



ТАЛАБАНИНГ АКАДЕМИК ФАОЛИЯТИНИ МОНИТОРИНГ ҚИЛИШДА СУНЪИЙ ИНТЕЛЛЕКТНИНГ ЎРНИ

Маматов Нарзулло Солидждонович

“Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш
муҳандислари институти” Миллий тадқиқот университети,
кафедра мудири, техника фанлари доктори, профессор,
m_narzullo@mail.ru

Иброхимов Санжар Рустам ўғли

“Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш
муҳандислари институти” Миллий тадқиқот университети,
ассистент,
ib.sanjar93@gmail.com

Самижонов Абдурашид Нарзулло ўғли

Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот
технологиялари университети, ассистент,
an_samijonov@mail.ru
<https://doi.org/10.5281/zenodo.10811867>

ARTICLE INFO

Received: 05th March 2024

Accepted: 12th March 2024

Online: 13th March 2024

KEYWORDS

Сунъий нейрон тармоқлар
(СНТ), Дендритлар,
рецепторлардан, вазн
коэффициентлари,
классификация.

ABSTRACT

Мазкур мақола сунъий нейрон тармоқлар (СНТ) интеграциясини билимлар сифатини мониторинг қилиш ва баҳолаш тизимларини ривожлантиришда фойдаланишга бағишланган бўлиб, у СНТни мослашувчан таълим имкониятларидан фойдаланган ҳолда таклиф қилинган тизим таркибни тасдиқлаш ва долзарбликни баҳолаш каби вазифаларни автоматлаштириш имконини беради. Бундан ташқари мазкур ишда назарий асослар ва мавжуд муаммолар муҳокама қилинган. Шунингдек, СНТни турли соҳалар билимлари ишончилиги ва долзарблигини ошириш имкониятлари ўрганилган.

КИРИШ. Ахборотни экспоненциал ўсиши даврида билим сифатини баҳолаш ва таъминлашни самарали механизмларига бўлган эҳтиёжларни қондириш асосий муаммога айланди. Инсон миясининг мураккаб тузилишига асосланган СНТлар ушбу муаммони ҳал қилишнинг мажбурий математик аппарати сифатида қўлланилади [8]. Ҳужжат таркибни текшириш ва уни долзарблигини баҳолаш каби мураккаб жараёнларини автоматлаштиришга йўналтирилган СНТлар билим сифатини мониторинг қилиш ва баҳолаш тизимларида кенг қўлланилмоқда. СНТни мослашувчан ўрганиш имкониятларини тадқиқ этиш орқали турли соҳалар билимлари ишончилиги ва долзарблигини оширишга интилиш ва билимларни бошқаришда сунъий интеллект (СИ) доимий эволюциясига ҳисса қўшади. Бу эса СНТларни билим сифатини баҳолаш тизимига жорий этилиши билан боғлиқ назарий асослар, амалий услублар ва потенциал муаммоларни чуқур ўрганишга замин яратди [2].



НАЗАРИЙ МЕТОДОЛОГИЯ. СНТлар кенг кўламли муаммоларни ҳал қилишни математик ва алгоритмик усуллари мажмуасидир. Улар синаптик уланишлар билан ўзаро боғланган элементлар тармоғи, яъни сунъий нейронлар бўлган биологик нейрон тармоқлар моделларидир. Тармоқ кириш маълумотларини қайта ишлайди ва вақт ўтиши билан уни ҳолатини ўзгартириш жараёнида чиқиш сигналлари тўпламини шакллантиради [3]. Тармоқда бажариладиган функцияларга кўра уни тарк этадиган нейронларни типологик жиҳатдан кириш, ички ва чиқишга ажратиш мумкин.

Кириш нейронлари-бу кириш эффекти ёки ташқи муҳит тасвирини кодловчи вектор элементлари бўлиб, улар одатда ҳисоблаш процедураларини амалга оширмайди. Улар фақат ўз ҳолатларини фаоллаштиришни инобатга олган ҳолда маълумотларни киришдан чиқишга узатади. Ички нейронлар эса нейрон тармоқлар асосини ташкил этувчи элементлар бўлиб, алмаштиришларни инобатга олган ҳолда маълумотларни ўз киришидан чиқишга узатади ва бу энг кўп қўлланиладиган нейрон тармоқлар учун хосдир [4]. Умуман олганда нейрон тармоқни қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$y = f(\vec{x} + \vec{a} + b) \quad (1)$$

бу ерда $\vec{x}$ кирувчи сигнал вектори, $\vec{a}$ -вазн вектори, y - нейрон чиқиш сигнали, b - чиқиш сигнали силжиш қиймати.

Чиқиш нейронлари-бу чиқиш қийматлари бир вақтнинг ўзида бутун тармоқ чиқиши бўлган элементлардир. Ушбу турдаги нейронларни ҳисоблаш процедуралари тармоқ ички нейронларига хос бўлган (1) алмаштиришга асосланади.

Кўплаб нейрон моделларида нейрон тури тармоқда уни жойлашувига боғлиқ. Бироқ, нейронлар функциялари қатъий белгиланмаган ҳолатда ҳам бўлиши мумкин. Нейрон тармоғи ишлаши икки босқичда, яъни тармоқни ўқитиш ва кирувчи векторларини таниб олишда ўқитилган тармоқдан фойдаланишда амалга оширилади.

Тармоқ ишлаш жараёнида ахборотни қайта ишлаш орқали кириш векторини чиқиш векторига ўтказилади. Тармоқ томонидан амалга ошириладиган маълумотларни алмаштиришни ўзига хос тури нафақат нейронлар хусусиятлари, балки уларни архитектураси хусусиятлари, яъни нейронлараро уланишлар топологиясига, ахборотни киритиш ва чиқариш учун нейронлар маълум кичик тўпламларини танлаш, сигнал тури, тармоқни ўқитиш усули, нейронлар орасидаги рақобатни мавжуд ёки мавжуд эмаслиги, нейронлар орасида маълумотларни узатиш йўналиши ва уларни бошқариш усули ҳамда синхронлаштиришга боғлиқ. Ҳозирги кунда нейрон тармоқ моделларининг кўплаб турлари ишлаб чиқилган. СНТини таснифлаш усуллари 1-расмда келтирилган.

Ўзгариши мумкин бўлган нейрон тармоқ ҳолати деганда одатда – синапслар вазнлари, бўсағалар ва нейронлар орасидаги янги алоқаларни ўрнатиш тушунилади [5]. Нейрон тармоқни ўқитиш зарур бўлганда юзага келадиган иккита тубдан фарқ қилувчи ҳолат мавжуд, яъни "ўқитувчи ўқитиш" ва "ўқитувчисиз ўқитиш". Нейрон тармоқларини "ўқитувчи" ўқитиш усуллари эксперт баҳоси мавжудлигини тахмин қилади. Масалан, нейрон тармоқ фаолиятни баҳолаш ўқув танланма асосида амалга оширилиши. Бунда ҳар бир намуна ўқув жуфтлиги, яъни кириш вектори ва унга мос чиқиш вектори билан ифодаланади. Шу билан бирга, ўқитиш усуллари ўзи икки турга



ажратилади. Биринчиси мақсадга босқичма-босқич эришиш учун сонли усулларни ўз ичига олган итератив усуллар, иккинчиси эса ўқув танланмасига нейрон тармоқ параметрларини зарур қийматларини аналитик ҳисоблашга имконини берувчи ҳисоблаш усуллари [6,7].

Сунъий нейрон тармоқларини таснифлаш	Тузилиши бўйича	Тўлиқ боғланмаган
		Тўлиқ боғланган
	Кириш ва чиқишда фойдаланиладиган сигналларга кўра	Аналогли
		Бинар
	Вақтни моделлаштиришга кўра	Узлуксиз вақтли
		Дискрет вақтли
	Киришга маълумот узатиш усулига кўра	Кириш нейронлари синапсларига сигналларни узатиш
		Кириш нейронлари чиқишига сигналларни узатиш
		Синапслар вазни кўринишида сигналларни кириш нейронларига узатиш
		Кириш нейронлари синапсларига аддитив узатиш
	Чиқишлардан маълумотларни олиб ташлаш усулига кўра	Чиқиш нейронларини чиқишлардан олиб ташлаш
		Чиқувчи нейронлардан синапсларни олиб ташлаш
		Чиқувчи нейронлар синапс вазнлари қиймати олиб ташлаш
		Чиқувчи нейронларсинапсларини аддитив олиб ташлаш
	Ўқитишни ташкил этишга кўра	Ўқитувли
		Ўқитувчисиз
	Ўқитиш усулига кўра	Киришлар орқали
		Чиқишлар орқали

1-расм. Сунъий нейрон тармоқлари таснифи

"Ўқитувчисиз" ўқитишда нейрон тармоқ фақат кириш таъсири асосида ечимлар чиқиш фазосини шакллантиради. Бундай тармоқлар ўз-ўзини ташкил этувчи тармоқлар деб ҳам аталади [8,9] ва уларда ўз ишини баҳолаш механизмлари мавжуд бўлиб, улар эксперт вазифасини таъминлайди.



Кетма-кет (тўғридан-тўғри) сигналларни тарқатиш тармоқларида кириш қатлами нейронлари кириш сигналларини қабул қилади, уларни алмаштиради ва биринчи яширин қатлам нейронларига узатади ҳамда бу фойдаланувчи учун сигналларни чиқарувчи чиқиш қатламига қадар давом этади. Агар бошқача кўрсатилмаган бўлса, q -чи қатлам ҳар бир чиқиш сигнали $(q+1)$ -чи қатламни барча нейронлари киришига узатилади, бироқ, бунда q -чи қатламни $(q+p)$ - чи қатлам билан боғлаш ҳам мумкин.

Тўғридан-тўғри тарқалишли кўп қатламли тармоқларини тўлиқ ва қисман тўлиқ боғланган турлари мавжуд. Ўқитиш ва жорий этилиши соддалиги, хосса ва хусусиятларини ўрганилганлигига кўра тўғридан-тўғри тарқалишли кўп қатламли нейрон тармоқлар истиқболли тармоқ топологияси ҳисобланади [10,11]. Тескари алоқали тармоқлар кам ўрганилган, бироқ улар айни пайтда потенциал энг кучли ҳисобланади. Ушбу тармоқларда ихтиёрий қатламлардан олинган маълумотлар кейинги қатламларга узатилиши билан бирга олдингиларига қайтарилиши мумкин. Ушбу тузилмали тармоқларни бир нечта қисм синфларини келтириш мумкин:

- циклик қатламли. Бунда қатламлар ҳалқада ёпиқ, охириги қатлам чиқиш сигналларини биринчисига узата олади, барча қатламлар тенг ҳуқуқли ва кириш сигналларини ҳам чиқиш сигналларини ҳам қабул қилиши мумкин;

- қатламли тўлиқ боғланган. Бунда ҳар бири тўлиқ боғланган қатламлардан иборат тармоқ бўлиб, сигналлар қатламдан қатламга ҳам, қатлам ичида ҳам узатилади, ҳар бир қатламда иш цикли уч қисмга ажратилади, яъни олдинги қатламдан сигналларни қабул қилиш, қатламлар орасида сигналлар алмашиш, чиқиш сигналларини шакллантириш ва навбатдаги қатламга узатиш;

- тўлиқ боғланган қатламли. Бу тузилмасига кўра қатламли тўлиқ боғланганга ўхшиш бироқ, у бошқача ишлайди, яъни уларда қатламлар орасидаги алмашинув фазалари ни ажратмайди ва навбатдагисига узатмайди, ҳар бир циклида барча қатламлар нейронлари сигналларни қабул қилади.

НЕЙРОН ТАРМОҚ АППАРАТИНИНГ УМУМИЙ ХУСУСИЯТЛАРИ. Нейрон тармоқлари мумкин бўлган тузилмаларидаги сезиларли фарқларга қарамай, нейрон тармоқ аппаратининг умумий хусусиятлари мавжуд ва у қуйидагилардан иборат:

Параллел ҳисоблаш имконияти. Нейрон тармоқларида кўплаб параллел уланишлар мавжуд ва унда барча нейронлар бир вақтнинг ўзида ишлайди ҳамда оммавий параллел ҳисоб-китобларни амалга оширади. Бу мураккаб ҳисоблаш учун кам вақт сарфланишини таъминлайди. Ҳозирги кунда кўплаб компаниялар ўз нейрон процессорларни ишлаб чиқишган [12].

Намуналар орқали ўқитиш. Нейрон тармоқни "намуналар орқали" ўқитиш қўйилган масалани ечиш учун мутлақо янги алгоритмик бўлмаган ёндашувдир. Бунда кириш-шарт ва чиқиш-жавоб векторларининг қийматлари тўплами бўлган муайян мисоллар (ўқув танланмаси) асосида масала учун умумий ечим олинади. Ўқув танланмаси мутахассис томонидан ёки тажриба асосида шакллантирилади.

Мослашувчанлик. Хатоларни тескари тарқалиш алгоритмидан фойдаланиш нейрон тармоқ параметрларини тез созлаш ва улар асосида мослашувчан ҳамда ўз-ўзини созловчи қурилмаларни яратиш имконини беради.



Ишлашни юқори ишончилиги. Ўз табиатига кўра нейрон тармоқлар бутун тармоқ фаолиятини индивидуал нейрон фаолиятига паст сезувчанлигини таъминлайдиган параллел тузилмадир. Бундан ташқари, нейрон тармоғида тўйинган чизиқли бўлмаган элементлар одатда нейронлар сифатида олинади ва улар тўйинганлик зонасида ишлаганда кириш сигналини кичик ўзгаришига сезгир бўлмайди. Нейрон тармоқни ушбу жиҳатлари ишлаш ишончилиги ва кичик зарарга бефарқлигини таъминлайди.

Намуналар билан умумлаштириш. Нейрон тармоқ (кириш вектори) учун номаълум (ўқитилмаган) намуна тақдим этилгандан сўнг, тармоқ жавоб беради, бу нейрон тармоқ (кириш векторлари) учун маълум бўлган (ўқитилган) намуналарни энг яқин сонини умумлаштиришдир. Умумлаштириш хусусияти кутилмаган вазиятларни енгиш ва олинган маълумотлардан билимлар шакллантириш имконини беради.

Ўқитиш самарадорлигини мониторинг қилиш ва баҳолаш муаммоларини ҳал қилишда СНТларидан фойдаланишда қуйидаги хусусиятларни алоҳида кўрсатиб ўтиш жоиз:

- нейрон тармоқларни ҳар қандай функцияларни бажаришга ўқитиш мумкин [13], бунда фақат ўқув жараёнида етарли миқдордаги маълумот тақдим этилиши ва нейрон тармоқ тузилмасини тўғри танлашни талаб қилинади. Нейрон тармоқларни ўз-ўзини ўқитиш қобилияти мураккаб математик аппаратдан фойдаланиш заруратини йўқотади;
- нейрон тармоқларда умумий турдаги чизиқли бўлмаган функциялардан фаоллаштириш функциялари сифатида фойдаланиш чизиқли бўлмаган акслантиришларни амалга ошириш имкониятини беради, бу билим сифати эксперт баҳосига яқинлашганда та муҳим омил ҳисобланади;
- оптимал ва мослашувчан бошқарув анъанавий усулларини қўллашни зарурий шарти бошқариш объекти тўғрисида катта миқдордаги априор маълумотларни мавжудлиги ҳисобланади. Нейрон тармоқларни ўз-ўзини ўқитиш қобилияти улар асосида талабалар билим сифатини баҳолашда бундай ҳажмдаги маълумотлар талаб қилмайди. Шунинг учун сифатни баҳолаш тизими ноаниқлик шароитида қўлланилиши мумкин.

Нейрон аппаратидан фойдаланиб самарали ҳал этилиши мумкин бўлган вазифалар доираси ўта кенг. Бироқ, ҳар қандай муаммони ҳал қилиш учун универсал ягона нейрон тармоқ тузилмаси ҳозирча мавжуд эмас. Нейрон тармоқ тузилмасини танлаш ҳар доим қўйилган масала шартлари, хусусиятлари ва мураккаблигига кўра амалга оширилади. Нейрон тармоқлар оптимал конфигурацияси айрим турдаги масалаларни ечиш учун аллақачон ишлаб чиқилган. Агар масалани маълум турларни бирортасига келтириш имкони бўлмаса, у ҳолда янги нейрон тармоқ конфигурациясини синтез қилиш масаласи юзага келади. Нейрон тармоқ синтези билан боғлиқ айрим асосий аксиоматик қоидалар қуйидагилардан иборат:

- тармоқ нейронлари сони, улар орасидаги боғланишлар зичлиги ва ундаги қатламлар сонини ортиши билан тармоқ имкониятлари ортиши;
- тармоқ имкониятларини ортиши билан бирга тескари боғланишларни жорий этилиши тармоқ динамик барқарорлиги муаммосини юзага келтиради;



- тармоқ алгоритмларини мураккаблиги, яъни бир неча турдаги синапсларни жорий этиш нейрон тармоқни кучайтиришга ёрдам беради, бироқ янада мураккаб моделлаштиришга айниқса, аппаратли амалга оширишни талаб қилади.

У ёки бу турдаги масалаларни ечиш учун тармоқни зарур ва етарли хусусиятлари масаласи нейрокомпютер фанининг тўлиқ бир йўналишидир. Нейрон тармоқ синтези ҳал қилинаётган масалага ўта боғлиқ бўлганлиги учун батафсил умумий тавсиялар бериш ўта мураккабдир. Кўплаб ҳолларда оптимал вариант интуитив танлов асосида танланади. Бироқ, [14,15] иш муаллифлари ихтиёрий алгоритм учун уни амалга ошира оладиган нейрон тармоқ мавжуд деб таъкидлаб ўтишган.

Кўп ўзгарувчили функцияларини бир ўзгарувчили функциялар йиғиндиси ва суперпозицияси кўринишида ифодалаш бўйича бир қатор теоремаларга [14] шунингдек, ушбу теоремаларни нейрон тармоқлар аппарати жорий этишга бағишланган илмий ишлар [16] асосида ихтиёрий ўлчамли кириш-чиқиш векторларини ҳар қандай жуфтлиги учун кетма-кет боғланишларга эга сигмоид узатиш функциялари ва чекли сондаги нейронларга эга бўлган ҳар бир кириш вектори учун мос чиқиш векторини шакллантирувчи бир жинсли икки қатламли нейрон тармоқ мавжуд деб айтиш мумкин [17]. Бундай нейрон тармоқлардан кўп ўзгарувчили кўп ўлчовли функцияларини ифодалашда фойдаланиш мумкин.

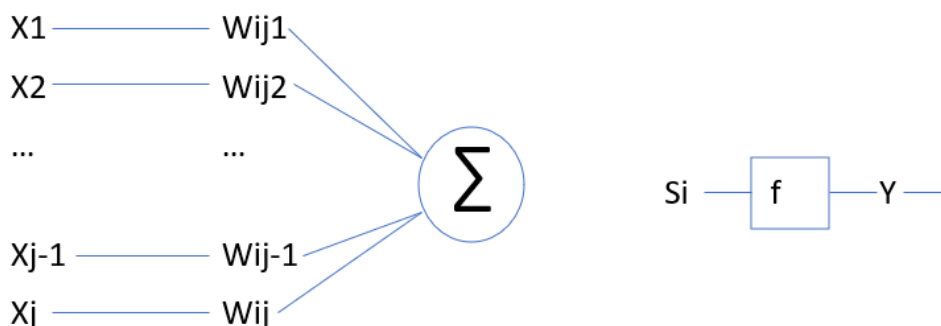
НЕЙРОН ТАРМОҚЛАР КАМЧИЛИКЛАРИ. Нейрон тармоқлар кўплаб ютуқларга эга бўлишига қарамай қуйидаги асосий камчиликларга ҳам эга ҳисобланади:

1. Кириш сигналлари ва вазн коэффициентларини интенсивлиги маъносини мазмунли талқин қилиш мураккаблиги.
2. Аргументни мазмунли талқин қилиш ва асослашнинг мураккаблиги ҳамда нейрон фаоллаштириш (узатиш) функцияси тури.
3. Нейрон бирикмалари тузилишини аниқлашда, вазн коэффициентлари ва узатиш функцияларини танлашда юзага келадиган "комбинаториал портлаш".

Интерпретация муаммолари тармоқ томонидан олинган натижалар қийматини пасайишига олиб келади ва ўлчов муаммоси тармоқдаги чиқиш нейронлари ва рецепторлар сонига, нейронларни тармоқ билан ўзаро боғлиқлиги тузилмасини мураккаблигига ўта қаттиқ чекловларга олиб келади. Машҳур дастурий таъминот пакетлари асосида амалга ошириладиган нейрон тармоқларда чиқувчи нейронлар сони одатда бир неча юзтадан кўп бўлмаслиги таъкидланади.

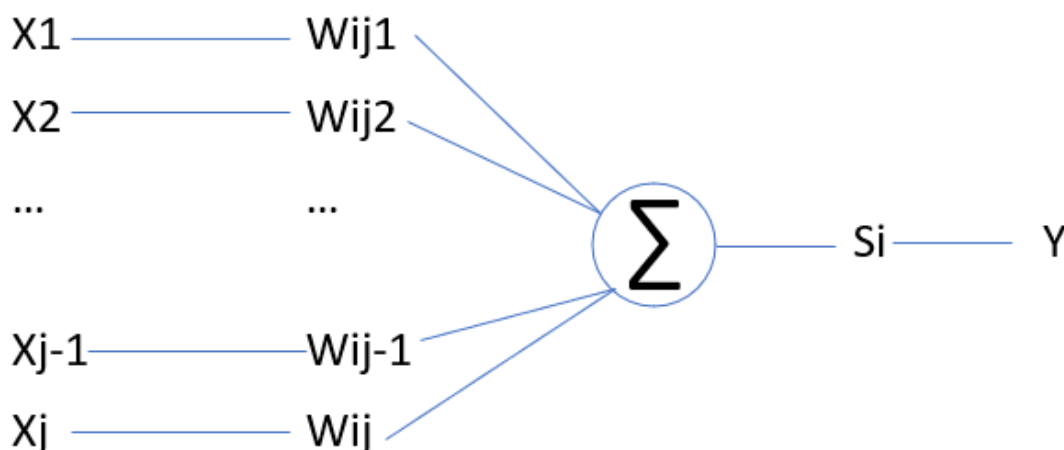
ДЖ.Маккалоки ва У.Питт 1943 йилда биологик нейрон расмий моделини бир неча кириш (кириш синапслари — дендритлар) ва битта чиқишга (чиқиш синапси — аксон) эга бўлган қурилма сифатида таклиф этган (1-расм). Дендритлар маълумот манбаларидан (рецепторлардан) X_j маълумот олади, улар нейронлар бўлиши ҳам мумкин. Кириш сигналлари тўплами $\{X_j\}$ нейрон томонидан қайта ишланаётган объект ёки вазиятни тавсифлайди. Ҳар бир j -нейрон i -киришга маълум бир вазн омили W_{ij} белгиланган бўлиб, бу киришдан сигнални узатиш (фаоллаштириш) функцияси аргументига таъсир қилиш даражасини тавсифлайди, яъни Y сигнални

нейрон чиқишида аниқлайди. Кириш сигналлари вазни йиғиндиси нейронда содир бўлади ва бу қийматдан нейрон фаоллаштириш (узатиш) функцияси аргументи сифатида фойдаланилади.



1-расм Нейрон классик модели

Мазкур ишда фаоллаштириш функциясини чизиқли бўлиши таъминлаши учун аргументи йиғиндисига тенг қилиб олинган. Шу тариқа аргументни мазмунли талқин қилиш ва асослаш ҳамда нейрон фаоллаштириш (узатиш) функцияси тури танлаш мураккаб масаласи ҳал этилган ва унинг модели қуйидаги расмда келтирилган.



2-расм. Чизиқли фаоллаштириш функцияли нейрон тармоқ модели

Ушбу ёндашув моҳияти кириш сигналлари интенсивлиги ўз-ўзидан эмас, балки уларни интенсивлиги нуқтаи назаридан маълум миқдордаги маълумотни ёки нейрон ва фаол бошқарув объектини ўтиши ҳақида нотўғри маълумотни ўз ичига олган келажакдаги ҳолатга хабарлар сифатида кўриб чиқишдан иборат. Бундай ҳолда кириш сигналлари ва вазн коэффицентлари интенсивлиги маъносини мазмунли талқин қилиш масаласи ҳал қилинади.

Муайян дендритга кириш сигнали интенсивлиги деганда маълум бир нейронга мос объектни нейрон тармоқни тақдим этишда берилган дендритга мос омил (хусусият) тўқнашувлари абсолют частотаси (сони) тушунилади. Абсолют частоталар матрицаси нейронлар контекстида дендритларга кириш сигналлари интенсивлиги ҳақидаги



эмпирик маълумотларни йиғиш ва бирламчи умумлаштириш усули сифатида қаралади. Агар нейрон тармоқни билимларни ифодалаш усули деб ҳисобланса, у стимуллар (кириш векторлари) ва жавоблар (чиқиш векторлари) орасидаги ассоциатив муносабатлар ҳақидаги билимларни ўзида сақлайди.

Билим одатда нейронлар орасидаги боғланиш вазнлари кўринишида сақланади ва у ўқув жараёнида шаклланади. Билимларни намойиш этиш усули сифатида нейрон тармоқларни қуйидаги камчиликларини келтириш мумкин:

- нейрон тармоқ натижаларини тушунтириш, яъни нима учун нейрон тармоқ у ёки бу қарорни қабул қилганини тушунтириш;
- олинган натижалари такрорланиши ва бир қийматли эканлигига кафолат йўқлиги; Нейрон тармоқларни билимларни ифодалаш усули сифатида афзалликлари қуйидагилардан иборат:
- билимларни шакллантиришни талаб этмайди, бу намуналар асосида ўқитиш орқали амалга оширилади;
- табиий ифодалаш ва норавшан билимларни қайта ишлаш табиий интеллектуал тизим, яъни инсон миёсидаги каби амалга оширилади;
- параллел ишлов беришга йўналтириш, бу аппарат ёрдами билан реал вақтда ишлаш имкониятини беради;
- нейрон тармоқни аппаратни амалга оширишда хатоларга бардошлик ва омон қолиш;
- кўп ўлчовли маълумотлар ва билимларни бир хил, шунингдек кичик ўлчовли маълумотларни қайта ишлаш қобилияти [18].

ХУЛОСА. Нейрон аппаратида фойдаланиб самарали ҳал этилиши мумкин бўлган вазифалар кенг бироқ, ҳар қандай муаммони ҳал қилиш учун универсал ягона нейрон тармоқ тузилмаси ҳозирги кунда мавжуд эмас. Нейрон тармоқ тузилмасини танлаш ҳар доим қўйилган масала шартлари, хусусиятлари ва мураккаблигига кўра амалга оширилади. Нейрон тармоқлар деярли ҳар қандай ҳисоблаш алгоритминини амалга оширишга имкон берувчи ва таълим сифатини баҳолаш учун ақлли қуйи тизимни амалга оширишда самарали асос бўлган универсал тузилмалардир.

References:

1. Solidjonovich, M. N., O'G'Li, I. S. R., O'Gli, F. V. O., & O'G'Li, S. A. N. (2023). SUN'IY INTELLEKT VOSITALARINI TA'LIMNI NAZORAT QILISH VA BAHOLASHDA QO 'LLASH. Al-Farg'oniy avlodlari, 1(4), 291-297.
2. Mamatov, N., & Ibroximov S. (2023). Artificial intelligence in education: paving the way for a more effective learning experience. Информатика и инженерные технологии, 1(2), 107-109.
3. Stephen, O., Maduh, U. J., Ibrokhimov, S., Hui, K. L., Al-Absi, A. A., & Sain, M. (2019, February). A multiple-loss dual-output convolutional neural network for fashion class classification. In 2019 21st International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT) (pp. 408-412). IEEE.
4. Горбан 1991, Уоссерман 1992, Кроесе 1996



5. Mamatov, N. S., & Nuritdinov, N. D. (2023). NEYRON TO 'RLARI NEGIZI VA ULARNING TURLARINI TAHLILI. Educational Research in Universal Sciences, 2(8), 76-83.
6. Mamatov, N. S., & Nuritdinov, N. D. (2023). NEYRON TO 'RLARI NEGIZI VA ULARNING TURLARINI TAHLILI. Educational Research in Universal Sciences, 2(8), 76-83.
7. GeekBrains, P. C. (2023, August 29). Алгоритмы обучения нейронной сети: наиболее распространенные варианты. GeekBrains. <https://gb.ru/blog/algoritmy-obucheniya-nejronnoj-seti/>
8. Ralhan, A. (2020, August 8). Self Organizing Maps - Abhinav Ralhan - Medium. Medium. <https://medium.com/@abhinavr8/self-organizing-maps-ff5853a118d4>
9. Kohonen T. Self-organizing Maps, ~ Heidelberg: Springer Verlag, 1995.
10. Homik K., Stinchcomb M., White H. Multilayer feedforward networks are universal approximators // Neural Networks.— 1989. — V. 2, N. 5.— P. 359-366.
11. Paluzo-Hidalgo, E., González-DíAz, R., & Gutiérrez-Naranjo, M. A. (2020). Two-hidden-layer feed-forward networks are universal approximators: A constructive approach. Neural Networks, 131, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2020.07.021>
12. Logovskiy A.S. Многопроцессорные и нейрокомпьютерные технологии фирмы Сунденсе Мультипроцессор Течнологий, Ltd.— Neyrokompyuter, №1,1999.
13. Stephen, O., Maduh, U. J., Ibrokhimov, S., Hui, K. L., Al-Absi, A. A., & Sain, M. (2019, February). A multiple-loss dual-output convolutional neural network for fashion class classification. In 2019 21st International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT) (pp. 408-412). IEEE.
14. Арнолд В.И. О представлении непрерывных функций нескольких переменных в виде суперпозиции функций меньшего числа переменных // Mat. просвещение.— 1957.— № 4.— S. 41-61.
15. Contributors to Wikimedia projects. (2023, December 11). Teorema Kolmogorova — Арнольда. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
16. Hext-Nilsen R. Нейрокомпьютинг: история, состояние, перспективы // Открытые системы, 1998. № 4.
17. Kruglov V.V., Borisov V.V. Искусственные нейронные сети. Теория и практика.— М.: Горячая линия — Telekom, 2001.— 382 s.
18. Гаврилов А.В. Системы искусственного интеллекта: Учеб. пособие: в 2-х ч.— Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001.— 4.1.— 67 с.