yondashuvlar:

- aniq texnik foydalanishni hisobga olgan holda texnologik yechimlar, SMART texnologiyalari, elektron tarmoqlarning mavjudligi, jalb qilish Internet va boshqalar.
- rivojlanish va integratsiya darajasining ko‘rsatkichlarini hisobga olgan holda har tomonlamashahar iqtisodiyoti sohalari, shahar aholisining fikr-mulohazalari va ularning darajasi ishtirok etish.

“Texnologik” yondashuvga misol sifatida, ettitasi mavjud portaldagi ekspert maqolasida keltirilgan “aqlli” shahar belgilari:

- oddiy shahar aholisini boshqarish masalalariga jalb qilish;
- transportni boshqarishning intellektual tizimlarining mavjudligi;

¹⁴Сайт Минстроя России <http://www.minstroyrf.ru/trades/gorodskaya-sreda/proekt-tsifrovizatsii-gorodskogokhozyaystva-umnyu-gorod/>

¹⁵Сайт Минстроя России <http://www.minstroyrf.ru/trades/gorodskaya-sreda/proekt-tsifrovizatsii-gorodskogokhozyaystva-umnyu-gorod/>

- ko‘cha yoritilishiga oqilona yondoshish;
- shahar bo‘ylab va mavjud Wi-Fi tarmog‘ini joriy etish;
- quyosh panellaridan faol foydalanish;
- fuqarolarni favqulodda vaziyatlar to‘g‘risida ogohlantirish tizimining mavjudligisims-xabarlar;
- xizmatlarni to‘lash uchun naqd puldan minimal foydalanish vatovarlari.¹⁶

RoboSapiens jurnali mutaxassislarining fikricha aqlli shahar ajralib turadi.

Aqlli shahar tizimlarining quyidagi tarkibiy qismlarini qo‘llaniladi:

- videokuzatuv va fotografik yozuv;
- aqlli transport tizimlari (ITS);
- shoshilinch qo‘ng‘iroqlarning yagona tizimi;
- yagona dispetcherlik xizmati va vaziyat markazlari;
- Internet narsalar (IOT);
- mobil aloqaning beshinchi avlodi (5G)¹⁷.

“Tadviser” biznes-portali “Rostelekom” ro‘yxatiga havola bilan Smart City loyihalarining quyidagi tarkibiy qismlari:

- videokuzatuv va video analitika,
- foto va video yozuvlar,
- vaziyat markazlari, EDDS,
- ITS - aqlli transport tizimlari,
- jamoat transportida xavfsizlik,

2.2. O‘zbekistonda raqamli iqtisodiyotni rivojlantirishning me‘yoriy-xuquqiy jihatlari

Aholi turmush darajasini oshirish, fuqarolarning dolzarb muammolarini hal etish, ijtimoiy infratuzilmani yaxshilash va hududlarni rivojlantirish uchun munosib shart-sharoitlar yaratish, shuningdek, 2017 — 2021 yillarda O‘zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuvor yo‘nalishi bo‘yicha Harakatlar strategiyasida belgilangan vazifalarni izchillik bilan amalga oshirish maqsadida O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi tomonidan O‘zbekiston Respublikasida “Aqlli shahar” texnologiyalarini joriy etish Kontseptsiyasi qabul qilindi 2019 — 2021 yillarda O‘zbekiston Respublikasida «Aqlli shahar» texnologiyalarini joriy etish

¹⁶A. Савчук. Концепция «Умный город»: основные положения, описание, устройство, примеры. <https://fb.ru/article/399297/kontseptsiya-umnyiy-gorod-osnovnyie-polojeniya-opisanie-ustroystvo-primeryi>

¹⁷Умный город – концепция, технологии, перспективы развития. <https://robo-sapiens.ru/stati/umnyiy-gorod>

Kontseptsiyasini amalga oshirish bo'yicha amaliy chora-tadbirlar rejasi ishlab chiqildi va tasdiqlandi.

Agarda mazkur Kontseptsiyaga o'z munosabatimizni bildirar ekanmiz bugungi kunda O'zbekistonda "Aqlli shahar" innovatsion texnologiyalarini joriy etishning boshlang'ich bosqichi davom etmoqda. "Aqlli shahar" texnologiyalarini joriy etish bo'yicha Toshkent shahrida "Xavfsiz shahar", "Aqlli hisoblagichlar", "Aqlli transport", "Aqlli tibbiyot" yo'nalishlari bo'yicha dastlabki sinov loyihalarini rejalashtirish va amalga oshirish yo'lga qo'yilmoqda. Nurafshon shahrida zamonaviy shahar infratuzilmasini joriy etish bo'yicha keng qamrovli ishlar bilan birga "Tashkent City" va "Delta City" loyihalari doirasida zamonaviy shaharsozlik infratuzilmasini joriy etish bo'yicha kompleks ishlar amalga oshirilmoqda.

Bunda axborot-kommunikatsiya texnologiyalari infratuzilmasining rivojlanmaganligi, shaharlar infratuzilmasining sezilarli darajada jismonan va ma'nan eskirganligi "Aqlli shahar" texnologiyalarini samarali joriy etishga to'sqinlik qiluvchi asosiy muammolardan biri bo'lib qolmoqda. Bularning hammasi telekommunikatsiya tarmoqlarini modernizatsiya qilish chora-tadbirlarini ko'rish hamda shaharlar infratuzilmasini rekonstruktsiya qilish uchun yirik investitsiya manbalarini izlashni talab etadi.

Ushbu asosda oldinda turgan muhim vazifalardan biri xorijiy mamlakatlardagi mazkur yo'nalishlar bo'yicha hal qilingan me'yoriy huquqiy xujjatlarni chuqur tahlil qilish, tegishli tajriba loyihalari hamda laboratoriya va dala tadqiqotlari doirasida amaliy tajribalarni o'tkazish, shuningdek, mavjud sharoitlarga mos ravishda investorlar uchun qiziqarli investitsiya sxemalarini va moslashuvchan biznes modellari bo'yicha yangi takliflar ishlab chiqish va ularning mavjud variantlarini izlab topishdan iboratdir.

Jahon amaliyotida davlat-xususiy sheriklikni yo'lga qo'yish, ijtimoiy ahamiyatga ega vazifalarni hal etishga xususiy biznesni jalb etish orqali ushbu muammolarni hal qilish yo'llari ishlab chiqilgan.

"Aqlli shahar" texnologiyalarining joriy qilinishi yagona raqamli muhitni shakllantirish orqali shaharni boshqarish samaradorligini oshiradi, shu bilan birga shaharni bir butun holatda boshqarishga imkoniyat yaratadi.

Shu munosabat bilan, yuqorida keltirilgan vazifalarning alohida ahamiyati, shuningdek, mazkur yo'nalishda davlat siyosatining asosiy va

ustuvor yoʻnalishlaridan kelib chiqib “Aqlli shahar” texnologiyalarini joriy etish Kontsepsiyasi ishlab chiqildi.

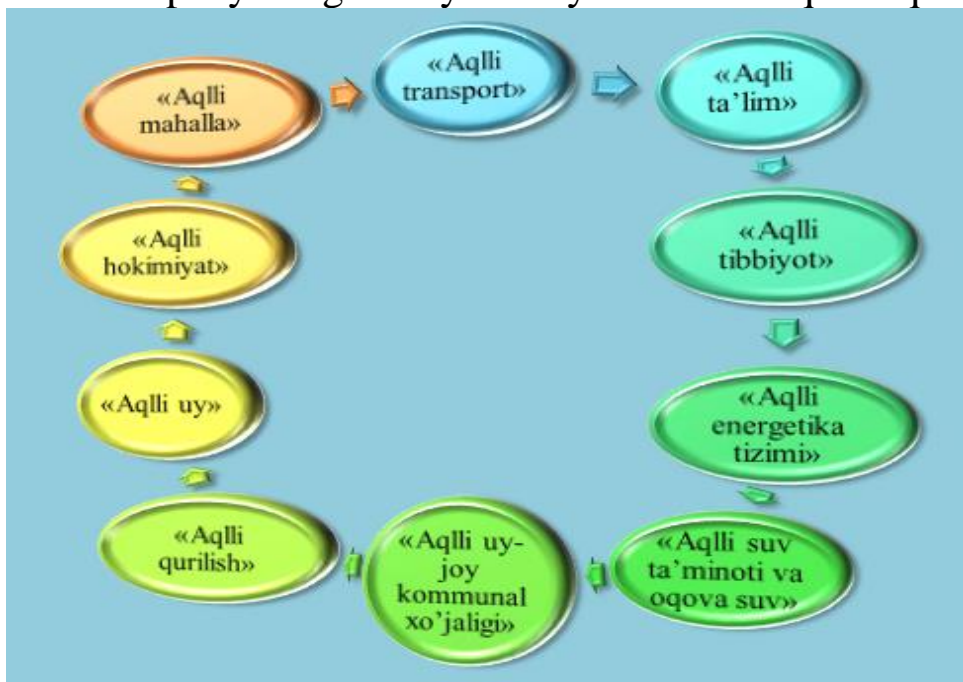
Mazkur Kontsepsiyaning asosiy maqsadi “Aqlli shahar” texnologiyalarini joriy etish orqali shaharlarning zamonaviy muhandislik-kommunikatsiya infratuzilmalarini yaratishga qaratilgan chora-tadbirlarni amalga oshirishdan iborat, jumladan:

- shaharlar aholisi va mehmonlar uchun qulay muhit shakllantirish, yashash sifatining barqaror oʻsishini taʼminlash, tadbirkorlik faoliyati uchun qulay shart-sharoitlar yaratish;
- davlat xarajatlari samaradorligini, shu jumladan davlat-xususiy sheriklikni yoʻlga qoʻyish orqali oshirish;
- xorijiy uslublarga mos keluvchi barcha «Aqlli shahar» texnologiyalarini rejali joriy etish;
- innovatsion qarorlar qabul qilishni yoʻlga qoʻyish orqali shahar xizmatlari va yoʻl-transport infratuzilmasi ishlarining samaradorligi oshirish.
- Kontsepsiyaning asosiy vazifalari quyidagilardan iborat:
- “Aqlli shahar” texnologiyalari, shu jumladan raqamli infratuzilmani joriy etishning samarali hamda huquqiy-meʼyoriy, tashkiliy va institutsional asoslarini yaratish;
- aqlli xizmatlarga boʻlgan talabni ragʻbatlantirish mexanizmlarini yaratish;
- aqlli xizmatlarni ishlab chiqish va joriy etishni davlat tomonidan qoʻllab-quvvatlash tizimini shakllantirish;
- xizmatlar koʻrsatish sifatini va aholi turmush darajasini oshirish;
- shaharlarning muhandislik-kommunikatsiya holati bilan bogʻliq muammolarni hal qilish, shuningdek, ishga yaroqsiz va maʼnan eskirgan shahar infratuzilmasini yangilash;
- axborot-kommunikatsiya infratuzilmasini taʼminlash uchun hamda internet tarmogʻiga kirish va uning tezligini oshirish uchun qulay sharoitlar yaratish tizimini shakllantirish;
- shahar aholisi bilan shaharlarda xizmat koʻrsatish tizimini baholash va shaharlar rivojlanishining barcha sohalarida tajriba almashish yuzasidan aloqa oʻrnatilishini taʼminlovchi “Aqlli shahar” platformasini yaratish;
- raqamli texnologiyalardan foydalangan holda shaharlarni oʻrganish tizimini rivojlantirish, shu jumladan sayyohlarga ochiq

ma'lumotlar bazasini taqdim etish, raqamli texnologiyalar tizimini qayta ishlab chiqish va joriy etishni jadallashtirish;

- eng talabgor “Aqlli shahar” texnologiyalarini respublikaning barcha shaharlarida joriy etishni keng qamrovli rejalashtirish ishlarini bajarish.

“Aqlli shahar” texnologiyalarini joriy etish loyihalarini amalga oshirishda kontseptsiyaning asosiy 10 ta yo‘nalishlari qabul qilindi:



2.2-rasm. “Aqlli shahar” kontseptsiyasining asosiy yo‘nalishlari

“Aqlli transport” — bu barcha transport vositalari va infratuzilma tizimining bir-biri bilan o‘zaro bog‘liqligi to‘g‘risidagi kompleks texnologik echimlarni bildiradi. Ushbu aloqa tizimi orqali yo‘llarda vaziyatni to‘liq aniqlash, shuningdek, mobil operatorlar ma‘lumotlari va GPS signallaridan foydalangan holda transportlar oqimini nazorat qilish imkoniyati yaratiladi.

“Aqlli” shahar transport tizimining rivojlanishi, shuningdek, yangi transport turlari va transportlarga xizmat ko‘rsatish joylari, trafikni boshqarish va nazorat qilish, eng maqbul yo‘lni hisoblash uchun turli ilovalarning paydo bo‘lishi transportlar harakati jarayonini va unga moslashuvchanlik holatini yaxshilaydi hamda masofani o‘tishga ketadigan vaqtni qisqartirish imkoniyatini yaratadi.

“Aqlli transport” yo‘nalishida texnologik echimlarni joriy qilish orqali quyidagilar ko‘zda tutiladi:

- yo‘l harakatini boshqarish tizimini avtomatlashtirish va transportlar oqimi ko‘rsatkichlarini monitoring qilish, shu jumladan real vaqt rejimida harakat shartlarini monitoring qilish;
- jamoat transportini boshqarishni dasturiy ta‘minlash;
- yo‘l harakati qatnashchilariga avtomatlashtirilgan tizim orqali yo‘ldagi sharoitlar va vaziyatlar, jamoat transportining harakat jadvallari to‘g‘risidagi ma‘lumotlarni etkazish;
- jamoat transportida xavfsizlik tizimlari;
- axborot uzatish texnologiyalarini, ya‘ni ma‘lumotlarni to‘plash va saqlash joyiga uzatishni ta‘minlaydigan 5G standartiga mos keluvchi aloqa vositalarini va bajaruvchi qurilmalarni, keng qamrovli Internet tarmog‘i va boshqa elementlarni joriy etish;
- “Aqlli shahar” uchun Internet tarmog‘ining shahar platformalarini joriy qilish;
- transportlarni joylashtirish uchun bo‘sh joylar va ularning uzoqligini aniqlovchi “Aqlli joylashtirish” texnologiyasi;
- avtomobil va yo‘llardan foydalanish uchun elektron to‘lov tizimlari;
- yo‘lovchilarni tashish holatini uzluksiz monitoring qilish;
- geoaxborot texnologiyalari va navigatsiya.

“Aqlli ta‘lim” - bu ta‘lim onlayn-platformalar va ommaviy ochiq onlayn kurslar tarzidagi texnologik echimlar to‘plamini, virtual real holat bilan to‘ldirilgan ilg‘or vizualizatsiya va masofaviy kirish texnologiyalari va boshqalarni o‘z ichiga olgan texnologik echimlar to‘plamidir.

“Aqlli ta‘lim” texnologik echimlarini joriy etish orqali



quyidagilar

2.3-rasm. “Aqlli ta‘lim” ning kontseptual kurinishi

nazarda tutiladi:

- o‘quvchilarni sinab ko‘rish imkoniyati bilan sun‘iy intellekt bazasida ta‘lim berish tizimi;
- shaxsni intellektual aniqlash tizimi;
- masofaviy ta‘lim va elektron o‘qitish;
- ta‘limning barcha bosqichlarini qamrab olgan elektron jurnallar;
- onlayn va oflayn uslublaridagi integratsiya tizimlari;
- adaptiv va mobil o‘qitish texnologiyalari.

“Aqlli tibbiyot” - bu aholiga tibbiy xizmat ko‘rsatish va axborot berishning butun jarayonini avtomatlashtirishning markazlashgan tizimidir.

“Aqlli tibbiyot” texnologik echimlarini joriy etish orqali quyidagilar nazarda tutiladi:

- mijozlar to‘g‘risidagi biotibbiy ma‘lumotlarning yagona platformasi;
- tibbiy kartalarining tarmoqli tizimini joriy qilish;
- masofaviy diagnostika. Tibbiy internet va mobil ilovalar asosida inson salomatligini masofadan monitoring qilish tizimi;
- virtual tibbiy ko‘rikdan o‘tkazish;
- virtual shifoxona xizmati;
- elektron retseptlar;
- telemetriya va simsiz aloqadan foydalangan holda tibbiy yordamni uyda olish;
- ilmiy asoslangan tibbiyot (sun‘iy intellekt va telekommunikatsiyalar sohasidagi texnik yangiliklar asosida yaratilgan qurilmalarni qo‘llash orqali);
- davolash natijalaridan kelib chiqib ko‘rsatilgan xizmat uchun to‘lovni amalga oshirish (shifokorga tashrif buyurganlarning soniga emas, balki davolash natijasi bo‘yicha to‘lov amalga oshiriladi);
- tibbiy ma‘lumotlar, kasallanishlar rejalari, kasallanish va tuzalish jarayonlarini tahlil qilish uchun sun‘iy intellekt texnologiyalarini joriy etish;
- real vaqt jarayonida dori-darmon zaxiralarini kuzatish imkoniyatini beruvchi integratsiyalashgan (GPS va mobil platformalar bilan jihozlangan) tibbiy punktlar.

“Aqlli energetika tizimi” - bu barqaror, iqtisodiy samarali va ishonchli energiya tizimi bo‘lib, energiya ishlab chiqarish, infratuzilmasi va iste‘moli xizmati ko‘rsatish iste‘molchilar va texnologiyalarni rag‘batlantirish orqali integratsiya qilinadi va muvofiqlashtiriladi.

“Aqlli energetika (“aqlli taqsimlash tarmoqlari”, “aqlli nazorat-o‘lchov tizimlari” va boshqalar) va energiya tejoychi texnologiyalar»dan (“aqlli chiroqlar”, “aqlli yoritgichlar”) foydalanishga o‘tish iste‘mol qilinayotgan elektr energiyani tejash, uni uzatish jarayonidagi uzilishlarda yo‘qotishlarni kamaytirish, uskunalarni uchun kapital sarf-xarajatlar va avariya holatlari sonini kamaytirish, shuningdek, elektr tarmoqlarining mustahkamligi va sifatini oshirishga imkoniyat yaratadi.

“Aqlli energiya tizimi” texnologik echimlarini joriy etish orqali quyidagilar nazarda tutiladi:

- ma‘lumotlarni yig‘ish va operativ dispetcherlik boshqarish tizimi;
- avariya holatlarida o‘chirishlarni boshqarish tizimi;
- mijoz bilan o‘zaro munosabatlarni boshqarish tizimi;
- geoaxborot tizimi;
- kuchlanishni monitoring qilish uchun avtonom sezgichlar;
- har xil turdagi qurilmalarning integratsiyasini hamda ma‘lumotlarni oldindan tahlil qilish va yig‘ishni ta‘minlovchi internet qurilmalarining raqamli platformalari;
- yangi avlod gibrid batareyalari, yuqori o‘tkazuvchan qurilmalar, litiy akkumulyatorlari;
- “aqlli” o‘lchov tizimlari, iste‘molchilar faolligini tahlil qilish;
- yangi tahliliy hisob-kitob va to‘lov xizmatlari (tegishli moliyaviy texnologiyalarni rivojlantirish orqali);
- energiya resurslari iste‘molini hisoblashning intellektual tizimlari.

“Aqlli suv ta‘minoti va oqova suv” - sel oqimlarini taqsimlash tizimi, xavfsizlik va nazorat, uni boshqarish hamda toshqinlardan ogohlantirish tizimlarini integratsiya qilish yo‘li bilan onlayn-gidravlik modellar, avtomatlashtirilgan suv havzalari, suvni tarqatish va uning yo‘qotilishini avtomatik aniqlash bazasi orqali suv ta‘minotini boshqarishdan iborat.

“Aqlli suv ta‘minoti va oqova suv” texnologik echimlarini joriy etish orqali quyidagilar nazarda tutiladi:

- geografik axborot tizimini joriy etish orqali yagona axborot tizimi;
- suv ta'minoti va oqova suv iste'molchilari va ko'rsatilgan xizmatlar hajmlarini hisobga olish tizimi;
- suv o'tkazgichlar va oqova suv tarmoqlari yo'nalish xaritalarining elektron shakllar tizimi;
- bosim regulyatorlari va elektron uzatkichlar o'rnatilgan tarmoqlarda suv ta'minoti va oqova suv tizimi;
- markaziy dispetcherlik xizmati — ishlarini avtomatlashtirish tizimi va onlayn tizimda monitoring olib borish;
- suv oqib ketishi holatlari aniqlanganda suv ta'minotini to'xtatish tizimi;
- favqulodda vaziyatlarda butun uyni isitish kranlarini yopish tizimi;
- avariya holatlari sodir bo'lganda suv bilan ta'minlovchi nasoslarni o'chirish tizimi;
- nasos va jo'mraklar ishlashini boshqarish orqali saqlash tizimidagi suv sathini boshqarish tizimi;
- sensorli smestitellar va kranlarga nasadkalar o'rnatgan holda amalga oshiriladigan suv ta'minoti texnologiyalarini joriy qilish.

“Aqlli uy-joy-kommunal xo‘jaligi” - bu barqaror va iqtisodiy samarali uy-joy kommunal xo‘jaligi hisoblanib, intellektual hisoblash, monitoring va nazorat orqali kommunal resurslar va xizmatlarning iste'molini yuritish va ta'minlash, shuningdek, iste'molchilarning manfaatlarini va texnologiyalar rivojlanishi hisobga olingan holda xizmat ko'rsatish orqali muvofiqlashtiriladi;

“Aqlli uy-joy-kommunal xo‘jaligi” texnologik echimlarini joriy etish orqali quyidagilar nazarda tutiladi:

- keyinchalik tegishli instantsiyalarga etkazilishi hisobga olingan holda hisoblagichlarning ko'rsatishini aniqlash jarayonini avtomatlashtirish;
- uyni energiya bilan ta'minlash holati to'g'risidagi ma'lumotni iste'molchining qurilmasiga etkazish tizimlari;
- kommunal xizmat ko'rsatish sifatini nazorat qilish bo'yicha maxsus xizmat ko'rsatish va shaxsiy ofislar tizimi;
- kommunal resurslar iste'molchilari va ta'minotchilari o'rtasida ma'lumotlar almashinuvini ta'minlash bo'yicha smart-

hisoblagichlarni (“aqli hisoblash asboblari”) joriy qilish, ma’lumotlar tizimi;

- to‘lovlarni monitoring qilish tizimlari;
- infratuzilmani boshqarish tizimlari;
- energiya resurslarini o‘zlashtirish holatlarini aniqlash va uning oldini olish tizimlari;
- energiya samaradorligini oshirish usullari va tizimlari;
- suvni tejavchi texnologiyalarni qo‘llash orqali suv sarfini va suv ta’minoti narxini kamaytirish tizimlari;
- iste’molchilarga xizmat ko‘rsatishning ochiq platformalari.

“Aqli qurilish” - bu qurilish sohasida ob’ektlarni tashkil qilish, o‘zgartirish yoki buzish bilan bog‘liq tashkiliy, tadqiqot, loyihalashtirish, qurilish-montaj va ishga tushirish ishlarini o‘z ichiga olgan innovatsion texnologiyalardir.

“Aqli qurilish” texnologik echimlarini joriy etish orqali quyidagilar nazarda tutiladi:

- qurilishda monitoring va operativ boshqaruv tizimi;
- ob’ektlarni qurish jarayonini soddalashtirish va qurish muddatlarini qisqartirish tizimi;
- zamonaviy va samarali uy-joylar qurish standartlari;
- yangi qurilish materiallari;
- qurilish uchun loyiha hujjatlari tizimi;
- mehnatga haq to‘lashning ishbay va ishbay-mukofotlash tizimini qo‘llash;
- qurilish jarayonlarini vizual modellashtirish;
- omborlarni boshqaruv tizimlari.

“Aqli uy” - bu uy egasining istagi va ehtiyojlaridan kelib chiqib, uydagi barcha kommunikatsiya tarmoqlarini sun’iy intellekt orqali boshqarish, dasturlashtirish va moslashtirish maqsadida birlashtirishga imkoniyat yaratadigan intellektual boshqarish tizimidir.

“Aqli uy” texnologik echimlarini joriy etish orqali quyidagilar nazarda tutiladi:

- yong‘inga qarshi va qo‘riqlash signalizatsiyasi;
- erkin foydalanishning nazorat tizimi;
- avariya holatlarni nazorat qilish (suv oqib ketishi, gaz chiqishi, elektr tizimidagi avariya);
- ichki va ko‘cha yoritgichlarini boshqarish;

- energiya iste'molini nazorat qilish, katta kuchlanishlarni cheklash va iste'mol tarmog'i fazalariga kuchlanishni taqsimlash;
- energiyani tejaydigan asboblarni qo'llagan holda elektr ta'minotining zaxira manbalarini boshqarish;
- internet orqali uyning barcha tizimlarini boshqarish va uzoqdan monitoring qilish;
- iste'molchining smart-qurilmasiga GSM-modul orqali uydagi suv ta'minoti tizimining ishlashi haqidagi ma'lumotlarni etkazish;
- issiqlik sarfini, konditsionerni boshqarishni va issiqlikning optimal tarqalishini monitoring qilishning intellektual sensorli tizimi;
- real vaqt rejimida ob'ektlar qurilishini loyihalashtirish jarayonini masofadan boshqarish.

“Aqlli hokimiyat” - bu aholini bezovta qiladigan dolzarb muammolar bo'yicha mahalliy hokimiyat organlariga tegishli takliflarni ishlab chiqish va taqdim etishga qaratilgan innovatsion echimlar va tizimlardir.

“Aqlli hokimiyat” texnologik echimlarini joriy etish orqali quyidagilar nazarda tutiladi:

- Ijro etuvchi hokimiyat vakillari va shahar aholisi o'rtasidagi o'zaro munosabatlar tizimining yaxshi ishlashi, shahar ma'muriyati axborotlarning ochiqligi;
- fuqarolarning shahar boshqaruvidagi faolligi;
- shaharlarni strategik rejalashtirish hujjatlarining dolzarbligi;
- shahar ma'muriyatining rasmiy saytlaridan keng foydalanish;
- to'lov vositasi bilan shaxsning elektron guvohnomasi;
- yuqori texnologiyalarni, yuqori tezlikdagi Internet tarmog'ini keng spektrda qo'llash va undan foydalanish;
- wi-fi ga ulanish, shahar mobil ilovalarining mavjudligi va sifati;
- mahalliy soliqlar va yig'imlar uchun to'lov tizimlari;
- ariza va shikoyatlar berish uchun uzatuvchi qurilmalardan va fuqarolarni ogohlantirishning zamonaviy usullaridan foydalanish.

“Aqlli mahalla” - bu hayot sifatini yaxshilash, qulaylik va xavfsizlikni ta'minlash, shuningdek, shahar va aholi xarajatlarini optimallashtirish maqsadida mavjud infratuzilmaga “Aqlli shahar” ilg'or texnologiyalarini joriy qilishdir.

“Aqlli mahalla” texnologik echimlarini joriy etish orqali quyidagilar nazarda tutiladi:

- taksi chaqirish va uning to'lovi uchun internet-xizmat ishlarini yo'lga qo'yish;
- yo'l harakati holatini onlayn rejimda monitoring qilish imkoniyatlari;
- elektromobillar uchun yonilg'i quyish shoxobchalari tarmog'ining mavjudligi;
- karshering (avtomobillarni qisqa muddatga ijaraga berish) xizmatini ko'rsatish;
- internet tarmog'idan foydalanuvchilarning soni va faolligi;
- talabalarning elektron kartalarini qo'llash;
- mehnat bozori haqida ma'lumotlarning mavjudligi;
- chiqindilarni ruxsatsiz tashlashning oqibatlarini bartaraf etishda jamoatchilikning ishtiroki.

Yuqoridagi Kontseptsiyada aks ettirilgan yo'nalishlarni mamlakatimizda amalga oshirish mexanizmlari va bosqichlari to'g'risida so'z yuritish ekanmiz:

Kontseptsiya O'zbekiston Respublikasida "Aqlli shahar" texnologiyalarini joriy etish Kontseptsiyasini amalga oshirish bo'yicha amaliy chora-tadbirlar rejasida belgilangan tadbirlarni o'z vaqtida, sifatli, to'liq bajarish yo'li bilan Kontseptsiya amalga oshiriladi.

Shahar va hududlar infratuzilmasini boshqarishning zamonaviy intellektual tizimini joriy qilish, shu jumladan uy-joy kommunal xizmatlari, transport logistikasi, favqulodda xizmatlari keyinchalik "Aqlli shahar" yagona kompleksiga birlashtirish va integratsiya qilish muvofiqlashtirilmoqda. Jumladan, O'zbekiston Respublikasi Innovatsion rivojlanish vazirligi tomonidan:

Amaliy chora-tadbirlar rejasini amalga oshirish bo'yicha mas'ul vazirlik, idora va boshqa tashkilotlarning faoliyatini muvofiqlashtiradi;

O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasiga har chorakda Amaliy chora-tadbirlar rejasini amalga oshirish bo'yicha batafsil ma'lumotlar kiritilishini ta'minlab kelmoqda.

Shu o'rinda Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligi tomonidan quyidagilarni ta'minlanishi ko'zda tutilgan:

- Kontseptsiyani amalga oshirishga qaratilgan me'yoriy-huquqiy hujjatlar loyihalarini o'z vaqtida va sifatli ishlab chiqish hamda belgilangan tartibda kiritish;

- xalqaro tashkilotlar va xorijiy investorlarni jalb qilish uchun shart-sharoitlar yaratish;
- Kontseptsiyadagi tegishli tadbirlarning bajarilishi bo'yicha muntazam monitoring tashkil etish;
- xalqaro bozorda "Aqlli shahar" texnologiyalarining mahalliy ishlanmalarni qo'llab-quvvatlash va eksport salohiyatni rivojlantirish tadbirlarini amalga oshirish;
- "Aqlli shahar" texnologiyalarini rivojlantirish bo'yicha tizimli dasturiy ta'minotni joriy etish va kuzatib borishda ishtirok etish.
- Shu bilan birgalikda amaliy chora-tadbirlar rejasining o'z vaqtida bajarilishi hamda Kontseptsiyani amalga oshirishga qaratilgan me'yoriy-huquqiy hujjatlar loyihalarini sifatli ishlab chiqish va belgilangan tartibda kiritish;
- belgilangan muddatlarga va ish hajmlariga muvofiq tadbirlarni o'z vaqtida va sifatli amalga oshirish;
- Amaliy chora-tadbirlar rejasidagi tadbirlarni amalga oshirish uchun mo'ljallangan mablag'lardan maqsadli va samarali foydalanish;
- Amaliy chora-tadbirlar rejasining amalga oshirilishi to'g'risida har chorakda O'zbekiston Respublikasi Innovatsion rivojlanish vazirligiga axborotlarni taqdim etish vazifasi yuklatilgan.

Kontseptsiyani amalga oshirish bo'yicha tadbirlarni moliyalashtirish moliyaviy, texnologik va boshqaruv resurslarini, shuningdek, davlat-xususiy sheriklik mexanizmlari asosida xususiy sektor resurslarini jalb qilish yo'li bilan bajariladi.

O'zbekiston Respublikasi Davlat byudjeti mablag'lari, xalqaro moliya institutlari va xorijiy tashkilotlarning grantlari va kreditlari, jismoniy va yuridik shaxslar, shu jumladan O'zbekiston Respublikasi norezidentlarining xayriya ehsonlari, qonun bilan taqiqlanmagan boshqa manbalar Kontseptsiyani amalga oshirishni moliyalashtirish manbalari hisoblanadi.

Ushbu Kontseptsiyani innovatsion barqaror rivojlantirish maqsadlarida amalga oshirish uchun quyidagi 4 bosqichli modeldan foydalanish tavsiya etiladi:

O‘zbekistonda “Aqlli shahar” konsepsiyasini amalga oshirish
bosqichlari

2019-2021 yillarda	2022-2024 yillarda	2025-2027 yillarda	2028-2030 yillarda
dastlabki darajani aniqlash	“Aqlli shahar” konsepsiyasini amalga oshirish strategiyasini ishlab chiqish	batafsil rejalashtirish	amalga oshirish va ishlashni baholash
hudud profilini shakllantirish, mavjud infratuzilmani baholash, rivojlanish ko‘rsatkichlarini aniqlash, mavjud aktivlarni tahlil qilish, mavjud muammolar va muvaffaqiyatlar tarixi	manfaatdor tomonlarni jalb qilish, faoliyat yo‘nalishlari va rejalarini aniqlash, risklarni baholash, moliyaviy strategiyani shakllan-tirish, faoliyatning asosiy ko‘rsatkichlari va maqsadlarini aniqlash	byudjetlashtirish, samaradorlikni bashorat qilish, avtomatlashtirish imkoniyatlarini aniqlash va axborot tizimlarini joriy etish	birgalikda (barcha manfaatdor tomonlar bilan) amalga oshirish, ish faoliyatini monitoring qilish, baholash va qayta baholash (tendentsiyalarni tahlil qilish, investitsiya parametrlari), joylashishni ta‘minlash (kengaytirish)

Ushbu Kontsepsiyani amalga oshirish orqali quyidagi natijalarga erishish ko‘zda tutiladi:

- mavjud barcha shakllardagi ta‘lim va malaka oshirishni kengaytirish orqali, shu jumladan internet tarmog‘i yordamida shahar aholisining bilim darajasini oshirish;
- shahar xizmatlari va davlat organlari bilan hamkorlikda zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini qo‘llash orqali aholining faolligini oshirish;
- energetiyaning barqarorligini oshirish, sarf va xarajatlarni kamaytirish;

- energiya resurslari taqsimoti va iste'moli samaradorligini oshirish;
- iste'molchilar uchun xizmatlarning sifati, samaradorligi va interaktivligini oshirish, shuningdek, alohida tariflarni qo'llash imkoniyatini yaxshilash;
- kelajakda innovatsion texnologiyalarni qo'llash muhitini yaratish;
- suv sarfi va suv ta'minotidagi uzilishlarni kamaytirish, oqova suvlarni tozalash sifatini oshirish va qattiq chiqindilarning utilizatsiya qilinishini yaxshilash;
- aholiga shahar xizmatlari ko'rsatish xarajatlarini kamaytirish va aholining ko'rsatilgan xizmatlar uchun qarzдорligini qisqartirish;
- favqulodda vaziyatlar va jinoiy holatlarga javob qaytarish vaqtini qisqartirish, jinoyatchilikni va jabrlanganlar sonini kamaytirish;
- transport infratuzilmasining tirbandligini kamaytirish;
- yo'llar va to'xtash joylariga xizmat ko'rsatishda iqtisod qilishni ta'minlash;
- piyodalar va jamoat transporti foydalanuvchilari uchun mobil qulaylikni yaxshilash.

2.3. Innovatsion rivojlanish va “aqli texnologiya”lar amalga oshirish masalalari

Jahon tajribasi barcha sohalarda sifatli o'sishni ta'minlovchi yangiliklarni uzluksiz tarzda amaliyotga joriy etish jamiyat va iqtisodiy rivojlanishning harakatlantiruvchi kuchiga aylanganligini ko'rsatmoqda.

Bugun rivojlanishning innovatsion modellari va “aqli” texnologiyalar amalga oshirilayotgan mamlakatlar eng muvaffaqiyatli va barqaror hisoblanadi. Bunday mamlakatlarning barqaror taraqqiyoti, ularning jahon bozorlarida raqobatbardoshligi tabiiy resurslarni eksport qilish va jismoniy mehnatdan foydalanishga emas, balki innovatsion g'oyalar va ishlanmalarga asoslanadi.

Ushbu mamlakatlarda innovatsion g'oyalar, ishlanmalar va texnologiyalarni joriy etish bo'yicha davlat strategiyasining ijrosi shartli ravishda “kelajak vazirliklari” deb nomlanuvchi maxsus idoralar tomonidan amalga oshiriladi.

Innovatsion rivojlanish uchun mas'ul idoralarning asosiy vazifasi innovatsiya va fan yutuqlarini keng joriy etish hisobiga mamlakatning

iqtisodiy o‘sishi va jahon bozorlaridagi raqobatbardoshligini ta’minlash hamda iqtisodiyotda intellektual ulushning ko‘payishi hisoblanadi.

2017-2021-yillarda O‘zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuvor yo‘nalishi bo‘yicha Harakatlar strategiyasida aholi farovonligini tubdan oshirish va turmush sifatini yaxshilash, jamiyat va davlatni har tomonlama hamda jadal rivojlantirish, mamlakatni modernizatsiya qilish va hayotning barcha sohalarini liberallashtirish bo‘yicha aniq maqsadlar belgilab olindi.

Boshqacha qilib aytganda, biz O‘zbekistonni ishlab chiqarishda innovatsiya va intellektual hissaning yuqori ulushi bo‘lgan barqaror bozor iqtisodiyotiga, zamonaviy va global bozorda raqobatbardosh sanoatga, shuningdek, qulay investitsiyaviy va ishchanlik muhitiga ega jadal rivojlanayotgan mamlakatga aylantirishimiz lozim.

Qo‘yilgan maqsadlarga O‘zbekistonni rivojlanishning innovatsion modeliga to‘liq o‘tkazmasdan turib erishish mumkin emas, bu mamlakatda innovatsion faoliyatni davlat tomonidan qo‘llab-quvvatlashning hamda davlat boshqaruvi, iqtisodiyot ustuvor tarmoqlari va ijtimoiy sohaga innovatsion g‘oyalar, ishlanmalar va texnologiyalarni amalda joriy qilishni rag‘batlantirishning samarali tizimini yaratish zaruratini taqozo etadi.

Biroq, boy intellektual va infratuzilmaviy salohiyatga qaramasdan, mamlakatda innovatsiyalarni joriy etish ishlari tizimli asosda yo‘lga qo‘yilmagan, bunga quyidagi tizimli muammolar mavjudligi sabab bo‘lgan:

- davlatning rivojlanish dasturlarini ishlab chiqishda zamonaviy fan va innovatsion texnologiyalarning yutuqlari va rivojlanish tendensiyalari lozim darajada kompleks tahlil qilinmasdan va o‘rganilmasdan kelgan;

- innovatsion g‘oyalar, ishlanmalar va texnologiyalarni strategik prognoz qilish, qo‘llab-quvvatlash va joriy etishni, shuningdek, mamlakatning ilmiy-tadqiqot va axborot-tahlil muassasalari faoliyatini muvofiqlashtirishni ta’minlaydigan yagona organ mavjud emas;

- innovatsion g‘oyalar, ishlanmalar va texnologiyalarni amalga oshirishda davlat-xususiy sheriklik imkoniyatlarini keng tatbiq etish, investitsiyalarni jalb etishga, shuningdek, innovatsion mahsulotlarni joriy etish uchun infratuzilmani takomillashtirishga yetarli e‘tibor qaratilmayapti;

- yuqori texnologiyalar, nou-xau va zamonaviy ishlanmalarni joriy etishni talab qiluvchi ustuvor soha va tarmoqlarni aniqlash bo'yicha tizimli va maqsadga yo'naltirilgan faoliyat yo'lga qo'yilmagan;

- innovatsion g'oyalar, ishlanmalar va texnologiyalar sohasida yuqori salohiyatga ega bo'lgan xorijiy (xalqaro) tashkilotlar bilan hamkorlik past darajada saqlanib qolmoqda.

Mavjud muammolarni hal qilish, shuningdek, innovatsion faoliyatni qo'llab-quvvatlash, innovatsion g'oyalar, ishlanmalar va texnologiyalar, ilmiy yutuqlarni joriy etishni rag'batlantirishning institutsional va tashkiliy-huquqiy asoslarini tubdan takomillashtirish maqsadida O'zbekiston Respublikasi Prezidenti tomonidan "O'zbekiston Respublikasi Innovatsion rivojlanish vazirligini tashkil etish to'g'risida"gi Farmon qabul qilindi.

Mazkur Farmonga innovatsion g'oyalar, ishlanmalar va texnologiyalarni keng joriy etish borasida Ma'muriy islohotlar konsepsiyasini amalda ro'yobga chiqarish bo'yicha muhim qadam sifatida qarash mumkin.

Farmon bilan strategik rejalashtirish tizimini yaratish, davlat boshqaruvining innovatsion shakllarini amalga kiritish, fan va innovatsiya faoliyatini rivojlantirishning zamonaviy infratuzilmasini shakllantirish, investitsiyalarni keng jalb qilish, huquqiy bazani takomillashtirish, ilmiy-tadqiqot va innovatsiya faoliyatini qo'llab-quvvatlash va rag'batlantirish, ijtimoiy va iqtisodiy hayotning dolzarb sohalariga ilg'or texnologiyalarni faol joriy etish kabi mamlakat innovatsion rivojlanishining asosiy yo'nalishlari belgilandi.

O'zbekiston Respublikasida Innovatsion rivojlanish vazirligi tashkil etildi hamda uning davlat va jamiyat qurilishi, iqtisodiyot, qishloq xo'jaligi, ijtimoiy rivojlanish, ilg'or texnologiyalarni joriy etish, shuningdek, atrof-muhitni muhofaza qilish va tabiatdan foydalanish sohalaridagi faoliyatining asosiy yo'nalishlari belgilandi.

Bundan kelib chiqib, Innovatsion rivojlanish vazirligi O'zbekiston Respublikasining innovatsion va ilmiy-texnik rivojlanishi sohasidagi yagona davlat siyosatini amalga oshiruvchi organ etib belgilandi.

Vazirlik davlat ilmiy-texnikaviy dasturlari va loyihalarining yagona buyurtmachisi bo'ladi, innovatsion g'oyalar, ishlanmalar va texnologiyalarni joriy etish bo'yicha davlat boshqaruv organlari, ilmiy-tadqiqot, axborot-tahlil muassasalari va boshqa tashkilotlar faoliyatini muvofiqlashtiradi.

Innovatsion texnologiyalar hisobiga rivojlanishning zamonaviy yondashuvlarini ishlab chiquvchi, shartli ravishda “kelajak vazirliklari” deb nomlanuvchi ixtisoslashtirilgan idoralarni tashkil qilish bo‘yicha jahon tendensiyasini qayd etib o‘tish lozim.

Faoliyatda bir-birini takrorlashni istisno etish, yagona yondashuvlarni ta’minlash maqsadida 2018-yil 1-yanvardan boshlab Fan va texnologiyalar bo‘yicha Davlat komissiyasi, Fan va texnologiyalar bo‘yicha Davlat komissiyasi huzuridagi Ilmiy-texnik faoliyatni qo‘llab-quvvatlash va rivojlantirish jamg‘armasi, shuningdek, Fan va texnologiyalar agentligi tugatilmoqda.

Tashkil etilgan Innovatsion rivojlanish va novatorlik g‘oyalarini qo‘llab-quvvatlash jamg‘armasi o‘tkazilayotgan tadqiqotlar bo‘yicha hisobot berishning shaffof tizimidan foydalangan holda innovatsion g‘oyalar va ularni ishlab chiqishni moliyalashtirishning markazlashtirilgan manbasi hisoblanadi.

Farmonni amalga oshirish doirasida faoliyatda bir-birini takrorlashni istisno etish maqsadida vazirliklar, idoralar, ilmiy-tadqiqot va axborot-tahlil muassasalarining vazifa va funksiyalari qayta ko‘rib chiqiladi, ularning tashkiliy-shtat tuzilmalari va vakolatlari optimallashtiriladi.

Farmonda innovatsiyalarni joriy etishning qonuniy asoslarini yaratish masalalariga alohida e’tibor qaratildi. Shu munosabat bilan, ilmiy va innovatsion faoliyatni davlat tomonidan tartibga solish prinsiplari hamda qo‘llab-quvvatlash shakllarini, innovatsion g‘oyalar, ishlanmalar va texnologiyalardan foydalanish imkoniyatlarini kengaytirishni belgilovchi “Innovatsion faoliyat to‘g‘risida”gi va “Fan to‘g‘risida”gi qonunlar loyihalari ishlab chiqiladi.

Innovatsion rivojlanish vazirligining tashkil etilishi innovatsion va ilmiy-texnikaviy rivojlanish sohasida yagona davlat siyosatining amalga oshirilishini ta’minlashga qaratilgan. Yangi idora innovatsion g‘oyalar, ishlanmalar va texnologiyalarni ro‘yobga chiqarish uchun byudjet mablag‘laridan oqilona foydalangan holda mavjud resurs va mablag‘larning safarbar etilishini ta’minlaydi.

Zamonaviy sharoitlarda jahon fani va innovatsiya faoliyatining yutuqlaridan keng foydalanish jamiyat va davlat hayotining barcha sohalarini izchil va barqaror rivojlantirishning, mamlakatning munosib kelajagini barpo etishning muhim omili bo‘lib bormoqda.

O'tgan davrda fan va texnologiyalarni rivojlantirish sohasida zarur infratuzilma yaratildi, muayyan intellektual va texnologik salohiyat shakllantirildi.

Shu bilan birga, quyidagi tizimli muammolarning mavjudligi, innovatsion g'oyalar va texnologiyalarni ishlab chiqish va joriy etish uchun mavjud imkoniyatlar va salohiyatdan yetarlicha foydalanmaslik ko'zlangan islohotlarning samarali amalga oshirilishiga hamda mamlakatning jadal innovatsion rivojlanishiga to'sqinlik qilmoqda, xususan:

- birinchidan, davlat dasturlarini ishlab chiqishda zamonaviy fan va innovatsion texnologiyalarning yutuqlari va rivojlanish tendensiyalarini lozim darajada kompleks tahlil qilish va o'rganish mavjud emas, buning oqibatida mazkur dasturlar aksariyat holatlarda muammolarning oqibatlarini bartaraf etishga qaratilgan hamda uzoq muddatli rivojlanish masalalarini hal etmayapti;

- ikkinchidan, fundamental va amaliy tadqiqotlarni tashkil etishning hozirgi ahvoli innovatsion g'oyalar va ishlanmalarni to'liq ro'yobga chiqarish va amaliy joriy etish uchun lozim darajadagi sharoitlarni ta'minlamayapti;

- uchinchidan, innovatsion g'oyalar, ishlanmalar va texnologiyalarni strategik prognoz qilish, qo'llab-quvvatlash va joriy etishni ta'minlovchi yagona organning mavjud emasligi, ilmiy-tadqiqot va axborot-tahlil muassasalarining tarqoq holda faoliyat ko'rsatishi fan, ta'lim va ishlab chiqarishning to'liq integratsiyalashishiga imkon bermayapti, bu esa o'tkazilayotgan izlanishlarning samaradorligini pasaytirmoqda;

- to'rtinchidan, yuqori texnologiyalar, nou-xau va zamonaviy ishlanmalarni birinchi navbatda joriy etishni talab qiluvchi ustuvor soha va tarmoqlarni aniqlash bo'yicha faoliyatni tashkil etishdagi kamchiliklar texnologik qoloqlikka va innovatsion tovar (ish, xizmat)larni ishlab chiqarishning cheklanganligiga olib kelmoqda;

- beshinchidan, ilmiy-tadqiqot ishlarini tashkil qilish hamda innovatsion g'oyalar va ishlanmalarni joriy etishda alohida holatlardagi tor idoraviy manfaatlarning ustunlik qilishi byudjet mablag'laridan nooqilona foydalanishning sabablaridan biridir;

- oltinchidan, innovatsion g'oyalar, ishlanmalar va texnologiyalarni amalga oshirishda davlat-xususiy sheriklikni tatbiq

etishga, shuningdek, innovatsion mahsulotlarni joriy etish uchun infratuzilmani takomillashtirishga yetarli e'tibor qaratilmayapti;

- yettinchidan, innovatsion mahsulotlarni ishlab chiqarish va joriy etish sohasida yuqori tajriba va salohiyatga ega bo'lgan xorijiy (xalqaro) tashkilotlar bilan hamkorlik, shuningdek, ulardan butun mamlakat fani, sanoati va iqtisodiyotini rivojlantirishning dolzarb muammolarini hal qilishda foydalanish past darajada saqlanib qolmoqda.

Mazkur holatlar innovatsion g'oyalar va texnologiyalarni ishlab chiqish va joriy etishni tashkil qilish sohasida davlat boshqaruvining institutsional va tashkiliy-huquqiy asoslarini tubdan takomillashtirishni talab qiladi.

Ilg'or xorijiy tajriba, jahon fanining zamonaviy yutuqlari, innovatsion g'oyalar, ishlanmalar va texnologiyalar asosida iqtisodiyotning barcha tarmoqlari va ijtimoiy sohani jadal innovatsion rivojlantirishni ta'minlash maqsadida, shuningdek, 2017-2021-yillarda O'zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuvor yo'nalishi bo'yicha Harakatlar strategiyasida belgilangan vazifalarga muvofiq:

Quyidagilar O'zbekiston Respublikasi innovatsion rivojlanishining asosiy yo'nalishlari etib belgilangan:

- mamlakatning intellektual va texnologik salohiyatini oshirishning uzoq muddatli ssenariylari asosida ustuvor soha va tarmoqlarni innovatsion rivojlantirishning kelajakdagi modellarini shakllantirish imkonini beradigan strategik rejalashtirish tizimini yaratish;

- davlat xizmatlari ko'rsatishning tartib-taomillarini optimallashtirish va soddalashtirishni, davlat boshqaruvi organlari faoliyatining samaradorligini oshirishni ta'minlaydigan davlat boshqaruvining innovatsion shakllarini joriy etish;

- hududlar ijtimoiy-iqtisodiy salohiyatining barqaror o'sishi, shuningdek, aholining hayot darajasi va farovonligi yuksalishi uchun zarur sharoitlarni ta'minlashga qodir bo'lgan fan va innovatsiya faoliyatini rivojlantirishning zamonaviy infratuzilmasini shakllantirish;

- innovatsion g'oyalar va texnologiyalarni ishlab chiqish va joriy etish sohasiga investitsiyalarni keng jalb etish, ularning yanada rivojlanishini ta'minlovchi normativ-huquqiy bazani takomillashtirish;

- ilmiy-tadqiqot va innovatsiya faoliyatini, eng avvalo, yosh avlodning ijodiy g'oyalari va ishlanmalarini har tomonlama qo'llab-

quvvatlash hamda rag'batlantirish, shuningdek, ushbu faoliyatda iqtidorli yoshlar faol ishtirok etishi uchun qulay sharoitlar yaratish;

- mamlakatimiz ilmiy-tadqiqot va innovatsiya faoliyatining istiqbolli yutuqlarini targ'ib qilish va joriy etishning samarali mexanizmlarini yaratish, shu jumladan ilmiy-eksperimental ixtisoslashtirilgan laboratoriyalar, yuqori texnologiyalar markazlari, texnoparklar va boshqa innovatsiyaga yo'naltirilgan tuzilmalarni, xususan, chet el investorlari ishtirokida tashkil etish va moddiy-texnika bazasini mustahkamlash;

- tabiatni muhofaza qilish, resurs va energiya tejaydigan texnologiyalarni, jumladan, muqobil energiya manbalarini, suvni tozalash va chuchuklashtirish, undan oqilona foydalanishning zamonaviy shakllarini keng qo'llash orqali faol joriy etish;

- sog'liqni saqlash sohasida kasalliklarni barvaqt aniqlash va profilaktika qilish, o'z vaqtida va samarali davolashga imkon beruvchi ilg'or texnologiyalarni keng joriy etish, shuningdek, jamiyatda sog'lom turmush tarzini shakllantirish va sog'lom avlodni tarbiyalashga qaratilgan kompleks tizimni yaratish;

- agrar sohaga innovatsion g'oyalar, ishlanmalar va texnologiyalarni, shu jumladan ishlab chiqarish samaradorligini va qishloq xo'jaligi mahsulotlari ishlab chiqaruvchilarning eksport salohiyatini oshirishga, mamlakatning oziq-ovqat xavfsizligini mustahkamlashga ko'maklashuvchi qishloq xo'jaligi ekinlarining yangi seleksiya navlarini targ'ib qilish;

- iqtisodiyotning real sektori tarmoqlarini har tomonlama rivojlantirishni ta'minlovchi zamonaviy axborot-kommunikatsiya, sanoat va boshqa innovatsion texnologiyalarni jadal joriy etish;

- innovatsiya faoliyati sohasida ilg'or xorijiy (xalqaro) tashkilotlar bilan, shu jumladan ularni nou-xau, nanotexnologiyalar va yuqori texnologik tovar (ish, xizmat)larni ishlab chiqarishning mahalliy bozoriga jalb qilish orqali hamkorlikni kengaytirish.

Innovatsion rivojlanish va novatorlik g'oyalarini qo'llab-quvvatlashda quyidagi yo'nalishlari belgiladi:

a) davlat va jamiyat qurilishiga innovatsiyalarni joriy etish sohasida:

- innovatsion g'oyalar, ishlanmalar va texnologiyalarni ishlab chiqishni, davlat va jamiyat boshqaruvi tizimini rivojlantirish, davlat

xizmatlari sifatini oshirishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlarni o‘tkazishni tashkil etish;

- davlat-xususiy sheriklik mexanizmlarini, eng avvalo, infratuzilma obyektlari va resurslar eng ko‘p sarf qilinadigan tarmoqlarda keng joriy etishga ko‘maklashish;

- dolzarb muammolarni, eng avvalo, joylardagi muammolarni hal etishda davlat organlarining fuqarolik jamiyati institutlari va aholi bilan o‘zaro hamkorligining innovatsion yondashuvlarini ishlab chiqish;

- jamoatchilik nazoratini amalga oshirishning zamonaviy mexanizmlarini joriy etish bo‘yicha takliflar ishlab chiqish;

b) iqtisodiyot tarmoqlariga innovatsiyalarni joriy etish sohasida:

- mamlakatimizdagi innovatsion g‘oyalar, ishlanmalar va texnologiyalarni targ‘ib qilish va ulardan amaliy foydalanishning mexanizmlarini shakllantirish, bozorning tez o‘zgaruvchan jahon kon’yunkturasini hisobga olgan holda milliy iqtisodiyotni jadal rivojlantirishga ko‘maklashishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar o‘tkazishni tashkil etish;

- atrof-muhitning ifloslanish darajasini pasaytirish imkonini beruvchi ekologik toza texnologiyalarni qo‘llagan holda unumdorlikni oshirishni nazarda tutadigan “yashil iqtisodiyot” texnologiyalarining prinsiplarini ishlab chiqish va joriy etishga ko‘maklashish;

- respublika innovatsion salohiyatining, erkin iqtisodiy va kichik

- sanoat zonalari, texnoparklar, shuningdek, logistik xablar faoliyati samaradorligining o‘shishiga faol ko‘maklashish;

- makroiqtisodiy, soliq-byudjet, pul-kredit parametrlari, shuningdek, integratsiya jarayonlarining iqtisodiyotga ta’sirini baholash bilan o‘zaro bog‘liqlikda iqtisodiyot tarmoqlarini o‘rta va uzoq muddatli rivojlantirish ssenariylarini shakllantirishga ko‘maklashish;

- xizmatlar sohasini tubdan takomillashtirish, eng avvalo, innovatsion ishlanmalar va texnologiyalarni joriy etish hisobiga ularning sifatini va yalpi ichki mahsulotni shakllantirishdagi rolini oshirish;

- innovatsion yondashuvlar va texnologiyalarni ishlab chiqish va joriy etish orqali turizm sohasining raqobatbardoshligini tubdan oshirish bo‘yicha takliflar kiritish;

- innovatsiyalarni joriy etish va hududlar iqtisodiyotini diversifikatsiya qilish ko‘lamini kengaytirish, ijtimoiy-iqtisodiy jihatdan

orqada qolgan tuman va shaharlarni jadal rivojlantirish hisobiga hududlar iqtisodiy taraqqiyotidagi nomutanosibliklarning oldini olish;

c) qishloq xo‘jaligiga innovatsiyalarni joriy etish sohasida:

- eng avvalo, mavjud yer, suv va boshqa tabiiy resurslardan oqilona foydalanish imkonini beruvchi “Aqlli qishloq xo‘jaligi” konsepsiyasiga asoslangan qishloq xo‘jaligi ishlab chiqarishining zamonaviy sinalgan shakllarini joriy etish bo‘yicha takliflar kiritish;

- agrar sektorda qishloq xo‘jaligi ishlab chiqarishini maksimal darajada avtomatlashtirish, hosildorlikni jiddiy oshirish va moliyaviy ko‘rsatkichlarni yaxshilash, shuningdek, mamlakat oziq-ovqat xavfsizligini ta‘minlash imkonini beruvchi innovatsion g‘oyalar, ishlanmalar va texnologiyalarni joriy etishga ko‘maklashish;

- qishloq xo‘jaligi mahsulotlarining jahon bozoridagi raqobatbardoshligini, shu jumladan yirik riteylerlar yordamida ta‘minlash orqali savdo bozorlarini va ularni to‘g‘ridan-to‘g‘ri yetkazib berishni kengaytirishga ko‘maklashish;

d) ijtimoiy rivojlanishga innovatsiyalarni joriy etish sohasida:

- ta‘lim tizimida innovatsiyalarni, shu jumladan o‘qitishning zamonaviy, interaktiv va ijodiy uslublarini joriy etish orqali targ‘ib qilishga ko‘maklashish, raqamli texnologiyalardan keng foydalanishni nazarda tutuvchi innovatsion o‘quv dasturlarini ishlab chiqishni ta‘minlash;

- sog‘liqni saqlash tizimini, shu jumladan kasalliklarni barvaqt aniqlash va profilaktika qilishni ta‘minlaydigan ilg‘or texnologiyalarni, “Aqlli tibbiyot” va “Yagona tibbiyot axborot markazi” konsepsiyalarini joriy etish orqali jadal rivojlantirishga, shuningdek, aholining uzoq umr ko‘rishi uchun qo‘shimcha sharoitlar yaratishga ko‘maklashish;

- “Xavfsiz shahar”, “Aqlli shahar” konsepsiyalarini joriy etishni, sog‘lom turmush tarzini ommalashtirish uchun zarur sharoitlarni ta‘minlaydigan madaniy, sport va boshqa obyektlarni tashkil qilishni ham nazarda tutuvchi ilg‘or standartlarni hisobga olgan holda, shaharsozlikning faqat bosh rejalar, rejalashtirish va qurilish loyihalariga muvofiq izchil rivojlanishini ta‘minlashga ko‘maklashish;

e) atrof-muhitni muhofaza qilish va tabiatdan foydalanish tizimiga innovatsiyalarni joriy etish sohasida:

- atrof-muhit ifloslanishini kamaytirishga, jumladan, atmosfera havosiga chiqariladigan ifloslantiruvchi moddalarni, suv obyektlariga tashlanadigan oqova suvlarni kamaytirishga, biologik xilma-xillik va

ekotizimni saqlashga qaratilgan innovatsion texnologik yechimlar ishlab chiqish;

- atrof-muhitni muhofaza qilish, tabiiy resurslardan oqilona foydalanish va ularni qayta ishlab chiqarish bo'yicha innovatsion g'oyalar va ishlanmalarning, jumladan, muqobil energiya manbalaridan foydalanish, energiya tejamkor, ekologik toza avtotransport yoqilg'isini ishlab chiqarish texnologiyalari, chang va gazdan tozalovchi texnologiyalarning amalda qo'llanishiga ko'maklashish;

- suvdan foydalanish tizimini, shu jumladan suvni tozalash, chuchuklashtirish, oqova suvlardan qayta foydalanish va suv tejashning innovatsion texnologiyalarini joriy etish orqali takomillashtirish bo'yicha takliflar ishlab chiqish;

- maishiy va sanoat chiqindilarini qayta ishlash, shu jumladan energiya va bioo'g'itlarni ishlab chiqarish uchun yuqori texnologiyalarni joriy etish bo'yicha ilmiy asoslantirilgan takliflar ishlab chiqish;

- iqtisodiyotning energiya va resurs sarfini qisqartirish, energiya tejaydigan texnologiyalarni ishlab chiqarishga keng joriy etish, qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanishni kengaytirish bo'yicha dasturlarni ishlab chiqish hamda amalga oshirish;

f) ilg'or texnologiyalar joriy etilishini tashabbus qilish, muvofiqlashtirish va rag'batlantirish sohasida:

- innovatsion tadqiqotlar, g'oyalar, ishlanmalar va texnologiyalarni rag'batlantirishning samarali tizimini yaratish, shuningdek, istiqbolli fundamental va amaliy tadqiqotlar hamda novatorlik g'oyalarini, shu jumladan normativ-huquqiy bazani takomillashtirish orqali ishlab chiqish;

- imtiyoz va preferensiyalar taqdim qilish, ko'rgazma tadbirlarini tashkil etish, yetakchi xorijiy ilmiy-tadqiqot muassasalari bilan o'zaro manfaatli yaqin hamkorlikni yo'lga qo'yish orqali innovatsion ilmiy-tadqiqot va tajriba-konstruktorlik ishlarini har tomonlama qo'llab-quvvatlash;

- yuqori texnologik mahsulotlarni ishlab chiqish bo'yicha ta'lim, ilmiy-tadqiqot va boshqa muassasalar, ilmiy-eksperimental ixtisoslashtirilgan laboratoriyalar, yuqori texnologiyalar markazlari, texnoparklar va boshqa innovatsiyaga yo'naltirilgan tuzilmalarning faoliyatini muvofiqlashtirish (ilmiy-tadqiqot ishlari qismida), shuningdek, ularning moddiy-texnika va ilmiy salohiyatini mustahkamlashga ko'maklashish;

- innovatsion g'oyalar, ishlanmalar va texnologiyalarni ishlab chiqish va tijoratlashtirish bo'yicha zamonaviy ilmiy-texnologik komplekslar, biznes-inkubatorlar, startap-akseleratorlarni, shu jumladan yetakchi jahon ishlab chiqaruvchilarini jalb qilgan holda tashkil etish, shuningdek, IT-infratuzilmani rivojlantirishga ko'maklashish;

- uzoq muddatli texnologik rivojlanish ehtiyojlari va tendensiyalarini hisobga olgan holda zamonaviy yuqori texnologik ishlab chiqarishni, shu jumladan yangi avlod transport vositalari, robot texnikalari va yuqori texnologik mahsulotlarning boshqa turlarini mahalliyashtirish bo'yicha loyihalarni ishlab chiqish va joriy etish yuzasidan tashabbus ko'rsatish;

- mahalliy innovatsion mahsulotlarni, shu jumladan rasmiylashtirilgan xalqaro patent va litsenziyalar asosida joriy etish, ichki va jahon bozorlariga yo'naltirish imkonini beruvchi samarali mexanizmlarni ishlab chiqish.

Pirovard natijada, O'zbekistonni rivojlantirishning innovatsion yo'li iqtisodiy o'sishning harakatlantiruvchi kuchi, mamlakat barqarorligi va aholi farovonligini ta'minlashning omili bo'lishi lozim.

Ma'lumki, har qandyoy mamlakat iqtisodiyoningbarqaror va izchil o'sishi uning raqobatbardoshligi bilan chambarchas bog'liqdir. Hozirgi kunda mamlakatimizning rivojlangan davlatlar qatoridan munosib o'rin egallashini iqtisodiyotimizda ro'y berayotgan ijobiy o'zgarishlar bunga asos bo'lib xizmat qiladi.

Hozirgi butun dunyoda amalga oshirilayotgan axbort texnologiyalarng izchil rivjlanishi juladan "Aqlli shahar" loyihalari asosan barcha mamlakatlar turli darajalarda duch keladigan ijtimoiy-iqtisodiy muammolarni hal qilishda samarali usul sifatida qo'llaniladi. Dunyo aholisining yarmidan ko'pi shaharlarda yashayotganligini hisobga olsak, "Aqlli shahar" tizimini joriy etish va rivojlantirish masalasi kun sayin dolzarb bo'lib kelmoqda [11-17].

Yurtimiz "Xalqaro axborot kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish indeksi" bo'yicha 2019 yilda 8 pog'onaga ko'tarilgan bo'lsa-da, hali juda ham orqadamiz. Aksariyat vazirlik va idoralar, korxonalar raqamli texnologiyalardan mutlaqo yiroq, desak, bu ham haqiqat.

Mamlakatimizda axborot texnologiyalarning yanada rivoji hamda bu borada olib borilayotgan ijobiy ishlarni yanada takomillashtirish hozirgi kunda dolzarb masalalardan biri sanaladi [18-20].

2.4. Toshkent shahrida “Aqlli shahar” kontseptsiyasini amalga oshirish xolati taxlili

Mamlakatimizda zamonaviy axborot texnologiyalari asosida taraqqiy etishi barcha sohalarda, ayniqsa yurtimizda raqamli iqtisodiyotga bo‘lgan munosabat alohida o‘rin egallaydi. Zamonaviy axborot texnologiyalar kirib bormagan soha qolmadi, hisob. Tabiiyki har bir mamlakatning rivojlanishi va uning raqobatbardoshligini ta‘minlash zamonaviy axborot-kommunikatsiya va «raqamli» texnologiyalar jamiyat va davlat hayotining barcha jabhalariga qanchalik joriy etilgani bilan baholanmoqda.

Mamlakatimizda ham davr talabidan kelib chiqib, barcha sohalarga zamonaviy texnologiyalarni joriy etishga alohida e‘tibor qaratilmoqda. Bu esa borgani sari o‘z samarasini berayotir. Xususan, bugungi kunda Toshkent shahar Mirzo Ulug‘bek tumanidagi Dasturiy mahsulotlar va axborot texnologiyalari texnologik parkida axborot texnologiyalari, moliya texnologiyalari, logistika, elektron tijorat, elektron ta‘lim, biotexnologiya va boshqa yo‘nalishlardagi ilk loyihalar muvaffaqiyatli amalga oshirilmoqda. Masalan, AQShdagi transport korxonalariga logistika hamda kafe va pisseriyalarga outsorsing bo‘yicha texnologik xizmat ko‘rsatish yo‘lga qo‘yilgan. Texnoparkning bu kabi xizmatlari arzonligi, sifati qolishmasligi bilan xorijliklarga ma‘qul bo‘lmoqda. Soha rivojiga yanada keng sharoit yaratish maqsadida bu erda yana ettita lotda qurilish qilinib, IT-ofislar, biznes markazi, mehmonxona va boshqa binolar barpo etish rejalashtirilgan. Texnoparkda yillik ishlab chiqarish quvvati 2020 yilda 10 million dollardan ortishi, 2025 yilda esa 100 million dollarga etishi ko‘zda tutilgan.

Umuman olganda yurtimizda kelgusi 5 yil ichida dasturiy mahsulotlar eksportini 10 barobarga oshirish, mamlakatimiz yalpi ichki mahsulotidagi axborot texnologiyalari sektorining ulushini kamida 4 foizga ko‘tarish rejalashtirilgan. Bundan tashqari, «Big data», ya‘ni katta hajmli ma‘lumotlarga ishlov berish va «narsalar interneti», aqlli videokuzatuvlar va jamoat joylarida monitoring tizimini joriy etishni o‘z ichiga olgan «aqlli» va «xavfsiz» shaharlar texnologiyalarini joriy etish bo‘yicha bir qator loyihalarni amalga oshirish davom ettirilmoqda. Xususan shu yilning oktyabr oyida O‘zbekistondagi ilk aqlli mehmonxonalar Tashkent Cityda joylashgan yangi Kongress-xollva Hilton mehmonxonasi ish boshladi. Ushbu zamonaviy binolarda boshqarishning turli vositalarini – kirish/chiqish, isitish va ventilyatsiya

tizimlarini birlashtiruvchi to‘liq integratsiyalashgan, kiberxavfsiz, bulutli boshqarish tizimi (BMS) o‘rnatilgan. «Xavfsiz shahar» loyihasi doirasida butun respublika bo‘ylab yo‘l harakati qoidalari buzilishi holatlarini videoqaydetish, turar-joybinolari va ijtimoiy ahamiyatga ega ob‘ektlarning xavfsizligini monitoring qilish, avtoturargohlar va to‘xtash joylarini tartibga solish kabi ishlar olib borilmoqda. Shuningdek, O‘zbekiston va BAA ixtisoslashtirilgan onlayn portal orqali aholiga bepul masofaviy ta‘lim olish imkoniyatini beruvchi «Bir million o‘zbek dasturchisi» (One Million Uzbek Coders) loyihasini ishga tushirildi. Dasturning asosiy maqsadi – raqamli texnologiyalar bo‘yicha mutaxassislar avlodini tayyorlash va dasturlash bo‘yicha ularga kerakli bilim va ko‘nikmalarni berishdir.

Ushbu yo‘nalishda «Raqamli O‘zbekiston 2030» dasturini joriy etish, «katta ma’lumotlar» (“Big data”), «blokcheyn», «aqli», «xavfsiz» shahar, «internet buyumlar» texnologiyalarini keng joriy qilish, telekommunikatsiya infratuzilmasini yanada rivojlantirish, ushbu asosda mamlakat YaIMning 30 foizga o‘sishi hamda yurtimizning «raqamli iqtisodiyotga tayyorlik» va «AKT rivojlanishi» xalqaro indeklari bo‘yicha ilg‘or davlatlar qatoriga kirishini ta‘minlash tarafdoridir. Maqsadimiz mamlakatdagi barcha aholi punktlari va ta‘lim muassasalariga zamonaviy optik tolali internet aloqa tizimini olib kirish va internet xizmatlari narxini pasaytirish, tashqi internet kanallari orqali internet trafiklari sotib olish va mamlakatga tarqatish bo‘yicha monopollashuvga yo‘l qo‘ymaslik, aholi, tadbirkorlik sub‘ektlari va davlat organlari o‘rtasida o‘zaro samarali muloqotni shakllantirish, ortiqcha sansalorlik va byurokratizmning oldini olishga qaratilgan «Elektron hukumat» kontseptsiyasini izchil amalga oshirish, davlat organlari va boshqa tashkilotlar faoliyatining axborot resurslari va texnologiyalarini yanada taraqqiy ettirish, sohada davlat-xususiy sherikchilik mexanizmini rivojlantirish, xususan, davlat kadastri ishlarini yuritishning to‘liq raqamlashtirilishini ta‘minlash va mulkni ro‘yxatdan o‘tkazish tartib-taomilini soddalashtirish kabi bir qator kompleks chora-tadbirlarni amalga oshirishdan iboratdir.

Agarda bu borada amalga oshirilayotgan tizimli ishlar bo‘yicha so‘z yuritadigan bo‘lsak, bugungi kunga kelib, Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligi tomonidan «Raqamli O‘zbekiston-2030» dasturi kontseptsiyasini tasdiqlash bo‘yicha O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Farmoni loyihasi ishlab chiqilib, manfaatdor vazirlik va idoralar bilan kelishilgan holda Vazirlar

Mahkamasiga kiritildi. Shu bilan birga, Farmon loyihasi joriy yilning 5 iyunida O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Administratsiyasiga kiritildi. Ta’kidlash kerakki, Kontseptsiyada raqamli texnologiyalarni rivojlantirishning asosiy yo‘nalishlari belgilangan.

Shuni alohida ta’kidlash joizki, kontseptsiyada belgilangan ustuvor vazifalarni bosqichma-bosqich hayotga tatbiq etilishi davlat xizmatlarini raqamli shaklga transformatsiya qilish va axborot ekotizimini rivojlantirish imkonini beradi. Qolaversa, davlat organlari va tashkilotlari faoliyatining ochiqligi va shaffofligini ta’minlash, aholining elektron ishtiroki darajasini oshirishga xizmat qiladi. Shuningdek, iqtisodiyotda va hayotning boshqa sohalarida ilg‘or AKTni faol joriy etishga, korrupsiyaga qarshi samarali kurashishga yordam beradi. Nufuzli xalqaro tashkilotlar o‘tkazgan tahlillarga qaraydigan bo‘lsak, raqamli iqtisodiyot yalpi ichki mahsulotni kamida 30 foizga o‘stirish, korrupsiyani keskin kamaytirish imkonini beradi. Bundan tashqari barcha operatsiyalar elektron ro‘yxatdan o‘tilishiga, ikkinchidan shaffof bo‘lishiga erishiladi. Qolaversa, ishlab chiqarishda yangi IT texnologiyalar qo‘llanilishi tufayli mahsulot va xizmatlarning tannarxi pasayadi.

Ma’lumki, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining «Axborot - kommunikatsiya texnologiyalari sohasida loyiha boshqaruv tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida» 2017 yil 29 avgustdagi PQ-3245-son qarori bilan 2019-2023 yillarda «Xavfsiz shahar» loyihasini bosqichma-bosqich respublikaning barcha hududlarida joriy etish belgilangan.

Bugungi kunda Vazirlar Mahkamasining «Xavfsiz shahar» loyihasini amalga oshirish bo‘yicha bosqichma-bosqich chora-tadbirlar va yagona texnologik yondashuvni tashkil qilish to‘g‘risida» 2018 yil 7 maydagi 343-son qaroriga muvofiq «Xavfsiz shahar» loyihasining texnik hujjatlari (Kontseptsiya, Bosh texnik topshiriq, Texnik iqtisodiy hisob) Xalqaro konsalting kompaniyasi («PWC») ekspertlar guruhi bilan birgalikda tegishli idoralar va vazirliklar ishtirokida ishlab chiqildi.

Birinchi bosqichda 2019-2020 yillarda Toshkent shahrida to‘g‘ridan-to‘g‘ri xorijiy investitsiyalarni jalb etgan holda «Xavfsiz shahar» loyihasining yagona texnologik platformasini yaratilgan bo‘lib bu bo‘yicha ishlar amalga oshirilmoqda.

Bu to‘g‘risida kelgusi paragrafimizda alohida so‘z yuritishni lozim topdik.

Shu asosda Toshkent shahridagi barcha qisqa raqamli tezkor navbatchilik - 101, 102, 103, 104, 1050, 1055 xizmatlari Yagona vaziyatlar markaziga jamlanadi hamda umumiy «112»-navbatchilik xizmati doirasida faoliyati tashkil etiladi.

Bundan tashqari, ijtimoiy soha, madaniyat, turizm ob'ektlari, vokzal va bozorlarda jamoat tartibini va xavfsizlikni ta'minlash uchun 50 mingdan ortiq kuzatuv kameralari o'rnatiladi hamda umumiy ma'lumotlar bazasi 20 mln.dan ortiq bo'lgan intellektual qidiruv tizimi tashkil etiladi.

500 dan ortiq chorrahalarda zamonaviy yo'l harakatini boshqarish tarmog'i yaratilib, «aqli» avtoturargoh xizmati joriy etiladi.

Kadastr ma'lumotlari kiritilgan elektron raqamli xarita ishlab chiqiladi va uning yordamida noqonuniy olib boriladigan qurilishlarga tezkor chora ko'rish imkoniyatlari yaratiladi.

Shaharda atrof-muhitni ekologiya holatini yagona monitoring va nazorat qilish tizimi tashkil etilishi hamda vaziyatlar markaziga integratsiya qilinadi.

Tezkor navbatchilik xizmati xodimlari va texnik mutaxassislari malakasini oshirish bo'yicha o'quv markazi hamda tizimning uzluksiz faoliyatini ta'minlash uchun laboratoriya tashkil etilishi ko'zda tutilgan.

«Xavfsiz shahar» tizim yordamida quyidagi ijobiy ko'rsatkichlarga erishilishi kutilmoqda, jumladan:

- umumiy «112» – navbatchilik xizmati faoliyati doirasida favqulodda vaziyatlar xizmatlarining faoliyatini muvofiqlashtirishning samarali mexanizmi joriy etilishi;
- jamoatchilikning davlat tuzilmalariga nisbatan ishonchi 35 foizga oshishi;
- jinoyatlarni fosh etish vaqt va huqukbuzarliklar soni 45 foizgacha kamayishi;
- atrof-muhit ekologiya holatini monitoring va nazorat qilish bo'yicha yagona tizim tashkil etilishi natijasida shahar ekologik holati nazoratga olinishi va yaxshilanishiga zamin yaratiladi.

Loyihani amalga oshirish jarayonida mahalliy dasturiy ta'minot ishlab chiqaruvchi kompaniyalarni keng jalb etish hamda hamkorlik jarayonida ularning tajribasini oshirish va kelgusida jahon bozoriga chiqishlari uchun zamin yaratishga jiddiy e'tibor qaratilmoqda.



2.4-Rasm. “Aqlli shahar” kontseptul ko’rinishi

Shu bilan birga, vazirlik va idoralarning maxsus tezkor xizmatlari mutaxassislarini qayta tayyorlash o‘quv markazini yaratish xamda videokuzatuv kameralarini, o‘rnatiladigan dasturiy ta‘minotlarni mavjud standartlarga muvofiqligini tekshirish va integratsiya qilish bo‘yicha maxsus laboratoriya tashkil etish nazarda tutilgan.

Ma’lumki, Toshkent viloyatida ham «Aqlli shahar» qurilishi uchun 246,2 gektar yer maydoni ajratilishi ko‘zda tutilgan.

«Aqlli shahar» kontseptsiyasi bo‘yicha Toshkent viloyati ma’muriy markazi qurilishini tashkil etish chora-tadbirlari to‘g‘risida hukumat qarori qabul qilingan bo‘lib mazkur qarorga muvofiq

Nurafshon shahri hokimligi huzurida davlat unitar korxonasi shaklidagi Toshkent viloyati ma’muriy markazini qurish direksiyasi tashkil etildi. Direksiya «Aqlli shahar» kontseptsiyasi bo‘yicha Nurafshon shahrida Toshkent viloyati ma’muriy markazi qurish» investitsiya loyihasini amalga oshirish doirasida buyurtmachi funksiyasini amalga oshiradi;

«Aqlli shahar» kontseptsiyasi bo‘yicha Nurafshon shahrida Toshkent viloyati ma’muriy markazi qurish» investitsiya loyihasini amalga oshirish moliyalashtirish manbalari belgilandi;

Toshkent viloyati hokimligiga Direksiya buyurtmasiga binoan bir oy muddatda, Toshkent viloyati ma’muriy markazi qurilishi uchun 246,2 gektar er uchastkasi, shu jumladan «Konchi» massivi hududida - 113 gektar va «Yangi turmush» massivi hududida - 133,2 gektar er uchastkasi ajratish vazifasi yuklandi;

Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligiga Nurafshon shahrining telekommunikatsiya tarmoqlari va tizimlarini modernizatsiya qilish, zamonaviy optik-tolali tarmoqlarni o‘tkazish chora-tadbirlarini ko‘rish topshirildi.

Toshkent viloyatining ma‘muriy markazi hisoblangan Nurafshon shahrini mamlakatimizdagi birinchi aqlli shaharga aylantirish haqidagi kontseptsiyaga muvofiq shaharda ma‘muriy binolar, zamonaviy turarjoylar, biznes markazlari, mehmonxonalar, sport majmualari, yoshlar ijodiyot markazlari, kutubxonalar, maktablar, ko‘p tarmoqli shifoxonalar bunyod etiladi.

Savdo va xizmat ko‘rsatish shoxobchalari, istirohat bog‘lari, yashil maydonlar, piyodalar va velosipedchilar uchun xiyobonlar, yo‘llar quriladi. Jamoat transporti harakati ham yo‘lga qo‘yiladi.

Uch yil davomida tor va uydim-chuqur ichki ko‘chalar, ta‘mirtalab avtomobil yo‘llari, xullas, shahardagi butun infratuzilma yangilanib boriladi.

Umumiy maydoni 217 gektar gektardan iborat bo‘lgan To‘ytepa shaharchasi o‘rnida vujudga kelgan Nurafshon shahrining jami maydoni bugungi kunda qariyb 16 baravar kengaygan bo‘lib, ayni paytda 3248,2 gektarga teng. Mavjud 22 ta mahalla fuqarolar yig‘inida 48,5 ming nafarga yaqin aholi istiqomat qiladi.

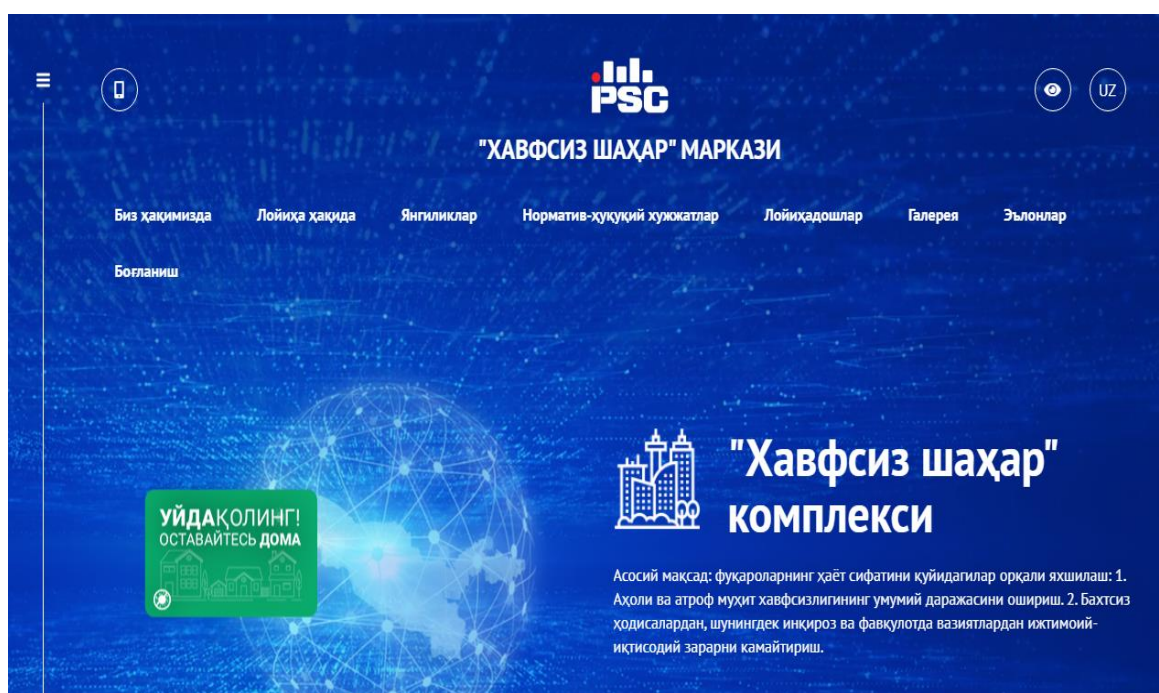
Toshkent viloyati hokimligi axborot xizmatining ma‘lum qilishicha, joriy yilda Nurafshon shahrida umumiy qiymati 782 mlrd 500 mln so‘mdan iborat 41 ta investitsiya loyihasi amalga oshirilishi ko‘zda tutilgan.

2.5. Toshkent shahrida «xavfsiz shahar» integratsiyalangan tizimni yaratish masalalari

Toshkent shahrida «xavfsiz shahar» integratsiyalangan tizimni yaratish bo‘yicha investitsiya loyihasini amalga oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi tomonidan O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining «Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari sohasida loyiha boshqaruvi tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida» 2017 yil 29 avgustdagi PQ-3245-son va «Xitoy Xalq Respublikasida oliy darajadagi tashrif davomida erishilgan kelishuvlarni amalga oshirish bo‘yicha chora-tadbirlar to‘g‘risida» 2019 yil 4 maydagi PQ-4308-son qarorlariga muvofiq, shuningdek, jamoat xavfsizligini ta‘minlashning samarali mexanizmlarni joriy etish va Toshkent shahrida «Xavfsiz shahar»

integratsiyalangan tizimini yaratish maqsadida O‘zbekiston Respublikasi Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligi bilan «Costar Group Co. Ltd», «CITIC Guoan Information Technology Co. Ltd» va «Huawei Technologies Co. Ltd.» (Xitoy) kompaniyalari o‘rtasida Toshkent shahrida 300 mln. AQSh dollari miqdoridagi «Xavfsiz shahar» integratsiyalangan tizimini yaratish bo‘yicha investitsiya loyihasini amalga oshirish to‘g‘risida kelishuv hamda ustav fondi 2 mln. AQSh dollari bo‘lgan mas‘uliyati cheklangan jamiyat shaklidagi O‘zbekiston-Xitoy qo‘shma korxonasini (keyingi o‘rinlarda qo‘shma korxonadeb ataladi) tashkil etish to‘g‘risida ta‘sis shartnomasi imzolanganligi, undan:

42 foiz miqdordagi ulush (840 ming AQSh dollari) — «Costar Group Co. Ltd» va «CITIC Guoan Information Technology Co. Ltd» kompaniyalari tomonidan pul mablag‘larini kiritish evaziga shakllantirilishi.

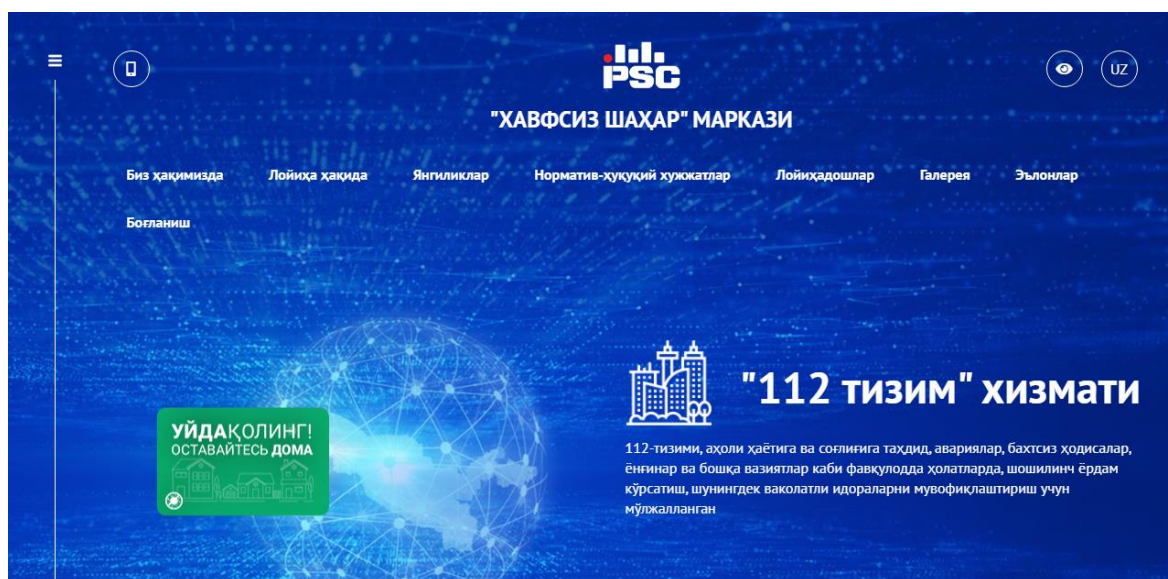


2.5-Rasm. Xavfsiz shahar integratsiyalangan tizimi

Ushbu loyihani amalga oshirish doirasida asosiy vazifalar etib belgilandi:

- Toshkent shahrida vaziyatlarni boshqarish yagona markazi va Ma'lumotlarni qayta ishlash markazi;
- Toshkent shahrida favqulodda vaziyatlar boshqarmasi, ichki ishlar organlari, tez tibbiy yordam xizmati, gaz tizimi avariya

xizmatlarining shoshilinch tezkor xizmatlarini o‘z ichiga olgan 112 raqami ostidagi yagona navbatchi-dispatcherlik xizmati;



2.6-Rasm. Xavfsiz shahar integratsiyalangan tizimi xizmat markazi

- davlat organlari, shu jumladan, O‘zbekiston Respublikasi Ichki ishlar vazirligining Toshkent shahrida yo‘l harakati xavfsizligi va jamoat tartibini saqlashni boshqarishning mavjud kompyuterlashtirilgan tizimini hamda boshqa tashkilotlarning axborot tizimlarini «Xavfsiz shahar» tizimi bilan majburiy integratsiyalash;

- yo‘l harakati qoidalari buzilishi holatlarini foto-video qayd qilish, turar joylar va ijtimoiy ahamiyatli ob’ektlar monitoringini olib borish, avtomobil turar joylari va to‘xtash joylarini tartibga solish, shuningdek, ekologik nazorat tizimlari faoliyat ko‘rsatishi;

- video kuzatuv tizimlari texnikasi va uskunalari texnik jihatdan tartibga solish sohasida standartlar va normativ hujjatlarning belgilangan talablariga muvofiqligini o‘lchash va sertifikatlash bo‘yicha laboratoriya;

- loyiha doirasida jalb qilingan davlat organlari va boshqa tashkilotlarning operativ, dispatcherlik va boshqaruv xodimlarini tayyorlash va malakasini oshirish bo‘yicha o‘quv markazi.

Toshkent shahrida «Xavfsiz shahar» integratsiyalangan tizimini yaratish investitsiya loyihasini amalga oshirish bo‘yicha «Yo‘l xaritasi» qabul qilingan va muvofiq tasdiqlangan.

Loyihani amalga oshirish doirasida:

- Markaz — buyurtmachi;

- «CITIC Guoan Information Technology Co. Ltd» kompaniyasi — investor;
- qo‘shma korxonalar — bosh pudratchi tashkilot;
- «Costar Group Co. Ltd» kompaniyasi — yagona integrator;
- «Huawei Technologies Co. Ltd.» kompaniyasi hamda buyurtmachi bilan kelishgan holda bosh pudrat tashkilot tomonidan boshqa jalb qilingan subpudratchilar sifatida jalb qilinadigan xorijiy va mahalliy kompaniyalar — tovarlar (ishlar, xizmatlar)ni etkazib beruvchilar etib belgilansin.

Markazga Toshkent shahrida «Xavfsiz shahar» integratsiyalangan tizimini saqlash va texnik qo‘llab-quvvatlash bo‘yicha vakolatli davlat tashkiloti funksiyasi yuklatilgan.

O‘zbekiston Respublikasi Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligi, Favqulotda vaziyatlar vazirligi, O‘zbekiston Respublikasi Davlat aktivlarini boshqarish agentligi, Toshkent shahar hokimligi va «O‘zbektelekom» AK ning ikki oy muddatda Toshkent shahar, Chilonzor tumani, Chilonzor ko‘chasi, 2-uy manzilidagi bino va inshootlarning bir qismini, shu jumladan, ixtisoslashtirilgan er osti inshootini sarflangan sarf-harajatlarni inobatga olgan holda balans qiymatida «O‘zbektelekom» AK ning davlat ulushini kamaytirish hisobiga Markazga operativ boshqaruv huquqi asosida berish to‘g‘risidagi taklifi ma’qullansin.

Markaz berilayotgan ob’ektlarda «Xavfsiz shahar» integratsiyalangan tizimining tarkibiy qismlari - Vaziyatlarni boshqarish yagona markazi, Ma’lumotlarni qayta ishlash markazi va 112 raqami ostidagi yagona navbatchi-dispatcherlik xizmatini joylashtirilishini ta’minlangan.

Shuningdek:

a) Toshkent shahrida «Xavfsiz shahar» integratsiyalangan tizimi yordamida aniqlangan huquqbuzarliklar uchun jarimalar to‘lashdan tushgan tushum quyidagi tartibda taqsimlanadi:

- 50 foizi - respublika va mahalliy byudjet, O‘zbekiston Respublikasi Ichki ishlar vazirligining byudjetdan tashqari jamg‘armasi, O‘zbekiston Respublikasi Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligining Axborot-texnologiyalarini rivojlantirish jamg‘armasi o‘rtasida taqsimlangan holda O‘zbekiston tomonga;

- 50 foizi - tuzilgan shartnomaga muvofiq investitsiya xarajatlari to'liq qoplanguniga qadar bosh pudratchi tashkilot hisob raqamiga;

b) investorning investitsiya xarajatlari to'liq qoplanganidan so'ng Toshkent shahrida «Xavfsiz shahar» integratsiyalangan tizimi yordamida aniqlangan huquqbuzarliklar uchun bosh pudratchi tashkilot hisob raqamiga tushayotgan jarimalar summasi O'zbekiston Respublikasi Davlat byudjetiga yo'naltiriladi;

c) Toshkent shahrida «Xavfsiz shahar» integratsiyalangan tizimi loyihasini amalga oshirish ishlari yakunlangach u davlat mulkiga o'tkaziladi va uning kelgusidagi ishini ta'minlash va ishlab turishi uchun texnik qo'llab-quvvatlash maqsadida Markazga operativ boshqaruv huquqi beriladi.

O'zbekiston Respublikasi Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligi ikki oy muddatda Moliya vazirligi va Ichki ishlar vazirligi bilan birgalikda vazirliklar va idoralar - loyiha ishtirokchilari bilan o'zaro hisob-kitoblarni tashkil etish uchun ajratmalar miqdori, shuningdek, Toshkent shahrida «Xavfsiz shahar» integratsiyalangan tizimi yordamida aniqlangan huquqbuzarliklar uchun jarimalar to'lashdan tushgan mablag'larni jamlash va taqsimlash tartibi haqidagi takliflarni Vazirlar Mahkamasiga kiritсин.

Loyihani amalga oshirish doirasida bosh pudratchi tashkilot, investor va tovarlar (ishlar, xizmatlar)ni etkazib beruvchilar 2029 yil 1 yanvargacha bo'lgan muddatda foyda solig'i va mol-mulk solig'i, shuningdek, O'zbekiston Respublikasida ishlab chiqarilmaydigan, belgilangan tartibda shakllantiriladigan ro'yxatlarga muvofiq chetdan olib kiriladigan uskunarlar, butlovchi buyumlar, detallar, uzellar, texnologik hujjatlar, dasturiy ta'minot va qurilish materiallari uchun bojxona to'lovlari to'lashdan (bojxona yig'imlari bundan mustasno) ozod qilinsin.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining «O'zbekiston Respublikasining «Davlat xaridlari to'g'risida»gi Qonunini amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risida» 2018 yil 27 sentyabrdagi PQ-3953-son qaroriga muvofiq loyiha doirasida loyihalash va qurilish tashkilotlari xarid komissiyalari tomonidan baholanadigan eng yaxshi takliflarni tanlab olish yo'li bilan aniqlanishi ma'lumot uchun qabul qilinsin.

Toshkent shahrida «Xavfsiz shahar» integratsiyalangan tizimini yaratish ishlari loyiha hujjatlarini ishlab chiqish bilan bir vaqtda bajarilishiga istisno tariqasida ruxsat berilsin.

Toshkent shahar hokimligi O‘zbekiston Respublikasi Transport vazirligi huzuridagi Avtomobil yo‘llari qo‘mitasi va «O‘zGAShKLITI» DUK bilan birgalikda loyihani amalga oshirish doirasida:

uzoq muddat davomida foydalanishni ta‘minlaydigan texnik talablarga amal qilgan holda barqaror yo‘l chiziqlarining tushirilishini, yo‘l belgilari va yoritish uskunalari o‘rnatilishini, axborot ko‘rsatkichlari va yo‘l harakatini tartibga soluvchi boshqa texnik vositalarning o‘rnatilishini;

loyiha-smeta hujjatlarini tayyorlash hamda qurilish-montaj ishlarini amalga oshirish uchun zarur ma‘lumotlar (topografik suratga olish ma‘lumotlari) buyurtmachiga va bosh pudratchi tashkilotga taqdim etilishini;

«Hududiy elektr tarmoqlari» AJ bilan birgalikda elektr uzatish liniyalari va «O‘zbektelekom» AK bilan birgalikda - telekommunikatsiya tarmoqlari «Xavfsiz shahar» integratsiyalangan tizimi ob‘ektlariga tashqi tarmoqlardan mahalliy byudjet mablag‘lari hisobiga ulanishini ko‘rsatib o‘tilgan.

O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi, «Hududiy elektr tarmoqlari» AJ loyihani amalga oshirish doirasida Toshkent shahrida «Xavfsiz shahar» integratsiyalangan tizimi ob‘ektlari tashqi elektr uzatish tarmoqlariga belgilangan tartibda majburiy zaxiralash sharti bilan o‘z vaqtida ulanishini belgilangan.

O‘zbekiston Respublikasi Tashqi ishlar vazirligi Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligining buyurtmanomalari bo‘yicha loyihani amalga oshirishda ishtirok etayotgan xorijiy mutaxassislariga ko‘p martalik kirish vizalari konsullik yig‘imlari va boshqa yig‘imlar undirilmasdan rasmiylashtirilish ko‘zda tutilgan.

2.6. Toshkent shahrida raqamli texnologiyalar va aqlli uylarning “Aqlli shahar” asosida rivojlantirish holati tahlili

Bugungi kunda raqamli texnologiyalarni keng joriy etish davlat va jamiyat boshqaruvi, ijtimoiy soha rivojlanishiga xizmat qilishi odamlar turmushini keskin yaxshilashi mumkinligini o‘tgan qisqa fursat ko‘rsatib berdi.

Bu borada Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligi tomonidan so‘nggi ikki yil ichida bir qator yo‘nalishlarda kompleks ishlar olib borildi.

Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirlik tomonidan raqamli texnologiyalarni rivojlantirish bo'yicha hukumat tomonidan qo'yilgan vazifalarning bajarilishiga alohida e'tibor qaratilgan.

Yangilanayotgan O'zbekiston o'z oldiga bugun shunchaki rivojlanishni emas, balki jamiyat hayotining turli sohalarida amalga oshirilayotgan keng qamrovli islohotlar natijasida eng kuchli davlatlar qatoridan o'rin olishni asosiy marra qilib qo'ygan. Buni oldindan ko'ra bilgan, his qilgan Prezidentimiz Shavkat Mirziyoyev joriy yildagi parlamentga Murojaatnomasida taraqqiyotga erishish uchun raqamli bilimlar hamda zamonaviy axborot texnologiyalarini egallashimiz zarur va shartligi, bu bizga yuksalishning eng qisqa yo'lidan borish imkoniyatini berishi, zero, bugun dunyoda barcha sohalarga axborot texnologiyalari chuqur kirib borayotganligiga alohida e'tibor qaratdi.

Shuningdek, raqamli iqtisodiyotni shakllantirish kerakli infratuzilma, ko'p mablag' va mehnat resurslarini talab etishi, biroq qanchalik qiyin bo'lmasin, bu ishga bugun kirishishimiz zarurligi, shu bois raqamli iqtisodiyotga faol o'tish – kelgusi besh yildagi eng ustuvor vazifalarimizdan biri sifatida belgilab berildi. Chunki raqamli texnologiyalar mahsulot va xizmatlar sifatini oshiradi, ortiqcha xarajatlarni kamaytiradi. Shu bilan birga, eng og'ir illatlardan biri – korrupsiya balosini yo'qotishda ham ular samarali vosita bo'lib xizmat qiladi.

Raqamli texnologiyalarni keng joriy etish davlat va jamiyat boshqaruvi, ijtimoiy soha rivojlanishiga xizmat qilishi qatorida odamlar turmushini keskin yaxshilashi mumkinligini o'tgan qisqa fursat ko'rsatib berdi.

Bu borada Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligi tomonidan so'nggi ikki yil ichida bir qator yo'nalishlarda kompleks ishlar olib borildi.

Birinchi qadam - zamonaviy AKT-infratuzilmani yaratish

XXI asrda raqamli texnologiyalar insonlarni har tomondan o'rab oldi. Ulardan inson mehnatini kamaytirish orqali yanada ko'proq natijaga, samaradorlikka erishish maqsadida foydalanilmoqda.

Raqamli iqtisodiyot - raqamli texnologiyalarga asoslangan elektron biznes va elektron tijorat bilan chambarchas bog'liq iqtisodiy faoliyat hamda shu faoliyat natijasida ishlab chiqariladigan va sotiladigan raqamli tovarlar, xizmatlar yig'indisi.

Raqamli iqtisodiyot izchil rivojlanishining birinchi va eng muhim omili — zamonaviy AKT-infratuzilmasini yaratish hisoblanadi. Bu bo'yicha mamlakatimizda bir qator yirik loyihalar amalga oshirildi.

O'tgan yil boshidan bugungi kungacha respublika bo'yicha internet tarmog'iga keng polosali ulanish portlarining umumiy soni 2,2 mln.ga yetkazildi, 7,8 ming km. optik tolali aloqa liniyalari qurilib, ularning umumiy uzunligi 44,4 ming km.dan oshdi.

Shundan 7,3 km. optik tolali aloqa liniyalari 9410 ta ijtimoiy soha ob'ektlariga tortilishi natijasida 4 786 tamaktab, 2 895 tamaktabgacha ta'lim va 1 729 ta sog'liqni saqlash muassasasini tezkor internetga ulash imkoniyati yaratildi. Bu o'z navbatida yosh avlodning zamonaviy bilim olishi, bemorlarga sifatli va tezkor xizmat ko'rsatish salohiyatini oshirgani bilan nihoyatda ahamiyatlidir.

Bu borada investorlar va mahalliy tadbirkorlar ham faol qatnashayotgani e'tiborga molik. Masalan, Jizzax erkin iqtisodiy zonasida Janubiy koreyalik hamkorlar bilan birgalikda loyiha qiymati 11 mln. dollarga teng optik tolali kabel mahsulotlarini ishlab chiqarish zavodi ishga tushirilib, yiliga 50 ming km. optik tolali kabel tayyorlash quvvati yaratildi.

Bu esa, o'z navbatida, internet tezligining keskin oshishida muhim omilga aylandi. Gap shundaki, "Ookla" kompaniyasining Speedtest.net servisi internet tezligi bo'yicha 2020 yil iyun oyi natijalariga ko'ra yangi ma'lumotlarni e'lon qildi va ushbu Speedtest Global Index reytingida O'zbekiston keskin o'sishni namoyon etdi.

Internet tezligi bo'yicha reytingda O'zbekiston hozirgi kunda 94-pog'onani egallab turibdi, bir yil ichida 36 pog'onaga ko'tarilish kuzatildi. Umuman, oxirgi yil natijalariga ko'ra O'zbekistonda simli internet tezligi 2,5 barobarga o'sdi.

Qolaversa, telekommunikatsiya xizmatlari uchun tarif narxlari arzonlashmoqda. 2019 yil davomida provayder va operatorlar uchun tashqi kanalga ulanish tariflari narxi 1 Mbit/s. 17 foizga arzonlashtirildi. 2020 yilning 1 yanvaridan operator va provayderlarga internet xizmatlari uchun tarif o'tgan yilning shu davridagiga nisbatan 34 foiz arzonlashtirildi. E'tiborli jihati shundaki, bozor iqtisodiyoti talablariga ko'ra, tizimli ravishda internet xizmatlari narxlari kamaytirilib borilmoqda.

Joriy yilda «O'zbektelekom» AK tomonidan yirik xorijiy IT-kompaniyalarining server uskunalari va ko'plab xizmatlari mahalliyashtirildi. Bu butun O'zbekiston uchun muhim voqeadir.

Mazkur yangilik ushbu xizmatlar tomonidan taqdim etiladigan audio hamda videokontentlarni, dasturiy ta'minot va boshqa kontentlarni yuklab olish tezligini oshirishga yordam beradi. O'z navbatida xalqaro internet kanalini sezilarli darajada yengillashtirishi ham muhim mezonlardan biridir. Bu O'zbekistonning barcha operator hamda provayderlariga abonentlar uchun yanada arzon va tezkor takliflarni taqdim etish imkonini beradi.

Mobil aloqa sohasini rivojlantirishda ham keng miqyosda ishlar olib borilmoqda. Mazkur davr mobaynida 6 mingdan ortiq mobil aloqa baza stansiyalari o'rnatildi va respublika aholi maskanlarini mobil aloqa bilan qamrovi darajasi 97 va mobil internet tarmog'iga keng polosali ulanish qamrovi darajasi 70 foizga yetkazildi.

Aytish joizki, shu kunga qadar asosan telefon xizmatlarini ko'rsatuvchi 2G mobil tarmoqlarni kengaytirish vazifasi bajarilgan bo'lsa, hozir tarmoqning qamrovini oshirish bo'yicha loyihalar 3G/4G tarmoqlarini kengaytirishga yo'naltirilmoqda. Xususan, shu yilning o'zida **2200 ta** 3G/4G baza stansiyasini o'rnatish rejalashtirilgan.

2020 yil - «Ilm, ma'rifat va raqamli iqtisodiyotni rivojlanish yili»ning birinchi yarmida mobil aloqa operatorlari tomonidan jami 1375 ta mobil aloqa tayanch stansiyasi o'rnatilib, aholi maskanlarining mobil aloqa hamda keng polosali mobil internet tarmog'iga ulanish darajasi oshirildi.

Ta'kidlash joizki, mamlakatimizda AKT sohasidagi eng ilg'or texnologik ishlanmalarni joriy etishga muhim e'tibor qaratiladi. 2019 yil sentyabrdan ikkita mahalliy mobil operator - "UZMOBILE" va "Ucell" 5G texnologiyasini test sinovidan o'tkazishni boshlagani shundan dalolat beradi.

Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari izchil rivojlanishining yana bir muhim omillaridan biri sohada raqobatbardosh mahsulotlar va xizmatlarni rivojlantirish uchun qulay shart-sharoitlar yaratish, ularni ichki hamda tashqi bozorlarda ilgari surish, innovatsion ishlanmalarni rag'batlantirishdir.

Aynan mana shu maqsadni ko'zlab barpo etilgan Dasturiy mahsulotlar va axborot texnologiyalari texnologik parki (IT-Park)ning rezidentlari hisoblangan 392 tashkilotda bugun to'rt ming nafar mutaxassis faoliyat yuritmoqda. Eng muhimi, ushbu tashkilotlarning 14 tasi xorijiy kapital ishtirokida tashkil etilgan bo'lsa, 54 tasi yangi ochilgan.

Mazkur IT-Parkda zarur infratuzilma, jumladan, zamonaviy laboratoriyalar, kovorking- markaz hamda ofis maydonlari taqdim etilgan. Texnoparkda rezidentlarga moliyaviy, marketing, yuridik va boshqa konsalting xizmatlari ko'rsatiladi. Yana bir muhim jihat shundaki, rezidentlar uchun moliyaviy imtiyozlar ham berilgan: ular 2028 yilning 1 yanvariga qadar barcha soliq va davlatning maqsadli jamg'armalariga majburiy ajratmalardan, shuningdek, bir martalik ijtimoiy to'lovlardan ozod qilingan.

Yil boshidan beri IT-Park rezidentlari tomonidan jami 560 dan ortiq yangi ish o'rinlari yaratildi, dasturiy mahsulotlar va xizmatlar hajmi 321 mlrd. so'm, xususan, eksport hajmi 5,1 mln. Dollarni tashkil etdi.

Toshkent shahrida IT-Park rezidentlari sonini ko'paytirish hamda yetarli shart-sharoitlar yaratish maqsadida umumiy maydoni 408 ming kv. m.ga teng hududda xorijdan jalb qilingan ekspert bilan hamkorlikda IT-Park infratuzilmasi ob'ektlarini qurish konsepsiyasi ishlab chiqildi. IT-Parkning hududiy filiallarini tashkil etish bo'yicha joylardagi mahalliy hokimliklar bilan qo'shma qarorlar imzolanib, har bir loyiha bo'yicha bajariladigan vazifalar tarmoq jadvallari tasdiqlandi.

Amerika Qo'shma Shtatlarining YuSAID agentligi bilan birgalikda IT-Park tomonidan inkubatsiya va akseleratsiya dasturlari hamda ayollar tadbirkorligini rivojlantirish uchun qiymati 140 ming dollarlik tadbirkorlik va biznes-muhitni rivojlantirish loyihasi amalga oshirilyapti.

Qulay onlayn xizmatlar ko'lami oshmoqda.

So'nggi ikki yilda mamlakatimizda zamonaviy elektron davlat xizmatlarini ko'rsatishning yaxlit tizimini yaratish, davlat organlarining aholi va tadbirkorlik sub'ektlari bilan o'zaro hamkorligining yangi mexanizmlarini joriy etish yuzasidan izchil ishlar olib borildi.

Aholi va tadbirkorlik sub'ektlarining davlat organlari bilan kontaktsiz aloqa shakllarini yanada rivojlantirish maqsadida Yagona interaktiv davlat xizmatlari portali ishlab chiqildi (<https://my.gov.uz>). Bugungi kunda portal orqali 176 tadan ortiq elektron davlat xizmati taqdim etilmoqda.

Normativ-huquqiy hujjatlar loyihalarini barcha manfaatdor vazirliklar, idoralar, mahalliy ijro etuvchi hokimiyat organlariga ko'rib chiqish, elektron raqamli imzodan foydalangan holda kelishish, xususan, bir vaqtning o'zida keng jamoatchilik va mutaxassislar muhokamasini o'tkazish hamda tezkor jo'natish uchun vaqtni va mehnat resurslarini sezilarli darajada tejash maqsadida yagona elektron tizimi "project.gov.uz" joriy etildi.

Bundan tashqari, Avtomobil transportida yo'lovchilarni va yuklarni tashish xizmati uchun litsenziya berish, Abituriyentlardan hujjatlarni onlayn qabul qilish, Ipoteka kreditiga davlat subsidiyasini olish va o'qish joyidan ma'lumotnoma olish xizmatlari ham yaratildi.

Hozir Yagona interaktiv davlat xizmatlari portalida yana 26 ta yangi xizmat ishga tushirilishi rejalashtirilmoqda, buning natijasida umumiy xizmatlar soni 200 tadan oshadi. Yil boshidan beri 1,4 mln. ta elektron xizmat ko'rsatilgan bo'lib, o'tgan yilning shu davridagiga nisbatan 8,1 foiz oshdi.

Elektron hukumatning idoralararo platformasida davlat organlarining 90 ga yaqin axborot tizimlari va resurslarining o'zaro elektron hamkorligini ta'minlash yo'lga qo'yilib, 160 mln.dan ziyod so'rovlarga onlayn shaklda ma'lumotlar berilganini ham alohida ta'kidlash joiz.

Har bir yangi sohada bo'lgani kabi raqamli iqtisodiyotga o'tish jarayonida ham malakali kadrlar yetishmovchiligi ko'zga tashlanmoqda. Tan olish kerakki, bu muammo har doim ham dolzarb bo'lib kelgan. Kadrlar masalasida to'siqlarga duch kelayotganimiz bor gap. Chunki yangi soha, yangi yo'nalishda faoliyat yuritishi mumkin bo'lgan zaxira mavjud emas.

Shu o'rinda bir misol keltirib o'tsak. Ayni paytda vazirlik va idoralarda rahbarning aynan raqamlashtirish yo'nalishidagi o'rinbosarlari lavozimlari joriy qilinmoqda. Vazirligimiz esa mana shu lavozimlarga tajribali mutaxassislarni tavsiya qilish, kerak bo'lsa, ta'minlash uchun javobgardir. Vazirlik mamlakat miqyosida barcha sohalarda raqamlashtirishga mas'ul bo'lib, ba'zi holatlarda o'zi uchun professional mutaxassis zarur bo'lib turgan bir paytda bu bo'shliqni nimaning hisobiga to'ldirish zarur? Buning uchun nimalar qilish kerak? Buning ham yechimi topildi, unga mustahkam poydevor qo'yildi. Zotan, O'zbekistonning eng katta boyligi - aholisining yarmidan ko'prog'ini tashkil etuvchi yoshlardir. Shuning uchun ham davlat siyosatida navqiron avlodning jamiyatdagi nufuzini oshirish muhim o'rin tutadi, ularning yangi-yangi mutaxassisliklar va kasblarni egallashiga katta e'tibor qaratilyapti.

Barchaga ma'lumki, Prezidentimiz g'oyasi bilan bugun respublika bo'ylab yoshlarga bo'lgan e'tiborni yanada kuchaytirish, ularni madaniyat, san'at, jismoniy tarbiya va sportga keng jalb etish, yoshlarda axborot texnologiyalaridan foydalanish ko'nikmalarini shakllantirish, kitobxonlikni targ'ib qilish, xotin-qizlar bandligini oshirish maqsadida

«5 muhim tashabbus» amalga oshirilmoqda. Ana shu tashabbusning uchinchi - aholi va yoshlar o'rtasida kompyuter texnologiyalari hamda internetdan samarali foydalanishni tashkil etish doirasida hududlarda 30 ta Raqamli texnologiyalar o'quv markazi tashkil etildi. Bugungi kungacha jami 7,2 mingdan ortiq tinglovchi o'quv kurslarini yakunlagan.

O'z navbatida yoshlarni, umumta'lim maktab o'quvchilari, oliy ta'lim muassasalari talabalari, akademik litsey va kasb-hunar kollejlari o'quvchilariga dasturlash asoslarini o'qitishga yo'naltirilgan «Bir million dasturchi» loyihasi doirasida 69 mingdan ziyod o'quvchi ta'lim olmoqda. Ulardan 5,8 ming nafari kurslarni muvaffaqiyatli tugatdi. Hammaga ma'lumki, yuqori malakali kadrlarni tayyorlashning eng samarali yo'li - ularni bolalik paytidan boshlab o'rgatishdir. Shu maqsadda O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 14 sentyabrdagi qaroriga muvofiq, Muhammad al-Xorazmiy nomidagi axborot-kommunikatsiya texnologiyalari yo'nalishiga oid fanlarni chuqurlashtirib o'qitishga ixtisoslashtirilgan maktab tashkil etildi.

2019 yil dekabr oyida ushbu o'quv dargohining zamonaviy binosi foydalanishga topshirildi. Ayni paytda matematika va xorijiy tillardan muvaffaqiyatli imtihon topshirgan 680 nafar o'g'il-qiz maktabning 5-11 sinflarida ta'lim olmoqda.

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetining ta'lim sohasida ham katta ijobiy o'zgarishlar ro'y berdi. 2018/2019 o'quv yilidan boshlab universitet zamonaviy ta'limning kredit modul tizimiga o'tkazildi va hozirgi kunda bu tizimda 9 609 nafar talaba o'qiyapti. Universitet tuzilmasida O'zbek-Belarus qo'shma fakulteti ham tashkil etildi. Bundan tashqari Universitetda Yaponiya xalqaro hamkorlik tashkilotining (JICA) 1,6 million dollar miqdoridagi texnik granti hisobiga zamonaviy o'quv media markazi ochildi. Media markazda videokontentni tasvirga olish va ishlab chiqarish uchun barcha imkoniyat mavjud.

Prezidentimizning 2019 yil 7 yanvardagi qaroriga muvofiq, Toshkent shahridagi Amiti universiteti 2019 yilning sentyabr oyidan o'quv yilini ochdi.

Toshkent shahridagi Amiti universitetiga bakalavr darajasi uchun Axborot texnologiyalari, Muhandislik va kompyuter texnologiyalari, Iqtisodiyot, Turizm boshqaruvi, Biznes boshqaruvi yo'nalishlari bo'yicha, shu bilan birga, magistrlik darajasi uchun ham qabul amalga oshirildi.

Mazkur davr mobaynida xalqaro aloqalarni rivojlantirish yoʻlida Toshkent shahridagi INHA universiteti ham samarali ish olib bordi.

Kelgusida oʻquv markazlaridan tashqari «Ishga marhamat» monomarkazlarida va Texnopark filiallarida yoshlarga raqamli texnologiyalarni oʻrgatish boʻyicha maxsus kurslar ham tashkil etiladi.

Oʻylaymanki, mana shu markazlarda tahsil olgan yoki loyiha ishtirokchisiga aylangan yoshlarning barchasi axborot-kommunikatsiya texnologiyalari yoʻnalishini tanlamagan holda ham ularning maʼlum qismi shu yoʻldan ketadigan boʻlsa, kadrlar muammosini hal qilishga yordam beradi.

Yaqin davrda oldimizda turgan eng asosiy vazifa — oʻz ichiga barcha soha va tarmoqlarni qamrab olgan hamda Oʻzbekiston iqtisodiyotini toʻliq va kompleks ijobiy oʻzgartirishga hamda raqobatbardoshlikni oshirishga yoʻnaltirilgan.

Yana bir muhim vazifa - davlat rahbarining “Toshkent shahrida raqamli texnologiyalarni keng joriy etish chora-tadbirlari toʻgʻrisida”gi qarori ijrosini taʼminlashimiz zarur. Mazkur hujjatga asosan tasdiqlangan «Raqamli Toshkent» kompleks dasturida taʼlim, sogʻliqni saqlash, transport, kommunal sohalariga axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini jalb qilgan holda Oʻzbekiston poytaxtining qiyofasini toʻliq ijobiy oʻzgartirish maqsad qilib qoʻyilgan.

“Raqamli Toshkent” konsepsiyasi «Xavfsiz shahar» yirik loyihasi bilan bevosita bogʻliq. Mazkur loyihani 2019 - 2023 yillarda bosqichma-bosqich respublikaning barcha hududlarida joriy etilishi belgilangan. Birinchi bosqichda 2019 - 2020 yillarda Toshkent shahrida loyihaning yagona texnologik platformasini yaratish boʻyicha ishlar amalga oshirilmoqda.

Oʻzbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yildagi 28 aprel kuni qabul qilingan «Raqamli iqtisodiyot va elektron hukumatni keng joriy etish chora-tadbirlari toʻgʻrisida»gi qaroriga koʻra 2023 yilga borib raqamli iqtisodiyotning mamlakat yalpi ichki mahsulotidagi ulushini 2 hamda ushbu sohadagi xizmatlar hajmini 3 baravar oshirish, ularning eksportini 100 million dollarga yetkazish nazarda tutilgan.

Qolaversa, 2020 - 2022 yillarda elektron hukumat, telekommunikatsiyalar va dasturiy mahsulotlar, axborot texnologiyalari texnologik parki faoliyatini yanada rivojlantirish, iqtisodiyotning real sektori tarmoqlari, qishloq hamda suv xoʻjaligida raqamli texnologiyalarni keng joriy etish boʻyicha jami 268 ta loyihani amalga oshirish rejalashtirilmoqda.

Shulardan kelib chiqib, IT-Park rezidentlari sonini 450 taga hamda ular tomonidan ko'rsatilgan eksport hajmini 25 mln. dollarga yetkazish maqsadida tegishli infratuzilma kengaytirilmoqda.

Xususan, Muhammad al-Xorazmiy nomidagi AKTga ixtisoslashtirilgan maktab hududida IT-Park Toshkent filialini ishga tushiriladi hamda qo'shimcha 700 ta ish o'ri yaratiladi.

O'z navbatida «5 muhim tashabbus»ning uchinchi doirasida yil yakunigacha qo'shimcha 72 ta Raqamli texnologiyalar o'quv markazi tashkil etiladi, ularda axborot texnologiyalari sohasida 15 mingdan ortiq yoshlar o'qitiladi.

Barcha hududdagi yoshlar markazlarida yoshlarni «Bir million dasturchi» loyihasi doirasida dasturlash ko'nikmalarini o'rgatishga qaratilgan kurslar faoliyati yo'lga qo'yiladi, umumta'lim maktablari o'quvchilari va oliy ta'lim muassasalari talabalarini o'qitish orqali loyihaga jalb qilinganlar soni 100 mingtaga yetkaziladi.

«O'zbektelekom» AK ma'lumotlarni saqlash va qayta ishlash markazi sig'imini 5 baravarga (5 Petabaytgacha) kengaytirish ham ko'zda tutilyapti. Ayni chog'da 600 ming portli keng polosali ulanish qurilmalarini o'rnatish orqali umumiy portlar soni 2,8 mln.taga, 5,5 ming km. optik kabel liniyalari qurish orqali respublika bo'yicha umumiy optik aloqa liniyalari uzunligini 50 ming km.ga yetkaziladi. Qolaversa, 1 052 ta mobil aloqa baza stansiyasini o'rnatish va ularning umumiy sonini 28,3 mingga yetkazish orqali respublika aholi yashash maskanlarining keng polosali mobil tarmoq bilan qamrov darajasi oshiriladi.

Eng muhimi, 2700 ta maktabgacha ta'lim hamda 1740 ta sog'liqni saqlash ob'ektining to'liq, 2160 ta xalq ta'limi muassasasini yuqori tezlikdagi internetga ulash imkoniyati ham yaratiladi.

Bugungi kunda, yer munosabatlari, qishloq va suv xo'jaligi resurslarini boshqarish samaradorligini oshirish maqsadida raqamli hamda geoaxborot texnologiyalari tizimini joriy etish yuzasidan Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligi oldiga ham aniq vazifalar qo'yilgan.

Respublikamizda geoaxborot texnologiyalarini rivojlanirish maqsadida sohada yetuk tajribaga ega bo'lgan xorijiy kompaniyalarning tajribasi o'rganildi.

Hozirgi kunda xorijiy kompaniyalarning yerni masofadan zondlash yo'ldoshlari olgan kosmik suratlarni respublikamiz hududida qabul qilish va ularga ishlov berish uchun "virtual" qabul qilish stansiyasi

(geoaxborot markazini)ni tashkil etish loyihasi bo'yicha takliflar o'rganilmoqda.

Mazkur loyiha - geoaxborot texnologiyalarini transfer qilish va mahalliy mutaxassislarni xalqaro darajada tayyorlashni ham o'z ichiga qamrab oladi.

Buning natijasida kosmik suratlarni qabul qilish hamda ularga ishlov berish orqali geodeziya, kartografiya va kadastr yo'nalishlari, noqonuniy qurilishlarning oldini olish ishlari samaradorligi ta'minlanadi.

Shuningdek, qishloq hamda suv xo'jaligi, tabiiy va texnogen favqulodda vaziyatlarning oldini olish, ekologiya, arxeologiya, shaharsozlik hamda yo'l qurilishi, chegara nazorati, xavfsizlik va mudofaa sohalaridagi ayrim masalalarni hal etish tizimi ham yaratiladi.

Yer hamda ko'chmas mulk munosabatlarini tartibga solish yo'nalishida Yagona interaktiv davlat xizmatlari portali orqali bugungi kunda 8 ta elektron davlat xizmatlari joriy qilingan bo'lib, 50 mingga yaqin arizalar kelib tushgan.

Mazkur yo'nalishda aholiga qo'shimcha qator qulayliklarni yaratish, eng asosiysi mazkur yo'nalishda "inson omili"ni cheklash maqsadida joriy yil yakuniga qadar 5 ta davlat xizmatlari takomillashtiriladi.

Qishloq xo'jaligi yerlari va ularda yetishtiriladigan ekinlar holatini tezkor va aniq baholash maqsadida kosmik ma'lumotlardan foydalanish bo'yicha Andijon viloyatida tajriba loyihasi amalga oshirilmoqda. Loyiha doirasida Andijon viloyatining maydonlari vektor formatida "Monterra" onlayn platformasiga kiritilmoqda.

Mazkur platforma hozirgi kunda Davergeodezskadastr qo'mitasining "Yer axborot" tizimi bilan o'zaro integratsiya qilindi.

Loyiha sentyabr oyida ishga tushadi va Andijon viloyatidagi barcha ekin maydonlarining tahliliy ma'lumotlari shakllantirilib, yer egalariga taqdim etish imkoniyati yaratiladi.

21 iyul kuni Prezidentimiz yer hisobi va davlat kadastrlarini to'liq shakllantirish, sohaga raqamli texnologiyalarni joriy etish masalalari bo'yicha yig'ilish o'tkazdi. Ushbu yig'ilishda vazirligimiz oldiga ham bir qator vazifalar qo'yildi.

Jumladan, yig'ilishda, kadastr idoralari zimmasiga yerning hisobi va balansini yuritish, yil yakuniga qadar yer turi, konturi, chegarasi va foydalanuvchisi haqidagi ma'lumotlar jamlangan axborot tizimini ishga tushirish vazifasi yuklandi. Endi yer ajratish to'g'risidagi qaror mazkur

tizimga kiritilsagina haqiqiy hisoblanadi. Shuningdek, sun'iy yo'ldosh kanallarini ijaraga olish va signallarni qayta ishlash tizimini tashkil etishga ko'rsatma berildi. Bu esa kosmosuratlarni yillar bo'yicha taqqoslash orqali hosildorlikni tahlil qilish, yerlarning meliorativ holatini muntazam o'rganishda qo'l keladi.

Yil yakuniga qadar qishloq xo'jaligi maydonlarini elektron tanlov va auksion asosida ajratish tartibini joriy qilish, xalqaro ekspertlarni jalb etgan holda yer toifalarini optimallashtirish borasidagi ishlar o'z vaqtida bajarilishida vazirligimiz boshqa mutasaddi tashkilot va idoralar bilan yaqindan hamkorlikda ish olib boradi.

Mazkur vazifalarning samarali amalga oshirilishi, shubhasiz, respublikaning ijtimoiy-iqtisodiy rivojlanishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi, zamonaviy taraqqiyotning yangi qirralarini o'zlashtirishga xizmat qiladi.

2.7. "Aqlli shahar" kontseptsiyasini amalga oshirishda raqamli texnologiyalardan foydalanishning xorij tajribasi

Melburn kuzatuv tizimi bilan belgilangan va ko'chalarda piyodalar harakati zichligini tartibga solish va 4G aloqasi dunyodagi eng yaxshisi.

Santayagoda energiya tejash masalalariga katta e'tibor beriladi, quyosh panellaridan avtonom elektrlashtirish tizimlari va ulardan foydalanish elektr energiyasini tejash uchun uy avtomatizatsiyasi, joriy etilgan elektr jamoat transporti, shaxsiy avtomobillar va taksilar mavjud.

"Barcelona" dunyodagi shaharlar orasida Wi-Fi tarmog'ini rivojlantirishda yuqori o'rinlarni egallaydigan shahar. Sentilo loyihasi faol - bu 550 ta sensor (suv ta'minoti, yorug'lik, energiya, yo'lni kuzatuvchi qurilmalar vaziyat haqida ma'lumot to'playdigan atrof-muhit, shovqin darajasi va boshqalar) shaharda mavjud. Barcha ma'lumotlar rasmiylashtirish uchun va rasmiylar uchun mavjud shaharsozlik va mustaqil tijorat kompaniyalari uchun ochiq. Ham shaharda "aqlli" chiqindilarni yig'ishning ilg'or tizimi ishga tushirildi. Konteynerlar qachon signal beradigan ultratovushli sensorlar bilan jihozlangan idish to'la, bu yoqilg'ini sezilarli darajada axlat tashiydigan mashinalar va shahar xizmatlarining ish vaqti tejashga imkon beradi.

Jeneva EasyPark reytingida chiqindilarni qayta ishlash, shuningdek, aqlli uylarni qurish uchun maksimal o'n ochkoni qo'lga kiritdi. Faol atmosferaga karbonat angidrid chiqindilarining kamayishiga erishildi.

Vena qayta tiklanadigan energetikaga o'tishdagi maqsadlar uchun energiya manbalari (quyosh batareyalari, shamol energiyasi, suv) shahar elektrlashtirish muvaffaqiyati uchun reytingga ega.

Berlin ushbu sohada ishlaydigan tadqiqot tashkilotlari va odamlarning soni, universitetlarda olimlarni tayyorlash darajasi bo'yicha yetakchi shaharlardan biridir. Bundan tashqari, shahar ijro etadi sohadagi texnologiyalarni rivojlantirish va rivojlantirishga qo'yiladigan yuqori talablar atrof-muhit, tibbiyot va biotexnologiya. Berlin etakchi hisoblanadi energetika texnologiyalari sohasi. Smart Berlin loyihasi asosan zararli moddalar chiqindilarini kamaytirishga yo'naltirilgan. Ko'pgina texnologik korxonalar shaharda yaxshi ishlaydigan tarmoqlarni shakllantiradi. Berlin, tomonidan IESE versiyasi "ijtimoiy" parametri bo'yicha dunyodagi eng yaxshi 10 ta shaharni yopadi".

Seulda "Smart City" tizimi turli sohalarning holati to'g'risida dolzarb ma'lumotlarni olish metropol hayoti real vaqt rejimida ishlashga imkon beradi. Translyatsiya 60 ming kishining yordami bilan amalga oshiriladi. Ko'chalarda, uylarda va boshqalarda o'rnatilgan videokameralar va maxsus sensorlar mavjud. Tizim sizga kelgan so'rovlarga javob berishga imkon beradi. Hukumat maxsus dastur yaratdi:

Vashington IESE tomonidan dunyo bo'yicha 7-o'rinni egalladi "Iqtisodiyot holati", inson kapitali rivojlanish darajasiga ko'ra, shahar dunyoda 3-o'rinda, "shahar boshqaruvi" toifasida 2-o'rinda.

Stokgolm shahar yashil maydonlarining eng yuqori ulushiga ega so'rov o'tkazilgan shaharlar orasida: 1000 park (shahar maydonining 30%), ettita qo'riqxonalar, aholining 90% park maydonlaridan 300 metr masofada yashaydi.

Stokgolmda sanoat korxonalari yo'q, bu atrof-muhit ijobiy ta'sir ko'rsatmoqda. Stokgolm - bu juda rivojlangan shahar transport tizimli dunyodagi shaharlardan biri. Ishlayapti 2000 yildagi asosiy hududlarni birlashtiradigan tezyurar poezdlar avtobuslar va 1000 dan ortiq mahalliy poezdlar, shuningdek, tramvaylar odamlarni eng samarali ravishda harakatga keltirish.

Синьцзян - tez ko'tarilib borayotgan Xitoyning "neft" shahri "aqlli" shaharlar reytingida etakchi o'rinlarda. Shaharda axborot va texnologik taraqqiyot shahar hayotining barcha jabhalari bilan birlashtirilgan va aholi xizmatiga joylashtirilgan. Masalan, avtovokzallar jihozlangan transport to'g'risidagi ma'lumotlarni aks ettiruvchi elektron ekranlar. Shahar veb-kameralar tarmog'i orqali u shahar aholisining mobil

telefonlariga ulangan kelish vaqti va marshrutni, shuningdek tirbandlik mavjudligini kuzatib borish imkonini beradi. Bu real vaqtda tirbandlikni oldini olishga imkon beradi.

Tokioda ko‘plab nufuzli kollejlari, universitetlar va yuqori inson salohiyati mavjud (dunyoda 6-o‘rin). "Aqlli transport" - shaharni jadal rivojlantirishning asosiy omillaridan biri. Bunga energiya samaradorligi va atrof-muhitni muhofaza qilish dasturlariga katta e'tibor berilmoqda. Amsterdam fuqarolarni shaharning ijtimoiy hayotiga jalb qilish va davlat xizmatlaridan keng onlayn foydalanishda faolligi tufayli reytingda o‘z o‘rnini egalladi. Shahar aholisi uchun Amsterdam Smart City deb nomlangan ochiq ma'lumotlar veb-sayti yaratildi. Platforma, shuningdek, ko‘rish qobiliyati pastligi va idrokning boshqa xususiyatlari mavjud odamlarga yordam berish uchun yaratilgan dasturni qo‘llab-quvvatlaydi. Call-markaz ishchilari ularga ko‘chish va ko‘chalarda harakat qilishda yordam beradi. Axlal yig‘iladi batareyalar bilan ishlaydigan ekologik toza avtomobillar. Avtobus to‘xtash joylari, reklama taxtalari va chiroqlar quyosh energiyasidan quvvat oladi. Minglab uylar va korxonalar tomillarini kamaytiradigan izolyatsiya bilan izolyatsiya qildilar elektr narxlari. Daryo kemalari elektr tarmog‘iga ulanishi mumkin batareyalarni zaryadlash, ifloslantiruvchi dizel yoqilg‘isidan foydalanish o‘rniga generatorlar. Ko‘p minglab uylar avtomatizatsiya bilan jihozlangan chiroqni o‘chirish, asboblarni, maxsus hisoblagichlarni o‘chirish elektr energiyasi.

Kopengagen IT texnologiyalari, ekologiya, tibbiyot, iqtisodiyot, biznes, transport infratuzilmasiga ega. Ishga tushirildi shahar ma'lumotlar almashinuvi ma'lumotlar bazasi (City Data Exchange) - aholi uchun ochiq bo‘lgan davlat va xususiy ma'lumotlar bilan onlayn platforma mavjud. Faol velosipedlarni maxsus hisoblagichlar bilan jihozlash, ifloslanish darajasi va tirbandlik to‘g‘risida signal berish loyihasi mavjud. Shaharda 40 ming kishi istiqomat qiladigan ekologik toza hudud yaratildi va ular uchun bir xil miqdordagi ish o‘rinlarini yaratdi.

San-Frantsisko deyarli barcha reytingchilar tomonidan tan olingan Ro‘yxatdagi yetakchilardan biri sifatida aqlli shaharlar. Kengaytirilgan jamoat transporti tizimi, shu jumladan avtobuslar va poezdlar soni, maxsus dasturlar yaratilgan velosipedchilar va piyodalarga eng yaxshi marshrutlarda maslahat beradi. Ko‘zi ojiz fuqarolar uchun jamoat transporti navigatsiyasini qilish uchun dasturlar ishlab chiqilgan.

Singapurda o'zini o'zi boshqaradigan avtomashinalar allaqachon faol foydalanilmoqda. 2020 yilga kelib barcha transport vositalari ularni kuzatib boradigan navigatsiya tizimi bilan ta'minlanadi. Ko'chalarda maxsus datchiklar shahar atmosferasida ifloslantiruvchi moddalar ortiqcha miqdorni qayd etadi. Singapurda AKT ijtimoiy maqsadlarda keng qo'llaniladi. 2014 yildan beri shaharda keksalar uchun monitoring tizimi sinovdan o'tkazildi. Kasal odamlarga Singapurda sog'liqni saqlash holatini kuzatib borish imkon beradigan mobil qurilmalar taqdim etiladi. Jamoat xavfsizligi ham yaxshilanmoqda kuzatuv kameralaridan keng foydalanish tufayli. Ma'lumotlarga ko'ra Singapur Ichki ishlar vazirligi, kameralardan olingan videotasvirlar 2300 dan oshiq kishini jinoyatlar aniqlashga yordam beradi.

2.8. O'zbekistonda "Aqlli shahar" kontseptsiyasini amalga oshirishda raqamli texnologiyalardan foydalanish ustuvor yo'nalishlari

Mamlakatimizda raqamli iqtisodiyotni faol rivojlantirish, barcha tarmoqlar va sohalarda, eng avvalo, davlat boshqaruvi, ta'lim, sog'liqni saqlash va qishloq xo'jaligida zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini keng joriy etish bo'yicha kompleks chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda.

Xususan, elektron hukumat tizimini takomillashtirish, dasturiy mahsulotlar va axborot texnologiyalarining mahalliy bozorini yanada rivojlantirish, respublikaning barcha hududlarida IT-parklarni tashkil etish, shuningdek, sohani malakali kadrlar bilan ta'minlashni ko'zda tutuvchi 220 dan ortiq ustuvor loyihalarni amalga oshirish boshlangan.

Bundan tashqari, 40 dan ortiq axborot tizimlari bilan integratsiyalashgan geoportalni ishga tushirish, jamoat transporti va kommunal infratuzilmani boshqarishning axborot tizimini yaratish, ijtimoiy sohani raqamlashtirish va keyinchalik ushbu tajribani boshqa hududlarda joriy qilishni nazarda tutuvchi «Raqamli Toshkent» kompleks dasturi amalga oshirilmoqda.

Respublikada raqamli industriyani jadal rivojlantirish, milliy iqtisodiyot tarmoqlarining raqobatbardoshligini oshirish, shuningdek, 2017 — 2021 yillarda O'zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuvor yo'nalishi bo'yicha Harakatlar strategiyasini «Ilm, ma'rifat va raqamli iqtisodiyotni rivojlantirish yili»da amalga oshirishga oid davlat dasturida belgilangan vazifalar ijrosini ta'minlash maqsadida:

1. Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligi tomonidan manfaatdor vazirlik va idoralar, biznes hamjamiyati va ilmiy doiralar vakillari hamda xorijiy ekspertlar ishtirokida ishlab chiqilgan «Raqamli O‘zbekiston - 2030» strategiyasi qabul qilindi.

Buning asosida 2020 - 2022 yillarda hududlarni raqamli transformatsiya qilish;

2020 - 2022 yillarda tarmoqlarni raqamli transformatsiya qilish.

Bunda, 2020 - 2022 yillarda hudud va tarmoqlarni raqamli transformatsiya qilish doirasida:

aholi punktlarini Internet tarmog‘iga ulash darajasi, shu jumladan keng polosali ulanish portlarini 2,5 milliongacha ko‘paytirish, 20 ming kilometr optik-tolali aloqa liniyalarini qurish va mobil aloqa tarmoqlarini rivojlantirish orqali 78 foizdan 95 foizga yetkaziladi;

hududlarni ijtimoiy-iqtisodiy rivojlantirishning turli sohalarida 400 dan ortiq axborot tizimlari, elektron xizmatlar va boshqa dasturiy mahsulotlar joriy etiladi;

587 ming nafar kishini, shu jumladan «Bir million dasturchi» loyihasi doirasida 500 ming nafar yoshlarni qamrab olish orqali kompyuter dasturlash asoslariga o‘qitish tashkillashtiriladi;

iqtisodiyotning real sektori tarmoqlaridagi korxonalarda boshqaruv, ishlab chiqarish va logistika jarayonlarini avtomatlashtirish bo‘yicha 280 dan ortiq axborot tizimlari va dasturiy mahsulotlar joriy etiladi;

hududlarda hokimlar, davlat organlari va tashkilotlar xodimlarining raqamli savodxonligini va malakasini oshirish, ularni axborot texnologiyalari va axborot xavfsizligi bo‘yicha o‘qitish uchun tegishli oliy ta‘lim muassasalari birlashtiriladi hamda ularning 12 ming nafar xodimi axborot texnologiyalari sohasida o‘qitiladi.

2. Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligi, Qoraqalpog‘iston Respublikasi Vazirlar Kengashi va viloyat hokimliklarining 29 ta namunaviy tumanlarda (shaharlarda) 2020 yilda va 2021 yil I choragi yakuniga qadar raqamli transformatsiya qilish loyihalarini ko‘zda tutuvchi «yo‘l xarita»lari asosida tegishli ishlarni amalga oshirish taklifi ma‘qullandi.

3. «Raqamli O‘zbekiston - 2030» strategiyasini amalga oshirish bo‘yicha muvofiqlashtirish komissiyasi tashkil etilib va quyidagilar uning asosiy vazifalari etib belgilandi:

- davlat organlari va tashkilotlari, mahalliy ijro etuvchi hokimiyat organlari tomonidan Strategiya, hududlar va tarmoqlarni

raqamli transformatsiya qilish dasturlari, «yo‘l xarita»larida ko‘zda tutilgan loyiha va chora-tadbirlarning to‘liq hajmda amalga oshirilishini ta’minlash, shuningdek, ularning o‘z vaqtida bajarilishini tizimli nazorat qilish;

- har oyda davlat organlari va tashkilotlari rahbarlarining raqamli iqtisodiyot va elektron hukumatni rivojlantirish bo‘yicha rejalashtirilgan loyihalar va chora-tadbirlarni amalga oshirish yuzasidan hisobotlarini tinglash hamda ularning javobgarligi masalasini ko‘rib chiqish;

- doimiy monitoring asosida elektron davlat xizmatlarini ko‘rsatishni yanada takomillashtirish, davlat organlari va tashkilotlari faoliyatidagi funktsional jarayonlar va tartib-taomillarni optimallashtirish bo‘yicha choralar ko‘rish;

- raqamli iqtisodiyot sohasidagi yangi loyihalarni ko‘rib chiqish va ularni amalga oshirish to‘g‘risida qarorlarni qabul qilish, shuningdek, zarur hollarda hudud va tarmoqlarni raqamli transformatsiya qilish dasturlari hamda «yo‘l xarita»lariga tayyorlangan va kelishilgan loyiha hujjatlari asosida o‘zgartirish va qo‘shimchalar kiritish.

- ixtisoslashtirilgan oliy o‘quv yurtlari va raqamli texnologiyalarni o‘qitish markazlari negizida davlat organlari va tashkilotlari, mahalliy ijro etuvchi hokimiyat organlarining mas’ul rahbarlarini o‘qitish va malakasini oshirishni tashkil etish.

4. Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligi Maktabgacha ta’lim vazirligi, Xalq ta’limi vazirligi va Sog‘liqni saqlash vazirligi bilan birgalikda 2020 yil yakuniga qadar 13 ta namunaviy tumanlarda IT-infratuzilmasini yaratishni, kompyuter uskunalari bilan jihozlashni nazarda tutgan holda maktabgacha va umumta’lim maktablari hamda sog‘liqni saqlash muassasalarini raqamlashtirishni yakunlash bo‘yicha choralar ko‘rish, shuningdek, axborot tizimlarini joriy etish va mas’ul xodimlarni o‘qitishni tashkil etish vazifasi yuklatildi.

5. Ushbu muassasalarni raqamlashtirish Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligi va tasarrufidagi tashkilotlarning o‘z mablag‘lari hisobidan, etishmayotgan qismida esa - mahalliy byudjetning qo‘shimcha manbalari hisobidan amalga oshirilishi ko‘zda tutilgan.

6. Shuningdek, O‘zbekiston Respublikasining xorijiy mamlakatlardagi diplomatik vakolatxonalari biriktirilgan hududlar va

tarmoqlarga ilg'or texnologiyalar va IT-echimlarni transfer qilishda, raqamli iqtisodiyot sohasidagi loyihalarni birgalikda amalga oshirish uchun etakchi kompaniyalarni jalb qilishda har tomonlama amaliy yordam ko'rsatadilar.

7. Investitsiyalar va tashqi savdo vazirligi Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligi bilan birgalikda 2020 yil 1 noyabrdan boshlab investitsiya loyihalari hamda jalb etilayotgan xalqaro moliya institutlari, xorijiy hukumat moliya tashkilotlari va donor mamlakatlar mablag'lari umumiy miqdorining 5 foizdan kam bo'lmagan qismi «raqamli» komponentlarga yo'naltirilishini ko'zda tutsin.

8. Quyidagilarni nazarda tutuvchi 2020 - 2022 yillarda «Raqamli O'zbekiston — 2030» strategiyasini amalga oshirish bo'yicha «yo'l xarita»si tasdiqlanib unga muvofiq:

a) elektron hukumatni rivojlantirish bo'yicha:

2021 yil 1 yanvardan boshlab tajriba tariqasida «Raqamli Toshkent» kompleks dasturi doirasida jismoniy shaxsga identifikatsiya ID-kartasini berishda davlat organlari va tashkilotlari bilan o'zaro elektron munosabatlarni yo'lga qo'yish uchun uning shaxsiy kabineti shakllantiriladi;

2021 yil 1 iyuldan boshlab O'zbekiston Respublikasi Ochiq ma'lumotlar portalida davlat organlari va tashkilotlari tomonidan davlat xaridlarini amalga oshirish, patentlar, dori vositalari va tibbiy buyumlarni ro'yxatga olish, jamoat transporti harakati, er resurslaridan foydalanish va boshqa umumfoydalanishdagi statistik ma'lumotlar onlayn rejimda joylashtirib borilishi ta'minlanadi;

2021 yil 1 avgustdan boshlab jismoniy va yuridik shaxslarga barcha belgilangan davlat bojlari, yig'imlar, jarimalar va boshqa majburiy to'lovlarni elektron to'lov tizimlaridan foydalangan holda onlayn rejimda to'lash imkoniyati taqdim etiladi;

b) raqamli industriyani rivojlantirish bo'yicha:

2020 yil 1 noyabrdan boshlab Dasturiy mahsulotlar va axborot texnologiyalari texnologik parki rezidenti maqomini axborot texnologiyalariga o'qitish, apparat-dasturiy vositalarni ishlab chiqish va realizatsiya qilish, robototexnika, Internet tarmog'i orqali axborot xizmatlarini eksport qilish, shuningdek, ma'lumotlarni saqlash va hisoblab qayta ishlash sohasida xizmat ko'rsatadigan O'zbekiston Respublikasi rezidenti hisoblangan yuridik shaxslar olishi mumkin bo'ladi;

2022 yil 1 yanvarga qadar masofadan kredit mahsulotlarini realizatsiya qilish, omonatlar va hisob raqamlarni ochishni o'z ichiga olgan keng turdagi onlayn xizmatlar ko'rsatishni ta'minlash orqali tijorat banklarining raqamli transformatsiyasi yakuniga etkaziladi;

c) raqamli ta'limni rivojlantirish bo'yicha:

2021 yil 1 yanvardan boshlab fuqarolar tomonidan tizim boshqaruvi, ma'lumotlar bazasi va «bulutli» platformani boshqarish, axborot xavfsizligini ta'minlash va boshqa talab yuqori bo'lgan yo'nalishlarda xalqaro IT-sertifikatlarni olish xarajatlarining 50 foizgacha bo'lgan qismini qoplash tizimi joriy etiladi;

2021 yil 1 sentyabrga qadar har bir tuman va shaharda mavjud infratuzilma ob'ektlari negizida keng aholi qatlamlari, ayniqsa yoshlar va ayollar uchun raqamli texnologiyalar o'quv markazlari ochiladi;

2023 yil yakuniga qadar barcha tuman va shaharlarda o'quvchilarning ijodiy rivojlanishi va kompyuter dasturlash asoslarini o'rganishi uchun mavjud ta'lim muassasalari negizida 200 dan ortiq informatika va axborot texnologiyalarini chuqurlashtirib o'qitishga ixtisoslashtirilgan maktablar bosqichma-bosqich tashkil etiladi;

d) raqamli infratuzilmani rivojlantirish bo'yicha:

2022 yil yakuniga qadar har bir aholi punkti 10 Mbit/sdan kam bo'lmagan ma'lumotlarni uzatish tezligidagi Internet tarmog'iga ulanish imkoniyati bilan ta'minlanadi;

2022 yil 1 yanvarga qadar barcha mashhur sayyohlik joylari yuqori tezlikdagi Internet bilan ta'minlanadi.

9. 2023 yildan boshlab, Strategiya erishilgan natijalar va maqsadli ko'rsatkichlar hamda tegishli davr uchun raqamli texnologiyalarni yanada rivojlantirishning asosiy yo'nalishlaridan kelib chiqib, Vazirlar Mahkamasi tomonidan alohida tasdiqlanadigan ikki yilga mo'ljallangan dasturlar asosida amalga oshiriladi.

10. Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligi hamda Innovatsion rivojlanish vazirligining 2021 yil 1 yanvardan boshlab quyidagilarni nazarda tutuvchi barcha uchun ochiq bo'lgan mahalliy dasturiy mahsulotlar va IT-xizmatlar elektron platformasini yaratish to'g'risidagi takliflari ma'qullansin:

- mahalliy IT-kompaniyalar va dasturiy mahsulotlar ishlab chiqaruvchilar hamda ularning mahsulotlari va xizmatlarining yagona ma'lumotlar bazasini shakllantirish, shuningdek, ularga o'z mahsulotlarini ichki va tashqi bozorlarda ilgari surishda ko'maklashish;

- davlat organlari va tashkilotlarida axborot tizimlari va boshqa dasturiy mahsulotlarni joriy etish bo'yicha rejalashtirilayotgan loyihalar to'g'risida ma'lumotlarni e'lon qilish;

- mamlakatda raqamli iqtisodiyotni rivojlantirishning amaliy masalalarini hal qilish hamda axborot texnologiyalari sohasidagi qonun hujjatlarini takomillashtirish jarayonida samarali va ochiq muloqotni yo'lga qo'yish.

11. 2020 yil 1 noyabrdan boshlab yopiq binolarda aloqani tashkil etish maqsadida mobil aloqa operatorlari uchun ajratilgan radiochastota doirasida 500 mVt dan oshmaydigan quvvatda ishlaydigan baza stantsiyalaridan foydalanishga ruxsatnomani rasmiylashtirish bo'yicha talablar (tasniflangan ob'ektlar yaqinida o'rnatiladigan mobil aloqa baza stantsiyalari bundan mustasno) bekor qilinsin.

12. 2020 yil 1 noyabrdan boshlab mobil aloqa operatorlari uchun:

- telekommunikatsiya qurilmalari va inshootlarining qurilish-montaj, rekonstruktsiya, sinovdan o'tkazish va integratsiya qilish ishlarini yakunlash hamda tijorat maqsadida foydalanishni yo'lga qo'yish, shuningdek, telekommunikatsiya qurilmalari va inshootlarining konstruktsiyasini o'zgartirish, mavjud qurilmalardagi hamda telekommunikatsiya liniyalari va inshootlaridagi uskunalarni kengaytirish bo'yicha xabardor qilish tartibi joriy etilsin;

- radioelektron qurilmalar, asbob-uskunalar va boshqa qurilmalarni O'zbekiston Respublikasiga olib kirish ruxsatnomasini, sotib olish, o'rnatish, loyihalash va qurish uchun ruxsatnoma olmasdan, belgilangan tartibda rasmiylashtirish huquqi berilsin.

13. Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligi hamda Adliya vazirligining mazkur vazirliklar va ularning tasarrufidagi tashkilot va bo'linmalar negizida quyidagilarni nazarda tutuvchi «Raqamli idora» loyihasini amalga oshirish bo'yicha taklifiga rozilik berilsin:

a) 2022 yil 1 yanvarga qadar:

- qog'ozsiz elektron hujjat almashinuvi va ish yuritishni tashkil qilgan holda barcha ma'muriy tartib-taomillarni va operatsion jarayonlarni raqamlashtirish;

- faoliyatning ochiqligi va shaffofligi hamda aholi punktlarida davlat xizmatlaridan foydalanishning kafolatlanganligini ta'minlash;

- idoralararo elektron hamkorlik jarayonlarini avtomatlashtirish;

b) «Raqamli idora» loyihasini amalga oshirishning amaliy tajribasini boshqa davlat organlari va tashkilotlarida ularning faoliyati xususiyatlaridan kelib chiqqan holda joriy etish.

14. Elektron hukumat imkoniyatlarini yanada kengaytirish, aholi va tadbirkorlik sub'ektlari uchun qo'shimcha qulayliklarni yaratish hamda raqamli texnologiyalardan keng foydalanishni ta'minlash maqsadida:

- Elektron davlat xizmatlarini ko'rsatishni yanada takomillashtirish bo'yicha chora-tadbirlar dasturi muvofiq;
- Davlat boji, yig'im, jarima va boshqa to'lovlarni to'lash mexanizmlarini takomillashtirish bo'yicha amaliy chora-tadbirlar rejasi muvofiq tasdiqlansin.

Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligi mas'ul vazirlik va idoralar hamda mahalliy ijro etuvchi hokimiyat organlari bilan birgalikda Farmondanazarda tutilgan tadbirlarning sifatli va o'z vaqtida bajarilishini ta'minlash vazifasi belgilandi .

«Raqamli O'zbekiston - 2030» strategiyasi iqtisodiyot tarmoqlari, ijtimoiy soha va davlat boshqaruvi tizimining jadal raqamli rivojlanishini ta'minlash, shu jumladan elektron davlat xizmatlarini ko'rsatish mexanizmlarini yanada takomillashtirish maqsadida ishlab chiqilgan.

Strategiya O'zbekiston Respublikasining raqamli iqtisodiyot va elektron hukumatni rivojlantirishning strategik maqsadlari, ustuvor yo'nalishlari hamda o'rta va uzoq muddatli istiqbolli vazifalarini belgilaydi, shuningdek, BMTning Barqaror rivojlanish maqsadlari va Elektron hukumatni rivojlantirish reytingida belgilangan ustuvor vazifalardan kelib chiqib, raqamli texnologiyalarni yanada keng joriy etish uchun asos bo'lib xizmat qiladi. Raqamli rivojlanishning strategik maqsadlari va ustuvor yo'nalishlari

Raqamli infratuzilmani rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlari.

Raqamli infratuzilmani rivojlantirish maqsadida quyidagi tadbirlar amalga oshiriladi:

- optik tolali aloqa liniyalari, xalqaro kommutatsiya markazlarini modernizatsiya qilish va rivojlantirish orqali mintaqaviy va xalqaro telekommunikatsiya tarmoqlarining, O'zbekiston Respublikasining chegaradosh Markaziy Osiyo davlatlari bilan tranzit aloqalarining o'tkazuvchanlik qobiliyatini kengaytirib borish;

- taqdim etilayotgan xizmatlar hajmini oshirish, rezervlash, tizimlarning ishonchligini ta'minlash, shuningdek, aholi punktlari va ijtimoiy ob'ektlarni keng polosali xizmatlardan foydalanish imkoniyati bilan ta'minlash uchun ma'lumotlar uzatish tarmog'ini kengaytirish;
- mobil va yo'ldosh aloqa operatorlarining investitsion faolligini rag'batlantirishning qo'shimcha mexanizmlarini yaratish;
- mobil aloqa tarmog'ini 4G va 5G texnologiyasi bo'yicha rivojlantirish, Toshkent shahri, Qoraqalpog'iston Respublikasi va barcha viloyatlar markazlarini beshinchi avlod aloqa tarmog'i bilan bosqichma-bosqich qamrab olish;
- barcha aholi punktlari va ijtimoiy ob'ektlarni optik va mobil keng polosali xizmatlardan foydalanish tarmoqlari bilan qamrab olish;
- avtomagistral va temir yo'llari, turistik ob'ektlarni mobil aloqa tarmoqlari bilan qoplashni ta'minlash;
- Internet jahon axborot tarmog'iga ulanish tariflarini takomillashtirish va optimallashtirish;
- geografik joylashuvidan qat'iy nazar, fuqarolarning o'sib borayotgan axborotga ehtiyojlarini qanoatlantirish uchun keng polosali simsiz va mobil texnologiyalarni yanada rivojlantirish;
- iste'molchilarga televizion signalni uzatish, er usti televizion eshittirish, kabel televideniyesi, IP-televidenie, ma'lumotlar uzatish tarmoqlari, mobil aloqa, Internet texnologiyalaridan foydalangan holda teleradioeshittirish, televizion va radio xizmatlarining barcha turlarini to'liq qamrab olgan holda raqamli eshittirishni takomillashtirish;
- «bulutli» hisoblashlar asosida ma'lumotlarni saqlash va qayta ishlash markazlarini rivojlantirish, foydalanuvchi talablariga muvofiq, O'zbekiston Respublikasining axborot resurslariga doimiy ulanishni ta'minlash;
- bozorning erkin rivojlanishi imkoniyatini saqlab, telekommunikatsiya sohasini rivojlantirish uchun sharoitlarni yaxshilash, biznes yuritish va telekommunikatsiya infratuzilmasini rivojlantirish uchun ma'muriy to'siqlarni kamaytirish;
- elektron hukumat doirasida elektron davlat xizmatlaridan foydalanish uchun barcha davlat organlari, ularning tarkibiy va hududiy bo'linmalarini idoralararo ma'lumotlar uzatish tarmog'iga ulagan holda ushbu tarmoqni rivojlantirish;
- mamlakatimiz hududida davlat organlari, jismoniy va yuridik shaxslar uchun axborotni saqlash, qayta ishlash, himoya qilish va

elektron davlat xizmatlarining foydalanuvchanligini ta'minlash mexanizmlarini takomillashtirish;

- davlat organlari faoliyatini raqamlashtirish va elektron davlat xizmatlarini ko'rsatish doirasida «xizmat sifatida dasturiy ta'minot», «xizmat sifatida platforma», «xizmat sifatida infratuzilma» texnologiyalarini keng joriy etish;

- shahar infratuzilmasini boshqarishda raqamli texnologiyalarni joriy etish orqali transport logistikasi, shahar infratuzilmasi, shahar muhitining sifati, shahar rivojlanishini boshqarish samaradorligi, jamoat, biznes va yashash joylari bilan bog'liq muammolarni hal qilish uchun «aqli» va «xavfsiz» shahar loyihalarini izchil amalga oshirish;

- keng polosali ulanishni rivojlantirishning texnologik asosi iste'molchilarga asosiy va qo'shimcha xizmatlarni, shu jumladan texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish xizmatlarini, aholining hayotini qo'llab-quvvatlashda aqli tizimlarni joriy etishning bir qismi sifatida individual infratuzilma loyihalarini amalga oshirishga bosqichma-bosqich kirishni ta'minlash uchun yagona infratuzilma yordamida multiservis tarmoqlarini rivojlantirish;

- mavjud aloqa (simsiz va optik), simli va simsiz aloqa texnologiyalari va tizimlari, shuningdek, yangi geografik axborot va navigatsiya tizimlarining samaradorligini oshirish yo'llarini o'z ichiga olgan aloqa va navigatsiya texnologiyalarini rivojlantirish;

- aloqa operatorlari o'rtasida raqobatni rivojlantirish uchun zarur shart-sharoitlarni yaratish.

Elektron hukumatni rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlari

Elektron hukumatni rivojlantirish maqsadida quyidagi tadbirlar amalga oshiriladi:

- mamlakat miqyosida sifatli va talab yuqori bo'lgan elektron davlat xizmatlarini yanada kengaytirish, bosqichma-bosqich barcha davlat xizmatlarini raqamli shaklga o'tkazish, shu jumladan ko'rsatilayotgan avtomatlashtirilgan xizmatlar ulushini 2022 yilga qadar 60 foizga etkazish;

- elektron hukumat axborot tizimlarini ishlab chiqishda yagona texnologik yondashuvni ta'minlash, shu jumladan ochiq kodli dasturiy ta'minotdan foydalangan holda davlat organlarining idoraviy tizimlarini ishlab chiqish xarajatlarini qisqartirish;

- iste'molchilar talabidan kelib chiqqan holda ochiq davlat ma'lumotlarini ishlab chiqish, shakllantirish va ulardan foydalanish mexanizmlarini takomillashtirish, shuningdek, «ochiq ma'lumotlar»ga asoslangan davlat mobil ilovalari va dasturlari ulushini oshirish;
- davlat ma'lumotlarini boshqarishning yagona tizimini shakllantirish orqali davlat boshqaruvida ma'lumotlarni to'plash va raqamlashtirish uchun kerak bo'lgan barcha resurslarni yaratish orqali asoslangan qarorlarni qabul qilishni avtomatik ravishda shakllantirish;
- davlat xizmatlarini ko'rsatish tartib-taomillarini optimallashtirish, shu jumladan ma'muriy tartibotlarni avtomatlashtirish orqali talab qilingan ma'lumotlar va hujjatlarning sonini qisqartirish;
- litsenziyalar va ruxsatnomalar berish bilan bog'liq barcha tartib-taomillarni optimallashtirish va ularni real vaqt rejimida ishlovchi elektron shaklga o'tkazish;
- elektron hukumat tizimi doirasida elektron davlat xizmatlaridan aholi va tadbirkorlik sub'ektlari uchun shaxsni masofadan tasdiqlashning qo'shimcha shakl va usullarini joriy etilishini nazarda tutuvchi raqamli identifikatsiyalashni rivojlantirish;
- aholi va tadbirkorlik sub'ektlariga elektron hukumat tizimlari orqali yuridik ahamiyatga ega bo'lgan axborot etkazish va xabardor qilish imkoniyatini;
- aholi va tadbirkorlik sub'ektlarining davlat organlari va tashkilotlariga murojaatlarini ko'rib chiqish holatini onlayn rejimida kuzatish samarali tizimlarini («treking») joriy etish;
- davlat organlarining faoliyatiga raqamli texnologiyalarni joriy etish va ulardan foydalanish samaradorligini baholash tizimini joriy etish;
- aholining takliflari va mulohazalarini, shuningdek, aholi fikri asosida amalga oshirilayotgan loyihalar ulushini oshirishni hisobga olgan holda qonun hujjatlari loyihalarini onlayn tarzda muhokama qilishda fuqarolar va tadbirkorlar ishtirok etishi mexanizmini yanada takomillashtirish;
- davlat organlari va boshqa sub'ektlarning barcha xizmatlari uchun bojlar, yig'imlar va boshqa to'lovlarni onlayn to'lash va navbatlarni avtomatlashtirish axborot tizimlari komplekslarini yaratish;
- arxiv hujjatlarini raqamlashtirish va davlat xizmatlarini ko'rsatish va ochiq ma'lumotlarni shakllantirish doirasida zarur bo'lgan davlat organlari va tashkilotlarining ma'lumotlar bazalarida ma'lumotlarni shakllantirish;

- idoraviy va idoralararo axborot tizimlarini, elektron hukumat xizmatlarini ko‘rsatuvchi davlat organlarining axborot resurslarini, markaziy ma‘lumotlar bazalarini xavfsiz saqlash va ularning integratsiyasini ta‘minlaydigan, shuningdek, davlat organlari va tashkilotlarining turli axborot tizimlaridagi turli tarqoq hamda takroriy ma‘lumotlarni keyinchalik tahliliy qayta ishlash imkoniyatini yaratadigan Elektron hukumatning ma‘lumotlarini qayta ishlash markazini yaratish;

- jamiyat hayotining barcha jabhalariga raqamli texnologiyalarni keng joriy qilish, shu jumladan quyidagi yo‘nalishlar bo‘yicha raqamli infratuzilmani shakllantirishni va elektron hukumat axborot tizimlarini keng joriy qilishni yanada jadallashtirish:

- sog‘liqni saqlash, bunda tibbiyot sohasida zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan keng foydalanish va elektron xizmatlarni taqdim etishni hisobga olgan holda milliy integratsiyalashgan axborot tizimini joriy etish;

- ta‘lim jarayoniga zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini qo‘llagan xolda ta‘limni boshqarishni avtomatlashtirish va har tomonlama tahlil qilib borish tizimini yaratish;

- mehnat faoliyati va aholi ijtimoiy ta‘minotini tartibga solish jarayonlarida axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini joriy etish;

- aholiga axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini joriy etish orqali uy-joy kommunal xizmatlari ko‘rsatishni tashkil etish;

- zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini tatbiq etish orqali qurilish sohasida shaffoflik va sifatni oshirish tizimini yo‘lga qo‘yish;

- zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini joriy etish orqali qishloq xo‘jaligida erdan foydalanish unumdorligini oshirish, mahsulotlar tannarxini kamaytirish va eksport salohiyatini oshirish tizimini tashkil etish;

- elektr energiyasini ishlab chiqarish va iste‘molchilarga etkazish, uglevodorod xom ashyosini qazib chiqarish, qayta ishlash hamda iste‘molchilarga etkazish jarayonlarini axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini tatbiq etish orqali to‘liq nazorat etish tizimini yo‘lga qo‘yish;

- ochiq ma‘lumotlarga qulay kirishni ta‘minlash uchun davlat idoralariga API-larni ishlab chiqish va taqdim etish.

Raqamli iqtisodiyotni rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlari.

Iqtisodiyotning real sektorida raqamli texnologiyalarni rivojlantirish maqsadida quyidagi tadbirlar amalga oshiriladi:

- sanoat korxonalarida zamonaviy axborot texnologiyalarini joriy qilish dasturlarini ushbu korxonalarni texnologik qayta jihozlash dasturlari bilan uyg‘unlashtirish;
- korxonada ta‘minotining barcha bosqichlarini avtomatlashtirish va boshqarishni ta‘minlash, shuningdek, bu orqali logistika va xarid xarajatlarini qisqartirish;
- zamonaviy axborot tizimlari va dasturiy mahsulotlarni joriy etish hisobiga mahsulotlar va xizmatlar sifatini yaxshilash, ularning tannarxini, ishlab chiqarishdagi to‘xtalishlarni kamaytirish, moliyaviy-iqtisodiy faoliyatning shaffofligini oshirish;
- innovatsion avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari va dasturiy mahsulotlarni joriy etish bo‘yicha normativ-huquqiy bazani takomillashtirish;
- ishchi joylarni bosqichma-bosqich avtomatlashtirish hamda ishlab chiqarish jarayonlarini robotlashtirish, shuningdek, sun‘iy intellekt texnologiyalarini joriy etish;
- savdo hajmini oshirish va mijozlarga xizmat ko‘rsatishni yaxshilash maqsadida buyurtmachilar (mijozlar) bilan o‘zaro munosabat mexanizmlarini takomillashtirish;
- boshqaruv ma‘lumotlarini qabul qilishni qo‘llab-quvvatlash tizimini, jumladan, real vaqt rejimida biznes-tahlil tizimini joriy qilish orqali takomillashtirish;
- 2025 yilda korxonada resurslarini boshqarish tizimini (ERP) joriy qilgan yirik xo‘jalik yurituvchi sub‘ektlarning ulushini 90 foizga etkazish;
- sanoat korxonalarida joriy etilayotgan ishlab chiqarish va boshqaruv jarayonlarini avtomatlashtirish (ERP, MES, SCADA va boshqalar), robotlashtirish, «Internet buyumlar», «sun‘iy intellekt» kabi texnologiyalarning dasturiy mahsulot qismini 2027 yilga kelib, apparat qismini esa 2030 yilga kelib davlat-xususiy sheriklik asosida mahalliyashtirish;
- kommunal xizmatlar bo‘yicha hisob-kitoblarni boshqarish uchun smart texnologiyalarni joriy qilish, intellektual servislarni joriy qilish va kommunal xizmatlarni tartibga solish uchun «aqli uy» tajribasini joriy etish;
- 2022 yilda respublikaning barcha yirik shaharlarida jamoat transportlarida yo‘l haqi to‘lashning avtomatlashtirilgan tizimini joriy etish va naqd pulsiz to‘lovlar ulushini 90 foizga etkazish;

- har qanday yo‘lovchi transportida chipta sotib olish uchun yagona platformani yaratish;
- korxonalar tomonidan ishlab chiqarilgan mahsulotlar va xizmatlarni Internet jahon axborot tarmog‘i orqali sotish bozorlarini kengaytirish;
- transport tizimini kompleks rivojlantirish uchun dasturiy modellashtirish tizimlaridan foydalanish mexanizmlarini amalga oshirish;
- sug‘urta tizimini raqamlashtirish uchun davlat-xususiy sheriklik asosida raqamli sug‘urtani amalga oshirish mexanizmlarini ishlab chiqish va joriy etish;
- logistika tizimini takomillashtirish va raqamli texnologiyalarni joriy etish maqsadida raqamli logistika tizimiga bosqichma-bosqich o‘tish;
- iqtisodiyotning real sektorlarida robotlashtirilgan sanoatni rivojlantirish va amalga oshirish;
- yirik sanoat korxonalarini uchun robototexnika va muhandislik ixtisosliklarini tashkil etish;
- ishlab chiqarish korxonalarida additiv (qavatma-qavat qurish va sintez qilish texnologiyasi, 3D o‘lchamda bosib chiqarish) texnologiyalarini keng joriy etish.
- Elektron tijorat va elektron to‘lovlar tizimini rivojlantirish maqsadida quyidagi tadbirlar amalga oshiriladi:
 - axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini, shu jumladan mijozlarni masofadan aniqlash tizimlarini joriy etish orqali masofaviy bank xizmatlarini rivojlantirish;
 - xalqaro elektron tijorat standartlari va zamonaviy axborot xavfsizligi talablariga rioya qilish uchun elektron tijoratni rivojlantirishning huquqiy asoslarini, shuningdek, mavjud standartlar va elektron tijorat qoidalarini takomillashtirish va yangilash;
 - raqamli infratuzilmani rivojlantirish, mobil va simli Internet jahon axborot tarmog‘i qamrovi va tezligini yanada oshirish orqali elektron tijorat platformalariga shaxsiy raqamli uskunalardan ulanish imkoniyatlari va ko‘lamlarini oshirish;
 - elektron tijorat va elektron to‘lovlar tizimini yanada rivojlantirish, shuningdek, elektron hukumat xizmatlarini taqdim etishda to‘lovlarni qabul qilish va qayta ishlash imkoniyatlarini hisobga olgan holda, iqtisodiyot va moliya sohasida axborot infratuzilmasini takomillashtirish;
 - elektron tijoratning rivojida muhim rol o‘ynovchi pochta va logistika infratuzilmasini modernizatsiyalash va texnik yangilashni

ta'minlash, logistika markazlarini (fulfilment) yaratish bo'yicha yirik loyihalarni amalga oshirish, axborot texnologiyalarini va pochta aloqasi ob'ektlarida avtomatlashtirilgan tizimlar joriy etish, shuningdek, pochta va logistika xizmatlari sifatini oshirish;

- jismoniy shaxslarga Internet jahon axborot tarmog'i orqali tovarlar va xizmatlar uchun to'lovlarni to'lashni tashkil etish jarayonini osonlashtirishga imkon beradigan to'lovlar agregatorlarini rivojlantirish;

- transchegaraviy elektron tijoratni rivojlantirish va mahalliy ishlab chiqaruvchilarning mahsulotlarini qulay va o'z vaqtida eksport qilishni ta'minlash;

- bitta savdo maydonchasida keng ko'lamli bank va bankdan tashqari moliyaviy xizmatlarni (qimmatli qog'ozlar bilan operatsiyalar, sug'urta va boshqalar) taqdim etishga yo'naltirilgan moliyaviy supermarketlarning biznes modelini yaratish;

- tijorat banklari tomonidan mijozlarga masofaviy bank xizmatlari (internet-banking, bank-mijoz, sms-banking va boshqalar), shu jumladan, mobil ilovalar orqali xizmat ko'rsatish ko'lamini va sifatini oshirish;

- elektron tijorat sohasida malakali kadrlar tayyorlash o'quv jarayonining darajasi va sifatini tubdan yaxshilash, mutaxassislarni qayta tayyorlash va malakasini oshirish, shu jumladan chet eldagi etakchi ilmiy-tadqiqot muassasalarida, shuningdek, yuqori malakali xorijiy mutaxassislarni jalb etish;

- elektron tijorat bilan shug'ullanuvchi sub'ektlarning tovar va xizmatlar uchun to'lovlarni QR to'lovlari texnologiyasi va NFC texnologiyalarini joriy qilish, jumladan mobil qurilmalar orqali to'lovlarni qabul qilish orqali zamonaviy va qulay bo'lgan masofaviy usullarda qabul qilish imkoniyatini yaratish;

- davlat sektori, mahalliy davlat hokimiyati organlari va xususiy sektor o'rtasidagi yaqin hamkorlikda elektron tijorat va raqamli to'lov platformalarini rivojlantirish va kengroq foydalanishga ko'maklashish.

Raqamli texnologiyalar milliy bozorini rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlari.

Raqamli texnologiyalar milliy bozori uchun qulay muhitni yaratish va istiqbolli «raqamli» startaplarni rivojlantirish maqsadida quyidagi tadbirlar amalga oshiriladi:

- texnoparklar va kovorking markazlari faoliyatini, shu jumladan davlat-xususiy sheriklik asosida tashkil etish orqali zamonaviy

raqobatbardosh va eksportga yo'naltirilgan dasturiy mahsulotlar va xizmatlarni, mahalliy ishlab chiqarishni rivojlantirish;

- raqamli texnologiyalarning jadal rivojlanishi va ularning biznes amaliyotiga ta'siri va yangi raqamli xizmatlar yoki mahsulotlar paydo bo'lishi ta'sirini hisobga olgan holda qonunchilik bazasini takomillashtirish mexanizmlarini shakllantirish;

- milliy startaplarni rivojlantirishni rag'batlantirish va axborot texnologiyalari sohasida yangi ish boshlayotgan korxonalar va kichik korxonalar, jumladan venchur moliyalashtirish orqali ko'maklashish;

- mahalliy dasturiy mahsulotlar bozori rivojlanishi uchun sharoit yaratish, shu jumladan tadbirkorlik sub'ektlari va davlat organlarining samarali o'zaro hamkorligini ta'minlash orqali yangi innovatsion echimlarni ishlab chiqish va ularni keyinchalik amalga oshirish;

- tashqi bozorda mahalliy texnologik va dasturiy mahsulotlarga bo'lgan talabni qo'llab-quvvatlash va rivojlantirish;

- intellektual mulkni ro'yxatdan o'tkazish, ustav kapitalida intellektual mulkni ko'rsatish imkoniyatini yaratish bilan bog'liq tartibotlarni soddalashtirish;

- venchur ekotizimlarning rivojlanishini soddalashtirish uchun «regulyativ qumdon»ni yaratish;

- transport jarayonlarini rejalashtirishda aholining harakatchanligini aniqlash uchun (maxfiy ma'lumotdan tashqari) turli xizmatlardan (mobil aloqa operatorlari ma'lumotlari, ilovalar va boshqalar) ma'lumotlarni jamlash bo'yicha yagona platformani joriy etish;

- axborot texnologiyalari sohasidagi startap va tadbirkorlik sub'ektlari loyihalarini moliyalashtirish tizimining muqobil mexanizmlarini joriy etish;

- innovatsion g'oyalar, startaplar va venchur loyihalarini moliyalashtirish tizimining barqaror zanjirini rivojlantirish uchun qulay shart-sharoitlar yaratish;

- axborot texnologiyalari sohasida yangidan ish boshlagan va kichik korxonalar, jumladan startap-loyihalarni amalga oshirishda, innovatsiya faoliyati natijalarini investitsiyalarni jalb qilgan holda ko'maklashish;

- sportchilarni kompyuter sport turlari bo'yicha, shu jumladan davlat-xususiy sheriklik shartlari asosida o'qitish uchun kompyuter sport markazlari (professional klublar) tarmog'ini yaratish;

- kompyuter o'yinlari sanoatini rivojlantirishni qo'llab-quvvatlash bo'yicha kompleks chora-tadbirlarni amalga oshirish, xorijiy investitsiyalarni

mahalliy IT-mahsulotlarini ishlab chiqish va rag'batlantirishga jalb qilish, ushbu sohadagi malakali mutaxassislarni tanlab olish va tayyorlash;

- axborot texnologiyalari sohasida autsorsing xizmatlari bozorini rivojlantirish uchun zarur tashkiliy-texnik va moliyaviy-iqtisodiy sharoitlarni yaratish;

- loyiha boshqaruviga o'qitishni joriy etish, shuningdek, startup-loyihalarini qo'llab-quvvatlovchi inkubatsiya va akseleratsiya markazlari faoliyatini tashkil etish orqali axborot texnologiyalari sohasidagi oliy ta'lim sifatini oshirish;

- IT-parkning xorijiy davlatlardagi vakolatxonalarini ochish orqali mahalliy dasturiy ta'minot ishlab chiquvchilarining manfaatlarini ifodalash hamda ularga o'z mahsulotlarini ichki va tashqi bozorlarda ilgari surishda ko'maklashish;

- har tomonlama tahliliy va amaliy tadqiqotlar asosida raqamlashtirish jarayonlarining ishlab chiqarish va iqtisodiyot tarmoqlariga ta'sirini baholash va kelgusida mamlakat iqtisodiyotining raqamli transformatsiyasini kengaytirish bo'yicha takliflarni ishlab chiqish;

- axborot texnologiyalari sohasida tijoratlashtirish salohiyati baland bo'lgan yuqori texnologik mahsulotlar yaratilishiga yo'naltirilgan ilmiy-tadqiqot ishlanmalari ishlab chiqilishini rivojlantirish;

- IT-park asosida ilg'or texnologiyalardan (Big Data, IoT, AI blokcheyn va boshqalar) foydalangan holda ustuvor tarmoqlar uchun «aqlli echimlar» ni ishlab chiqishni rag'batlantirish;

- biznes korxonalari, universitetlar, ilmiy-tadqiqot institutlari va ilmiy markazlar o'rtasidagi hamkorlikka asoslangan yuqori texnologiyali tadbirkorlik markazlari va klasterlarini yaratishga ko'maklashish;

- texnoparklar, akseleratorlar va inkubatorlarni xakatonlar, tanlovlar va konferentsiyalar orqali tizimli ravishda davlat tomonidan qo'llab-quvvatlash va grant subsidiyalari berish.

Axborot texnologiyalari sohasida ta'lim berish va malaka oshirishning ustuvor yo'nalishlari

Aholining barcha qatlamlarida raqamli ko'nikmalarni oshirish maqsadida quyidagi tadbirlar amalga oshiriladi:

- yoshlar orasida axborot texnologiyalarini ommalashtirish, shuningdek, aholining barcha qatlamlari orasida raqamli texnologiyalardan foydalanish ko'nikmalarini rivojlantirish;

- keksa va o'rta yoshdagi aholiga Internet jahon axborot tarmog'ida ishlash, Yagona interaktiv davlat xizmatlari portalidan va boshqa

texnologiyalardan foydalanish bo'yicha ko'nikmalarni o'z ichiga olgan kompyuter savodxonligi kurslarini tashkil etish;

- axborot texnologiyalari sohasida masofaviy, onlayn va virtual o'qitish texnologiyalarini joriy etish va rivojlantirish, onlayn kurslar uchun platformalar ishlab chiqish;

- raqamli texnologiyalar sohasida yuqori malakali kadrlar avlodini shakllantirish maqsadida umumta'lim maktabi o'quvchilariga dasturlashni o'rgatish uchun sharoit yaratish;

- aholi o'rtasida raqamli ko'nikmalarni rivojlantirish sohasida yirik IT-korxonalarini jalb qilgan holda davlat xususiy sheriklik mexanizmlarini tashkil qilish;

- viloyat va shaharlarda raqamli ko'nikmalar darajasidagi bo'shliqni bartaraf etish maqsadida respublikaning barcha hududlarida ixtisoslashtirilgan o'quv markazlarini tashkil etib vertikal boshqaruv o'quv modeli tizimini tuman va shaharlar darajalarida (IT-park filiali-o'quv markazi-maktab) joriy etish;

- raqamli ko'nikmalarga ega bo'lgan aholi ulushini oshirish maqsadida yuqori malakali mutaxassislar ishtirokida bepul onlayn kurslarni tashkil etish;

- fuqarolarning raqamli iqtisodiyot sohasida bilim darajasini mustaqil baholash, shu jumladan boshlang'ich bilim darajasini bepul baholash onlayn resurslarni tashkil qilish;

- aholi o'rtasida yuqori malakali mutaxassislarni tayyorlash uchun «Bir million dasturchi» loyihasini amalga oshirish.

- Davlat boshqaruvida raqamli ko'nikmalarni oshirish maqsadida quyidagi tadbirlar amalga oshiriladi:

- davlat xizmatchilarining axborot-kommunikatsiya texnologiyalari sohasidagi ko'nikmalari va malakalarini oshirish mexanizmini rivojlantirish va doimiy takomillashtirib borish;

- iqtisodiyotning real sektorida raqamlashtirishning istiqbolli sohalarida yangi yutuqlar muhokamasi bo'yicha tadbirlarni (forumlar, seminarlar, konferentsiyalar va boshqalar) o'tkazish;

- iqtidorli IT-mutaxassislarni o'qitish, qo'llab-quvvatlash va ularni targ'ib qilish hamda mamlakatdan iqtidorli qatlamning chiqib ketishi oldini olish uchun ularning rivojlanishiga imkoniyat yaratish;

- raqamli texnologiyalardan foydalanish ko'nikmalarini baholash mexanizmlarini ishlab chiqish va bunda quyidagi jihatlarni inobatga olish: axborot savodxonligi (qaror qabul qilish uchun zarur bo'lgan ma'lumotlarni

topish qobiliyati); kompyuter savodxonligi (raqamli qurilmalar bilan ishlash qobiliyati); media savodxonligi (ommaviy axborot vositalarini tanqidiy o'rganish imkoniyati); kommunikativ savodxonlik (zamonaviy raqamli aloqa vositalaridan foydalanish qobiliyati); texnologik innovatsiyalarga (yangi texnologiyalarga) ijobiy munosabatni shakllantirish;

- ta'lim tizimiga har bir ta'lim darajasi uchun raqamli iqtisodiyotning asosiy vakolatlariga qo'yiladigan talablarning shakllanishi va joriy etilishi, (vakolatlar modelini hisobga olgan holda) ularning uzluksizligini ta'minlash;

- davlat organlari xodimlarini malakasini oshirish uchun zamonaviy ta'lim texnologiyalaridan va xodimlarning malakasini baholashning yangi mexanizmlaridan foydalangan holda masofadan o'qitish bo'yicha yagona elektron platformani yaratish;

- davlat va mahalliy hokimiyat organlari raqamli rivojlanish bo'yicha ixtisoslashtirilgan bo'linmalarining mas'ul xodimlari bilan ishlash mexanizmini takomillashtirish, shu jumladan raqamli texnologiyalarni rivojlantirish maqsadlariga erishishga asoslangan moddiy rag'batlantirish tizimini (KPI) joriy etish;

- raqamli iqtisodiyot, zamonaviy axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini joriy etish va rivojlantirish uchun mas'ul bo'lgan xodimlarni minimal ma'lumot darajasi va kasblar malakasi nuqtai nazaridan xodimlarning asosiy lavozimlari va ishchilarning kasblari klassifikatoriga rioya qilmasdan jalb qilish.

- Ta'lim sohasida raqamli ko'nikmalarni oshirish maqsadida quyidagi tadbirlar amalga oshiriladi:

- ta'lim pog'onasining boshlang'ich bosqichida o'quvchilarga raqamli texnologiyalarni taqdim etish orqali raqamli ko'nikmalarni o'zlashtirish uchun imkoniyatlar yaratish, tahliliy va tanqidiy fikrlashni rivojlantirish, kelajakda zarur bo'ladigan keng ko'lamlı raqamli transformatsiya sharoitida yoshlarga bilim va ko'nikmalar berish;

- yagona masofaviy ta'lim platformasini kelajakda ta'limning barcha yo'nalishlarida tatbiq etish maqsadida yaratish va amalga oshirish;

- o'quvchilar uchun raqamli texnologiyalardan foydalanishning umumiy darajasini oshirish maqsadida umumta'lim maktablarining asosiy o'quv dasturlariga doimiy o'zgartirishlar kiritish;

- texnologik kasblar va innovatsion faoliyat sohasida o'qishni tashkil etishga qaratilgan yuqori samarali xalqaro amaliyotni ta'lim tizimiga joriy etish;

- axborot-kommunikatsiya texnologiyalari bilan bog'liq yo'nalishda kadrlar tayyorlovchi oliy ta'lim muassasalari bitiruvchilari sonini, axborot texnologiyalar sohasida o'rtacha darajada kompetentsiyaga ega bo'lgan o'rta maxsus kasb-hunar ta'limi muassasalari bitiruvchilarini oshirish;

- axborot texnologiyalar sohasidagi tashkilotlarining o'quv jarayonlarga qatnashishini rag'batlantirish orqali umumta'lim maktablarda informatika fanini o'qitish metodlarini takomillashtirish;

- oliy ta'lim muassasalarida tegishli sohalarda «Internet buyumlar», robototexnika, sun'iy intellekt texnologiyalarini qo'llash va o'rganish bo'yicha laboratoriyalar, shuningdek, xorijiy korxonalarni ushbu sohaga jalb qilishni tashkil qilish;

- qog'oz shaklidagi materiallarni raqamlashtirish formatlaridan foydalanish bo'yicha davlat yagona talabini ishlab chiqish va qo'llab-quvvatlashni ta'minlash orqali ta'limda o'quv materiallarini raqamlashtirish;

- raqamli texnologiyalar sohasida ilmiy-tadqiqot ishlarini rivojlantirish va rag'batlantirish, ularning tashkiliy mexanizmlarini takomillashtirish;

- g'oyalar va yangi texnologiyalar yaratishni targ'ib qiluvchi respublika tanlovlari va tadbirlarini (xakatonlar, konkurslar, olimpiadalar va boshqalar) o'tkazish;

- yangi qidiruv tizimlarini yaratish yo'nalishini ishlab chiqish va aniqlash, shu jumladan audio va video materiallarni izlash va aniqlash uchun echimlar, axborotni qidirish va olishda semantikadan foydalanish, mashinaviy tarjima tizimidagi yangi texnologiyalar, shuningdek, mashinaviy o'qitishning yangi algoritmlari va texnologiyalarini rivojlantirish;

- katta hajmdagi ma'lumotlar to'plamini tahlil qilish va bilimlarni to'plash bo'yicha, shu jumladan katta hajmdagi ma'lumotlarni yig'ish, saqlash va intellektual tahlil qilishning yangi usullari va algoritmlarini, katta hajmdagi ma'lumotlarni tarqatish uchun yangi usullar va dasturlar, shu bilan birga murakkab muhandislik echimlarini bashoratli modellashtirish uchun yangi usullar va dasturiy ta'minotlar bo'yicha ilmiy-tadqiqot ishlarini olib borish;

- xatolarga chidamliligini oshirish va tizim elementlari o'rtasidagi almashinuv vaqtini qisqartirish uchun yangi yuqori darajali hisoblash va ma'lumotlarni saqlash tizimlarini, shu jumladan parallel hisoblashning yangi algoritmlarini, yangi superkompyuter texnologiyalari va dasturlarini, yangi aloqa texnologiyalari va o'zaro ta'sir protokollarini yaratish, shuningdek,

tizim elementlari o'rtasidagi almashinuv vaqtini qisqartirish, yuqori samarali va ishonchli ma'lumotlarni saqlash tizimlari uchun yangi dasturlar yaratish sohasida tadqiqotlar o'tkazish;

- robototexnika komplekslari va odamlar o'zaro ta'sirining algoritmlarini ishlab chiqish, ma'lumotlar uzatish tarmoqlari infratuzilmasini, o'rnatilgan sensorlar va sensor tarmoqlarni takomillashtirish, shuningdek, «bulutli» xizmatlarini taqdim etishning turli xil modellarini amalga oshirish uchun dasturiy ta'minot yaratish bo'yicha ilmiy ishlarni olib borish;

- xalqaro yirik korxonalarining markazlari bilan hamkorlikda raqamlashtirish yo'nalishidagi milliy kadrlar malakasini oshirish mexanizmini tatbiq etish;

- maktabgacha, o'rta va oliy ta'lim tizimi uchun elektron ta'lim resurslarini yanada takomillashtirish, shuningdek, ichki va jahon ta'lim resurslaridan foydalanishni ta'minlash;

- inson kapitalini rivojlantirish, shu jumladan, ixtisoslashgan ta'limni rivojlantirish hamda IT-sohasidagi kasblarni ommalashtirish, IT-korxonalar uchun institutsional sharoitlarni yaxshilash va ma'muriy to'siqlarni kamaytirish;

- ayollarga va nogironlarga raqamli ko'nikmalarni o'rgatish uchun davlat tomonidan yordam ko'rsatish;

- maktab va maktabgacha ta'lim tizimiga raqamli transformatsiya va yangi texnologiyalar bo'yicha innovatsion o'quv dasturlarini joriy etish;

- elektron xizmatlarga aholi ishonchini shakllantirish va aholining tez rivojlanayotgan raqamli imkoniyatlaridan foydalanish yuzasidan zarur ko'nikmalarni shakllantirish bo'yicha samarali choralarni ko'rish;

- ijtimoiy tarmoqlardan foydalangan holda, texnologiya hayotiy muhim masalalarni hal qilish, o'qitish, ish qidirish va tadbirkorlikni rivojlantirishga yordam beradigan mavzularda muntazam ravishda ta'lim kampaniyalarini o'tkazish;

- odamlarni hukumat va biznes tomonidan taqdim etiladigan raqamli xizmatlardan foydalanishga chorlash.

Mazkur strategiyada ko'zda tutilgan vazifalarni amalga oshirishdan kutilayotgan natijalar

Strategiyada belgilangan vazifalarni amalga oshirish orqali quyidagi natijalarga erishish rejalashtirilgan (maqsadli ko'rsatkichlar ilovada):

- yuqori tezlikdagi Internet jahon axborot va mobil aloqa tarmoqlaridan sifatli, xavfsiz, arzon va oqilona foydalanish;

- aloqa va telekommunikatsiyalarning ochiq va raqobatbardosh bozori;
- barcha ijtimoiy ob'ektlarni Internet jahon axborot tarmog'i bilan ta'minlash;
- respublika bo'ylab optik tolali aloqa tarmog'ining uzunligini kengaytirish;
- aholi punktlarini yuqori tezlikdagi aloqa texnologiyalari (4G va b.) bilan qamrab olish darajasini oshirish;
- shaharlar va qishloqlar o'rtasidagi raqamli tafovutni kamaytirish;
- elektron hukumatni rivojlantirish xalqaro reytingida eng rivojlangan mamlakatlar qatoriga kirish;
- elektron davlat xizmatlari ulushini oshirish;
- elektron davlat xizmatlariga ishonchni mustahkamlash, aholining davlat organlari bilan xavfsiz va oson o'zaro hamkorlik qilishini ta'minlash;
- davlat, biznes va aholining ehtiyojlariga qarab, hisoblash quvvatini samarali taqsimlash va undan foydalanish;
- respublika bo'ylab kommunal sohada elektron hisoblagichlar ulushini oshirish;
- an'anaviy qog'oz yoki elektron hujjatga nisbatan elektron yozuvning ustunligi;
- dasturiy mahsulotlarning eksport hajmini kengaytirish;
- IT-parkda rezidentlari sonini oshirish;
- investitsiya muhitini yaxshilash, axborot texnologiyalari sohasida investitsiyalar samaradorligini oshirish;
- aholining raqamli iqtisodiyot va elektron hukumat vositalaridan foydalanish ko'nikmalarini rivojlantirish;
- aholining barcha qatlamlari uchun axborot texnologiyalari sohasida ta'lim olish bo'yicha keng imkoniyatlarining mavjudligi;
- axborot texnologiyalari sohasidagi professional kadrlar zaxirasining, shu jumladan boshqaruv kadrlari zaxirasining mavjudligi;
- IT-yo'nalishi bo'yicha oliy ta'lim muassasalari bitiruvchilari sonini oshirish;
- respublikaning barcha tumanlarida (shaharlarida) raqamli texnologiyalar o'quv markazlarini tashkil etish.

3 bob. AMALIY INTELLEKTUAL TIZIMLARNI QURISH

3.1. Kompyuterda interval hisoblashlarni tashkil qilish

Interval analizning asosiy g'oyasi izlanayotgan yechimni kafolatli tarzda o'z ichiga oluvchi parallelotoplarni qurishdan iborat. Buday yechimni o'z ichiga olish xossasi kompyuterda interval hisoblashlarni bajarishda namoyon bo'ladi.

Ma'lumki, interval analizda interval $[a,b] = \{x \mid x \in \mathbb{R}, a \leq x \leq b\}$ mustaqil butun ob'ekt sifatida qaraladi va EHMda hisoblashlarni bajarish jarayonida tabiiyki, alohida tip sifatida kiritiladi (masalan, INTERVAL), ya'ni standart tiplar hisoblangan REAL yoki INTEGER tiplariga analog tip hosil qilinadi.

Bilamizki, EHMda tasvirlash mumkin bo'lgan, fiksirlangan aniqlikdagi ixtiyoriy REAL tipli mashina sonlari to'plami, matematikada o'rganiladigan haqiqiy sonlar to'plami \mathbb{R} bilan mos kelmaydi. Shu sababli, arifmetik (mantiqiy) amallarni EHMda bajarganda ko'p hollarda amallar natijalarini mashinada tasvirlash mumkin bo'lgan sonlarga almashtirish zarurati paydo bo'ladi. Aynan shu holatda EHMda yaxlitlash xatoligi yuzaga keladi. Zamonaviy kompyuterlarda yaxlitlash odatda kompyuterda tasvirlash mumkin bo'lgan eng yaqin songa almashtirish orqali amalga oshiriladi, ammo agar kerak bo'lsa, bu yaxlitlash usuli hisoblash tizimi buyruqlari va sozlamalari yordamida o'zgartirilishi mumkin. Bunda quyidagi savol paydo bo'ladi: Arifmetik amallar natijalarini intervallar chegaralari bilan qanday yaxlitlash mumkin?

Birinchi navbatda, bu yechilayotgan masalaning xarakteriga va uning yechimlariga qo'yilgan talabga bog'liq. Ma'lumki, EHMda hisoblash jarayoni elementar hisoblash amallarining aniq ketma-ketligini bajarishdan iborat bo'ladi. Sonli natija beradigan o'sha amallarni ko'rib chiqamiz. Bu holda har bir amal quyidagi ikkita bosqichda bajariladi deb hisoblash mumkin:

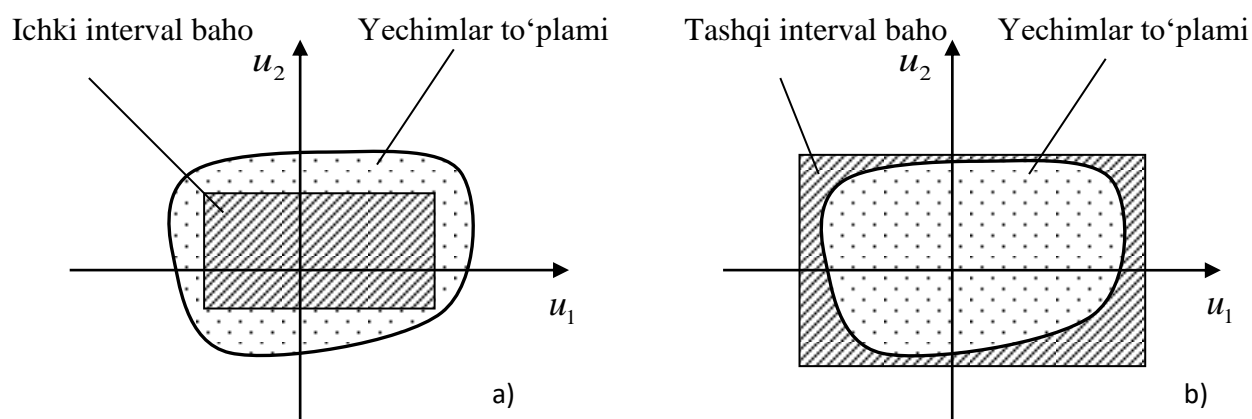
- amallarning “*aniq natija*” si topiladi;
- topilgan son yaxlitlanadi.

“*Aniqnatija*” – EHM ning arxitekturasi va matematik ta'minoti bilan aniqlanadigan nazariy qiymatning qandaydir sonli approksimatsiyasi. O'z navbatida yaxlitlash holati EHM arxitekturasi va mashina arifmetikasining tashkiliy tamoyillari bilan aniqlanadi [87]. Bunda hisoblash natijasi mashina sonidan iborat bo'lib, approksimatsiya

xatoligini turli usullar bilan kamaytirish mumkin: masalan, hisoblash tizimida ikki karrali yoki ko‘p karrali aniqlikni tashkil etish, samarali hisoblash algoritmlarini tanlash va h.k.

Agar kiruvchi interval aniqmasliklar, ya’ni interval kengligi katta bo‘lgan va natijaning oxirgi raqamlari ishonchliligi ahamiyatsiz bo‘lgan hollarda, EHM ning yaxlitlash muammosini shunchaki e’tiborsiz qoldirish mumkin.

Interval analizda yechim to‘plamlarini baholashda ko‘pincha ikki turdagi baholash amalga oshiriladi: bular ichki va tashqi interval baholashlardir [88].



3.1-rasm: a) Yechim to‘plamini ichki baholash;
b) Yechim to‘plamini tashqi baholash

Albatta bu baholashlardan tashqari usullar ham mavjud, ammo ichki va tashqi baholash usullari ko‘p sonli muhim interval amaliy masalalarni yechishga tadbiq qilingan.

Odatda yechimlar to‘plamini va funksiyalar qiymatlarini kafolatli tashqi interval baholashda interval arifmetikadan foydalaniladi, shuningdek, bu jarayonda tashqi yo‘naltirilgan yaxlitlash usuli qo‘llaniladi. Ba’zi hollarda esa, ya’ni ichki baholash masalalarida yo‘naltirilgan ichki yaxlitlash talab qilinadi.

Qanday qilib intervallar va interval ma’lumotli tiplar kompyuterda hisoblash uchun moslashtirilishi mumkin? Bu yerda biz interval analiz paydo bo‘lishidan boshlab o‘zini namoyon qilgan ikkita asosiy yo‘nalishlarni shartli ravishda ajratishimiz mumkin:

1. Ma’lumotlarning interval tipi, ular ustida amallar va munosabatlar kiritilgan mustaqil dasturlash tilini yaratish.
2. Mavjud dasturlash tillari asosida interval amallar va munosabatlar uchun interval kutubxonalar yaratish.

Interval analiz sohasidagi dasturiy mahsulotlar seriyasi o'tgan asrning 60-yillarida Germaniyaning Karlsruhe universitetida ishlab chiqila boshlagan. Ushbu universitet professori U.Kulish rahbarligida "real interval – haqiqiy interval" tipiga ega bo'lgan hamda bu tipdagi ob'ektlar bilan interval arifmetik amallarni bajarishga mo'ljallangan ALGOL-TRIMPLEX algoritmik tili yaratildi. Bu algoritmik til ALGOL-60 tilining kengaytirilgan varianti edi. Keyinchalik shu olimlar jamoasi tomonidan XSC – "eXtention for Scientific Computing" avlod dasturlash tillari yaratildi va u "ilmiy hisoblashlarni kengaytirish uchun" kabi ma'noni anglatadi. Bu toifadagi dasturlash tillariga: Pascal-XSC [49], Fortran-XSC va C-XSC [50] lar kiradi.

3.1.1. Interval hisoblashlar uchun IEEEstandartlari

Haqiqiy intervallarning chegaralari haqiqiy sonlardan iborat ekanligini hisobga olsak, haqiqiy sonlar EHMda suzuvchi nuqtali sonlar orqali tasvirlanadi. Suzuvchi nuqtali son quyidagicha tasvirlanadi:

$$\pm d_0, d_1 d_2 \dots d_{p-1} \times \beta^e, \quad (3.1)$$

bu yerda $\pm d_0, d_1 d_2 \dots d_{p-1}$ - p -qiymatli mantissa, β -asos, e -sonning tartibi (darajasi) va u $[e_{\min}, e_{\max}]$ interval bilan chegaralangandir. (3.1) ko'rinishdagi tasvirlash quyidagi haqiqiy songa mos keladi

$$\pm (d_0 \beta_0 + d_1 \beta^{-1} + d_2 \beta^{-2} + \dots + d_{p-1} \beta^{p-1}) \times \beta^e, \quad (3.2)$$

bunda $0 \leq d_i < \beta$.

3.1-misol. 0,5 son o'nlik sanoq sistemasida oshkor ifoda etilmagan. Agar $\beta = 10$ va $p = 4$ bo'lsa, bu sonning suzuvchi nuqtali shakli $5,000 \times 10^{-1}$, agar $\beta = 2$ va $p = 6$ bo'lsa, $1,000 \times 2^{-1}$ ko'rinishda bo'ladi.

Sonlarni bunday tasvirlash yagona usul hisoblanmaydi. Masalan,

$$2,500 \times 10^{-1} = 0,025 \times 10^1. \quad (3.3)$$

Bu taqqoslash talab qilinadigan ba'zi algoritmlarni qurishda qiyinchilik tug'diradi. Tasvirlashning yagonaligini ta'minlash uchun (3.1) dagi katta razryad d_0 ni nolga teng bo'lmagan holda berishga majburlamiz. Natija normallashtirilgan tasvirlash deb ataladi.

IEEE 754 standarti suzuvchi nuqtali shaklda ikkilik ($\beta = 2$ bo'lgan hol uchun) kod orqali tasvirlash normativini aniqlaydi. Ushbu standart raqamli EHM lar uchun haqiqiy sonlarni ikkilik kodi asosida (suzuvchi nuqtali formatda) tasvirlashni tartibga solish maqsadida AQSh ning elektrotexnika va elektronika muhandislar instituti (IEEE -Institute of Electrical and Electronics Engineers) assosatsiyasi tomonidan ishlab chiqilgan. U ko'plab mikriprotessorlarda va mantiqiy qurilmalarda,

shuningdek, dasturlash vositalarida ishlatiladi. Uning to'liq nomi IEEE Standard for Binary Floating-Point Arithmetic (ANSI/IEEE Std 754-1985) deb ataladi. 2008 yilda IEEE 754-2008 standarti qabul qilindi va IEEE 754-1985 standarti to'raligicha uning tarkibiga kiritildi.

2008 yildan 2015 yilgacha interval arifmetik amallarni standartlashtirish ishlari olib borilishi natijasida 2015 yilning iyun oyida interval analiz sohasida tadqiqot olib borayotgan olimlarning ko'p yillardan buyon kutayotgan IEEE 1788 standarti qabul qilindi. IEEE 1788 standartida interval arifmetikaning bazaviy amallari kiritilgan, shuningdek, amalda ko'p tadqiq qilinadigan interval matematik modellarni tanlash va ular ustida ishlash amalga oshiriladi. Bundan tashqari yangi matematik modellarni tizimga kiritish, hisoblash jarayonini kuzatib borish imkoniyatlari yaratilgan. Mazkur standart interval hisoblashda amaliy foydalanish uchun IEEE-754/2008 suzuvchi nuqtali tiplarini qo'llab-quvvatlaydi. IEEE 1788 standarti kompyuterning apparatli ta'minoti va dasturlash tilining darajasi o'rtasida muvofiqlik o'rnatadi. Hozirgi kunda ushbu standartga muvofiq bir nechta bepul kutubxonalar ishlab chiqildi: bular C++ kutubxonasi libieep1788 [46], Java dasturlash tili uchun Jinterval kutubxonasi, shuningdek, erkin tarqatiluvchi matematik tizim GNU Octave uchun Oliver Heylmich tomonidan yaratilgan interval paketi hisoblanadi. Bu kutubxonalar aynan shu standartga moslashtirilganligi bilan interval hisoblashlar uchun ishlab chiqilgan boshqa dasturiy mahsulotlarga nisbatan ustunlikka ega ekanligini e'tirof etish mumkin. 2017 yil dekabr oyida IEEE 1788 standartning ishlash printsipini soddalashtirish va hisoblash tezligini oshirishga mo'ljallangan IEEE Std 1788.1-2017 kichik to'plam qabul qilindi.

3.1.2. Kompyuterda interval arifmetik amallarni bajarish muammolari

Kompyuterli hisoblashlarda xatoliklar tarqalishining muhim tavsifiy jihatlardan biri sonni tasvirlash shakli hisoblanadi. Ma'lumki haqiqiy sonlar kompyuterda fiksirlangan yoki suzuvchi nuqtali (floating point numbers) sonlar shaklida tasvirlanadi. Fiksirlangan nuqtali holatda yaxlitlash xatoligining manbasi faqat ko'paytirish va bo'lish amallari hisoblanadi. Suzuvchi nuqtali holatda esa yaxlitlash xatoligi faqat amalni aniq bajarishni hisobga oluvchi sistemali vosita ishga tushirilgan holatlarda paydo bo'ladi.

Suzuvchi nuqtali sonlarning asosiy kamchiligi quyidagilardan iborat:

➤ haqiqiy sonlarning ko'pchiligini mantissa uzunligi chekli bo'lganligi sababli suzuvchi nuqtali son yordamida aniq ifodalab bo'lmaydi;

➤ suzuvchi nuqtali sonlar ustida bajariladigan arifmetik amallar xossalari haqiqiy sonlar ustida bajariladigan ideal matematik amallar xossalaridan (qutulib bo'lmaydigan yaxlitlash tufayli) farq qiladi;

➤ suzuvchi nuqtali formatdagi son, u tasvirlayotgan kattalikning aniq ekanligi haqidagi hech qanday ma'lumotni bermaydi.

Demak, suzuvchi nuqtali mavjud hisoblash modeli sonni aniq tasvirlay olmaydi va hisoblash xatoligini ham nazorat qilolmaydi. Shuning uchun ham suzuvchi nuqtali ko'pgina hisoblashlarda natija aniqligi tahlilini bermaydi. Bunday hisoblashlar muhim kritik qarorlar qabul qilishda katta tavakkalchilikka olib keladi. Bunday holatga AQSh ning 1991 yil 25 fevraldagi "Petriot" zenit raketasi (Saudiya arabistoni) dagi halokatini misol qilib keltirish mumkin. U aslida Amerika harbiy ob'ektlarini himoya qilish maqsadida Iroqning "Skad" raketasini yo'q qilish uchun uchirilgan edi, suzuvchi nuqtali formatda bajarilgan hisoblashlarda yaxlitlash xatoligining hisobga olinmagani natijasida raketa nishondan 700 metrga adashgan. Shuningdek, 1996 yil 4 iyunda Gvianada uchirilgan "Arian-5" nomli frantsuz kosmik raketasi portlashiga ham kompyuterdagi hisoblash xatoligi sabab bo'lgan [28].

Interval analiz usullari kompyuter hisoblashlarida sodir bo'ladigan barcha turdagi xatoliklarni nazorat qilish imkoniyatiga ega. Bunga misol sifatida Shvetsiyaning Upsal universiteti professori V. Tukerning dinamik tizim parametrlari uchun Lorents attraktorining qat'iy isbotini topganligini keltirish mumkin. Bu muammo dinamik tizim modellari bilan shug'ullanadigan mutaxassislar hamjamiyatida yangi ming yillik uchun qo'yilgan katta masala edi. V. Toker ushbu muammo yechimini isbotlashda ko'p o'lchovli interval arifmetika yordamida qat'iy kafolatlangan, kompyuterda olingan baholarni qo'llaydi [32].

Interval arifmetik amallar natijasini ikki tomonlama qamrab olish uchun, natijaviy intervalni tashqi intervalga korrektirovka qilish zarurati tug'iladi. Bu quyidagicha amalga oshiriladi: interval arifmetik amal bajarilgandan keyin natijaviy intervalning chap chegarasi $(1 - \varepsilon_M)$ ga, o'ng chegarasi esa $(1 + \varepsilon_M)$ ga ko'paytiriladi, bunda ε_M - dasturlash tili vositasida tasvirlash mumkin bo'lgan eng kichik musbat son.

Dasturlash tillarida arifmetikaning ixtiyoriy (yoki chekli talab qilingan) aniqlikka erishish doim nazarda tutilishini ta'kidlash lozim.

Ushbu turdagi arifmetikalar juda qiyamati baland, ammo ulardan foydalanish ba'zi zamonaviy sonli algoritmlarning kritik nuqtalarida juda zarur hisoblanadi (va yaqin kelajak uchun kerak bo'ladi). Gap shundaki, interval arifmetikaning o'zi natija aniqligini oshiruvchi vosita bo'lolmaydi. Uni hisoblash jarayonida yaxlitlash xatoligini shunchaki nazorat qilish vositasi sifatida qarash mumkin, lekin yaxlitlash xatoligining paydo bo'lishiga ta'sir qilolmaydi. Hisoblash va yakuniy natijalar aniqligini oshirish uchun yaxlitlash xatoliklariga qarshi faol vositalar kerak, ya'ni oraliq ma'lumotlar va ular bilan hisoblashlarning aniqligini oshirish, hech bo'lmaganda algoritmlarning tanlangan joylarida, algoritmlarning o'zlarini qayta tuzish va h.k.

Interval arifmetika mallarning zaruriy komponenti bo'lgan suzuvchi nuqtalar arifmetikasi uchun yaxlitlash rejimini doimiy ravishda joriy etish – interval hisoblashlarning sekinlashishiga olib keladi va umumiy ishlash ko'rsatkichlarini sezilarli darajada pasaytiradi. Keyingi qadam apparat ta'minotini yo'lga qo'yish – interval arifmetikaga oid ko'rsatmalarning to'liq to'plamini tashkil qilish, bu oddiy nuqtali va interval amallarda kompyuterlar tezligidagi uzilishni minimal darajaga tushirishga imkon yaratadi.

Interval dasturlash tillarini rivojlantirish istiqbollari haqida so'z yuritganimizda shuni ta'kidlash kerakki, ular yaxlitlash rejimini to'liq nazorat qilishlari lozim, ya'ni foydalanuvchining xohishiga ko'ra turli xil amallarda kerakli rejimni yoqish, o'chirish va tayinlash, shuningdek, arifmetik amallarning yo'naltirilgan yaxlitlashsiz variantini kiritish ham mumkin bo'lishi kerak. Xususan, bizga «qanday kerak bo'lsa» shunday yaxlitlaydigan maxsus Input/Output formatlari zarur bo'ladi.

Interval arifmetik amallarning asosiy kutubxonalarini tashkil qilish unchalik qiyinchilik tug'dirmaydi va bu ishni ixtiyoriy yuqori darajali dasturlash tillarida (C, C++ va b.) suzuvchi nuqtali mashina arifmetikasi xususiyatlari bilan tanish bo'lgan o'rtacha tajribaga ega dasturchilar amalga oshirishi mumkin. C++ dasturlash tili bo'yicha bunday ko'rsatma, masalan, [33] kitobning “O'zing bajar” («Do it yourself») bobida berilgan.

Muayyan turdagi protsessorlar va kompyuter arxitekturalari uchun interval arifmetikaning ishlashini optimallashtirish, shuningdek, elementar funktsiyalarning interval kengaytmalarini (funktsiyalarning eng yaxshi yaqinlashish matematik muammosi bilan chambarchas bog'liq) amalga oshirish ancha qiyin masala hisoblanadi.

3.1.3. Interval algoritmlar uchun yaratilgan dasturiy mahsulotlar tahlili

Interval analiz sohasida yaratilgan hisoblash dasturiy mahsulotlari xilma-xildir. Interval analiz yo‘nalishining paydo bo‘lishiga ham aynan masalalarni EHMda yechish jarayoni turtki bo‘lgan deyish mumkin. Demak, interval analiz sohasining rivojlanishi bevosita kompyuter texnologiyalari va ularning dasturiy ta‘minoti bilan uzviy bog‘liqdir.

Sohada yaratilgan dasturiy mahsulotlar haqidagi ma‘lumotlarni [34,35] manbalardan olish mumkin. Bu manbalarda keltirilgan interval dasturiy mahsulotlar ro‘yxati doimo yangilanib va to‘ldirilib borilmoqda. Ayniqsa, AQSh ning El-Paso dagi Texas universiteti professori V.Kreynovich tomonidan tashkil etilgan “Interval Computations” saytidan [35] interval hisoblashlarga mo‘ljallangan oddiy kalkulyatordan tortib, to ixtisoslashtirilgan dasturlash tillargacha ma‘lumotlar olish mumkin. Quyida interval analiz sohasidagi, ya‘ni soha mutaxassislari tomonidan ko‘p foydalanilayotgan ba‘zi asosiy amaliy dasturlarning tahlilini keltiramiz:

- **Interval arithmetic specification**, Sun Microsystems, 2000.
- Rossiya Federatsiyasi Novosibirsk shahridagi “UniPro” kompaniyasining D.V.Shiryayev boshchiligidagi bir guruh xodimlari tomonidan Sun Microsystems korporatsiyasi (hozirda Oracle ga birlashgan) buyurtmasiga asosan ishlab chiqilgan interval Fortran-95. Ushbu mahsulot tarixiy ahamiyatga ega, chunki u keyinchalik interval hisoblashlarga mo‘ljallangan bir nechta kutubxonalar va dasturlash tillarining yaratilishiga sabab bo‘ldi.

- **Jinterval** loyihasi. Ushbu loyiha Rossiya Federatsiyasi Altay davlat universiteti professori S.I.Jilin va uning guruhi a‘zolari tomonidan amalga oshirilmoqda. Loyihaning asosiy tamoyillari va imkoniyatlari quyidagilardan iborat:

- loyihaning ochiqligi;
- hisoblash yo‘nalishlarini tanlash ta‘minoti asosida yuqori hisoblash tezligi hamda yuqori aniqlik;
- kengaytirilgan funktsionallik.

Bunda loyihaning ochiqligi hisoblash tizimida texnik va arxitekturaviy qarorlar qabul qilishda qatnashish imkonini beradi, ya‘ni ixtiyoriy qiziquvchi interval kutubxonaga komponent qo‘shishi mumkin. Ushbu interval kutubxonaning dastur kodlari internet [88] manziliga to‘liq joylashtirilgan.

- **Scilab** – matematik tizimida **Int4Sci** interval paketi. Scilab – matematik kompyuter sistemasi bo‘lib, **MatLab**ning yevropa versiyasiga o‘xshaydi. Scilabning asosiy xususiyati uning tijorat mahsuloti emasligida, ya’ni erkin, boshlang‘ich kodlari bilan tarqatilishidir. Uning Gnu/Linux, Mac OSX, Windows Vista/7/8/10 va boshqa platformalarda ishlaydigan versiyalari mavjud. Scilab haqida kerakli ma’lumotlarni [36] kitobidan olish mumkin. Int4Sci – Scilabning interval kutubxonasi bo‘lib, frantsuz ishlab chiqaruvchilari tomonidan yaratilgan va erkin tarqatiladi. Afsuski Int4Sci - Scilab 4 versiyasi uchun ishlab chiqarilgan. Hozirgi paytda Scilab 5 ishlab chiqarilgani bois, Scilab 4 nisbatan eskirgan. Int4Scini Scilab 5 ga moslashtirish uchun loader.sce yuklovchifayl-senariydan foydalaniladi. Aniqrog‘I yordamchi sistemaning kompilyatsiyasiga javob beruvchi 6 va 7-satrlarini o‘chirish kerak. Shunda Scilab tomonidan Int4Sci yo‘nalishida yordam bo‘lmaydi, ammo interval buyruqlar va operatorlar ishlab turadi.

- **Octave – matematik tizimi uchun interval paketi.** Ushbu interval paket **Octave** tizimi yadrosida ishlaydi. Octave tizimini MatLab va Scilab tizimlarining analogi deyish mumkin. U o‘zining yuqori darajali dasturlash tili bilan ta’minlanganligi, erkin tarqatiluvchi dasturiy mahsulot ekanligi bilan matematik tizimlar ichida mashhur bo‘lib, asosan sonli hisoblashlar va ma’lumotlarni grafik tasvirlash, ya’ni vizuallashtirish borasida nisbatan katta imkoniyatlarga ega. Octave tizimining interval paketi Germaniyalik dasturchi Oliver Haymlix tomonidan yaratilgan bo‘lib, barcha interval arifmetik va mantiqiy amallarni bajarishga, shuningdek, interval analizning standart usullari uchun ko‘plab protseduralarga ega. Interval paket erkin tarqatiluvchi dasturiy mahsulot bo‘lganligi uchun soha olimlari tomonidan doimiy ravishda boyitib borilmoqda. Ushbu paketning yana bir ustunlik tomoni – u EHM da bajariladigan interval hisoblashlar uchun IEEE 1788 standarti talablarini qanoatlantirishidir.

- **IntLab** – MatLab matematik tizimi uchun interval paket. Nemis matematigi S. Rump [37] tomonidan asos solingan ushbu interval paket MatLab sistemasida ishlaydi va hozirgi kunda ham ko‘plab tadqiqotchilar tomonidan foydalanib kelinmoqda [38]. Paket kutubxonasi boshqa interval paketlarga nisbatan ancha boyitilgan. IntLab paketida quyidagi soha algoritmlari bo‘yicha hisoblashlarni amalga oshirish mumkin:

- Haqiqiy intervallar va shu tipdagi massivlar (vektorlar va matritsalar) ustida arifmetik amallar;

- avtomatik differentsiallashtirish (parallel hisoblashlar);
- chiziqsiz tenglamalar sistemasini yechish uchun gradientlar;
- Hessian bo'yicha global optimallashtirish (ko'p o'zgaruvchili funktsiyalar uchun);
- Bir va ko'p o'zgaruvchili interval ko'phadlar;
- interval xos qiymat va singulyar qiymat masalalari;
- haqiqiy intervalli elementar funktsiyalar;
- kompleks intervalli elementar funktsiyalar va boshqalar.

Ushbu paket uchun chex olimi J.Rohn tomonidan ishlab chiqilgan **VERSOF**T deb nomlanuvchi kutubxonani alohida ta'kidlash lozim. Ushbu kutubxona asosan chiziqli algebra va optimallashtirish masalalari algoritmlarini o'z ichiga oladi. IntLab dasturining kamchiliklaridan biri, u tijorat mahsuloti hisoblanadi, ya'ni so'nggi versiyalari pullik. IntLab dasturining oxirgi versiyasi IntLab 12 bo'lib, bu versiya Octave tizimiga ham moslashtirilgan.

- I.A.Sharaya [36] tomonidan yaratilgan chiziqli interval sistemalarning yechim to'plamlarini vizuallashtirishda qo'llaniladigan dasturlar.

IntLinIncR3 – uch noma'lumli chiziqli interval sistemalarning yechimlar to'plamini vizuallashtirish uchun dasturlar majmui bo'lib, MatLab sistemi uchun Toolbox hisoblanadi. Ushbu dasturiy mahsulotni

$$\begin{pmatrix} 3.5 & [0,2] & [0,2] \\ [0,2] & 3.5 & [0,2] \\ [0,2] & [0,2] & 3.5 \end{pmatrix} x = \begin{pmatrix} [-1,1] \\ [-1,1] \\ [-1,1] \end{pmatrix}$$

sistemaning mumkin bo'lgan yechimlari to'plamini vizuallashtirish misolida ko'rib chiqamiz:

1) Sistemaning boshlang'ich berilgan ma'lumotlarini kiritamiz:

$$\underline{A} = \begin{pmatrix} 3.5 & 0 & 0 \\ 0 & 3.5 & 0 \\ 0 & 0 & 3.5 \end{pmatrix}, \quad \bar{A} = \begin{pmatrix} 3.5 & 2 & 2 \\ 2 & 3.5 & 2 \\ 2 & 2 & 3.5 \end{pmatrix}, \quad \underline{b} = \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \end{pmatrix}, \quad \bar{b} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Ya'ni,

>> inf A = [3.5 0 0; 0 3.5 0; 0 0 3.5];

>> sup A = [3.5 2 2; 2 3.5 2; 2 2 3.5];

>> inf b = [-1; -1; -1];

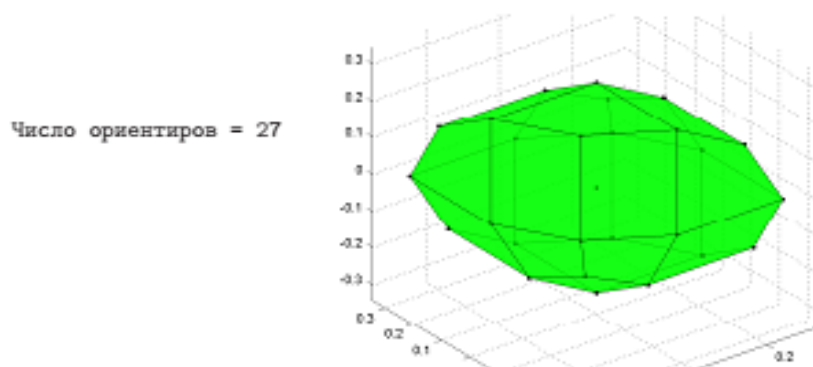
>> sup b = [1; 1; 1];

2) Argumentning boshlang'ich qiymatlari uchun EqnTolR3 ishga tushiruvchi funktsiyani chaqiramiz:

```
>>Orient Points = 1;
```

```
>>transparency = 1;
```

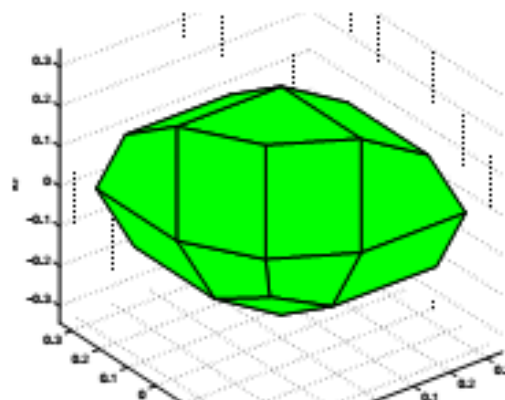
```
>> EqnTolR3(inf A, sup A, inf b, sup b, OrientPoints,  
transparency);
```



Yechim to'planning vizual shakliga ega bo'lamiz.

3) Ko'rish argumentini tanlaymiz. Rasm tahlili shuni ko'rsatadiki, yechim to'plam chekli, bo'shliq yo'q. EqnTolR3 funktsiyasini yana bir marta ishga tushiramiz

```
>> EqnTolR3(inf A, sup A, inf b, sup b, 0, 0);
```



va natijada rasmdagi shaffoflik yo'qoladi. Rasmni qayta ishlashimiz mumkin. Buning uchun MatLab ning rasmni ko'rishda qo'llaniladigan uskunalaridan foydalanamiz.

IntLinIncR2 – ikki noma'lumli chiziqli interval sistemalarning yechimlar to'plamini vizuallashtirish uchun dasturlar majmui.

AEsolset.ps – 2×2 o'lchamli interval chiziqli tenglamalar sistemasining AE-echimlar to'plamini vizuallashtirish uchun PostScript tilida tuzilgan dastur.

- **intpakX** – Maple matematikaviy tizimi uchun interval paket. Ushbu interval paketning eng ustunlik tomoni shundaki, unda boshqa paketlardan farqli ravishda simvolli analitik hisoblashlarni amalga oshirish mumkin. Odatda simvolli hisoblashlar deganda shakl almashtirish, o'rniga qo'yish, soddalashtirish va boshqa amallar tushuniladi. Simvolli-analitik amallar hisoblashlarni yuqori aniqlikda olishga imkon yaratadi. Chunki, algebraik yoki boshqa turdagi ifodalarda almashtirishlar yordamida interval yechim kengligining ortib ketishi, yoki boshqacha aytganda intervallarning kengayib ketish effekti [40] bartaraf etilishi mumkin.

- C++ dasturlash tilida interval hisoblashlar uchun yaratilgan kutubxonalar:

- **boost**;
- **filib++**;
- **libieeep1788** – bu interval kutubxona IEEE 1788 standarti asosida yaratilgan va bugungi kunda ob'ektga yo'naltirilgan dasturlar ichida eng peshqadami hisoblanadi;

- **C-XSC** - interval kutubxonasi C++ tilida yaratilgan boshqa kutubxonalarga nisbatan ancha boyitilgan;

- **PROFIL/BIAS** – C++ tilida yozilgan va boshqa shu tilda yaratilgan kutubxonalar uchun namuna deb qarash mumkin bo'lgan (Basic Interval Arithmetic Subroutines Library) interval kutubxonasi [41];

- **Gaol** – interval kutubxonasini yaratgan mualliflarning fikricha, bu interval arifmetikaga moslashtirilgan va foydalanish oson va qulay bo'lgan dasturiy mahsulot.

C++ dasturlash tili asosan ilmiy hisoblashlar uchun mo'ljallanganligi, shuningdek, ob'ektga yo'naltirilgan dasturlash tili bo'lganligi uchun, mazkur tilda juda ko'plab interval kutubxonalar yaratilgan.

3.1.4. C++ tilida interval sinflar yaratish

C++ tilida INTERVAL tipli obyektlar yaratish masalasiga to'xtalamiz. Buning uchun interval ma'nodagi obyekt tushunchasiga aniqlik kiritamiz. Obyekt – bu unga qo'llanadigan o'zgaruvchilar va funksiyalardir. C++ tilida obyekt tushunchasi sinflar yordamida amalga oshiriladi. INTERVAL sinflar dasturdan foydalanuvchilarga interval hisoblashlarni bajarishda mayda detallarga e'tibor qaratmaydigan darajada qurilishi talab qilinadi. INTERVAL sinflar o'z ichiga intervallarning xossalari, intervallar ustida turli arifmetik va mantiqiy amallarni aniqlash, interval arifmetikaning xarakteristik funksiyalari, kiritish-chiqarish va h.k.larni o'z ichiga oladi.

Bizning kutubxonamiz uchun INTERVAL sinflarni tashkil qilishda barcha xossa va funksiyalarni o'zida mujassamlashtirgan ival.h bosh faylini aniqlash birinchi qadam hisoblanadi:

```
//-----  
// Fayl: ival.h  
//Vazifasi: INTERVAL sinfini tasvirlash  
#ifndef _INTERVAL_  
#define _INTERVAL_  
#include <iostream.h> //formatlanmagan bazaviy kiritish-chiqarish  
uchun  
class INTERVAL {  
    private:  
        double inf, sup;  
    public:  
// konstruktorlar  
        INTERVAL()  
            (inf = 0, sup = 0);  
        INTERVAL(const double a, const double b)  
                                                    // initsiallashtirish  
                                                    // konstruktori  
            (inf = a, sup = b);  
        INTERVAL(const double & a)//nusxalash konstruktori  
            (inf = a.inf, sup = a.sup);  
// destruktore  
        ~INTERVAL() ();  
// funksiya-a'zo  
        INTERVAL& operator=(const INTERVAL&); //o'zlashtirish  
// do'ztona-funksiya
```

```

// o‘qish funksiyalari
    friend double Inf(const INTERVAL& a)
        {return a.inf};
    friend double Sup(const INTERVAL& a)
        {return a.sup};
    friend double Wid(const INTERVAL&)
    friend INTERVAL Hull(const INTERVAL&, const
INTERVAL&);
// yuklangan operatorlar
    friend INTERVAL operator+(const INTERVAL&, const
INTERVAL&);
    friend INTERVAL operator/(const INTERVAL&, const double);
    friend ostream& operator<<(ostream&, const INTERVAL&);
// ...
}; // nuqtali vergul orqali sinf bloki tugaydi
#endif
//-----

```

Bosh fayl sinfning hujjatlashtirilishiga xizmat qiladi. Bosh fayl ko‘pincha #ifndef..., #define... dan boshlanib, #endif bilan tugaydi. Bunda `_INTERVAL_` nom ixtiyoriy tanlab olindi. Sinf class kalit so‘zi bilan boshlanadi, undan keyin uning nomi hamda uning xossalari va usullarini ichiga oluvchi “{...};” blok yoziladi. Bizning INTERVAL sinfimizda intervallarning quyi va yuqori chegaralari mos ravishda inf va sup ikkita private xossasi orqali beriladi.

INTERVAL tipini tashkil qilish float tipini tashkil qilishga juda o‘xshaydi. Quyida ival.h bosh faylni qo‘llovchi dasturni keltiramiz:

```

//-----
// Fayl: firstapp.cpp
// Vazifasi: INTERVAL sinfini qo‘llash uchun kod
#include <ival.h>
int main()
{
    INTERVAL x; //jimlik holatidagi (поумолчанию)
// konstruktor qo‘llash
    INTERVAL y(2,3); //initsiallashtirish konstruktorini qo‘llash
    INTERVAL z(y); //nusxalash konstruktorini qo‘llash
    //...
}
//-----

```

Konstruktorlar yaratilgan ob'ektlarni ishga tushirishga imkon beradi. Bu yerda ular interval chegaralarini aniqlaydi. Yuqoridagi dastur kodida keltirilgan birinchi konstruktor x o'zgaruvchiga 0 ga teng bo'lgan teng chegaralarni beradi, ya'ni $x=[0,0]$. Ikkinchi konstruktor esa $y=[2,3]$ ni aniqlaydi. Bu konstruktor intervalning to'g'ri berilishini ham nazorat qiladi, masalan, chap chegara o'ng chegaradan kichik ekanligini va xatoliklar haqida axborot ham beradi, agar xatolik sodir bo'lsa. Nihoyat, uchinchi nusxalash konstruktori zo'zgaruvchiga yo'zgaruvchining qiymatini nusxalaydi va natijada $z=[2,3]$ bo'ladi.

Destruktorlar o'zgaruvchilar uchun ajratilgan yacheykani dinamik tozalashda avtomatik chaqiriladi va funksiyadan chiqish jarayonida qo'llaniladi. Shunday qilib, firstapp.cpp faylda main() funksiyasidan chiqishda destruktordan uch marta chaqiriladi.

Endi intervallarni tuzishni va o'zgaruvchilarga o'zlashtirishni bilib oldik. Keyingi qadamda ival.h faylida kiritilgan funksiya-a'zolari aniqlashtiramiz. Destruktordan keyin yozilgan birinchi funksiya:

INTERVAL& operator=(const INTERVAL&);
 intervallar uchun o'zlashtirish operatori "=" yuklanishini amalga oshiradi. Bu funksiya chaqirilayotgan INTERVAL tipga INTERVAL sinf argumenti qiymatini o'zlashtiradi. Uning argumenti const kvalifikatoriga ega, bu esa funksiya ichida argument qiymati o'zgarmasligini bildiradi. Bu tarzdagi himoya, ayniqsa, funksiyaga bir nechda murojaat qilinganida foydalidir, ya'ni kompilyator argumentning qiymati o'zgarmas ekanligini hisobga oladi. O'zlashtirish operatorini yuklovchi dastur quyidagi ko'rinishda bo'lishi mumkin:

```
//-----
// Fayl: ival.cpp
// Vazifasi: INTERVAL sinfini ishga tushirish
#include "ival.h"//INTERVAL sinfini ishlatish uchun
int main()
    INTERVAL&INTERVAL:: operator=(const INTERVAL& a)
    {
        if (this==&a) // a=a mustaqil o'zlashtirishni bekor qiladi
            return (*this);
        inf = a.inf; sup= a.sup;
        return (*this);
    }
//...
//-----
```

Bunda this kalit so‘zi joriy obyekt ko‘rsatmasiga mos keladi, ya’ni *this obyektning o‘ziga murojaatni bildiradi. Yuklangan o‘zlashtirish “=” operatori quyidagicha ishlatilishi mumkin:

```
INTERVAL x, y(3,4), z(1,3);  
x=y;  
y=x=z; //bu ketma-ket bajarilishi natijasida  
//x va y endi z ga teng
```

ival.h fayliga kiritilgan oxirgi funksiyalar INTERVAL sinf uchun do‘stona-funksiya hisoblanadi. Bu sinfdagi funksiya-a’zo va do‘stona-funksiya xususiy xossalarga ega, lekin ularni chaqirish sintaksisi bilan farq qiladi. Do‘stona funksiyaga murojaat matematik funksiyalar uchun oddiy sintaksisga bo‘ysunadi.

Interval sinfnig Inf va Sup do‘stona funksiyalari faqat interval chegaralarini o‘qishni ta’minlaydi:

```
INTERVAL x(3,4);  
double lowerbound;  
lowerbound = Inf(x); //do‘stona funksiyani chaqirish
```

Funksiya-a’zolar “.” operatorni qo‘llashni talab qiladi va shuning uchun ham intuitiv tushunish qiyin. Bu funksiyalar interval xarakteristik xossalarni olish uchun ishlatiladi, ya’ni interval kengligi, markazi yoki radiusi, shuningdek, oddiy matematik funksiyalarning (sin, cos, exp, ...) qiymatlarini hisoblash.

Intervalning kengligini hisoblash uchun quyidagi dasturdan foydalanish mumkin:

```
//-----  
// Fayl: ival.cpp (davomi)  
// ...  
double wid(const INTERVAL& a)//INTERVAL kengligini hisoblash  
    { return a.sup - a.inf; }  
//...  
//-----
```

Intervallar ustida binary arifmetik amallarni tashkil qilishda do‘stona-funksiyadan quyidagicha foydalanamiz, masalan “+” amali uchun:

```
//-----  
// Fayl: ival.cpp (davomi)
```

```

// ...
#include <float.h>//yaxlitlash tipini boshqarish uchun
// ...
INTERVAL operator+(const INTERVAL& a, const INTERVAL& b)
{
    INTERVAL res;
    unsigned int cw=_control87(NULL,NULL); //joriy yaxlitlash
                                                // tipini eslab qoladi
    _control87(RC_DOWN,MCW_RC);// pastga, ya'ni  $-\infty$  ga yaxlitlash
    res.inf=a.inf+b.inf;
    _control87(RC_UP,MCW_RC);// yuqoriga, ya'ni  $+\infty$  ga yaxlitlash
    res.sup=a.sup+b.sup;
    _control87(cw,MCW_RC);// dastlabki yaxlitlash tipi tiklanadi
    return res;
}
//...
//-----

```

Ushbu dasturda float moduliga murojaat qilish natijasida `_control87(. , .)` ifodani qo'llash imkoniyati paydo bo'ladi, ya'ni IEEE 754 standartiga mos Intel matematik protsessorini boshqaradigan o'zgaruvchini olish va o'zgartirish uchun.

Intervalni intervalga bo'lish "/" operatorini yuklash, agar bo'luvchi interval o'z ichida nol saqlamasa, unchalik qiyinchilik tug'dirmaydi. Bo'lish amali uchun nisbatan soddaroq, ya'ni bo'luvchi interval son emas, balki double tipidagi haqiqiy son bo'lgan holni ko'ramiz. Agar bo'luvchi nolga teng bo'lsa, quyidagi dastur natija sifatida butun haqiqiy sonlar o'qi approksimatsiyasini [-Infinity, Infinity] interval ko'rinishida chiqaradi:

```

//-----
// Fayl: ival.cpp (davomi)
// ...
INTERVAL operator/(const INTERVAL& a, const double b)
{
    INTERVAL res;
    unsigned int cw=_control87(NULL,NULL); //joriy yaxlitlash
                                                // tipini eslab qoladi
    if (b>0)
        {_control87(RC_DOWN,MCW_RC);// pastga, ya'ni  $-\infty$  ga yaxlitlash

```



```

res.inf=a.inf/b;
_control87(RC_UP,MCW_RC);// yuqoriga, ya'ni  $+\infty$  ga yaxlitlash
res.sup=a.sup/b; }
else if (b<0)
{ _control87(RC_DOWN,MCW_RC);// pastga, ya'ni  $-\infty$  ga yaxlitlash
res.inf=a.sup/b;
_control87(RC_UP,MCW_RC);// yuqoriga, ya'ni  $+\infty$  ga yaxlitlash
res.sup=a.inf/b; }
else
{ res.inf = -Infinity; res.sup = Infinity; }

_control87(cw,MCW_RC);// dastlabki yaxlitlash tipi tiklanadi
return res;
}
//...
//-----

```

Matematikadagi $+\infty$ ga mos keluvchi Infinity kattaligi C++ tili standartiga kiritilmaganligi va aniqlanmaganligi bois, uni o'zining bitlik shaklini qo'llab tasvirlaymiz hamda ival.h faylining boshida joylashtiriladi:

```

//-----
// Fayl: ival.h
// Vazifasi: INTERVAL sinfini tasvirlash
#ifndef _INTERVAL_
#define _INTERVAL_

#include <iostream.h>//formatlanmagan bazaviy
//kiritish-chiqarish uchun
// Infinity kattaligini bitli tasvirlash

union UREAL {unsigned short ushort[4]; double real; };

static union UREAL PosInfty={{0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x7FF0}};

static double Infinity = PosInfty.real;
class INTERVAL{
//...
//-----

```

Oxirgi dastur listingidagi ival.h fayli ichiga joylashtirilgan do'stona-funksiya binar chiqarish "<<" operatorini yuklaydi, ya'ni natijaviy intervalni ekranga chop etishni ta'minlash uchun. Bu holda interval chegaralarini ekranga chiqarish yoki faylga yozish imkoniyati mavjud. U quyidagicha tashkil etilishi mumkin:

```
//-----
// Fayl: ival.cpp (davomi)
// ...
#include <iostream.h>//axborot oqimidan foydalanish
    //imkoniyatini beradi
// ...
ostream& operator<<(ostream& os, const INTERVAL& a)
{
    os << "[" << a.inf << ", " << a.sup << "]";
    return (os);
}
//...
//-----
```

INTERVAL sinfini yaratishning bu versiyasi intervallar ustida ko'pgina boshqa amallarni bajarish imkoniyatini beradi.

Matematik standart funksiyalarni interval argumentdagi qiymatlarini hisoblash uchun func nomli alohida modul yaratish maqsadga muvofiq. Masalan, bu ishni PROFIL/BIAS [21] kutubxonasiga moslab tashkil qilish mumkin. Bu yaratiladigan func.h moduli math standart matematik kutubxonaning interval analogini ifodalaydi:

```
//-----
// Fayl: func.h
// Vazifasi: INTERVAL sinfi uchun standart matematik funksiyalar
#ifdef _FUNCTIONS_
#define _FUNCTIONS_

#include "ival.h"//INTERVAL sinfini qo'llash uchun
#include <math.h>//standart matematik kutubxonani ulash

INTERVAL Exp (const INTERVAL& x);
INTERVAL Log (const INTERVAL& x);
//...
```

```

INTERVAL Sin (const INTERVAL& x);
INTERVAL Cos (const INTERVAL& x);
INTERVAL Tan (const INTERVAL& x);

//...

INTERVAL Sqr (const INTERVAL& x);
INTERVAL Sqrt (const INTERVAL& x);

//...

INTERVAL ArcSin (const INTERVAL& x);
INTERVAL ArcTan (const INTERVAL& x);

//...

#endif
//-----

```

Ayniqsa monoton funksiyalarni ishlatish juda qulay. Quyida ekspopensial funksiyani func.cpp shaklida ishlatishni ko‘ramiz:

```

//-----
// Fayl: func.cpp
// Vazifasi: INTERVAL sinfi uchun standart matematik funksiyalar
#include "func.h"
//...
INTERVAL Exp(const INTERVAL& x)
{ return INTERVAL(exp(Inf(x), exp(Sup(x)))); }
//...
//-----

```

Logarifmik funksiyaning qiymatini hisoblash ham, xuddi shu tarzda amalga oshirilishi mumkin, faqat argumentning qiymati chegaralari musbat haqiqiy sonlar yarim o‘qida \mathbb{R}^+ bo‘lishi talab qilinadi.

Endi kvadrat funksiyaning interval kengaytmasi qiymatlarini hisoblash dasturini tuzamiz:

```

//-----
// Fayl:  func.cpp (davomi)
//...
INTERVAL Sqr(const INTERVAL& x)
{
    double infsqr = Inf(x)*Inf(x);
    double supsqr = Sup(x)*Sup(x);
    if (Inf(x) >= 0)
        return INTERVAL(infsqr, supsqr);
    else if (Sup(x) <= 0)
        return INTERVAL(supsqr, infsqr);
    else
        return INTERVAL(0, max(infsqr, supsqr));
}
//...
//-----

```

Ushbu paragrafda interval hisoblashlarni tashkil qilishda e'tiborga olish muhim bo'lgan muammolar o'rganildi. Xususan,

- interval tiplarni joriy etish usullari, ushbu tiplar bilan ishlashda EHM arxitekturasi va mashina arifmetikasining tashkiliy tamoyillarga bog'liqligi o'rganildi;
- Interval yechimlarni ichki va tashqi baholash usullarida interval arifmetikani tanlash masalasi tahlil qilindi;
- Interval hisoblashlarda IEEE 754 va IEEE 1788 standartlarining qiyosiy tahlili amalga oshirildi, shuningdek, bu standartlar asosida yaratilgan dasturiy ta'minotlar imkoniyatlari ochib berildi;
- C++ dasturlash tilida interval sinf (class) tashkil etish va undan real hisoblashlarda foydalanish boyicha ko'rsatmalar (instruksiya) va hisoblash jarayonidagi holatlar bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqildi.

3.1.4. Interval algoritmlarni kompyuterda amalga oshirishda ob'ektga yo'naltirilgan yondashuv

Hozirgi vaqtda interval usullar turli soha tadqiqotchilarining qiziqishini tobora ko'proq jalb qilmoqda. O'z navbatida, ushbu qiziqish yangi interval usullarni va interval arifmetikaning (IA) turli xil variantlarini ishlab chiqishga zamin yaratadi, bu muayyan muammolarning o'ziga xos xususiyatlarini hisobga oladi va muayyan jarayonni etarli darajada o'rganish uchun matematik ta'minot yaratadi. Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, interval sonning yangi talqinlari tavsifi mos keladigan arifmetikaning qoidalari interval matematikaga oid ko'plab adabiyotlarda uchraydi. An'anaviy interval tahlilda uchta asosiy muammo mavjud [37]:

- interval sonlar to'plamini qandaydir matematik tuzilma (struktura) sifatida tadqiq qilish, ya'ni interval sonlar to'plamini o'ziga akslantirishlar to'plami sifatida qarash;
- interval algoritmlarni tuzish, asoslash va tadqiq qilish;
- interval algoritmlarni kompyuterda hisoblash jarayonini tadqiq qilish.

Klassik (Mur) interval arifmetikasini qo'llash variantlari va turli maqsadlar uchun taklif qilingan interval arifmetikaning ba'zi eskirgan variantlari tahlili [53] da keltirilgan. Muayyan algoritmni to'g'ridan-to'g'ri amalga oshirish masalasida tadqiqotchilarning aksariyati bu muammoni interval ifodalarni qismlarga ajratish orqali hisoblash jarayonini modellashtirib, so'ngra mos qism dasturlar tashkil qilish yo'li bilan amalga oshirmoqda [54]. Foydalanuvchini interval analiz usullari haqida batafsil ma'lumotga ega bo'lishdan o'zod qilish masalasi mos M matritsalarini qurish yo'li bilan hal qilindi [41].

Tadqiqotchilar tomonidan ko'p iqtibos beriladigan [53] ishdan keyingi davrda paydo bo'lgan nashrlarni tahlil qilib, nafaqat o'rganilgan interval masalalarning va interval usullarining xilma-xilligi, balki muayyan masalalarni yechishda interval arifmetikaning yangi variantlarini ishlab chiqish va interval algoritmlar paketlarini yaratish masalalarini ham alohida ta'kidlash maqsadga muvofiq. Masalan, [45, 46] ishlarda, \mathbb{R} fazodagi interval hisoblash jarayonlarini tahlil qilishda, Mur bo'yicha ayirish amali bilan bir qatorda, Markov bo'yicha *nostandart ayirish* amali kiritildi, bu esa mualliflarga amallarni aniq bajarilish holatlarini hisobga olish va hisoblash xatoliklari o'sishining yaxshilangan baholarini olish imkonini beradi. Boshqa mualliflarning ishlarida IAning o'ziga xos variantlarini tanlash muhim rol o'ynaydi.

Masalan, [37] da interval koeffitsientli chiziqli algebraik tenglamalar sistemasining yechimlar to'plamlarini ichki baholash masalasini yechishda muallif Kauxerning umumlashtirilgan interval arifmetikasi \mathbb{KR} dan foydalanadi [33]. Bu nafaqat qo'yilgan masala uchun, balki ishlab chiqilgan interval algoritmlarning yaxshisamara berishiga olib keladi.

Binobarin, interval arifmetikaning ma'lum bir variantini tanlash va interval algoritmlarni kompyuterda bajarishda bunday tanlovni avtomatlashtirish uchun tegishli dasturiy ta'minotni yaratish zarurati paydo bo'ladi. Xususan, ushbu ishda quyidagi asosiy masala qo'yilgan: interval arifmetikaning mos variantini tanlash yo'li bilan algebraik ifoda qiymatini hisoblashni amalga oshirish uchun interval algoritmlar dasturiy majmuasini ishlab chiqish.

Ob'ektga yo'naltirilgan dasturlash konsepsiyasini eng qulay tarzda amalga oshira olish mumkin bo'lgan tillardan biri – bu C++ tilidir. Bu tilning imkoniyatlaridan samarali foydalanib, algebraik ifodaning qiymatini saqlagan holda hisoblash jarayonini interval arifmetikaning bir variantidan boshqasiga avtomatik ravishda almashtirish mumkin. Ushbu muammoni hal qilish uchun tegishli dasturiy majmua ishlab chiqilgan bo'lib, unda interval arifmetikaning quyidagi variantlari, ya'ni «Mur bo'yicha klassik IA», «Markovga ko'ra IA», «Kaxan interval arifmetikasi», «Kauxer IA» C++ tilining sinflari shaklida tashkil qilingan va o'zaro bog'langan. Shuningdek, «to'g'ri to'rtburchakli» va «doiraviy» interval kompleks sonlar arifmetikasi sinflari ham ishlab chiqilgan. Bunday mexanizm algebraik ifodalarning tuzilishini o'zgartirmasdan, tanlangan IA ning mos algoritmlarini yuklashga imkon beradi. Bunday holda, foydalanuvchi faqat tanlangan IA variantining xususiyatlarini bilishi talab etiladi yoki qo'yilgan interval masalani yechish uchun IA variantini eksperimental tarzda tanlashi mumkin bo'ladi. Shunday qilib, foydalanuvchi nafaqat turli xil boshlang'ich ma'lumotlar uchun hisoblash tajribasini o'tkazishi, balki hisoblash algoritmini amalga oshiradigan konstruktsiyalarni o'zgartirmasdan afzal deb qaralgan hisoblash muhitini yaratish imkoniyatini qo'lga kiritadi. Bundan tashqari, dasturiy majmua (paket) ning konseptual ochiqligi sababli, foydalanuvchi dasturdagi arifmetikalar ro'yxatini mustaqil ravishda kengaytirish imkoniyatiga ega. Magistrlik dissertatsiyasining ilovasida IA ning turli xil variantlariga murojaat qilish misollari keltirilgan.

Ushbu interval algoritmlar uchun yaratilgan dasturiy majmua ob'ektga yo'naltirilgan dasturlash tamoyillariga asoslangan. Ochiq arxitekturaga ega bo'lgan interval algoritmlar uchun yaratilgan dasturiy majmuaning ushbu versiyasi, boshqa bir qator interval dasturiy majmualardan nafaqat asosiy interval arifmetikalarining xilma-xilligi bilan farq qiladi, balki uni ishlab chiqishda mualliflar *do'stonainterfeys tamoyili* ni joriy etishga harakat qilishdi. Bunda dastur bilan foydalanuvchi o'rtasidagi do'stona muloqottamoyili nafaqat interfeysning soddaligi va qulayligi, balki foydalanuvchilar doirasini kengaytirishni ham nazarda tutadi. Xususan, paket doirasida interval analiz usullari bilan tanish bo'lmagan foydalanuvchilarga ham hisoblash tajribalarini o'tkazish imkoniyati beriladi. Bunday holda, oddiy matematik ifodalar yordamida topshiriqni yozish yetarli. Dasturiy majmuaning ushbu versiyasida foydalanuvchi hisoblash matematikasining bir qator asosiy masalalarini interval usullar bilan yechish imkoniyatiga ega bo'ladi. Bundan tashqari, foydalanuvchi C++ dasturlash tili konstruksiyalariga tayanib, yangi algoritmlarni qo'llash uchun paketni sozlash imkoniyatiga ega.

3.1.5. Dasturiy majmuaning tuzilishi va funksional imkoniyatlari

3.1.5.1. Interval algoritmlarni EHMda ijro etishning dolzarb muammolari

Hozirgi vaqtda kompyuterda interval hisoblashlarni tashkil qilishning turli usullari ishlab chiqilgan bo'lib, muayyan interval dasturiy tizimlar va kutubxonalar yaratilgan.

Shu bilan birga, interval matematik usullarini qo'llashni samarali amalga oshirishdan iborat dasturiy ta'minotlarturli platformalar uchun ishlab chiqilgan. Ushbu holat nafaqat algoritmlarni ishlatish uchun ularni amalga oshirishning o'ziga xos yondashuvlarini o'rganishni talab qiladi, balki ba'zi hollarda «keng doiradagi foydalanuvchi» larga ma'qul bo'lgan interfeysga ega ega emas. Avvalo, bu interval arifmetikaning asosiy variantlarini tanlash imkoniyatining mavjud emasligi natijasidir. Bunday dasturiy tizimlarning yana bir kamchiligi- ko'p qirrali sonli eksperimentda usullarni tezkor ravishda yuklash imkoniyati yo'qligi va foydalanuvchini interval matematikangelementlarini o'rganish zaruriyatidan ozod qilolmaydi. Foydalanuvchini interval analiz asoslari bilan tanishish zarurati haqida gap ketganda, barcha ishni kompyuterning «yelkasiga» yuklash orqali ba'zi tayyorgarlik ishlarini olib borishdan xalos qilish, keyin interval algoritmlarni avtomatik

ravishda tuzadigan va modul printsipli asosida ishlab chiqilgan qism dastur-modullardan iborat bo'lgan ba'zi bir amaliy dasturlar majmuiga (ba'zi bir algoritmik tizim yoki dastur generatori) ehtiyoj haqida gapirish o'rinli bo'ladi [32].

Interval usullarini algoritmlashtirishda kompyuter texnikasi interval hisoblashlarning o'ziga xos talablarini inobatga olmasligi sababli, sezilarli qiyinchiliklar paydo bo'ladi. Ushbu talablar kompyuterda aniq interval algoritmlarni yaratish jarayonida interval arifmetikaga, interval funksiyalar qiymatlarini hisoblashga va ba'zi analitik akslantirishlarga ehtiyoj sezilishi bilan bog'liq. Shuni ta'kidlash kerakki, tadqiqotchilar tomonidan tavsiya etilayotgan interval algoritmlarning aksariyatida foydalanuvchi interval analiz asoslarini yaxshi bilishi va ba'zi tayyorgarlik ishlarini bajarishi kerak deb taxmin qilinadi. Ushbu holat ma'lum darajada interval usullardan foydalanuvchilar doirasini cheklaydi. Bu erda amaliy dasturlar majmuasi (ADM) tushunchasi – ADM uchun umumiy qabul qilingan konsepsiyani anglatadi, ya'ni, ma'lum bir sinf muammolarini hal qilish uchun zarur bo'lgan dasturlar va tizim vositalarining to'plami.

Bizning variantimizda ADM - bu interval analiz doirasida yechilishi zarur bo'lgan interval analiz masalalari sinflari yoki haqiqiy son qiymatli masalalarni yechuvchi tizim nazarda tutilgan. Kompyuterning tizimli vositalari deganda – uning operatsion tizim vositalari tushuniladi. Modul deganda esa, C ++ dasturlash tilida ishlab chiqilgan, muayyan masalani yechish uchun hisoblash jarayonining ba'zi qismlarini kompyuterda amalga oshiradigan, ham haqiqiy, ham interval sonlar bilan ifodalarni hisoblashdan iborat dastur tushuniladi.

Agar interval amallarni va mikrodastur ko'rinishidagi interval qiymatli funktsiyalarni hisoblashning apparat ta'minoti mavjud bo'lsa, unda interval arifmetik amallarni bajarish vaqtini qisqartirishga imkon beradi hamda dasturlarni yozish va ishlatish jarayoni yetarlicha soddalashadi. Agar interval amallarning apparatli ta'minoti mavjud bo'lmasa, paketga shartli ravishda uch guruhga bo'linadigan «xizmat ko'rsatish modullari kutubxonasi» ni kiritish zaruratini tug'diradi.

Birinchi guruhga mashina interval arifmetikasi modullari, ikkinchi guruhga elementar funktsiyalarning interval hisoblash modullari kiradi. Maxsus va mantiqiy interval amallar modullari kutubxonaning uchinchi guruhini tashkil etadi. ADM ning maqsadiga qarab, xizmat ko'rsatish modullari kutubxonasi ro'yxati kengaytirilishi yoki qisqartirilishi mumkin [37].

3.1.5.2. Parametrlarning interval noaniqligi sharoitida hisoblash tajribalarini o'tkazish

Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, C ++ tilida foydalanuvchilarning keng doirasiga, shu jumladan ishda tavsiya etilgan interval masalalar uchun algoritmlarni tajribadan o'tkazishga qaratilgan ADM yaratildi. Ushbu ADMda mavzu jihatdan o'xshash algoritmlar sinflar sifatida tashkil etildi. ADMni ishlab chiqish jarayoni ob'ektga yo'naltirilgan dasturlash tamoyillariga asoslanib, umumiy qabul qilingan matematik tilga yaqin bo'lgan masalani qo'yish operatorlari bilan to'ldirildi. Bu foydalanuvchiga ADM bilan do'stona muloqot qilish imkoniyatini beradi. Xususan, foydalanuvchi ADMning modullariga o'zining tuzgan kodlarini kiritib, natija olish imkoniyatiga ega bo'ladi. Ta'kidlash joizki, ishlab chiqilgan "Kengdoiradagi foydalanuvchilar uchun interval algoritmlar majmui" deb nomlanuvchi ADM do'stonalik tamoyili asosida ishlab chiqilgan. Bunda "do'stonalik" tamoyili nafaqat interfeysning soddaligi va qulayligida, balki interval usullar bilan foydalanuvchilar doirasini kengaytiradigan dasturiy ta'minot vositalarining etarli miqdorini ishlab chiqish ham ko'zda tutilgan. Determinallanmagan ma'lumotlarning cheklangan tebranishlari sharoitida muammolarni yechish uchun mo'ljallangan etarli miqdordagi algoritmlarning mavjudligidan tashqari, foydalanuvchi C ++ vositalaridan mos keladigan mexanizm asosida interval arifmetikani tanlash va yuklash imkoniyatiga ega. Ushbu holat hisoblash eksperimenti variantlari doirasini kengaytirishga imkon beradi, har ikkala asosiy arifmetikani va mos usulni tanlashni har xil turdagi noaniqliklar bilan asl muammoning mazmunli tomoniga yo'naltiradi. Aslida, bu yerda interval arifmetikaning yangi variantlaridan foydalangan holda, yoki interval aniqlikka ega parametrlarga ega bo'lgan yangi masalalarni yechishda zarur bo'lgan mustaqil to'ldirish mumkin bo'lgan ochiqkodli bir-biriga bog'langan ikkita ADM haqida gap boradi. Ushbu holatni hisobga olgan holda, quyida biz bitta shablon sinfidagi usullarni birlashtirish orqali yaratilgan integrallashgan paket haqida gaplashamiz. Foydalanuvchiga interval analiz usullari bilan chuqur tanishishni talab qilmasdan, ma'lum miqdordagi hisoblash tajribalarini o'tkazish imkoniyati berilishi juda muhimdir. Bizning dasturimizda, oddiy matematik ifodalar yordamida vazifalarni yozish kifoya. Ob'ektga yo'naltirilgan dasturlash tamoyillari [38] asosida C ++ tili yordamida amalga oshirilgan paketning ushbu versiyasida foydalanuvchi hisoblash matematikasining bir qator muammolarini interval usullar bilan hal

qilish va yangi algoritmlardan foydalanish uchun paketni sozlashi mumkin. Bu ishlar C++ dasturlash tili konstruktsiyalari doirasida qilinadi. Interval matematikada hisoblash eksperimentlari alohida ahamiyatga ega, chunki interval hisoblashlar doirasida foydalanuvchi o'z masalasini yechishda nafaqat qo'llanilayotgan matematik modelni «tahrirlash», balki mos algoritmni tanlash, hisoblash dasturini tahrirlashni amalga oshiradi va bu jarayon an'anaviy haqiqiy usullar bilan ishlashda ham ko'p kuzatiladi. Lekin o'zgaruvchan parametrlarning qiymatlarini kuzatib borish lozim.

Ob'ektga yo'naltirilgan dasturlash tamoyillaridan foydalangan holda C++ tilida yaratilgan ushbu paketning imkoniyatlari foydalanuvchilarning ancha keng doirasini bashorat qilishga imkon beradi. Chunki u inson tiliga yaqin bo'lgan masalalarni hisoblash tizimiga kiritish operatorlari bilan to'ldiriladi. Bu foydalanuvchiga paket bilan yengil muloqot qilish imkoniyatini beradi. Xususan, foydalanuvchi interval masalani yechish zarurligini ko'rsatishi, qulay shaklda masalaning interval formulirovkasini berishi talab qilinadi. Masalani ifodalash operatorlari tabiiy algoritmik bo'lmagan xarakterga ega bo'lganligi sababli, so'rovlar tilining dasturiy ta'minoti shunday bo'lishi kerakki, so'rovlarni qayta ishlash natijalari ushbu paketning potensial foydalanuvchilariga taklif qilinadigan muammoni shakllantirish uchun foydalanuvchilarni to'liq qanoatlantiradigan dastur bo'lishi kerak. Foydalanuvchi paket bilan o'zaro aloqada bo'lib, chegaralanmagan tabiiy tilda masalahaqida dastlabki ma'lumotlarni ishlab chiqadi va paket, ushbu ma'lumotni tahlil qilib, kiritilgan ma'lumotlarning belgilariga asoslanib, masalaning interval modelini tuzadi va interval masalani yechadi.

3.1.5.3. Modulli interfeys va amaliy dasturiy majmuani qo'llashga oid misollar

ADMning keng doiradagi foydalanuvchilari uchun ushbu versiyasi interval aniqmasliklar sharoitida masalalarni hal qilish uchun quyidagi modullarni o'z ichiga oladi:

1. Hisoblash tajribasi uchun bazaviy interval arifmetikani tanlash va testdan o'tkazish.
2. Interval matritsali algebra masalalari.
3. Interval ko'phadlar algebrasi.
4. Interval koeffitsientli ko'phadlarning ildizlari topish.
5. Xos qiymat masalasini yechishning interval varianti.

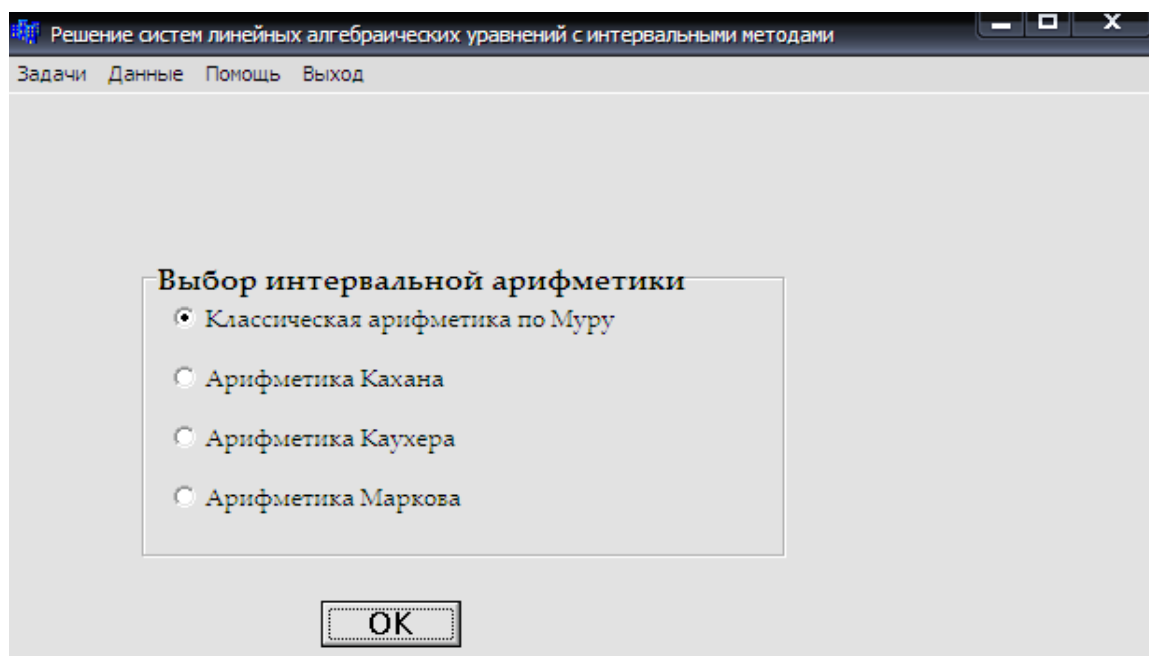
6. Chiziqli algebraik tenglamalarning intervalsistemalarini (ChATIS) yechish.

7. Interval qo'yilgan chiziqli dasturlash masalalari.

8. Oddiy differensial tenglamalar uchun Koshi masalasini yechish.

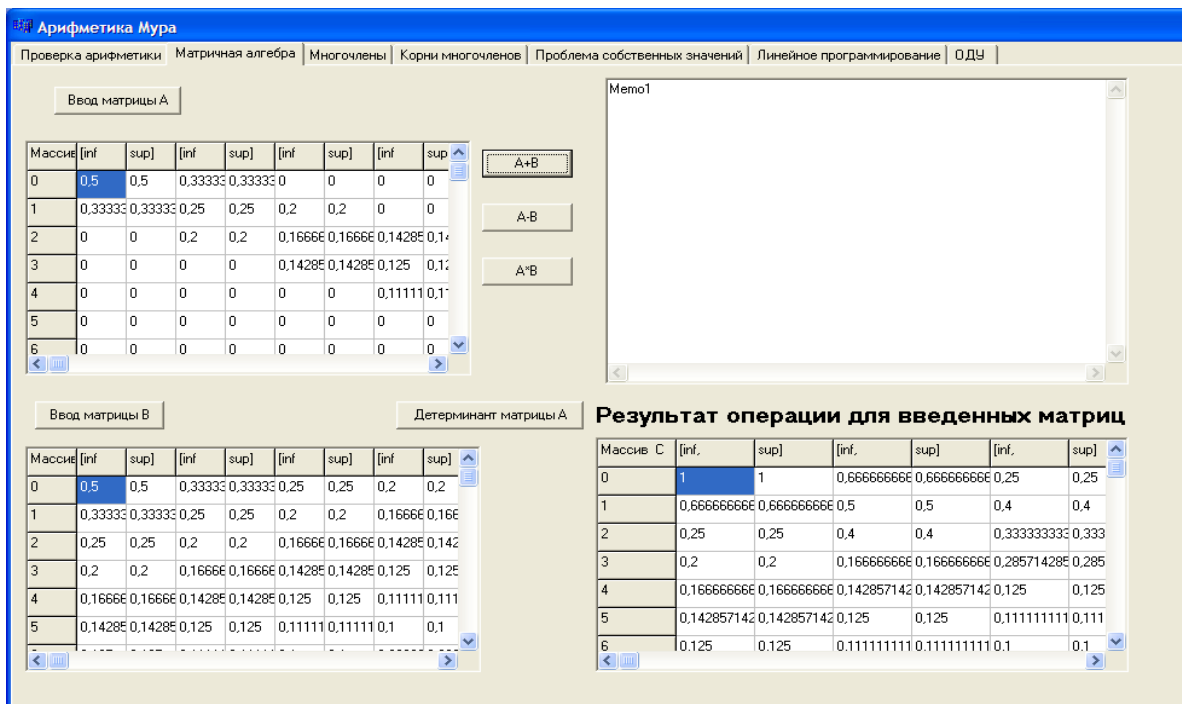
Quyida keltirilgan bir qator misollar paket interfeysi tuzilishining qulayligini, paketdan foydalanishning ko'plab imkoniyatlarini, shuningdek, uni ishlatish qoidalari va texnikasini namoyish etadi. Shu bilan birga, interval analiz bo'yicha ko'plab ishlarda e'tirof etilgan va asoslangan algoritmlar yoki usullar (masalan, [49] va u yerda keltirilgan bibliografiya) yuqorida ta'kidlangan paketlar va INAN-1 paketi dasturiy komplekslar doirasida foydalanilganda qoniqarli natijalar berdi [46].

3.1-misol. Interval masalalarni yechishda bazaviy interval arifmetika variantlarini tanlash imkoniyati



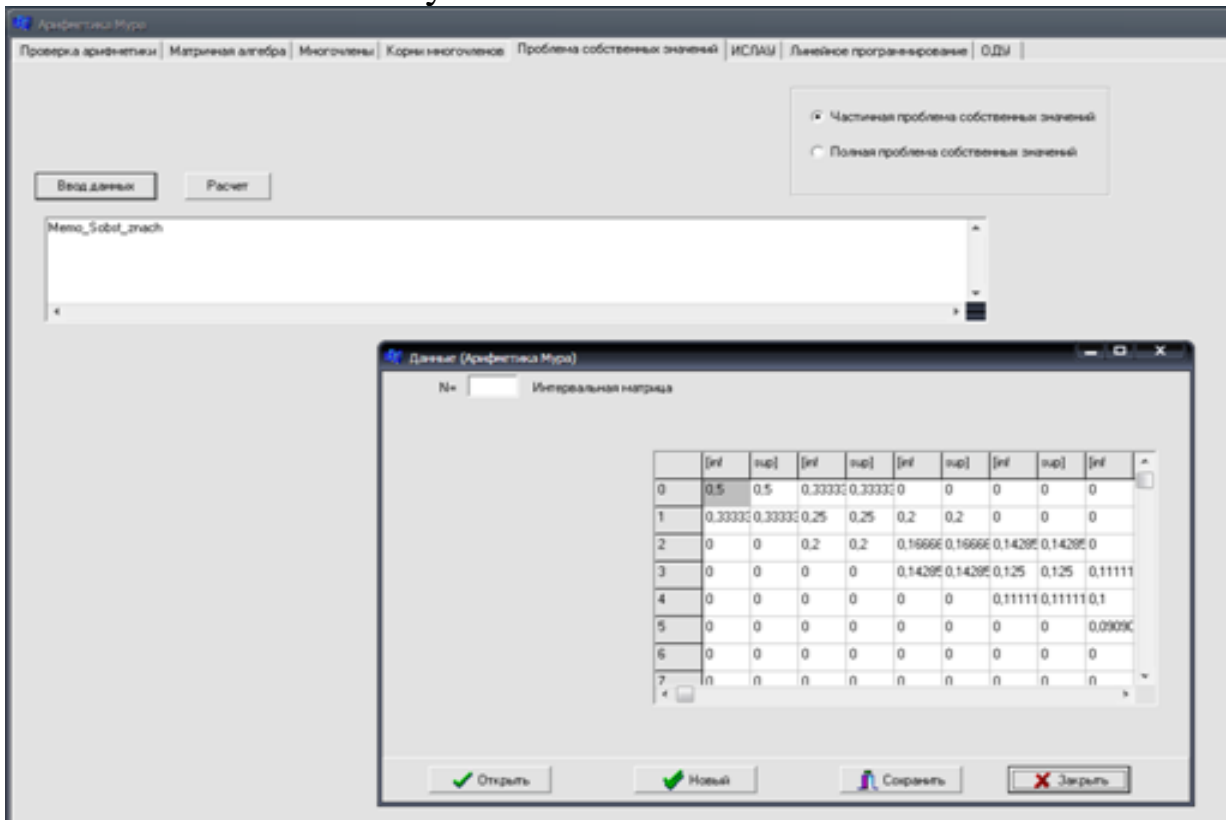
3.2-rasm. Foydalanuvchiga taklif qilinadigan interval arifmetikani tanlash oynasi

3.2-misol. Matritsali algebra amallarini bajarish variantlarini namoyish etish.

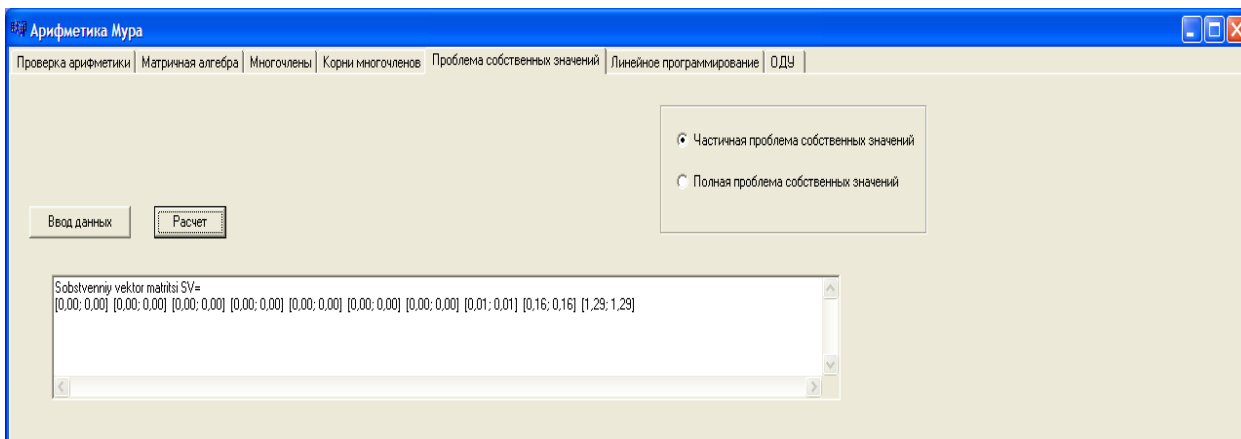


3.3-рasm. Interval matritsalar algebrasi amallarini bajarish oynasi

3.3-misol. Interval matritsalar uchun qismiy va to'la xos qiymat muammosi masalalarini yechish.



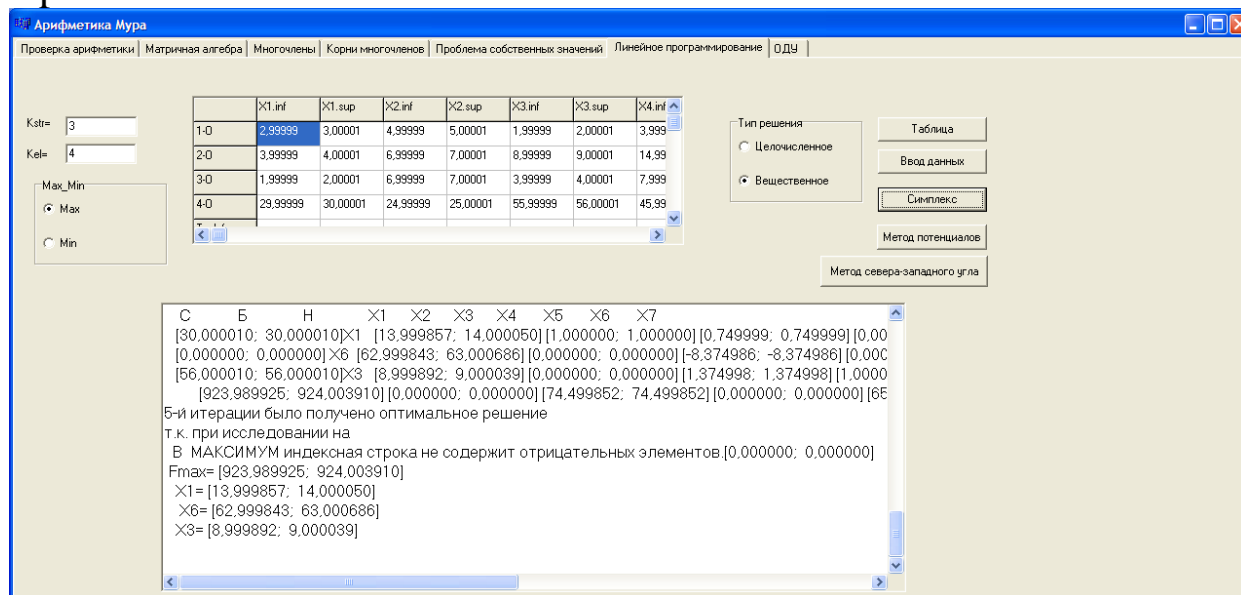
a)



b)

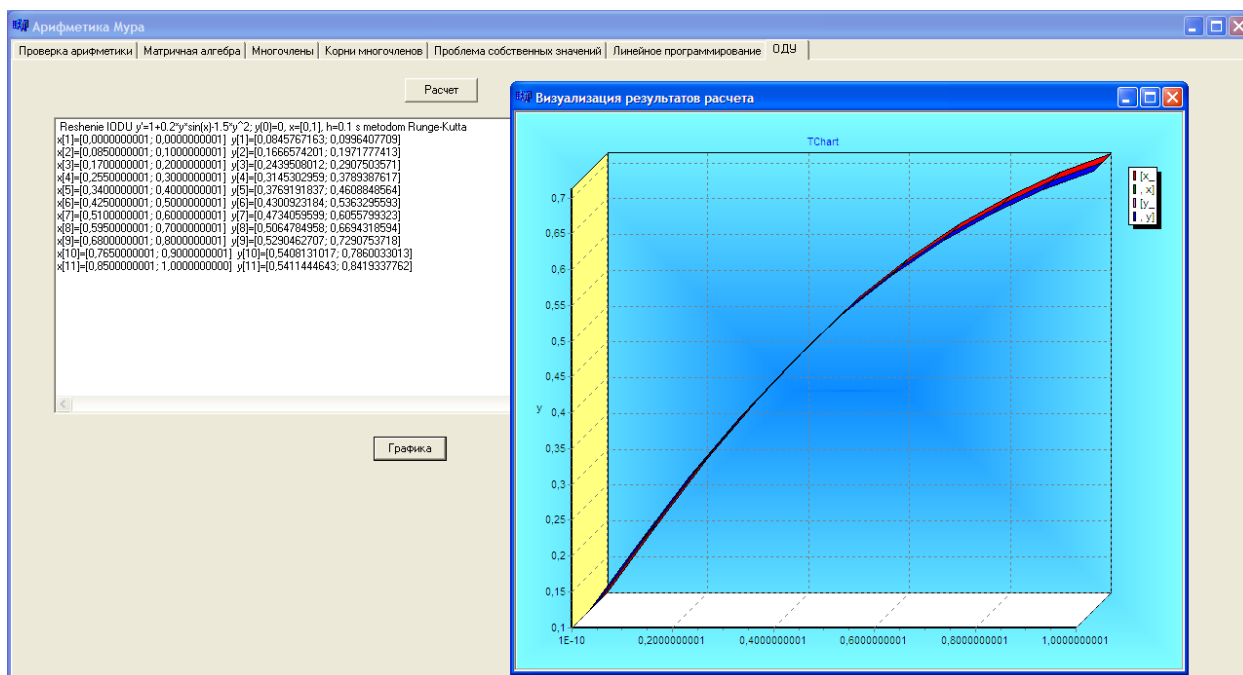
3.4-rasm.Interval matritsalarining xos son va unga mos xos vektorlarini topish oynalari

3.4-misol. Berilgan boshlang'ich ma'lumotlarning interval aniqlash shartida kanonik chiziqli dasturlash masalasining yechimini simpleks, potentsiallar va shimoliy-g'arbiy burchak usullari yordamida topish.



3.5-rasm.Chiziqli dasturlash masalalarini interval usullar bilan yechish oynasi

3.5-misol. Oddiy differensial tenglamalar(ODT) uchun Koshi masalasini Runge-Kutta usulining interval varianti bilan yechish.



3.6-rasm.ODT ni yechish bloki

3.1.6. Ekologik muammolarni interval usullar bilan bashoratlashning dasturiy ta'minotini ishlab chiqish

3.1.6.1. Masalaning haqiqiy qiymatli parametrlarda qo'yilishi

Faraz qilaylik, shartli V hajmga ega bo'lgan ma'lum bir konservativ muhit mavjud bo'lsin, uning barqarorligiga vaqt o'tishi bilan qandaydir o'rtacha ekotoksikant ta'sir qilsin. Umumiylikni istisno qilmasdan, umumiy modelni qurish maqsadida qaralayotgan ekotizimda o'rtacha $x(t)$ hajmdagi asosiy ekologik ifloslantiruvchi moddalarning biokimyoviy m ta mexanizmlari hosil bo'lishi mumkin deb hisoblaymiz. Ekologik toksikantlarning biokimyoviy o'zgarish mexanizmlari ko'rib chiqilgan [30] ishda ekologik ofatlarni bashorat qilish va atrof-muhitni muhofaza qilish bo'yicha faol qarorlarni qabul qilish imkoniyatlarini olish uchun atrof-muhitni ifloslantiruvchi moddalarning asosiy turlari berilgan. Ushbu ishda biz ifloslanish tavsiflariga ko'ra, uni determinallanmagan, ya'ni qiymatlari chekli amplitudada tebranib turishini hisobga olib, ularni intervalniqmaslikka ega deb hisoblashimiz o'rinli [27, 28].

Moddiy muvozanat tenglamasiga muvofiq ekologik ifloslantiruvchi moddalarning konsentratsiyasi $x(t)$ - ekologik ifloslantiruvchi moddalarning konsentratsiyasiga ta'sirining joriy

solishtirma qiymati $q(t)$ va reaksiya mahsulotlarining joriy qiymati $p(t)$ o'rtasidagi farqga teng:

$$x(t) = q(t) - p(t). \quad (3.4)$$

Eng oddiy holda uchun quyidagi chiziqli funksiyani olishimiz mumkin

$$q(t) = \frac{\alpha\beta t}{V}, \quad (3.5)$$

Bunda α - ishlab chiqarish chiqindilarining hajm jihatidan o'sish tezligi, β - ishlab chiqarish chiqindilarida ekologik ifloslantiruvchi moddalarning konsentratsiyasi.

$x(t)$ ga nisbatan asosiy omil sifatida dastlabki y_0 konsentratsiyali $y(t)$ biokimyoviy aralashmalar funksiyasini hisoblaymiz va ularga nisbatan moddiy balans tenglamasini quyidagicha yozishimiz mumkin

$$y \ t = y_0 - p \ t . \quad (3.6)$$

Shunda ommaviy ta'sir qonuni ekologik akslantirish jarayonining dinamikasini belgilaydi

$$\frac{dp(t)}{dt} = k x(t) y(t), \quad (3.7)$$

Bunda k - biokimyoviy reaksiyalar tezligining konstantasi.

(3.4) va (3.6) ni hisobga olib, (3.7) o'rniga quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{dp(t)}{dt} = k [p^2(t) - p(t)[y_0 + q(t)] + q(t)y_0]. \quad (3.8)$$

Shundan keyin (3.2) ga ko'ra $p(t) = q(t) - x(t)$ almashtirish bajarib, quyidagi tenglamani hosil qilamiz

$$\frac{dx}{dt} = -k [x^2 + (y_0 - q)x] + \frac{\alpha\beta}{V}. \quad (3.9)$$

Ko'rib turganimizdek, qaralayotgan ekotizimdagi ushbu tenglama $x(t)$ va $q(t)$ - ekotizimga ta'sir kuchi, ya'ni ekologik ifloslantiruvchi moddalarning konsentratsiyasiga bog'liqligini aniqlaydi.

Ta'sir turlarini shartli ravishda tabiiy va texnogen turlariga ajratish mumkin. Ta'sirning tabiiy turlariga immun ta'sirni, ya'ni hayvonot yoki o'simlik dunyosiga ekologik ifloslantiruvchi konsentratsiyasini kamaytirish yo'nalishidagi ta'sirnikiritish mumkin. Barcha atrof-muhitni muhofaza qilish xarakteridagi tadbirlarni texnogen sifatida tavsiflash mumkin. Quyida, matematik modelning o'zida biz ta'sir turlarini ajratmaymiz, lekin ularni ta'sir mexanizmlari samaradorligiga qarab farqlashimiz mumkin.

Faraz qilaylik, qaralayotgan ekotizimda gipotetik mavjud bo'lgan, $x(t)$ kattalikka ta'sir qiluvchi $\varphi_i(p(t)), (i = \overline{1, m})$ funksiya bilan m mexanizmlardan s ($1 < s \leq m$) tasi berilgan bo'lsin. Binobarin, mavjud mexanizmlar majmuasi $S \subseteq I = \{1, 2, \dots, m\}$ to'plam bilan bir qiymatli aniqlanadi. O'z navbatida texnogen tadbirlarni $x(t)$ ni minimallashtirish orqali boshqarish mumkin. U holda $l < s$ - texnogen ta'sirlar sonini aniqlashini, ularning umumlashgani $L \subset S$ to'plam bilan aniqlanishini hisobga olib, ekologik fojiani bashoratlashning mukammal logik-dinamik modeliga ega bo'lamiz:

$$\frac{dx}{dt} = -k \left[x^2 + (y_0 - q)x \right] + \frac{\alpha\beta}{V}, \quad (3.10)$$

$$x(0) = x_0, \quad (3.11)$$

$$q = \sum_{i=1}^n L_i^q q_i \left(\sum_{j \in S \setminus L} L_j^p \varphi_i(p(t)), \sum_{j \in L} L_j^p \varphi_i(p(t)), L_i^j t \right), \quad (3.12)$$

$$Q = \left| \int_0^T u \left(x(t), \sum_{j \in L} L_j^p \varphi_i(p(t)), t \right) dt \right| \rightarrow \min. \quad (3.13)$$

Bu yerda eko toksikantlar konsentratsiyasini pasaytirish mexanizmlari paydo bo'lishi bilan ekotizim ishlashining mantiqan mumkin bo'lgan holatlar soni aniqlanadi, L_i^q , L_j^p predikat funktsiyalari yagonalik va to'liqlilik shartlarini qanoatlantirishi lozim [57]. Agar L to'plam bo'sh bo'lsa, u holda qaralayotgan model faqatgina ekotoksikant konsentratsiyasining o'zgarish dinamikasini aniqlaydi.

3.1.6.2. Interval modeli

Ushbu bo'limda biz antropogen yoki texnogen xarakterdagi ekologik ifloslantiruvchi jarayon uchun (3.10)–(3.13) modelning interval variantini ko'rib chiqamiz. Jarayon antropogen yoki texnogen xarakterda bo'lsa ham, y_0 kattalik interval noaniqlikka ega bo'ladi. Masalan, ekologik ifloslantiruvchi moddalarning atrof-muhitga ruxsatsiz chiqarilishi holatlarida, ekologik tuzilmalar ekologik ifloslantiruvchi chiqindi miqdorini faqat taxminan belgilashi mumkin. O'z navbatida, ishlab chiqarish chiqindilarining α hajmiy tezligini determinalliqiyat deb hisoblash mumkin, shu bilan birga ishlab chiqarish chiqindilarida ekologik ifloslantiruvchi moddalarning konsentratsiyasi β eksperimental va ma'lum bir xatolik bilan aniqlanadi.

Demak, (3.10)–(3.13) modelni interval mantiqiy-dinamik model sifatida qarashimiz mumkin:

$$\frac{dx}{dt} = -k[x^2 + (y_0 - q)x] + \frac{\alpha\beta}{V}, \quad (3.14)$$

$$x(0) = x_0, \quad (3.15)$$

$$q = \sum_{i=1}^n L_i^q q_i \left(\sum_{j \in S \setminus L} L_j^p \varphi_i(p(t)), \sum_{j \in L} L_j^p \varphi_i(p(t)), L_i^j t \right), \quad (3.16)$$

$$Q = \left| \int_0^T u \left(x(t), \sum_{j \in L} L_j^p \varphi_i(p(t)), t \right) dt \right| \rightarrow \min. \quad (3.17)$$

(3.14) - (3.17) munosabatlarda intervalli ob'ektlar qalin harflar bilan ajratilgan. (3.14) - (3.17) masala yechimi IMOD algoritmi [51] yordamida olingan bo'lib, unda yarim-oshkor Runge-Kutta [52] interval hisoblash formulalari ishlatilgan. Sonli tajribalar shuni ko'rsatdiki, ba'zi bir vaqt oralig'ida $[0, T]$ ekotoksikantlar kontsentratsiyasini pasaytirish uchun texnogen mexanizmlarni tanlab, maksimal kontsentratsiya qiymati ruxsat etilgan kontsentratsiya qiymatidan pastda bo'ladigan ekotoksikantlar kontsentratsiyasi uchun ikki tomonlama aposterior baholarini qurish mumkin. Sonli tajribalarda k barcha mexanizmlar uchun o'rtacha qiymati olingan.

Interval Koshi masalasini

$$x' = -k[x^2 + (y_0 - q)x] + \frac{\alpha\beta}{V}, \quad (3.18)$$

$$x(t_0) \in x_0, \quad (3.19)$$

Yechish uchun Runge-Kutta oshkor usulining interval analogi hisoblangan s -tartibli usulni qo'llash mumkin. (3.16) formulada x_0 – noaniq berilgan boshlang'ich qiymatni ichida saqlaydigan qandaydir yopiq interval. Biroq, ma'lum bo'lganidek, tenglamalar sistemalarini yechishda [51,52] oshkor Runge-Kutta usullari «o'rash effekti» (Эффект обёртывания) ga olib keladi va odatda ko'p miqdordagi o'zgaruvchilarni hisobga olishdan chetlashtiriladi, chunki hisoblash xarajatlari usulning tartibi oshishi bilan tez o'sib boradi, turg'unlik sohasi esa cheklangan.

Atrof-muhitga chiqaradigan ifloslantiruvchi moddalar miqdori va atrof-muhitni muhofaza qilish bilan tartibga solinadigan “atrof-muhitt ozaligi” ko'rsatkichi interval aniqlaslikka ega bo'lishi mumkin, ularning samaradorligi bevosita ushbu maqsadlar uchun ajratilgan investitsiyalar hajmiga bog'liq.

Faraz qilaylik, x_0 boshlang'ich qiymat uchun ixtiyoriy $x(t_0)$ da (3.18)–(3.19) masala yagona yechimga ega bo'lsin [53]. U holda

$\Delta_t = [t_0, c]$ intervallarda $x(t_j) = x_j$ ni aniqlash uchun Runge-Kuttaning usulining yarim-oshkor formulalarini qo'llash mumkin [42]:

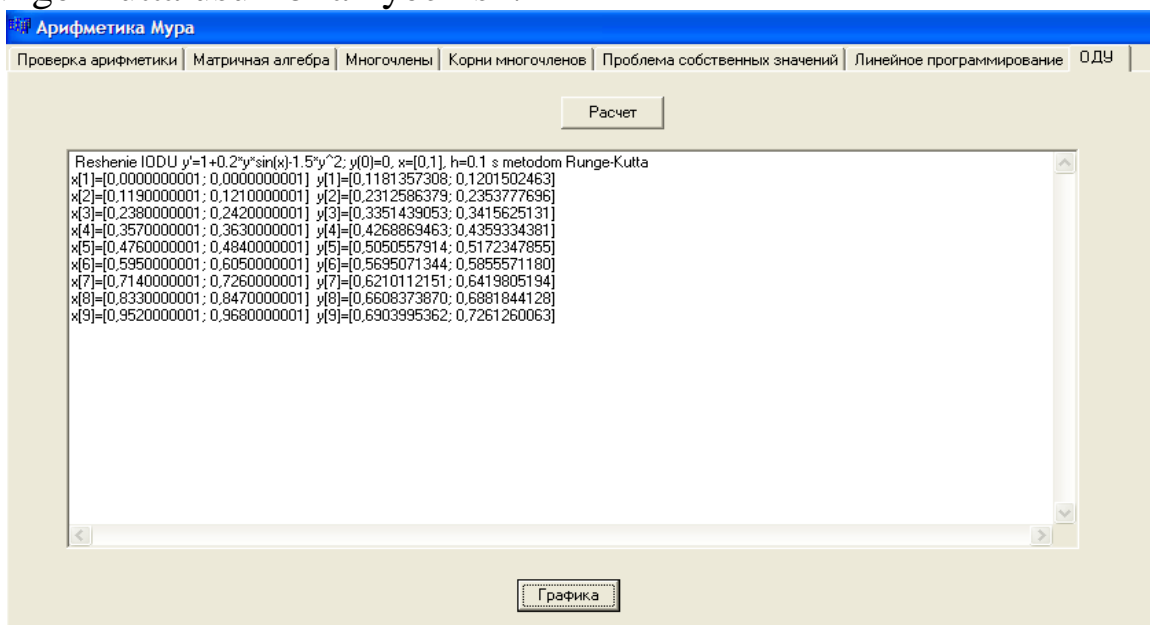
$$x(t_j) \in x_j, t_j = t_0 + jh, h = (c - t_0)/n, (j = \overline{1, n}). \quad (3.20)$$

Ko'rinib turibdiki, Koshi masalasini yechish uchun haqiqiy va interval usullar chekli-ayirmali usullar sinfiga kiradi, ya'ni uning qiymatlarini ko'phadga approksimatsiya qilish orqali farq (невязка) ni minimallashtiradi.

3.1.6.3. Hisoblash eksperimenti

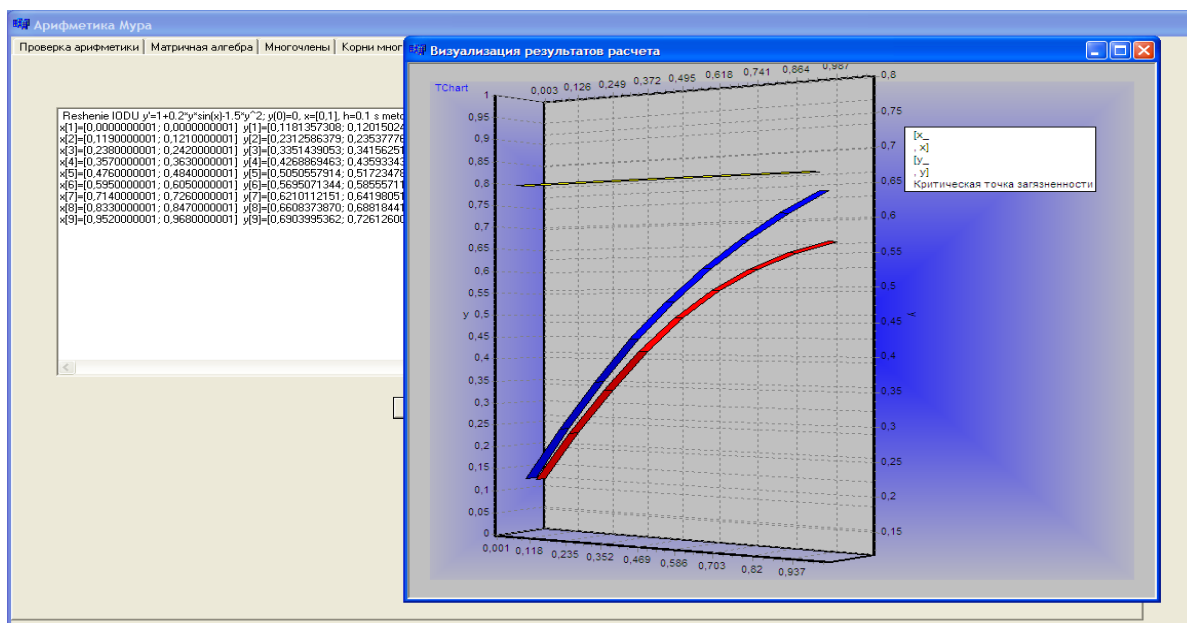
Yuqorida aytib o'tilganlar bilan bir qatorda atrof-muhit ifloslanganligi uchun jarimalar belgilash modelining interval variantini qo'llash bo'yicha hisoblash eksperimenti o'tkazildi. Bunda parametrlarning ma'lum amplitudada tebranishi, aniqrog'i interval qiymatlarning sun'iy kiritilishi, δ tipidagi parametrni kiritish asosida potensial determinallanmagan kattaliklar uchun chekli qo'zg'aluvchi usulni qo'llashga erishildi. Har bir holda, olingan interval yechim mos haqiqiy masalaning yechimlar to'plamini o'z ichida saqlaydi, buni esa nazariy ma'lumotlar tasdiqlaydi.

3.6-misol. Bir jinsli ekotoksikant tarqalishi bo'yicha $y' = 1 + 0.2y \sin x - 1.5y^2$, $y(0) = 0$, $x = [0, 1]$, $h = 0.1$ Koshi masalasini Runge-Kutta usuli bilan yechish.



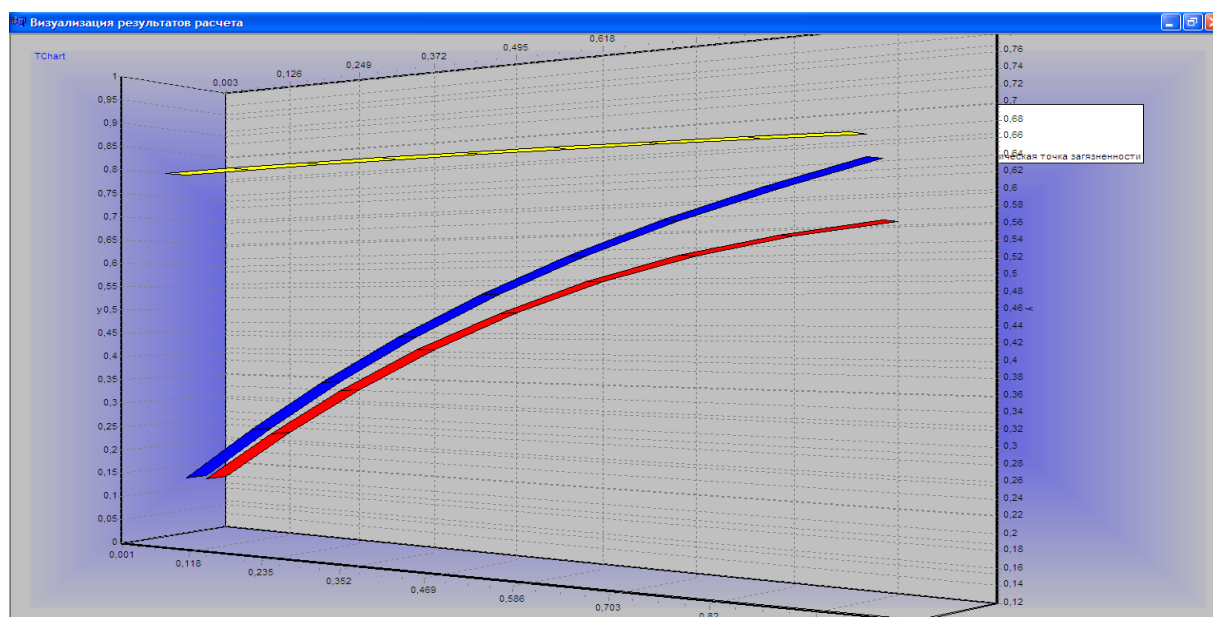
3.7-rasm. Bir jinsli ekotoksikant tarqalishi bo'yicha hisoblash eksperimenti natijalari

3.7-misol. Bir jinsli ekotoksikantning tarqalish dinamikasi vizuallashtirish.



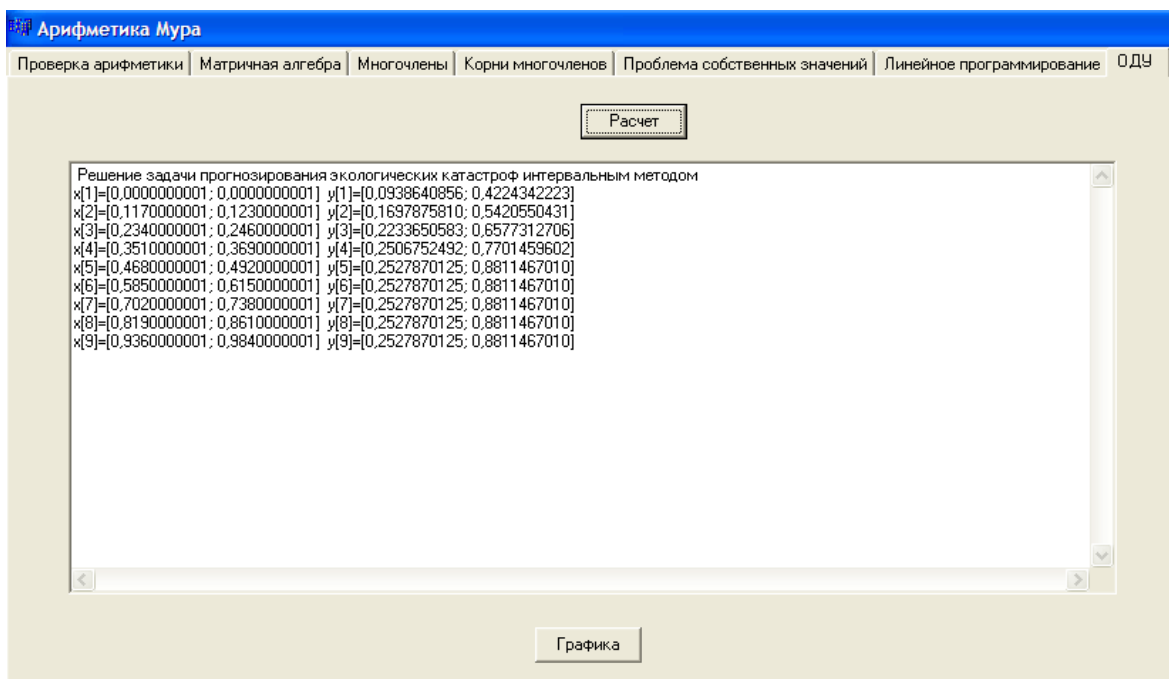
3.8-rasm. Bir jinsli ekotoksikantlarning tarqalish dinamikasi bo'yicha grafik interpretatsiyasi

3.8-misol. Bir jinsli ekotoksikant hajmini kritik darajagacha saqlash bo'yicha barqarorlashtirish jarayonini vizuallashtirish.



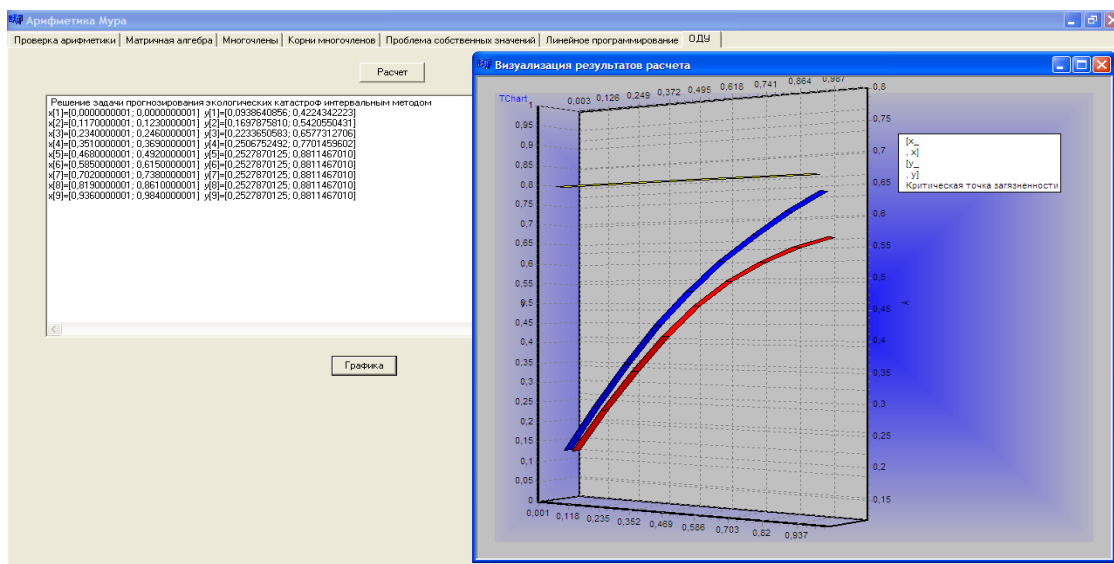
3.9-rasm. Bir jinsli ekotoksikant hajmini kritik darajagacha saqlash bo'yicha barqarorlashtirishning grafik tasviri

3.9-misol. Jarima miqdori va ifloslanish miqdori o'rtasidagi muvozanatni saqlash muammosi bo'yicha interval ma'lumotlarni qayta ishlash.



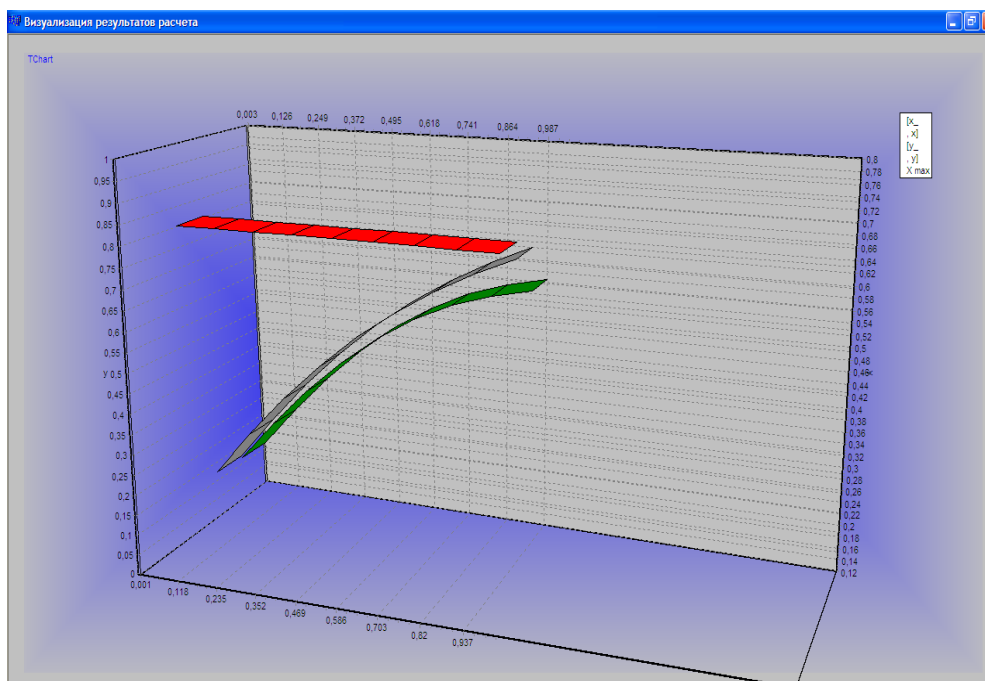
3.10-рasm. Jarima va ifloslanish miqdori oʻrtasidagi muvozanatni saqlash muammosi boʻyicha interval hisoblash natijalari

3.10-misol. Qisqa vaqt oraligʻida jarima va ifloslanish miqdorlari oʻrtasidagi tenglikni saqlash dinamikasi.

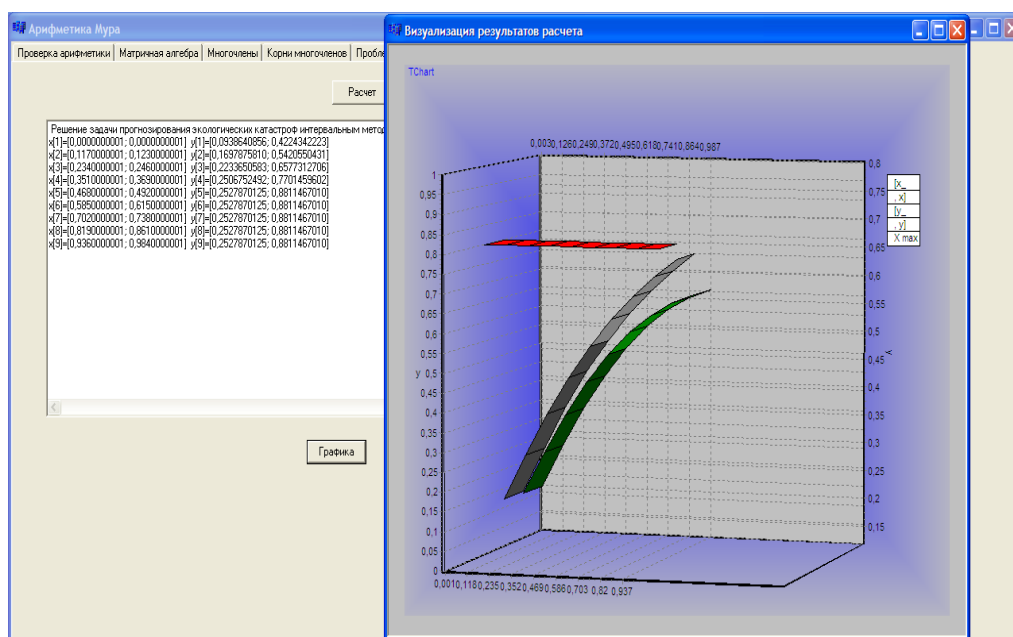


3.11-рasm. Qisqa vaqt oraligʻida jarima va ifloslanish miqdorlari oʻrtasidagi tenglikni saqlash dinamikasining uch oʻlchovli sohadagi grafigi

3.11-misol. Uzoq vaqt oraligʻida jarima miqdori va ifloslanish miqdori oʻrtasidagi tenglikni saqlash dinamikasi.



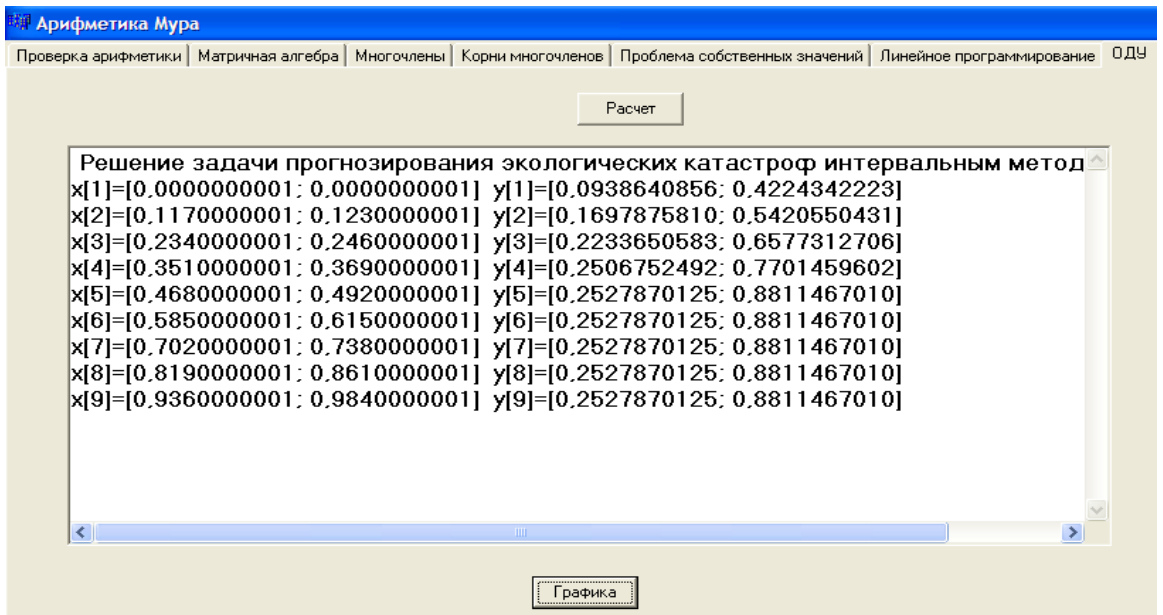
a)



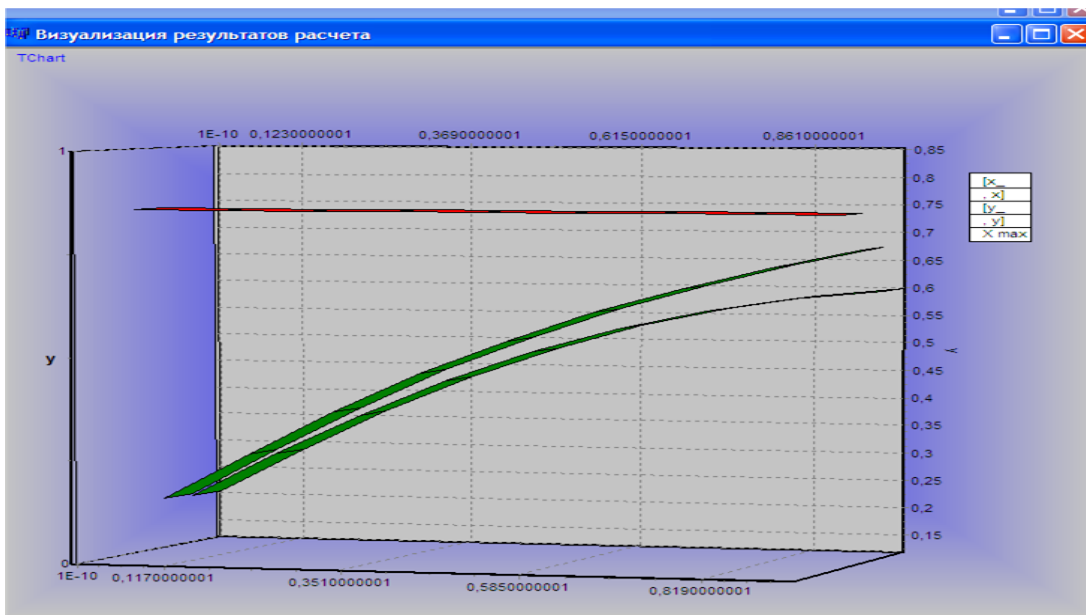
b)

3.12-рasm. Uzoq vaqt oralig'ida jarima miqdori va ifloslanish miqdori o'rtasidagi tenglikni saqlash dinamikasining a) va b) uch o'lchovli grafiklari

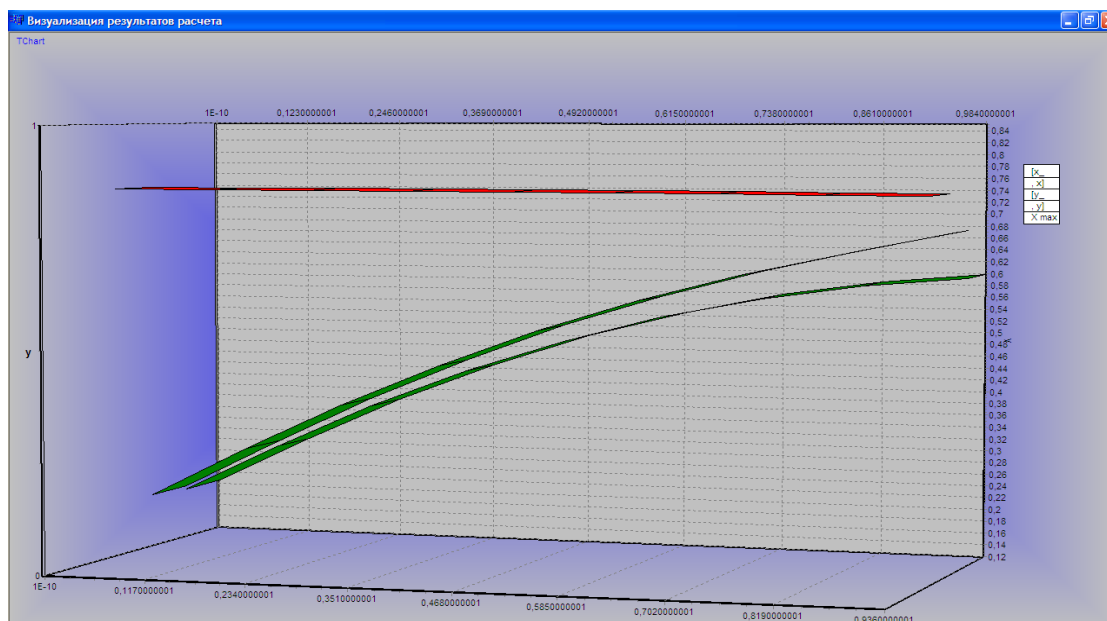
3.12-misol. Ekologik ofatlarni bashorat qilish masalasini interval usul bilan yechish.



3.13-рasm. Ekологик ofatlarni bashorat qilish masalasini interval usul bilan yechishda olingan natijalar



a)



b)

3.14-rasm. Ekologik ofatlarni bashorat qilish masalasini interval usul bilan yechishda olingan natijalar dinamikasining a) va b) uch o'lovli grafiklari

Keling, 3.12-misol natijalariga sharh beramiz.

Aslida, bu odatdagi hajm birligi uchun ekotoksikant miqdorining kamayganligini yoki hajm birligining tozalik ko'rsatkichining shartli ko'rsatkichga (qizil chiziq) yaqinlashishini ko'rsatadi. Shu bilan birga, ko'rsatilgan pastki va yuqori egri chiziqlar shuni ko'rsatadiki, investitsiya darajasi bilan belgilanadigan tegishli ekologik tadbirlarni amalga oshirish bilan atrof-muhitni ekotoksikant bilan to'ldirish «halokatli chegara» indikatoriga yaqinlashadi.

Interval yechimning mazmunini quyidagicha shakllantirish mumkin: ekotoksikantning boshqariladigan $[0, T]$ vaqt oralig'idagi konsentratsiyasi mos keladigan interval yechim bilan belgilangan chegaradan pastga tushmaydi, balki yashil zonaga yaqinroq bo'lsa, ifloslantiruvchi moddalar miqdorinipasaytiruvchi omillar shunchalik kuchliroq bo'ladi.

3.2. Birlamchi ishlov berishning noravshan algoritmlarini takomillashtirish

Birlamchi ishlov berish algoritmlari uchun odatda tasvirni qayta ishlash va shumlardan tozalashorqali tasvir sifati oshiriladi. Filtratsiya masalalarida ko'plab noravshan algoritmlardan foydalaniladi. Ushbu algoritmlar tasvir shumlarini samarali olib tashlashga xizmat qiladi. So'nggi yillarda dunyoning rivojlangan mamlakatlarida tasvirni qayta ishlashda noravshan usullardan foydalanish bo'yicha tadqiqotlar olib borilmoqda, bu quyidagilar bilan bog'liq:

1) Bu usullar bilimlarni aks ettirish va qayta ishlashning kuchli vositalari;

2) Ular noaniqlikni samarali boshqarishi mumkin.

Ko'pgina tasvirlash dasturlari ba'zi qiyinchiliklarni yengish uchun mutaxassis bilimlarini talab qiladi. Noravshan to'plamlar nazariyasi va noravshan mantiq inson bilimini noravshan IF qoidalari sifatida aks ettirish, qayta ishlash imkoniyatigaega. Boshqa tomondan, tasvirni qayta ishlashda ko'plab qiyinchiliklar ko'rib chiqilayotgan muammolarda ishlatiladigan ma'lumotlarning tasodifiyligi va noaniqligi tufayli yuzaga keladi.

Noravshan mantiq apparatida kulrang rangdagi tasvirning noravshan xususiyatlarini ta'kidlash usuli mavjud bo'lib, ular ushbu tasvirning tiniqligini oshirish uchun qo'llanilishi mumkin. Asl tasvir sifatini oshirish, odatda, kompyuterni ko'rish muammolarining dastlabki bosqichlaridan biridir. Tasvirning sifatini oshirish texnikasi odatda shovqinlarni, kulrang darajalar sezilarli darajada o'zgaraydigan silliq mintaqalarni olib tashlaydi va kul rang darajalaridagi keskin o'zgarishlarni ta'kidlaydi.

Noravshan mantiq apparati uning o'ziga xos qo'llanilishi to'g'risidagi evristik bilimlarni qoidalar shaklida kiritishga imkon berganligi sababli, tasvirni yaxshilash tizimini yaratish uchun juda mos keladi. Bu turli xil noravshan mantiqqa asoslangan tasvirni oshirish usullarini ishlab chiqishga olib keldi. Quyida ularning ayrimlarini qisqacha ko'rib chiqamiz.

Mancuso, M., Poluzzi, R. and Rizzotto, G. A. Fuzzy filter for dynamic range reduction and contrast enhancement [66] maqolasida noaniq qoida yondashuvi yordamida yorqinlik qiymatlari oralig'ining torayishini dinamik ravishda kamaytirish va tiniqligini oshirish uchun filtr taklif qilingan. Peli, T. and Lim, J. Adaptive filtering for image enhancement [67] usulida berilgan algoritimga asoslangan. Peng, S. and

Lucke, L. Fuzzy filtering for mixed noise removal during image processing [68] maqolasida tasvirni qayta ishlash uchun chiziqli noravshan filtr taklif qilingan. O'rtacha filtrlar Gauss shovqinini samarali ravishda olib tashlashi ma'lum va o'rtacha filtr kabi tartibli statistikaga asoslangan filtrlar impuls shovqinini yo'qotish uchun samarali foydalaniladi. Ushbu ikkita filtrni birlashtirish uchun noravshan mantiq ishlatiladi [69].

Kompyuterga kiritilgan tasvirlar ko'pincha past tiniqligili ya'ni, ularning yorqinlikdagi o'zgarishlari uning o'rtacha qiymati bilan taqqoslaganda kichikdir. Bu holda yorqinlik qora rangdan oq rangga emas, kul rangdan biroz ochroq kul ranggacha o'zgaradi. Ya'ni, yorqinlikning haqiqiy diapazoni ruxsat etilganidan (kulrang shkaladan) ancha past bo'lib chiqadi. Qarama-qarshilikni oshirish vazifasi - tasvirning yorqinligini to'liq miqyosda "cho'zish"ni bildiradi.

Elementlar bo'yicha tasvirni qayta ishlashning mohiyati quyidagicha bo'lsin $f(x, y)$ va $g(x, y)$ boshlang'ich yorqinligi qiymatlari va tasvirni qayta ishlagandan so'ng olingan qiymatlar bo'lsin. Dekart koordinatalariniga mos ravishda olingan kadr nuqtasi x - Qator raqami va y - ustun raqamiga mos keladi.

Elementni oqilona qayta ishlash ushbu yorqinlik o'rtasida funktsional bog'liqlik mavjudligini anglatadi, ya'ni:

$$g(x, y) = F(f(x, y)).$$

Chiqish signalining qiymatini asl signal qiymati bilan aniqlashga imkon beradi.

Qarama-qarshilik vazifasi tasvirning dinamik diapazoniga va ko'rsatishni amalga oshiradigan ekranga mos kelishini yaxshilash bilan bog'liq. Agar har bir rasm namunasining raqamli namoyishi uchun 1 bayt (8 bit) xotira ajratilgan bo'lsa, u holda kirish yoki chiqish signallari 256 qiymatdan birini olishi mumkin. Odatda, operatsion diapazoni 0 ..255 ni tashkil etadi, 0 ko'rsatgich paytida qora darajaga to'g'ri keladi, 255 qiymati esa oq darajaga to'g'ri keladi. Aytaylik, asl tasvirning f_{\min} va f_{\max} qiymatlari mos ravishda minimal va maksimal yorqinligiga teng.

Agar ushbu parametrlar yoki ulardan biri yorqinlik oralig'ining chegara qiymatlaridan sezilarli darajada farq qilsa, u holda ko'rsatilgan tasvir noqulay, xiralashgan kuzatuvga o'xshaydi.

Tasvirni noravshan tasodifiy jarayonni amalga oshirish sifatida ko'rib chiqish qulay hisoblanadi. Tasodifiy vazifasini chiqarish uzluksiz

tasvir joriy $f(x, y)$ funksiya bilan ifodalanadi. Tasodifiy jarayon $f(x, y)$ qo'shma ehtimollik zichligi $P[A]$ bilanto'liq tavsiflanadi.

Ushbu vazifani chiziqli qarama-qarshilikning element-element o'zgarishi yordamida hal qilish mumkin, ya'ni:

$$g(x, y) = af(x, y) + b.$$

Maydon ravshanligining noravshan qiymatlarini ba'zi bir standart qiymatlarga olib boradiganshundayavabolingan bo'lsin. Bu erda $M[f(x, y)], \sigma[f(x, y)]$ taxminiy baholanadi, oldindanchiqish maydoni $M[g(x, y)], \sigma[g(x, y)]$ ni olish uchuna, bkoeffitsientlar tanlanadi:

$$\begin{aligned} \bar{g}(x, y) &= \frac{f(x, y) - M[f(x, y)]}{\sigma[f(x, y)]} \cdot \sigma[g(x, y)] + M[g(x, y)] = \\ &= \frac{\sigma[g(x, y)]}{\sigma[f(x, y)]} f(x, y) + M[g(x, y)] - M[f(x, y)] \frac{\sigma[g(x, y)]}{\sigma[f(x, y)]}; \\ a &= \frac{\sigma[g(x, y)]}{\sigma[f(x, y)]}; \quad b = M[g(x, y)] - M[f(x, y)] \frac{\sigma[g(x, y)]}{\sigma[f(x, y)]}, \end{aligned}$$

bunda

$$M[f(x, y)] = \frac{\sum_{i=1}^k f_i(x, y) \cdot \mu_i^f(x, y)}{\sum_{i=1}^k \mu_i^f(x, y)}; \quad M[g(x, y)] = \frac{\sum_{i=1}^k g_i(x, y) \cdot \mu_i^g(x, y)}{\sum_{i=1}^k \mu_i^g(x, y)};$$

$$g(x, y) = F(f(x, y)) = \begin{cases} 0, & \bar{g}(x, y) < 0, \\ \bar{g}(x, y), & 0 \leq \bar{g}(x, y) \leq 255 \\ 255, & \bar{g}(x, y) > 255 \end{cases}$$

bunda μ diskret qiymatga ega va RGB dagi matritsa qiymatiga teng.

Shunday qilib, rasmlarni qayta ishlashda ba'zi xususiyatlarga asoslanib tasvirning bir xil joylarini tanlash talab qilinadi. Rasmni qayta ishlash bosqichlari buzilishlarning tanib olish jarayoniga ta'sirini kamaytiradi.

Ushbu filtratsiya algoritmlari tasvirga birlamchi ishlov berishda foydalanilib, tanib olishdagi foizini oshirishda o'z ahamiyatiga egadir. Qadimgi qo'lyozma manbalarda tasvirdagi ko'plab shumlarni olib tashlashda samarali natijaga erishildi.

Klasterlash usullari asosida segmentatsiya. Birinchi usul noravshan klasterlash usuli Fuzzy C-vositalari (Fuzzy C-vositalari- FCM), hozirda ko'plab modifikatsiyalarga ega edi [70]. FCM usuli g'oyalar va noravshan mantiqning matematik apparatlaridan foydalanishga asoslangan. FCM

algoritmi jarayonida tasvirning har bir pikseliga har bir sinf uchun tegishlilik funktsiyalari vektori beriladi, buning asosida ushbu ob'ektning tabiati to'g'risida xulosalar chiqarish mumkin.

FCM algoritmidan foydalangan holda segmentatsiya natijasi tanlangan o'lchovga bog'liq. Evklid masofasi faqat klasterlar yaxshi joylashganda va ularning o'lchamlari taxminan teng bo'lganda samarali bo'ladi. Aks holda, boshqa algoritmlardan foydalanish mumkin, masalan [71] dataklif qilingan algoritmyoki Gauss aralashmasini parchalash algoritmi.

Haqiqiy to'plamva $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\} \subset R$ haqiqiy sonlar ortib boruvchi tartibdaberilsin s_1, s_2, \dots, s_k , ya'ni: $s_1 < s_2 < \dots < s_k$.

X to'plami uchun A_1, A_2, \dots, A_k noravshan bo'linishni uchburchak funksiya yordamida tashkil qilish mumkin. Tasvir segmentatsiyasi uchun noravshan klasterlash algoritmini ishlab chiqishda, avvalo, tegishlilik funktsiyalarini ko'rib chiqamiz:

$$\mu_1(x) = \mu(x, s_1; s_2),$$

bunda $i = 2, 3, \dots, k-1$.

$$\mu_i(x) = \mu(x, s_i; s_{i-1}) \wedge \mu(x, s_i; s_{i+1}),$$

$$\mu_k(x) = \mu(x, s_k; s_{k-1}).$$

Funktsiyalar bo'limning $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$ bo'linmasini quyidagi tenglik bilan belgilaydi:

$$\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_k = 1.$$

Ikkinchidan, noravshan bo'limga qo'llaniladigan defuzifikatsiya operatori $\tau(\mu, \gamma)$ aniqlanadi:

$$\tau(\mu, \gamma) = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k),$$

bunda

$$\tau(x, \mu, \gamma) = \frac{\mu_i^\gamma(x)}{\sum_{j=1}^k \mu_j^\gamma(x)}.$$

Bo'lsin v_i va F_i quyidagicha aniqlanadi:

$$v_i(x) = \mu_i(x) \wedge \tau_i(x, \mu; \gamma),$$

$$F_i(s_i) = \frac{\sum_{j=1}^m v_i(x_j) \cdot x_j}{\sum_{j=1}^m v_i(x_j)}.$$

Endi quyidagi parametr cheklovini ko'rib chiqiladi: s_1, s_2, \dots, s_k :

$$s_i = F_i(s_i). \quad (3.21)$$

Noravshan A_i to'plam (3.21) tenglama bilan aniqlanadi. s_i markaziy to'plamining qavariq tanasiga tegishli va bu F_i funksiyasi uchun sobit nuqta.

Natijalar quyidagi noravshan klasterlash algoritmi yordamida olinadi.

Qadam 1. Klaster sonik, defuzzification parametr γ , parametr to'xtatish tartibi δ , takrorlash indeksi $l = 0$, va dasta markazlaridan boshlanadi. Keyingi, noravshan $\mu_1^{(0)}, \mu_2^{(0)}, \dots, \mu_k^{(0)}$ tegishlilik vazifalariva $\tau_1^{(0)}, \tau_2^{(0)}, \dots, \tau_k^{(0)}$ defuzzifikatsiya qismlariga funksiyasi hisoblanadi.

Qadam 2. Takrorlanish ko'rsatkichi oshiriladi: $l \rightarrow l+1$ klaster markazlari $s_1^{(l)} = F_1(s_1^{(l-1)}), s_2^{(l)} = F_2(s_2^{(l-1)}), \dots, s_k^{(l)} = F_k(s_k^{(l-1)})$, noaniq tegishlilik funksiyalari $\mu_1^{(l)}, \mu_2^{(l)}, \dots, \mu_k^{(l)}$ defuzzifikatsiya komponentlari $\tau_1^{(l)}, \tau_2^{(l)}, \dots, \tau_k^{(l)}$ va $v_1^{(l)}, v_2^{(l)}, \dots, v_k^{(l)}$ funksiyalarini hisoblaymiz.

Qadam 3. $d = \sum_{i=1}^k |\mu_i^{(l)} - \mu_i^{(l-1)}|$ Hisoblanadi. Agar $d > \delta$ bo'lsa, unda 2-bosqichga qayting, aks holda 4-bosqichga o'ting.

Qadam 4. Ma'lumotlarni saqlang va oxiriga etkazing.

Ushbu filtratsiya algoritmlari tasvirga birlamchi ishlov berishda foydalanilib, tanib olishdagi foizini oshirishda o'z ahamiyatiga egadir. Qadimgi qo'lyozma manbalarda tasvirdagi ko'plab shumlarni olib tashlashda samarali natijaga erishildi.



3.15-rasm. Olingan asl tasvir



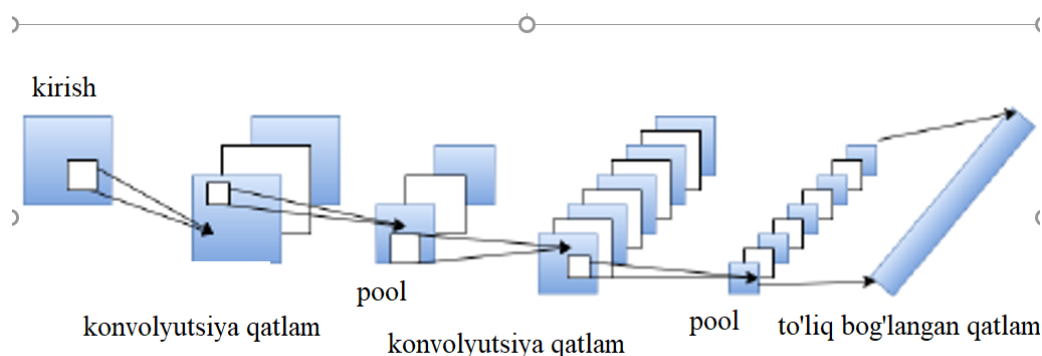
3.16-rasm. Yorqinlikni oshirish noravshan mantiq apparati, FCM va gauss filtratsiyasi, median filtratsiyasi(3x3) birdaniga foydalanilganda olingan natija tasviri

3.2.1. Qo'lyozma matnlarni tanishda CNN (convolution neural network) dan foydalanish

CNN odatda o'zida almashib keladigan svyortka qatlamlari, poolnamuna olingan qatlamlari va chiqishda mavjud to'liq bog'langan qatlamlarni (fully-connected layer) o'z ichiga oladi. Barcha uch turdagi qatlamlar masalaning turlariga va yechimga olib kelinishiga qarab ixtiyoriy tartibda almashinib keladi [73].

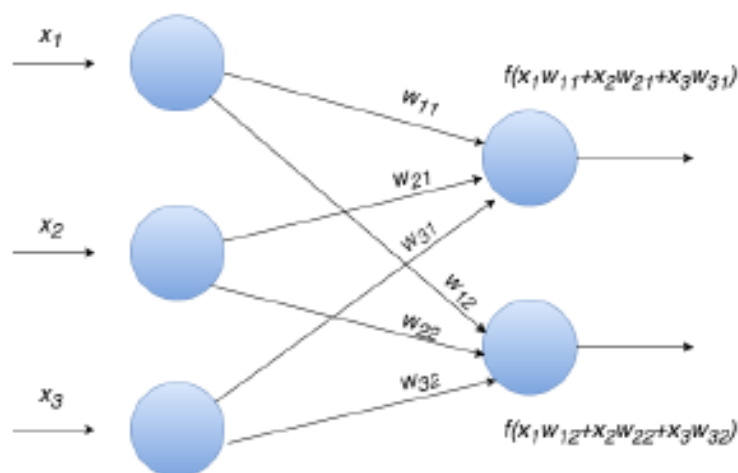
CNN da alomat kartalariga birlashtirilgan (feature maps) bir xil og'irliklarni ishlatadi, xosil qilingan kartasidagi har bir neyron oldingi qatlamdagi neyronlarning bir qismi bilan bog'lanadi. To'rtinchi hisoblashda, har bir neyron oldingi qatlamning ba'zi sohalarida svertkani amalga oshiradi.

CNN arxitekturasiga misol 3.17-rasmda keltirilgan.



3.17-rasm. CNN arxitekturasiga

Qatlamning har bir neyroni oldingi darajadagi barcha neyronlar bilan bog‘lanadi va har bir neyron o‘zining og‘irlik koeffitsientiga ega bo‘ladi. 3.18-rasmda to‘liq bog‘langan qatlamga misol keltirilgan.



3.18-rasm. To‘liq bog‘langan qatlam

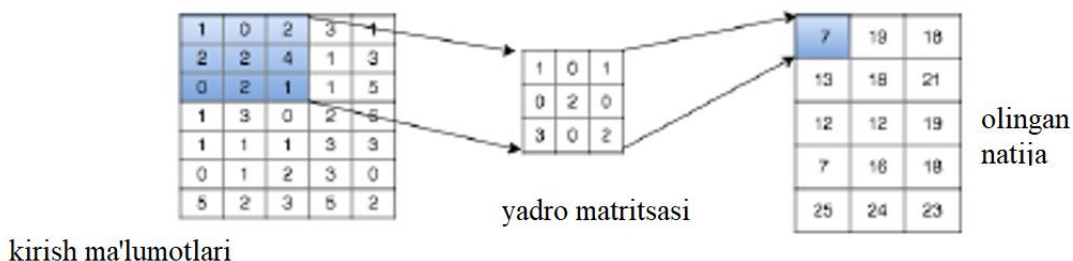
w_{ij} – og‘irlik koeffitsientlari;

f – faollashtirish funksiyasi.

To‘liq bog‘langanlikdan farqli ravishda, svyortkaqatlamda neyron oldingi qatlamdagi cheklangan sondagi neyronlar bilan bog‘lanadi, ya’ni svertka qatlam svertka operatsiyasini qo‘llashga o‘xshaydi, bu yerda qayta ishlanayotgan qatlam bo‘yicha “harakatlanadigan” kichik o‘lchamdagi og‘irlik matritsasi ishlatiladi.

Svyortkaqatlamning yana bir xususiyati shundan iboratki, u chekka effektlar hisobiga tasvirni bir oz pasaytiradi.

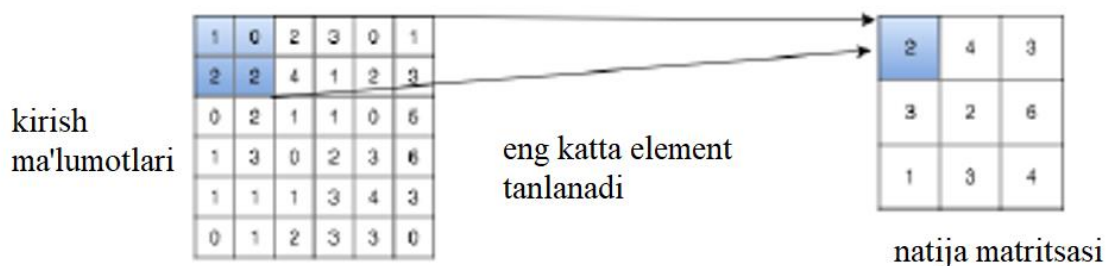
3.19-rasmda 3×3 o‘lchamli svertki yadroli svyortkaqatlamga misol keltirilgan.



3.19-rasm. Svyortka qatlami

Poolturdagi qatlamlar o‘lchamni qisqartirishni amalga oshiriladi. Bu har xil usullar bilan amalga oshirilishi mumkin, lekin ko‘pincha maksimal elementni tanlash (max-pooling) usuli qo‘llaniladi – barcha karta alomatlari qiymatlari bo‘yicha maksimumlari tanlanadigan yacheykalarga bo‘linadi.

3.4-rasmda maksimal elementlarni tanlash usuli bilan namuna qatlamiga misol keltirilgan.

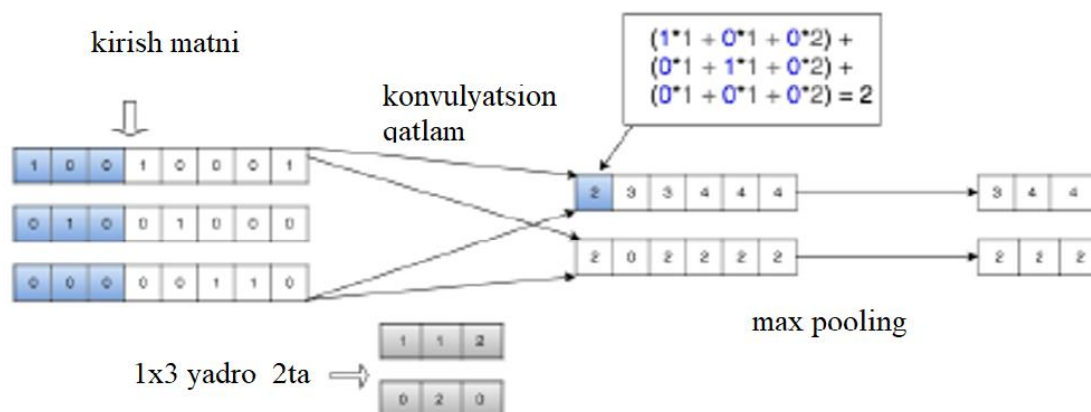


3.20-rasm.Pool qatlami

Dropout qatlami [74] neyron tarmoqlarda qayta o‘qitish bilan kurashish usuli, o‘qitish odatda tanlashlardan ba’zi ob’ektlarni tasodifiy tanlab olish orqali stoxastik gradient tushish orqali amalga oshiriladi. Dropout tartibga solish tarmoq strukturasi o‘zgartirishdan iborat: har bir neyron ma’lum bir p ehtimollik bilan tushirib qoldiriladi. Bunday tashlab yuborilgan tarmoqda o‘qitish amalga oshiriladi, qolgan og‘irliklar uchun gradientli qadam qo‘yiladi, shundan so‘ng tashlangan barcha neyronlar neyroto‘rga qaytariladi. Shunday qilib, stoxastik gradientlarning har bir qadamida mumkin bo‘lgan $2N$ tarmoq arxitekturasidan biri o‘rnatiladi, bu yerda arxitektura deganda neyronlar o‘rtasidagi bog‘liklik strukturasi tushuniladi. N orqali esa neyronlarning umumiy soni belgilanadi. Neyronto‘rni sinovdan o‘tkazishda neyronlar tanlanmaydi, ammo har bir neyronning chiqishi $(1 - p)$ ga ko‘paytiriladi – bunday chiqishlarda $2N$ arxitekturaning barchasi bo‘yicha uning javoblari olinadi. Shunday qilib, dropout-tartibga solish yordamida o‘qitilgan neyroto‘rni $2N$ tarmoqning o‘rtacha natijasi sifatida ko‘rish mumkin.

CNN yordamida matnlarni klassifikatsiyalash uchun belgilar bo‘yicha yondashuv tartibga solingan belgilar to‘plamini alfavit deb ataladi. Tanlangan alfavit m belgilardan iborat bo‘lsin. Matndagi alfavitning har bir belgisi $1 - m$ – kodlashtirish yordamida

kodlashtirilgan (ya'ni, har bir belgiga belgining alfavitdagi tartib nomeri o'rni birga teng bo'lgan, qolgan o'rinlar nolga teng bo'lgan elementli m uzundikdagi vektor mos qo'yiladi). Agar matnda alfavitga kiritilmagan belgi uchrasa, u holda uni faqat nollardan iborat m uzunlikdagi vektor bilan kodlash kerak. Matndan birinchi l belgilar tanlanadi. l parametr katta bo'lishi kerak, shunda birinchi l belgilar butun matn sinfini aniqlash uchun yetarli ma'lumotlarni o'z ichiga oladi.



3.21-rasm. Belgilar bo'yicha yondashuv

Keyin olingan vektorlar, har bir ustunida bittadan ko'p bo'lmagan birlarga ega bo'lgan $m \times l$ o'lchamli matritsani tashkil etadi. Olingan matritsaning har bir satri alohida alomatlar kartasi sifatida ishlatiladi. CNN ning kirish qismida tasvirga o'xshash $1 \times l$ o'lchamdagi ma'lumotlar kartasi beriladi. To'r arxitekturasi masalalar asosida tanlanishi kerak. 6-rasmda $l = 6$, $m = 3$ uchun belgilar bo'yicha yondashuvga misol keltirilgan. Misolda bitta svertka va bitta namuna olish qatlami ko'rsatilgan. Ushbu yondashuvni rasmiy ravishda tavsiflaymiz.

Matndagi i -chi belgining x_i – vektori bo'lsin.

$$x_{1:l} = x_1 \oplus x_2 \oplus \dots \oplus x_l$$

bunda \oplus vektorlarni birlashtirish amali.

S qatlam:

$$c_i = f(w \cdot x_{i:i+h-1} + b)$$

$$c = [c_1, c_2, \dots, c_{n-h+1}]$$

f – neyron to'rlarni faollashtirish funksiyasi;

b – o'zgarmas.

MAX-pooling qatlami:

$$\hat{c} = \max\{c\}.$$

Dropout qatlami:

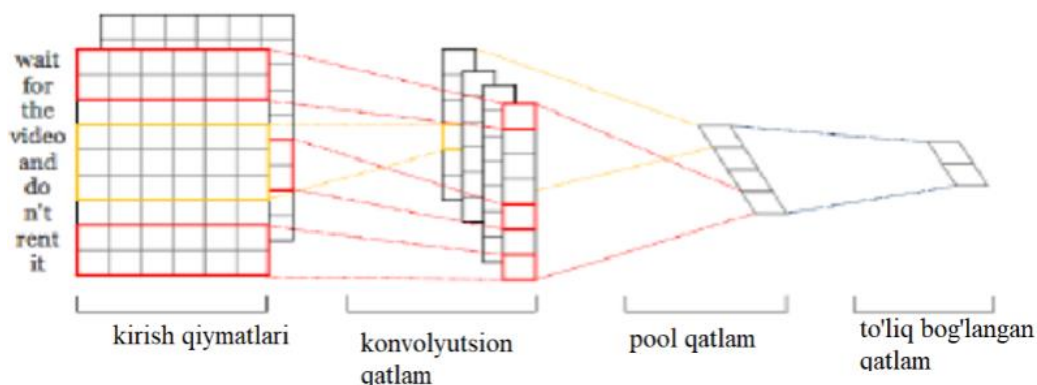
$$y = w(z \circ r) + b,$$

bunda \circ - belgilar bo'yicha ko'paytirish.

r – nol va birlardan iborat bo'lgan vektor.

[75] maqolada, agar tanlash hajmi yetarlicha katta bo'lsa, ayni vaqtda ma'lum bo'lgan boshqa ko'plab matnlarni klassifikatsiyalash usullari bilan taqqoslaganda, tavsiflangan yondashuv matnlarni yuqori aniqlikda sinflashtirish to'g'risida tajribalar keltirilgan. 1400000 o'lchamli ob'ektlarni tanlashda CNN belgilar bo'yicha yondashuvi bilan klassifikatsiyalash sifatida aniqlik o'lchamida - 0.712 ga, Bag of words usuli esa atigi - 0.689 ga erishdi.

Bu yondashuv [76] maqolada tasvirlangan. Ushbu yondashuvda matndagi har bir so'z fiksirlangan uzunlikdagi vektor bilan solishtiriladi, keyin esa CNN kirishiga beriladigan tasvirga o'xshash olingan vektorlardan har bir tanlangan ob'ektlar uchun matritsa tuziladi. (3.6-rasmga qarang)da so'zlarni kodlashdan foydalangan CNN ga misol keltirilgan.



3.22-rasm. So'zlar bo'yicha yondashuv

[96] maqolada tajribalar uchun bitta svyortka qatlam, bitta pool va bitta to'liq bog'lamli qatlam bilan neyron to'r amalga oshirilgan. Ushbu neyron to'ri bitta qatordan tashkil topgan katta bo'lmagan o'lchamdagi matnlarni klassifikatsiyalash uchun ishlatilgan.

3.2.2. Qo'lyozma matnlarni tanishda LSTM strukturasi

Xotira yacheykalari va vintelli bloklar. Oddiy yondashuvning kamchiliklari bo'lmagan holda, o'z-o'zidan bog'langan bo'limlar orqali doimiy xatolar oqimini ta'minlaydigan arxitekturani qurish uchun qo'shimcha funksiyalar kiritilgan. U orqali chiziqli birlik j -da ifodalangan doimiy xato CEC(constant error carousel)-ni kengaytirish mumkin. j -da saqlanayotgan xotira tarkibini mavjud bo'lmagan kirishlar bilan bezovta qilishdan ximoya qilish uchun multiplekativ kirish ventil bloki kiritilgan. Xuddi shu tarzda, ayni vaqtda j -da saqlanayotgan xotira tarkibini mavjud bo'lmagan ma'lumotlar bilan murojaat qilishdan boshqa bloklardan himoya qiladigan multiplekativ chiqish bloklari kiritilgan.

Natijada, yanada murakkab birlik xotira yaycheyka deb ataladi (3.7-rasmga qarang). j -chi xotira yaycheykasi c_j bilan belgilanadi. Har bir xotira yaycheykasi o'z-o'zidan fiksirlangan bog'langan (CEC) markaziy chiziqli birlik atrofida qurilgan bo'ladi net_{c_j} ga qo'shimcha ravishda c_j out_j ("chiqish ventili") multiplekativ blokdan va boshqa in_j ("kirish ventili") multiplekativ blokdan kirish ma'lumotlarini oladi. in_j ning t vaqtda faollashuvi $y^{in_j}(t)$, out_j lar esa $y^{out_j}(t)$ bilan belgilanadi.

Quyidagilar mavjud

$$y^{out_j}(t) = f_{out_j}(net_{out_j}(t)); y^{in_j}(t) = f_{in_j}(net_{in_j}(t)),$$

bunda

$$net_{out_j}(t) = \sum_u w_{out_j u} y^u(t-1),$$

va

$$net_{in_j}(t) = \sum_u w_{in_j u} y^u(t-1);$$

hamda

$$net_{c_j}(t) = \sum_u w_{c_j u} y^u(t-1),$$

uyig'indi indeksleri agar ular mavjud bo'lsa kirish bloklari, ventil bloklari, xotira yaycheyklari yoki hattoki oddiy yashirin bloklarni anglatishi mumkin. Barcha bu turdagi modullar to'ring hozirgi holati haqidagi foydali ma'lumotlarni yetkazishi mumkin. Masalan, kirish ventili (chiqish ventili) xotira yaycheykasida ba'zi ma'lumotlarni saqlash (murojaatni amalga oshirish) to'g'risida qaror qabul qilish uchun boshqa xotira yaycheykalaridagi kirishlardan foydalanishi mumkin. $w_{c_j c_j}$ kabi takrorlanadigan o'z-o'zidan bog'lanishlar bo'lishi mumkin.

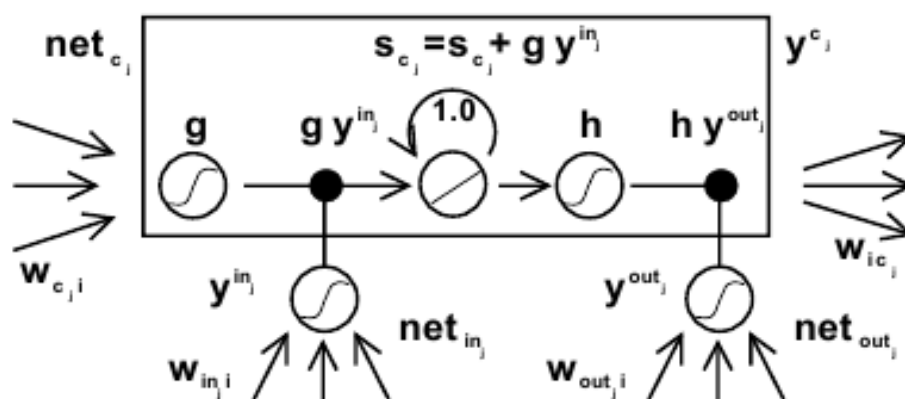
Foydalanuvchi to‘r topologiyasini aniqlashi mumkin. Misol uchun (3.8-rasmga qarang). t vaqtda c_j ning chiqishi $y^{c_j}(t)$ quyidagicha hisoblanadi.

$$y^{c_j}(t) = y^{out_j}(t)h(s_{c_j}(t)),$$

bunda “ichki holat” $s_{c_j}(t)$ quyidagiga teng

$$s_{c_j}(0) = 0, s_{c_j}(t) = s_{c_j}(t-1) + y^{in_j}(t)g(net_{c_j}(t)),$$

bunda $t > 0$ uchung differensialanuvchi funksiya net_{c_j} ni siqadi; h differensialanuvchi funksiya s_{c_j} ichki holatdan hisoblangan xotira yaycheykalari chiqishini masshtablaydi.



3.23-rasm. c_j xotira yacheykasining arxitekturasi va uning ventilli bloklari in_j ; out_j . o‘z-o‘zidan takrorlanadigan ulanishlar (og‘irligi 1.0 bilan) 1 vaqtinchalik qadam kechikishi bilan teskari aloqani ko‘rsatadi. U “doimiy xatolik aylanishi” CECasosini yaratadi. Ventil bloklari CEC ga murojaatni ochadi va yopadi

Kiritish og‘irligi ziddiyatlardan qochish uchun c_j xotira yaycheykasining $w_{c_j,i}$ kirish bog‘lanishlardagi in_j xato oqimlarini boshqaradi. c_j ning chiqish oqimlarini cheklab o‘tish uchun, out_j j ning chiqish ulanishlaridan xato oqimini boshqaradi. Boshqacha qilib aytganda, to‘r c_j xotira yaycheykasida ma’lumotlarni saqlash yoki qayta aniqlashni hal qilishda in_j dan, va c_j xotira yaycheykasiga qachon murojaat qilish kerakligi va boshqa bloklarning c_j tomonidan bezovta qilishning oldini olishda out_j dan foydalanish mumkin (3.7-rasmga qarang).

Xotira yaycheykasi CEC da saqlanib qolgan xato signallari o‘zgarishi mumkin emas – lekin uning chiqish ventili orqali yaycheykaga (har xil vaqtda) tushadigan har xil xato signallari joylashishi mumkin. Chiqish ventili o‘zlarining CEC da qaysi xatolarni

tuzatishni bilib olishlari kerak. Kirish ventili xatolarni qachon mos ravishda kattalashtirib, qachon chiqarishni o‘rganishi kerak. Darhaqiqat, multiplikativ ventil bloklari CEC orqali doimiy xatolar oqimiga murojaatni ochadi va yopadi.

Taqsimlangan chiqishlarni tavsiflashlar odatda chiqish ventillarini talab etadi. Biroq har doim ham ikkala ventillar zarur emas – lekin yetarli bo‘lishi mumkin. Xotira yaycheykalarining chiqish ma’lumotlarini o‘rganishga ta’sir o‘tkazishni oldini olishda, shunchalik tegishli og‘irliklarni nolga o‘rnatish orqali amalga oshirilishi mumkin. Biroq, bu holatda ham chiqish ventillari foydali bo‘lishi mumkin: ular to‘rning uzoq vaqt kechikish xotiralarini saqlashga urinishlarini oldini olishadi, osonlikcha o‘rganiladigan qisqa muddatli kechikish aks ettiruvchi faollashuvlarni oldini oladi.

To‘r topologiyasi. Bitta kirish qatlami, bitta yashirish qatlam va bitta chiqish qatlami bo‘lgan to‘rlardan foydalanildi. To‘liq bog‘langan yashirin qatlamda xotira katakchalari va tegishli ventil bloklari. Yashirin qatlam, shuningdek, ventil bloklari va xotira katakchalariga kirishni ta’minlaydigan “oddiy” yashirin bloklarni o‘z ichiga olishi mumkin. Hamma darajalardagi barcha bloklar (ventil bloklaridan tashqari) yuqori darajalardagi barcha bloklarga yo‘naltirilgan ulanishlarga ega.

Xotira katakcha bloklari. Xuddi shu kirish ventili va bir xil chiqish ventilini taqsimlaydigan S xotira katakchalari “S o‘lchamdagi xotira katakchalar bloki” deb nomlangan tuzilmani hosil qiladi. Xotira kataklari bloklari ma’lumotlarni saqlashni osonlashtiradi – odatdagi neyron to‘rlarida bo‘lgani kabi, bitta katakcha ichida taqsimlangan kirishni kodlash ham oson emas. Har bir xotira katak bloki bitta xotira katakchasi (ya’ni ikkitasi) singari ventil elementlariga ega bo‘lganligi sababli, blok arxitekturasi biroz samaraliroq bo‘lishi mumkin. 1-o‘lchamdagi xotira katakchasi bloki shunchaki oddiy xotira ktakchasidir. O‘qitish. Biz RTRL [77] variantidan foydalanamiz, bu chaqirilgan kirish va chiqish ventillari multiplekativ dinamikasini o‘zgarishini to‘g‘ri hisobga oladi. Biroq, qisqartirilgan BPTT kabi [78] holatlarda xotira katakchalarining ichki holati orqali parchalanmaydigan xatolarni qayta ishlashini ta’minlash uchun “xotira katakchasining aniq kirishlari” ga keladigan xatolar (c_j katakchasi uchun $net_{c_j}, net_{in_j}, net_{out_j}$ lar kiradi) o‘z vaqtida ko‘paytirilmaydi (garchi ular keladigan og‘irliklarni o‘zgarishga xizmat qilsa ham). Faqatgina xotira kataklari ichki xatolari oldingi s_{c_j} ichki holatlar orqali teskari uzatiladi. Buni vizualizatsiyalash uchun:

xotira katagi chiqishiga xato signali kelgandan so‘ng, u chiqish ventili va h' faollashtirilib masshtablashtiriladi. Keyin u xotira katakchasining CEC ichida joylashgan bo‘lib, u yerdan masshtablashtirilmasdan cheksiz qaytishi mumkin. Faqat u xotira katakchasini kirish ventili va g orqali tark yetgandagina, u yana bir marta kirish elementi va g' yordamida masshtablanadi. Keyin u kiradigan og‘irliklarni o‘zgartirish uchun oldin uni qisqartirishga xizmat qiladi.

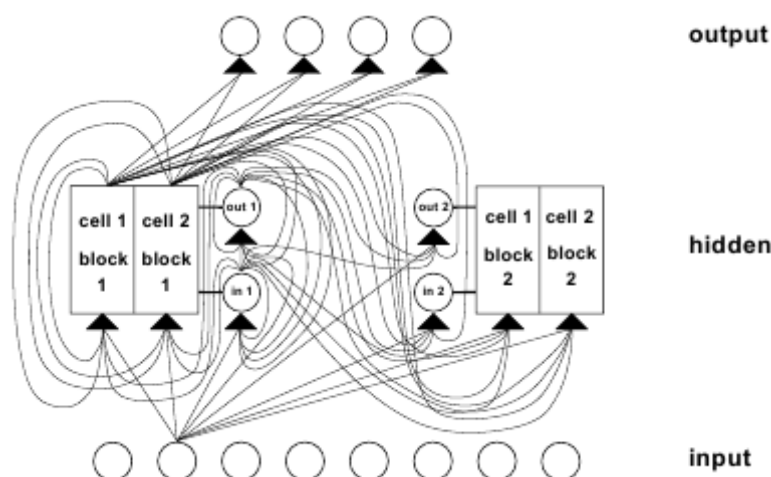
Hisoblashning murakkabligi. Mozerning teskari taqsimlangan rekurrent algoritmi fokuslangan holatida[79], faqat hosilalarni $\frac{\partial s_{c_j}}{\partial w_{il}}$

saqlash va yangilash kerak bo‘ladi. Shuning uchun LSTM algoritmi $O(W)$ ni yangilash murakkabligi farqi bilan juda ham samarali, bu yerda W – og‘irliklar miqdori. Shunday qilib, har bir vaqt qadami uchun to‘liq rekurrent to‘rlar uchun LSTM va BPTT yangilashning bir xil murakkablikka ega. Biroq, to‘liq BPTT dan farqli o‘laroq, LSTM makon va vaqt bo‘yicha lokal hisoblanadi: ketma-ket ishlov berish paytida kuzatilgan aktivizatsiya qiymatlarini potensial cheksiz hajmdagi stekda saqlashga hojat bo‘lmaydi.

Suiste‘mol qilish muammosi va yechimlari. O‘qitish bosqichining boshida, vaqt bo‘yicha ma‘lumotlarni saqlamasdan xatolarni kamaytirish imkoniyati bo‘lishi mumkin. Shunday qilib, to‘r xotira katakchalarini suiste‘mol qilishga moyil bo‘ladi, masalan, yonma-yon kataklar sifatida (ya‘ni, bu ularning aktivlashuvini doimiy holga keltirishi va chiqadigan ulanishlarni boshqa birliklar uchun moslashuvchan chegaralar sifatida ishlatilishi mumkin). Potensial qiyinchilik quyidagicha: suiste‘mol qilingan xotira kataklarini bo‘shatish va ularni keyingi o‘qitish uchun taqdim etish uchun ko‘p vaqt ketishi mumkin. Xuddi shunday “suiste‘mol qilish muammosi”, agar ikkita xotira katakchasida bir xil ma‘lumotlarni saqlasa paydo bo‘ladi. Suiste‘mol qilish muammosining kamida ikkita yechimi mavjud:

1) To‘rning ketma-ket qurilishi [80] xato kamayib ketganda to‘rga xotira katagi va tegishli ventil birliklari qo‘shiladi.

2) Chiqish ventilining bir tarafi har bir chiqish ventili salbiy dastlabki boshlang‘ich qiymatni oladi, bu esa xotira kataklarining boshlang‘ich faolligini nolga yetkazish uchun ishlatiladi. Ko‘proq salbiy tomonga ega bo‘lgan xotira kataklari uchun amalga oshiriladi keyinchalik avtomatik ravishda “ajratiladi”.



3.24-rasm. 8 ta kirish blokli, 4 ta chiqish blokli va 2 ta o‘lchamdagi 2 ta xotira katakchalari bo‘lgan to‘r

Bu misolda zich ulanish nazarda tutilgan: har bir ventil bloki va xotiraning har bir katagi chiqishsiz barcha bloklarni ko‘radi. Lekin oddiylik uchun har bir qatlam uchun faqat bitta turdagi birliklarning chiqadigan og‘irliklari ko‘ratilgan. Yangilashni qisqartirilgan qoidasi samaradorligi xato faqat chiqish bloklari bilan ulanish orqali va katak bloklari ichidagi o‘z-o‘zini fiksirlangan bog‘lash orqali o‘zatiladi (3.24-rasmga qarang). Xato oqimi kesiladi, agarda u xotira katagini yoki ventil blokini tark etishni “xohlasa”. Shuning uchun, yuqorida ko‘rsatilganlardan birorta ulanish, ulanishning o‘zi o‘zgartilishi mumkin bo‘lsada, ulanish paydo bo‘lishdan (chiqish bloklari bilan ulanishdan tashqari) xatoni teskari o‘zatishtan uchun xizmat qilmaydi. Shu sababli LSTM algoritmi juda uzoq vaqt davomida kechikishlarni bartaraf etish qobiliyatiga ega bo‘lishiga qaramasdan, juda samarali.

Ichki holatning drifti va himoya qoidalari vositalari. Agar c_j xotira katakchasining kirish ma’lumotlari asosan ijobiy yoki asosan salbiy bo‘lsa, u holda ichki holati s_j vaqt o‘tishi bilan o‘zining qiymatlarini yo‘qotishi mumkin. bu potensial xavfli bo‘ladi, chunki $h'(s_j)$ juda kichik qiymatlarni qabul qiladi va gradient yo‘qoladi. Bu muammoni chetlab o‘tish usullaridan biri mos keladigan h funksiyani tanlashdir. Lekin, masalan, $h(x) = x$ cheklanmagan xotira kataklari chiqish diapazonining kamchiliklariga ega. O‘qitish boshlanishida drift muammolarini hal qilishning sodda, ammo samarali usuli bu dastlab kirish ventilini in_j nolga tomon burishdir. Bir tomondan $h'(s_j)$ kattaliklari va boshqa tomondan y^{in_j} va f'_{in_j} kattaliklari o‘rtasida o‘zaro kelishuv mavjud bo‘lsa ham, kirish ventili tarafdorlarning potensial salbiy ta’siri drift effektiga nisbatan ahamiyatsiz bo‘ladi.

3.2.3. Qo'lyozma matnlarni tanishda CTC strukturasi

CTCda RNN yordamida ketma-ket ma'lumotlarni markerlashning yangi usuli keltirilgan, bu o'qitish ma'lumotlarini oldindan segmentlash kerakligi va qayta ishlangan natijalarga ehtiyojni yo'q qiladi va ketma-ketlikning barcha jihatlarini bitta tarmoq arxitekturasiga birlashtiradi. Asosiy g'oya shundan iboratki to'r chiqish ma'lumotlarini interpretatsiyalash, shartli ravishda berilgan kirish ketma-ketligi barcha mumkin bo'lgan markerlar ketma-ketligi bo'yicha ehtimoliy taqsimlanadi. Bu taqsimodni hisobga olgan holda, to'g'ri markerlashning ehtimolligini to'g'ridan-to'g'ri maksimmallashtiradigan maqsad funksiya olinishi mumkin. Maqsad funksiyasi differensialashi mumkin bo'lganligi uchun, to'r vaqt o'tishi bo'yicha standart teskari taqsimlash yordamida o'qitilishi mumkin [81].

Keyinchalik, segmentlanmagan ma'lumotlar ketma-ketligini vaqtinchalik klassifikatsiya[82] deb belgilash vazifasini kiritdi. Lekin konneksion vaqtinchalik klassifikatsiya (CTC) kabi bunday maqsadlar uchun RNN lar ishlatiladi. Aksincha, kadrlar bo'yicha klassifikatsiya kirish ketma-ketligi kadrlari yoki har bir vaqt qadami mustaqil markirovka deb ataladi.

S fiksirlangan taqsimlangan $DX \times Z$ olingan o'qitish misollar to'plami bo'lsin. Kirish fazosi $X = (Rm)^*$ bu m o'lchovli haqiqiy qiymatli vektorlarning barcha ketma-ketliklari to'plamidir. Maqsadli fazo $Z = L^*$ bu alfavit L nishonlarning ustidagi barcha ketma-ketliklar to'plamidir. Umuman olganda L^* ning elementlarini nishonlar ketma-ketligi yoki belgilar deb ataladi. S ning har bir misoli (x, z) juftliklar ketma-ketligidan iborat. Maqsadli ketma-ketlik $z = (z_1, z_2, \dots, z_u)$ kirish ketma-ketligidan $x = (x_1, x_2, \dots, x_T)$ ko'p bo'lmaydi, ya'ni $U \leq T$ bo'ladi.

Kirish va maqsadli ketma-ketliklar odatda bir xil uzunlikda bo'lmaydi, ularni tenglashtirishning xech qanday apriorli usuli yo'q.

Maqsad shundan iboratki, h vaqtinchalik klassifikatorni o'qitish uchun S dan foydalanishdir: $X \rightarrow Z$ oldin ko'rilmagan kirish ketma-ketliklarini ba'zi bir masalalarni aniqlovchi xato o'lchovini minimallashtiradigan tarzda klassifikatsiyalash uchun foydalaniladi.

Quyidagi xato o'lchovi S bilan kesishmaydigan berilgan $S' \subset Z = L^*$ sinov to'plami uchun vaqtinchalik klassifikator h ning nishondagi xato koeffitsenti (LER) uning klassifikatsiyasi orasidagi normallashtirilgan taxrirlangan masofa sifatida va S' maqsadlarni aniqlaydi, ya'ni:

$$LER(h, S') = \frac{1}{Z} \sum_{(x,z) \in S'} ED(h(x)),$$

bunda Z - S' dagi butun nishonlarning umumiy soni, va $ED(p, q)$ - p va q ikkita ketma-ketliklar orasidagi tahrir masofasi – ya'ni p ni q ga o'zgartirish uchun zarur bo'lgan qo'yish, o'zgartirish va o'chirishlarning minimal soni hisoblanadi.

Bu transkripsiyadagi xatolar miqdorini mingimallashtirishga qaratilgan masalalar (masalan, nutq yokui qo'l yozmalarni tanib olish) uchun tabiiy o'lchovdir.

CTC uchun rekurent neyron to'ridan foydalanishga imkon beradigan chiqish vakili tavsiflangan. Xal qiluvchi qadam tarmoq chiqishlarini nishonlar ketma-ketligi bo'yicha shartli taqsimotga aylantirishdir. Keyinchalik, ma'lum bir kirish ketma-ketligi uchun mumkin bo'lgan nishonlarni tanlash orqali to'rdan klassifator sifatida foydalanish mumkin.

CTC to'ri softmax chiqish qatlamiga ega [83], L dagi nishonlarga qaraganda bitta blok ko'proq. Birinchi darajali aktivlashtirish $/L/$ birliklar ma'lum vaqtlarda tegishli nishonlarni kuzatish ehtimoli sifatida talqin etiladi. Qo'shimcha aktivlashtirish birliklari – bu “bo'sh” yoki nishonsiz kuzatilish ehtimolini bildiradi. Bu chiqish ma'lumotlarning barchasi kirish ketma-ketligi bilan barcha mumkin bo'lgan nishonlar ketma-ketligining tartiblashning barcha mumkin bo'lgan usullarini aniqlaydi. Keyinchalik har qanday nishonlar ketma-ketligining to'liq ehtimolligini uning har xil tartiblashlarining ehtimolligini yig'ish orqali topish mumkin.

Rasmiy ravishda, T uzunlikdagi x kirish ketma-ketligi uchun m kirishli, n chiqishli va Nw uzluksiz tasvirlash kabi w og'irdik vektori bilan rekurent neyron to'ri aniqlanadi: $(Rm)^T \rightarrow (Rn)^T$. $y = Nw(x)$ to'r chiqishlar ketma-ketligi bo'lsin va t vaqt momentida k chiqish bloklarini aktivlashtirishni y_t^k bilan belgilang. Unda $y_t^k \in L' = L \cup \{blank\}$ alfavit bo'yicha T ketma-ket uzunlikdagi L^T to'plamlar bo'yicha taqsimotni aniqlaydigan, t vaqt momentida k nishonlarni kuzatish ehtimoli kabi interpretatsiyalanadi:

$$p(\pi|x) = \prod_{t=1}^T y_{\pi t}^t, \forall \pi \in L^T. \quad (3.22)$$

(3.22) da nazarda tutilgan taxmin – bu to'ring ichki xolatini hisobga olgan holda, turli vaqtlardagi to'r chiqishlari shartli ravishda mustaqil bo'ladi. Bu chiqish darajasidan o'ziga yoki to'rga hech qanday teskari aloqa mavjudmasligini talab qilish bilan erishish mumkin.

Keyingi qadam ko‘p sonli B xaritasini aniqlash hisoblanadi: $L^T \rightarrow L \leq T$, bu yerda $L \leq T$ bu mumkin bo‘lgan nishonlar to‘plami (ya’ni, asl nishonlar alfaviti L bo‘yicha, uzunligi T dan kam yoki ko‘p ketma-ketliklar to‘plami) bo‘lsin. Buni oddiy holda barcha takrorlangan nishonlarni va bo‘sh joylarni yo‘llardan olib tashlash orqali amalga oshiramiz (masalan, $B(a - ab^-) = B(-aa - -abb) = aab$). Intiutiv ravishda, chiquvchi yangi nishon, to‘r nishonni tashlab ketishni bashorat qilishdan bashorat qilingan nishonga yoki bashorat qilingan bitta nishondan boshqasiga o‘zgarishiga mos keladi (3.25-rasmga qarang).

Nihoyat, berilgan nishonlarning $l \in L \leq T$ shartli ehtimolligini, uning yo‘lidagi barcha ehtimollarning yig‘indisi kabi aniqlashda B ni ishlatamiz:

$$p(l|x) = \sum_{\pi \in B^{-1}(l)} p(\pi|x). \quad (3.23)$$

Yuqoridagi formulani hisobga olgan holda, chiqish ma’lumotlar klassifikatori kirish ketma-ketligi uchun eng ehtimoliy nishon bo‘lishi kerak:

$$h(x) = \arg \max_{l \in L^T} p(l|x).$$

HMM terminologiyasidan foydalanib, ushbu markirovkani dekodlash masalasini aniqlash deb nomlanadi. Afsuski, tizim uchun umumiy dekodlash algoritmi mavjud emas. Ammo quyidagi ikkita yaqinlashuvchi usullar amaliyotda yaxshi natijalarni beradi.

Birinchi usul (dekodlashning eng yaxshi yo‘li) eng ehtimoliy yo‘l eng ehtimoliy nishonga to‘g‘ri keladi degan taxminga asoslanadi:

$$h(x) \approx B(\pi^*), \quad (3.24)$$

bunda $\pi^* = \arg \max_{\pi \in N^T} p(\pi|x)$.

Yo‘lning eng yaxshi dekodlashini hisoblash ahamiyatsiz, chunki π^* vaqtning har bir qadamida eng aktiv chiqish signallarini oddiy birlashtirishdir. Biroq eng ehtimoliy nishonlarni topishga kafolatlanmagan.

Ikkinchi usul (prefiks bo‘yicha qidirishlarni dekodlash) Yetarli vaqtni hisobga olgan holda, oldindan qidirishni dekodlash har doim eng yuqori ehtimoliy nishonlarni oladi. Shu bilan birga, kengaytirilishi kerak bo‘lgan prefikslarning maksimal soni kirish ketma-ketligining uzunligini oshirish bilan eksponensial ravishda oshib boradi. Agar chiqish taqsimoti rejim atrofida yuqori darajaga ko‘tarilsa, u oqilona vaqt ichida tugaydi. O‘qitilgan CTC to‘rining chiqish ma’lumotlari kuchli prognoz qilingan bo‘sh joylar (3.25-rasmga qarang) bilan ajratilgan bir qator

pog'onalarni hosil qilish tendensiyasini kuzatib, chiqish ketma-ketligini boshlash va bo'sh joy bilan tugash ehtimoli yuqori bo'lgan qismlarga ajratiladi. Buni bo'sh nishonni kuzatish ehtimoli ma'lum chegaradan yuqori bo'lgan chegara nuqtalarini tanlash orqali amalga oshirish mumkin. Keyin har bir bo'lim uchun eng ehtimoliy nishonlarni alohida-alohida hisoblaymiz va yakuniy klassifikatsiyani hosil qilish uchun ularni birlashtiramiz.

Amalda prefiksni qidirish ushbu evristikada yaxshi ishlaydi va odatda eng yaxshi yo'l dekodlashidan ustun turadi. Biroq, ba'zi xollarda bu noto'g'ri ishlaydi, masalan, agarda bir xil nishon kesim chegarasining ikkala tomonida zaif bashorat qilingan hollarida kuzatiladi.

Hozircha CTC uchun RNN lardan foydalanishga imkon beradigan chiqish taqdimotini tasvirlab berildi. Endi gradientli tushishli CTC to'rini o'qitish uchun maqsad funksiyasini hosil qilamiz.

Maqsad funksiya maksimal ehtimollik prinsipidan kelib chiqadi. Ya'ni, uni minimallashtirish jurnalda maqsad nishonlarini paydo bo'lish ehtimollini maksimal darajaga oshiradi. To'r chiqish signallari bo'yicha maqsad funksiya va uning hosilalarini hisobga olgan holda vazn gradientlarini vaqt bo'yicha standart teskari ommallashtirish yordamida hisoblash mumkin. Keyinchalik to'r neyron to'rlari uchun ayni vaqtda qo'llanilayotgan gradientga asoslangan ixtiyoriy optimallashtirish algoritmlari yordamida o'qitilishi mumkin [93,104].

Maksimal ehtimollik funksiyasi uchun zarur bo'lgan algoritm bilan boshlaniladi.

Individual nishonlarning shartli ehtimolliklarini $p(l|x)$ hisoblashning samarali usuli talab qilinadi. Birinchi qarashdayoq (3.24) bu muammoli bo'ladi, degan xulosaga kelish mumkin: berilgan nishonlarga mos keluvchi barcha yo'llar bo'yicha yig'indini hisoblash, umuman olganda ular juda ko'p.

Yaxshiyamki, muammoni HMM lar uchun to'g'ri-teskari algoritmiga o'xshash, dinamik dasturlash algoritmi yordamida hal qilish mumkin[71]. Asosiy g'oya shundan iboratki, nishonga mos keluvchi yo'llar bo'yicha yig'indisini, bunday nishonlar prefiksiga mos keluvchi yo'llar bo'yicha iterativ yig'indiga bo'lish mumkin. Keyin iteratsiyalarni rekursiv to'g'ri va teskari o'zgaruvchilar bilan samarali hisoblash mumkin.

r uzunlikdagi q ketma-ketlik uchun $q1:p$ va $qr-p:r$ orqali uning birinchi va oxirgi belgilari mos kelishini bildiradi. Keyin l nishon uchun

t vaqt momentidagi $l_1:s$ to'liq ehtimollik kabi $\alpha_t(s)$ to'g'ri o'zgaruvchi aniqlangan, ya'ni

$$\alpha_t(s) \stackrel{def}{=} \sum_{\substack{\pi \in N^T: \\ B(\pi_t) = l_1:s}} \prod_{t'=1}^t y_{\pi_{t'}}^t, \quad (3.25)$$

bunda $\alpha_t(s)$ ni $\alpha_{t-1}(s)$ va $\alpha_{t-1}(s-1)$ lardan rekursiv ravishda hisoblash mumkin.

Chiqish yo'llarida bo'sh joylarni hisobga olishda, har bir juft nishonlar orasidagi boshi va oxiriga qo'shilgan bo'sh joylar bilan o'zgartirilgan l' nishonlar ketma-ketligini ko'riladi. Shunday ekan, l' ning uzunligi $2/l + 1$ ga teng. l' prefiks ehtimolligini hisoblashda bo'sh va bo'sh bo'lmagan nishonlar orasidagi, shuningdek alohida bo'sh bo'lmagan ixtiyoriy juft nishonlar o'rtasida o'tishlarga ruxsat beriladi. Barcha prefikslar bo'sh joy (b) bilan yoki birinchi belgi $l(l_1)$ bilan boshlanishiga ruxsat beriladi.

Bu esa quyidagi initsializatsiya qoidalarini beradi

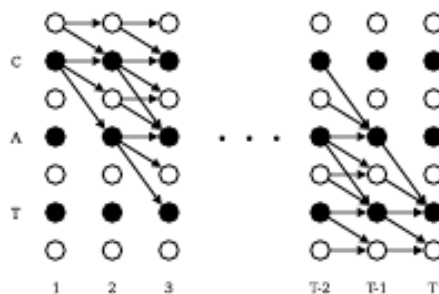
$$\begin{aligned} \alpha_1(1) &= y_b^1; \\ \alpha_1(2) &= y_{l_1}^1; \\ \alpha_1(s) &= 0, \quad \forall s > 2 \end{aligned}$$

va rekursiya

$$\alpha_t(s) \begin{cases} \bar{\alpha}_t(s) y_{l'_s}^t & \text{agar } l'_s = b \text{ yoki } l'_{s-2} = l'_s \\ (\bar{\alpha}_t(s) + \alpha_{t-1}(s-2)) y_{l'_s}^t & \text{aks holda} \end{cases}$$

bunda

$$\bar{\alpha}_t(s) \stackrel{def}{=} \alpha_{t-1}(s) + \alpha_{t-1}(s-1) \quad (3.26)$$



3.25-rasm. To'g'ri-teskari algoritmining 'CAT' nishoniga tatbiq etish tasviri

Qora doiralar yorliqlarni, oq doiralar esa bo'shliqlarni anglatadi. Oqlar ruxsat etilgan o'tishlarni bildiradi. Oldinga o'zgaruvchilar o'qlar yo'nalishi bo'yicha yangilanadi va orqaga qarab o'zgaruvchilar ularga nisbatan yangilanadi

$\alpha t(s) = 0 \forall s < |l'| - 2(T - t) - 1$ chunki bu o'zgaruvchilar ketma-ketlikni yakunlash uchun vaqt qadamlari yetarli bo'lmagan holatlarga mos keladi (3.25-rasmning yuqori o'ng burchagidagi bog'lanmagan aylanalar). Bundan tashqari

$$\alpha t(s) = 0; \forall s < 1.$$

l ning ehtimoli, T vaqt momentidagi final blankali va u l' ning to'liq ehtimoliy yig'indisidir:

$$p(l|x) = \alpha T(|l'|) + \alpha T(|l'| - 1). \quad (3.27)$$

Xuddi shunday, $\beta t(s)$ teskari o'zgaruvchilar ham t vaqtda $ls:|l|$ ning to'liq ehtimoli sifatida aniqlanadi:

$$\beta_t(s) \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{\substack{\pi \in N^T: \\ B(\pi_{1:t})=l:s}} \prod_{t'=t}^T y_{\pi_{t'}}^t; \quad (3.28)$$

$$\beta_T(|l'|) = y_b^T;$$

$$\beta_T(|l'| - 1) = y_{|l|}^T;$$

$$\beta_T(s) = 0, \forall s < |l'| - 1;$$

$$\beta_t(s) = \begin{cases} \bar{\beta}_t(s) y_{l'_s}^t & \text{agar } l'_s = b \text{ yoki } l'_{s+2} = l'_s \\ (\bar{\beta}_t(s) + \beta_{t+1}(s+2)) y_{l'_s}^t & \text{aks holda} \end{cases}$$

bunda

$$\bar{\beta}_t(s) \stackrel{\text{def}}{=} \beta_{t+1}(s) + \beta_{t+1}(s+1). \quad (3.29)$$

E'tibor beringki, $\beta t(s) = 0 \forall s > 2t$ (3.29-rasmdagi chap quyi burchagidagi bog'lanmagan aylanalar) va $\forall s > |l'|$.

Amaliyotda, yuqorida keltirilgan rekursiyalar tez orada ixtiyoriy raqamli kompyuterda qayta ishlanmaslikka olib keladi. Bundan qochishning bir usuli to'g'ri va teskari o'zgaruvchilarning o'lchamini o'zgartirishdir [51]. Agar quyidagicha aniqlansa:

$$C_t \stackrel{\text{def}}{=} \sum_s \alpha_t(s), \hat{\alpha}_t(s) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\alpha_t(s)}{C_t} \quad (3.30)$$

(3.27) ning RHS da o'ng tomonini α ni $\hat{\alpha}$ ga o'zgartirilsa, to'g'ri o'zgaruvchilar hisoblash oralig'ida qoladi. Xuddi shunday teskari o'zgaruvchilar uchun aniqlanadi:

$$D_t \stackrel{\text{def}}{=} \sum_s \beta_t(s), \hat{\beta}_t(s) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\beta_t(s)}{D_t} \quad (3.31)$$

va (3.29) ning RHS da β ni $\hat{\beta}$ ga almashtiriladi.

Maksimal ehtimollik xatosini baholash uchun bizga butun nishonlar ehtimolligining tabiiy logarifmi kerak. O'lchami o'zgargan o'zgaruvchilar bilan ular oddiy shaklga ega:

$$\ln(p(1|x)) = \sum_{t=1}^T \ln(C_t).$$

Maksimal ehtimollik o'qitish usulining maqsadi bir vaqtning o'zida o'qitish tanlashdagi barcha to'g'ri klassifikatsiyalarning logarifmik ehtimollarini maksimalashtirishdir. Bu quyidagi maqsad funksiyasini minimallashtirishni anglatadi:

$$O^{ML}(S, N_w) = - \sum_{(x,z) \in S} \ln(p(z|n)). \quad (3.32)$$

To'rni gradient tushish bilan o'qitishda to'r chiqishlariga nisbatan (3.32) differensiallash kerak. O'qitish misollari mustaqil bo'lganligi uchun ularni alohida ko'rib chiqish mumkin:

$$\frac{\partial O^{ML}(\{(x,z)\}, N_w)}{\partial y_t^k} = - \frac{\partial \ln(p(x|z))}{\partial y_t^k}. \quad (3.33)$$

Muhim nuqta shundan iboratki, l nishon uchun berilgan s va t to'g'ri va teskari o'zgaruvchilarning ko'paytmasi t vaqtdagi s belgi orqali o'tadigan l ga mos keladigan barcha yo'llarning ehtimolli hisoblanadi. yuqoridalardan quyidagi kelib chiqadi:

$$\alpha_t(s)\beta_t(s) = \sum_{\substack{\pi \in B^{-1}(l): \\ \pi_t = l'_s}} y_{l'_s}^t \prod_{t=1}^T y_{\pi_t}^t. \quad (3.34)$$

(3.34) dan qayta tartibga solish va almashtirish beradi:

$$\frac{\alpha_t(s)\beta_t(s)}{y_{l'_s}^t} = \sum_{\substack{\pi \in B^{-1}(l): \\ \pi_t = l'_s}} p(\pi|x). \quad (3.35)$$

(3.35)dan ko'rishimiz mumkinki, bu t vaqtdagi l' orqali o'tadigan yo'llardan p(l|x) ehtimolining to'liq qismidir. Har qanday t uchun olingan barcha s larni yig'ish mumkin:

$$p(l|x) = \sum_{s=1}^{|l'|} \frac{\alpha_t(s)\beta_t(s)}{y_{l'_s}^t}, \quad (3.36)$$

bunda y_k^t farq qilganligi uchun faqat t vaqtdagi k nishon orqali o'tadigan yo'llar ko'rib chiqilishi kerak. Bitta l nishon uchun bir xil nishon (yoki bo'sh) bir necha marta takrorlanishi mumkin, k nishon uchraydigan o'rinlar to'plamini:

$lab(l, k) = \{s : l'_s = k\}$ kabi bo'sh joylar ham bo'lishi mumkinligini aniqlaydi. Keyin (3.34) ni differensiallanadi va quyidagilar kelib chiqadi:

$$\frac{\partial p(l|x)}{\partial y_k^t} = \frac{1}{y_k^{t^2}} \sum_{s \in lab(l,k)} \alpha_t(s)\beta_t(s). \quad (3.37)$$

Bularni kuzatib:

$$\frac{\partial \ln(p(l|x))}{\partial y_k^t} = \frac{1}{p(l|x)} \frac{\partial p(l|x)}{\partial y_k^t},$$

bunda $l = z$ ni o'rnatiladi va (3.37) ga qo'yib maqsad funksiyasini differensiallash mumkin.

Softmax qatlami orqali orqaga qaytarish uchun y_k^t normal bo'lmagan chiqish bo'yicha maqsad funksiya hosilalari kerak bo'ladi.

Agar quyidagilarga ega bo'lamiz:

$$\frac{\partial O^{ML}(\{(x,z)\}, N_w)}{\partial u_k^t} = y_k^t - \frac{1}{y_k^t Z_t} \sum_{s \in \text{lab}(z,k)} \hat{\alpha}_t(s) \hat{\beta}_t(s), \quad (3.38)$$

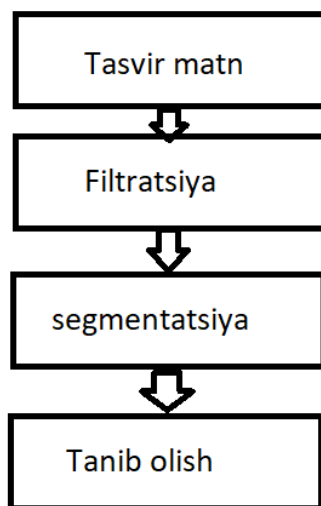
bunda

$$Z_t \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{s=1}^{|l'|} \frac{\hat{\alpha}_t(s) \hat{\beta}_t(s)}{y_{l'_s}^t}.$$

(3.38) tenglama o'qitish vaqtida to'r tomonidan hosil qilingan "xato siganli" xisoblanadi.

3.2.4. CNN+LSTM+fuzzy CTC gibrid neyron tarmog'ini ishlab chiqish

Qo'l yozma matnlarni tanib olish qadamlari mavjud bo'lib , ulardan har bir qadami tanib olishda muhim ahamiyatga egadir.

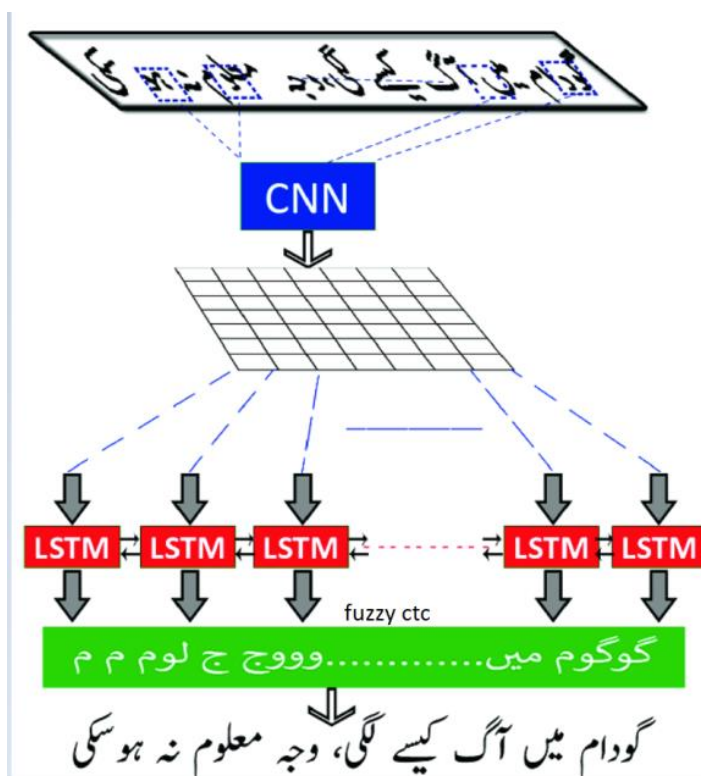


3.26-rasm. Matnni tanib olish bosqichlari

Tanib olishda tasvir tanlanib olinadi, tasvir har doim ham biz kutganday bo'lavermaydi. Ya'ni eski manba bo'lishi mumkin. Har xil xiralik va dog'larning mavjudligini kuzatishimiz mumkin. Oddiy daftarga yozilgan taqdirda uning chiziqlari halaqit beradi. Ma'lum

miqdordagi ranglarning ortiqchaligi natijada katta xatoliklarga olib kelishi hisobga olgan holda filtratsiyadan o'tkaziladi.

Segmentatsiya bu tanib olish etalonigacha olib kelinadigan jarayondir. Matnni tanib olishda turli xil usullar mavjud: qator segmentatsiyasi, so'z segmentatsiyasi, harf segmentatsiyasi. CNN+LSTM+CTC modeli uchun qator segmentatsiyasini tanladik. Tanib olishni samarali tashkil etish bir necha omillarga bo'liq bo'lib, har doim ham biz kutgan matn tasvir bo'lmasligini hisobga olgan holda quyidagi tanib olishning gibrud algoritmi ishlab chiqildi.



3.27-rasm. CNN+LSTM+fuzzy CTC ishlash illyustratsiyasi

Dastur kodda gibrud algoritmimiz quyidagicha tasvirlashimiz mumkin.

CNN=40:3x3 pool 2x2, cnn=60:3x3,pool=2x2,lstm=200, drou=0.5 ctc loss

Tanib olish dasturi pythonda ishlab chiqilgan. Shuning kodi asosida tanib olish tartibini keltirib o'tamiz. Bu yerda 40 ta filtr va 3x3 ko'rsatkich yadro funksiya hisoblnadi va bitta pool=2x2 dan foydalanamiz. 60 filtr 3x3 yadro funksiyasi, pool=2x2 ya'ni 2 ta cnn dan foydalanamiz. CNN strukturasi qator segmentatsiyadan chiqqan tasvirlarni berilgan so'zlarning gliflarini olishga xizmat qiladi. Qator

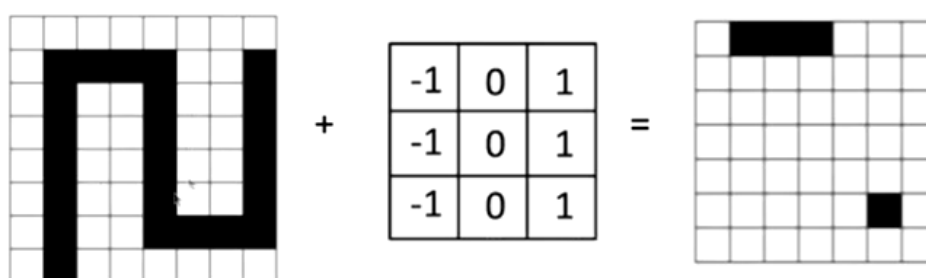
tasvir katta o'lchamga ega bo'lib uni 40 marta 3x3 yadro funksiya orqali svertka amali bajariladi va pool 2x2 amalga oshiriladi. Keyingi CNN qismda 60 ta 3x3 yadro funksiyasi bilan svertka amali bajariladi va pool=2x2 amalga oshiriladi.

CNN da yadro matritsasi yordamida tasvirning muhim xususiyatlarini ajratib olishimiz mumkin va pool svertka amali yordamida aktiv matritsasiga ega bo'lamiz. Bu aktiv matritsa yordamida shu shakldagi sinflarning asosiy parametrlarini saqlashimiz mumkin. Bu esa bizga bizga berilgan kirish neyronlarining qisqarishiga olib keldi. Belgi misolida ko'radigan bo'lsak:



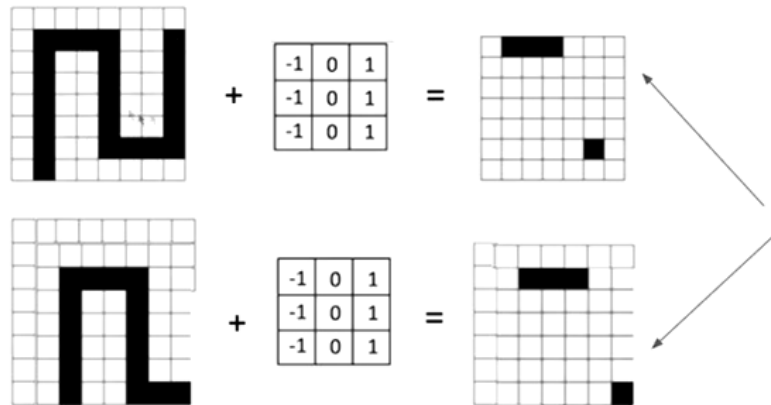
3.28-rasm. Har bir belgining farqli tamonlari

Biz CNN yadro matritsa yordamida uning vertikal, gorizonta, yoy shakllarini ajratib olishimiz mumkin.



3.29-rasm. Raqamning gorizonta parametrlarini ajratib olish

Demak yadro matritsasi asosiy qismlarni ajratib olish yordamida neyronga kirish qiymatlarini keskin ravishda qisqartirishga erishiladi.



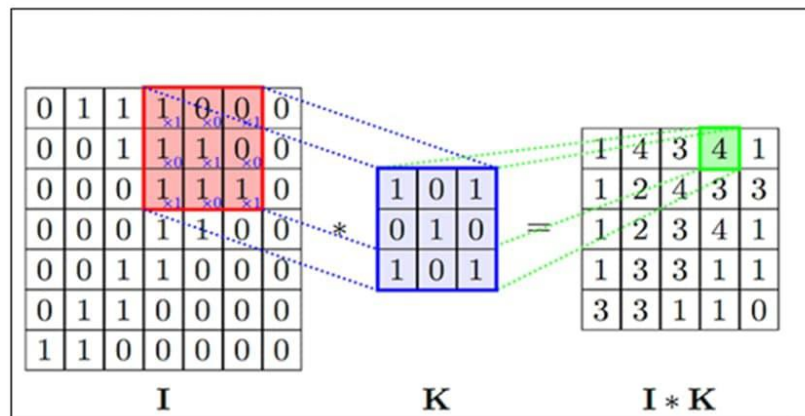
3.30-rasm. 2 ta yadro svertkasi orqali asosiy xususiyatlarining ajratilib olinishi

CNN kirish qatlamiga qator tasviri kiritiladi va yadro matritsa bilan xisoblanish formulasi quyidagicha:

$$(f * g)[m, n] = \sum_{k, l} f[m - k, n - l] * g[k, l], \quad (3.39)$$

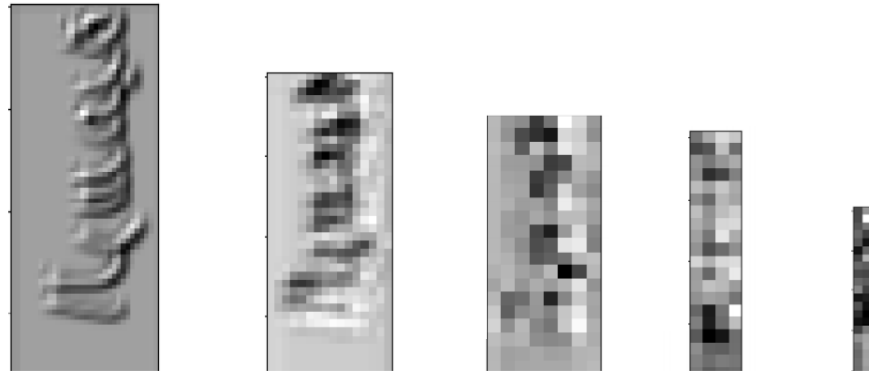
bunda f- kirish matritsasi, g –yadro matritsa.

Berilgan nxn o'lchamdagi yadro (3.37) orqali yangi aktiv matritsa shakllantiriladi: aktiv matritsada pool amalga oshiriladi.



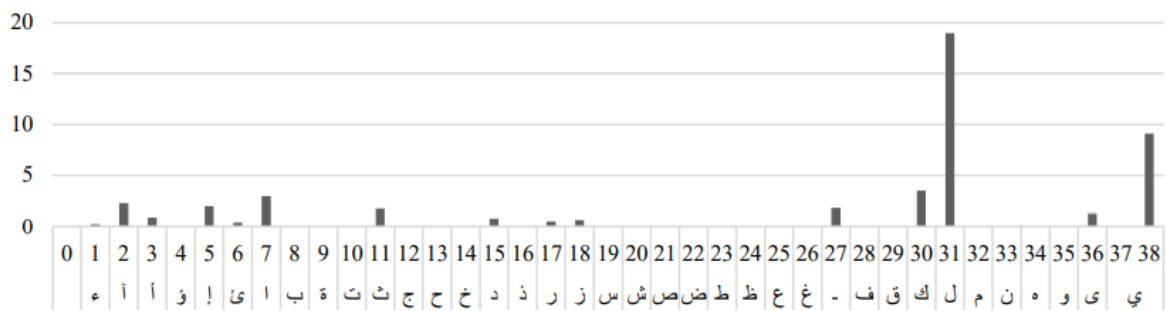
3.31-rasm. Svyortka amalining bajarilishi

Qator segmentatsiyasidan olingan natijalar har bitta qator uchun asosiy bo'lgan gliflar ya'ni so'z va harflarning shakllarining umumiy ko'rinishlari ajratib olinadi. Biz har bitta qator segmentatsiya elementini quyidagi natija ko'rinishida qabul qilamiz.

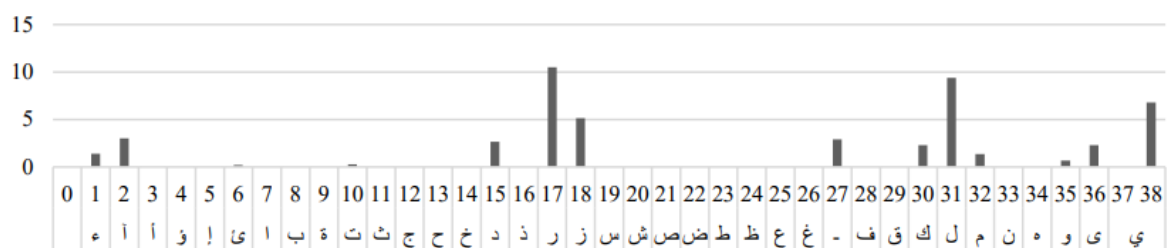


3.32-rasm. CNN dan olingan natija tasvirlar

CNN chiqish qiymatlari LSTM uchun kirish qiymat hisoblanadi va mos qirqim asosida kutilayotgan yo'llar xisobga olinib har bitta harf uchun segmentatsiya amalga oshiriladi.



3.33-rasm. Chegaralangan vaqt oralig'ida 31 harf va 38 harflarning farqlari bilan ajratilib olinish jarayoni



3.34-rasm. 17-31-38 alfavit tartibidagi harflarning ajratilib olish tartibi

Ushbu ajratish jarayoni rekursiv neyron tarmoq orqali amalga oshiriladi va kutilayotgan harf sinflashtirishiga moslashtiriladi. Xotira soniga mos ravishda chiqish qiymat kutiladi. LSTM ning ishlash

tartibini quyidagicha xisoblab olish sxematik ko'rinishini keltirib o'tamiz.

(3.23-rasmga qarang) o_t chiqish shlyuzi uzoq muddatli qisqa muddatli xotira blokining h_t xotirani faollashtirish chiqishini nazorat qiladi.

$$o_t = \sigma(W_o[x_t, h_{t-1}] + b_o),$$

$$h_t = o_t \odot \tanh(C_t).$$

Unutish shlyuzi avvalgi holatdan keyingisiga o'tish bilan f_t uzilishni boshqaradi.

$$f_t = \sigma(W_f[x_t, h_{t-1}] + b_f).$$

i_t kirish shlyuzi C joriy yacheykaning kirishi keyingi C_{t+1} vaqt oralig'ida gi xotira yacheykasi holatiga o'z hissasini qo'shishini aniqlaydi.

$$i_t = \sigma(W_i[x_t, h_{t-1}] + b_i).$$

C_t katakchanning keyingi holatini quyidashicha olish mumkin:

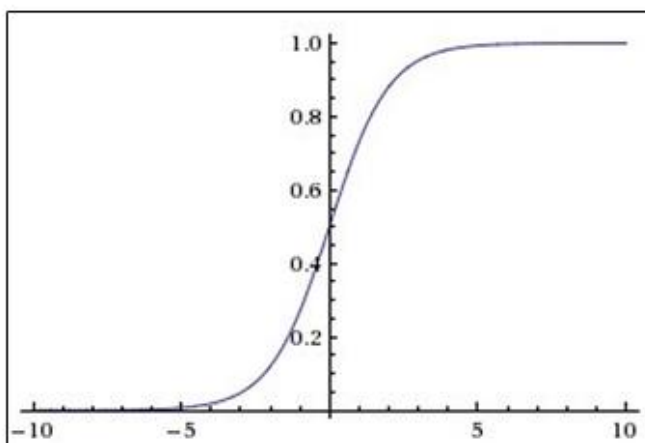
$$C_t = \tanh(W_c[x_t, h_{t-1}] + b_c),$$

$$C_t = f_t \odot C_{t-1} + i_t \odot C_t,$$

bunda Sigmoida (sigmoid) quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$\sigma = \frac{1}{1 + e^{-s}}.$$

Sigmoidal funksiyaning quyidagi rasmga ko'ra grafigi:

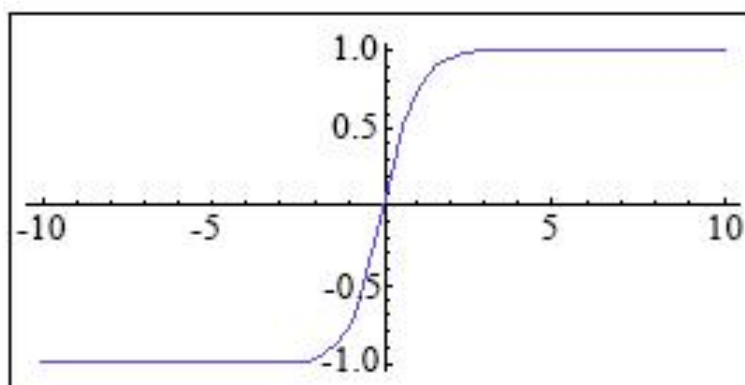


3.35-rasm. Sigmoid funksiyaning garfigi

Sigmoidaning eng noxush xususiyati bo'lib funksiyaning u yoki bu tomondan (0 yoki 1) to'yinganida bu sohalardagi gradientning nolga yaqinlashishi hisoblanadi.

Xatolikning teskari tarqalishi jarayonida bu (lokal) gradientning umumiy gradientga ko'payishini eslatib o'tamiz. Shuning uchun agar lokal gradient juda kichik bo'lsa, u umumiy gradientni amalga nolga teng qilib qo'yadi. Natijada signal neyron orqali uning vaznlariga va rekursiv tarzda uning ma'lumotlariga deyarli o'tmaydi. Bundan tashqari to'yinishning oldini olish uchun sigmoidal neyronlarning vaznlarini berishda juda ehtiyot bo'lish kerak. Masalan, agar berilgan vaznlar xaddan tashqari katta qiymatlarga ega bo'lsa, ko'pchilik neyronlar to'yinganlik holatiga o'tadi, natijada tarmoq yomon o'qitiladi.

Giperbolik tangens ko'rinishidagi faollashtirish funksiyasi:



3.36-rasm. Giperbolik tangens faollashtiruvchi funksiya grafigi

$$\tanh = \frac{e^{2s} - 1}{e^{2s} + 1}.$$

Har bir vaqt qadamida o'zining mazmunini qayta yozib qo'yadigan an'anaviy rekurrent blokdan farqli o'laroq, uzoq muddatli qisqa muddatli xotira birligi shlyuz orqali kiritilgan joriy xotira holatini saqlash to'g'risida qaror qabul qilishi mumkin.

Kutilayotgan mos segmentatsiya CTC orqali tartibga keltiriladi. Ularning kutilish yo'llari time distributta kirilgan qiymatlarga mos cheklangan vaqt oralig'ida diogonal bo'ylab yo'l belgilanadi va o'qitiladi.

Fuzzy CTC da chiqish qiymatlarini beriladi loss dastur xatoligiga qarab natijalar olinishi kutiladi. Yuqorida keltirilgan harflarni ajratishda fuzzyni loss qiymatni hisoblashda foydalanamiz. Yo'qotish funktsiyasi loss cheklangan ma'lumotlar bazasida juda yaxshi ishlamaydi. Buning sababi shundaki, noravshan to'plamlarning ba'zilari juda kichik, boshqalari esa juda katta bo'lgan qiymatlarda yaxshi natijaga erishishi

mumkin. Loss funksiyasining qiymatini kamaytirishda noravshan tegishlilik funksiyalaridan foydalanamiz. O‘qitishning mohiyati neyro-noravshan approksimatsiyalar natijalari va ob’ektning haqiqiy xususiyatlari o‘rtasidagi farqni eng kam darajaga keltiruvchi vaznlarini tanlab olishdan iborat.

$$y_j = f_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.40)$$

O‘qitish uchun neyron to‘rlari nazariyasi qo‘llaniluvchi:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^M (y_j - \hat{y}_j)^2 \rightarrow \min$$

mezoni minimallashtiruvchi quyidagi rekurrent munosabatlar tizimidan foydalaniladi:

$$w_{jp}(t+1) = w_{jp}(t) - \mu \frac{\partial E_t}{\partial w_{jp}(t)}, \quad c_i^{jp}(t+1) = c_i^{jp}(t) - \eta \frac{\partial E_t}{\partial c_i^{jp}(t)},$$

$$b_i^{jp}(t+1) = b_i^{jp}(t) - \eta \frac{\partial E_t}{\partial b_i^{jp}(t)}, \quad j = 1, m, i = 1, n, p = k_j,$$

bu yerda:

\hat{y}_j va y_j - ob’ekt (3.18) ning o‘qitishning j -qadamidagi nazariy va tajribaviy chiqishlari;

$w_j^p; c_i^{jp}, b_i^{jp}$ - qoidalar vaznlari (w) va o‘qitishning t -qadamidagi tegishlilik funksiyalarining parametrlari (b, c);

η - [105] dagi tavsiyalarga muvofiq tanlab olinishi mumkin bo‘lgan o‘qitish parametri;

$\bar{d}_j - d_j \in [\underline{y}, \bar{y}]$ sinf markazi.

(3.41)-(3.42) munosabatlarga kiruvchi xususiy hosilalar (E_t) xatolikning neyro-noravshan to‘r parametrlari o‘zgarishlariga bo‘lgan sezgirligini tavsiflaydi va quyidagicha hisoblanadi:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{jp}} = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 \frac{\partial \mu^{dj}(y)}{\partial w_{jp}}, \quad (3.41)$$

$$\frac{\partial E}{\partial c_i^{jp}} = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 \varepsilon_4 \frac{\partial \mu^{jp}(x_i)}{\partial c_i^{jp}},$$

$$\frac{\partial E}{\partial b_i^{jp}} = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 \varepsilon_4 \frac{\partial \mu^{jp}(x_i)}{\partial b_i^{jp}}, \quad (3.42)$$

bu yerda

$$\begin{aligned}
\varepsilon_1 &= \frac{\partial E}{\partial y} = y_j - \hat{y}_j, \\
\varepsilon_2 &= \frac{\partial y}{\partial \mu^{d_j}(y)} = \frac{\bar{d}_j \sum_{j=1}^m \mu^{d_j}(y) - \sum_{j=1}^m \bar{d}_j \mu^{d_j}(y)}{\left(\sum_{j=1}^m \mu^{d_j}(y) \right)^2}, \\
\varepsilon_3 &= \frac{\partial \mu^{d_j}(y)}{\partial \left(\prod_{i=1}^n \mu^{jp}(x_i) \right)} = w_{jp}, \\
\varepsilon_4 &= \frac{\partial \left(\prod_{i=1}^n \mu^{jp}(x_i) \right)}{\partial v^{jp}(x_i)} = \frac{1}{\mu^{jp}(x_i)} \prod_{i=1}^n \mu^{jp}(x_i), \\
\frac{\partial \mu^{d_j}(y)}{\partial w_{jp}} &= \prod_{i=1}^n \mu^{jp}(x_i), \\
\frac{\partial \mu^{jp}(x_i)}{\partial c_i^{jp}} &= \frac{2c_i^{jp}(x_i - b_i^{jp})^2}{((c_i^{jp})^2 + (x_i - b_i^{jp})^2)^2}, \\
\frac{\partial \mu^{jp}(x_i)}{\partial b_i^{jp}} &= \frac{2(c_i^{jp})^2(x_i - b_i^{jp})}{((c_i^{jp})^2 + (x_i - b_i^{jp})^2)^2}. \tag{3.43}
\end{aligned}$$

Gauss turidagi tegishlilik funksiyalari $\mu(x) = \exp\left(-\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2\right)$

uchun xususiy hosilalar

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \mu_i^{jp}}{\partial c_i^{jp}} &= \frac{(x_i^* - c_i^{jp}) \cdot \mu_i^{jp}(x_i^*)}{(\sigma_i^{jp})^2}, \\
\frac{\partial \mu_i^{jp}}{\partial \sigma_i^{jp}} &= \frac{(x_i^* - c_i^{jp})^2 \cdot \mu_i^{jp}(x_i^*)}{(\sigma_i^{jp})^3}
\end{aligned}$$

qiymatlarini hisobga olgan holda $t+1$ dagi parametrlar qiymatlari quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned}
c_i^{jp}(t+1) &= c_i^{jp}(t) - \eta(y_t - \hat{y}_t) w_{jp} \frac{\prod_{i=1}^n \mu^{jp}(x_i)}{\mu^{jp}(x_i)} \times \\
&\times \frac{\bar{d}_j \sum_{j=1}^m \mu^{d_j}(y) - \sum_{j=1}^m \bar{d}_j \mu^{d_j}(y)}{\left(\sum_{j=1}^m \mu^{d_j}(y) \right)^2} \frac{2(x_i^* - c_i^{jp}) \cdot \mu_i^{jp}(x_i^*)}{(\sigma_i^{jp})^2},
\end{aligned}$$

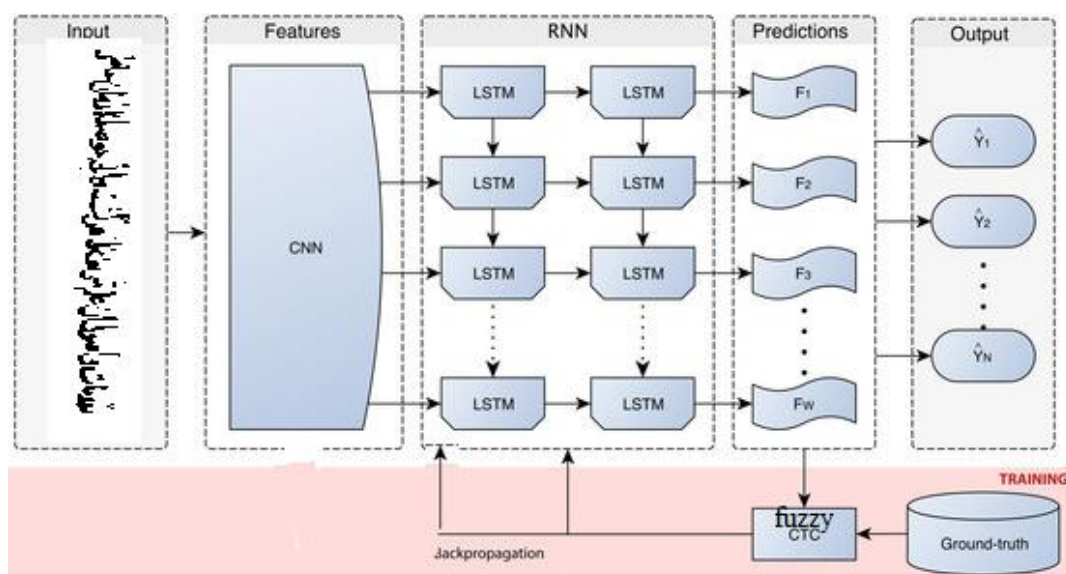
$$\sigma_i^{jp}(t+1) = \sigma_i^{jp}(t) - \eta(y_t - \hat{y}_t) w_{jp} \frac{\prod_{i=1}^n \mu^{jp}(x_i)}{\mu^{jp}(x_i)} \times$$

$$\times \frac{\bar{d}_j \sum_{j=1}^m \mu^{d_j}(y) - \sum_{j=1}^m \bar{d}_j \mu^{d_j}(y)}{\left(\sum_{j=1}^m \mu^{d_j}(y)\right)^2} \frac{2(x_i^* - c_i^{jp})^2 \cdot \mu_i^{jp}(x_i^*)}{(\sigma_i^{jp})^3}.$$

Qoidalar vaznlari o'qitiladi:

$$w_{jp}(t+1) = w_{jp}(t) - \eta(y_t - \hat{y}_t) \frac{\bar{d}_j \sum_{j=1}^m \mu^{d_j}(y) - \sum_{j=1}^m \bar{d}_j \mu^{d_j}(y)}{\left(\sum_{j=1}^m \mu^{d_j}(y)\right)^2} w_{jp} \prod_{i=1}^n \mu^{jp}(x_i).$$

Qoidaga o'xshash tarzda neyro-noravshan to'orni o'qitish algoritmi ham ikki bosqichdan tashkil topadi [105] Birinchi bosqichda ob'ekt (y_j) chiqishining to'ring berilgan arxitekturasiga mos bo'lgan model qiymati hisoblanadi. Ikkinchi bosqichda nomuvofiqlikning (E) qiymati hisoblanadi va (3.19)-(3.21) formulalar bo'yicha neyronlararo bog'lanishlarning vaznlari qaytadan hisoblanadi.

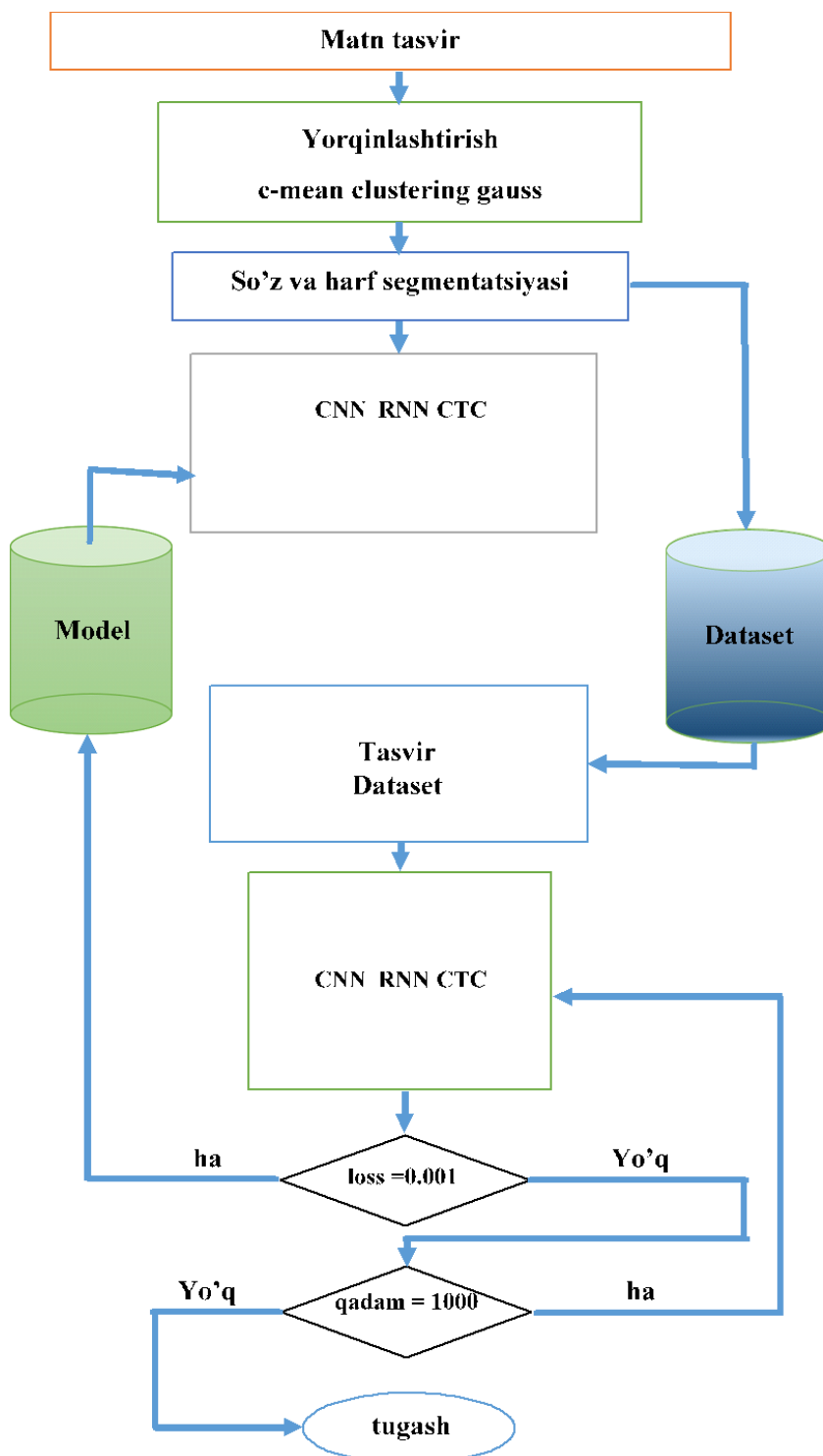


3.37-rasm. Kirish matnlarni o'qitib olish sxematik ko'rinishi

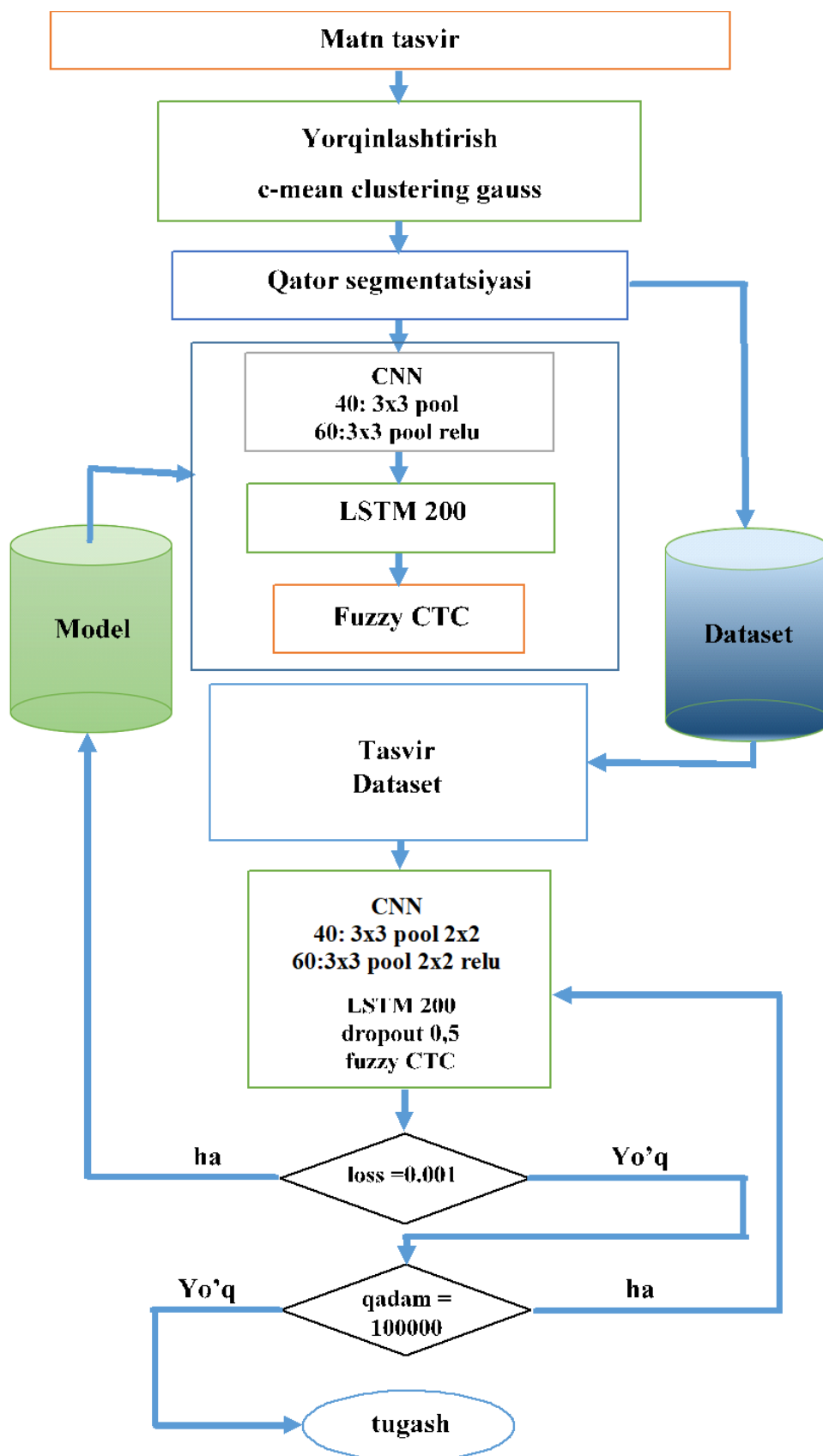
Ushbu bobda qo'lyozma matnlarni tanib olishda ishlatilgan neyron modellar strukturulari va ularning ishlash tartiblari bayon qilingan. Qo'lyozma matnlarni tanib olishga ishlab chiqilgan gibrid algoritm tarkibidagi CNN strukturasi yoritildi, LSTM ishlash algoritmi va CTC xatoliklarini kamaytirishda simmetrik Gaussian tegishlilik funksiyasi bilan sozlash tartiblari yoritilib uning ishlash sxemalari keltirildi.

3.2.5. Qo'lyozma matnlarni tanib olish algoritmi

Qo'lyozma matnlarni tanib olishda quyidagi algoritm blok sxemalar ishlab chiqildi va solishtirma tahlillari olindi.



3.38-rasm. CNN RNN CTC gibril neyron model algoritmi



3.39-rasm. CNN LSTM fuzzy CTC gibril neyron tarmoq blok sxemasi

Ushbu ikkala blok sxema ko'rinishida berilgan dastur natijasi matn tasvirni qator matnni tanishga mo'ljallangan. Segmentatsiya qilinmagan matnlarni tanib olishda asosiy ahamiyatga ega. Dastur python3.7.3 muhitida ishlab chiqilgan. Komyuterda videokarta bo'lishi talab etiladi. Kompyuter chastota tezligiga qarab o'qitish tezligini baholashimiz mumkin. Komyuterda dasturni ishga tushirishimiz uchun quyidagi kutubxonalar talab etiladi:

```
pytk  
matplotlib  
scikit-fuzzy  
opencv-contrib-python  
tensorflow  
editdistance  
python-bidi  
prettytable  
imageio  
PyWavelets  
scikit-image  
edit-distance.
```

Ushbu kutubxonalar asosida tasvirlarni tezda qayta ishlash va tanib olish imkoniyatiga ega bo'lamiz.

3.2.6. Qo'lyozma matnlarni tanib olishda ko'p qatlamli perseptron yordamida matnlarni tanib olish dasturi tahlili

Qo'lyozma matnlarni tanib olishda harflarni tanib olish natijalari deyarli barcha neyron tarmoq modellarida yaxshi natijalarga erishilgan. Harflarni tanib olishda Xopfield, Xemming neyron tarmoq modellari va CNN modellarida 90-95 foizdan yuqori natijalar qayd etilgan. Lekin har bir modelning o'ziga yarasha ayrim holatlardagi kamchiliklari mavjud bo'ladi. Xopfield neyron tarmoqda ayrim o'xshash harflarda xatoliklar foizi yuqoriligi kuzatildi. Xemming modelida belgilar sonining ortib ketishida xatoliklarning ortishini kuzatildi. CNN modelda tanib olish foizi ancha yuqori bo'lib qo'lyozma harflarda 95 foizgacha aniqlikda natija olindi. Shunga qaramasdan so'z, qator matnlarni tanib olishda ancha muammolarga duch kelindi.

Ko'p qatlamli neyron tarmoq perseptrondan foydalanib, arab yozuvidagi harf qirqimlarini shakllari kaggle.com saytidan olindi. Ushbu ma'lumotlar to'plamida arab yozuvidagi 28 ta harfning 4000 ta shakli keltirilgan. Ularning modeli hosil qilinib o'qitilib olindi.

Harf orqali tanib olish modellari

Model turi	Harf bo'yicha tanish natijasi	So'z va qatordagi tanish natijasi
Perseptron	90	61
Xemming	95	60
CNN	95	62

Odatda qo'lyozma matnlarni tanib olishda har bitta tanib olish dasturi ma'lum bir shablon yoki formatga keltirishdan foydalanadi. Shu sababli umumiy tanib olish tizimini yaratishda bir qancha muammolarni keltirib chiqaradi.

Odatda quyidagi ma'lumotlar to'plami faqatgina shu xat shakllarinigina tanish imkoniyatini yaratib beradi. Qo'lyozma matnlarni tanib olishda turli-tuman xat shakllarining boyligi tufayli 1 tatilning o'ziga bir nechta ma'lumotlar to'plami shakllantirilgan. Bularga (3.2-jadval) misolida keltirib o'tamiz.

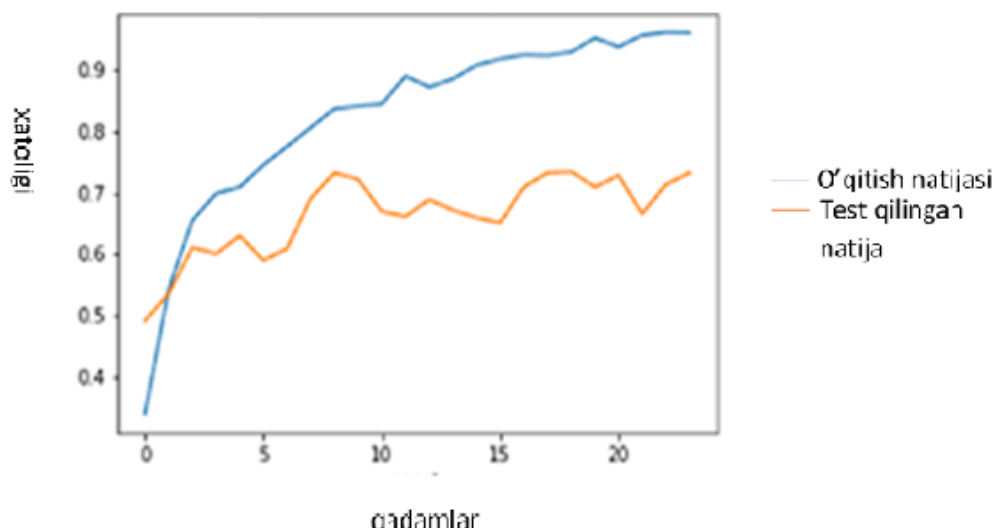
Hozirgi kungacha mavjud ma'lumotlar to'plami

Ma'lumotlar to'plami	Tarkibi	Yaratuvchisi	Turi	Foydalanish imkoniyati
IFN/ENIT	Word	Pechwitz et al. (2002)	Handwritten	Public
AHDB	Word and number	Al-Ma'adeed et al. (2002)	Handwritten	Private
Arabic Cheque	Sub-words and digits	Al-Ohali et al. (2003)	Handwritten	Private
Handwritten Arabic Digit	Digits	Awaidah & Mahmoud (2009)	Handwritten	Public
Handwritten Arabic Character	Characters	Asiri & Khorsheed (2005)	Handwritten	Private
HACDB	Characters	Lawgali et al. (2013)	Handwritten	Public
UPTI	Text lines	Sabbour & Shafait	Printed	Public

		(2013)		
Digital Jawi	paleography Images	Mohd Sanusi Azmi (2013)	Jawi paleography	Public
KHATT	Text lines	Mahmoud et al. (2014)	Handwritten	Public
ALIF	Text line	Yousfi et al. (2015a)		
Embedded text Upon request	Text line	Zayene et al. (2015)	Embedded text	Public
SmartATID	Page	Chabchoub et al. (2016)	Printed and Hand- written	Public
Degraded Arabic historical manuscripts	Image document	Alaa et al. (2017)	Arabic Handwritten Word	Public
Printed PAW	Sub-words	Bataineh (2017)	Printed	
Upon request ACTIV 2	Words	Zayene et al. (2018a)	Embedded text	Public
QTID	Words	Badry et al. (2018)	Synthetically	Private
KAFD	Page and line	Luqman et al. (2014)	Printed	Public
AHDB/FTR	Arabic Handwritten Text Images	Jabril et al. (2013)	Handwritten	Public

Public, ya'ni ochiq ma'lumotlar to'plamidan foydalanish imkoniyatiga ega bo'lamiz. Shu shaklda turli til yozuv harf, so'z, qator ma'lumotlaridan foydalanish imkoniyatining mavjudligi turli modellar yordamida tadqiqotlar olib borish imkoniyatini yaratib beradi.

O'qitish xatoligi grafigi:



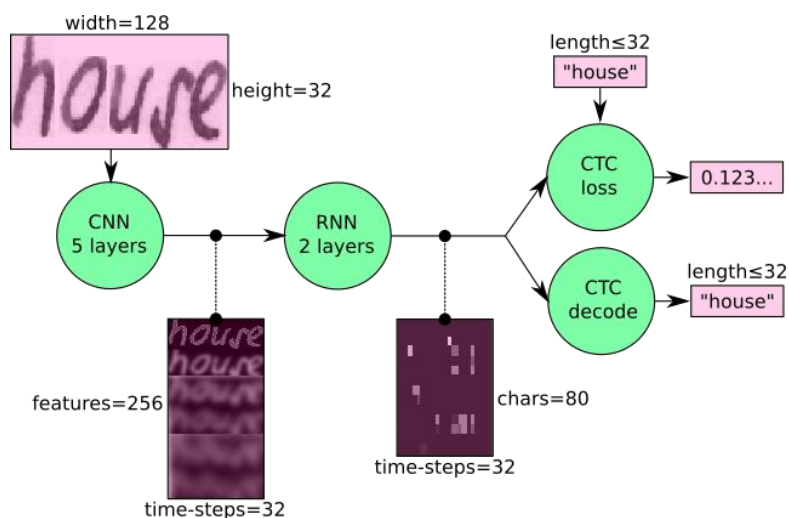
3.40-rasm. Harflarni o'qitishdagi aniqlik grafigi

Har bitta harf oqitilish jarayoni tasviri ilovada keltirilgan.

O'qitib olingan model asosida tanish amalga oshirilganda to'g'ri segmentatsiya qilinmaganligi sababli yaxshi natija kela olmadik. Chunki qator segmentatsiyasi, so'z segmentatsiyasi va harf segmentatsiyasida noto'g'ri qirqim evaziga o'qitilib olingan model asosida xato natija tanib olishni yaratib beradi. Arab grafikasida berilgan so'zdagi harflarning ajralishi bilan ubning ma'nosi tubdan o'zgarishini kuzatdik. Shu asnoda ham bir qancha murakkabliklar noto'g'ni natija olib kelinadi.

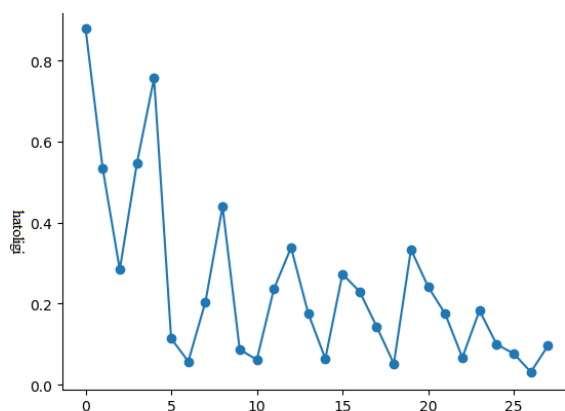
3.2.7. Qo'l yozma matnlarni segmentatsiyasiz tanib olish modellaridan olingan natijalar tahlili

Qo'l yozma matnlarni tanib olishda neyron tarmoq modellarining rivojlanishi ham o'z ta'sirini o'tkazmasdan qolmadi. Quyidagi struktura asosida qurilgan gibrid model asosida tanib olish natijalari tahlili olib borildi.



3.41-rasm. CNN+RNN+CTC strukturasi tavsifi

Ushbu struktura asosida tanib olishda qayta-qayta o'qish orqali segmentatsiyani amalga oshiradi va 32 ta chiqish sinfiga ega. Xatolik grafigi quyidagicha:



3.42-rasm. CNN+RNN+CTC o'qitilishdagi aniqlik qiymati

Ushbu model qirqib olingan data set so'zlarda o'qitilib olinadi va so'zlarning mosligiga o'qitiladi. CTC o'qitilishiga uning alfavit belgilari kiritiladi.

49249	sub-sub-49248	x	x	x	x	x	x	x	صيرة
49250	sub-sub-49249	x	x	x	x	x	x	x	صيرت
49251	sub-sub-49250	x	x	x	x	x	x	x	صيرن
49252	sub-sub-49251	x	x	x	x	x	x	x	صيره
49253	sub-sub-49252	x	x	x	x	x	x	x	صيري
49254	sub-sub-49253	x	x	x	x	x	x	x	صيرصر
49255	sub-sub-49254	x	x	x	x	x	x	x	صيرطا
49256	sub-sub-49255	x	x	x	x	x	x	x	صيرطك
49257	sub-sub-49256	x	x	x	x	x	x	x	صيرطه
49258	sub-sub-49257	x	x	x	x	x	x	x	صيرطي
49259	sub-sub-49258	x	x	x	x	x	x	x	صيرغا
49260	sub-sub-49259	x	x	x	x	x	x	x	صيرعه
49261	sub-sub-49260	x	x	x	x	x	x	x	صيرعك
49262	sub-sub-49261	x	x	x	x	x	x	x	صيرعك
49263	sub-sub-49262	x	x	x	x	x	x	x	صيرعين
49264	sub-sub-49263	x	x	x	x	x	x	x	صيرعه
49265	sub-sub-49264	x	x	x	x	x	x	x	صيرعى
49266	sub-sub-49265	x	x	x	x	x	x	x	صيرغى
49267	sub-sub-49266	x	x	x	x	x	x	x	صيرفا
49268	sub-sub-49267	x	x	x	x	x	x	x	صيرفة
49269	sub-sub-49268	x	x	x	x	x	x	x	صيرفت
49270	sub-sub-49269	x	x	x	x	x	x	x	صيرفك
49271	sub-sub-49270	x	x	x	x	x	x	x	صيرفن
49272	sub-sub-49271	x	x	x	x	x	x	x	صيرفه
49273	sub-sub-49272	x	x	x	x	x	x	x	صيرفى
49274	sub-sub-49273	x	x	x	x	x	x	x	صيركم
49275	sub-sub-49274	x	x	x	x	x	x	x	صيركن
49276									

3.43-rasm. So'z va qism so'zlar tartibi

Ushbu soʻzlar yoʻllari etc da oʻqitilib hosil qilinadi. Harflar ketma-ketligida ham toʻgʻri natija olishga yordam beradi.

CNN+LSTM fuzzy CTC gidrid modeli uchun eski oʻzbek yozuvi toshbosma kitobi maʼlumotlar toʻplami shakllantirildi. Odatda bunday modellarda segmentatsiya tartibi LSTM model ishlash jarayonida amalga oshiriladi. Har bitta jarayon vaqtga bogʻliq jarayon sifatida oʻqitiladi va tanib olish jarayonida ham oʻz navbatida timedistributedan foydalaniladi. Chegaralangan vaqt qadamiga ega. Har bitta kirish tasviri vaqt boʻyicha taqsimlanadi. Odatda ushbu strukturadagi gibrid neyron tarmoqlarda soʻz yoki qator segmentatsiyasi mos ravishda, chop etilgan matn shakli talab etiladi. 3 bobda aytib oʻtilganiday mos qirqimlar asosida umumiy yoʻllar yigindisi sifatida har bitta alfavit harf uchun kutilayotgan natijaga qarab uni sinflashtirish mumkin. Ushbu modelimiz uchun qator segmentatsiyasidan foydalanildi. Qator segmentatsiyasi birlamchi qayta ishlash bosqichi albatta oʻtkaziladi. Birlamchi ishlov berish bosqichida tasvir shovqinlari olib tashlanadi. Matn qator fragmentlari tartib bilan tmp papkaga saqlanib boriladi. Qator segmentatsiyasi tanish amalga oshiriladi va tartib bilan tanib olish amalga ashiriladi. Text memo qator qismiga joylashtiriladi.

CNN+LSTM+fuzzy CTC gibrid neyron model asosida yartilgan dasturiy vositamizda quyidagi (3.3-jadval) maʼlumotlari asosida oʻqitilib tanib olish modellari hosil qilingan.

3.3-jadval

Qator segmentatsiyaga ega oʻqitiladigan maʼlumotlar toʻplami

No	Oʻqitilgan kitob nomi	Oʻqitilgan qator soni
1	Abdulla Avloniy. Turkiy guliston yohud axloq (eski o'zbek yozuvida)	463
2	book_IbnAthir.Kamil	1191
3	book_IbnFaqihHamadhani.Buldan	2194
4	book_IbnQutayba.Adab	1185
5	gulistan	1644
6	kalileh	1017
7	Model_1	7914
8	Lotin garfikasi xatlari model_1	851
9	Krill grafikasi xatlari model_2	915

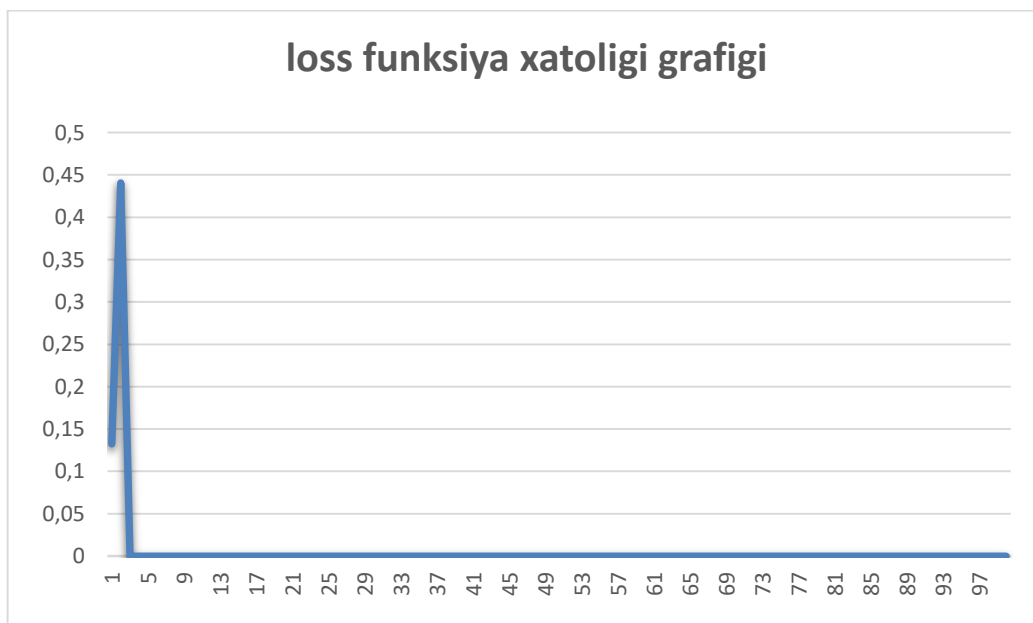
Model json faylida saqlanadi. HDF5 fayllari bizga ma'lumotlar turini xisobga olmasdan struktura asosida saqlash imkoniyatini yaratib beradi. Bu boshqa dasturlash tillarida cheklangan imkoniyatni kengaytirishga xizmat qiladi.

Uning strukturaviy ko'rinishini quyidagicha kuzatishimiz mumkin.

```
1 {
2   "model": {
3     "processes": 1,
4     "maxIters": 1000000,
5     "skipInvalidGt": true,
6     "display": 100.0,
7     "statsSize": 100,
8     "batchSize": 1,
9     "checkpointFrequency": 500.0,
10    "outputDir": "C:/Users/Sayyora/Desktop/ArabUz-OCR/\u044d\u0441\u0430\u0438_\u0443\u0437/\u04
11    "iter": 1499,
12    "lossStats": [
13    "lerStats": [
14    "dtStats": [
15    "totalTime": 353.5025939941406,
16    "earlyStoppingFrequency": -1.0,
17    "earlyStoppingNbest": 5,
18    "earlyStoppingBestModelPrefix": "best",
19    "earlyStoppingBestModelOutputDir": "C:/Users/Sayyora/Desktop/ArabUz-OCR/\u044d\u0441\u0430\u0438_\u0443\u0437/\u04
20    "outputModelPrefix": "model "
```

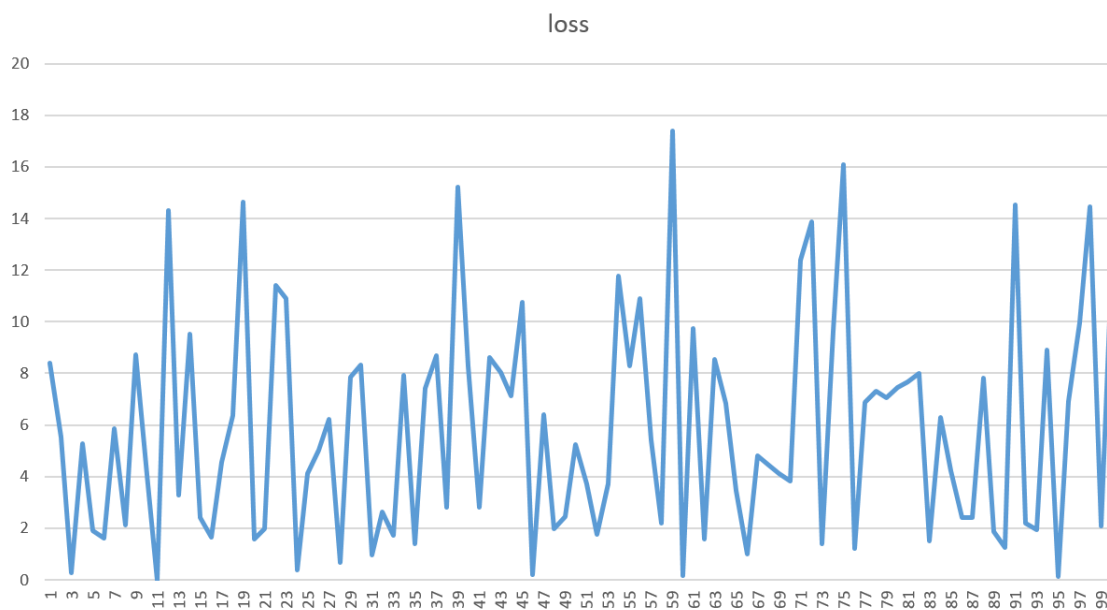
3.44-rasm. Json fayli strukturasi

O'qitib olingan model faylimizdan loss qiymatlari asosida(3.45-rasm) natija olindi.



3.45-rasm. O'qitilgan model loss qiymatlar taqqoslanishi

Har 100 qadamdan model xosil qilinish olingan va qiymat 0.02 ga teng natija olindi. Bu esa tanib olish uchun har bitta harfning modeli xosil qilinganligini bildiradi. Agar qiymat o'zgaruvchan va aniq bir xillik takrorlanmasa va loss qiymati 0.001 ga yaqinlashmasa uning modelini hosil qilib olganimiz bilan tanib olishda kata xatolikka olib kelishini kuzatamiz. Bunday tartibdagi yozuvlar har safar turli xil xat yozuv shakllaridan iborat bo'lganda va LSTM segmentatsiya talabga javob bermagan hollarda kuzatiladi(3.46-rasmga qarang).



3.46-rasm. O'qitilish xatoligi grafigi

O'qitilgan ma'lumotlarning CNN +RNN +CTC va CNN+LSTM+fuzzy CTC gibrilid neyron modellarining solishtirma tahlilini olamiz.

CNNdan foydalanish orqali ham to'liq natijaga erishish murakkabligini kuzatdik, CNN+RNN+CTC modelda til grammatikasida ham 45-72 foiz tanib olish natijalariga erishildi. So'zlar tartibi bilan ham tanib olishda ko'plab kamchiliklarga olib kelinishi kuzatildi. Nuqtalar tartibi ajratib olishda ularning gradientini chiqarib olishda tegishlilik funksiyasi yordamida CNN+Lstm+fuzzyCTC orqali tanib olish foizini oshirish mumkinligini o'rganib chiqdik. Natijalar oldik (4.4-jadval) Shuni alohida ta'kidlab aytish joizki, tasvirni tanib harflar olinganda til grammatikasi, so'zlar tartibi va tavsifa va baholashning yuqori sinfda olinishi natija samaradorligiga olib kelinadi.

Qo'lyozma matnni CNN+RNN+CTC tanib olish solishtirma tahlili

№	Kitob nomi	CNN+RNN+CTC	CNN+LSTM+fuzzyCTC
1	AbdullaAvloniy. Turkiygulistoniyohudaxloq (eskio'zbekyozuvida)	45	88
2	book_IbnAthir.Kamil	45	90
3	book_IbnQutayba.Adab	60	92
4	gulistan	65	91.3
5	kalileh	64	89
6	Model_1	72	95
8	Lotin garfikasi xatlari model_1	68	88
9	Krill grafikasi xatlari model_2	66	90

Ushbu olingan natijalar nasta'liq xatida yozilgan, nasriy asarlar uchun mo'ljallangan. Chunki arab grafikasiga 7 xil yozuv turi mavjud bo'lib, bizning olgan natijalarimiz nasta'liq xati uchun mo'ljallangan. Nazmiy asarlarda xatlar sher vazni va turidan kelib chiqib turli ko'rinishda yoziladi bunda biz tanlagan segmentatsiyani tavsiyaz eta olmaymiz. Sher tartibi butunlay o'zgarib ketishi mumkinligini aniqladik. Agar nazm asar bo'lsa ham bir qatordan yozilganda biz tavsiya etgan segmentatsiya o'qitib tanib olish algoritmlardan natija olishimiz mumkin.

Ushbu bobda tasvirlarni tanib olish gibrid algoritmi blok sxemalari keltirilga. Arab grafikasi xatlari, lotin va kirill grafikasi xatlari uchun ma'lumotlar to'plami asosida o'qitish xatoliklar grafiklari natijalari tavsiflangan. Harf orqali tanish va matnni tanishda mavjud modellar yordamida solishtirma tahlillar o'tkazilga.

CNN+RNN+CTC va CNN+LSTM+fuzzy CTC algoritmlari natija ko'rsatkichlari solishtirma ijobiy tahlillari olingan.

3.3. Talabalarning o‘rtacha reyting ballarini asosida klaster tahlilni o‘tkazish

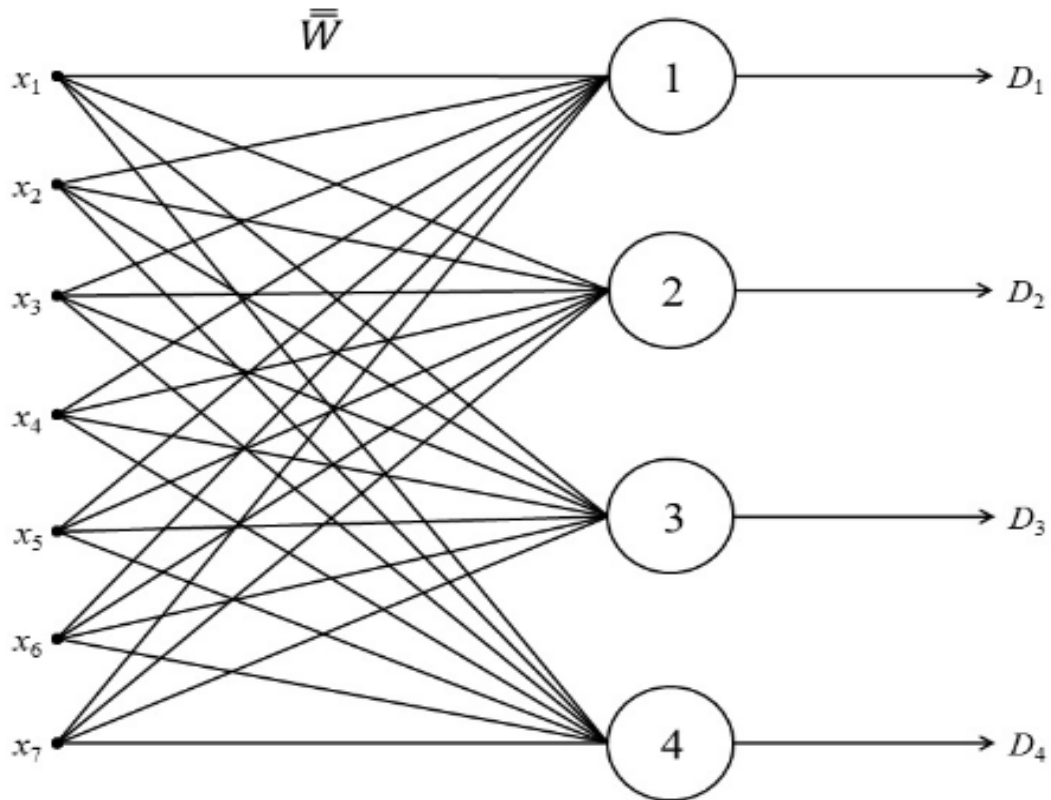
Klasterizatsiya masalasi bir nechta misollar ko‘rib chiqamiz.

Bizga 20 ta talabaning imtihondan olgan ballari berilgan (3.5-jadval). Ularni klasterlarga ajratish kerak va hosil bo‘lgan klasterlardagi alomatlariga ko‘ra har bir klasterga kirgan talabaning alomatlariga qarab klasterga nom berish kerak.

3.5-jadval

№	Jinsi	Qarzdorligi	Fanlarda olgan o‘rtacha ballari					O‘zlashtiris
			Mate matika	Informa tika	Tarix	Fizika	Adabi yot	
			x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	
1	E	Yo‘q	60	79	60	72	63	1
2	E	Bor	60	61	30	5	17	0
3	A	Bor	60	61	30	66	58	0
4	E	Yo‘q	85	78	72	70	85	1,25
5	A	Yo‘q	65	78	60	67	65	1
6	A	Yo‘q	60	78	77	81	60	1,25
7	A	Yo‘q	55	79	56	69	72	0
8	E	Bor	55	56	50	56	60	0
9	E	Bor	55	60	21	64	50	0
10	E	Bor	60	56	30	16	17	0
11	A	Yo‘q	85	89	85	92	85	1,75
12	A	Yo‘q	60	88	76	66	60	1,25
13	E	Bor	55	64	0	9	50	0
14	A	Yo‘q	80	83	62	72	72	1,25
15	E	Bor	55	10	3	8	50	0
16	A	Yo‘q	60	67	57	64	50	0
17	E	Yo‘q	75	98	86	82	85	1,5
18	A	Yo‘q	85	85	81	85	72	1,25
19	E	Yo‘q	80	56	50	69	50	0
20	E	Bor	55	60	30	8	60	0

Berilgan masalasda klasterlar soni 4 ta bo‘lishi kerak. Masalni yechish uchun x_1-x_7 alomatlar yetarli bo‘ladi x_8 alomat esa klaster tahlilida kerak bo‘ladi. Neyron tarmoqning har bir qatlamda 7 ta kiruvchi neyron 4 ta chiqish bo‘ladi (3.47-rasm.)



3.47-rasm. Kohonen neyron tarmog‘ida talabalarni klasterlarga ajratish strukturasi

Keyin 1-bosqichga binoan barcha kirish vektorini $[0:1]$ oraliqda quyidagicha normallashtiramiz.

- talaba jinsi: 0 – ayol, 1 – erkak;
- qarzdorligi: 0 – bor, 1 – yo‘q;
- fanlardan olgan ballarini: $x_i = x_i / 100$.

Natija 3.6-jadvalda ifodalangan.

3.6-jadval

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
1	1,00	1,00	0,17	0,78	0,70	0,77	0,68
2	1,00	0,00	0,17	0,58	0,35	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,17	0,58	0,35	0,70	0,60
4	1,00	1,00	1,00	0,77	0,84	0,75	1,00
5	0,00	1,00	0,33	0,77	0,70	0,71	0,71
6	0,00	1,00	0,17	0,77	0,90	0,87	0,63
7	0,00	1,00	0,00	0,78	0,65	0,74	0,81
8	1,00	0,00	0,00	0,52	0,58	0,59	0,63
9	1,00	0,00	0,00	0,57	0,24	0,68	0,49
10	1,00	0,00	0,17	0,52	0,35	0,13	0,00
11	0,00	1,00	1,00	0,90	0,99	1,00	1,00
12	0,00	1,00	0,17	0,89	0,88	0,70	0,63
13	1,00	0,00	0,00	0,61	0,00	0,05	0,49
14	0,00	1,00	0,83	0,83	0,72	0,77	0,81
15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,49
16	0,00	1,00	0,17	0,65	0,66	0,68	0,49
17	1,00	1,00	0,67	1,00	1,00	0,89	1,00
18	0,00	1,00	1,00	0,85	0,94	0,92	0,81
19	1,00	1,00	0,83	0,52	0,58	0,74	0,49
20	1,00	0,00	0,00	0,57	0,35	0,03	0,63

Boshlang'ich 28 ta vazn koeffisientini [0:1] oraliqdan tasodifiy aniqlab olamiz (3.7-jadval).

3.7-jadval

№	Vazn koeffisienti w_{ij}						
	w_{1j}	w_{2j}	w_{3j}	w_{4j}	w_{5j}	w_{6j}	w_{7j}
1	0,20	0,20	0,30	0,40	0,40	0,20	0,50
2	0,20	0,80	0,70	0,80	0,70	0,70	0,80
3	0,80	0,20	0,50	0,50	0,40	0,40	0,40
4	0,80	0,80	0,60	0,70	0,70	0,60	0,70

Takrorlanish soni N qanchalik katta bo'lsa natija shunchalik aniq bo'ladi, ammo N juda katta bo'lib ketsa komyuter vaqtini ko'p oladi va bu natijani olishni qiyinlashtiradi. Shuning uchun N yetarlicha kattalikda olishga ehtiyot bo'lish kerak, biz $N=100$ deb olishimiz yetarli.

Tasodifiy kirish vektorini tanlab olamiz. Masalan № 10 olamiz. (1.49) ga asosan 4 ta klaster markazlarigacha bo'lgan masofa aniqlanadi. d_j larni qiymatlari 0,98, 1,65, 0,65 va 1,32 ga teng. (1.50) ga asosan g'olib neyron $\min_{1 < j < m} d_j = 0,65$ va g'olib 3- neyron . (1.51) ga asosan vazn koeffisientlari qiymatini o'zgartiramiz va k ni birga oshiramiz. Yangi o'zgargan vazn koeffisientlari: $w_{13}=0,86$, $w_{23}=0,14$, $w_{33}=0,40$, $w_{43}=0,51$, $w_{53}=0,39$, $w_{63}=0,32$, $w_{73}=0,28$.

Agar $k < N$ bo'lsa 4-bosqichga o'tamiz. $k=N$ bo'lguncha yuqridagi kabi amalarni qaytadan bajaraveramiz. $k=N$ bo'lsa 3-bosqichga o'tib yangi kirish olamiz $k=1$ deb olamiz. Bu siklni 20 ta kirish vektorini ko'rib chiqilmaguncha davom etadi. Eng oxiridagi vazn koeffisientlari 3.8-jadvalda.

3.8-jadval

№	Vazn koeffisienti w_{ij}						
	w_{1j}	w_{2j}	w_{3j}	w_{4j}	w_{5j}	w_{6j}	w_{7j}
1	0,06	0,06	0,21	0,52	0,36	0,55	0,57
2	0,00	1,00	0,50	0,80	0,80	0,80	0,73
3	1,00	0,00	0,04	0,48	0,26	0,22	0,42
4	1,00	0,99	0,69	0,77	0,79	0,78	0,81

Kohonen neyron tarmog'ni tashkil qilishning eng so'ngi bosqichi bu klaster tahlilidir. Barcha to'rtta klasterga tegishli neyronlarni ko'rib chiqamiz. 1-klasterda ikkita № 3 va 16 tanlanmalar kirgan. 2-klasterga №5,6,7,11,12,14,18 tanlanmalar kirgan. 3-klasterga № 2,8,9,10,13,15,19,20 tanlanmalar kirgan va to'rtinchi tanlanmaga № 1,4,17 tanlanmalar kirgan. So'ngi natijani topish uchun x_8 alomatikerak bo'ladi. Keyin har bir klasterga kirgan tanlanmalarni alomatlarini tahlil qilib klaster haqidagi ma'lumotlarni topamiz (3.9-jadval).

3.9-jadval

№ klaster	Klaster o'lchami	Jinsi	Qarz-dorligi	O'rta reyting balli	Talabalarning koeffisienti	Izoh
1	2	A	Bor	55	0,00	Biror fanlardan qarz-dorligi mavjud bo'lgan qiz bolalar
2	8	A	Yo'q	79	0,97	Barcha fanlardan qarz-dorligi bo'lmagan qiz bolalar
3	6	E	Bor	40	0,00	Biror fanlardan qarz-dorligi mavjud bo'lgan o'g'il bolalar
4	4	E	Yo'q	73	0,94	Barcha fanlardan qarz-dorligi bo'lmagan o'g'il bolalar

Hosil Kohonen neyron tormog'i ixtiyoriy talaba natijalari kiritsan natijani chiqarib beradi. Nafaqat talabarni o'zlashtishi boshqa ko'plab masalarga yechim topishi mumkin. Faqatgi klasterlar soni to'g'ri topilishi tanlanmalarni to'g'ri berilsa yetarli.

3.3.1. Iris gulini tanlanmalari asosida klaster tahlilni o‘tkazish

Bizga Fisherning irislari - 150 tanlanmadagi iris berilgan, ular uchta *iris setosa*, *iris virginica* va *iris versicolor* navlarining har birining 50 tanlanmasidan iborat (6-rasm). Tekshirish uchun tanlanmalarni qaysi turga mansub ekanligini kiritmaymiz qolgan 4 ta alomatini kiritamiz (6-jadval). Kirish vektoriga ko‘ra programma algoritmi gullarni to‘g‘ri klasterlarga ajratishi va klaster tahlilni o‘tkazadi.



a)



b)



c)

3.48-rasm. Iris gulining uch xil turi

Har bir tanlanmada iris gulining 4 ta alomatlari berilgan (santimetrda).

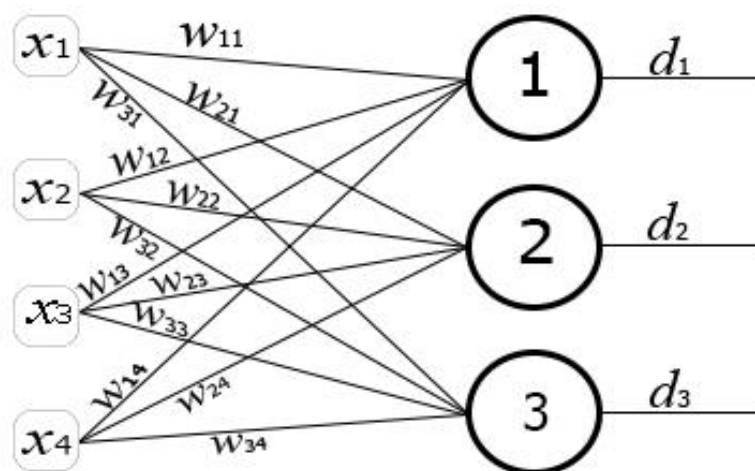
1. Gulkosasi uzunligi (*eng.* sepal length);
2. Gulkosasi kengligi (*eng.* sepal width);
3. Gulbargi uzunligi (*eng.* petal length);
4. Gulbargi kengligi (*eng.* petal width).

Berilgan masalasda klasterlar soni 3 ta bo‘lishi kerak. Neyron tarmoqninghar bir qatlamda 4 ta kiruvchi neyron 3 ta chiqish bo‘ladi (3.49-rasm.)

Keyin 1-bosqichga binoan barcha kirish vektorini [0:1] oraliqda quyidagicha normallashtiramiz.

$$- x_i = x_i / 10.$$

Natija 3.10-jadvalda ifodalangan.



3.49-rasm. Kohonen neyron tarmog‘ida Iris gulini klasterlarga ajratish strukturasi

Boshlang‘ich vazn koeffisientlarini $[0:1]$ oraliqdan ixtiyoriy tanlab olamiz (3.10-jadval).

3.10-jadval

№	Vazn koeffisienti w_{ij}			
	w_{1j}	w_{2j}	w_{3j}	w_{4j}
1	0,6	0,3	0,1	0,04
2	0,51	0,22	0,3	0,16
3	0,67	0,34	0,5	0,27

Takrorlanish soni N qanchalik katta bo‘lsa natija shunchalik aniq bo‘ladi, ammo N juda katta bo‘lib ketsa komyuter vaqtini ko‘p oladi va bu natijani olishni qiyinlashtiradi. Shuning uchun N yetarlicha kattalikda olishga ehtiyot bo‘lish kerak, biz $N=100$ deb olishimiz yetarli.

Tasodifiy kirish vektorini tanlab olamiz. Masalan № 10 olamiz. (1.49) ga asosan 4 ta klaster markazlarigacha bo‘lgan masofa aniqlanadi. d_j larni qiymatlari 0,88, 1,75, 0,05 va 1,92 ga teng. (1.50) ga asosan g‘olib neyron $\min_{1 < j < m} d_j = 0,05$ va g‘olib 3- neyron . (1.51) ga asosan vazn koeffisientlari qiymatini o‘zgartiramiz va k ni birga oshiramiz. Yangi o‘zgargan vazn koeffisientlari: $w_{13}=0,66, w_{23}=0,64, w_{33}=0,20, w_{43}=0,21$.

Agar $k < N$ bo‘lsa 4-bosqichga o‘tamiz. $k=N$ bo‘lguncha yuqridagi kabi amalarni qaytadan bajaraveramiz. $k=N$ bo‘lsa 3-bosqichga o‘tib yangi kirish olamiz $k=1$ deb olamiz. Bu siklni 150 ta kirish vektorini ko‘rib chiqilmaguncha davom etadi.

Eng oxiridagi vazn koeffisientlari 3.11-jadvalda.

3.11-jadval

№	Vazn koeffisienti w_{ij}			
	w_{1j}	w_{2j}	w_{3j}	w_{4j}
1	0,03	0,05	0,14	0,84
2	0,051	0,84	0,03	0,76
3	0,97	0,44	0,58	0,07

Kohonen neyron tarmog‘ni tashkil qilishning eng so‘ngi bosqichi bu klaster tahlilidir. Barcha uchta klasterga tegishli neyronlarni ko‘rib chiqamiz. 1-klasterda ikkita № 1-50 tanlanmalar kirgan, 2-klasterga № 51-100 tanlanmalar kirganva 3-klasterga № 101-150 tanlanmalar kirgan. Keyin har bir klasterga kirgan tanlanmalarni alomatlarini tahlil qilib klaster haqidagi ma‘lumotlarni topamiz. (3.12-jadval)

3.12-jadval

№ klaster	Klaster o‘lchami	O‘rtacha Gulkosa uzunligi	O‘rtacha Gulkosa kengligi	O‘rtacha Gulbargi uzunligi	O‘rtacha Gulbargi kengligi	Izoh
1	50	5,006	3,428	1,462	0,246	Gulkosasi kalta va keng, barglari kalta va ingichka
2	50	5,936	2,77	4,26	1,326	Gulkosasi uzunligi o‘rtacha va ingichka, barglari o‘rtacha va o‘rtacha ingichka
3	50	6,588	3,03	5,552	2,026	Gulkosasi uzun va keng, barglari uzun va keng

Ko‘rib chiqilgan ikkita misolda ham Kohonen neyron tormog‘i tanlanmalarni to‘g‘ri klasterlarga ajratdi va klaster tahlilini to‘g‘ri amalga oshirdi.

3.3.2. O‘z-o‘zini tashkil qiluvchi Kohonen xaritasining informatsion modelini dasturiy taminoti

O‘z-o‘zini tashkil qiluvchi Kohonen xaritalari (*SOM self-organizing map*) ikki o‘lchovli xaritada obyektlarning ko‘p o‘lchovli xususiyatlarini vizual ko‘rsatish uchun mo‘ljallangan. Kohonen xaritalari kichik o‘lchovli (odatda, ikki o‘lchovli) elementlarga yuqori o‘lchovli kirish ma‘lumotlarini xaritasini ishlab chiqaradi. Kohonen neyron tarmoqlarida o‘qituvchisiz buyruq ishlatiladi. Kohonen xaritalari Kohonen neyron tarmoqlariga o‘xshash. Farq shundaki, xaritada klaster markazlari bo‘lgan neyronlar bir necha tuzilishlarga (odatda ikki o‘lchovli tarmoqda) hosil qilinadi. Xaritani o‘z-o‘zini tashkil qilish jarayonida biz nafaqat neyronlar g‘olibi, balki qo‘shnilarining og‘irliklarini ham o‘zgartiradi. Odatda, neyronlar to‘rtburchaklar yoki olti burchakli neyron tarmoqlarga ega bo‘lgan ikki o‘lchovli panjada joylashgan. Neyron-qo‘shnilar xaritadagi neyronlar orasidagi masofa bilan aniqlanadi. Markazlarida oltiburchak va to‘rtburchaklar shaklidagi neyron tarmoqlar mavjud, ularning markazlarida neyronlar mavjud. Oltiburchakli neyron tarmoqlar xarita ustida obyektlar orasidagi dekart masofasini aniqroq ko‘rsatadi, chunki bu neyron tarmoqlar uchun qo‘shni tugun markazlari orasidagi masofa bir xil bo‘ladi.

Progaramma taminotini yaratish uchun masalaga mohiyatiga mos berilganlar tuzilmasini tanlash muhim ahamiyatga ega. Chunki mos berilganlar tuzilmasini aniqlash programmani muvaffiaqiyatli yaratish garovidir. Kohonen neyron tarmoqlari yordamida asosan miqdoriy alomatlar bilan berilgan obyektlardan foydalaniladi.

O‘z-o‘zini tashkil qiluvchi Kohonen xaritasi usuli asosida informatsion modellarni yaratish uchun birinchi navbatda tanlanmalarni alomatlarga ko‘ra klasterlarga ajratish kerak. Klasterga ajratayorganda tanlanmalar har bir klasterga kirayotganda ma‘lum alomatlari o‘xshashligiga farqlanadi. Tanlanmalarni klasterlarga ajratgandan so‘ng klaster tahlil o‘tkaziladi. Buning sababi shundaki klasterlarni o‘ziga hos xususiyatlarini topiladi. O‘z-o‘zini tashkil qiluvchi Kohonen xaritasi usulning boshqa usullarga nisbatan qulayligi, bu usulda katta (uch va undan yuqori) o‘lchovli fazodagi tanlanmalarni nisbatan kichik o‘lchovli fazoga keltiriladi. Natija klaster tahlilga mos ikki o‘lchovli xaritada visual ko‘rinishda bo‘ladi. Bu usuldan foydalanilganda katta o‘lchovli tanlanmalar olinganda ham visual ko‘rish orqali natijani aniqligiga ishonch hosil qilish oson va tushinarli bo‘ladi.

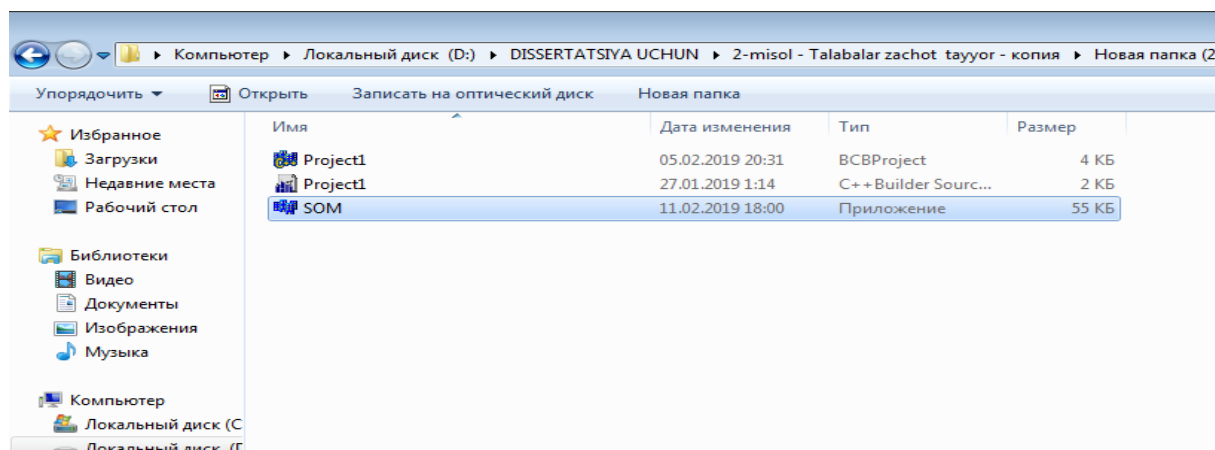
“O‘z-o‘zini tashkil qiluvchi Kohonen xaritasi usuli asosida informatsion modellarni yaratish” uchun “Borland C++ Builder6” programmash muhitini tanlandi. Chunki C++ tili masalani yechish uchun barcha qulayliklar mavjud. Natijani grafik xaritasini tuzish juda qulaydir.

Dasturiy taminotni yaratish uchun C++ tilidagi ba’zi komponentalar kerak bo‘ladi. Bular *Form*, *StringGrid*, *Edit*, *Label*, *Button*, *Image*, *OpenDialog* va boshqalar.

Endi dasturni to‘g‘ri ishlayotganini teshirish uchun ba’zi tanlanmalarda tadbiq qilib ko‘ramiz.

3.3.3. O‘z-o‘zini tashkil qiluvchi Kohonen xaritasining informatsion modelini Iris gulining tanlanmalarida eksprementi

Birinchi bo‘lib dastur ishda tushiriladi. Buning uchun “SOM” nomli dasturning *exe* ilovasini tanlanadi va sichqonchani o‘ng tugmasi ikki marta bosiladi.(3.50-rasm)

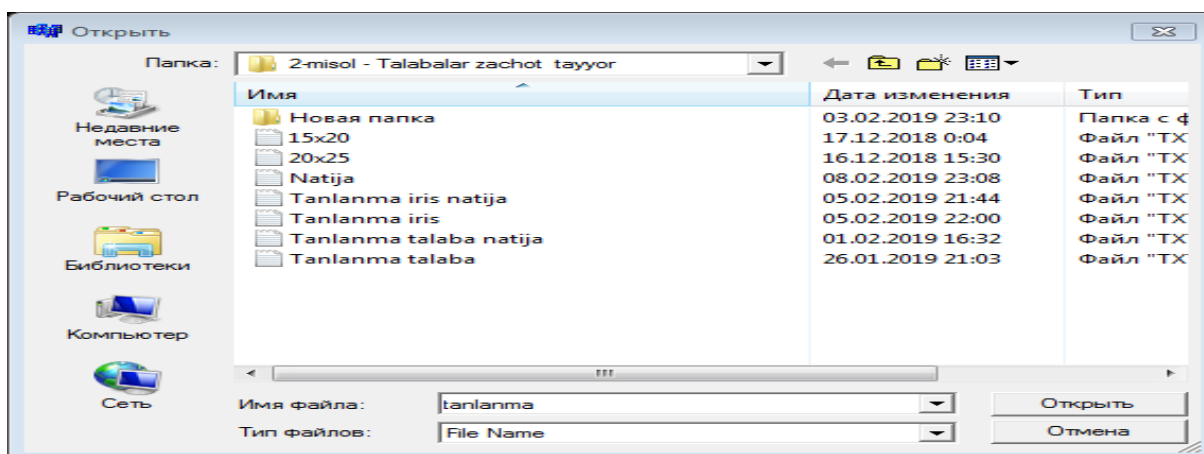


3.50-rasm. “SOM” dasturini ishga tushirish

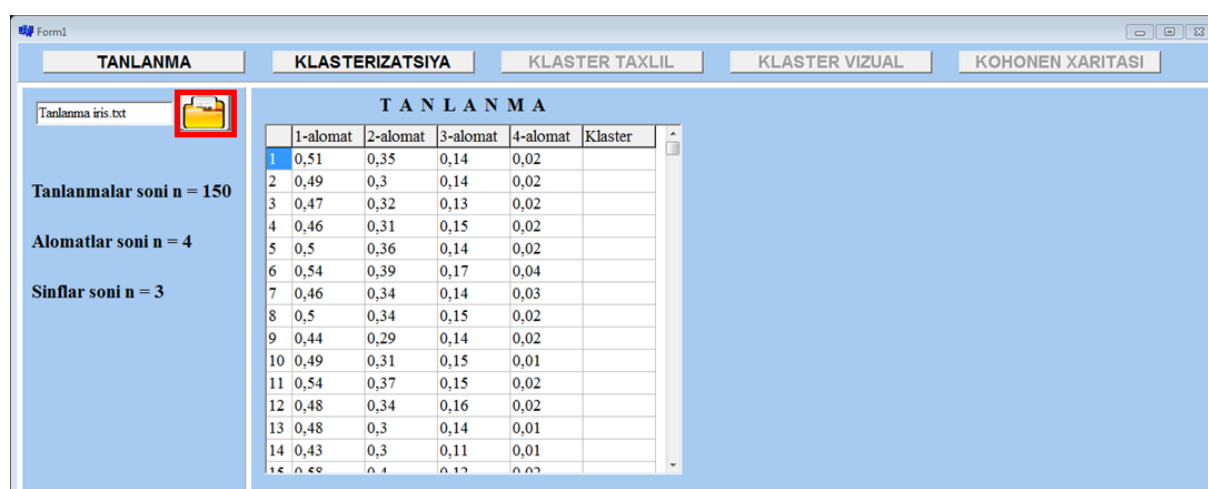
Dastur ishga tushgandan keyin “Tanlanma” tugmasini tanlanadi (3.51-rasm). Natijada kerakli tanlanmani tanlash uchun muloqot oynasi ochiladi(3.52-rasm). Bu yerdan Iris gulining tanlanmalari joylashgan “Tanlanma iris.txt” matn fayli tanlanadi. Natijada tanlanma ekranda StingGridda ko‘rsatiladi(3.53-rasm).



3.51-rasm. “SOM” dasturining dastlabki ko‘rinishi

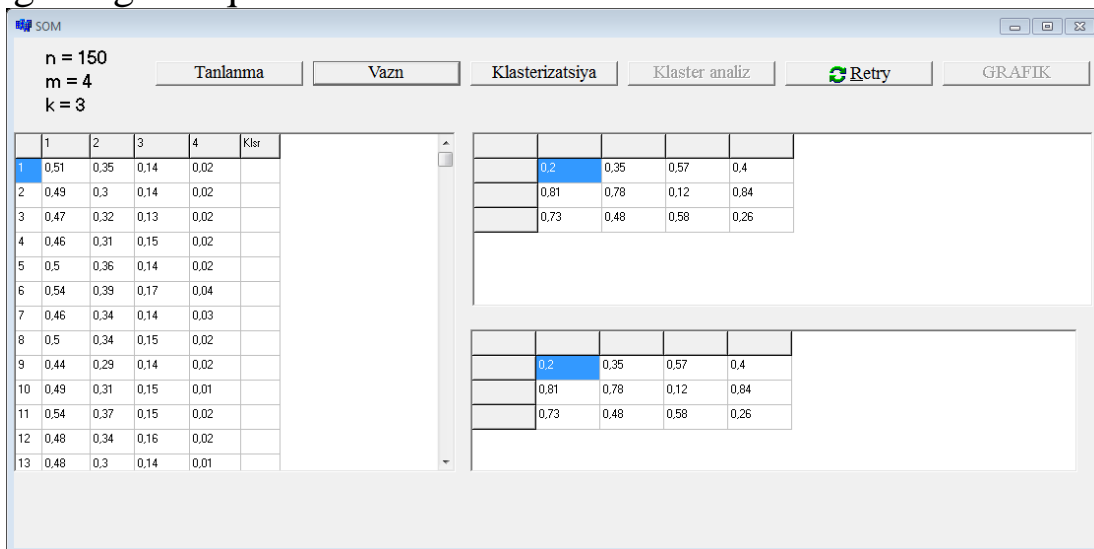


3.52-rasm. Tanlanmani tanlash uchun ochiladigan muloqot oynasi



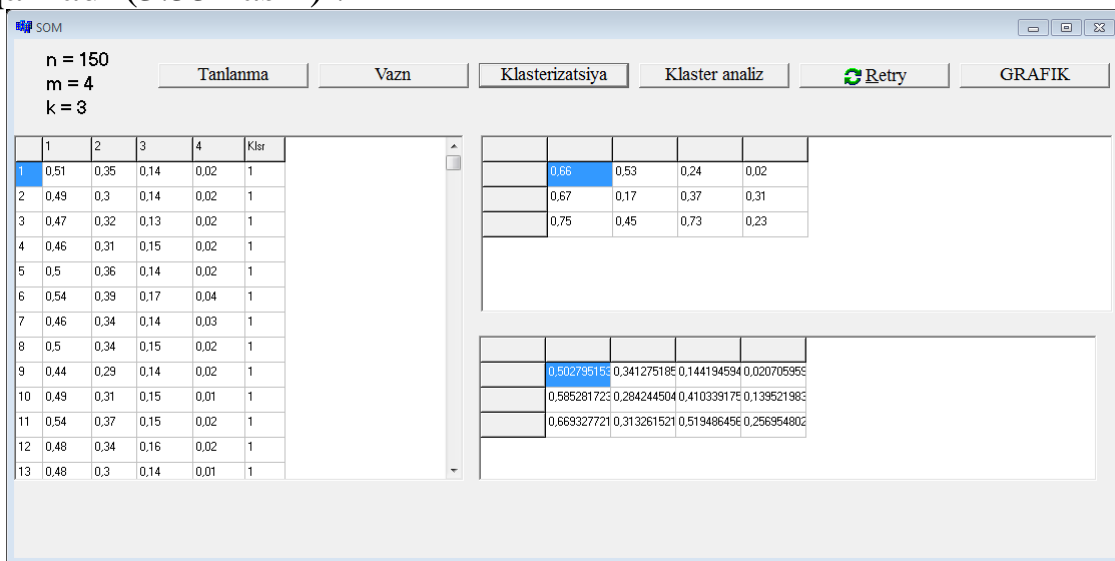
3.53-rasm. Tanlanmani dasturga yuklangan holati

Boshlang‘ich vazn koeffisientlarini [0:1] oraliqda taqriban aniqlab. Boshlag‘ich vazn koeffisientlari asosida kasterizatsiya qilish uchun “KLAsterIZATSIYA” tugmasi tanlanadi. Natijada tanlanma klasterizatsiya qilinadi va har bir tanlanmaning klaster raqami tanlanma alohida ustunda chiqariladi. Oxirgi natijaviy vazn koeffisientlari StringGirdga chiqariladi.



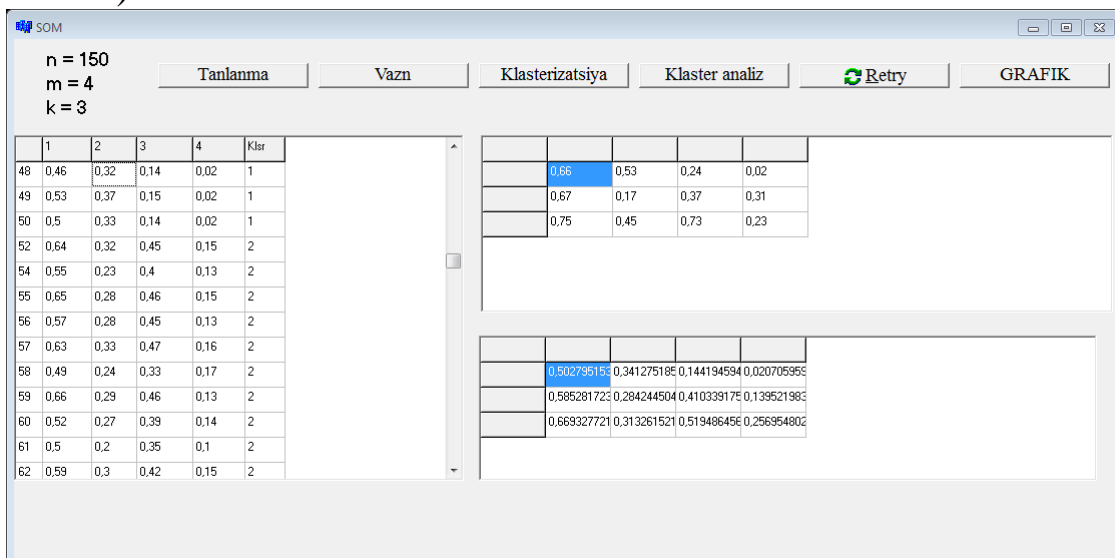
3.54-rasm. Boshlang‘ich vazn koeffisientlari taqriban [0:1] oraliqdan aniqlash

Boshlag‘ich vazn koeffisientlari asosida kasterizatsiya qilish uchun “Klasterizatsiya” tugmasi tanlanadi. Natijada tanlanma klasterizatsiya qilinadi va har bir tanlanmaning klaster raqami tanlanma alohida ustunda chiqariladi. Oxirgi natijaviy vazn koeffisientlari StringGirdga chiqariladi (3.55-rasm) .

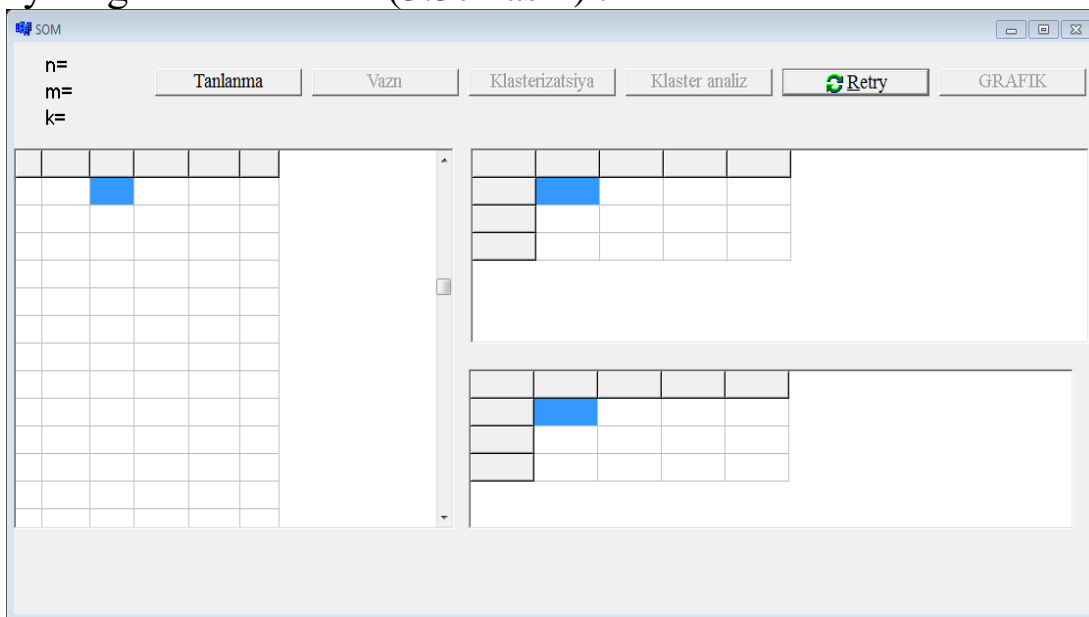


3.55-rasm. Barcha tanlanmalarni klasterlarga ajratilgan va oxirgi vazn koeffisientlari

“Klaster tahlil” tugmasi tanlanganda natijani “Iris natija.txt” matn fayliga har bir tanlanmani tagishli bo‘lgan klaster raqami bilan birga yozib qo‘yadi. Bu fayldan natijani vizual ko‘rish uchun foydalaniladi (3.56-rasm) .

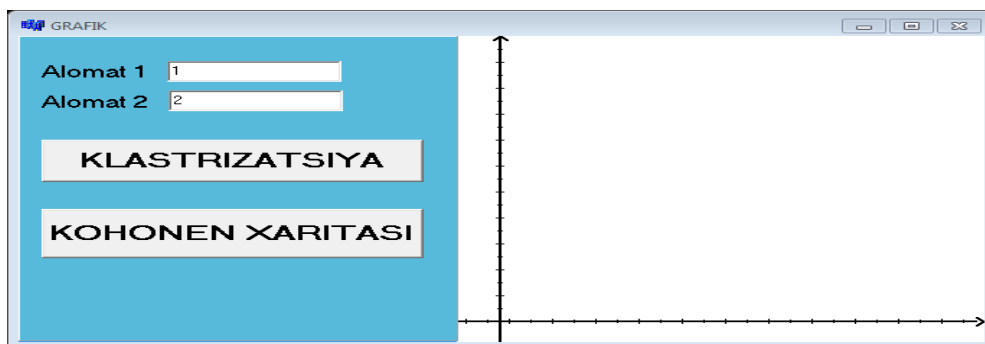


3.56-rasm. “Klaster analiz” tugmasi tanlangandagi holat
Barcha natijalarni o‘chirib boshqa tanlanmani tekshirish uchun “Retry” tugmasi tanlanadi (3.57-rasm) .



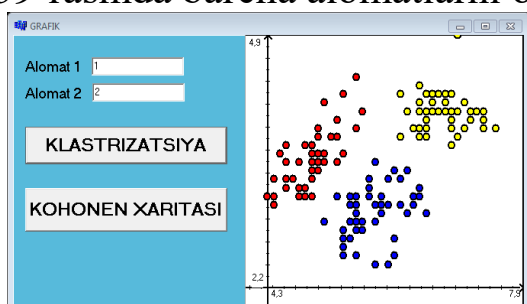
3.57-rasm. “Retry” tugmasi bosilgandagi holat

Tanlanmani klasterlarga ajratib bo‘lgandan so‘ng natijalarni vizual ko‘rish mumkin. Buning uchun “Grafik” tugmasi tanlanadi, ekranda yangi oyna ochiladi (3.58-rasm). Bu oynada ikkita alomatini OX va OY o‘qlarida nisbatan ekranga chiqariladi.

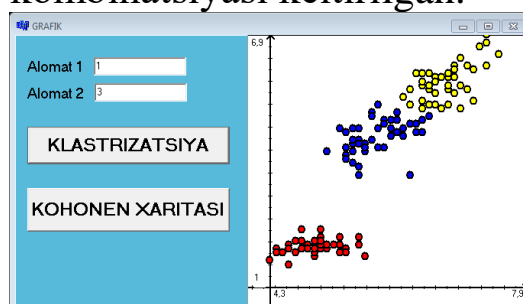


3.58-rasm.

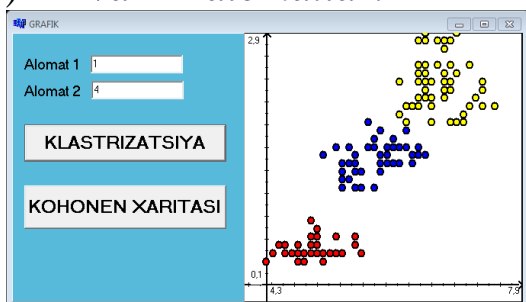
Natijasini ko‘rish kerak bo‘lgan ikkita alomatni kiritamiz va “KLASTRIZATSIYA” tugmasi bosiladi. Natijada har bir alomat o‘zi tegishli bo‘lgan rangda doirachalar ko‘rinishida Image ga chiziladi. 3.59-rasmda barcha alomatlarni o‘zaro kombinatsiyasi keltirilgan.



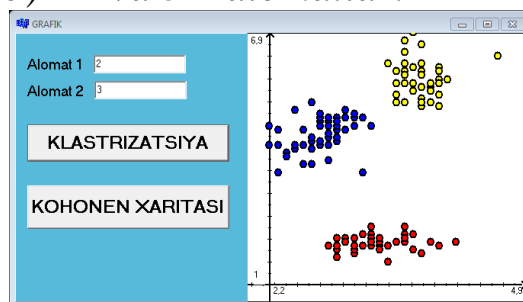
a) 1 va 2 – alomatlar.



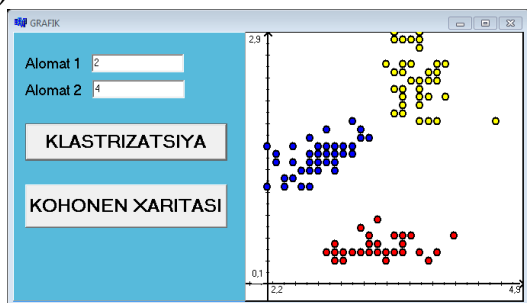
b) 1 va 3 – alomatlar.



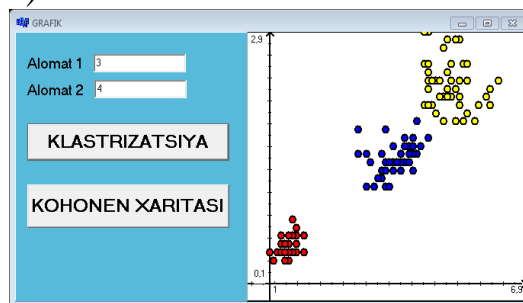
c) 1 va 4 – alomatlar.



d) 2 va 3 – alomatlar.



e) 2 va 2 – alomatlar.

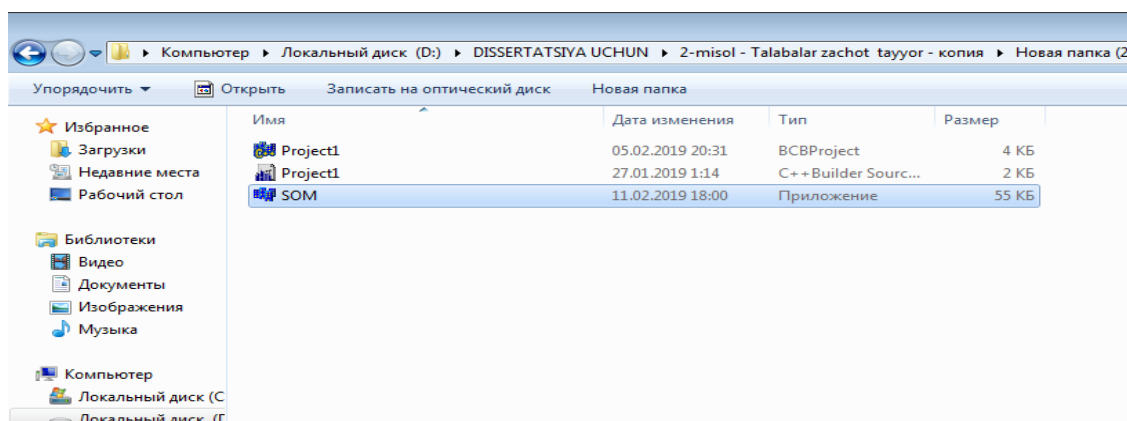


f) 3 va 4 – alomatlar.

3.59-rasm. Barcha alomatlarni o‘zaro kombinatsiyasini grafik ko‘rinishi

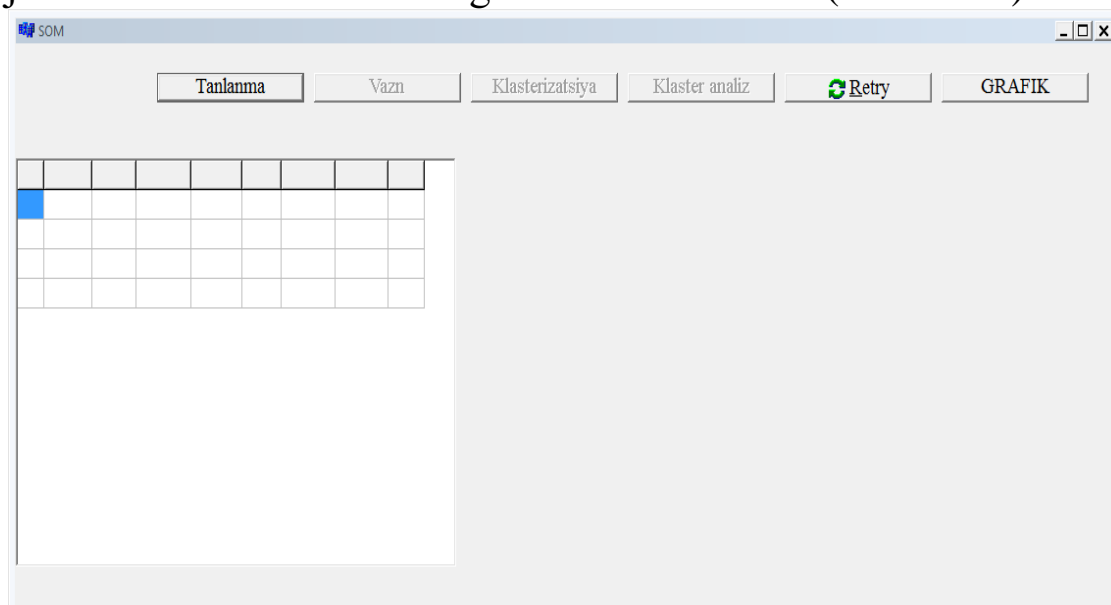
3.3.4. O‘z-o‘zini tashkil qiluvchi Kohonen xaritasining informatsion modelini talbalrning o‘rtacha reyting ballari tanlanmalarida eksprementi

Birinchi bo‘lib dastur ishda tushiriladi. Buning uchun “SOM” nomli dasturning *exe* ilovasini tanlanadi va sichqonchaning o‘ng tugmasi ikki marta bosiladi.(18-rasm)

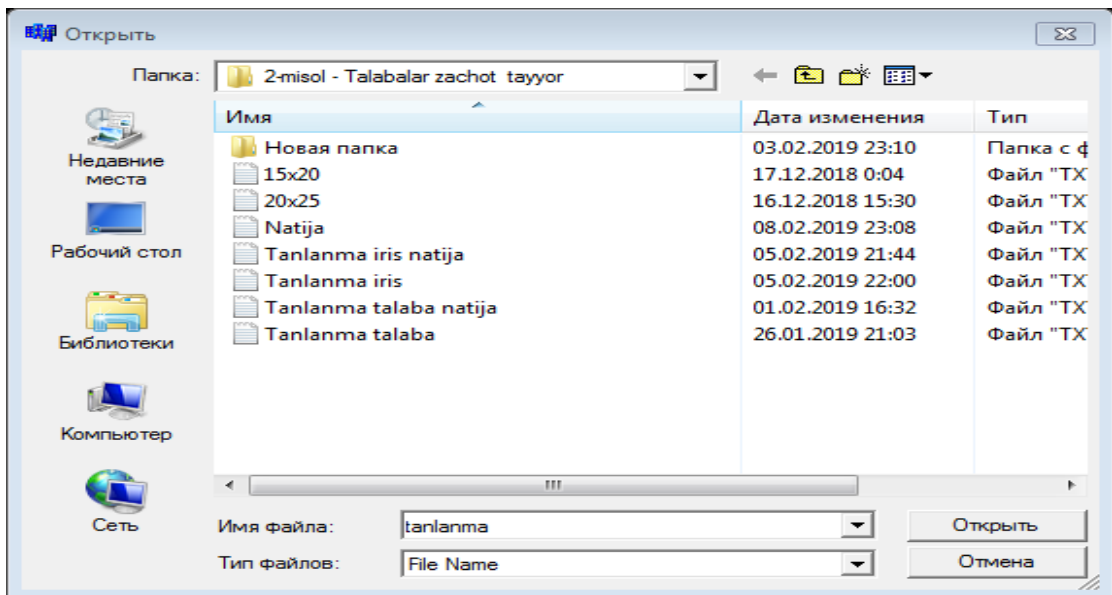


3.60-рasm.“SOM” dasturini ishga tushirish

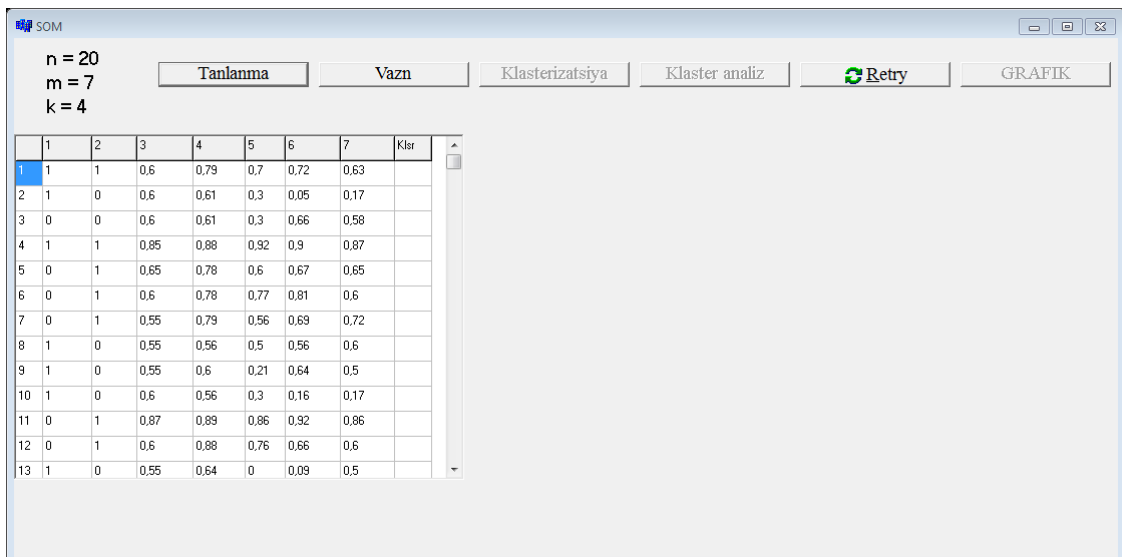
Dastur ishga tushgandan keyin “Tanlanma” tugmasini tanlanadi (3.61-rasm). Natijada kerakli tanlanmani tanlash uchun muloqot oynasi ochiladi(3.62-rasm). Bu yerdan talbalarning o‘rtacha reyting ballari tanlanmalari joylashgan “Tanlanma talaba.txt” matn fayli tanlanadi. Natijada tanlanma ekranda StingGridda ko‘rsatiladi (3.63-rasm).



3.61-rasm. “SOM” dasturining dastlabki ko‘rinishi

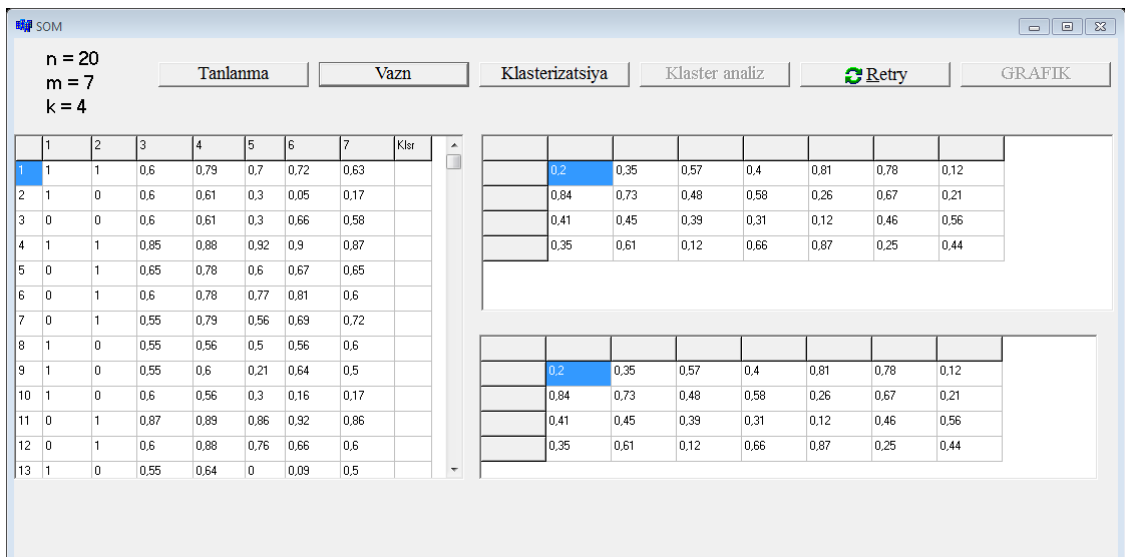


3.62-rasm. Tanlanmani tanlash uchun ochiladigan muloqot oynasi



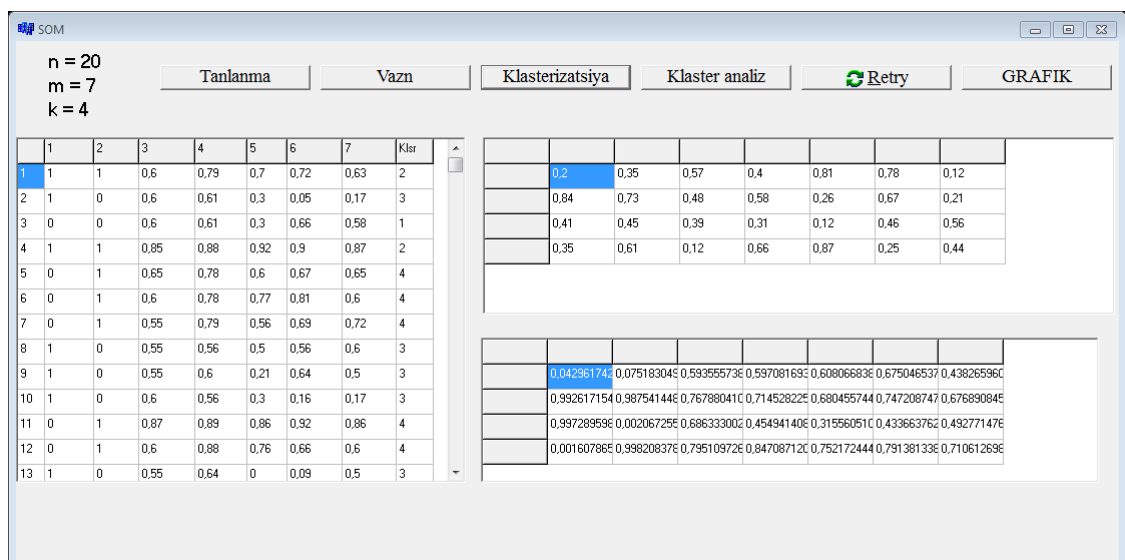
3.63-rasm. Tanlanmani tanlanmani dasturga yuklangan holati

Boshlang'ich vazn koeffitsientlarini [0:1] oraliqda taqriban aniqlash uchun "Vazn" tugmasi tanlanadi. Natijada boshlang'ich vazn koeffitsientlari StringGridda chiqariladi (3.64-rasm).



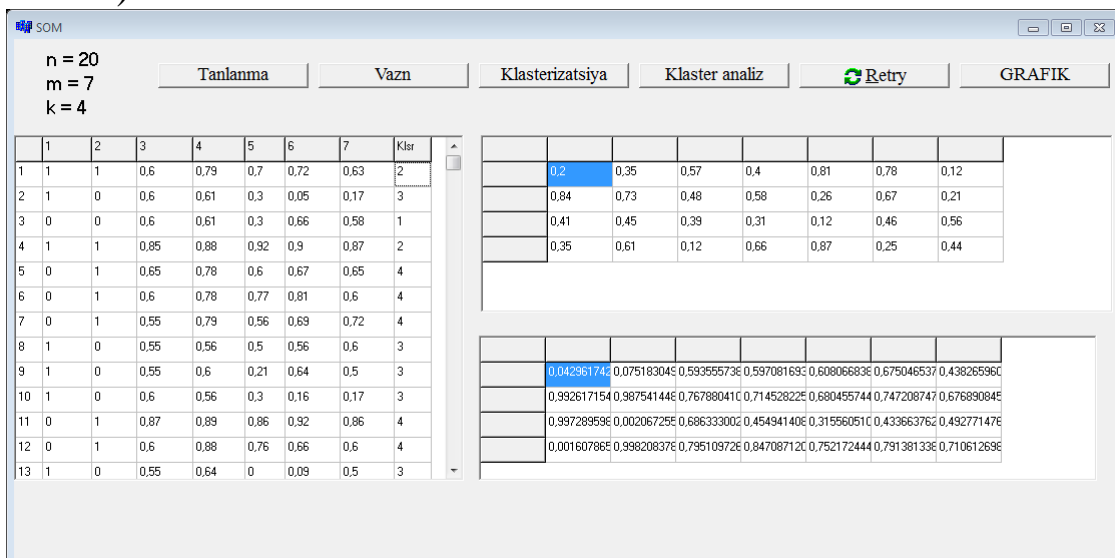
3.64-rasm. Boshlag‘ich vazn koeffisientlani taqriban [0:1] oraliqdan aniqlash

Boshlag‘ich vazn koeffisientlari asosida kasterizatsiya qilish uchun “Klasterizatsiya” tugmasi tanlanadi. Natijada tanlanma klasterizatsiya qilinadi va har bir tanlanmaning klaster raqami tanlanma alohida ustunda chiqariladi. Oxirgi natijaviy vazn koeffisientlari StringGirdga chiqariladi (3.65-rasm) .



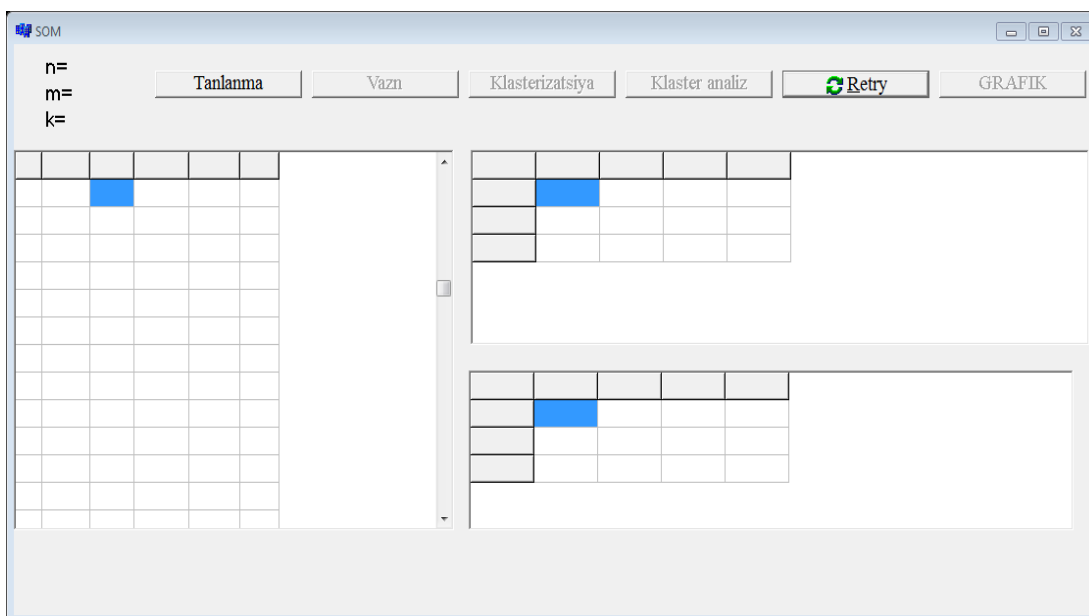
3.65-rasm. Barcha tanlanmalarni klasterlarga ajratilgan va oxirgi vazn koeffisientlari

“Klaster tahlil” tugmasi tanlanganda natijani “Iris natija.txt” matn fayliga har bir tanlanmani tagishli bo‘lgan klaster raqami bilan birga yozib qo‘yadi. Bu fayldan natijani vizual ko‘rish uchun foydalaniladi (3.66-rasm) .



3.66-rasm. “Klaster analiz” tugmasi tanlangandagi holat

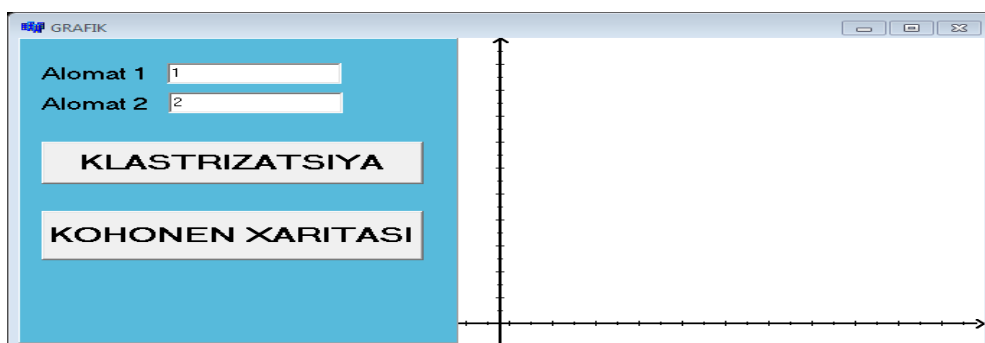
Barcha natijalarni o‘chirib boshqa tanlanmani tekshirish uchun “Retry” tugmasi tanlanadi (3.67-rasm).



3.67-rasm. “Retry” tugmasi bosilgandagi holat

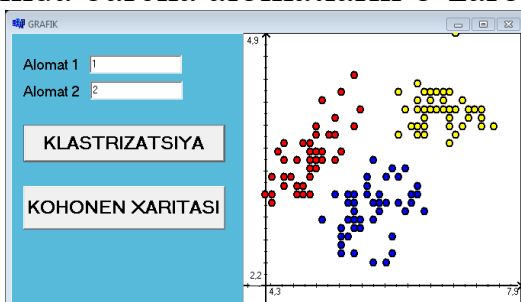
Tanlanmani klasterlarga ajratib bo‘lgandan so‘ng natijalarni vizual ko‘rish mumkin. Buning uchun “Grafik” tugmasi tanlanadi, ekranda

yangi oyna ochiladi (3.68-rasm). Bu oynada ikkita alomatini OX va OY o'qlarida nisbatan ekranga chiqariladi.

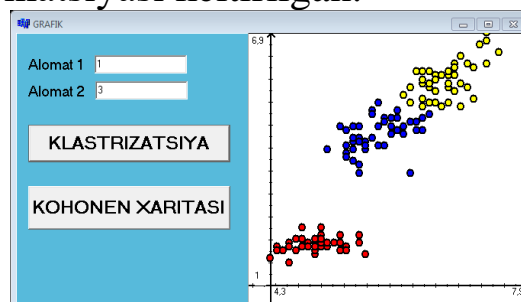


3.68-rasm.

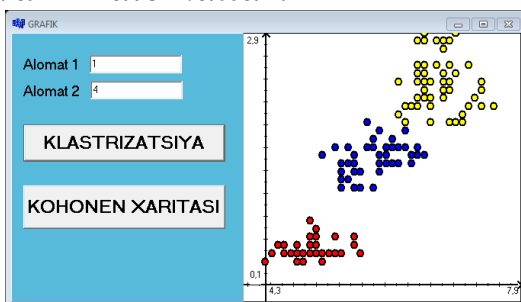
Natijasini ko'rish kerak bo'lgan ikkita alomatni kiritamiz va "KLASTRIZATSIYA" tugmasi bosiladi. Natijada har bir alomat o'zi tegishli bo'lgan rangda doirachalar ko'rinishida Image ga chiziladi. 27-rasmda barcha alomatlarni o'zaro kombinatsiyasi keltirilgan.



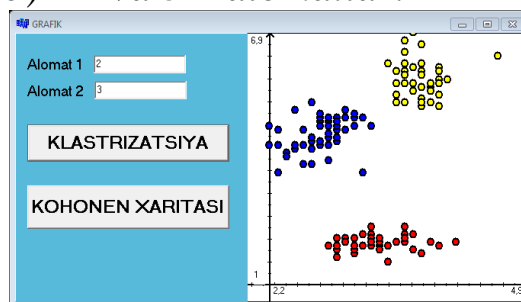
a) 1 va 2 – alomatlar.



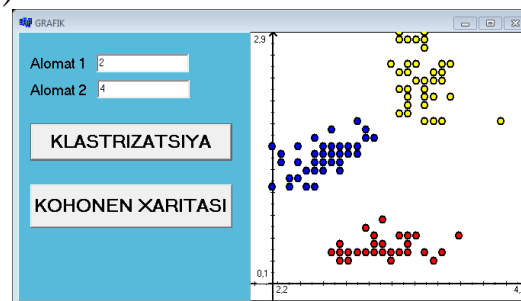
b) 1 va 3 – alomatlar.



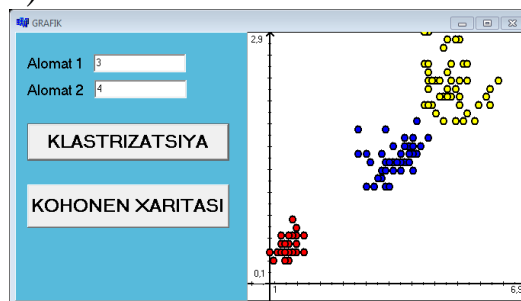
c) 1 va 4 – alomatlar.



d) 2 va 3 – alomatlar.



e) 2 va 2 – alomatlar.

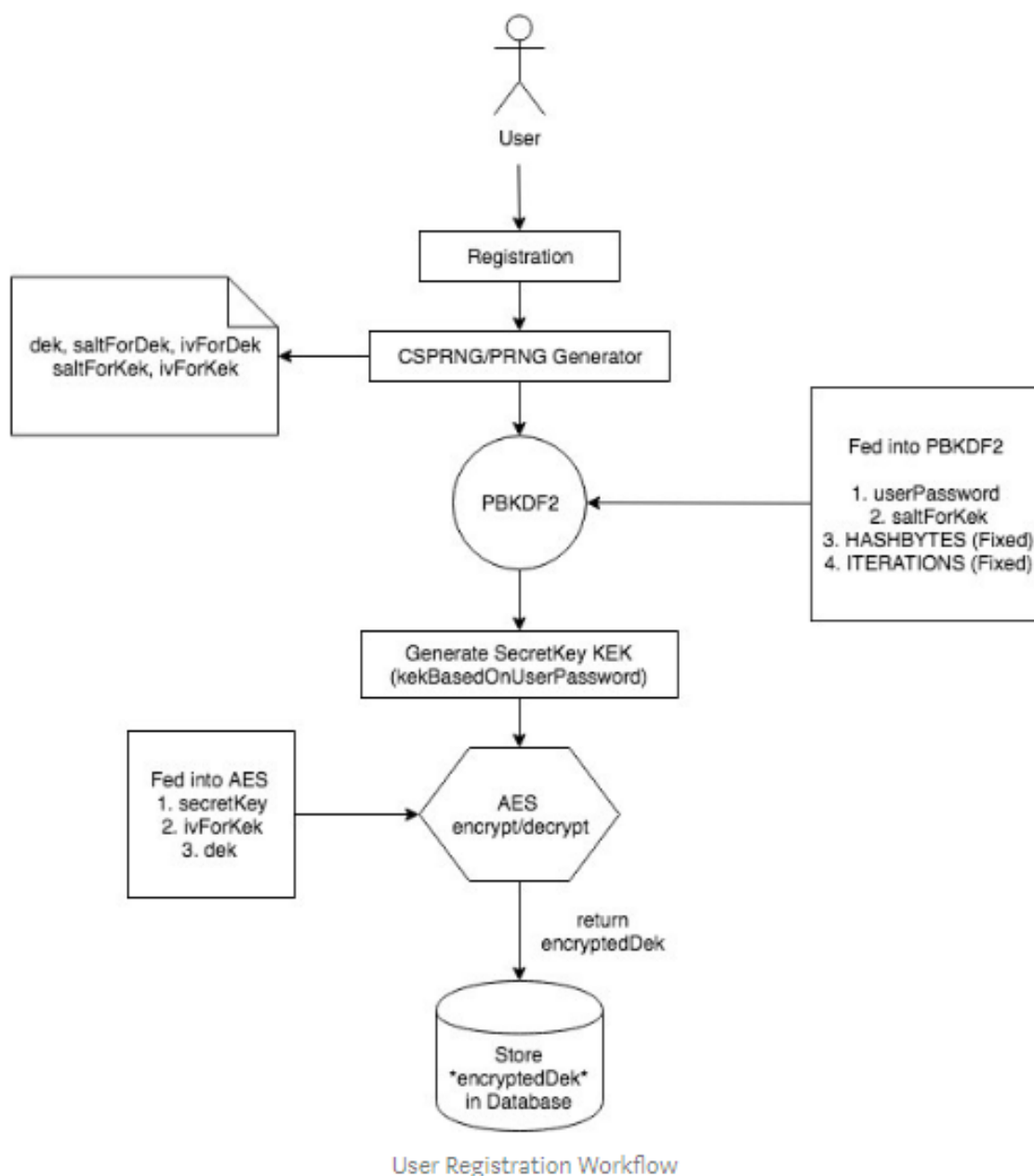


f) 3 va 4 – alomatlar.

3.69-rasm. Barcha alomatlarni o'zaro kombinatsiyasini grafik ko'rinishi

3.4.Sust shakllangan jarayonlarni tashxislashda immun algoritmlarini qo'llash

3.4.1.Avtomatlashtirilgan tizimlarda xavfsizlik masalalari



Avtomatlashtirilgan tizimlarni yaratish uchun keng tarqalgan frameworklardan biri bu Spring boot hisoblanadi

Avtomatlashtirilgan loyihalash tizimlari

ALT bo'yicha muhandis o'z sohasida yagona mutahassis bo'lib hisoblanadi. Buning sababi shindaki, bitiruvchilar yangi texnika va texnologiyalarning namunalarini loyihalashtirishning mukammal

masalalarini hal qilish, ham analitik ham dasturchi vazifalarini bajarish, hamda bilimlar bazalari va ma'lumotlar banklarini yataish uchun imkoniyat beruvchi ko'nikmalarga ega bo'ladilar. Shuning uchun ALT mutahassislariga bo'lgan talab innovatsion iqtisodiyot va ishlab chiqarishning turli sohalarida juda yuqori.

Avtomatlashtirilgan tizimlar quyidagi vazafilarni bajaradi:

- sanoat buyumlari va avtomatlashtirilgan ahborot tizimlarini loyihalashtirish usullarini;
- avtomatlashtirilgan loyihalash tizimlarini, Autodesk kompaniyasining o'quv materiallaridan foydalangan holda;
- ob'yektli-yo'naltirilgan dasturlash, ma'lumotlar bazalari, dasturli vositalarni sinovdan o'tkazish usullarini;
- kompyuter va matematik modellashtirish.

Quyidagi qismlar iborat:

- avtomatlashtirilgan loyihalash tizimlari (ALT);
- ALTda dasturlash;
- sanoat buyumlarini loyihalash usullarini;
- avtomatlashtirilgan ahborot tizimlarini loyihalash;
- biznes-jarayonlarini modellashtirish.
- dasturli ta'minlash, ma'lumotlar bazasini ishlab chiqaruvchi, dasturli-apparatli majmua, tarmoqlarni ishlab chiqaruvchi.

3.4.2. Bemor kasallik tarixini yuritishi uchun avtomatlashtirilgan tizim yaratish.

Web Framework - bu web ilovalarni ishlab chiqishda qo'llanuvchi dasturning funksional qismi.

Framework ma'lum dasturning biror vazifani bajaruvchi qismini yaratishdan ko'ra, o'sha vazifani o'tovchi tayyor funksional mahsulot sifatida qo'llanadi.

Frameworklar dastur ishlab chiqish jarayonini osonlashtiradi. Bunda tayyor qismlar o'z vazifasiga ko'ra yaxlit dasturning zarur qismlariga bog'lanadi. Demak, dasturchi kodlarni qayta yozmasdan, aniq o'zgarishlarni amalga oshiruvchi tayyor frameworklardan foydalanishi mumkin. Bu esa ancha vaqt tejalishi va dasturlash jarayonini tezlashtirish uchun katta yordam beradi.

Spring boot framework java dasturlash tilida tuzilgan.

Java yuqoridarajali, mustahkam, xavfsiz va obyektga yo'naltirilgan til. Platforma: dastur bajarila oladigan ixtiyoriy apparat yoki dasturiy

muhit platformadir. Javaning ham o`zini mahsus bajarilish muhiti – platformasi mavjud (JRE – Java Runtime Environment).

Foydalanilgan terminlar

Class (класс, class)—mantiqiy tuzilma hisoblanib, maydonlar (attributlar), metodlar va hodisalar majmuasidan iborat.

Obyektga yo`naltirilgan dasturlash (Object-Oriented Programming) — asosiy konsepsiyalari obyekt va klass tushunchalari hisoblangan dasturlash paradigmasi.

Obyekt(объект, object) —o`zining holati va harakatiga ega bo`lgan virtual fazodagi biror element bo`lib, xususiyatlari (attributlar)ning qiymatlari aniqlangan bo`lib, ular ustida bir qancha amallar (metod)larni bajarish mumkin. «**Klass nusxasi**» va «**obyekt**» terminlari sinonim hisoblanadi.

Klass maydoni yoki **attribut** (*переменная-член, data member, class field, instance variable*) — klass yoki obyektga mansub o`zgaruvchi. Obyektning barcha ma`lumotlari uning maydonlarida saqlanadi. Ushbu maydonlarga murojaat uning nomi orqali amalga oshiriladi. Har bir maydon tipi klass aniqlanganda ko`rsatiladi.

Ma`lumotlar tipi (*mun, type*) — qiymatlar va ular ustida aniqlangan amallar to`plami.

Metod (метод, method) —muayyan klass yoki obyektga tegishli funktsiya yoki protsedura. Metod biror amalni bajarish uchun zarur bo`lgan bir nechta operatorlardan iborat bo`lib, kiruvchi argumentlarga ega bo`lishi mumkin.

Element (сущность, entity) — real hayotdagi biror obyekt.

Kontroller (controller) – foydalanuvchi va tizim, ko`rinish va ma`lumot saqlagich o`rtasidagi aloqani ta`minlovchi klass hisoblanadi. Ushbu obyekt orqali foydalanuvchi tomonidan kiritilgan ma`lumot qabul qilinadi va ularni qayta ishlaydi. Qayta ishlash natijasiga ko`ra foydalanuvchiga natijani (masalan, ko`rinish shaklida) qaytaradi.

Ko`rinish (view) – dasturning foydalanuvchi interfeysi yoki visual qismi.

Model (model) –ishlatilayotgan ma`lumotlarning mantig`ini ifodalovchi klass.

Amal metodlari(action methods) – muayyan URLbo`yicha so`rovga mos kontrollerning metodlarini ifodalaydi.

Spring boot MVCplatformasi avtomatlashtirilgan tizim,saytlarni va veb-dasturlarni yaratish frayemvorki bo`lib, **MVC**patterni asosida amaliy dasturlarni tadbiq qilishga yo`naltirilgan.

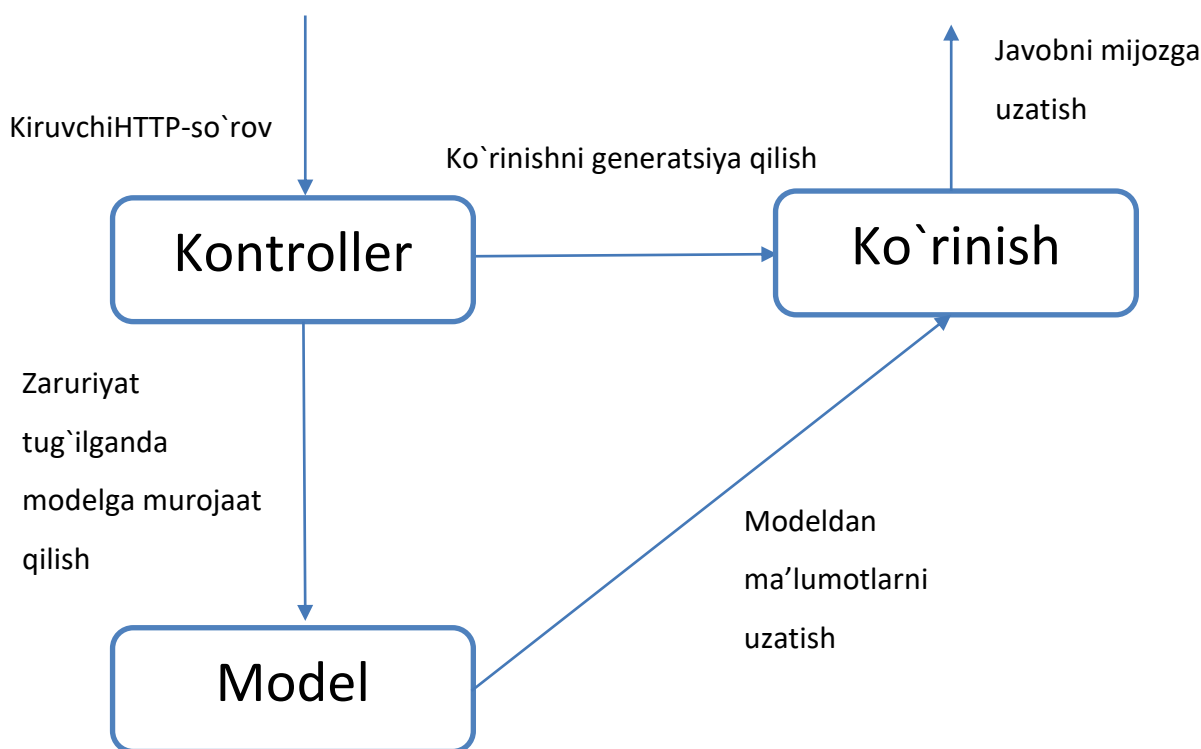
MVC (model - view - controller) konsepsiyasi asosida dastur uchta qismga ajratiladi:

- **Kontroller (controller)** – foydalanuvchi va tizim, ko`rinish va ma'lumot saqlagich o`rtasidagi aloqani ta'minlovchi klass hisoblanadi. Ushbu obyekt orqali foydalanuvchi tomonidan kiritilgan ma'lumot qabul qilinadi va ularni qayta ishlaydi. Qayta ishlash natijasiga ko`ra foydalanuvchiga natijani (masalan, ko`rinish shaklida) qaytaradi.

- **Ko`rinish (view)** – dasturning foydalanuvchi interfeysi yoki visual qismi.

- **Model (model)** – ishlatilayotgan ma'lumotlarning mantig`ini ifodalovchi klass.

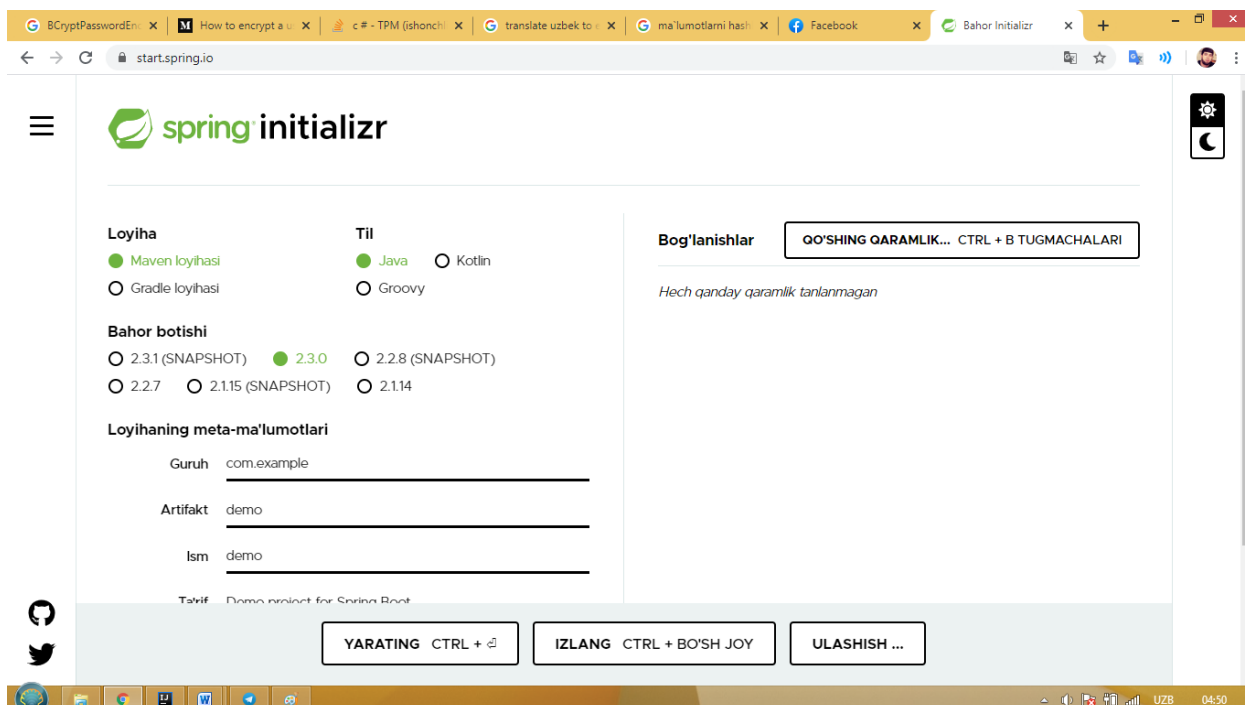
- Ushbu komponentlarning o`zaro bog`lanishini quyidagi rasmdan ko`rish mumkin:



3.70 – rasm. Yechimni analiz qilish

Spring boot frameworkida avtomatlashtirilgan tizim yaratish uchun avvalo unga kerak buladigan texnologiyalarni tanlash kerak buladi.

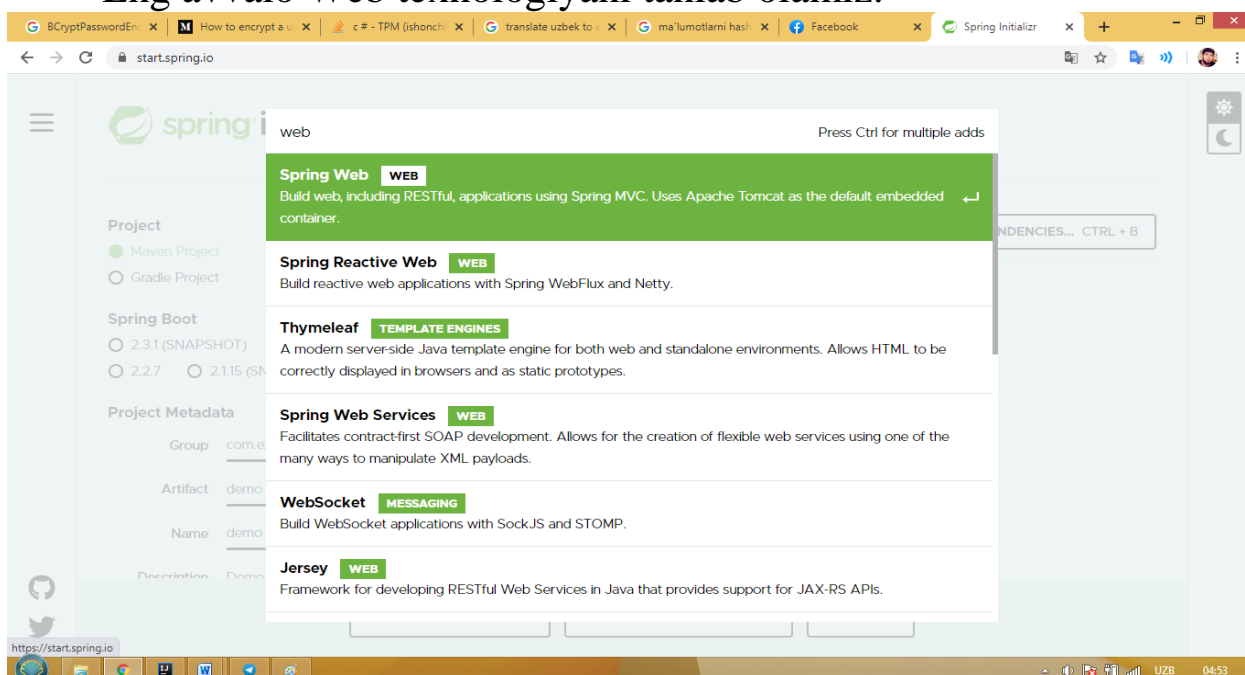
Bu uchun biz <https://start.spring.io/> saytiga kiramiz.



Proyektimizga nom beramiz va kerakli parametrlarni to`g`irlab olamiz.

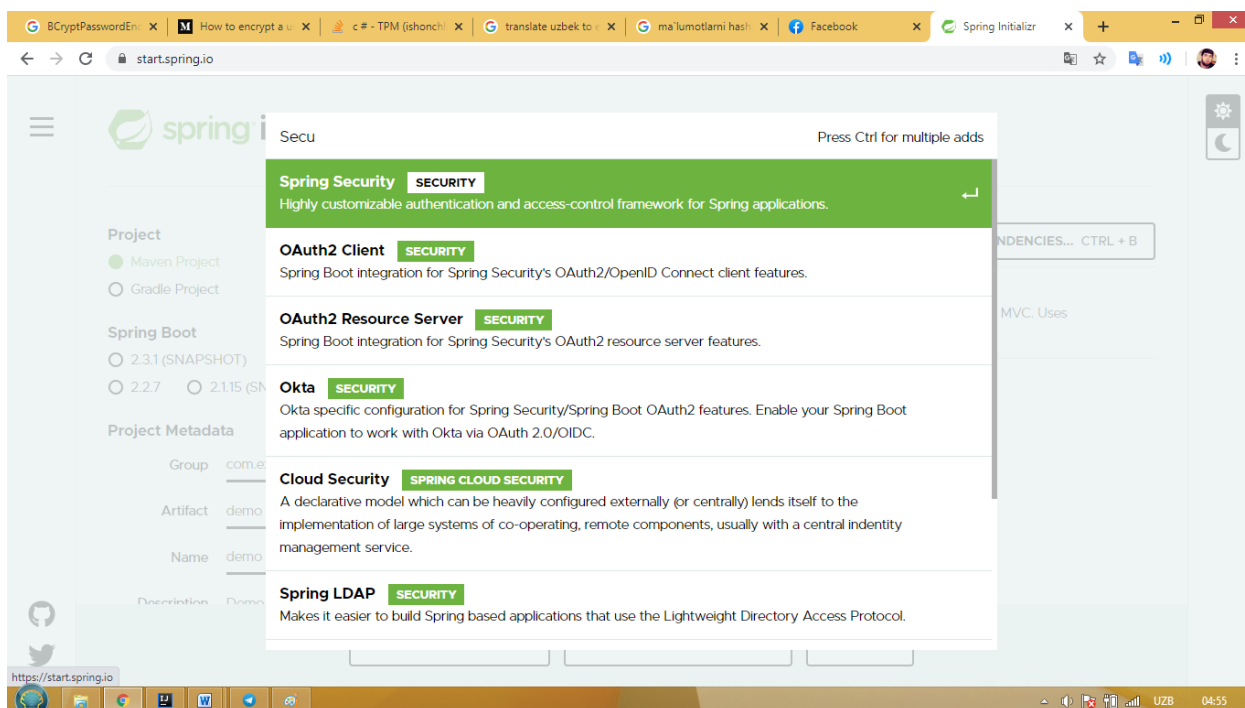
Bu yerdan kerakli texnologiyalarni **Dependencies** bo`limi orqali tanlashimiz kerak.

Eng avvalo Web texnologiyani tanlab olamiz.



Web texnologiya projekt web ilovalar bilan ishlashga yordam beradi.

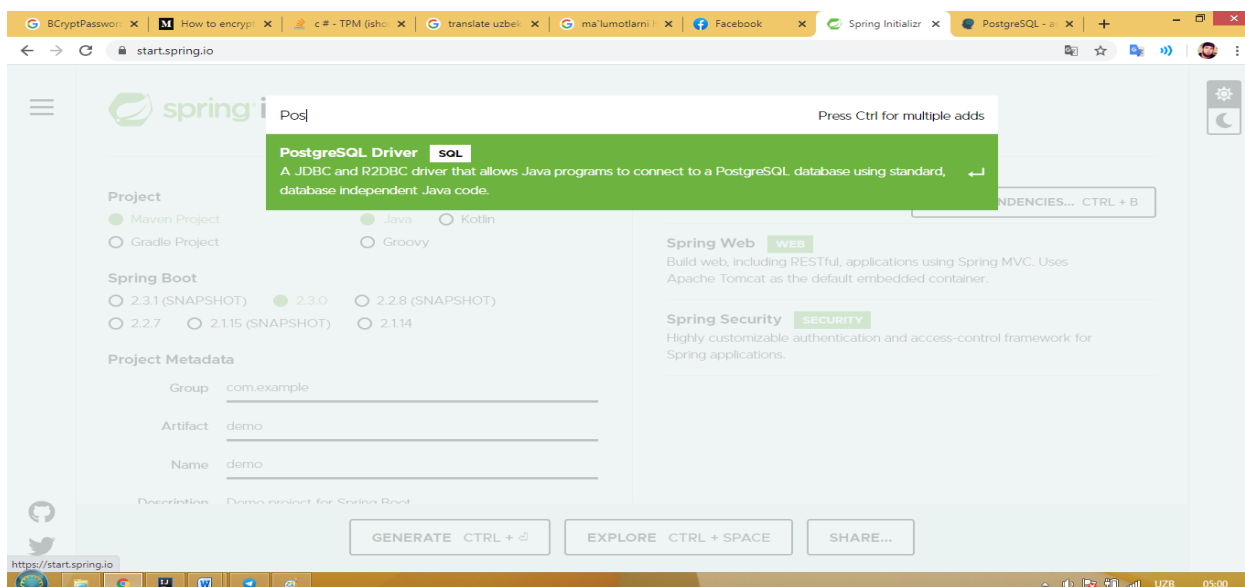
Keyingi bosqichda Spring security ni tanlaymiz.



Spring Security texnologiyasi Spring boot frameworkida foydalanuvchi ma`umotlarini xavfsizligini ta`minlashga xizmat qiladi.

Dastur yaratilishi davomida ma`lumotlarni saqlash uchun ma`lumotlar bazasini boshqarish tizimidan foydalanishimizga to`g`ri keladi.

Bu uchun biz ma`lumotlar bazasini boshqarish tizimlari ichidan PostgreSQL tizimini tanlab olamiz.

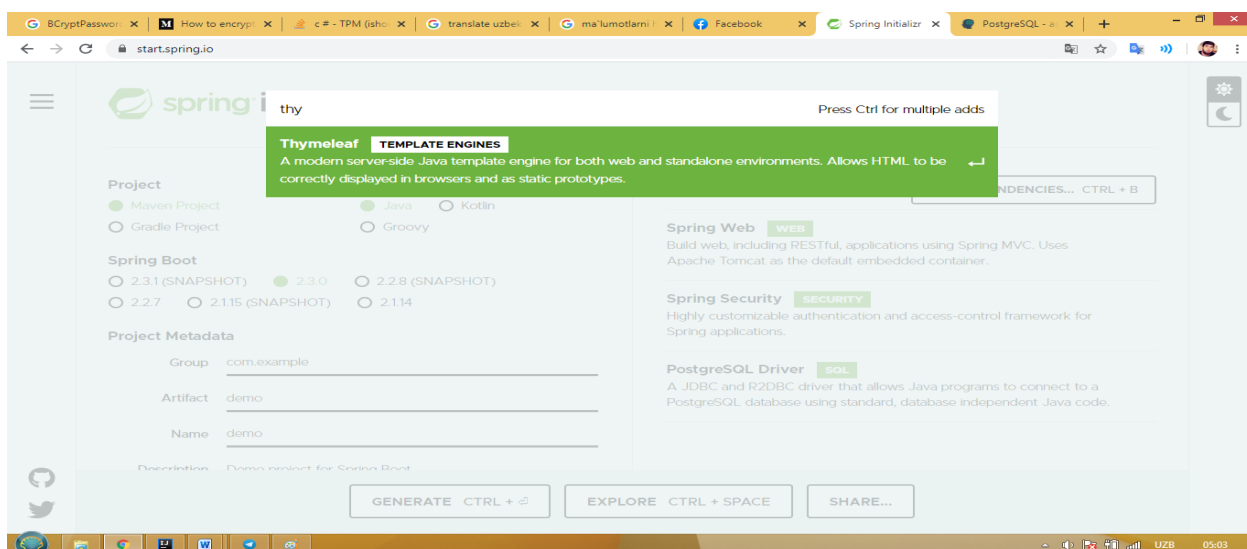


PostgreSQL - bu relyatsion ma'lumotlar omborini boshqarish tizimi. Ya'ni, ma'lumotlarni boshqarish tizimi bo'lib, u aloqalar(relation) ko'rinishida taqdim etiladi. Aloqa - jadvallarni matematik aniq ifodalash. Ma'lumotlarni jadvallarda saqlash hozirgi vaqtda shunchalik tarqalganki, huddi bu ma'lumotlarni saqlashni eng tabiiy yo'li hisoblanadigandek. Lekin ma'lumotlarni saqlashni turli xil boshqa yo'llari mavjud. Masalan, Unix oilasiga kirivchi operatsion tizimlarda fayllar va kataloglar iyerarxik ko'rinishdagi ma'lumotlar ombori. Bundan tashqari hozirgi kunda, opyektga yo'naltirilgan ma'lumotlar ombori juda tez rivojlanmoqda.

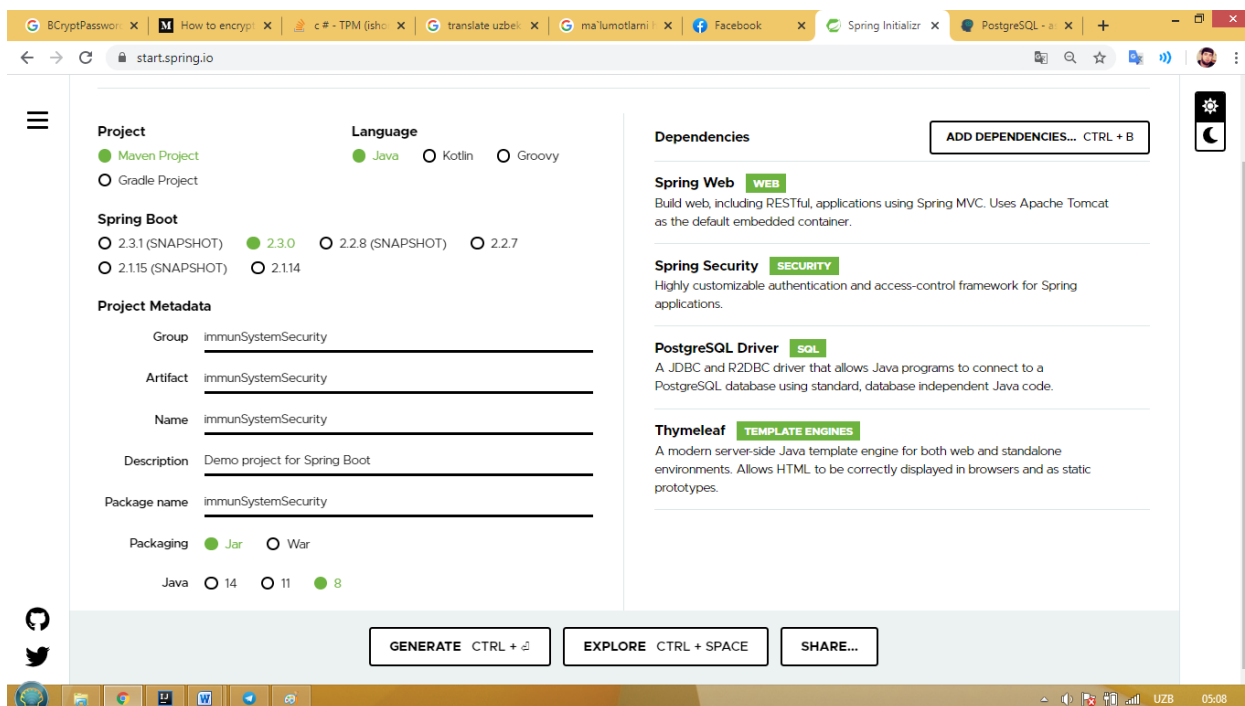
Har qanday jadval, nomlangan qatorlardan tashkil topadi. Jadvaldagi hamma qatorlar bir xil nomlangan ustunlardan tashkil topadi. Bu holatda har bitta ustun uchun qandaydir bir tipni ko'rsatish mumkin. Ya'ni bu ustunga tegishli ma'lumotlar qaysi tipda bo'lishi mumkinligini aniqlab olish. Ustunlar tartibi hamma qatorlarda aniq o'zgarmas bo'lada, SQL jadvalda aniq bir tartibni saqlab bermaydi, lekin uni so'rov vaqtida tartiblash mumkin bo'ladi.

Jadvallar ma'lumotlar omboriga birlashtiriladi, aniq bir PostgreSQL serverdagi ma'lumotlar ombori esa ma'lumotlar ombori klasteri tashkil etadi.

Ma'lumotlarni foydalanuvchiga taqdim etishda HTML ning Bootstrapdan foydalangan ajoyib texnologiyalaridan biri bulgan Thymeleaf template engines ni tanlab olamiz.



Dasturga kerakli texnologiyalarni tanlab oldik va u qo'yidagi holatda tayyor ko'rinishga keladi.



Dasturimni immun algoritmgiga asoslangani va xavfsizlikga e`tibor qaratanim uchun immunSystemSecurity deb nomlab olaman.

GENERATE CTRL + G

tugmasini bosish orqali dasturning default qismni o`zimga ko`chirib olaman

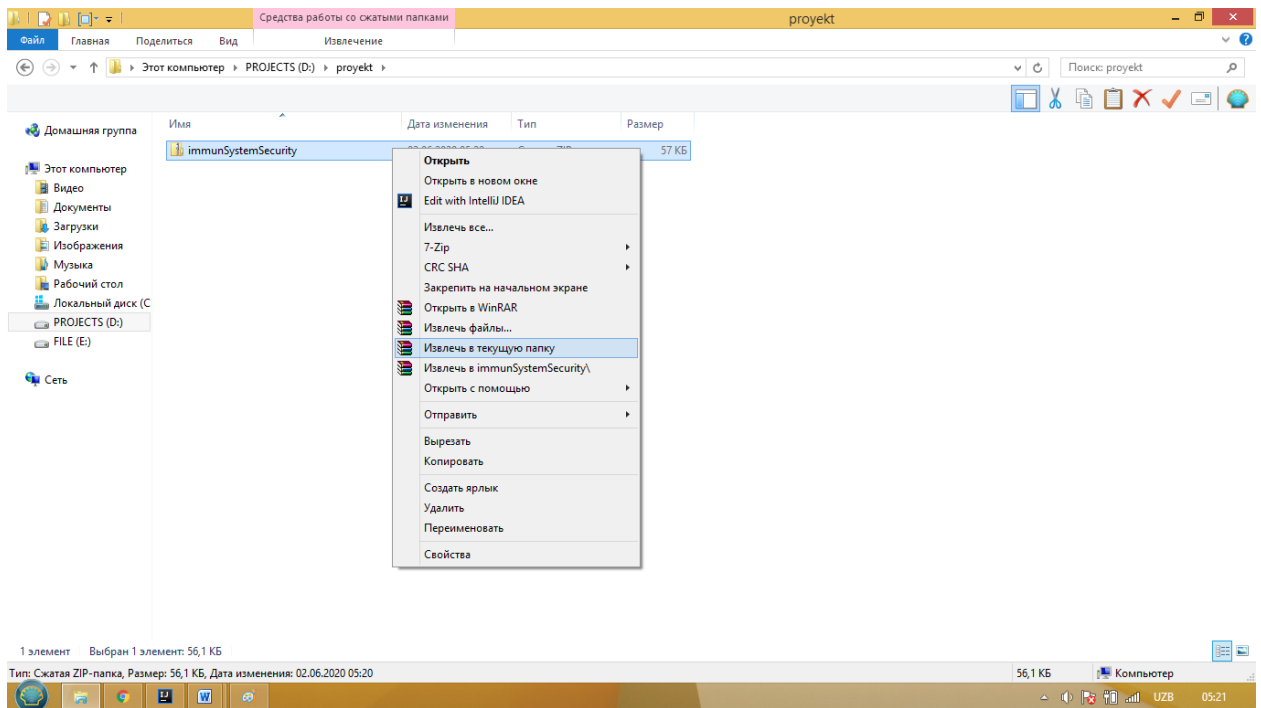
Men dasturni tayyorlash jarayonida Intellej Idea kompilyatoridan foydalanaman.

Intellej idea kompilyatori Spring boot frameworkida ishlash uchun juda qulay kompilyator hisoblanib ayniqsa dasturning ma`lumotlar almashishini aniqlab borishda debug dan foydalanish yaxshi yo`lga quyilgan.

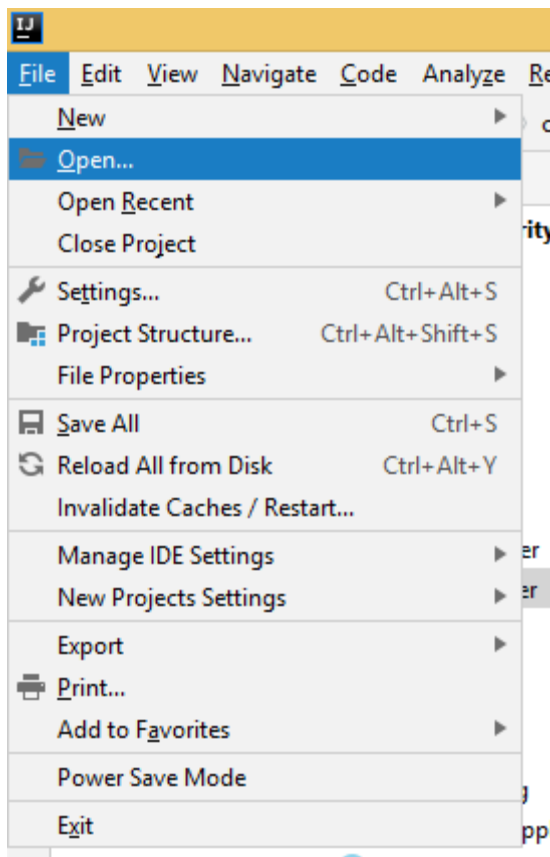
Dastlab, framwworklar bilan ishlaganimda, sikl bloki ichida o'zgaruvchining ma'lum bir qiymatiga yetganda qandaydir xatolik sodir bo'lganda, o'sha vaziyatda aynan nima bo'layotganini aniqlash uchun o'sha vaziyatga yetib borish juda qiyin bo'lardi(o'sha vaziyatga yetib borgunicha F9 ni bosib o'tirardim, juda vaqtni olidigan holat.

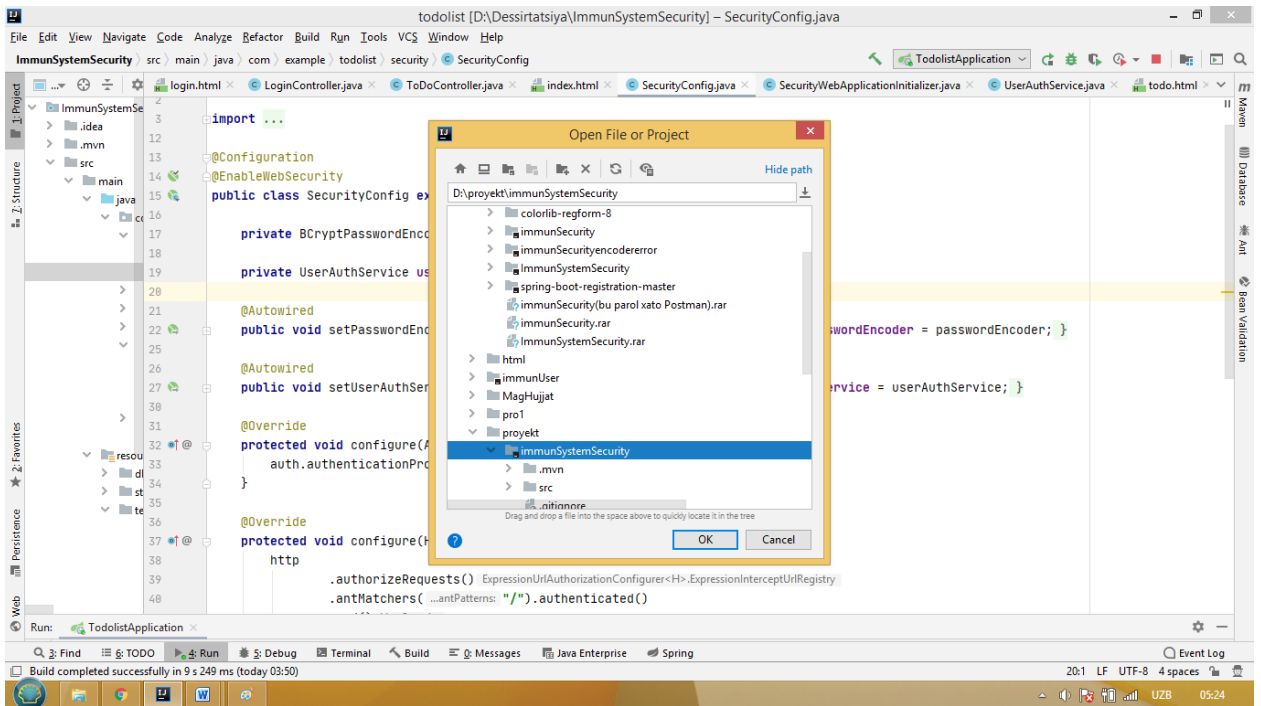
Spring.start.io sayti orqali qurgan default proyektimni Intellej ideada yulab olish jarayoni quyigacha amalga oshiriladi.

Avval brouzerda yuklangan dasturni arxivdan ochib olishimiz kerak.

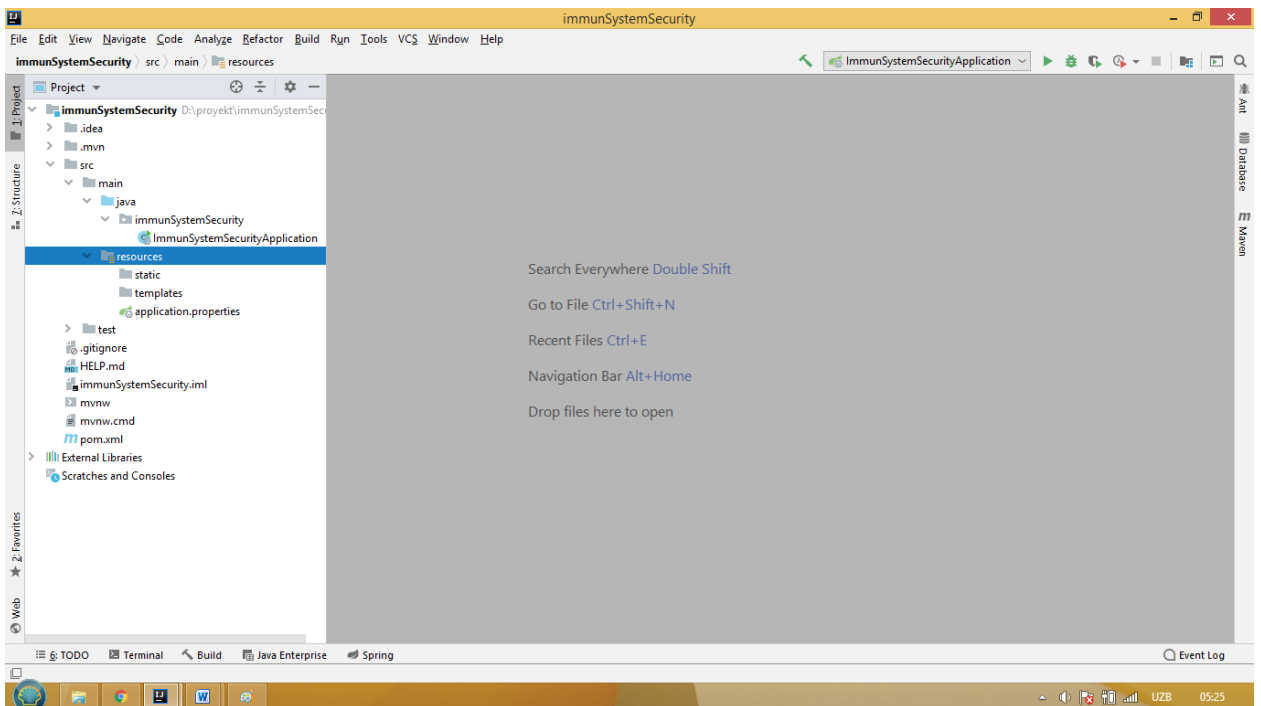


Arxivdan ochilgan projektни Idea kompilyatori orqali quyidagicha yulqlab olinadi.

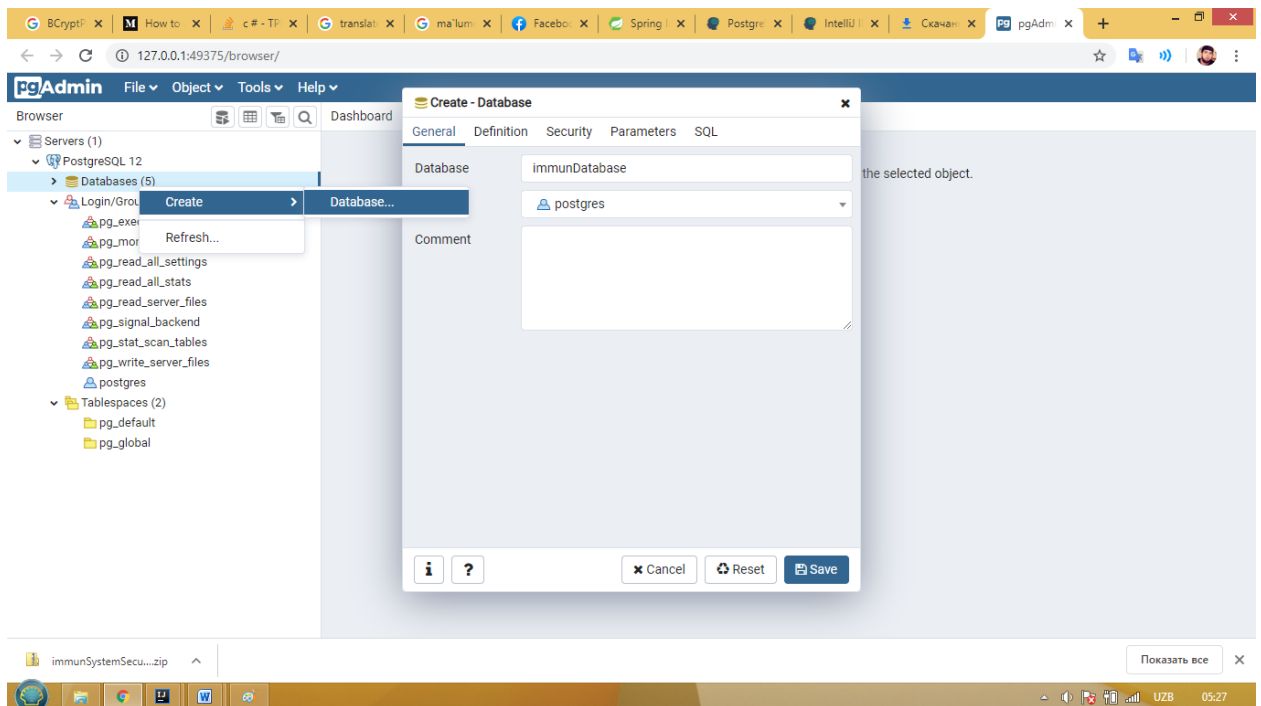




Proyekt dastlabki holatida quyidagicha holatda bo'ladi.



Postgresqlni ishga tushirib unda database yaratiladi.



Dastur Postgresdagi database bilan connect bo`lishi uchun database propertysiga quyidagi sozlashlarni kiritamiz.

server.port=8080

server.servlet.context-path=/

spring.jpa.properties.hibernate.jdbc.lob.non_contextual_creation=true

#spring.jpa.hibernate.ddl-auto=none

spring.jpa.hibernate.ddl-auto=update

#spring.jpa.database-

platform=org.hibernate.dialect.PostgreSQLDialect

#spring.jpa.database-platform

org.hibernate.dialect.PostgreSQL94Dialect

spring.jpa.show-sql=true

#spring.datasource.driverClassName=org.postgresql.Driver

#spring.datasource.initialization-mode=always

#spring.datasource.platform=postgres

spring.datasource.url=jdbc:postgresql://localhost:5433/immunDatabase

spring.datasource.username=postgres

spring.datasource.password=ergashboy

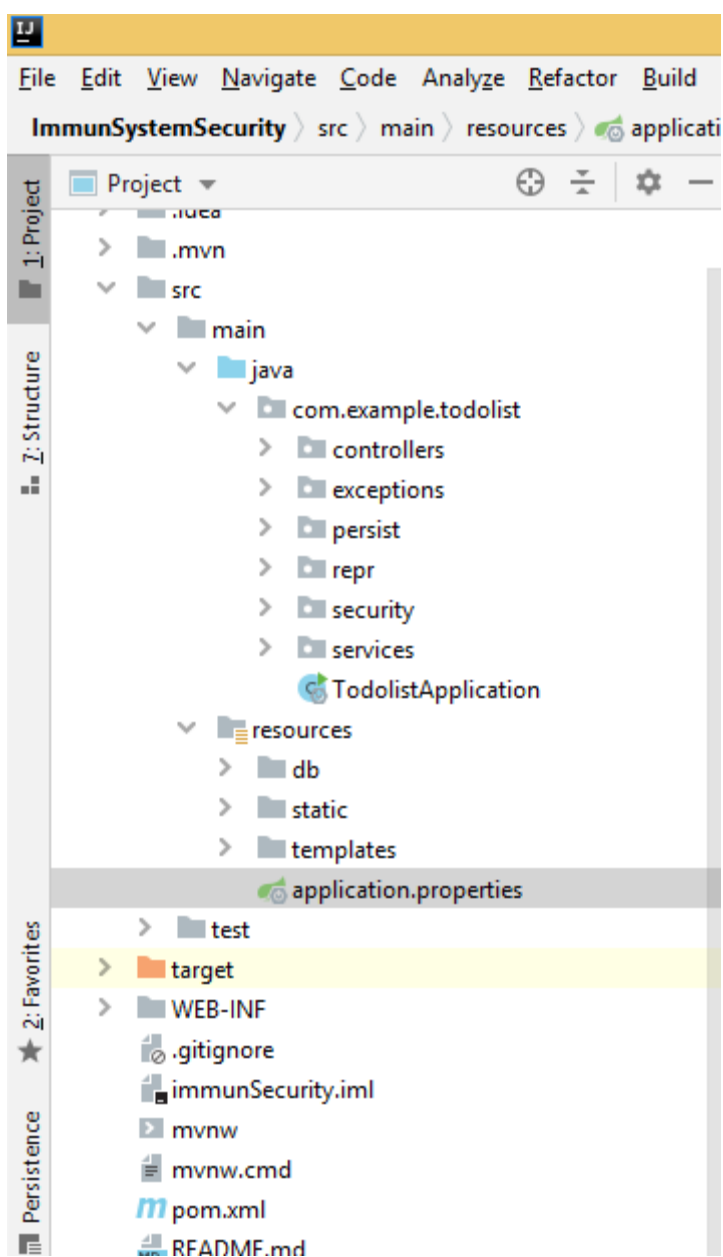
Bu yerda biz e`tibor beradigan asosiy jihatlarida quyidagilardan iborat. Portga e`tibor berish: Bunda postgresqlni o`rnatish jarayonida qanday port bilan o`rnatilgan bo`lsa usha orqali sozlanadi. 5433 orqali o`rnatilgani uchun

spring.datasource.url=jdbc:postgresql://localhost:5433/immunDatabase

sozlashi kiritiladi.

Biz yaratgan database nomi ham etibor beradigan jihat bo`lib sozlash jarayonida uning nomini to`g`ri ko`rsatishimiz kerak.

Yangi yaratilgan MVC loyihasida quyidagi funkcionallar mavjud:



Ketma-ket ushbu papka va fayllarni ko`rib chiqamiz:

Dastur yaratilganda Application class avtomatik yaratiladi va u quyidagicha bo'ladi:

```
package com.example.todolist;
```

```
import org.springframework.boot.SpringApplication;
```

```
import
```

```
org.springframework.boot.autoconfigure.SpringBootApplication;
```

```
import org.springframework.context.annotation.Bean;
```

```
import
```

```
org.springframework.security.crypto.bcrypt.BCryptPasswordEncoder;
```

```
@SpringBootApplication
```

```
public class Application {
```

```
public static void main(String[] args) {
```

```
    SpringApplication.run(TodolistApplication.class, args);
```

```
}
```

```
@Bean
```

```
public BCryptPasswordEncoder passwordEncoder() {
```

```
return new BCryptPasswordEncoder();
```

```
}
```

```
}
```

Controllers: kontrollerlar klasslaridan iborat fayllarni o'zida saqlaydi;

Entity: model fayllarini o'zida saqlaydi.. Ushbu modellar asosida foydalanuvchilarni autentifikatsiya qilish uchun zarur bo'lgan ma'lumotlar saqlanadi;

resource: ushbu papkada ko'rinishlar saqlanadi. Barcha ko'rinishlar papkalarda guruhlashtirilib, har biri bitta kontrollerga mos keladi. So'rov qayta ishlanganidan so'ng kontroller ushbu ko'rinishlardan birini mijozga uzatadi. Shuningdek, ushbu papkada Shared katalogi mavjud bo'lib, barcha uchun umumiy ko'rinishni o'zida saqlaydi;

security: dastur xavfsizlik fayli.

Har bir dasturning tuzilmasi turlicha hisoblanib, MVC texnologiyasining moslashuvchanligi sababli dasturni mos ravishda sozlash mumkin. Yuqorida keltirilgan mulohazalar ko'pgina loyihalar

uchun umumiy hisoblanadi.MVC loyihasi tuzilmasi bilan tanishib chiqqach, birinchi dasturimizni yaratishimiz mumkin.

Biz ushbu dasturda, axborotni immun algoritmda himoyalashni Elektron raqamli imzoda qo`lladik.

Dasturni yaratishda Spring MVC framework texnologiyasidan foydalandim. Dasturda 2 ta controller sinf yaratdim.

LoginController sinfi.

Bu loginpage ni nazorat qilish va ruyxatdan o`qzish vazifalarini bajajardi .Bu classimda loginpage funksiyasi mavjud.

```
@GetMapping("/login")
public String loginPage() {
return "login";
}
```

Bu metod login url ga nazoratni amalga oshiradi.

Bu classda yana checkPasswordSecurity metodi mavjud bu metod kritilayotgan parolni oddiy yoki murakkab ekanligini nazorat qiladi.

registerNewUser funksiyasi esa yangi foydalanuvchi qo`shishni nazorat qiladi.

BemorController sinfi. Bu sinf asosan bemor haqida ma`lumotlarni saqlashni nazorat qiladi.

Xavfsizlikni nazorat qilish uchun Security sinflari bularga quyidlagilar

SecurityConfig:

```
@Override
protected void configure(HttpSecurity http) throws Exception {
http
    .authorizeRequests()
    .antMatchers("/").authenticated()
    .and()
    .formLogin()
    .loginPage("/login")
    .loginProcessingUrl("/authenticateTheUser")
    .permitAll()
    .and()
    .logout()
    .logoutSuccessUrl("/login")
    .permitAll();
}
```

Ko'rib turganizdek bu sinf urlarga kirish huquqlarnini nazorat qiladi.

@Bean

```
public DaoAuthenticationProvider authenticationProvider() {  
    DaoAuthenticationProvider auth = new DaoAuthenticationProvider();  
    auth.setUserDetailsService(userAuthService);  
    auth.setPasswordEncoder(passwordEncoder);  
return auth;  
}
```

UserAuthService sinfi:

@Override

```
public UserDetails loadUserByUsername(String username) throws  
UsernameNotFoundException {  
    User user = userRepository.getByUsername(username)  
        .orElseThrow(() ->new UsernameNotFoundException("User  
not found"));  
return new org.springframework.security.core.userdetails.User(  
    user.getUsername(),  
    user.getPassword(),  
    Collections.singletonList(new  
SimpleGrantedAuthority("USER"))  
    );  
}
```

Helper controller – Bu controllerda Primes va MultiplicativeInverse metodlari bor.

Primes metodi - ERI uchun kerak bo'lgan toq sonlar kiritib chiqilgan.

MultiplicativeInverse metodi - BigInteger turida return qaytaradi. O`ziga int turida 2 ta o`zgaruvchi qabul qiladi. Bu metoddan RSA da kerak bo`ladigan yopiq kalit “d” ni topamiz.

Home Controller - dasturning asosiy qismini bajaradi. Bunda Index va About metodlari bor.

UserService sinfi:

@Autowired

```
public UserService(UserRepository userRepository,  
BCryptPasswordEncoder passwordEncoder) {  
this.userRepository = userRepository;  
this.passwordEncoder = passwordEncoder;  
}
```

```

public void create(UserRepr userRepr) {
    User user = new User();
    user.setUsername(userRepr.getUsername());

    user.setPassword(passwordEncoder.encode(userRepr.getPassword()));
    userRepository.save(user);
}

```

```

public Optional<String> getCurrentUser() {
    Authentication authentication =
    SecurityContextHolder.getContext().getAuthentication();
    if (!(authentication instanceof AnonymousAuthenticationToken)) {
    return Optional.of(authentication.getName());
    }
    return Optional.empty();
}

```

```

public Optional<Long> getCurrentUserId() {
    Optional<String> currentUser = getCurrentUser();
    if (currentUser.isPresent()) {
    return
    userRepository.getByUsername(currentUser.get()).map(User::getId);
    }
    return Optional.empty();
}

```

```

public Optional<User> getByUsername(String username) {
return userRepository.getByUsername(username);
}

```

Bu sinf foydalanuvchi ma`lumotlarini saqlash va ularni tekshrish uchun xizmat qiladi.

BemorService sinfi:

```

public Optional<ToDoRepr> findById(Long id) {
return todoRepository.findById(id).map(ToDoRepr::new);
}

```

```

public List<ToDoRepr> findTodosByUserId(Long userId) {
return todoRepository.findTodosByUserId(userId);
}

```

```

public void save(ToDoRepr toDoRepr) {
    Optional<String> currentUserOptional =
userService.getCurrentUser();
if (currentUserOptional.isPresent()) {
        Optional<User> userOptional =
userService.getByUsername(currentUserOptional.get());
if (userOptional.isPresent()) {
            ToDo toDo = new ToDo();
            toDo.setId(toDoRepr.getId());
            toDo.setDescription(toDoRepr.getDescription());
            toDo.setTargetDate(toDoRepr.getTargetDate());
            toDo.setUser(userOptional.get());
todoRepository.save(toDo);
        }
    }
}

```

```

public void delete(Long id) {
todoRepository.findById(id)
    .ifPresent(toDo ->todoRepository.delete(toDo));
}

```

Bu sinf Bemor haqida ma'lumotlarni modelga uzatish undan olish ma'lumotlarni o'zgartirish va o'cherish vazifalarini ham bajaradi.

User sinfi:

```

@Entity
@Table(name = "users")
public class User {

    @Id
    @GeneratedValue(strategy = GenerationType.IDENTITY)
    private Long id;

    @Column(unique = true, nullable = false)
    private String username;

    @Column(nullable = false)
    private String password;
}

```

```

@OneToMany(
    mappedBy = "user",
    cascade = CascadeType.ALL,
    orphanRemoval = true
)
private List<ToDo> todos;

public User() {
}

public Long getId() {
return id;
}

public void setId(Long id) {
this.id = id;
}

public String getUsername() {
return username;
}

public void setUsername(String username) {
this.username = username;
}

public String getPassword() {
return password;
}

public void setPassword(String password) {
this.password = password;
}
}

```

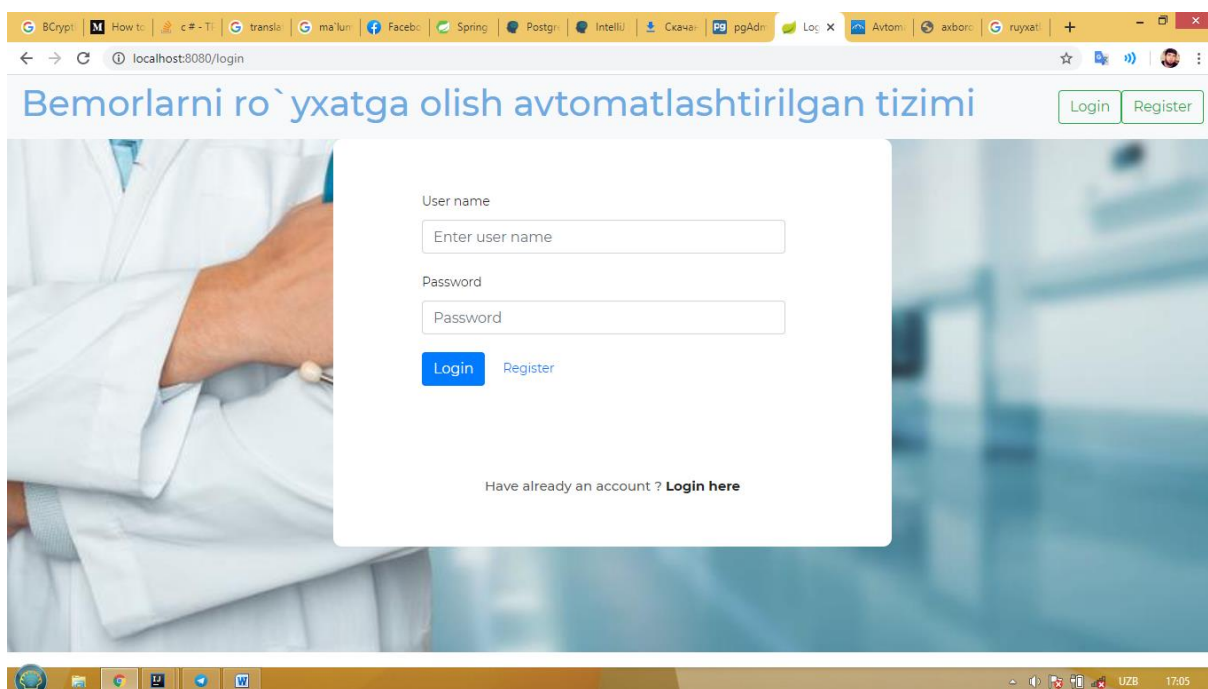
Bu sinf esa userga tegishli ustun yaratadi.U baza bilan malumot get va set qilish vazifalarini bajaradi.

3.4.3. Tizimning ishlashi va parol ni tashxislash tahlili

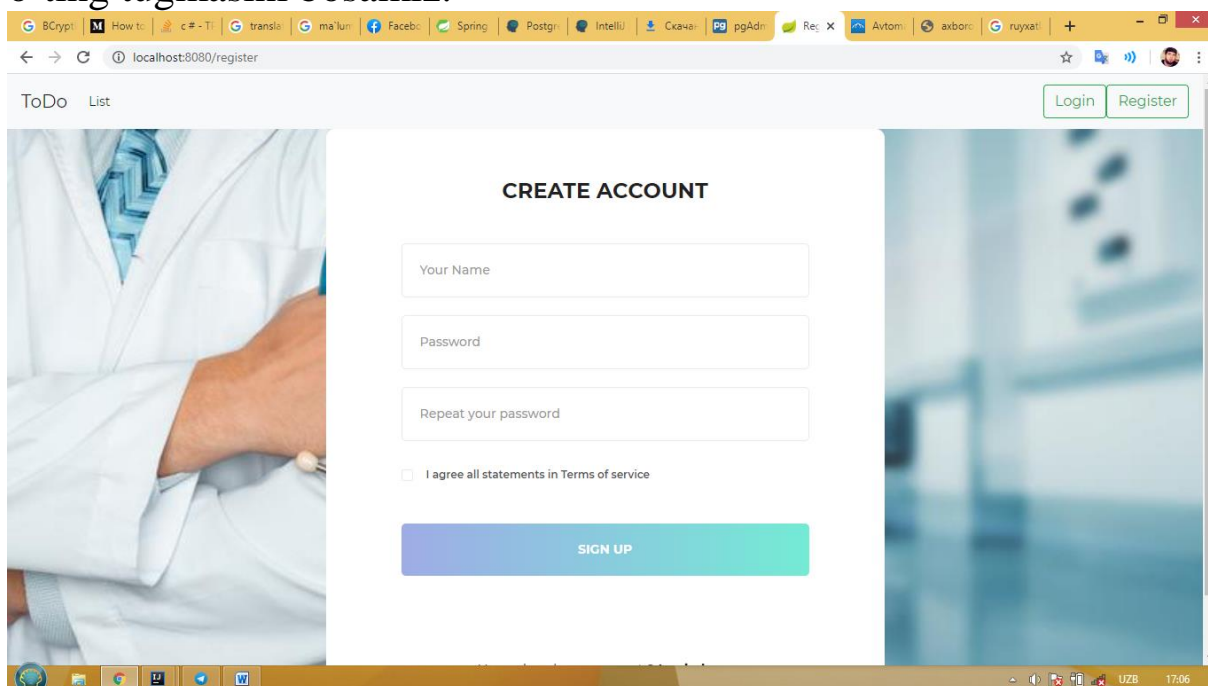
Dasturni ishga tushiramiz va uning ishlashini tahlil qilamiz.

Dasturni ishga tushirish uchun Intellej Idea kompilyatoridan run tugmasini bosamiz. Bunda <http://localhost:8080/> url manzili brauzer ishga tushadi.

Dastur ishga tushish jarayonida Spring Security texnologiyasi url ni <http://localhost:8080/login> ga otib yuboradi.



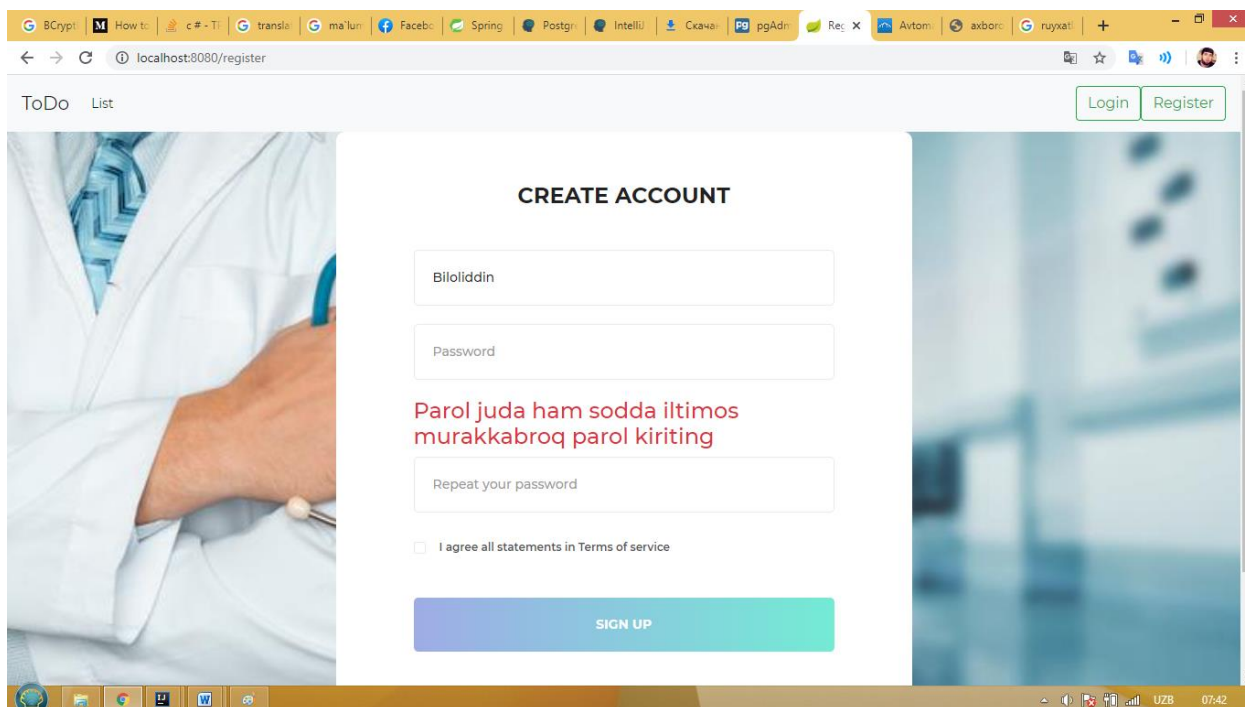
Yangi bemor kelganda uni ruyxatdan o`tkazish uchun Ro`yxatdan o`ting tugmasini bosamiz.



Ro'yxatdan o'tkazish uchun unda login sifatida ismidan ham foydalansak bo'ladi.

Parol kirgizish jarayonida parolni olib uni oddiy yoki murakkab ekanligini tekshiradigan algoritm ishga tushadi. Agar parol oddiy bulsa tizim ogohlantirish beradi.

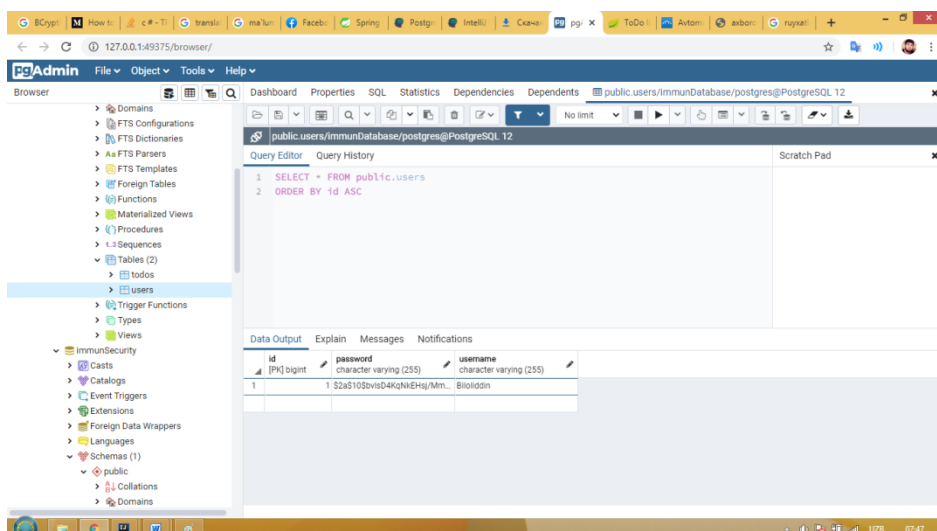
Misol uchun biz parol sifatida 1234 dan foydalanib kuramiz.



Ko'rib turganimizdek tizim oddiy parolni rad etdi.

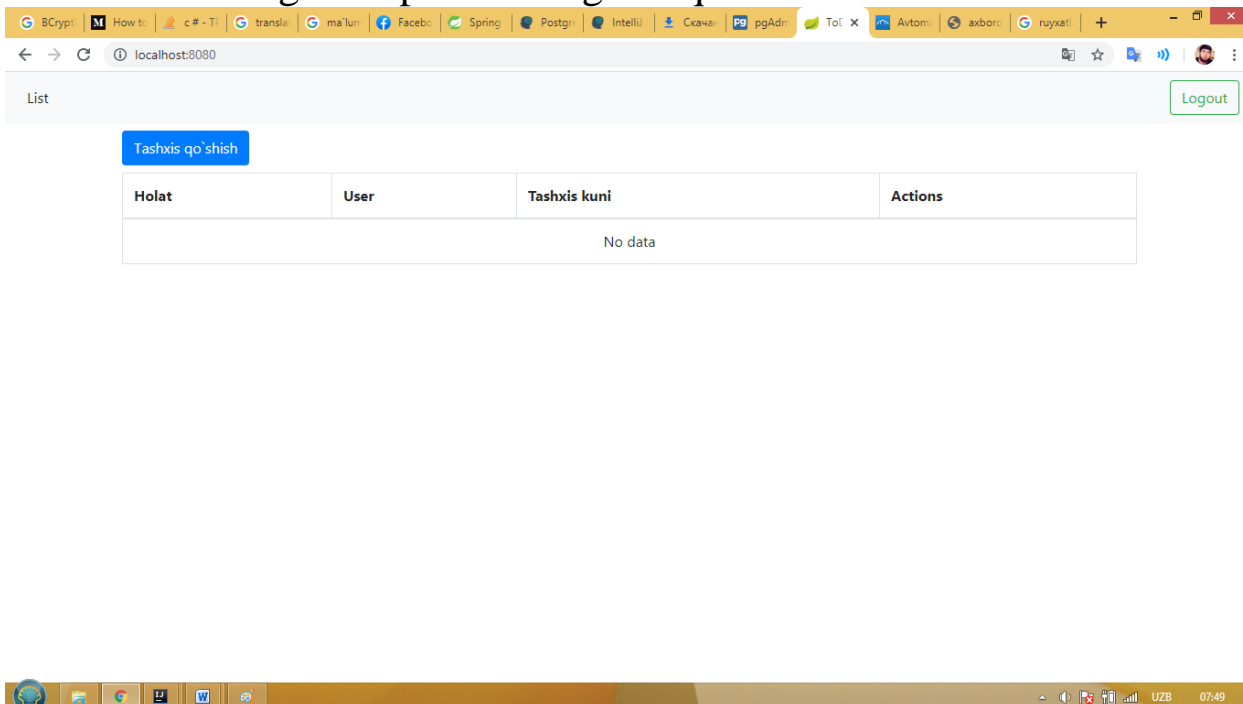
Endi esa boshqa murakkabroq parol bilan ro'yxatdan o'tamiz.

Malumotlar bazasiga kirib bemorning ro'yxatdan o'tgan yoki yo'qligini tekshirib kuramiz.

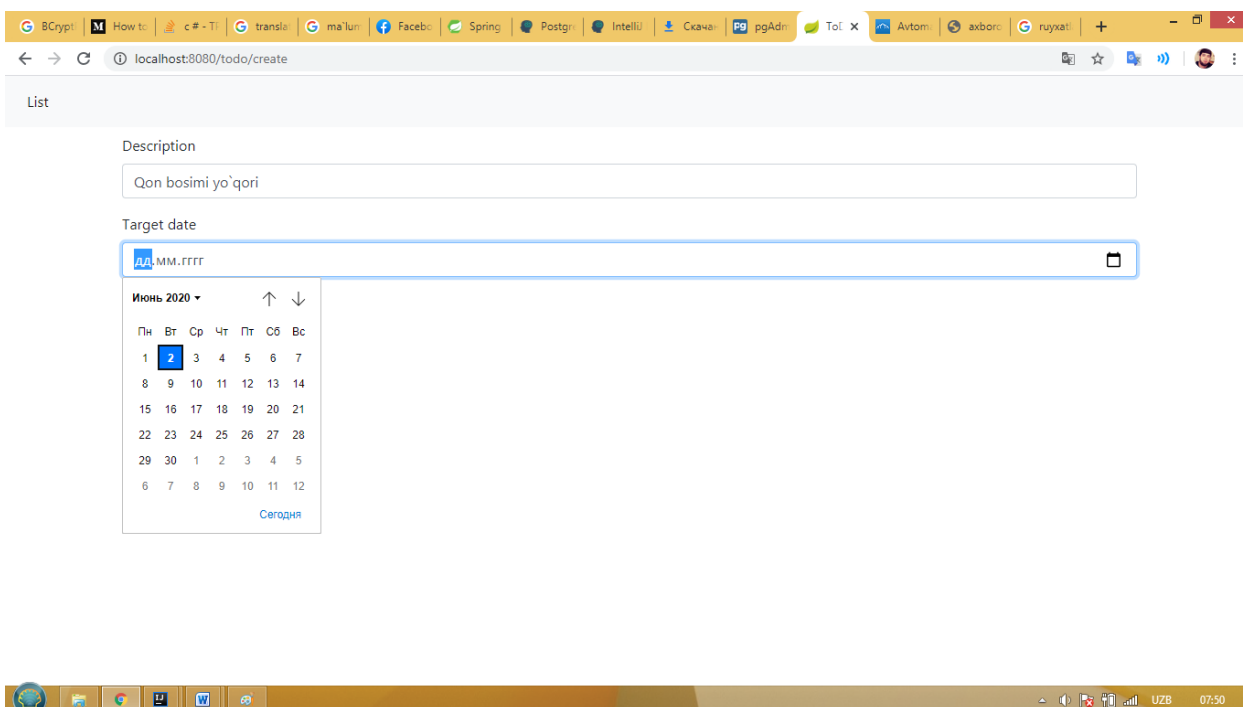


Ko`rib turganimizdek bemor ruyxatdan o`tgan va uning paroli shiflar bn hashlangan holda saqlangan.





Endi tizimga shu parol va login orqali kirib kuramiz.



Bemorga tashxis qo`yilga tashxislash saqlash uchun tashxis qo`shish tugmasini bosamiz.



Tashxis qo`yilgan kun bilan birgan tashxis natijasini saqlaymiz

Xolat	Bemor	Tashxis kuni	Harakatlar
Qon bosimi yo`qori	Biloliddin	2020-06-02	 
Qon bosimi holatida	Biloliddin	2020-06-03	 



Shu tariqa tizim har bir bemorni tizim orqali ruyxatdan o`tzazadi va u haqidagi tibbiy tashxislarni saqlab boradi.

Hech bir bemorni tibbiy tashxislari aralashib ketmaydi.

Har bir bemor o`z parol logini bilan kirganida faqat o`zining tibbiy tashxislar arxivini ko`rishi mumkin buladi.

Ishni bajarish jarayonida axborotni himoya qilishning mavjud usullari tahlil qilingan va immun algoritmini axborotni himoya qilishda qo`llash asoslab berilgan. Sun`iy immun tizimi deb nomlanadigan immun tizimining prinsplariga asoslangan yangi hisoblash protsedurasi yangi ma`lumotlarni qabul qilish va o`rganish, ilgari olingan ma`lumotlarni esga tushirish va obrazni tanish va ma`lumotlarni yuqori taqsimlangan tarzda biomolekulyar bilish prinsplari asosida ma`lumotlarni tahlil qilish imkoniyatlarini beradi. Bu tizimlar murakkab masalalarni yechishda katta ma`lumotlar massivlarini qayta ishlashda dolzarb masala hisoblanadi. Dasturni yaratishda Spring boot (Spring security) frameworki yordamida yaratilgan.

Ishni bajarish jarayonida quyidagi vazifalar bajarildi:

1. Tizim xavfsizligining mavjud usullari tahlil qilindi.
2. Immun tizimlarning xossalaridan foydalangan holda tizimda ro`yxatdan o`tishni tashxislash amalga oshirildi.
3. Foydalanuvchi parol xavfsizligi immun algoritmi yordamida amalga oshirish uchun dastur yaratildi.

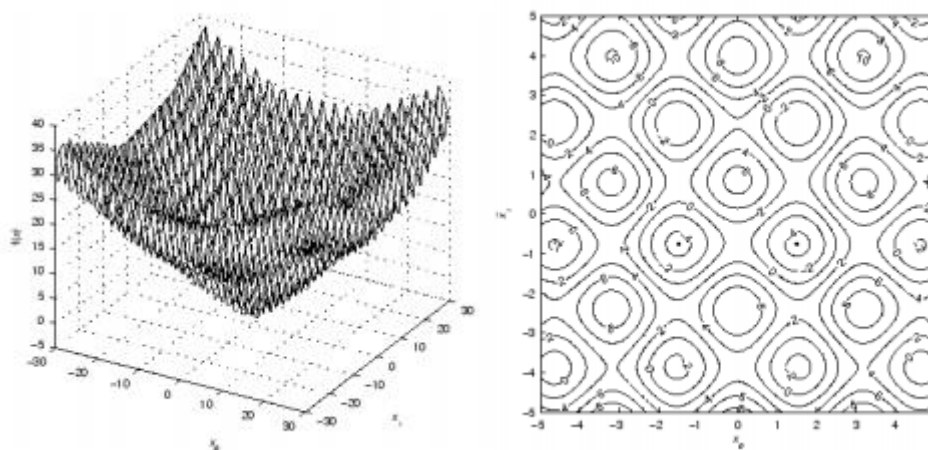
3.5. Sust shakllangan jarayonlarni tashxislashda zarralar galasi algoritmlarini qo'llash

3.5.1. Test funktsiyalari

PSO (*particle swarm optimization - PSO*) usulini tekshrish uchun quyidagi funktsiyalar eng ko'p qo'llaniladi.

1) Ekli (Ackley) funktsiyasi:

$$\Phi(X) = \sum_{i=1}^n \left(e^{-0.2 \sqrt{x_i^2 + x_{i+1}^2}} + 3(\cos 2x_i + \sin 2x_i) \right). \quad (3.71\text{- rasm})$$



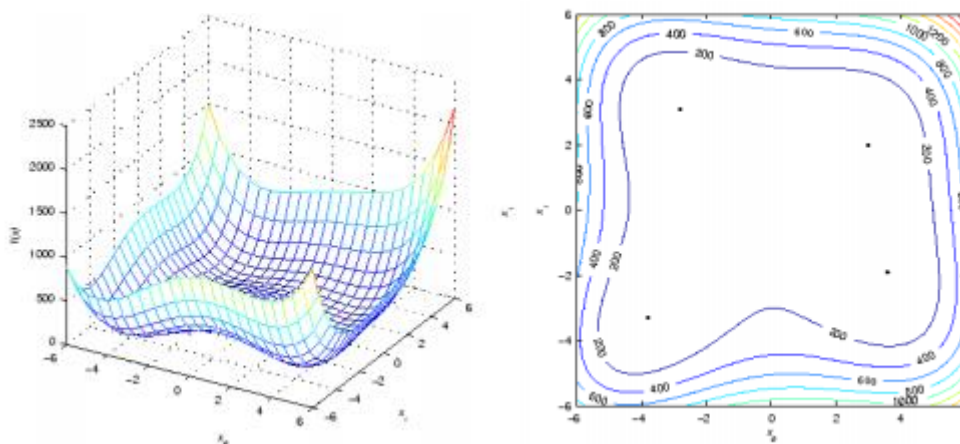
3.71-rasm. Ekli funktsiyasining sirt va darajadagi chiziqlari: $n = 2$

2) Himmelblau funktsiyasi:

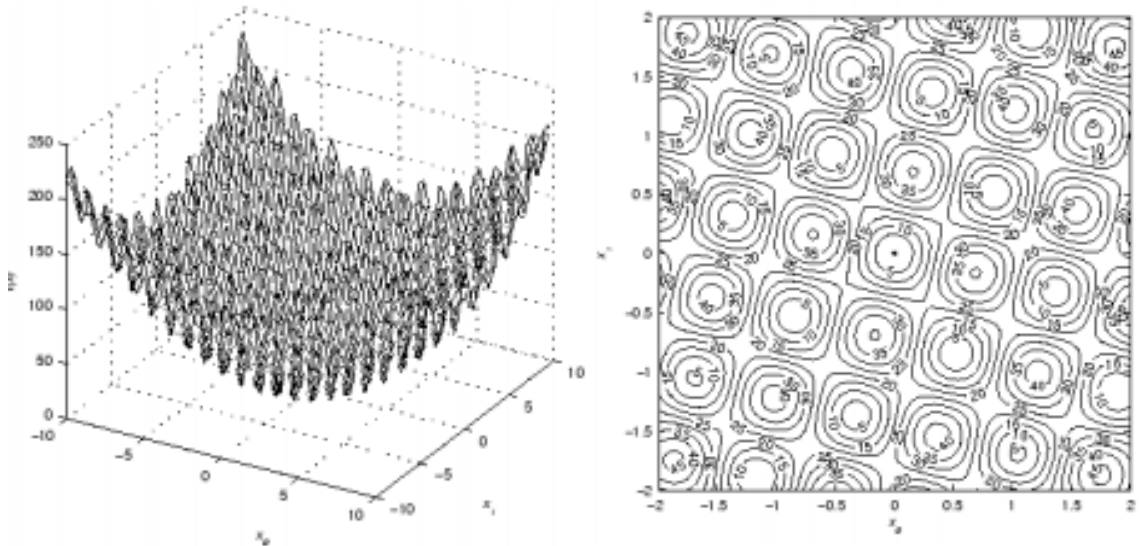
$$\Phi(X) = (x_1^2 + x_2 - 11)^2 + (x_1 + x_2^2 - 7)^2 \quad (3.72\text{-rasm}).$$

3) Rastrigin funktsiyasi:

$$\Phi(X) = \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10 \cos 2\pi x_i + 10) \quad (3.73\text{-rasm}).$$



3.72-rasm. Himmelblau funktsiyasining sirt va tekis chiziqlari



3.73-rasm. Rastrigin funksiyasining sirt va darajadagi chiziqlari: $n = 2$

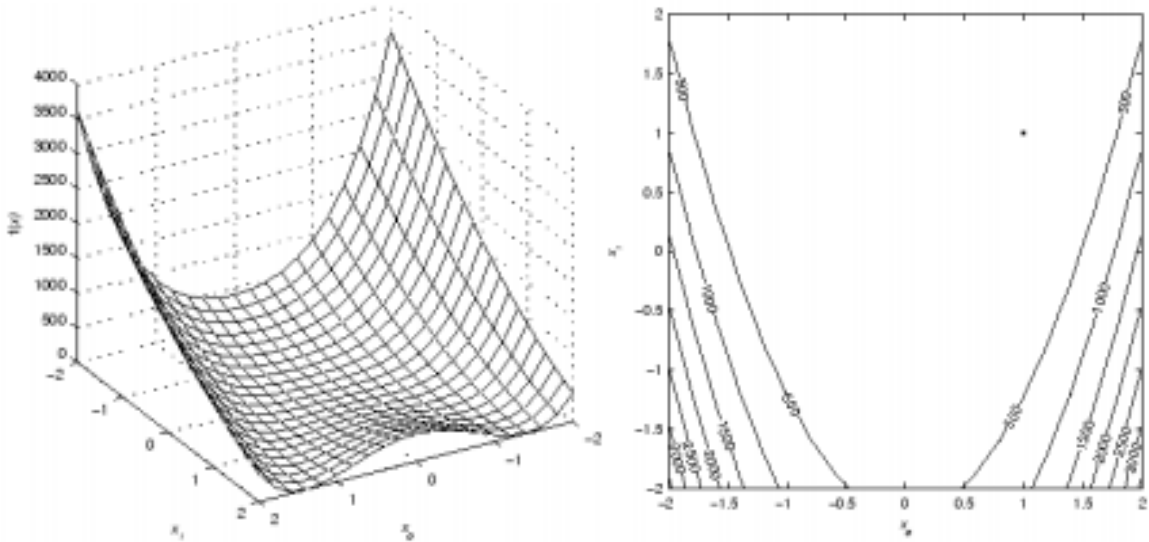
4) Rozenbrok (Rosenbrock) funksiyasi

$$\Phi(X) = \sum_{i=1}^{n-1} \left(100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2 \right) \quad (3.74\text{-rasm}).$$

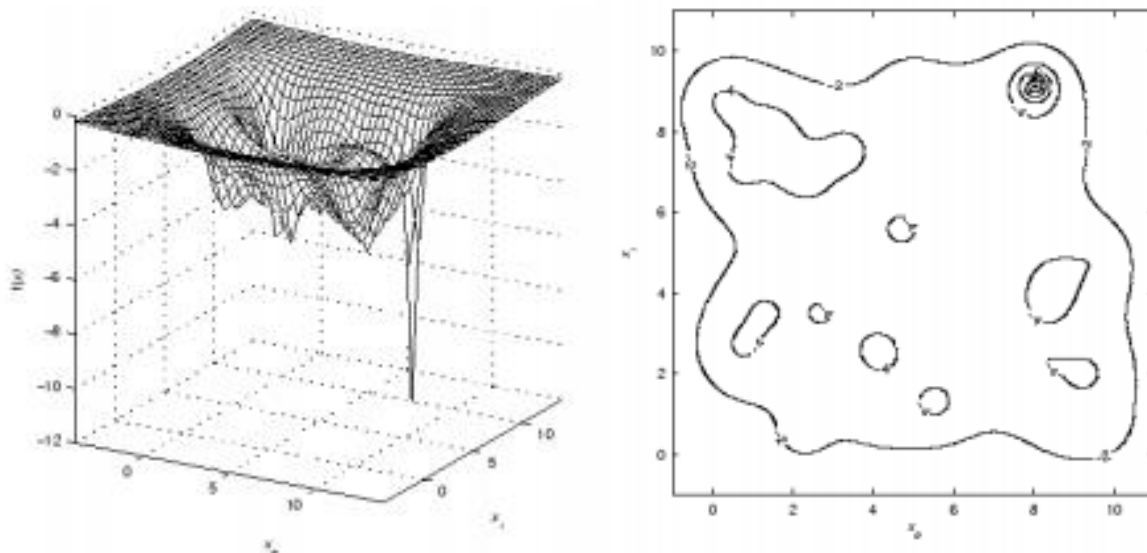
5) Shekel funksiyasi

$$\Phi(X) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{c_i + \sum_{j=1}^n (x_j - a_{j,i})^2} \quad (3.75\text{-rasm}).$$

PSO usulini sinab ko‘rish uchun CES test funksiyalari to‘plamlari ham keng qo‘llaniladi.



3.74-rasm. Rozenbrok funksiyasining sirt va darajadagi chiziqlari:
 $n = 2$

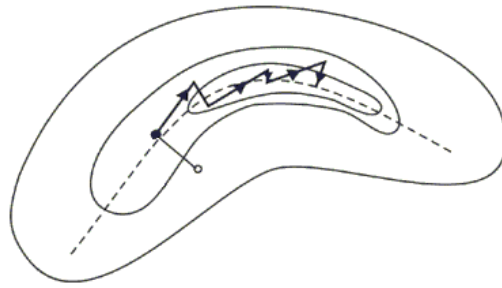


3.75-rasm. Shekel funksiyasining sirt va darajadagi chiziqlari: $n = 2$

3.5.2. Muvozanat koeffitsientidan foydalangan holda global optimallashtirish masalasini yechish uchun zarralar galasi usuli

Jarlik usuli ko'p ekstremal optimallashtirish masalalarining optimal yechimlarini aniqlashning eng samarali usullaridan biri hisoblanadi. Ushbu usulning asosiy g'oyasi fitnesni birgalikda ishlatish, klasterlash, to'planish vacheklangan turnir tanlovi kabi usullardan foydalangan holda populyatsiyaning yuqori darajasini saqlashdir. Jarlik usuli EAning yuqori aniqlik bilan yaxshiroq yechimlarni topish qobiliyatini oshirishda samarali ekanligini isbotlagan bo'lsa-da, ko'pincha bu ko'p hisoblash sarfini talab qiladi, chunki jarlik usuli odatda algoritmlarning tezligini sekinlashtiradi.

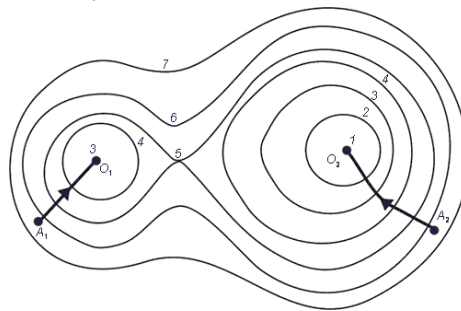
"Jarlik" usulidan foydalanish uchun qator maxsus uslublar taklif qilingan. Ulardan biri quyidagicha. Ikki yaqin nuqtadan "jarlik"ning pastki qismiga gradient tushish amalga oshiriladi. Keyin ular topilgan joylarni to'g'ri chiziq bilan bog'laydilar va chiziq bo'ylab katta (jarlik) tomon qadam qo'yadilar. Topilgan joydan boshlab ular yana "jarlik" tubiga tushadilar va ikkinchi jarlik qadamini qo'yadilar. Natijada, «jarlik» bo'ylab yetarlicha tez harakatlanib, maqsad funksiyaning kerakli minimal qiymatiga yaqinlashiladi (3.76-rasm). Ushbu usul ikkita o'zgaruvchili funksiyalari uchun juda samarali, ammo o'zgaruvchilar soni ko'p bo'lsa, qiyinchiliklar paydo bo'lishi mumkin.



3.76-rasm. “Jarlik” holatida funktsiyaning eng kichik qiymatini qidirish

3.77-rasmda O_1 va O_2 nuqtalarda ikki lokal minimumga ega funktsiya darajasi chiziqlari keltirilgan. Bunday funktsiyalarni ko‘p ekstremal deb atash qabul qilingan.

Agar 3.72-rasmni ko‘rmay va ko‘p ekstremal funktsiya haqida bilmay turib A_1 nuqtadan gradient tushish usuli orqali eng kichik qiymatni qidirilsa, qidiruv bizni O_1 nuqtaga olib keladi va buni qidirilayotgan javob sifatida qabul qilinishi xato bo‘lishi mumkin. Boshqa tomondan qidiruvni A_2 nuqtadan boshlansa, unda to‘g‘ri yo‘lda bo‘lamiz va O_2 nuqtaga tezda yetib boriladi.



3.77-rasm. O_1 va O_2 nuqtalarda ikki lokal minimumga ega funktsiyaga misol

Optimallashtirishning zarralar galasi usuli PSO (*particle swarm optimization - PSO*) - EAning nisbatan yangi varianti bo‘lib, u global optimallashtirishni topish uchun odamlarning tajribasi va aholisi to‘g‘risidagi ma’lumotlardan foydalanadi. PSO optimallashtirishning murakkab masalalariga duch kelganda samarali va ishonchli ekanligi isbotlangan.

1995 yilda Kennedi va Eberxart birinchi bo‘lib zarralar galasini optimallashtirishni taklif qilishgan. PSO (*particle swarm optimization - PSO*) populyatsiyaga asoslangan EAga o‘xshash global qidiruv algoritmi bo‘lsa ham, unda crossover va mutatsiya kabi evolyusion operatorlar mavjud emas. PSoda har bir yechim o‘z tajribasi va boshqa zarralarning o‘tmishdagi tajribasini o‘rganish orqali ko‘p o‘lchamli

fazoni qidiradigan zarra bilan ifodalanadi. Uning holati X va tezligi V quyidagi ifodalarga muvofiq yangilanadi:

$$V_i^d(t+1) = w * V_i^d(t) + c_1 * random1_i^d * (pbest_i^d(t) - X_i^d(t)) + c_2 * random2_i^d * (gbest^d(t) - X_i^d(t)),$$

$$X_i^d(t+1) = X_i^d(t) + V_i^d(t+1),$$

bu yerda t - joriy avlodni o'zida aks ettiradi, d - individ o'lchamiga tegishli kattalik, i - zarra indeksi, c_1 va c_2 - tezlanish konstantalari, $random1_i^d$ va $random2_i^d$ - $[0,1]$ oraliqda tekis taqsimlangan ikki tasodifiy sonlar. Inersiya vazni w qidiruvning lokal va global balansi uchun foydalaniladi. $gbest^d(t)$ - butun populyatsiya bo'yicha topilgan eng yaxshi pozitsiya bo'lganda i - zarra uchun eng yaxshi yaroqli qiymat.

Yetarli miqdordagi iteratsiyalardan so'ng, zarralar butun populyatsiya tajribasini o'rganib, optimumlar atrofida birlashishi mumkin.

Biroq, jarlik holi uchun mavjud zarralar galasi usuli turli jarliklardagi zarralar sonini turlicha taqsimlanish muammosiga duch kelmoqdalar. Ayniqsa murakkab ko'p ekstremal optimallashtirishda ko'plab optimal yechimlarni o'z ichiga olgan murakkab masalalarda zarralarning disbalansi holatida, yetarli miqdordagi zarralar bilan guruhlanmagan ba'zi optimumlarni aniq identifikatsiya qilishni qiyinlashtiradi.

Yuqoridagi muammoni hal qilish uchun dissertatsiya ishida qidirish jarayonini yaxshilash uchun muvozanat ko'paytuvchisini taklif qilingan. Asosiy g'oya har xil jarliklardagi zarralar soni o'rtasidagi farqni kamaytirish hisoblanadi. Muvozanat koeffitsienti eng katta jarlikdagi eng yomon zarraning eng kichik jarlikka o'tishiga olib keladi, bu esa oldingi jarlikning yechimi aniqligi oshirishini ta'minlaydi hamda oxirgi jarlikda eng yaxshi yechimni topish ehtimolini oshirishi mumkin. Eng kichik jarlikda zarralar sonini ko'paytirib, algoritm jarlikda yetarli darajada xilma-xillikni saqlab turishi mumkin, bu yuqori aniqlikdagi yechimni topish uchun foydali hisoblanadi. Eng katta jarlikdagi zarralar sonini kamaytirish orqali algoritm zarralarni boshqarib, yanada optimal yechimlarni topish uchun foydali bo'lgan boshqa qidirish fazosini o'rganishi mumkin.

Mavjud zarralar galasi usulini shartli ravishda ikki turga bo'lish mumkin. Birinchi tur, qidiruv jarayonida aniqlangan optimumlar sohasida zarralar harakatining oldini olishga qaratilgan. Bunga erishish uchun populyatsiyaning xilma-xilligini yaxshilash juda muhim, ishda

turli xil usullar taklif qilingan. Ikkinchi tur jarlik usullariga qaratilgan. Asosiy g'oya bir nechta jarliklarni optimallashtirish va algoritm oxirigacha aniqlangan optimumni saqlab qolish hisoblanadi.

Algoritmning birinchi turida zarralarni qidirish fazosini yanada samarali o'rganish uchun maxsus utilizator-operatoridan foydalanadigan PSO o'zi moslashuvchan qochish deb nomlangan yangi PSO taklif qilindi. Tezlikning o'zgarishiga qarab katta tezlik qiymati dinamik ravishda hosil bo'ladi, bu zarralarni bir vaqtning o'zida lokal va global optimumni tadqiq qilishga majbur qiladi.

Algoritmning ikkinchi turida samaradorlikni oshirish uchun jarlik usullari qo'llaniladi. Optimal yechimlar to'plamini aniqlash uchun massivlarosti guruhidan foydalanish usuli taklif qilingan.

Masalaning qo'yilishi.

X – metrik fazo (optimallashtirish to'plami) bo'lsin, Φ – berilgan X bo'yicha quyidan chegaralangan funksiya (maqsad funksiya). Φ funksiya minimumini qidirish masalasi shunday X ning $x^{(1)}, x^{(2)}, \dots$, nuqtalar ketma-ketligini qurish va ularning birida $x^* = \operatorname{argmin} \Phi$ funksiya global minimum qiymatga yaqinlashishi kerak bo'ladi.

Yaqinlashish turlari har xil bo'lishi mumkin: X fazo metrikasidagi yaqinlashishdan ma'lum ehtimollik bilan yaqinlashish.

X ning yopiqligi hamda maqsad funksiyaning x^* atrofida uzluksizligi to'g'risidagi majburiy talab $x^* \in X$ ekanligini kafolatlaydi, ya'ni X da Φ ning qiymati global maksimumga erishadi.

Shunday qilib, quyidagicha vektorni aniqlash talab etilsin

$$x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)^T, 0 \leq x_i \leq 1, i \in 1:n,$$

bunda maqsad funksiya $\Phi(x^*)$ minimal qiymat qabul qiladi. x_1, x_2, \dots, x_n o'zgaruvchilarga qo'shimcha talablar maqsad funksiyaning qurishda inobatga olingan deb qaraymiz. Qo'yilgan masalani umumiy holda quyidagicha yozamiz:

$$\Phi(x) \rightarrow \min_{x \in X}, \quad (3.44)$$

bu yerda $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)^T \in [0, 1]^n$.

Quyidagi masalalarni ko'rib chiqamiz:

global optimallashtirish algoritmi va uning mantiqiy egri chiziq bazasidagi modernizatsiyasini statistik tadqiq qilish, ko'rsatish qonuni bilan taqqoslash;

mantiqiy egri chiziq parametrlariga bog'liqlik bo'yicha natijalarni tadqiq qilish;

qaror qabul qilish usuli yordamida barcha sinflar funksiyalari uchun universal eng yaxshi parametr (eng yaxshi parametrlar to‘plami)ni aniqlash.

Butun qidiruv foydalanuvchi tomonidan beriladigan n_{step} qadamlar soniga bo‘linadi. Har bir qadamda ma’lum qonuniyat bilan tasodifiy holatda parametrlar vektori qiymatlari x^k (k – qadam raqami) tanlanadi va maqsad funksiya $\Phi^k = \Phi(x^k)$ qiymati hisoblanadi. Quyidagi formula bo‘yicha

$$\Phi_{\min}^k = \min \{ \Phi^k, \Phi_{\min}^{k-1} \} \quad (3.45)$$

qidiruv jarayonining k qadami bo‘yicha olingan eng kichik qiymatlari aniqlanadi. (3.44) formula bo‘yicha har bir hisoblashdan so‘ng $x_i (i \in [1:n])$ o‘zgaruvchilarning qiymati tanlanadigan qonuniyat shunday o‘zgaradiki, foydalanuvchi tomonidan berilgan qiymatning Δ - global minimum atrofiga tushish ehtimolligi masalani yechish aniqligiga qo‘yilgan talab doirasida ortishi kerak bo‘ladi. Buning uchun qidiruvning oldingi qadamlarida olingan axborotdan foydalaniladi.

Oldingi qadamlarda katta ehtimollik bilan olingan optimal qiymatlar oralig‘ini “istiqbolli” oraliq deb ataymiz.

Foydalanuvchi tomonidan o‘zgartiriladigan zarralar galasi parametrlari: n_{step} – qadamlar soni, $\varepsilon = 1/2\varepsilon$ – qidirilayotgan minimum aniqligi, hamda p_{\min} va r_{\min} parametrlar.

r_{\min} – parametr shunday n -o‘lchamli s_{\min} maydonni aniqlaydiki, to‘liq qidiruv jarayonida $s_k > s_{\min}$ shart bajarilmaguncha, “istiqbolli” sohadan tashqari modellashtirish zichligi h_k o‘zgarmaydi. s_k qiymati s_{\min} dan kichik bo‘lib qolsa, u holda h_k nolga intilishni boshlaydi, ya’ni o‘sib boruvchi intensivlikdagi qidiruv I^k ichida olib boriladi.

p_{\min} ning qiymatiga balandlik qiymati h_k va qidiruv jarayonida minimum I^k ichida bo‘lish ehtimoli ko‘p jihatdan bog‘liq bo‘ladi. Shunday qilib, p_{\min} va r_{\min} parametrlar “lokal” va “global” qadamlarni ularning umumiy soniga munosabatini ko‘rsatishga imkon berib, shu bilan zarralar galasining umumiy o‘zini tutishini aniqlaydi.

Qidiruv jarayonida maqsad funksiyasini o‘zgarish xarakteri haqida axborotlar to‘planishi sodir bo‘ladi, shuning uchun “istiqbolli” oraliq I_i^k kengligini har qadamda $p_1 = 1$ dan $p_{k_m} = p_{\min}$ gacha o‘zgartirish mantiqiy

bo‘ladi. Bu esa P_k ning I^k ga tushish ehtimolining kamayishiga olib keladi.

Qidiruv jarayoni global minimumga yaqinlashishi kutilayotgan ekan, demak, quyidagi ifoda ham o‘rinli bo‘ladi:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} p_k = 1, \lim_{k \rightarrow \infty} r_k = 0,$$

ya’ni p_k funksiya qiymati $p_{k_m} = p_{\min}$ dan boshlab birgacha ortib boradi deb hisoblanadi.

Global optimallashtirish masalasini yechish uchun zarralar galasi protsedurasi to‘rtta asosiy bosqichlardan tashkil topadi: initsializatsiya, jarlikni qurish, tezlik va holatni yangilash hamda qidiruvning lokal protsedurasi. Uchinchi bosqichda muvozanat koeffitsienti mexanizmi tavsiflangan.

1-bosqich. Initsializatsiya. Birinchi qadam dastlabki populyatsiyani shakllantirish uchun tasodifiy zarralarni generatsiya qilish NP (populyatsiya o‘lchami) hisoblanadi. Barcha zarralar dastlab qidiruv fazosi atrofida tekis taqsimlangan bo‘ladi. Birinchi qadam ikki qismdan tashkil topgan, ya’ni zarralar pozitsiyasini initsializatsiya qilish va ularning tezliklarini initsializatsiya qilish. Holatlar va tezliklar vektor ko‘rinishida ifodalanadi.

Xususan, birinchi qadam quyidagi ifodaga mos ravishda bajariladi:

$$X_i^d = \text{random}_i^d(\text{Rang}L_i^d, \text{Rang}R_i^d),$$

$$Vmax_i^d = \text{Rang}R^d - \text{Rang}L^d,$$

$$V_i^d = \text{random}_i^d(((-0,5) * Vmax^d, 0,5 * Vmax^d),$$

bu yerda $i \in [1, NP]$ – zarra indeksi, $d \in [1, D]$ o‘lchami. X_i^d – zarraning d – elementini anglatadi, V_i^d – zarraning d – elementi tezligini anglatadi.

$\text{random}_i^d(a, b)$ $[a, b]$ oraliqda tasodifiy sonni generatsiya qiladi. Agar tezlik juda yuqori bo‘lsa, zarra qidiruv sohasidan uchib chiqib ketishi mumkin.

$Vmax_i^d$ parameter i – zarraning d – elementi tezligini chegaralarini aniqlash uchun foydalaniladi. $\text{Rang}R_i^d$ va $\text{Rang}L_i^d$

qidiruv fazosi o‘lchami d ning quyi va yuqori chegaralarini ifodalaydi.

Mantiqiy tenglamadan foydalanishga asoslangan zarralar galasi algoritmi modifikatsiyasini ko‘rib chiqamiz:

$$\frac{dVmax}{dt \left(1 - \frac{Vmax}{V_{\infty}}\right)}$$

bu yerda $Vmax$ - optimallashtirish masalasi aniqlanish sohasining “istiqbolli” hajmi, $v = (2q)^n$, r – uning radiusi, n optimallashtirish

masalasining o‘lchami, $V \lim_{t \rightarrow \infty} \max$ (\lim - maltuzian parametri, bizning holatda yechilayotgan optimallashtirish masalasi haqidagi bilimlarning o‘zgarish tezligi va shu bilan zarralar galasi algoritmining global optimallashtirish masalasi uchun moslashish jarayoniga ta’sirini xarakterlaydi. Qidiruv n – o‘lchamli giperkubda amalga oshiriladi.

Tenglamani yechamiz va quyidagilarni aniqlaymiz:

$$V \max = \frac{1}{\frac{1}{V_\infty} + \left(\frac{1}{V_0} - \frac{1}{V_\infty}\right) e^{-\mu t}}$$

bu yerda $V_0 = V \max(0)$. t ning kichik qiymatlarida qiymat eksponensial oshadi, katta qiymatlarida esa ma’lum chegaraga yaqinlashadi $V_\infty = \text{const}$. Bizning masalada r 0.5 dan 0 gacha o‘zgaradi, shuning uchun $V_\infty = 1, 0 \leq V_0 \leq V_\infty$ deb hisoblaymiz.

U holda

$$r = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{V_0} - 1\right) e^{\frac{-\mu k_{step}}{n_{step}}}} \right),$$

bu yerda k_{step} – qadam raqami.

$V_0 = V_0(\mu, \varepsilon)$, $\mu = \mu(V_0, \varepsilon)$ ni (qidiruv aniqligi global minimum atrofi radiusi bilan mos tushadi degan taxminda) kiritamiz. So‘nggi qadamda $2r = \varepsilon$, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$V_0 = \frac{1}{\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} e^{\mu+1}}, \quad \mu = -\ln \left(\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \frac{V_0}{1-V_0} \right).$$

Shunday qilib, ishda μ parametrli mantiqiy qonun vao‘lchami har bir qadamda $k' = \text{const}$ da ($r = rk'$) marta kamayuvchi “istiqbolli” oraliq o‘zgarishining darajali qonuni ko‘rib chiqiladi.

Qidiruv algoritmini mantiqiy egri chiziqning chegaraviy parametrlarida ko‘rib chiqamiz.

“Istiqbolli” soha radiusi r ni deyarli o‘zgarishsiz olamiz, ya’ni $2r = \text{const} \approx \varepsilon (\mu \rightarrow 0)$. Har bir qadamda n – o‘lchamli shar radiusi doirasidagi nuqtalar tekis tashlab yuboriladi va ko‘chish yo‘nalishi tasodifiy tanlanadi. Shunday qilib, ma’lum minimum tomon tushish sodir bo‘ladi. Ushbu holatda ehtimollik tekis taqsimlangan qidiruvga nisbatan yuqori bo‘lib, maqsad funksiyaning turiga bog‘liq bo‘ladi.

$r: 2r = \text{const} \approx \varepsilon (\mu \rightarrow 0)$ ni olamiz. Ushbu holatda oraliqni toraytirish amalda yuz bermaydi va qidiruv tekis taqsimlangan qidiruv (maqsad funksiya Φ hisoblanadigan nuqtalar tasodifiy element X taqsimotda tekis taqsimlangan mustaqil realizatsiya hisoblanadi) bilan

ekvivalent bo‘ladi. Shu sababli, ehtimollik μ parametr ga bog‘liq holda (1)-holatdan ortadi, so‘ng (2)-holatgacha kamayadi deb hisoblanadi hamda shunday parametr mavjudki unda ehtimollik eng katta qiymat qabul qiladi. Uni optimal parametr μ deb ataymiz. Quyida ushbu parametrni tanlash amalga oshiriladi.

Ba‘zi funksiyalar uchun turli n_{step} da turlicha optimal parametrlar mavjud ekanligi aniqlangan.

2 - bosqich. Jarlikni qurish.

Ko‘p ekstremal masalani hal qilishda jarliklar bir nechta optimumlarni aniqlash uchun ishlatiladi. Har bir turdagi eng yaxshi zarra avlod deb ataladi. Turlar avlodlar atrofida yaratiladi va optimumlar atrofida yaqinlashish uchun javobgar hisoblanadi. Turlar har bir avlodda yangilanadi.

Har bir avlodda zarralar maqsad funksiyasining kamayish tartibida saralanadi. Keyin barcha zarralar naslga mos yoki yo‘qligini aniqlash uchun shu tartibda tekshiriladi. Ushbu protsedurada ishlatiladigan muhim parametrlardan biri r turning radiusi bo‘lib, u jarliklarni belgilaydi. Eng yaxshi zarra to‘g‘ridan-to‘g‘ri nasl sifatida tanlanadi va S avlodlar majmuiga kiritiladi. S har bir avlodda bo‘sh deb belgilanadi. Keyinchalik barcha avlodlar S ga qo‘shiladi. Boshqa zarralar r turning radiusi yordamida tekshiriladi. Agar zarra va avlod orasidagi masofa r dan kichik (yoki unga teng) bo‘lsa, u holda zarra avlod bilan bir xil turdagi a‘zo hisoblanadi. Agar S da zarra va nasl orasidagi masofa r dan katta bo‘lsa, u holda zarra yangi avlod deb hisoblanadi va S ga joylashtiriladi. Barcha zarralarni saralashdan so‘ng, har bir zarra turga tegishli bo‘ladi.

3 - bosqich. Tezlik va holatni yangilash.

Har bir zarra har bir iteratsiya davomida $pbest_i$ va $nbest_i$ zarralari tomonidan boshqariladi.

i zarra tomonidan aniqlangan eng yaxshi vaziyatni shaxsiy eng yaxshi $pbest_i$ va uning turi avlodining eng yaxshi vaziyatini qo‘shni eng yaxshi $nbest_i$ deb ataymiz. Ushbu ikki turdagi yetakchi zarralar zarralar galasi usulining tezlik tenglamasida qatnashadilar. Tenglama PSO tenglamasiga o‘xshaydi va yagona farq $gbest$ $nbest_i$ bilan almashtiriladi.

Qidiruv jarayonida har xil jarliklardagi zarralar soni asta-sekin tekshiriladi. Farqni kamaytirish uchun muvozanat omili (EF) mexanizmi taklif qilinadi, unda katta jarlikning eng yomon zarralari turdan chiqarib yuboriladi va boshqa jarliklarga harakatlanadi.

Tezlik vektori (BC) bir nechta zarralarning tezlik tenglamasiga shunday qo‘shiladiki, bu holda ular kamroq zarralari bo‘lgan jarlikga qarab harakat qilishadi. EF ni amalga oshirishda, tur hajmi bo‘yicha kamayish tartibida saralanadi. Ularning eng katta va eng kichigi hisoblash uchun tanlanadi

$$DV^d = seedS^d - seedL^d,$$

bu yerda $seedS^d$ – eng katta tur avlodi, $seedL^d$ eng kichik turga tegishli avlod.

Shu bilan birga, eng katta turlarga tegishli bo‘lgan barcha individumlar yaroqlilik qiymatlariga qarab saralanadi. Xatolik o‘lchami sifatida aniqlangan parametric EF ni qabul qiladigan zarralar sonini aniqlash uchun foydalaniladi. DS quyidagi formula bo‘yicha hisoblanadi:

$$DS = (sizeL + sizeS) / 2,$$

bu yerda $sizeL$ va $sizeS$ – mos ravishda eng katta va eng kichik turdagi zarralar soni.

Muvozanat koeffitsienti mexanizmi har bir iteratsiya paytida DV ni aniqlaydi va bir vaqtning o‘zida vektorning qaysi zarralari ta’sir qilishini aniqlaydi. Keyinchalik DV zarralar tezligini yangilash uchun ishlatiladi.

Tezlik vektori hisoblab chiqqandan so‘ng, zarralarning tezligi va holatlari quyidagilarga muvofiq yangilanadi:

$$V_i^d(t+1) = w * V_i^d(t) + c_1 * random1_i^d * (pbest_i^d(t) - X_i^d(t)) + c_2 * random2_i^d * (nbest^d(t) - X_i^d(t)) + DV, \quad (3.46)$$

$$X_i^d(t+1) = X_i^d(t) + V_i^d(t+1), \quad (3.47)$$

bu yerda (3.46) ifoda muvozanat koeffitsienti (EF) yordamida aniqlanadigan zarralar uchun. Barcha zarralarning holati (3.47) ifoda bo‘yicha yangilanadi.

4-bosqich. Lokal qidiruv.

To‘rtinchi bosqichda barcha $pbest$ lokal qidirish protsedurasi bilan yangilanadi. Har bir $pbest$ o‘z atrofida yangi zarra hosil qiladi va eng yaxshi zarra yangi $pbest$ bo‘lish uchun boshqasini almashtiradi. Aniqroq aytganda, populyatsiyadagi har bir $pbest$ uchun, operator $pbest$ va unga eng yaqin bo‘lgan boshqa $pbest_{nearest}$ o‘rtasidagi farqlarga muvofiq sozlanadi. Lokal qidiruv usuli, asl algoritmni sozlashni yaxshilaydi, bu ko‘plab murakkab masalalarda samarali ekanligini isbotladi.

3.5.3. Natijalarni baholash

Berilganlarni baholash ularning ma'lum bir gipotezlarga tekshirish asosida amalga oshiriladi. Ikkinchi bobda biz berilganlarni baholashning kompaktlik usuli haqida batafsil ma'lumotlar berdik. Shu sababdan ham, ushbu bo'limni qo'shimcha dunyo bo'yicha keng qo'llaniladigan baholash usullaridan biri haqida so'z yuritmoqchimiz.

Baholash – bu ma'lum bir algoritmi berilgan masalani yechish uchun o'rgatilgandan so'ng, bu o'rgatilgan model yoki algoritmi qanchalik to'g'iri qaror qabul qilishini oldindan aytishdir. Bunday ehtiyojning tu'g'ulishidan asosiy sabab qilib, modelni yoki algoritmi to'g'iridan-to'g'iri hayotiy jarayonlarga qo'llay olmasligimizdir. Masalan, insonlarning ma'lum bir soha doirsida berilganlarini olib, shu berilganlar asosida algoritmi o'rgatib, keyin esa, shu algoritmi yordamida boshqa bir inson(lar)ni be'mor yoki be'mor emasligiga tekshirish va shu asosida davolash – algoritmi qanchalik to'g'iri ekanligini bilmasdan ishlatish ko'plab salbiy oqibatlarga olib kelishi mumkin.

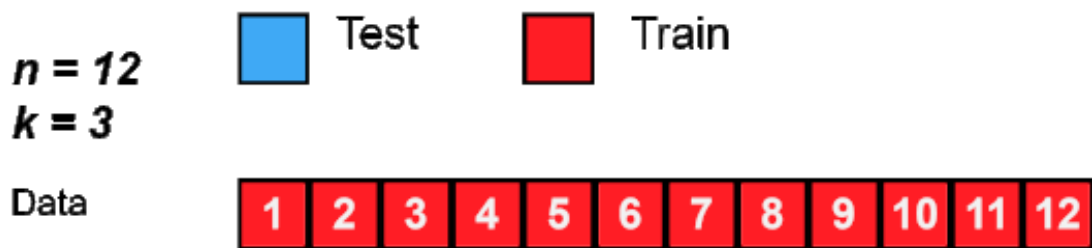
Shu sababdan ham biz ushbu dissertatsiya ishida kompaktlik bahosidan tashqari ya'na bir qo'shimcha baholash “sirpanuvchi nazorat (cross-validation)” usulini ko'rib chiqamiz.

Hozirda “Sirpanuvchi nazorat” usulining bir qancha turlari keng tarqalgan, hamda shunga mos ravishda ko'pchilik chet el maqolalarida olimlar ushbu baholash usulidan foydalanadi.

Sirpanuvchi nazorat – ba'zida namunadan tashqari nazorat ham deb atalib, statistik usulga asoslangan modelni o'rgatib va bir nechta namunaviy testlar orqali tekshirib modelni baholashdir. Bu usulning asosiy maqsadi bir nechta qismlarga ajratilgan va bir birga bog'liq bo'lmagan o'rgatuvchi va namunaviy test berilganlarni sinab ko'rish orqali modelning umumlashtirish qobiliyatini topishdir.

Ushbu baholashning birinchi bosqichida dastlabki berilganlar bir nechta qism to'plamlarga ajratilib, ushbu to'plam ostilarining bittasini olib qolib qolganlari bilan modelni o'rgatib, bitta qolganini asosida esa namunaviy test sinovini o'tkazish, hamda qolgan qismlarni ham birma-bir shu usulda o'tkazish orqali hisoblashdir. Keyingi qadamda esa hamma natijalarning o'rtachasini olib va shu olingan natija ushbu baholash usulining qiymatidir.

Yuqorida aytganimizdek ushbu baholash usulining bir qancha turli xil takomillashtirilgan usullari mavjud. Biz qisqalik uchun k-flod [92] usulini qarab chiqamiz.



3.78-rasm. K-flod usuli

Ushbu usulda ham berilganlar bir nechta kesishmaydigan to‘plam ostilariga ajratilib, ulardan bir nechtasi testga va qolganlari o‘rgatishga deb qaralib test sinovlari o‘tkaziladi. 3.1.1-rasmda berilganlar 12 ta teng qismlarga ajratilib, 9 ta qismi o‘rgatishga va qolgan 3 qismi bilan esa test sinovlari o‘tkazilib, test natijalarining o‘rtachasi olinadi.

Sirpanuvchi nazoratni o‘tkazish. Hozirgi kunda ko‘plab sohalarda algoritmlar tuzish ularni baholash muhimligi sababli turli xil kompaniyalar va ko‘ngililar tomonidan har xil kutubxonalar ishlab chiqilmoqda.

Shu kabi dasturlash tillaridan biri Python va uning ilmiy kutubxonalaridir. Bunday Python dasturlash tilining kutubxonalariga Numpy, Matplotlib, Pandas, Scikit-learnlarni misol keltirish mumkin.

Ushbu dissertatsiya ishini yozish uchun yuqoridagi kutubxonalardan foydalanildi. Quyida Numpyda berilgan tanlanmaning Scikit-learn kutubxonasi yordamida Sirpanuvchi nazoratni o‘tkazish haqida misol keltirilgan.

```

1 nn = MLPClassifier()
2 svm = SVC()
4
5 k = 10
6 mean1 = 0
7 mean2 = 0
8 mean3 = 0
9 for i in range(k):
10     X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(
11         X, y, test_size=0.2, random_state=None, shuffle=True)
12
13     nnc.fit(X_train, y_train)
        svm.fit(X_train, y_train)
        nn.fit(X_train, y_train)

        mean1 += nnc.score(X_test, y_test)
        mean2 += svm.score(X_test, y_test)
  
```



```
mean3 += nn.score(X_test, y_test)

mean1 /= k
mean2 /= k
mean3 /= k
```

Yuqorida scikit-learn kutubxonasida ikkita Neyron to‘rlari va SMV (Support Vector Machine) metodlari orqali klassifikatsiya masalasi ko‘rsatilgan va ularning Sirpanuvchi nazorat bahosi olingan.

Ushbu dissertatsiya ishida ushbu baholash usuli k-fold usulida o‘tkazildi, hamda ushbu k-fold funksiyasi scikit-learn kutubxonasida kflod ko‘rinishida yozilgan.

Dasturiy ta’minotni yaratish.

Ushbu bob yuqoridagi boblarda ko‘rsatilgan ilmiy ishlarning dasturiy ta’minotini yaratishga bag‘ishlanadi. Ma’lumki, hozirgi kunda ko‘pchilik ilmiy masalalarni yechadigan sohaning ommaviy metodlari yozilgan ilmiy kutobxonalar mavjud. Bu esa, ilmiy izlanuvchilar yoki tadqiqotchilarga faqat o‘zining ilmiy yangiliklarini mavjud kutubxonalarga kerakli o‘zgartirishlarni kiritish yoki ulardan foydalanib bajarish imkonini beradi. Shu sababdan ham ushbu ishining dasturiy ta’minoti ilmiy kutubxonalar asosida yaratildi.

Numpy python dasturlash tili uchun ilmiy kutubxona bo‘lib, katta o‘lchamdagi, ko‘p o‘lchamli massivlar, matritsalar va ular ustida turli amallarni bajarish uchun mo‘ljallangan. Hamda, bu kutubxona C tilida yozilganligi sababli ham oddiy Pythondagi ro‘yxatlardan samaradorlik bilan ishlashidan ajralib turadi.

Scikit-learn Python dasturlash tili uchun tekin-ochiq kodli mashinali o‘rganish kutubxonasidir. U o‘zida bir qancha turli xil mashinali o‘rganishining asosiy yo‘nalishlari bo‘lgan klassifikatsiya, regressiya va klasterizatsiya o‘z ichiga qamrab olgan. Undan tashqari ushbu sohaning SVM (support vector machine), Random Forest, Gradient Boosting, k-yaqin qo‘shni va DBSCAN kabi metodlar bilan ishlash imkonini beradi. Eng qulay taraflaridan bir bu, numpy kutubxonasini ishlatishidir.

Ushbu bobning birinchi ikki qismida Python dasturlash tilini, C/C++ tillarida yozilgan hamda Python dasturlash tilida foydalanish mumkin bo‘lgan kutubxonalarni qarab chiqamiz va shu asosida dasturiy ta’minotni yaratamiz.

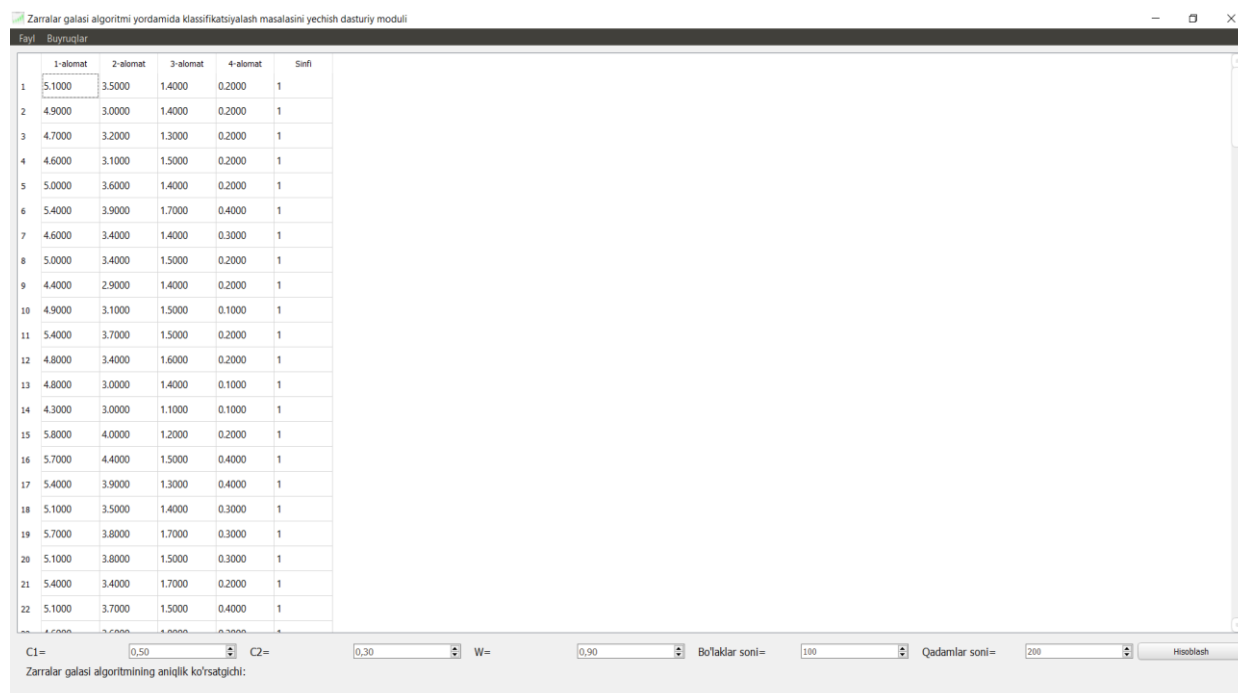
Ushbu sohaning keng rivojlanayotganligi munosabati bilan, hozirda jahonda kompaniyalar o‘rtasida kuchli raqobat ketmoqda. Har bir kompaniya o‘zining mahsulotini har yili yangidan-yangi versiyalarini ishlab chiqishayapti. Bu esa dasturchilardan har doim yangi texnologiyalarni o‘rganish talab qilmoqda.

Shunday texnologiyalardan biri QT kompaniyasi tomonidan ishlab chiqilgan PyQt5 texnologiyasidir.

Foydalanuvchi interfeysini yaratish uchun va boshqa ko‘plab amaliy masalalarni yechish imkonini beruvchi bu kutubxonadan ushbu ishning foydalanuvchi interfeysini yaratishda foydalanildi.

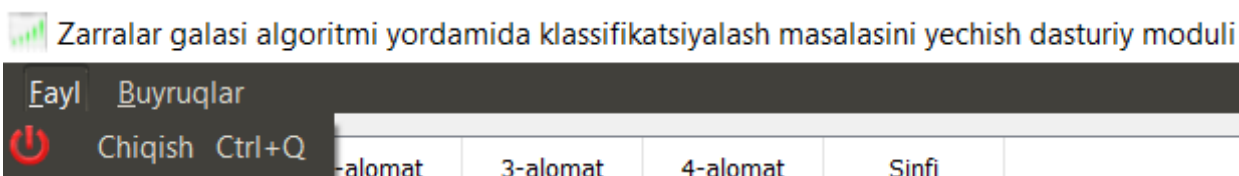
PyQt5 – RIA (*Rich Internet Application*) turiga kiruvchi va Python dasturlash tilida qo‘llash mumkin. Bundan tashqari uchbu kutubxonaning C++ va Java tillari uchun ham kutubxonalari mavjud. Bu esa kutubxonaning ommabopligini ta’minlaydi.

Dasturni ishlatish. Dastur bitta oynadan tashkil topgan bo‘lib quyidagi rasmda umumiy ko‘rinishi mumkin.

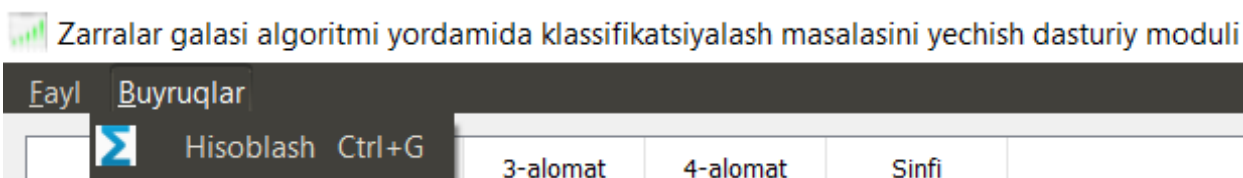


3.79-rasm.Asosiy oyna.

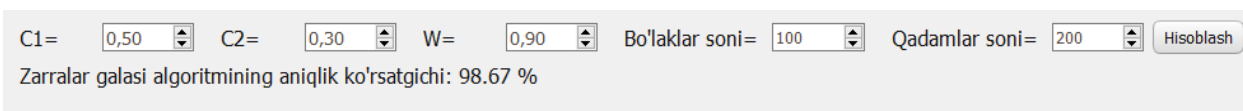
Ushbu oyna quyidagi qismlar mavjud: buyruqlar menyusi, berilganlarni tasvirlash jadvali va algoritm bilan ishlash qismidan iborat.



3.80-rasm.Fayl menyusi.Ushbu menyuda dasturdan chiqish buyrug‘i mavjud

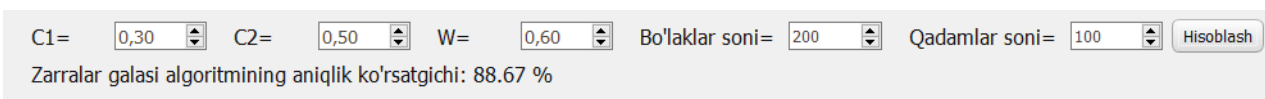


3.81-rasm.Buyruqlar menyusi.Ushbu menyu buyrug‘I yordamida ma’lum berilganlar bo‘yicha hisoblash eksperimentini o‘tkaziladi



3.82-rasm. Ushbu qismda zaralar galasi algoritmi yordamiga kerakli bo‘lgan parametrlarni kiritish ro‘yxati, parametrlar asosida hisoblash tugmasi va natijani chiqarish matni mavjud

Ushbu holda, $C1=0,5$, $C2=0,3$, $W=0,9$, bo‘laklar soni 100 va qadamlar soni 200 ta bo‘lganda, algoritm 98,67 foiz aniqlikda natija berdi. Agar parametr qiymatlari o‘zgaritirilsa, natija o‘zgarishi mumkin.Buni quyidagi rasmda ko‘rish mumkin.



3.83-rasm. Hisoblash eksperimentiga misol

	1-alomat	2-alomat	3-alomat	4-alomat	Sinfi
1	5.1000	3.5000	1.4000	0.2000	1
2	4.9000	3.0000	1.4000	0.2000	1
3	4.7000	3.2000	1.3000	0.2000	1
4	4.6000	3.1000	1.5000	0.2000	1
5	5.0000	3.6000	1.4000	0.2000	1
6	5.4000	3.9000	1.7000	0.4000	1
7	4.6000	3.4000	1.4000	0.3000	1
8	5.0000	3.4000	1.5000	0.2000	1
9	4.4000	2.9000	1.4000	0.2000	1
10	4.9000	3.1000	1.5000	0.1000	1
11	5.4000	3.7000	1.5000	0.2000	1

3.84-rasm. Berilganlarni ekranda tasvirlash uchun jadval. Ushbu jadvalda Iris berilganlari ta'sirlangan. Iris berilganlarida 150 ta obyekt va har bir obyekt 4 ta alomat, hamda har bir obyektning qaysi sinfga tegishli ekanligin bildiruvchi *sinf* ustuni mavjud

	1-alomat	2-alomat	3-alomat	4-alomat	Sinfi
51	7.0000	3.2000	4.7000	1.4000	2
52	6.4000	3.2000	4.5000	1.5000	2
53	6.9000	3.1000	4.9000	1.5000	2
54	5.5000	2.3000	4.0000	1.3000	2
55	6.5000	2.8000	4.6000	1.5000	2
56	5.7000	2.8000	4.5000	1.3000	2

3.85-rasm. Ikkinchi sinf

XULOSA

Olib borilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi xulosalar taqdim etildi:

1. O'tkazilgan tajribaviy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, ushbu yondashuvdan foydalanish masalani yechishda tezlik va aniqlikni oshirishda yaxshi natijalar beradi. Intellektual usullar va samarali evristik algoritmlar asosidagi noravshan modelni o'qitishning samarali algoritmini ishlab chiqish ekspert tizimlarining bilimlar bazasini shakllantirish muammosini hal qilishda dolzarbdir turli amaliy masalalarni hal qilish uchun intellektual tizimlarni ishlab chiqishda gibrid modellardan foydalanish tendensiyasi mavjud. Amaliyotda turli amaliy masalalarni yechish uchun intellektual tizimlarni ishlab chiqishda gibrid modellardan foydalanish tendensiyasi mavjud. Noravshan modellarni o'qitishda ba'zi mualliflar an'anaviy optimallashtirish usullari bilan bir qatorda immun algoritmidan ham foydalanishadi. Shunday qilib, intellektual usullar va samarali evristik algoritmlar asosidagi noravshan modelni o'qitishning samarali algoritmini ishlab chiqish ekspert tizimlarining bilimlar bazasini shakllantirish muammosini hal qilishda dolzarb masala hisoblanadi.

2. Qo'lyozma matnni qator segmentatsiyasiga ajratishda noravshan algoritmlari yordamida qatorga ajratish algoritmi ishlab chiqildi. Bu algoritmlar qator qiyshiqqligi va qo'shilib yozilgan qatorlarda to'g'ri ajratib olishga xizmat qiladi. Qo'lyozma matnlarni tanib olishda arab, kiril, lotin grafikasi uchun CNN+LSTM+fuzzyCTC algoritmi ishlab chiqildi. Bu algoritmlar orqali qator segmentatsiyasi elementlarini o'qitib til grammatikasi va so'zlar mosligi fuzzy algoritmlari orqali moslashtirish amalga oshirildi. Qo'lyozma matnlarni tanib olish algoritmlari va dasturi yaratildi. Dastur qo'lyozma matnlarni tanib olish solishtirma tahlillari amalga oshirildi. Qo'lyozma matnlarni tanib olish foizi etarlicha data set tashkil etilganda 90% li tanib olish natijalariga erishildi. Loss funksiya xatoligini noravshan algoritmlar yordamida kamaytirishga erishildi.

3. Muvozanat koeffitsientidan foydalangan holda global optimallashtirish masalasini yechish uchun zarralar galasi usuli orqali optimumlarni aniq identifikatsiya qilish va qidirish jarayonini yaxshilash uchun muvozanat ko'paytuvchisi taklif etildi. Bu har xil jarliklardagi zarralar soni o'rtasidagi farqni kamaytirish imkonini berdi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Stuart Russell and Peter Norvig, (2002), Artificial Intelligence: A Modern Approach//Prentice Hall, Chapter 1-27, page 1-1057.
2. Nilsson, N.J. (2009). The Quest for Artificial Intelligence: A History of Ideas and Achievements. Cambridge University Press, Cambridge, England.
3. Башмаков А.И., Башмаков И.А. Интеллектуальные информационные технологии: Учеб. пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. - 304 с : ил. - (Информатика в техническом университете). ISBN 5-7038-2544-X.
4. Павлов С. Н. Системы искусственного интеллекта: учеб.пособие. В 2-х частях. / С. Н. Павлов. - Томск: Эль Контент, 2011. - Ч. 1. - 176 с. ISBN 978-5-4332-0013-5.
5. Бессмертный И.А. Искусственный интеллект - СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. -132 с.
6. Потапов А.С. Технологии искусственного интеллекта - СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. - 218 с.
7. Иванов В. М. Интеллектуальные системы: учебное пособие / В. М. Иванов. - Екатеринбург: Изд-во Урал.ун-та, 2015. - 92 с. ISBN 978-5-7996-1325-9.
8. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Пер. с англ. М.Мир, 1976, с.166
9. Zadeh L.A. Fuzzy sets - Information and Control. 1965, V.8., P.-338
10. Алиев Р.А., Алиев Р.Р. Sof Computing Нечеткие множества и системы. Баку, 1996. С. 182.
11. Хайретдинова Р.С. Теоретические основы. Концепции «Умный город» и особенности адаптации в регионе /А.М. Кузьмин// Российское предпринимательство 2014 - № 20
12. Ponomarenko Ye.V. Finansi obshchestvennogo sektora. –М.: 2010, 300 s.
13. Yo‘ldoshev M., Tursunov Y. Moliya. Darslik.- Т.: TDYuI, 2004, 240 b.
14. Meshalkina R.Ye. Teoreticheskiye voprosi gosudarstvennogo finansovogo kontrolya./ Finansi, 2003 . № 12.
15. Ryabuxin S.N. Audit effektivnosti gosudarstvennix rasxodov v sovremennoy praktike finansovogo kontrolya. - Finansi, 2002, № 4.

16. Abdullayev Ye.A. i dr. Gosudarstvennie finansi Respubliki Uzbekistan. Uchebn. posobiye.- T.: TFI, 2001, 250 s.
17. O‘zbekiston iqtisodiyoti. Axborot tahliliy sharh, 2016 y, 2017 y “O‘zbekiston”, Toshkent.: 2017 y, 2018 y.
18. Ekonomika Uzbekistana. Informatsionno-analiticheskiy byulleten za 2017 god. Tashkent 2018.
19. <http://www.lex.uz> (normativ-huquqiy hujjatlar tizimi)
20. <http://www.mf.uz> (O‘zbekiston Respublikasi Moliya vazirligi)
21. Moore R.E. Interval analysis. – Englewood Cliffs. N.J.: Prentice Hall, 1966.
22. Young R.C. Algebra of many-valued quantities // *Mathematische Annalen*. – 1931. – Bd. 104. – S. 260–290.
23. Dwyer P.S. Linear Computations. – New York: John Wiley & Sons, 1951.
24. Sunaga T. Theory of an interval algebra and its application to numerical analysis // *Res. Assoc. Appl. Geom. Memoirs*. – 1958. – Vol. 2 – P. 29–46.
25. Брадис В.М. Опыт обоснования некоторых практических правил действий над приближёнными числами // *Известия Тверского педагогического института*. – 1927. – Вып. 3.
26. R.V.Kearfott, M.T.Nakao, A.Neumaier, S.M.Rump, S.P.Shary, P. Hentenryck Standardized notation in interval analysis. 2005г. <http://www.ict.nsc.ru/interval/InteNotation.ps>.
27. Ибрагимов А.А., Базаров М.Б., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х. Математическое моделирование интервальными методами. – Т.: Фан, 2013, -160 с.
28. С.П.Шарый Конечномерный интервальный анализ. Издательство “XYZ”, электронная книга, Новосибирск, 2018. <http://www.nsc.ru/interval/Library/InteBooks/SharyBook.pdf>.
29. Klatter R., Kulish U., Neaga M., Ratz D. and Ullrich C. Pascal-XSC – Language References with Examples, -New-York: Springer-Verlag, 1992.
30. Klatter R., Kulish U., Wieth A., Lawo C. and Rauch M. C-XSC: A C++ Class Library For Extended Scientific Computing. –Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1993.
31. C++ dasturlash tilida IEEE 1788 standarti asosida ishlab chiqilgan interval kutubxona sayti <https://github.com/nehmeier/libieeep1788>.

32. Yevropa matematiklar jamiyatining EMS Prizes mukofotlar berish boyicha elektron sayti sahifasi <http://www.math.kth.se/4ecm/prizes.ecm.html>.
33. L.Jaulin, M.Kieffer, O.Didrit, E.Walter Applied Interval Analysis. Copyring © Springer-Verlag London Limited 2001.
34. Novosibirsk davlat universiteti “Matematik modellashtirish” kafedراسi mudiri, f.-m.f.d., professor S.P.Shary va uning shogirdlari tomonidan yaratilgan “Interval analiz va uning tadbiqlari” nomli vebсайт <http://www.nsc.ru/interval>.
35. V.Kreynovich website of the “Interval Computations” <http://www.cs.utep.edu/interval-comp/intsoft.html> and <http://www.cs.utep.edu/interval-comp/intlang.html>.
36. Е.Р.Алексеев, О.В.Чеснокова, Е.А.Рудченко. Scilab (Решение инженерных и математических задач) М.: ALTLinux; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 260 с.
37. S. M. Rump. INTLAB — INTerval LABoratory. In Tibor Csendes, editor, Developments in Reliable Computing, pages 77–105. Kluwer, Dordrecht, Netherlands, 1999.
38. G. I. Hargreaves Interval Analysis in MATLAB Numerical Analysis Report No. 416 December 2002.
39. Шарая И.А. Руководство пользователя по пакету IntLinIncR3. Институт вычислительных технологий СО РАН, г. Новосибирск, 2014 г., 26 с. <http://www.nsc.ru/interval/Programing/MCodes/IntLinIncR3.pdf>.
40. Lohner R. On the ubiquity of the wrapping effect in the computation of the error bounds // Perspectives of Enclosure Methods / Kulisch U., Lohner R. and Facius A., eds. – Wien-New York: Springer, 2001. – P. 201–217.
41. Corliss G.F. Proposal for a basic interval arithmetic subroutines library (BIAS), Technical Report, Department of Mathematics, Statistics, and Computer Science, Marquette University, Milwaukee, WI.
42. Alefeld G., Херсбергер Ю. Введение в интервальные вычисления. – М.: Мир, 1987.
43. Кальмыков С.А., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х. Методы интервального анализа. -Новосибирск: Наука, 1986.
44. Christ H. Realisierung einer Maschinen interval larithmetik auf beliebigen ALGOL –60 Compilern. Elektron Rechenanlagen, 10, 217–222, 1968.

45. Ибрагимов А.А. Интервально–аналитические методы в математическом моделировании: Дис. ... канд. физ.–мат. наук.–Ташкент: НУУз., 2002. –141с.
46. Шокин Ю.И., Базаров М.Б., Калмыков С.А., Юлдашев З.Х. Пакет прикладных программ «ИНАН–1» для автоматического построения интервальных алгоритмов решения обыкновенных дифференциальных уравнений / /Госфонд алгоритмов и программ. СССР, рег. №50760000299.–13с.; –Аннотация в: Алгоритмы и программы. –М.: 1987. –вып. №1. –С.21–22.
47. Шарый С.П. Интервальные алгебраические задачи и их численное решение: Дисс. ... доктора физ.-мат.наук. –Новосибирск, 2000.
48. Страуструп Б. Язык программирования С++: Спец. изд./Пер. с англ. –Москва: БИНОМ; СПб.: Невский диалект, 2001.
49. Юлдашев З.Х. Математическое моделирование интервальными методами: Дисс. ... доктора физ.-мат. наук. –Ташкент: НУУз, 2006. -238с.
50. Попов А. А., Потапкин В. А., Чугуев. М. А. Прогнозирование и предупреждение экологических катастроф. Т. Кимёвий технология. Назорат ва бошқарув. 2006. №2(8). –С.38-47.
51. Шокин Ю.И., Базаров М.Б., Калмыков С.А., Юлдашев З.Х. Пакет прикладных программ «ИНАН–1» для автоматического построения интервальных алгоритмов решения обыкновенных дифференциальных уравнений / /Госфонд алгоритмов и программ. СССР, рег. №50760000299. –13с.; –Аннотация в: Алгоритмы и программы. –Москва: 1987. –вып. №1. –С.21–22.
52. Шокин Ю.И., Туляганов З.Ш., Юлдашев З.Х. Об интервальном варианте полуявного метода Рунге–Кутта // Алгоритмы и численные методы решения задач прикладной механики и управления: Ташкент: ТашГУ, 1986. –С.91–96.
53. Rosenblatt, Frank (1958). “The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain.” In: Psychological review 65.6, p. 386
54. Rumelhart, David E, Geoffrey E Hinton, and Ronald J Williams (1988). “Learning representations by back-propagating errors”. In: Cognitive modeling 5.3, p. 1.
55. Graves, Alex et al. (2006). “Connectionist temporal classification: labelling unsegmented sequence data with recurrent

neural networks”. In: Proceedings of the 23rd international conference on Machine learning. ACM, pp. 369–376.

56. Bullinaria, John A (2004). “Introduction to neural networks”. In: Lecture notes.

57. Bluche, Théodore (2015). “Deep Neural Networks for Large Vocabulary Handwritten Text Recognition”. PhD thesis. Université Paris Sud-Paris XI.

58. Bourlard, Hervé and Christian J Wellekens (1990). “Links between Markov models and multilayer perceptrons”. In: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 12.12, pp. 1167–1178.

59. Hochreiter, Sepp (1991). “Untersuchungen zu dynamischen neuronalen Netzen”. PhD thesis. diploma thesis, institut für informatik, lehrstuhl prof. brauer, technische universität münchen.

60. Bengio, Yoshua, Patrice Simard, and Paolo Frasconi (1994). “Learning longterm dependencies with gradient descent is difficult”. In: IEEE transactions on neural networks 5.2, pp. 157–166.

61. Doetsch, Patrick, Michal Kozielski, and Hermann Ney (2014). “Fast and robust training of recurrent neural networks for offline handwriting recognition”. In: Frontiers in Handwriting Recognition (ICFHR), 2014 14th International Conference on. IEEE, pp. 279–284.

62. Graves, Alex and Jürgen Schmidhuber (2009). “Offline handwriting recognition with multidimensional recurrent neural networks”. In: Advances in neural information processing systems, pp. 545–552.

63. Bluche, Théodore, Hermann Ney, and Christopher Kermorvant (2014). “A Comparison of Sequence-Trained Deep Neural Networks and Recurrent Neural Networks Optical Modeling for Handwriting Recognition”. In: International BIBLIOGRAPHY 153 Conference on Statistical Language and Speech Processing. Springer, pp. 199–210.

64. Bluche, Théodore et al. (2014). “The a2ia arabic handwritten text recognition system at the open hart2013 evaluation”. In: Document Analysis Systems (DAS), 2014 11th IAPR International Workshop on. IEEE, pp. 161–165.

65. Mancuso, M., Poluzzi, R. and Rizzotto, G. A. (1994) Fuzzy filter for dynamic range reduction and contrast enhancement, Proc. IEEE Int. Conf. on Fuzzy Syst., IEEE Press, Piscataway, NJ, 264-267

66. Peli, T. and Lim, J. (1982). Adaptive filtering for image enhancement, *Optical Engineering*, 21, 108-112.
67. Peng, S. and Lucke, L. (1994). Fuzzy filtering for mixed noise removal during image processing, *Proc. IEEE Int. Conf. on Fuzzy Syst.*, IEEE Press, Piscataway, NJ, 89-93.
68. Chi Z. *Fuzzy algorithms: With Applications to Image Processing and Pattern Recognition.* – London: Word Scientific, 1998. – 225 p.
69. Boujemaa N., Stamon G., Lemoine J. and Petit E. (1992a). Fuzzy ventricular endocardiogram detection with gradual focusing decision, *Proc. IEEE Int. Conf. of the Engineering in Medicine and Biology Society*, 14, 1893-1894.
70. Gustafson, E. E. and Kessel, W. (1979). Fuzzy clustering with a fuzzy covariance matrix, *Proc. IEEE Conf. on Decision and Control*, San Diego, IEEE Press, Piscataway, NJ, 761-766.
71. A. M. Al-Shatnawi and K. Omar, “Skew Detection and Correction Technique for Arabic Document Images Based on Centre of Gravity,” *Journal of Computer Science*, pp. 363-368, 2009.
72. L. Likforman-Sulem, A. Zahour, and Bruno Taconet, “Text Line Segmentation of Historical Documents: a Survey,” *International Journal on Document Analysis and Recognition*, vol. 9, pp. 123 - 138, 2007.
73. LeCun Y. [et al.] Gradient-based learning applied to document recognition // *IEEE*, 1998.
74. Воронцов, К. В. Курс лекций по машинному обучению / К. В. Воронцов. — 2015.
75. Zhang, X. Character-level convolutional networks for text classification / Xiang Zhang, Junbo Zhao, Yann LeCun // *In Advances in Neural Information Processing Systems.* — 2015. — Feb. — 649 - 657 p.
76. Kim, Y. Convolutional neural networks for sentence classification / Yoon Kim // *IEMNLP.* — 2014. — Sep. — 1746 -1751 p.
77. Robinson, A. J. and Fallside, F. (1987). The utility driven dynamic error propagation network. Technical Report CUED/F-INFENG/TR.1, Cambridge University Engineering Department.
78. Williams, R. J. and Peng, J. (1990). An efficient gradient-based algorithm for on-line training of recurrent network trajectories. *Neural Computation*, 4:491-501.

79. Mozer, M. C. (1989). A focused back-propagation algorithm for temporal sequence recognition. *Complex Systems*, 3:349{381.
80. Fahlman, S. E. (1991). The recurrent cascade-correlation learning algorithm. In Lippmann, R. P., Moody, J. E., and Touretzky, D. S., editors, *Advances in Neural Information Processing Systems 3*, pages 190{196. San Mateo, CA: Morgan Kaufma
81. Горбаченко В.И. Сети и карты Кохонена [Электронный ресурс] - Режим доступа:http://gorbachenko.self-organization.ru/articles/Self-organizing_map.pdf, свободный.
82. Заенцев И.В. Нейронные сети: основные модели [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://nncourse.chat.ru/course.pdf>, свободный.
83. Shyam M. Guthikonda Kohonen Self-Organizing Maps [Электронный ресурс]/ Shyam M. Guthikonda – 2011г – Режим доступа: <http://www.shy.am/wp-content/uploads/2009/01/kohonen-self-organizing-maps-shyam-guthikonda.pdf>, свободный.
84. Markus Varsta Temporal Kohonen Map and the Recurrent Self-Organizing Map: Analytical and Experimental Comparison [Электронный ресурс]/ Markus Varsta , Jukka Heikkonen , Jouko Lampinen , Joseè Del R. Millaèn – Режим доступа: <http://web.cs.dal.ca/~tt/CSCI650805/papers/tsom.pdf> , свободный.
85. Markus Varsta Context Learning with Self-Organizing Maps [Электронный ресурс]/ Markus Varsta , Jukka Heikkonen , Jouko Lampinen , Joseè Del R. Millaèn – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi>, платный.
86. Ушаков С.А. «Разработка и исследование алгоритмов решения задач распознавания на основе искусственных иммунных систем». Кандидатская работа. Воронежский Государственный университет, Воронеж, 2015.
87. Harmer P.K. An artificial immune system architecture for computer security applications / P.K. Harmer, P.D. Williams, G.H. Gunsch, G.B. Lamont // *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. — Vol. 6, No. 3. — 2002. — P. 252-280.
88. Ishiguru A. Fault diagnosis of plant systems using immune networks / A. Ishiguru, Y. Watanabe, Y. Uchikawa // *Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*. — 1994. — P. 34-42.
89. Bersini H. The Endogenous Double Plasticity of the Immune Network and the Inspiration to be drawn for Engineering Artifacts / H.

Bersini // *Artificial Immune Systems and Their Applications*. — 1999. — P. 22-44.

90. de Castro L.N. Artificial immune systems: The past, the present and the future? *Proc. 5th Int. Conf. on Artificial Immune Systems (ICARIS)*. Springer Publ., Berlin, Heidelberg, 2006, p. 460.

91. 10th annual conference on Genetic and evolutionary computation. - Atlanta, USA, ACM, 2008, pp. 49 - 56.

92. K.Veeramachaneni, Th. Peram, Ch. Mohan, L. A. Osadciw. Optimization Using Particle Swarm with Near Neighbor Interactions. // *Lecture Notes Computer Science*. – Springer Verlag, 2003.

93. J.Kennedy, R. Mendes. Population structure and particle swarm performance. // *Proceedings of the 2002 Evolutionary Computation Congress*. - Washington, IEEE Computer Society, pp. 1671 – 1676.

94. В.В.Воеводин, Вл.В.Воеводин. Параллельные вычисления. - БХВ-Петербург, 2002.

95. J.Kennedy, R. Mendes. Neighborhood topologies in fully informed and best-of-neighborhood particle swarms. // *Systems, Man, and Cybernetics*. - 2006, v. 36, pp. 515—519.

96. W. Elshamy, H. M. Emara, A. Bahgat. Clubs-based Particle Swarm Optimization. // *Swarm Intelligence Symposium*. - 2007, pp. 289 – 296.

97. Reynolds R.G., Chung Ch.-J. Function optimization using evolutionary programming with self-adaptive cultural algorithms // *Lecture Notes on Artificial Intelligence*. Springer-Verlag Press. 1997. P. 184-198.

98. Reynolds R. G., Chung Ch.-J. Knowledge-Based Self-Adaptation in Evolutionary Search // *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*. 2000. Vol 14, pp. 19-33.

99. P.E. Gill, W. Murray, Quasi-newton methods for unconstrained optimization, *IMA. J. Appl. Math.*, vol. 9, pp. 91–108, 1986.

100. A. Nelder, R. Mead, A simplex method for function optimization, *Comput. J.* 7 (1965) 308–313.