NUTQNI TANIB OLISHDA BELGILARNI AJRATIB OLISH USULLARINING TAHLILI

Mamatov Narzillo Solidjonovich[1], Muxiyatdinov Jamalatdin Kayratdin uli[2], Jalelov Kuanish Moyatdinovich[3]

[1] "Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" Milliy tadqiqod universiteti Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt kafedrasi mudiri, t.f.d professor
[2] O'zbekiston milliy universiteti tayanch doktoranti,
[3] "Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" Milliy tadqiqod universiteti tayanch doktoranti
E-mail: muxiyatdinov2026@gmail.com m_narzullo@mail.ru kjalelov007@gmail.com

K E Y W O R D S

nutqni tanib olish, belgilarni ajratib olish, MFCC, PCA, LPC, PLP, RASTA-PLP, DWT, WSM

A B S T R A C T

Belgilarni ajratib olish nutqni tanib olishning muhim bosqichi bo'lib, asosiy maqsadi akustik ma'lumotlardagi farqlash imkonini beruvchi va tashqi ta'sirlarga bardoshli belgilarni aniqlashdir. Hosil qilingan belgilar vektori kam o'lchamli bo'lishi, uzoq vaqt davomida barqarorligini saqlashi, shovqinga sezgir bo'lmasligi hamda boshqa belgilar bilan korrelyatsiyaga ega bo'lmasligi kerak. Shu sababli belgilarni ajratib olishning bardoshli usulini qo'llash nutqni tanib olish uchun jiddiy muammo hisoblanadi. Nutqni tanib olishda belgilarni ajratib olishning turli usullarini taqqoslashga bag'ishlangan ko'plab tadqiqotlar o'tkazilgan. Biroq ularning hech birida belgilarni ajratib olish usulini qo'llashda hisobga olinishi kerak bo'lgan mezonlar baholanmagan. Ushbu ishning maqsadi belgilarni ajratib olishning turli usullarini taqqoslash orqali qaysi usulni qo'llashni tanlashda yuzaga kelishi mumkin bo'lgan ayrim savollarga javob berishdir.

Kirish

Belgilarni ajratib olish nutqni avtomatik tanib olish (Automatic Speech Recognition, ASR) jarayonining asosiy bosqichidir. Bu bosqichda nutqdan muhim ma'lumotlar ajratib olinadi. Nutq signaliga dastlabki ishlov berilgach, ya'ni shovqinni kamaytirish, nutq chegaralarini aniqlash, yuqori chastotali tarkibiy qismlarni oldindan kuchaytirish, kadrlarga ajratish va normallashtirish amallari bajarilgach, qayta ishlangan nutqdan oldindan belgilangan belgilar to'plami saqlab qolinadi. Bunda mel-chastotali kepstral koeffitsientlar (Mel-Frequency Cepstral Coefficients, MFCC), diskret veyvlet almashtirishlari (Discrete Wavelet Transforms, DWT), chiziqli bashoratli kodlash (Linear Predictive Coding, LPC) va boshqa usullardan foydalaniladi.

Turli belgilarni ajratib olish usullarining har biri o'ziga xos afzallik va cheklovlarga ega. Ayrim tadqiqotlarda MFCC, LPC, PLP, RASTA-PLP va boshqa usullar turli sharoitlarda taqqoslangan bo'lsa-da, barcha holatlar uchun yagona eng samarali usul mavjud emas. Shu sababli so'nggi tadqiqotlarda bir nechta usullarning afzalliklarini birlashtiruvchi gibrid belgilarni ajratib olish yondashuvlariga katta e'tibor qaratilmoqda.

Ushbu maqolada nutqni avtomatik tanib olish tizimlarida keng qo'llaniladigan MFCC, LPC, DWT va boshqa belgilarni ajratib olish usullari tahlil qilinadi. Har bir usulning ishlash prinsipi, afzalliklari, kamchiliklari hamda turli sharoitlarda qo'llash imkoniyatlari ko'rib chiqiladi. Shuningdek, ASR tizimlarida yuqori aniqlik va barqarorlikka erishish uchun turli belgilarni ajratib olish usullaridan foydalanishning samaradorligi baholanadi.

(cc) BY

2. Usullar.

2.1 Spektral belgilarni tahlil qilish usullari

Mel chastotali kepstral koeffitsiyentlar MFCC. Ko‘plab tadqiqotchilar belgilarni ajratib olish uchun MFCC usulini tanlaydi. 1980-yillarning o‘rtalaridan boshlab MFCC ASR sohasida eng ko‘p qo‘llanadigan usul bo‘lib kelmoqda. Ushbu usulning asosiy maqsadi inson qulog‘ining ishlashini taqlid qilishdir. MFCCni hisoblashda dastlab nutq signali uzunligi 25 yoki 30 millisekund bo‘lgan ketma-ket kadrlarga ajratiladi, qo‘shni kadrlar 10 millisekundga ustma-ust tushadi. Har bir kadr Hamming oyna funksiyasiga ko‘paytirilgach, oyna qo‘llangan har bir kadr uchun diskret Furye almashtirishi (Discrete Fourier Transform, DFT) hisoblanadi.

MFCC nutqni tanib olish sohasida mashhur va keng qo‘llanadigan bo‘lsa-da, ayrim kamchiliklarga ega. Uning asosiy kamchiligi shovqinli signallarga bardoshliligining pastligidir: kamida bitta chastota polosasi buzilsa, shovqin barcha MFCC koeffitsiyentlarini o‘zgartiradi. O‘qitish va sinov sharoitlarida shovqin bilan buzilgan nutq signallariga nisbatan MFCCning bardoshliligini oshirish uchun turli normallashtirish usullaridan foydalaniladi. Bular qatoriga o‘rtacha qiymat va dispersiyani normallashtirish (Mean and Variance Normalization, MVN), gistogrammani tenglashtirish (Histogram Equalization, HEQ) va kepstral o‘rtacha qiymatni normallashtirish (Cepstral Mean Normalization, CMN) kabi belgilar statistikasini normallashtirish usullari kiradi. MFCC bilan bog‘liq yana bir muhim muammo shundaki, koeffitsiyentlar faqat nutq signalining quvvat spektridan olinadi va spektr fazasi hisobga olinmaydi. Holbuki, fazadagi ma’lumot ham nutqni idrok etish uchun foydalidir. Bu muammo belgilarni ajratib olish boshlanishidan oldin nutq sifatini yaxshilash orqali hal qilinadi.

Asosiy komponentlar tahlili PCA. Belgilarni ajratib olish bosqichida PCAning asosiy vazifasi asl nutq signalini ifodalash uchun foydalanish mumkin bo‘lgan chiziqli kombinatsiyani aniqlashdan iborat. PCA asosan o‘lchamni kamaytirish va belgilar orasidagi korrelyatsiyani yo‘qotish uchun qo‘llanadi. U shovqinli muhitda nutqni tanib olish tizimlarining bardoshliligini oshirish uchun eng ko‘p ishlatiladigan usuldir. Nutq signali shovqin bilan buzilganda PCA tahlili zarurligi qayd etilgan [1]. Yana bir tadqiqot PCAni qo‘llash xatolik darajasini yanada kamaytirganini tasdiqlaydi [2]. PCAni MFCC bilan birlashtirish shovqinli nutq signallarini tanib olish ko‘rsatkichini 63,9 foizdan 75,0 foizga oshirgan [3]. Biroq spontan, ya’ni oldindan tayyorlanmagan nutqni va uzluksiz nutqni tanib olishda PCA yordamida pastroq aniqlikka erishilgan [4].

Chiziqli bashoratli kodlash LPC. LPC belgilarni ajratib olishning eng muhim usuli bo‘lib, ko‘plab ishlarda keng qo‘llanadi [5]. MFCCdan farqli ravishda, ushbu usul tovush hosil bo‘lish paytidagi ovoz yo‘lining asosiy tuzilishini taqlid qiladi. LPC tahlilida kiruvchi nutq signali kadrlarga ajratiladi, so‘ng kadr boshidagi yoki oxiridagi uzilishlarni kamaytirish uchun har bir kadrga oyna funksiyasi qo‘llanadi. Yakunda kadrlararo avtokorrelyatsiya hisoblanadi. Shovqin LPC usulining tanib olish sifatiga ta’sir qiladi. Shu bois bir qator ishlarda ushbu usulning shovqinli muhitdagi samaradorligini oshirishga qaratilgan yangi yondashuvlar taklif qilingan [6]. Bir nechta tadqiqotda LPC DWT bilan birgalikda ishlatilgan [7]. Kiruvchi nutq signalini tarkibiy qismlarga ajratish uchun DWT, har bir chastota ostpolosasini modellashtirish uchun esa LPC qo‘llangan. Olingan natijalar mazkur usul MFCCdan 10 foiz ustun ekanini tasdiqlaydi.

Chiziqli bashoratli kepstral koeffitsiyentlar LPCC. LPCC LPC usulining kengaytirilgan ko‘rinishi hisoblanadi [8]. LPC tahlili bajarilgach, tegishli kepstral koeffitsiyentlarni olish uchun kepstral tahlil o‘tkaziladi. Ko‘plab tadqiqotchilar LPCC va MFCC samaradorligini o‘rgangan. MFCC va LPCC bir xil natijalar berishini ko‘rsatadi [9]. Ikki usulni taqqoslagan boshqa bir tadqiqotda esa LPCC MFCCdan 5,5 foiz tezroq va 10 foiz samaraliroq ekanini tasdiqlagan [10].

Perseptual chiziqli bashoratlash PLP. PLP usuli asosan nutq signalidan keraksiz ma’lumotlarni olib tashlash va nutqni tanib olish ko‘rsatkichini

(cc) BY dtai.uz

yaxshilash uchun qo‘llanadi. PLP tahlili ikkita muhim bosqichdan iborat. Dastlab eshitish tizimi spektri faqat qutblardan iborat model yordamida yaqinlashtiriladi, so‘ng eshitish spektri hisoblanadi [11]. PLP tahlili va LPC natijalari bir xil bo‘lib, farqi shundaki, PLP tahlilidagi model tartibi LPC modeli tartibining yarmiga teng. Bu model nutqni avtomatik tanib olish tizimida xotirani tejash imkonini beradi va yaxshi ASR samaradorligini ta’minlaydi.

2.2 Vaqtga oid belgilarni tahlil qilish usullari

Diskret veyvlet almashtirishlari DWT. Chastotaga oid ma’lumotlar bilan bir qatorda, nutq signallaridagi vaqtga oid ma’lumotlar ham nutqni tanib olish dasturlari uchun muhimdir [12]. Nutq signallari nostatsionar bo‘lganligi sababli DWT ona veyvletning masshtabini o‘zgartirish, uni siljitish va tahlil qilish orqali vaqtga oid ma’lumotlarni oladi. Shu tarzda kiruvchi nutq signali turli chastotalar va ajrata olish qobiliyati darajalarida tahlil qilinadi. Chastota oshgani sari signal chastota bo‘yicha ajrata olish qobiliyati kamaygan holda tahlil qilinishi tufayli DWT inson eshitish tizimiga mos modelni ta’minlaydi. U turli tadqiqotlarda belgilarni ajratib olish bosqichida qo‘llangan [13]. MFCC bilan taqqoslaganda, DWT past chastotalarda yaxshiroq chastotaviy ajrata olish qobiliyatini beradi. Yuqorida ta’kidlanganidek, MFCC shovqin bilan buzilgan nutq signallariga bardoshli emas. Vaqt va chastota bo‘yicha lokal ma’lumotlarni bera olish qobiliyati tufayli DWT shovqinni yo‘qotish vazifalarida samarali qo‘llangan.

Bir qator tadqiqotchilar ikkala usulning afzalliklaridan foydalanish uchun DWT va MFCCni birlashtirishni ko‘rib chiqqan. Ushbu birikma mel-chastotali diskret veyvlet koeffitsiyentlari (Mel-Frequency Discrete Wavelet Coefficients, MFDWC) deb ataladi. U nutq kadrining mel shkalasidagi filtrlar banki energiyalarining logarifmik qiymatlariga DWTni qo‘llash orqali olinadi. Natijalar shovqinsiz va shovqinli muhitlarning har ikkalasida ham MFDWC alohida qo‘llangan MFCC va veyvlet almashtirishlariga qaraganda yuqoriroq aniqlikka erishganini ko‘rsatgan [14].

Veyvlet paket almashtirishlari WPT. Veyvlet paket almashtirishi standart veyvlet dekompozitsiyasining kengaytirilgan ko‘rinishi bo‘lib, signalga ishlov berishning qo‘shimcha imkoniyatlarini taqdim etadi. Veyvlet almashtirishiga nisbatan u yuqori chastotali ma’lumotlarni yaxshiroq ifodalaydi. Veyvlet almashtirishi bilan veyvlet paket almashtirishi o‘rtasidagi asosiy farq shundaki, ikkinchisida ham detallashtiruvchi, ham approksimatsiyalovchi tarkibiy qismlar bo‘linadi.

WPT DWTga o‘xshaydi, biroq unda approksimatsiya va detal koeffitsiyentlarining har ikkalasi ham qo‘shimcha ravishda dekompozitsiyalanadi. ASR vazifasi uchun WPT samaradorligi DWT bilan taqqoslangan. Natijalar WPTga asoslangan usullar yaxshiroq ishlaganini ko‘rsatgan [15].

Nisbiy spektral ishlov berish bilan perseptual chiziqli bashoratlash RASTA PLP. RASTA-PLP tahlilida PLP belgilarining bardoshliligini oshirish uchun RASTA texnikasi PLP usuli bilan birlashtiriladi. Bu yondashuv nutq signali muhitining vaqtga oid xususiyatlari nutq signalining o‘z xususiyatlaridan farq qilishiga asoslanadi. Shuning uchun nutq signalining har bir chastota ostpolosasiga polosali o‘tkazuvchi filtrlashni qo‘llash o‘qitish va sinov muhitlari orasidagi kanal nomuvofiqligi ta’sirini kamaytiradi hamda qisqa muddatli shovqinlarni silliqlaydi [16]. RASTA-PLP shovqinli muhitlarga bardoshli hisoblanadi [17]. RASTA-PLP LPC va MFCC bilan taqqoslash natijalarga ko‘ra, shovqinli nutq signalida RASTA-PLP 73 foiz aniqlik bilan MFCC va LPCdan yaxshiroq ishlagan; MFCC bilan 60 foiz, LPC bilan esa 53 foiz aniqlikka erishilgan. Bundan tashqari, RASTA-PLP WPT bilan birlashtirilganda ancha yaxshi natija beradi[18].

2.3. Belgilarni ajratib olish usullarini taqqoslash

Belgilarni ajratib olish usulini tanlashda shovqinli nutq muhitida tanib olish aniqligi, hisoblash xarajatlari, xotira hajmi, nutq signallarining vaqtga oid ma’lumotlari va boshqa bir qator mezonlarni hisobga olish kerak.

(cc) BY

Shovqinli muhitda RASTA-PLP MFCC, PLP va LPC usullaridan ustun turadi. MFCC shovqinsiz nutqqa mos keladi va alohida aytilgan so‘zlar bilan ishlashda yaxshiroq natija beradi. Biroq uning shovqinga bardoshliligi past va u uzluksiz nutq uchun mos emas, chunki bitta MFCC kadri bir nechta fonemaga oid ma’lumotlarni o‘z ichiga olishi mumkin. Agar MFCC, LPC yoki PLPdan shovqinli muhitda foydalanish zarur bo‘lsa, tizim bardoshliligini oshirish uchun ularni DWT yoki WPT kabi boshqa usullar bilan birlashtirish mumkin [19]. Nutq signalining vaqtga oid ma’lumotlari uning chastotaga oid ma’lumotlari kabi muhimdir. Bunday vazifalarda DWT va WPT keng tanilgan MFCCdan ustun turadi. Ushbu ikki usul yordamida fonemalarni tanib olishda yaxshiroq aniqlikka erishiladi. Shuningdek, mavjud xotira hajmi cheklangan o‘lchamli belgilar vektori bilan yaxshi aniqlikka erishadigan usulni tanlashda muhim mezondir. Faqat kichik hajmdagi xotira mavjud bo‘lganda DWT yaxshi tanlov bo‘lishi mumkin. MFCC esa ko‘proq xotira talab etadi. Shu sababli ajratib olingan belgilar o‘lchamini kamaytirish va yaxshi aniqlikka erishish uchun MFCC ko‘pincha vektorli kvantlash (Vector Quantization, VQ), PCA yoki chiziqli diskriminant tahlil (Linear Discriminant Analysis, LDA) bilan birga qo‘llanadi [20].

Yuqorida ko‘rib chiqilgan belgilarni ajratib olish usullarining afzalliklari va cheklovlari quyidagi jadvalda keltirilgan.

Belgilarni ajratib olish usullarini taqqoslash

Usul	Afzalliklari	Kamchiliklari
MFCC	Yuqori tanib olish aniqligi [16]. Yaxshi farqlash qobiliyati va koeffitsiyentlar o‘rtasida past korrelyatsiya [16].	Shovqinli nutqni tanib olish aniqligi past [16]. Belgilar vektorlari yuqori o‘lchamli [20].
PCA	Shovqinga bardoshli [1]. Muhim ma’lumotlarni saqlagan holda belgilar vektori o‘lchamini kamaytiradi [5].	Yuqori o‘lchamli ma’lumotlar uchun katta hisoblash xarajatlarini talab etadi [16].
LPC	Hisoblash tezligi yuqori. Past bit tezligidagi nutq signallaridan belgilarni ajratib olishda bardoshli [21].	Belgi koeffitsiyentlari o‘rtasida yuqori korrelyatsiya mavjud [16]. O‘xshash fonemali so‘zlarni farqlay olmaydi.
LPCC	Kepstral tahlil orqali belgi koeffitsiyentlari orasidagi korrelyatsiyani yo‘qotadi. LPCga qaraganda bardoshliroq [16].	Lokal hodisalarni aniq tahlil qila olmaydi.
PLP	Belgilar vektori kam o‘lchamli [16]. Jarangli va jarangsiz nutq o‘rtasidagi farqni kamaytiradi.	Spektral muvozanat o‘zgaradi [16].
DWT	Nutq signalini shovqindan tozalaydi [22]. Nutq signalini sifatini sezilarli darajada yo‘qotmagan holda siqadi [16].	Moslashuvchan emas [16].
RASTA-PLP	Bardoshlilik. Kepstral tarkibiy qismlar va nutq signali o‘rtasidagi o‘zgarishlarni bartaraf etadi [16].	Shovqinsiz nutqda samaradorligi past [12].

(cc) BY

3. Natijalar va muhokama

Tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, nutqni avtomatik tanib olish tizimlarida qo‘llaniladigan belgilarni ajratib olish usullarining har biri o‘ziga xos afzallik va cheklovlarga ega. MFCC usuli shovqinsiz muhitlarda yuqori aniqlik va yaxshi farqlash qobiliyatini ko‘rsatadi, biroq shovqinli sharoitlarda uning samaradorligi pasayadi.

PCA belgilar vektorining o‘lchamini kamaytirish va shovqinga bardoshlilikni oshirishda samarali bo‘lsa, LPC va LPCC hisoblash tezligi hamda nutq xususiyatlarini ifodalash imkoniyati bilan ajralib turadi. DWT va WPT kabi vaqt-chastota usullari shovqinli nutq signallarida yaxshi natijalar beradi. RASTA-PLP esa shovqinli muhitlarda MFCC va LPC ga nisbatan yuqori barqarorlik ko‘rsatadi.

Umumiy natijalar shuni ko‘rsatadiki, usul tanlashda muhit sharoiti, aniqlik talabi va hisoblash resurslarini hisobga olish zarur. Gibrid usullardan foydalanish esa turli belgilarni ajratib olish texnikalarining afzalliklarini birlashtirib, ASR tizimlarining samaradorligini oshirishi mumkin.

4. Xulosa

Ushbu ishda ASRda keng qo‘llanadigan belgilarni ajratib olish usullarini taqqosladik. Belgilarni ajratib olish usulini tanlash nutqni tanib olish jarayonining hal qiluvchi bosqichidir, usul qanchalik puxta tanlansa, natijalar shunchalik aniq bo‘ladi. Taqqoslash har bir ajratib olish usulida ishonchlilik va samaradorlik bilan bog‘liq muammolar mavjudligini ko‘rsatdi. Shuningdek, natijalar belgilarni ajratib olishning gibrid usullarini qo‘llash muhimligini namoyon etdi, chunki taqdim etilgan usullarning har biri boshqa bir usulning ishlashini to‘ldiradi.

Ushbu taxliliy taqqoslashning asosiy maqsadi tadqiqotchilarga nutqni tanib olish uchun eng muhim mezonlarga muvofiq belgilarni ajratib olish usulini tanlashda yordam berishdir.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. H. Veisi and H. Sameti, “The integration of principal component analysis and cepstral mean subtraction in parallel model combination for robust speech recognition,” Digit. Signal Process., vol. 21, no. 1, pp. 36-53, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.dsp.2010.07.004.
2. J.-Y. Lee and J. Hung, “Exploiting principal component analysis in modulation spectrum enhancement for robust speech recognition,” in 2011 Eighth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), Jul. 2011, pp. 1947-1951, doi: 10.1109/FSKD.2011.6019893.
3. T. Takiguchi and Y. Ariki, “PCA-Based Speech Enhancement for Distorted Speech Recognition,” J. Multimed., vol. 2, no. 5, Sep. 2007, doi: 10.4304/jmm.2.5.13-18.
4. S. N. Sawant and M. S. Kumbhar, “Real time Sign Language Recognition using PCA,” in 2014 IEEE International Conference on Advanced Communications, Control and Computing Technologies, May 2014, pp. 1412-1415, doi: 10.1109/ICACCCT.2014.7019333.
5. L. Grama and C. Rusu, “Audio signal classification using Linear Predictive Coding and Random Forests,” in 2017 International Conference on Speech Technology and Human-Computer Dialogue (SpeD), Jul. 2017, pp. 1-9, doi: 10.1109/SPED.2017.7990431.
6. C. Demiroglu and T. P. Barnwell, “A Missing-Data Approach to Noise-Robust LPC Extraction for Voiced Speech Using Auxiliary Sensors,” in Proceedings. (ICASSP ’05). IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2005., vol. 1, pp. 773-776, doi: 10.1109/ICASSP.2005.1415228.
7. F. Z. Chelali and A. Djeradi, “Text dependant speaker recognition using MFCC, LPC and DWT,” Int. J. Speech Technol., vol. 20, no. 3, pp. 725-740, 2017, doi: 10.1007/s10772-017-9441-1.

(cc) BY

8. Solidjonovich, M. N., & Davlataliyevich, N. N. (2025). Nutqni matnga va matnni nutqqa o ‘tkazish dasturiy ta’minot uchun foydalanish diagrammalarini va asosiy sinflarini qurish. *Al-Farg’oniy avlodlari*, *1*(1), 29-34.
9. R. L. K. Venkateswarlu and R. V. Kumari, “Novel approach for speech recognition by using self-Organized maps,” in 2011 International Conference on Emerging Trends in Networks and Computer Communications (ETNCC), Apr. 2011, pp. 215-222, doi: 10.1109/ETNCC.2011.5958519.
10. Solidjonovich, M. N., & Davlataliyevich, N. N. (2025). Neyron STT, TTS va mashinali tarjima tizimlari o ‘rtasida uzviy bog ‘liqlikni idef1x modeli orqali modellashtirish. *Al-Farg’oniy avlodlari*, *1*(2), 29-33..
11. Davlataliyevich, NN (2026). O’zbek tilidagi nutqni aniqlashda mel-chastotali sepstral koeffitsient (mfcc) va yashirin markov modeli (hmm) lardan foydalanish. *Al-Farg‘oniy avlodlari* , *1* (1), 270-275..
12. M. A. Anusuya and S. K. Katti, “Comparison of Different Speech Feature Extraction Techniques with and without Wavelet Transform to Kannada Speech Recognition,” Int. J. Comput. Appl., vol. 26, no. 4, pp. 19-24, 2011, doi: 10.5120/3092-4242.
13. X. Tang, “Hybrid Hidden Markov Model and Artificial Neural Network for Automatic Speech Recognition,” in 2009 Pacific-Asia Conference on Circuits, Communications and Systems, May 2009, pp. 682-685, doi: 10.1109/PACCS.2009.138.
14. A. Tavanaei, M. T. Manzuri, and H. Sameti, “Mel-Scaled Discrete Wavelet Transform and Dynamic Features for the Persian Phoneme Recognition,” Int. Symp. Artif. Intell. signal Process., no. 4, pp. 138-140, 2011.
15. M. Iosif, G. Todor, S. Mihalis, and F. Nikos, “Comparison of Speech Features on the Speech Recognition Task,” J. Comput. Sci., vol. 3, no. 8, pp. 608-616, 2007.
16. M. A. Katti and S. K. Anusuya, “Front end analysis of speech recognition : a review,” Int. J. Speech Technol., vol. 14, no. 2, pp. 99-145, 2011, doi: 10.1007/s10772-010-9088-7.
17. S. Ganapathy, S. Thomas, and H. Hynek, “Modulation frequency features for phoneme recognition in noisy speech,” J. Acoust. Soc. Am., vol. 125, no. 1, pp. EL8-EL12, 2009, doi: https://doi.org/10.1121/1.3040022.
18. H. Hermansky and N. Morgan, “RASTA processing of speech,” IEEE Trans. Speech Audio Process., vol. 2, no. 4, pp. 578-589, 1994.
19. Mamatov, N., & Nuritdinov, N. (2025). Matnni tahlil qilish bo‘yicha ilg‘or tajribalar. *computer linguistics: problems, solutions, prospects*, *1*(1).
20. A. Winursito, R. Hidayat, and A. Bejo, “Improvement of MFCC feature extraction accuracy using PCA in Indonesian speech recognition,” in 2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT), Mar. 2018, pp. 379-383, doi: 10.1109/ICOIACT.2018.8350748.
21. R. L. K. Venkateswarlu, R. V. Kumari, and G. V. Jayasri, “Speech recognition using Radial Basis Function neural network,” in 2011 3rd International Conference on Electronics Computer Technology, Apr. 2011, pp. 441-445, doi: 10.1109/ICECTECH.2011.5941788.
22. Z. Ping, T. Li-Zhen, and X. Dong-Feng, “Speech Recognition Algorithm of Parallel Subband HMM Based on Wavelet Analysis and Neural Network,” Inf. Technol. J., vol. 8, no. 5, pp. 796-800, Jun. 2009, doi: 10.3923/itj.2009.796.800.

(cc) BY