

ISSN 2010-7242

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI AXBOROT TEXNOLOGIYALARI
VA KOMMUNIKATSIYALARINI RIVOJLANTIRISH VAZIRLIGI

**INFORMATIKA VA ENERGETIKA
MUAMMOLARI**
O'zbekiston jurnali

Узбекский журнал
**ПРОБЛЕМЫ
ИНФОРМАТИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

Uzbek Journal
**OF THE PROBLEMS OF
INFORMATICS AND ENERGETICS**

4

2021

FAN VA TEXNOLOGIYA

СОДЕРЖАНИЕ

Информатика и управление

Д.К.Мухамедиева, А.Ю.Нурумова. Blowup решения для квазилинейных параболических уравнений на основе автомодельного анализа решений.....	3
Д.Т. Мухамедиева, А.Х.Мирзарахмедова. Разработка модели определения оптимального количества городского пассажирского транспорта...	8
И.Х.Сиддиков, Н.У.Утеулиев, Р.Ж.Алламурастов. Разработка кинетической модели процесса аммонизации рассола.....	13
Б.М.Азимов, С.А.Мухамматов. Моделирование движения горизонтально-шпиндельного хлопкоуборочного аппарата и оптимизация ее параметров.....	19
Э.Урунбаев. Математический метод построения оптимального корректора эвристических алгоритмов.....	28

Энергетика

О.З. Тоиров, Т.М. Саъдуллаев. Современное состояние и вопросы энерго- и ресурсосбережения в буровой установке горнодобывающей промышленности.....	35
Ж.С. Ахатов, К.А. Самиев, У.Б. Шаропов, Х.С. Ахмадов, А.С. Халимов, Э.Т. Жураев, Х.Ф. Сайфиева, Т.И. Жураев. Получение водорода методом термохимических циклов на основе CH_4 и CeO_2 при концентрированном потоке солнечного излучения.....	45
М.С. Якубов, К.Х. Турдибеков, А.Х. Суллийев, И.А. Каримов, М.Ж. Мирасадов. Совершенствование информационно-измерительного комплекса диагностирования объектов тягового электроснабжения при высокоскоростном движении.....	54
Н.О. Усмонов, А.Р. Иванисова. Моделирование тепло- и массообмена двухступенчатых испарительных воздухоохладителей.....	63

Информационные и телекоммуникационные технологии

Н.С.Маматов, Н.А.Ниёзматова, Ш.Ш.Абдуллаев, П.Б.Нуримов, А.Н.Самижонов, К.К. Ережепов. Создание системы автоматического распознавания узбекской речи.....	72
Д.Э.Эшмурадов, Т.Д.Элмурадов, А.А.Сулайманов. Программное и информационное обеспечение процессов управления воздушным движением	85
Б.Б.Элов Х.М.Примова. Архитектура Big Data.....	91

УЎК 004.934

Н.С.МАМАТОВ, Н.А.НИЁЗМАТОВА, Ш.Ш.АБДУЛЛАЕВ, П.Б.НУРИМОВ,
А.Н.САМИЖОНОВ, К.К. ЕРЕЖЕПОВ

ЎЗБЕК ТИЛИДАГИ НУТҚНИ АВТОМАТИК ТАНИБ ОЛИШ ТИЗИМИНИ ЯРАТИШ

Мазкур мақола нутқни автоматик таниб олиш механизмининг асосий тавсифи ва ўзбек тилидаги нутқни автоматик таниб олиш тизими истиқболларига бағишланган бўлиб, ушбу иш муаллифлари томонидан ўзбек тили учун тил моделини формал ҳамда мазмунли қисмларга ажратиш, яъни гапнинг кейинги сўзи учун унинг олдинги ва кейинги сўзлари бўйича ноаникликни ишончли коэффициентни аниқлаш ёндашуви таклиф этилган.

Калит сўзлар: нутқ сигнали, Фурье алмаштириши, белгиларни ажратиш олиш, нутқни автоматик таниб олиш, Марков модели, нутқ маълумотлар базалари, фонема, ўқитиш, тил модели, декодлаш.

Н.С.Маматов, Н.А.Ниёзматова, Ш.Ш.Абдуллаев, П.Б.Нуримов, А.Н.Самижонов,
К.К. Ережепов

Создание системы автоматического распознавания узбекской речи

Данная статья посвящается базовому описанию механизма автоматического распознавания речи и перспективам системы автоматического распознавания речи на узбекском языке. Авторы данной статьи предлагают подход к разделению языковой модели узбекского языка на формальную и семантическую части, которые определяют достоверный коэффициент неопределенности для следующего слова предложения по его предшествующим и последующим словам.

Ключевые слова: речевой сигнал, преобразование Фурье, выделение признаков, автоматическое распознавание речи, Марковская модель, речевые базы данных, фонема, обучение, языковая модель, декодирование.

N.S.Mamatov, N.A.Niyozmatova, Sh.Sh.Abdullayev, P.B.Nurimov, A.N.Samijonov, K.K. Erejepov

Creation of automatic speech recognition system for Uzbek language

This article is devoted to the basic description of the automatic speech recognition mechanism and the prospects for the automatic speech recognition system in the Uzbek language. The authors of this work propose an approach to dividing the linguistic model of the Uzbek language into formal and semantic parts, which determines the reliable coefficient of uncertainty for the next word of a sentence based on its preceding and following words.

Keywords: speech signal, Fourier transform, feature extraction, automatic speech recognition, Markov model, speech databases, phoneme, training, language model, decoding

Қирини. Табиий тилда инсон томонидан айтилган сўзлар, иборалар ёки жумлалар асосида уларни матнини автоматик тиклаш нутқни таниб олиш масаласи ҳисобланади ва у билан боғлиқ бўлган муҳим амалий масалаларга матнларни ўқиш, стенограммаларни шакллантириш, қурилмаларни овозли бошқариш ҳамда суҳбатлар ўтказиш каби тизимларини ишлаб чиқиш киради [1–50]. Айни пайтда нутқни таниб олиш йўналиши жадал ўсиш даврини бошдан кечирмоқда, яъни

кўплаб йирик компаниялар ўзларининг нутқни таниб олиш тижорий тизимларини яратдилар ва уларни фаол ривожлантирмоқдалар [14]. Айти пайтда нутқни автоматик таниб олиш шу асрнинг энг муҳим ва тезкор ҳал этилиши лозим бўлган масалаларидан биридир.

Нутқни таниб олиш усуллари компьютер ва нутқга боғлиқ ускуналарни ривожланиши билан бирга ривожланиб келмоқда. Нутқни таниб олиш масаласи дастлаб алоҳида оғзаки сўзлар, яъни буйруқлар матнини тиклаш масаласи сифатида шакллантирилган бўлиб, сўнгги йилларда ишлаб чиқилган нутқни таниб олиш тизимлари узлуксиз, ёпишган ва ҳаттоки спонтан нутқни таниб олиш масаласи ечиш имконини берадиган даражага етди. Бироқ, нутқни таниб олиш масаласини тўлиқ ечилиши учун алоҳида товушлар, сўзлар ва гапларни инсон томонидан таниб олиш даражасида ишончли таниб олиши талаб этилади. Инсон томонидан узлуксиз нутқни таниб олиш ва жумла матнини тиклашдаги ноаниқликни йўқотишда асосан табиий тил ҳақидаги билимлар, шунингдек, айтилган сўзларнинг маъносидан фойдаланади. Бу эса нутқни таниб олиш масаласини иккита мустақил масалага бўлинишига олиб келди, яъни нутқни локал таниб олиш ва таниб олиш фаразлари тўплами орқали узлуксиз ва ёпишган нутқ матнини тиклаш масалаларига.

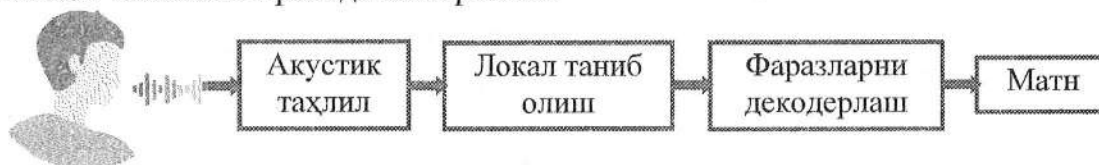
Нутқни локал таниб олиш масалани ечиш нутқни ҳосил бўлиш жараёни моҳиятини тўлиқ билишни талаб қилади [19] ва ҳозирги кунда мазкур жараённинг турли табиий тиллар учун умумий бўлган универсал моделлари ишлаб чиқилган [13]. Фаразлари тўплами орқали узлуксиз ва ёпишган нутқ матнини тиклаш масаласининг ечими эса аксинча, талаффуз қилинадиган сўзларнинг табиий тил хусусиятларига тўлиқ боғлиқ бўлиб, бу даражада ҳар бир янги тил гуруҳи учун нутқни таниб олиш тизимини қуриш ўзига хос бўлган махсус математик ва техник ёндашувларни ҳамда табиий тилнинг маълум бир кетма-кет формал моделларидан фойдаланишни талаб қилади.

Айти пайтда кўплаб мамлакатлар нутқни таниб олиш масаласини истиқболли илмий-техник йўналишлардан бири ҳисоблашади ва улар яхши молиялаштирилади. Шунинг учун баъзи тилларга мўлжалланган нутқни таниб олиш тизимлари анча ривожланиб кетган ва амалий масалаларни ечишда самарали фойдаланилмоқда. Афсуски, бундай имкониятларга эга бўлган ўзбек тилига асосланган нутқни таниб олиш тизими ҳозирги кунда мавжуд эмас. Шундай экан мазкур мақола ўзбек тилидаги узлуксиз ва ёпишган нутқни автоматик таниб олиш тизимларини яратиш истиқболларига бағишланади.

Нутқни автоматик таниб олиш тизими. Нутқни автоматик таниб олишнинг замонавий тизимларининг асосий хусусиятлари қуйидагилардан иборат:

- катта ҳажмли лугатлар;
- узлуксиз ва ёпишган нутқни таниб олиш;
- реал вақтда режимида ишлаш;
- суҳандон овозига созлаш ва созламаслик орқали ҳам ишлаши;
- грамматик тўғри матнлар ишончилиги 95% дан кам бўлмаслиги.

Узлуксиз ва ёпишган нутқни таниб олиш замонавий содда тизимнинг ишлаш тамойили 1-расмда келтирилган.



1-расм. Ёпишган нутқни таниб олишнинг стандарт тузилмаси

Тизим қуйидаги босқичларда амалга ошади:

1-босқич. Нутқ сигналини тизимга узатиш ва рақамлаштириш.

2-босқич. Нутқ сигналини давомийлиги m мс бўлган кадрларга ажратиш, одатда $m = 16$ деб олинади.

3-босқич. Акустик таҳлил модули. Бунда ҳар бир ойна учун маълум бир спектрал параметрлар қийматлари вектори шакллантирилади. Кўпинча бунда кепстрал коэффициентлар ёки уларнинг биринчи ва иккинчи дискрет ҳосилалари ҳисобланади. Ҳисобланган параметрлар векторлари кетма-кет равишда локал таниб олиш блок киришига узатилади.

4-босқич. Локал таниб олиш модули. Бунда табиий тил барча сўзларининг эталонлари эҳтимоллик автоматларини бирлаштирган универсал монотон эҳтимоллик автоматига асосланган [11, 13] бўлади. Мазкур модул киришига янги таҳлил ойнаси келиб тушганда таниб олинаётган фаразларнинг йўналтирилган вазнлаштирилган графи ўзгартирилади. Унга тил сўзларининг сўзлашувлар кетма-кетлиги ҳақидаги янги фаразлар қўшилади ва мавжуд фаразлар олиб ташланади, уларнинг эҳтимоли маълум бир белгиланган чегарадан паст бўлади. Параметр қийматларининг сўнгги вектори келганда, графда фақат тилнинг бутун (тугалланган) сўзи билан тугайдиган фаразлар қолади. Локал таниб олиш бирлигининг самарали ишлаши учун фонетик алфавитни танлаш алоҳида муҳим тадқиқот масаласи ҳисобланади.

Таниб олиш натижаси сифатида таниб олиш фаразлари графидан табиий тилдаги ягона гапни ажратиш учун табиий тилнинг тузилиши ҳақидаги билимлардан фойдаланилади. Тил модели кўпинча статистик ёндашувга асосланган бўлади ва у фараз графидаги мумкин бўлган йўллар тўпламидан бирини, яъни максимал якуний эҳтимолликка эга бўлган йўлни танлашга имкон беради. Олинган фараз таниб олиш натижаси ҳисобланади.

Тавсифланган таниб олиш тизими етарлича катта ҳажмли ва вакилликка эга бўлган матн ҳамда акустик маълумотлар базалари асосида ўқитилгандан сўнг самарали натижаларни таъминлайди [47]. Матн базалари тил моделларини ўқитиш ва самарадорлигини баҳолаш учун зарур бўлса, нутқ базалари эса кўпинча монотон эҳтимолли автоматлардан фойдаланишга асосланган локал таниб олиш алгоритмлари параметрларини созлаш зарур бўлади. Бундай маълумотлар базаларини йиғиш ва қайта ишлаш нутқни таниб олиш тизимларини яратишдаги энг машаққатли босқичлардан бири ҳисобланади. Бунда етарли даражада табиий тилнинг тўлиқ луғати, морфологик таҳлил қилиш тизими ва матнларни автоматик транскрипциялаш тизими бўлиши талаб этилади.

Сигналга бирламчи ишлов бериш босқичида асосий вазифа нутқдан одатда қуйидаги хоссалар бажарилиши талаб этиладиган белгилар тўпламини ажратиб олиш ҳисобланади:

- 1) ҳажмни минималлаштириш, яъни маълумотни максимал даражада сиқиш ва параметрларни статистик жиҳатдан ўзаро боғлиқмаслиги таъминлаган;
- 2) суҳандонга боғлиқ бўлмаган, яъни унинг индивидуал хусусиятларига оид маълумотларни максимал даражада олиб ташлаш;
- 3) биржинслилик, яъни параметрлар ўртача бир хил дисперсияга эга бўлиши;
- 4) белгилар тўпламлари орасидаги яқинликни аниқлаш учун Эвклид каби оддий ўлчовлардан фойдаланиш имкониятини таъминлаш. Бунда товуш худудларининг эшитиш яқинлиги олинган метрика маъносидаги яқинликка мос бўлиши керак.

Нутқни таниб олиш тизимларида кенг қўлланиладиган параметрлар тўпламлари бу Фуре алмаштириши коэффициентлари [10] (ТФА [2]), чизикли бапоратлаш коэффициентлари [18] ва уларга асосланган чизикли бапоратлаш спектри, шунингдек кепстрал коэффициентлар [18] ҳисобланади.

Таҳлил қилинаётган сигнал қисмига дискрет Фурье алмаштириши, спектрал силлиқлаш, логарифмик шкалага ўтказишни кетма-кет амалга ошириш, сўнгра тўғри Фурье алмаштиришининг ҳақиқий қисмини қўллаш натижасида олинган кепстрал коэффициентлар юқорида санаб ўтилган 1-4-хоссаларга нисбатан энг самарали восита ҳисобланади. Худди шу таҳлил детали учун уларнинг сони ТФА спектри коэффициентлари сонидан анча кам, спектрни текислаш ёрдамида суҳандонга боғлиқ маълумотлар ўчирилади ва спектрни логарифмик частота шкаласига ўтказиш орқали маълумотлар сиқилади. Вақт ўтиши билан параметрларни ўзгаришини ҳисобга олишда, одатда кепстр коэффициентлари билан биргаликда уларнинг биринчи ва иккинчи тартибли дискрет ҳосилалари ҳам кўриб чиқилади [37, 49].

Ҳозирги кунда акустик таҳлил аппарати етарлича ривожланган бўлиб, бир тилдан иккинчисига ўтказиш мумкин. Бу эса ўзбек тилидаги нутқни таниб олиш тизимини ишлаб чиқишда мавжуд барча услуб ва ёндашувларни самарали қўллаш имконини беради. Нутқ сигналининг акустик параметрларини ҳисоблаш юқорида тавсифланган деярли барча усуллар сигналларга ишлов беришнинг маълум математик компьютер кутубхоналари орқали амалга оширилиши мумкин [50].

Нутқни локал таниб олишда яширин Марков модели. Айни пайтга келиб яширин Марков модели нутқни таниб олишнинг оммалашган усулларидан бири бўлиб қолмоқда [25, 15]. Яширин Марков модели чуқур математик тузилмага эга бўлганлиги учун нафақат нутқни таниб олишда, балки турли соҳалар тасодифий жараёнларини тадқиқ этишда назарий асос бўлиб хизмат қилмоқда [26]. Яширин Марков модели орқали нутқни таниб олиш масаласидан ташқари турли халақит ва шокларга эга бўлган сигнал сифатини ошириш, нутқ сигнали манбасини моделлаштириш, суҳбат тузилмасини оптималлаштириш каби масалаларни ҳам ечиш мумкин. Нутқни таниб олишнинг мавжуд тизимларининг катта қисми яширин Марков моделига асосланган бўлиб, суҳандонга боғлиқ бўлмаган ёпишган нутқни таниб олиш учун ҳам қўллаб самарали усуллари таклиф этилган. Бундан ташқари, Support Vector Machines [10], нутқни вейвлет таҳлили [11] ва инсон эшитишини моделлаштириш тизимлари ҳам нутқни автоматик таниб олиш да қўлланилади. Бироқ, бу технологиялар нутқни таниб олиш замонавий тизимларида оммалашмаган.

Нутқни локал таниб олиш усуллари шартли равишда иккита катта гуруҳга ажратилади [12]. Булар параметрик ва параметрик бўлмаган, яъни эталонларга яқинликнинг параметрик бўлмаган ўлчовлари ёрдамида аниқлашдир.

Нутқни автоматик таниб олишнинг дастлабки қурилмалари [30, 32, 33] аналог сигналларга асосланган бўлиб, уларда бўсағали мантиқдан фойдаланилган. Шунинг учун улар тор доирали бўлиб, юқори ишончликка эга бўлмаган. Талаффуз қилинган сўзлар матни фонетик транскрипциясининг ҳосиласи сифатида нутқ лингвистик назарияси пайдо бўлгандан сўнг таниб олишда фонетик сегментация усули қўлланила бошланди [39, 45]. Бироқ кейинчалик бу масалани автоматик ҳал қилиш мураккаблиги маълум бўлди.

Навбатдаги босқич нутқ сигналлари тўпламидаги яқинлик ўлчовларига асосланган нопараметрик ёндашувларни ривожлантириш бўлди. Итакура ва бошқалар томонидан ишлаб чиқилган динамик дастурлаш [1, 35] усулига асосланган Винцокнинг ёндашуви эталон сигналлар учун яқинлик функцияси қийматларини ҳисоблаш вақтини экспоненциалдан квадратгача камайтиришга имкон берди [5, 6].

Мазкур усулнинг асосий ўзига хос хусусияти таққосланаётган функциялардан бирини вақт ўқининг ночизикли бузилиши сабабли усул "вақтнинг динамик деформацияси" (ВДД) деб номланди. ВДД усулининг яққол афзалликлари сифатида уни амалга ошириш ва ўқитишнинг соддалиги келтириш мумкин. Унинг

асосий камчиликлари яқинлик ўлчовини ҳисоблаш мураккаблиги ва буйруқ эталонларини сақлаш учун зарур бўлган катта ҳажмдаги хотира талаб қилиши ҳисобланади.

Ҳозирги вақтда нутқни локал таниб олиш масаласида қўлланиладиган усуллар дастлабкиси 1970-йилларда бир қатор америкалик тадқиқотчилар томонидан таклиф этилган. Булар Бейкер - СМУ - "Драгон" тизими [23, 48] ва Желинек - IBM [7] тизимларидир. Бунда Баум ва унинг ҳамкасблари томонидан ишлаб чиқилган яширин Марков моделлари (ЯММ) назариясини қўлланилган [26, 40, 42, 17, 25]. Яширин Марков моделлари икки карра стохастик жараёнлар - ҳолатлар орасидаги ўтиш учун Марков занжирлари [15] ва занжирнинг ҳар бир ҳолатидаги стационар жараёнлар тўпламидан ташкил топади. Моделларни ўқитиш ва ЯММ чиқишида сўзни кузатиш эҳтимолини ҳисоблаш учун динамик дастурлаш усули, кўпинча олдинга-орқага алгоритмлари [25], Баума-Уэлч ёки EM-алгоритм [31], Витерби [44, 20] алгоритмлари қўлланилади. ЯММ усулининг афзалликлари ВДД усули билан таққослаганда масофа функцияси қийматларини ҳисоблаш анча тезкор усули, буйруқлар эталонларини сақлаш учун зарур бўлган хотира миқдоридир. Асосий камчиликлари эса уни амалга оширишнинг жуда мураккаблиги ва ЯММ параметрларини ўқитиш учун катта фонетик мувозанатли нутқ корпусларидан фойдаланиш зарурати ҳисобланади. ВДД ва ЯММ усуллари жуда кўп умумий хусусиятларга эга бўлиб, улар бир хил ёндашувнинг турли хил тадбиқ этилишидир [36].

Марков занжирларини умумлаштириш натижаси ЯММ бўлиб, у эҳтимоллик автомати тушунчаси билан чамбарчас боғлиқдир. Эҳтимоллик автоматлари дастлаб 1963 йилда Ж.Карлайл [27] ва ундан мустақил равишда 1964 йила Р.Бухороев [3] ва 1965йилда П.Старке [43] томонидан умумий кўринишда таклиф этилган. Амалий жиҳатдан эҳтимоллик автомати чекланган хотирали эҳтимоллик қонунлари асосида маълумотларни қайта ишлашга йўналтирилган қурилма ҳисобланади [4]. Яширин Марков моделлари эҳтимолли автоматларнинг хусусий ҳолидир, яъни у киришга эга бўлмаган эҳтимоллик автоматидир. Нутқни таниб олиш тизимларида қўлланиладиган ЯММлари қўшимча равишда автомат ишининг ҳар бир циклида жорий ёки ундан юқори рақамга эга бўлган ҳолатга ўтиш хусусиятига эга. Бундай моделлар Бакис [24, 7] томонидан биринчилардан бўлиб таклиф этилган ва бундай моделлар чап-ўнг ёки Бакис моделлари деб номланади. Ушбу моделларга мос эҳтимолли автоматларни монотон деб аташ [13] ишда таклиф этилган.

Яширин Марков моделлари усули эҳтимоллик автоматлари орқали ифодаланиши мумкин [13]. Қуйида эҳтимолли автоматларнинг хусусий холи кўриб чиқилади. Бунда дастлабки, яъни бошланғич ва якуний ҳолатлар берилган, автоном ёки киришсиз монотонли Мур автоматлари, бунда чиқиш ва кейинги ҳолатга ўтиш мустақил равишда амалга оширилади.

Бошланғич автоном монотон эҳтимолли Мур автомати олтиликдан иборат, яъни $A = \langle C, Q, \pi, P, \nu_0 \rangle$, бу ерда C - чекланган чиқиш алифбоси ($|C|=k$), Q - ҳолатларнинг якуний алифбоси ($|Q|=m$), π - $m \times m$ ўлчамли стохастик матрица, π_{ij} ҳолати q_i ҳолатидан q_j ҳолатига ўтиш ва $i > j$ бўлганда $\pi_{ij} = 0$ ва $i = j = m$ бўлганда $\pi_{ij} < 1$, $i = j$ бўлганда P - $m \times k$ ўлчамли стохастик матрица бўлиб, бунда P_{ii} q_i - ҳолатига c_i ҳарфини бериш эҳтимолиги, $\nu_0 = (1, 0, \dots, 0)$ - m узунликдаги вектор бўлиб, у q_1 - бошланғич ҳолат ҳисобланади, $\nu_F = (0, 0, \dots, 0, 1)^T$ - узунлиги m га тенг бўлган устунли вектор, яъни q_m - автоматнинг охириги ҳолатидир.

А монотон автомат $c_1 c_2 \dots c_n$ сўзни чиқарган деб ҳисобланади, агар автомат q_1 ҳолатида ишлай бошлаган бўлса ва бу ҳолатда $(P_{11}, P_{12}, \dots, P_{1k})$ эҳтимоллик тақсимотиға мувофиқ c_1 ҳарфини чиқарган бўлса, кейин $(\pi_{11}, \pi_{12}, \dots, \pi_{1m})$ эҳтимоллик тақсимотиға кўра кейинги ҳолатга ўтган бўлса ва ҳоказо, ниҳоят, q_{i_n} ҳолатида бўлганида, у бу ҳолатдаги эҳтимолликлар тақсимотиға биноан c_n ҳарфини чиқарган ва $\pi_{i_n m}$ эҳтимоллиги билан q_m охириги ҳолатга ўтган ва ишини якунлаган бўлса. Бундай ҳолда, автоматнинг $\gamma = c_1 c_2 \dots c_n$ сўзни чиқариш эҳтимоли (*) формула билан ҳисобланади, бу ҳар қандай автоном эҳтимолли автомат учун маънога эга [4]:

$$pA(\gamma) = \sum_{\substack{\bar{q} = q_1 q_2 \dots q_{n-1} \\ v_F(q_{n-1})=1}} P(\gamma | \bar{q}) = \sum_{\substack{\bar{q} = q_1 q_2 \dots q_{n-1} \\ v_F(q_{n-1})=1}} v_0(q_i) P_{i_1}(c_1) \pi_{i_2} \dots P_{i_n}(c_n) \pi_{i_{n+1}} = v_0 M(\gamma) (v_F)^T, \quad (1)$$

бу ерда $M(\gamma) = M(c_1) M(c_2) \dots M(c_n) = \pi_{ij} P_{ij}$.

(1) ни ҳисоблаш учун зарур бўлган амаллар сонини динамик дастурлаш усули ёрдамида камайтириш мумкин [1]. Автомат томонидан сўз чиқиш эҳтимоллигини ҳисоблашнинг ушбу алгоритми олдинга-орқага юриш алгоритми деб аталади [17]. Ҳисоб-китобларни тезлаштириш мақсадида дастлабки ҳолатдан якуний ҳолатга олиб борувчи барча ҳолатлар занжирлари учун эҳтимолликларни ҳисоблаш ўрнига, улар кўпинча маълум бир чиқиш сўзи учун максимал эҳтимоллик билан занжирни топадилади ва бу эҳтимолликни қидирилайётган эҳтимоллик деб олинади [20]. Ушбу ёндашувнинг назарий асослари номаълум бўлишига қарамай, у сезиларли даражада вақтдан ютишни таъминлайди, бу эса ушбу усулни оммалашшига олиб келди.

Нутқни локал таниб олиш босқичидаги алоҳида ва энг ноанъанавий масала – бу монотон эҳтимолли автоматнинг синтези масаласи ҳисобланади. Ушбу масалани қўйилишини ва усуларини тушунтириш учун нутқни локал таниб олиш масаласини ҳал қилишга эҳтимолли автоматларини тадбиқ этиш мазмунини тўлиқ очиб бериш талаб этилади [46].

Фараз қилайлик, бизга ихтиёрий луғатдаги бирор бир сўзининг $b_1 b_2 \dots b_n$ транскрипцияси берилган бўлсин. Бу транскрипцияси асосида берилган сўзнинг талаффузи қуйидагича ифодалайдиган трифонлар кетма-кетлигини куриш мумкин, яъни $b_1 b_2$, $b_1 b_2 b_3$, $b_2 b_3 b_4$, \dots , $b_{n-2} b_{n-1} b_n$, $b_{n-1} b_n$. Табиий тилда ҳар бир трифон билан стандарт тўрт ҳолатдан иборат монотон эҳтимолли автомат кўринишидаги эталонлар таққосланади, шунинг учун ҳар бир трифоннинг барча мумкин бўлган талаффузларининг товуш сигналлари ушбу эҳтимоллик автомати томонидан яратилган сўзлар сифатида қаралади. Табиий тил сўзлари учун стандарт эҳтимолли автоматлари кетма-кет трифонларнинг мос келадиган автоматларини кетма-кет боғлаш йўли орқали ҳосил қилинади. Бунда барча автоматларнинг (охиргисидан ташқари) якуний ҳолатлари, навбатдаги трифоннинг биринчи ҳолатиға бириктирилади.

Эҳтимоллик автоматини ўқитиш автоматнинг маълум сондаги ҳолатлари учун P ва π матрицаларини ўзгартиришни ўз ичига олади. Бунда чиқиш сўзларининг маълум бир чекланган тўплами (ўқув танланмаси) учун автомат параметрлари (P ва π матрицалари) қийматларининг дастлабки тахминий яқинлашуви учун, яъни якуний ушбу автоматнинг ҳар бир ўқув танланмасининг сўзларини чиқариши эҳтимоли оширадиган (ёки ҳеч бўлмаганда камаймадиган) ҳолатга ўтиши учун уларнинг қийматлари ўзгартирилади. Ушбу масалани ҳал

қилиш учун бир қатор алгоритмлар мавжуд бўлиб, улар чекли қадамларда ўқув танланмасида эҳтимолликни ҳисоблаш учун маълум (локал) функционал максимумини топишга имкон беради. Ушбу усуллардан энг кенг тарқалгани *EM* алгоритми ёки Баум-Уэлч алгоритми [31].

Монотон эҳтимолли автоматлар ёрдамида нутқни локал таниб олиш эталонлар билан таққослаш усули орқали амалга оширилади. Эталон эҳтимолли автоматларнинг ҳар бири нутқ сигналининг таниб олинадиган нутқ қисми чиқариш эҳтимолликлари ҳисобланади ва бу эҳтимолликни максимал қийматига эриштирган автомат танланади. Таниб олиш натижаси сифатида танланган автоматга мос келган сўз олинади.

Яширин Марков моделлари усулини қўллаш асосидаги тахминларни бажарилиши масалалари очиқ ҳисобланади. Шунга қарамай, амалиёт модел адекват эмаслигига қарамай, ушбу усул яхши натижалар таъминлашини кўрсатди.

Фонетик алифбони танлаш. Фонетик алифбо нутқни локал таниб олишнинг асоси ҳисобланади. Юқорида таъкидланганидек, тилнинг ҳар бир трифонини тўрт ҳолатли монотон эҳтимолли автомат орқали моделлаштириш мумкин. Шунинг учун нутқ корпусига асосланган ҳолда ўқитиш жараёнида созланиши зарур бўлган автомат параметрларининг умумий сони товушлар сонига, яъни фонетик алфавит кувватига чизикли боғлиқ бўлиб, унинг ҳажмининг камайиши нутқ маълумотлар базаси ҳажмига бўлган талабларнинг пасайишига олиб келади. Бошқа томондан, алифбо қисқартирилганда локал таниб олиш жараёнида муҳим бўлганлари ҳам чиқариб юборилиши мумкин. Бунда таниб олиш сифатида зарар етказмасдан фонетик алфавитнинг ҳажмини минималлаштириш алифбода фақат инсон нуқтаи назаридан товушга энг яқин бўлган товушларни аниқлаш орқали амалга оширилиши керак.

Автоном эҳтимолли автоматлар тўпламида, уларнинг ёрдамида товушлар ва уларнинг бирикмалари самарали моделлаштирилган ҳолда, таниб олиш пайтида сўзларни “чалкаштириб юбориш” эҳтимоли билан чамбарчас боғлиқ бўлган метрикани киритиш мумкинлиги кўрсатилган, яъни табиий тил сўзларининг “эшитилиш” яқинлиги билан аниқланувчи метрикадан фойдаланиш мумкин. Ушбу метрика муаллифлар томонидан АКШнинг Intel Corporation фирмаси гранти доирасида русча нутқни таниб олиш тизимини ишлаб чиқишда фонетик алфавитни оптимал танлаш масаласини ҳал қилишда самарали фойдаланилган. Метрикадан фойдаланиб, рус тилидаги фонемалар орасидаги жуфтлик масофаларининг матричаси тузилди. Улар русча нутқ маълумотлар базаси асосида синтез қилинган автоном эҳтимолли автоматлар кўринишида тақдим этилди. Рус тили учун 150 та фонемик белгининг алфавитини [9] таниб олиш пайтида аниқликни йўқотмасдан 120 та белгигача қисқартириш мумкинлиги кўрсатилган.

Қондаларга биноан рус тилидаги матнларнинг автоматик фонетик транскриптори русча нутқни таниб олиш тизимини ишлаб чиқишнинг муҳим бир элементиدير. Нутқ маълумотлар базасининг белгиланган қисмини эҳтимолли автоматлар параметрларини – фонемалар эталонларини ўқитиш 78чу насос сифатида қуришда, ушбу акустик маълумотларга мос келадиган матнларнинг транскрипцияларини қуриш керак. [45, 46] иш муаллифлар ўз параметрлари бўйича рус тили учун мавжуд транскрипция тизимлари билан таққосланадиган шундай транскриптор яратдилар.

Матн ва нутқ маълумотлар базалари. Айна пайтда нутқни таниб олиш тизимларини яратишдаги асосий муаммо нутқни таниб олиш алгоритмларини яратиш эмас, балки тилнинг акустик моделини яратиш ҳисобланади. Тил моделлари параметрларини ва тилнинг фонетик бирликлари эталонларини ўқитишда асос сифатида созлаш учун етарлича катта ҳажмдаги матн ва нутқ маълумотлар базалари талаб этилади. Замонавий тилда учрайдиган барча сўзлар ва

лингвистик ибораларни, она тилида сўзлашувчиларда мавжуд бўлган овоз ва акцент турларини диққат билан кўриб чиқиш керак. Россиялик олимлар томонидан олиб борилган тадқиқотлар мавжуд русча матн ва нутқ корпусларининг параметрларини баҳолашга имкон берди ва улар матнли маълумотлар базаларини ўрганиш натижалари ягона жадвалда умумлаштиришди.

Нутқ маълумотлар базалари - бу сўзлар, иборалар, жумлаларнинг турли хил суҳандонлари томонидан ёзилган аудиоёзувлар тўпламидир. Базани яратишда сўзлар ёки биргаликда талаффуз қилиниши мумкин. Нутқ корпусидаги ҳар бир жумла одатда фонетик транскрипция билан бирга келади. Ёзиб олиш параметрлари ҳам бошқача бўлиши мумкин - тор полосали телефон ёзувларидан (моно, намуна олиш тезлиги 8 кГц, ҳар бир намунага 8 бит) ва кенг полосали микрофондан (моно, 22 кГц, ҳар бир намунага 16 бит) синхрон кўп каналли ёзувларга (телефон + микрофон, бир нечта микрофон ва ҳ.к.). Телефондаги сўзлашув нутқни таниб олиш тизимини яратиш учун тор полосали маълумотлар базалари, кенг полосали маълумотлар базалари эса компьютер матнли диктант тизимларини тайёрлашда қўлланилади.

Корпуснинг ҳажми иккита муҳим параметр - суҳандонлар сони ва корпус товушининг умумий давомийлиги орқали тавсифланади. Бунда ёш, жинс, диалект ва бошқалар акс эттирилиши керак. Корпуснинг умумий давомийлиги намунанинг етарлича вакилликни таъминлаши шарт. Бу эҳтимолли автоматлар параметрларини юқори сифатли ўқитиш имконини беради.

Нутқ корпусининг асосини ташкил этадиган матнли маълумотлар базасида фонетик жиҳатдан мувозанатланган жумлалар, яъни ўртача, тилнинг барча товушлари ва трифонлари тенг равишда ифодаланган жумлаларни ўз ичига олиши муҳимдир. Бундан ташқари, матнлар одатда оғзаки диалогнинг ва ёзма нутқнинг иккала қисмини ҳам ўз ичига олади. Ҳар қандай таниб олиш тизимининг муҳим элементи бу рақамлар ва рақамлар кетма-кетлигини таниб олиш бўлиб, маълумотлар базасининг рақамлар тўпламига мос келадиган қисми ҳам мавжуд бўлиши ва ҳажми жиҳатидан етарлича катта бўлиши керак.

Эҳтимолли автоматларини ўқитиш трифонлар даражасида содир бўлганлиги сабабли, ўқитиш алгоритмининг кириш қисмига алоҳида товушлар билан белгиланган нутқ сигналлари берилиши керак. Нутқ ёзувларини фонетик белгилаш жуда кўп вақт талаб қиладиган меҳнат бўлиб, юқори малакали мутахассисларнинг ишини талаб қилади. Бунда тўлиқ маълумотлар базасини фонетик белгилаш талаб этилмайди, фақат унинг бир қисмини белгилаш кифоя, сўнгра корпуснинг қолган қисмини автоматик белгилаш учун Витерби алгоритмидан фойдаланилади.

Айни пайтда бир нечта тиллардаги нутқ корпуслари мавжуд ва улар юз соатдан ортиқ ва суҳандонларнинг умумий сони бир неча мингтани ташкил этади. Бироқ, ушбу маълумотлар базаларида фонетик белгилаш бажарилган қисмлар мавжуд эмас.

Кенг полосали нутқ маълумотлар базаларида вазият бироз ёмонроқ. Чунки ҳажми бўйича энг катта маълумотлар базаси атига 50 соатни ташкил этади ва бунда 200 дан кўпроқ суҳандонлар иштирок этишган. Шунга қарамай, ушбу частота диапазонида фонетик жиҳатдан белгиланган таркибий қисмлар умуман корпус ҳажмига нисбатан сезиларли ҳажмга эга бўлган нутқ корпуслари мавжуд.

Таниб олиш тизимларининг яхши натижаларига камида 80-100 соатли нутқ корпуслари орқали ўқитишдан сўнг эришиш мумкинлиги [34] ишда кўрсатиб ўтилган. Ўзбек тилидаги товушлар сони бошқа тилидаги товушлар сонидан нисбатан кўп. Шунинг учун ҳозирги кунда кенг полосали диапазонда ёзилган ўзбекча нутқ маълумотлар базалари етишмайди.

Фаразлар графини қайта кодлаш. Нутқни локал таниб олиш нутқ сигналининг ҳар бир алоҳида сегменти учун ушбу сегмент табиий тил сўзининг талаффузи эканлиги ҳақидаги фаразни синаб кўришга имкон беради. Бирор иборани (жумла, кетма-кет жумлалар гуруҳи) талаффузига мос келадиган сигналнинг барча мумкин бўлган бўлақларини сегментларга ажратиб кўриб чиқиш ва бундай сегментларни локал таниб олиш масаласини ҳал қилиш мумкин. Ҳар бир нутқ сигналининг ҳақиқий сонларнинг чекланган вектори сифатида таниб олиш натижаларига зарар етказмасдан кўриб чиқиш мумкин [13]. Мумкин бўлган сигнал бўлақлари орасидан танлаб олиш ва фақатгина етарли даражада юқори эҳтимолликка эга бўлганларни таниб олиш амалга оширади. Сўнг анъанавий равишда таниб олинаётган фаразларнинг графини сифатида ифодаланадиган сигналларни аниқлашнинг мумкин бўлган фаразлари тўпламини олаемиз.

Фаразлар графини, одатда, ҳар бир қирраси тилдаги баъзи бир сўзларга мос келадиган ва ушбу сўзнинг эҳтимоллиги билан тўлдирилган иккита белгиланган чўққи (кутб) билан йўналтирилган циклик бўлмаган йўналтирилган графидир. Ушбу графининг бир кутбиди ("бошланғич" чўққи) фақат чиқувчи қирралар, бошқасида ("охирги" чўққи), аксинча, фақат кирувчи қирралар мавжуд.

Декодлаш масаласи "бошланғич" чўққидан "охирги" томон ўтадиган ва куйидаги хоссани қаноатлантирадиган йўналтирилган йўлни танлашдан иборат: бу йўлга мос келадиган сўзлар кетма-кетлиги табиий тил жумласидир ва бу йўлнинг эҳтимоллиги максималдир. Ушбу вазифа тилнинг формал моделини жорий этишни талаб қилади, бу сўзларнинг бирон бир кетма-кетлиги тилга тегишли ёки йўқлигини текширишга имкон беради.

Тилга тегишли бўлиш бу ерда анъанавий равишда, тўпламга тегишли ёки тилга тегишли бўлиш эҳтимоллигини ҳисоблаш функцияси сифатида тушунилади. Иккинчи ҳолда, "бошланғич" чўққидан "охирги" томон йўлнинг эҳтимоллиги ушбу йўлни ташкил этувчи барча қирраларга берилган эҳтимолликлар ва тил моделидаги сўзлар кетма-кетлигининг мос келадиган йўлининг ҳосиласи сифатида аниқланади.

Тил моделлари ва уларни нутқни таниб олишда қўлланш. Табиий тил – бу тил ташувчиларнинг кўп асрлик параллел ишлаши натижасидир. Бу тасодифий сўз бирикмаларидан ва формал тузилган тиллардан тубдан фарқ қилади. Табиий тилнинг асосий хусусиятларидан бири бу бузилган нутқни тушунишга имкон берадиган маълумотлар кўплиги ҳисобланади. Ушбу жараёни формаллаштириш катта ҳажмдаги матнларни таҳлил қилиш орқали амалга оширилади (шунда лингвистик хусусиятларни аниқлаш мумкин). Бундай ҳолатларда матнли маълумотлар базаларида частотавий характеристикаларнинг турли хил қўлланилишини тадқиқ қилиш табиийроқ ҳисобланади.

Табиий тил моделлари 19-аср охирида математикларда қизиқиш уйғотди. Андрей Андреевич Марков рус тилини статистик тадқиқ қилиш жараёнида Марков занжири тушунчасини киритган деб ҳисобланади [15, 16]. Тил моделларини яратиш назариясининг кескин ўсиши иккинчи жаҳон уруши тугаганидан кейин пайдо бўлди ва машинали таржима мавзуси билан боғлиқ эди. Машинали таржима масаласи биринчи марта 1946 йилда ишлаб чиқилган (Бут, Уивер). 1954 йилда Жоржтаун университетидида машинали таржима қилиш бўйича биринчи тажриба ўтказилди [38]. Табиий тилларни таҳлил қилишда таркибий тилшуносликнинг янги йўналиши - генератив тилшуносликнинг асосчиси бўлган Н. Хомский асарлари катта ҳисса қўшди [28, 29]. 1966 йилда Қўшма Штатлар Миллий Фанлар Академияси кўмитаси машинали таржима тизимларида фойдаланиш фойдасиз деган хулосага келди ва дунё бўйлаб бу йўналишдаги ишлар сусайиб борди. Бироқ, ўша вақтга келиб, бу соҳада аллақачон етарли билан тўшланган эди.

Машинали таржима тизимларида ишлатиладиган тил моделлари лингвистик билимларга асосланган бўлиб, сўз занжирининг тилга мансублигини таҳлил қилиш бутун сўз занжирини бир бутун сифатида таҳлил қилиш йўли билан амалга оширилганлиги нуқтаи назаридан изчил бўлмаган. Нутқни таниб олиш, аксинча, ҳар бир янги киритилган сўз учун ҳосил бўлган сўзлар кетма-кетлигининг тилга тегишлилигини (тегишли бўлиш эҳтимоли) аниқлашга имкон берадиган бундай моделларни талаб қилади.

Ҳозирги вақтда табиий тилнинг формал моделларини қуришда қуйидаги ёндашувларни ажратиб кўрсатиш мумкин, яъни дискрет ва статистик моделлар.

Ҳозирги вақтда нутқни таниб олиш тизимлари учун тил моделларини тузишда асосий ёндашув статистик усуллардан фойдаланиш ҳисобланади. Бундан ташқари, ушбу маънода модел шунчаки тилнинг барча жумлалари тўпламига нисбатан эҳтимоллик тақсимотидир. Табиийки, ушбу шаклда моделни сақлашнинг иложи йўқ, шунинг учун созлашнинг ихчам усуллари қўлланилади.

n – граммларга асосланган тил моделлари жумлага кейинги сўзнинг пайдо бўлиш эҳтимоли фақат олдинги $n - 1$ сўзларга боғлиқ деган тахминни қўллайди. Амалда моделлар $n = 1, 2, 3$ ва 4 учун ишлайди. Ушбу синфнинг инглиз тили учун энг муваффақиятли модели бу триграм моделидир. Барча янги моделлар деярли ҳар доим триграм моделига нисбатан баҳоланади. Бугунги кунда деярли барча тижорий нутқни таниб олиш тизимлари n -граммли моделдан у ёки бу шаклда фойдаланмоқда. Бундай ҳолда, бутун жумланинг эҳтимоли унга киритилган n -грамм эҳтимоллиги кўпайтмаси сифатида ҳисобланади. Ушбу синф моделларининг асосий афзаллиги - бу етарлича катта ҳажмдаги ва юқори иш тезлигидаги ўқув корпусига асосланган моделни яратиш қобилиятидир. Асосий камчиликлари - бу кейинги сўзнинг эҳтимоли узоқроқ тарихдан мустақиллиги тўғрисида нотўғри тахмин бўлиб, бу ишни қийинлаштиради ва тилда чуқурроқ боғлиқликларни моделлаштиришга имкон бермайди; жуда катта, аммо ишончли маълумотларни олиш учун етарли бўлмаган эмас, ўқув маълумотларининг ҳажми. Дарҳақиқат, агар луғатда N сўз мавжуд бўлса, унда сўз бирикмаларининг сони N^2 бўлади. Ҳатто уларнинг атиги $0,1$ фоизи ушбу тилда топилган бўлса ҳам, статистик жиҳатдан ишончли тахминларни олиш учун талаб қилинадиган корпуснинг минимал ҳажми 125 миллиард сўз ёки махсус танланган корпус билан тахминан 1 терабайт ҳажмда бўлади. Триграммлар учун энг кичик корпуслар юзлаб ва минглаб терабайтдан иборат бўлади [8].

Ушбу камчиликни бартараф этиш учун модел параметрларини етарли бўлмаган ёки умуман йўқ шароитларда баҳолашга имкон берадиган такомиллашган силлиқлаш техникаси аппарати қўлланилади. Худди шу масалани ҳал қилишнинг яна бир ёндашуви бу моделни қисқартириш учун сўз бирикмаларидир.

Статистик тил моделларининг сифатини таҳлил қилиш учун, [22] ишда фойдаланилган ноаниқлик коэффиенти деб аталадиган, бу моделдаги (геометрик) ўртача тармоқланиш деб талқин қилиниши мумкин [34].

n -граммли модел учун ноаниқлик коэффиенти қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$perplexity = \left(\sqrt[N]{\prod P(\omega_k | \omega_{k-1} \dots \omega_{k-n+1})} \right)^{-1},$$

бу ерда $\omega_{i_1} \omega_{i_2} \dots \omega_{i_N}$ – бу маълум бир матн корпуси томонидан аниқланган табиий тил.

Ноаниқлик коэффиенти қурилган тил модели ва тил (ва матн корпуси) функцияси эканлигини кўриш осон. Шундай қилиб, ўзгармас тил билан, у турли

хил тил моделларини таққослашга имкон беради ва ўзгармас модел тури билан табиий тилларнинг ўзларининг мураккаблигини баҳолашга имкон беради.

[21] иш муаллифлари томонидан мавжуд моделларнинг рус тилига қўллаш бўйича тадқиқотларни олиб борилган. Бунда қуйидаги моделлар синовдан ўтказилган: стандарт n -грамм ($n = 2$ ва 3 учун) ва сўзларнинг эркин тартиби билан n -грамм. Тажрибалар учун маълум бир матн корпуси учун n -граммларнинг тўлиқ рўйхатини тузиш, силлиқлашдан фойдаланиш, жумлалар эҳтимоллигини ҳисоблаш, синов корпусининг ноаниқлик коэффиценти ва бошқаларни яратишга имкон берувчи дастурий таъминот тўплами ишлаб чиқилган ва 150 минг асосли луғат назорати остида ишлайдиган рус тилидаги матнларни морфологик таҳлил қилиш тизими ҳам яратилган. Бунда энг содда тил моделини текширишда (n -грамм $n=2$ билан) 100 миллион сўздан иборат корпусда бирма-бир юзага келган сўз жуфтлари сони 92% дан кўп бўлганлиги ва ноаниқлик коэффиценти 500 дан ошгани аниқланган ва рус тилига стандарт статистик ёндашувни қўллаш мумкин эмаслиги тўғрисида тасдиқ тасдиқланган. Шундан сўнг яна иккита ёндашув синовдан ўтказилган. Биринчи ёндашув - сўзларнинг эркин тартиби билан n -граммдан фойдаланиш - грамматик маълумотлардан сўзлар тартибини олиб ташлашга, иккинчиси - кўплаб сўз шакллари билан боғлиқ қийинчиликларни енгишга қаратилган.

Эркин сўз тартиби n -грамм қуйидагича киритилади. Классик n -грамм $P(\omega_{i_k} | \omega_{i_{k-1}} \dots \omega_{i_{k-n+1}})$ эҳтимолликлар $P(\omega_{i_k} | \{\omega_{i_{k-1}} \dots \omega_{i_{k-n+1}}\})$ эҳтимолликлар билан алмаштирилади, бу ерда фигурали қавслар тўпلامни билдиради, яъни тил модели n -граммдаги биринчи $n-1$ сўзнинг тартибини ҳисобга олмайди. Ушбу модификациянинг сезиларли яхшиланишга олиб келмаслиги кўрсатилган.

Иккинчи ёндашув умумий тил моделининг икки таркибий қисмга ажралишига асосланган эди: морфологияга асосланган модел ва сўзларнинг бошланғич шаклларига асосланган модел. Кейинчалик ушбу моделларнинг ҳар бирига n -грамм ёндашуви қўлланилди. Фақат морфологиядан фойдаланган ҳолда модел (биз уни тил моделининг категорик қисми деб атадик) $n=3$ учун қурилган бўлиб, натижада ушбу модел учун ноаниқлик коэффиценти 21,93 ни ташкил этди. Сўзларнинг бошланғич шаклларига асосланган n -грамм тил модели грамматиканинг иккинчи компоненти сифатида қабул қилинди. Тажрибалар натижасида ушбу моделдаги ноаниқлик коэффиценти инглиз тилига нисбатан тахминан 2-2,5 баравар юқори эканлигини аниқлаш мумкин эди (бизнинг моделimizда тахминан 230 га, [41] ишда 100 га тенг).

Ушбу ёндашувни қўллаш ишлаб чиқувчиларга n -грамм моделларининг ўзбек тилига нисбатан барча афзалликларидан фойдаланишларига имкон беради ҳисоблаймиз. Бундан ташқари, морфологик маълумотни мустақил моделга тақсимлаш бир сўзнинг турли хил сўз шакллариининг акустик ўхшашлиги масаласини энгишга имкон беради. Масаланинг ечимини таклиф қиладиган сўз шакллари сони етарлича кўп бўлган кўплаб тиллар учун, масалан, славян гуруҳининг тиллари учун самарали қўлланилиши мумкин.

Хулоса. Ҳозирги вақтда ўзбек тилидаги узлуксиз нутқнинг тўлиқ матнли таниб олувчисини яратиш учун барча шароитлар етарли. Ўзбек тилидаги нутқни таниб олишнинг ўзига хос хусусияти бошқа тилидаги нутқни таниб олиш тизимларида муваффақиятли қўлланиладиган n -грамм тил моделларининг қўлланилмаслиги ҳисобланади. Ўзбек тилининг тил моделларини ишлаб чиқиш ва уларни текшириш ҳамда амалда қўллаш билан ушбу муаммо ҳал этилиши лозим. Узоқ йиллар давомида ушбу йўналишдаги яна бир тўсиқ - бу ўзбек тилидаги матн ва нутқ маълумотлар базаларининг мавжуд эмаслигидир. Сўнгги йилларда бундай маълумотлар базаларини яратиш бўйича мамлакатimizда ҳам кенг қамровли ишлар бошланди, аммо уларнинг умумий ҳажми ҳали ҳам етарли эмас. Бундан

ташқари, нутқни таниб олиш тизимини яратиш ушбу ишланмалар учун етарлича молиялаштириш амалга оширилмаса имконсиз ҳисобланади.

Маълумотларга ишлов бериш тизимлари лабораториясида сўнги 10 йил ичида нутқ тимсолларини таниб олиш ва синтез қилиш соҳасида амалий тизимларни яратиш билан шуғулланадиган олимлар, тадқиқотчилар ва ишлаб чиқувчилар гуруҳи мавжуд. Бундан ташқари, лаборатория маҳаллий ва хорижий ҳамкорлар билан ҳамкорлик доирасида ҳамда буюртмачилар ва ишлаб чиқувчилар билан мулоқот учун очиқдир.

ФҲЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. Беллман Р. Динамическое программирование. М.: ИЛ, 1960.
2. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. М.: Мир, 1974. С. 372, 342, 368.
3. Бухараев Р.Г. Некоторые эквивалентности в теории вероятностных автоматов // Уч. записки Казан. университета. Вып. 124. 1964. №2. С. 45–65.
4. Бухараев Р.Г. Основы теории вероятностных автоматов. М.: Наука, 1985.
5. Винцюк Т.К. Анализ, распознавание и интерпретация речевых сигналов. Киев: Наукова думка, 1987.
6. Винцюк Т.К. Распознавание слов устной речи метинсони динамического программирования // Кибернетика. 1968. №1. С. 81–88.
7. Желинек [Елинек] Ф. Распознавание непрерывной речи с помощью статистических методов // ТИИЭР. 1976. Т. 64. №4. С. 131–160.
8. Бабин Д.Н., Мазуренко И.Л., Холоденко А.Б. Захаров Л.М. О перспективах создания системы автоматического распознавания слитной устной русской речи // Интеллектуальные системы. Вып. 1–4. 2004. Т. 8. С. 45–70.
9. Зиновьева Н.В., Захаров Л.М., Кривнова О.Ф., Фролов А.Ю., Фролова И.Г. Автоматический транскриптор // АРСО-92.
10. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. М.: Наука, 1989.
11. Кудрявцев В.Б., Алешин С.В., Подколзин А.С. Введение в теорию автоматов. М.: Наука, 1985.
12. Левинсон С.Е. Структурные методы автоматического распознавания речи // ТИИЭР. Ноябрь 1985. Т. 73. №11. С. 100–128.
13. Мазуренко И.Л. Автоматные методы распознавания речи: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 2001.
14. Мазуренко И.Л. Компьютерные системы распознавания речи // Интеллектуальные системы. Вып. 1–2. М., 1998. Т. 3.
15. Марков А.А. Пример статистического исследования над текстом «Евгения Онегина», иллюстрирующий связь испытаний в цепь // Известия Академии наук. VI. Спб., 1913. Т. 7. №3. С. 153–162.
16. Марков А.А. Об одном применении статистического метода // Доклад в Академии наук от 17 февраля 1916 года.
17. Рабинер Л.Р. Скрытые марковские модели и их применение в избранных приложениях при распознавании речи: обзор // ТИ-ИЭР. Февраль 1989. Т. 77. №2.
18. Рабинер Л.Р., Шафер Р.В. Цифровая обработка речевых сигналов / Пер. с английского. М.: Радио и связь, 1981.
19. Фант Г. Акустическая теория речеобразования / Под ред. Григорьева. В.С. М.: Наука, 1964.
20. Форнимл Дж.Д. Алгоритм Витерби // ТИИЭР. 1973. Т. 61. №3. С. 12–25.

21. Холоденко А.Б. О построении статистических языковых моделей для систем распознавания русской речи // Интеллектуальные системы. Вып. 1–4. Т. 6. 2001. С. 381–394.
22. Bahl L.R., Baker J.K., Jelinek F., Mercer R.L. Perplexity — A measure of the difficulty of speech recognition tasks // J. Acoust. Soc. Amer. Vol. 62. 1977. Suppl. no. 1. P. S63.
23. Baker J.K. Stochastic modeling for automatic speech understanding // Speech Recognition / Ed.: Reddy D.R. New York: Academic Press, 1975. P. 521–542.
24. Bakis R. Continuous speech word recognition via senti-second acoustic states // Proc. ASA Meeting (Washington, DC). Apr., 1976.
25. Baum L.E., Egon J.A. An inequality with applications to statistical estimation for probabilistic functions of a Markov process and to a model for ecology // Bull. Amer. Meteorol. Soc. Vol. 73. 1967. P. 360–363.
26. Baum L.E., Petrie T. Statistical inference for probabilistic functions of finite state Markov chains // Ann. Math. Stat. Vol. 37. 1966. P. 1554–1563.
27. Carlyle J.W. Reduced forms for stochastic sequential machines // J. Math. Analysis and Applic. 1963. №7. P. 167–175.
28. Chomsky N. Transformational analysis. Dissertation, 1955.
29. Chomsky N. Syntactic Structures. Den Haag: Mouton, 1957. Хомский Н. Синтаксические структуры // Новое в лингвистике. Вып. 2. М., 1962.
30. Davis K.H., Biddulph R., Balashek S. Automatic recognition of spoken digits // J. Acoust. Soc. Amer. Vol. 24. 1952. P. 637–642.
31. Dempster A.P., Laird N.M., Rubin D.B. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm // J. Roy. Stat. Soc. Vol. 39. 1977. No. 1. P. 1–38.
32. Denes P.B., Mathews M.V. Spoken digit recognition using time frequency pattern matching // J. Acoust. Soc. Amer. Vol. 32. 1960. P. 1450–1455.
33. Dudley H., Balashek S. Automatic recognition of phonetic patterns in speech // J. Acoust. Soc. Amer. Vol. 30. 1958. P. 721–743.
34. Handbook of Standards and Resources for Spoken Language Systems / Ed. by Gibbon D., Moore R., Winski R. Berlin: Mouton de Gruyter, 1998.
35. Itakura F. Minimum prediction residual principle applied to speech recognition // IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing. Vol. ASSP–23. 1975. P. 67–72.
36. Juang B.H. On the hidden Markov model and dynamic time warping for speech recognition — A unified view // AT&T Tech. J. Vol. 63. Sept. 1984. No. 7. P. 1213–1243.
37. Kanevsky D., Monkowsky M., Sedivy J. Large Vocabulary Speaker-Independent Continuous Speech Recognition in Russian Language // Proc. SPECOM'96. St.-Petersburg, October 28–31, 1996.
38. Маматов Н.С., Абдуллаев Ш.Ш., Юлдошев Ю.Ш. Нутқни автоматик таниб олиш муаммолари ва ечимлари // “ТАТУ ХАБАРЛАРИ” ТАТУ илмий-техника ва ахборот-таҳлилий журнали. 2019. №4 (52).
39. Klatt D.H. Review of the ARPA Speech Understanding Project // Acoust. Soc. Amer. Vol. 62. Dec. 1977. No. 6. P. 1345–1366.
40. Levinson S.E., Rabiner L.R., Sondhi M.M. An introduction to the application of the theory of probabilistic functions of a Markov process to automatic speech recognition // Bell Syst. Tech. J. Vol. 62. Apr. 1983. No. 4. P. 1035–1074.
41. Manhung S. and others. Integrating a context-dependent phrase grammar in the variable n-gram framework // Proceeding of ICASSP, 2000.
42. Rabiner L.R., Juang B.H. An introduction to the hidden Markov models // IEEE ASSP Mag. Vol. 3. 1986. No. 1. P. 4–16.

43. Starke P.H. Theorie Stochastischen Automaten. I, II // Elektron Informationsverarb. und Kybern. Vol. 1.1965. №2.
44. Viterbi A.J. Error bounds for convolutional codes and an asymptotically optimal decoding algorithm // IEEE Trans. Informat. Theory. Vol. IT-13. Apr. 1967. P. 260–269.
45. Zue V.W., Cole R.A. Experiments on spectrogram reading // Proc. ICASSP-79. 1979. P. 116–119.
46. Маматов Н.С., Абдуллаев Ш.Ш., Юлдошев Ю.Ш., Каримов Н.Н. Марков модели асосида нутқни автоматик таниб олиш усули // Информатика ва энергетика муаммолари журнали. Тошкент: Ўзбекистон, 2020. №3.
47. Маматов Н.С., Абдуллаев Ш.Ш., Самижонов А.Н. Нутқни автоматик таниб олиш масаласи // “Иқтисодиётнинг тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти” Республика илмий-техник анжумани. 4–5 март. Тошкент, 2021.
48. Маматов Н.С., Абдуллаев Ш.Ш., Самижонов А.Н., Камолидинов Ф.С. Нутқни таниб олишнинг очиқ кодли тизимлари таҳлили // Инновацион ва замонавий ахборот технологияларини таълим, фан ва бошқарув соҳаларида қўллаш истиқболлари Халқаро илмий – амалий онлайн конференцияси материаллари. 14–15 май 2020 йил, Самарқанд, 2020.
49. Абдуллаев Ш.Ш., Ниёзматова Н.А., Юлдошев Ю.Ш., Нуримов П.Б. Нутқ сигнали белгиларини ажратиб олиш усуллари // Ахборот коммуникация технологиялари ва дастурий таъминот яратишда инновацион ғоялар 16–17 апрель 2019 й. Респ. илмий-техн. анж. Маър. Тўплами. Самарқанд, 2019. Б 388–391.
50. <http://developer.intel.com>

Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси
хузуридаги Рақамли технологиялар ва сунъий
интеллектни ривожлантириш илмий-тадқиқот
институтини

02.06.2021й.
қабул қилинган

УДК 629.735.33

Д.Э.ЭШМУРАДОВ, Т.Д.ЭЛМУРАДОВ, А.А.СУЛАЙМАНОВ

ПРОГРАММНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Показано, что в документах международной организации гражданской авиации (ИКАО), определяющих требования к перспективным техническим средствам, разработаны цели и задачи развития мировой аэронавигации. Указано, что вследствие разнообразия задач управления воздушным движением существует много разновидностей имитационных моделей воздушной обстановки. Обосновано, что в данной сфере передовыми программами исследований являются Sesar и NextGen, которые ведут разработки по поиску оптимальных решений, т.е. по созданию новых методов информационного обеспечения полетов. Рассмотрены вопросы программного и информационного обеспечения процессов управления воздушным движением. Проанализированы разновидности имитационных моделей воздушной обстановки.

Ключевые слова: программное обеспечение, информационное обеспечение, датчик, интенсивность, воздушное пространство, микропроцессор, имитационная модель, система сбора данных.