



Юз соҳалари бўйича ҳис-туйғуларни таниб олиш алгоритми

Маматов Нарзилло Солидҷонович¹, Тожибоева Шахзода Холдоржон қизи², Машантин Тимур Васикович³, Яхяев Баҳромжон Юсуфович⁴

^{1,2,3} “Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти” Миллий тадқиқот университети

⁴ “Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари” университети
tojiboyevashaxzoda25@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18334040>

Аннотация. Мазкур тадқиқот ишини мақсади юзни алоҳида қисмлари асосида ҳис-туйғуларни автоматик таниб олиш алгоритмини ишлаб чиқиш ва баҳолаш бўлиб, унда юзни ўнг ва чап қисмларига тегишли соҳалар бўйича таниб олиш амалга оширилган. Таклиф этилган ёндашувда дастлаб юз соҳаларидаги локал морфологик ва динамик белгилар шакллантирилади ҳамда уларни турли комбинациялари асосида таниб олиш усуллари бўйича қисмлар информативлигини баҳоланади. Шунингдек, мазкур ишда локал белгилар комбинациялари информативлиги ва усуллар барқарорлиги ҳам баҳоланди. Юзни ўнг ва чап қисмларини таниб олиш даражасига таъсири аниқланди. Олинган натижалар юзнинг айрим қисмлари мавжуд бўлмаганда ҳис-туйғуларни таснифлаш аниқлигини сезиларли даражада оширганлигини ва маълум бир соҳаларни биргаликда аҳамиятли эканлигини кўрсатди. Бу нейрофизиологик асимметрия амалий аҳамиятини тасдиқлайди. Илмий ва амалий нуқтаи назардан, таклиф этилган алгоритм инсон-компьютер

мулоқоти, психофизиология ва ҳиссиётга сезгир тизимларини ривожлантириш учун асосий ёндашув сифатида қўлланилиши мумкин.

Калит сўзлар: юз тасвири, юз ифодаси, белги, синф, таниб олиш, юз соҳаси, белгилар тўплами.

Кириш. Инсон юз ифодаси орқали ҳис-туйғуларни аниқлаш интеллектуал тизимларни ишлаб чиқишда муҳим йўналишлардан бири ҳисобланади. Юз инсон ҳиссий ҳолатини акс эттирувчи асосий манба бўлиб, ундаги кичик ўзгаришлар ички физиологик ва нейрон жараёнлари билан узвий боғлиқдир [1, 2]. Шунинг учун юз ифодаси асосида ҳис-туйғуларни таниб олиш масаласи физиологик ва когнитив нуқтаи назардан катта илмий аҳамиятга эга бўлиб, у кенг қамровли таҳлилни талаб этувчи мураккаб вазифа ҳисобланади [3].

Юзни турли қисмлари, хусусан кўз, қош, қоғоқ, оғиз, бурин, пешона кабилар ҳис-туйғуларни ифодалашда турлича даражада ахборот берувчи манба ҳисобланади. Масалан, кўз атрофидаги мимик ҳаракатлар кўрқув ёки ҳайратни ифодаласа, оғиз шакл ўзгаришлари хурсанд ёки ғазабни билдириши мумкин. Бу эса юзни қисмларга ажратиш ва ҳар бир қисм бўйича тадқиқотлар олиб бориш ҳамда улар бўйича алоҳида белгиларни шакллантириш орқали ҳис-туйғуларни таниб олиш самарадорлигини оширади.

Айни пайтда замонавий алгоритмлар, жумладан, ўрамли нейрон тармоқлар (CNN), каскад классификаторлар, Габор филтрлари ва фазовий-частотавий таҳлил усуллардан юз қисмларидан информатив белгиларни ажратишда самарали восита сифатида фойдаланилмоқда. Шунингдек, ҳис-туйғуларни таниб олишда махсус нуқталарни (landmarks) аниқлаш ва уларни нормаллаш жараёни муҳим аҳамият касб этади [4-5]. Бу каби усуллар юзни бурилиши, ёруғлик ёки мимик ўзгаришлар таъсиридаги ноаниқликларни бартараф этиш имконини беради [6].

Юз қисмлари асосида ҳис-туйғуларни таниб олиш алгоритмлари, одатда, юзни аниқлаш, қисмларни сегментлаш, белгиларни ажратиш, таснифлаш каби босқичлардан иборат бўлади. Бунда классик, машинали ўқитиш ҳамда чуқур ўқитиш моделлари комбинацияси аниқлик ва барқарорликни таъминлашда муҳим рол ўйнайди [7, 8]. Масалан, CNN [9] ва LBP (Local Binary Pattern) [10] усуллари бирлаштириш орқали статик тасвирлардан ҳам ҳиссий маълумотларни аниқ олиш мумкин. Бундан ташқари, юз қисмларига асосланган таҳлил нафақат статик тасвирларда, балки видеоларда ҳам вақт бўйича динамик ўзгаришларни инобатга олиб, ҳис-туйғуларни ўзгаришини аниқлаш имконини беради. Бу, айниқса, реал вақтда ишловчи аффеktiv интерфейслар, хавфсизлик тизимлари ва психологик мониторинг платформалари учун муҳим аҳамиятга эга. Умуман олганда ҳис-туйғуларни таниб олиш тизими инсон ички ҳиссий ҳолатини объектив баҳолаш имконини берувчи интеллектуал таҳлил қилувчи тизим бўлиб, у инсон ва машина орасидаги табиий мулоқотни янада самарали даражага кўтаришда асосий технологик пойдевор ҳисобланади [19].

Юз қисмлари асосида ҳис-туйғуларни аниқлашнинг назарий ва психофизиологик асослари. Инсон юз ифодаси кўп қиррали психофизиологик тизим бўлиб, у орқали ички ҳиссий ҳолат ташқи мимик ҳаракатлар орқали ифодаланади. Юз мускуллари ҳаракатлари марказий нерв тизимини қисқа жараёнлари билан тўғридан-тўғри боғлиқ бўлиб, уларни аниқлаш ҳис-туйғуларни моделлаштириш ва автоматик таниб олиш тизимларини яратишда муҳим аҳамиятга эгадир [2, 12]. Назарий жиҳатдан, юз ифодалари ва ҳис-туйғулар орасидаги боғлиқлик дастлаб Чарльз Дарвинни “The Expression of the Emotions in Man and Animals” (1872) асарида тадқиқ этилган бўлиб, у юз ҳаракатларини биологик эволюция натижаси сифатида изоҳлаган [13]. Кейинчалик Пол Экман ва Валлес В. Фризен томонидан ишлаб

чиқилган Facial Action Coding System (FACS) тизими юз мускуллари аниқ анатомик ҳаракатларини (Action Units, AU) тавсифлаб, уларни асосий ҳис-туйғулар билан боғлаган [14]. Бу тизим ҳис-туйғуларни юз қисмлари асосида тизимли таҳлил қилиш психофизиологик асосини яратди.

Психофизиологик нуқтаи назардан, ҳис-туйғулар марказий ва периферик нерв тизимлари орқали юз мускулларига узатилади. Масалан, ғазаб, кўркув ва ҳайрат ҳолатларида симпатик нерв тизими фаоллиги ошади, бу эса кўз қовоқларини кенгайтиши, пешонадаги мускулларни тортилиши ва оғиз бурчакларини ҳаракатида яққол намоён бўлади [15]. Хурсанд ёки таажжуб каби ҳолатларда эса парасимпатик тизим фаоллиги устунлик қилади, бу оғиз атрофидаги мускулларни фаоллашиши орқали намоён бўлади [16].

Юз қисмларини ҳиссий ахборот манбаи сифатида ўрганиш юздаги локал сигналларни таҳлил қилиш имконини беради. Илмий тадқиқотлар келтирилишича, кўз атрофидаги ҳаракатлар асосан кўркув, ғазаб ва ҳайратни ифодаласа, оғиз соҳаси хурсанд, нафрат ва таажжуб билан боғлиқдир. Пешонадаги мускуллар эса кўркув ва диққат ҳолатларини акс эттиради [14]. Бундай локаллашган маълумот юзни қисмларга ажратиш орқали ҳис-туйғуларни аниқлаш аниқлигини ошириш имконини беради.

Нейрофизиологик тадқиқотларда юз ҳаракатлари ва мия фаолияти орасидаги узвий боғлиқлик кўрсатиб берилган. Функционал магнит-резонанс томография (МРТ) орқали амигдала ва префронтал соҳалар ҳиссий юз ифодаларини қайта ишлашда асосий рол ўйнаши аниқланган [17]. Бу ҳолат юз ҳаракатларини онгсиз нейрон фаолият орқали бошқарилиши ва ҳис-туйғуларни таниб олиш жараёнида мияни муайян минтақа фаоллиги билан боғланишда бўлишини кўрсатади [18].

Юз қисмлари бўйича ҳис-туйғуларни аниқлашни назарий асослари замонавий моделлар орқали рақамли кўринишда ҳам ифодаланади. Масалан,

Ekman va Friesen (1978) олти асосий турдаги ҳис-туйғуларни (хурсанд, ғазаб, кўрқув, қайғу, таажжуб, нафрат) ажратишни назарий асос сифатида белгилаган [14]. Шу асосда замонавий машинали ўқитиш моделлари (CNN, LBP, Gabor Filter, PCA ва бошқалар) юз қисмларидан локал хусусиятларни ажратиш орқали аффектив ҳолатни аниқлашда қўлланилмоқда [19]. Юз қисмлари асосида ҳис-туйғуларни аниқлашни назарий ва психофизиологик асослари инсон юзини анатомик, нейрофизиологик ва аффектив тизимлари орасидаги интеграцияга таянади. Бу йўналишдаги тадқиқотлар аффектив ҳисоблаш, психодиагностика, хавфсизлик тизимлари ва когнитив интерфейслар учун илмий ва амалий аҳамиятга эга.

Фараз қилайлик, $H = \{H_1, H_2, \dots, H_m\}$ ҳис-туйғулар синфлари, $\Omega = \{\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_n\}$ -юз қисм соҳалари ва уларга мос $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ белгилар тўплами берилган бўлсин. Бунда $\Omega_i \cap \Omega_j = \emptyset$, n — юз қисмлари сони. $X^* = \emptyset$ Агар $X_i \neq \emptyset$ бўлса, у ҳолда $X^* = X^* \cup X_i$, $i = \overline{1, n}$.

Белгилар фазоси асосида ҳис-туйғу синфини аниқлаш:

$$\varphi: \Omega \rightarrow H \text{ ёки } \varphi(X^*) = H$$

Таниб олиш масаласи таснифлаш вазифаси сифатида қуйидагича ёзиш мумкин:

$$h_i = \arg \max_{h_i \in H} P(h_i | X^*)$$

бу ерда $P(h_i | X^*)$ — юз қисмлари белгилари берилганда, h_i ҳис-туйғу эҳтимоллиги.

Айрим қисмлар ҳис-туйғуни кучлироқ намоён қилади. Бу ҳолат вазнланган механизм (attention) орқали қуйидагича акс эттирилади:

$$f = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \varphi_i(\Omega_i), \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

бу ерда w_i – i -чи юз қисмини ҳис-туйғуни аниқлашдаги аҳамият коэффициенти.

Мазкур ишда ҳис-туйғуларни 7 та синфи, яъни H_1 - ғазаб, H_2 - нафрат, H_3 - кўрқув, H_4 - хурсанд, H_5 - нейтрал, H_6 - хафа, H_7 - ҳайрат, юзнинг 6 та қисми, яъни Ω_1 - чап қош, Ω_2 - чап кўз, Ω_3 - бурун, Ω_4 - оғиз, Ω_5 - ўнг кўз, Ω_6 - ўнг қош, юз соҳаларига мос белгилар тўплами, яъни X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 ва X_6 элементлари [20] ишдаги каби ҳисобланади.

Алгоритм босқичлари:

1-босқич. Юзни қисмларга ажратиш. Бунда юз тасвири ҳис-туйғуларни ифодаловчи қисм соҳаларга, яъни қош, кўз, бурун ва оғиз каби соҳаларга ажратилади.

2-босқич. Юз қисмлари учун белгиларни шакллантириш. Бунда геометрик масофалар ва аппроксимацияланган юз қисмлари коэффициентлари асосида белгилар вектори шакллантирилади.

3-босқич. Таниб олиш. Бунда мавжуд қисмлар асосида шакллантирилган белгилар орқали классик ёки чуқур ўқитиш усуллари ёрдамида таниб олиш амалга оширилади. Мазкур ишда классик усуллардан SVM, KNN, Random Forest ва Decision Treелардан фойдаланилган. Чуқур ўқитишга асосланган усуллардан, яъни CNN (Convolutional Neural Network) турли қисмлардан автоматик хусусият ўрганиш, RNN/LSTM вақт кетма-кетлигида юз ифодалари ўзгаришини таҳлил қилиш, Attention ва Part-based CNN турли қисмларни алоҳида CNN орқали таҳлил қилиш, MLP ва 1D-CNN махсус нукта векторлари орқали ўқитиш [21] мақсадида фойдаланилган.

Юзни чап ёки ўнг қисми бўйича ҳис-туйғуларни таниб олиш. Юзни чап ва ўнг қисмлари алоҳида таснифланди. Тажрибалардан чап юз қисмлари асосидаги моделлар кўп ҳолларда F1-measure, precision ва recall

кўрсаткичларини нисбатан юқори қийматини таъминлайди (хусусан «ғазаб», «қайғу» ва «хурсанд» ҳолатларида) [22].

Маълумотлар базаси. Мазкур ишда таклиф этилган ёндашув FER2013 ва KDEF маълумотлар базаларида синовдан ўтказилиб, унда ҳис-туйғуларни 7 та синфи, яъни хурсанд, ғазаб, ҳайрат, қайғу, нафрат, кўркув ва нейтрал синфлари бўйича таснифлаш амалга оширилди. Хусусан, FER2013 базасида 35000 дан ортиқ юз тасвирлари мавжуд бўлиб, улар турли ёруғлик, бурчак ҳамда сифатда олинган. Таклиф этилган ёндашувни тестлашда 70 нафар шахсни (35 эркек ва 35 аёл) турли ҳиссий ҳолатлари лаборатория шароитида назорат остида олинган юз тасвирларидан иборат KDEF (Karolinska Directed Emotional Faces) маълумотлар базасидан фойдаланилган.

Тажриба натижалари. Тажрибаларда ҳис-туйғуларни аниқлаш асосан 7 синфли классик ҳамда чуқур ўқитишга асосланган таснифлаш усулларидан фойдаланилган. Бунда дастлаб юзнинг мавжуд қисмлари бўйича белгилар шакллантирилиб, улар асосида таниб олиш амалга оширилди. Тадқиқотда юз қисмларига асосланган алгоритмлар самарадорлигини баҳолаш юқорида келтирилган маълумотлар базасида амалга оширилган бўлиб, унда қуйидагилардан фойдаланилди:

- юзнинг 68 та махсус нуқтаси. Бунда Dlib, MediaPipe ва FaceMesh кутубхоналаридан фойдаланилди;
- юзни чап ва ўнг қисмлари. Бунда юзнинг чап ва ўнг қисмлари юзни вертикал симметрик ўқига нисбатан ажратилди;
- юзни чап ёки ўнг қисмлари бўйича шакллантирилган белгилари. Бунда ҳар бир соҳа бўйича геометрик масофалар ва аппроксимацияланган юз қисмлари коэффицентлари асосида белгилар вектори олинади;

- классик ва чуқур ўқитиш усуллари. Бунда мавжуд қисмлар асосида шакллантирилган белгилар орқали классик ёки чуқур ўқитиш усуллари ёрдамида таниб олиш амалга оширилади.

1-Жадвал

Юзнинг чап қисми бўйича таниб олиш натижалари

	SVM	RF	DT	KNN	MLP
X_1	50	53	50	47	50
X_2	18	14	14	60	16
X_3	43	42	38	43	45
X_4	40	54	42	31	45
$X_1 \cup X_2$	44	44	45	43	47
$X_1 \cup X_3$	63	62	50	64	58
$X_1 \cup X_4$	60	62	59	50	54
$X_2 \cup X_3$	37	36	31	34	43
$X_2 \cup X_4$	36	50	42	28	43
$X_3 \cup X_4$	64	46	44	42	62
$X_1 \cup X_2 \cup X_3$	69	60	54	52	66
$X_1 \cup X_2 \cup X_4$	65	57	55	46	63
$X_1 \cup X_3 \cup X_4$	81	66	52	62	75
$X_2 \cup X_3 \cup X_4$	58	43	35	39	67
$X_1 \cup X_2 \cup X_3 \cup X_4$	79	62	56	53	77

2-Жадвал

Юзнинг ўнг қисми бўйича таниб олиш натижалари

	SVM	RF	DT	KNN	MLP
X_3	43	42	38	43	45
X_4	40	54	42	31	45

X_5	15	14	14	67	14
X_6	42	44	43	43	37
$X_3 \cup X_4$	64	46	44	42	62
$X_3 \cup X_5$	40	38	31	37	45
$X_3 \cup X_6$	69	70	65	69	68
$X_4 \cup X_5$	37	51	42	29	44
$X_4 \cup X_6$	66	62	55	56	57
$X_5 \cup X_6$	51	55	50	49	48
$X_3 \cup X_4 \cup X_5$	54	46	32	49	60
$X_3 \cup X_4 \cup X_6$	77	72	64	41	77
$X_3 \cup X_5 \cup X_6$	66	70	54	63	70
$X_4 \cup X_5 \cup X_6$	61	60	54	51	61
$X_3 \cup X_4 \cup X_5 \cup X_6$	72	67	59	58	78

Натижалар таҳлили.

Юз чап қисми бўйича ҳис-туйғуларни аниқлашда турли машинали ўқитиш усуллари (SVM, RF, DT, KNN, MLP) қўлланилиб, олинган белгилар тўплами ($X_1 - X_4$) ва уларни комбинациялари асосида аниқлик даражалари баҳоланди. Бунда асосий эътибор белгилар информативлиги ва таснифлагич самарадорлигини баҳолашга қаратилди. Таҳлил натижаларига кўра, алоҳида олинган белгиларда моделлар ўртача аниқлик кўрсатди, яъни SVM ва MLP усуллари 50–55%, RF 53–54%, Decision Tree ва KNN эса паст натижа берди. Бу юзни алоҳида соҳаларидан олинган маълумотлар ҳис-туйғуларни ажратиш учун етарлича ажратиш хусусиятга эга эмаслигини кўрсатади.

Белгилар комбинацияси аниқликни оширди. Икки ва учта белгидан иборат тўпламларда натижалар барқарор ўсишга эга бўлди. Хусусан, X_1 , X_3 ва X_4 белгилар биргаликдаги олинганда ҳис-туйғуларни аниқлашда энг юқори

натижа SVMда 81%, MLPда эса 75% бўлди. Бу мазкур белгилар юзни чап қисмидаги муҳим физиологик ва мимик хусусиятларни акс эттириши, уларни комбинацияси ҳис-туйғуларни фарқлаш учун кучли информатив эканлигини англатади. Барча белгилар биргаликда олинганда ҳам юқори самарадорлик қайд этилди. Бунда SVM 79%, MLP 77% аниқликни таъминлади бироқ, айрим ҳолларда X_2 белгисини қўшилиши умумий аниқликка салбий таъсир кўрсатди. Таснифлагичлар орасидаги умумий солиштирма таҳлилда SVM ва MLP алгоритмлари энг юқори натижаларни таъминлади ва комбинацияланган белгиларда барқарор ишлаш қобилиятини намоён этди. RF самарадорлиги айрим ҳолларда юқори бўлса-да, у умумий ҳолда SVM ва MLPдан паст натижани кўрсатди. Decision Tree ва KNN усуллари маълумот ноқатъий ва қўп ўлчовли табиатига сезгир бўлганлиги учун пастроқ аниқлик кўрсатди.

Таҳлил натижалари асосида юз чап қисмида ҳис-туйғуларни аниқлашда асосий информатив X_1 , X_3 ва X_4 белгиларга мос соҳалар бўлиб, уларни биргаликдаги таҳлили умумий самарадорликни кескин оширди. Олинган натижалар юзни чап қисмидаги физиологик асимметрия ва неврологик таъсирлар ҳис-туйғуларни ифодалашда муҳим роль ўйнаши мумкинлигини кўрсатади. Бунда белгилар комбинациялари ҳис-туйғуларни аниқлашни локал ёндашувларини такомиллаштириш учун назарий ва амалий асос бўлиб хизмат қилади.

Юзни ўнг қисми бўйича ҳис-туйғуларни аниқлаш натижалари турли белгилар тўпламлари ($X_3 - X_6$) асосида таҳлил қилинди. Таснифлагичлар сифатида SVM, RF, DT, KNN ва MLP усуллари олинди. Бунда асосий мақсад белгилар информативлиги ва усуллар самарадорлигини баҳолаш орқали юзни ўнг қисмида ҳис-туйғуларни таниб олишдаги белгиларни асослаш ҳисобланади. Алоҳида олинган белгиларда аниқлик даражаси нисбатан паст

бўлди. SVM ва RF усуллари 40–54%, Decision Tree ва KNN деярли бир хил 31–43% аниқликни таъминлади. X_5 белги айниқса шовқинли бўлиб, у айрим усулларда 15–16%, фақат KNNда 67% аниқликни таъминлаган. Бу белги маълум ҳолатларда юқори индивидуал устунликка эга бироқ, умумий нуқтаи назаридан паст аҳамиятга эгалигини кўрсатади.

Икки белгидан иборат комбинацияларда самарадорлик сезиларли ошди. X_3 ва X_6 комбинацияси барча усулларда юқори натижа кўрсатди. Хусусан, SVM 69%, RF 70%, KNN 69%, MLP 68%. Бу юзни ўнг қисмидаги X_3 ва X_6 белгиларга мос соҳалар ҳис-туйғуларни динамик ифодалари билан кучли боғлиқ эканлигини билдиради. Шунингдек, X_4 ва X_6 комбинацияси ҳам ўхшаш йўналишда юқори самара кўрсатди. Бу X_6 белгини юқори информатив эканлигини тасдиқлайди.

Уч белгидан иборат тўпламларда аниқлик янада ошди. Бу айниқса, X_3 , X_4 ва X_6 комбинацияси SVM ва MLP усулларида энг юқори натижа 77% ни таъминлади. Бу икки моделни мимик ўзгаришларни таҳлил қилишда оптимал ишлашини кўрсатади. RF ҳам бу ҳолатда 72% аниқликка эришди. Тўртта белгидан иборат тўпламда натижалар юқори бўлди. Бунда SVM — 72%, RF — 67%, DT — 59%, KNN — 58%, MLP — 78% аниқликни таъминлади.

Таснифлагичлар кесимида SVM ва MLP усуллари барча белгилар тўпламларида устунликка эга бўлди. Олинган натижалар юзни ўнг қисмидаги X_3 ва X_6 белгиларга мос соҳалар ҳис-туйғуларни ифодалашда асосий рол ўйнайдиган локал мимик нуқталар эканлигини кўрсатди. Бу нейропсихологик асимметрия назарияси билан уйғун бўлиб, ўнг юз қисми кўпроқ экспрессив ва динамик ҳаракатларга жавобгар эканлигини тасдиқлайди.

Юзни ҳар икки қисми бўйича ҳис-туйғуларни таниб олиш ўнг қисмда аниқлик даражаси барча моделлар бўйича юқорироқ эканлигини кўрсатди. Бу

натижа мия яримшарларини функционал асимметрияси ҳақидаги нейрпсихологик назариялар билан уйғун бўлиб, ўнг яримшар ҳис-туйғуларни идрок этиш ва ифодалашда устун бўлганлиги учун юзни ўнг қисмидаги морфологик белгиларда маълумот кўпроқ бўлади. X_3 , X_4 ва X_6 белгилар бўйича ўнг қисмидаги натижалар юқори аниқликка эга бўлди. Бу белгилар юз мускуллари юқори экспрессив соҳаларига мос келади ва юз ифодаларини кўпроқ акс эттиради. Иккилик комбинацияларда X_3 ва X_6 ҳамда X_4 ва X_6 жуфтликлар ўнг қисмида 65–70% аниқликка эришган бўлса, чап қисмдаги мос жуфтликлар 55–60% аниқликка эришди. Бу X_6 белгини муҳим бўлган соҳа билан боғлиқлигини кўрсатади. Учлик комбинацияларда X_3 , X_4 ва X_6 ўнг қисмида 77% аниқликни таъминлади. Бу комбинациядаги ўзгарувчилар юзни динамик ҳаракатларини комплекс акс эттирганлиги учун моделларда юқори натижага эришди. Барча белгиларда ҳам ўнг қисм бўйича натижа юқори бўлиб, максимал аниқлик 78% ни ташкил этди. Бу юзни ўнг қисмидаги белгиларни интеграл таҳлил қилиш ҳис-туйғуларни таниб олишда юқори ишончликни таъминлашини кўрсатади.

Хулоса

Тадқиқотлар юзни чап ва ўнг қисмлари бўйича ҳис-туйғуларни таниб олишда сезиларли функционал фарқ мавжудлигини кўрсатди. Умумий олганда юзни ўнг қисми асосида амалга оширилган таниб олиш чап қисмига нисбатан юқори аниқликка эришгани аниқланди. Бу ҳолат миянинг функционал асимметрияси ҳақидаги нейрпсихологик қарашларга мос, яъни ҳиссий идрок ва ифодалаш кўпроқ ўнг яримшарда фаоллашади. Натижалар X_3 , X_4 ва X_6 белгилар тўплами юзнинг юқори экспрессив соҳалари сифатида ҳис-туйғуларни аниқлашда муҳим аҳамият касб этишини кўрсатди. Шу билан бирга, X_3 , X_4 ва X_6 комбинацияси 77–78%гача аниқлик бериб, кўп белгили

таҳлил самарадорлигини кўрсатди. Тадқиқот юзни ўнг қисмидаги морфологик белгилар ҳис-туйғуларни таниб олишда юқори информативликка эга эканлигини, шунингдек, кўп белгилар ҳиссий маълумотларни аниқ интерпретациялашда устун эканлигини тасдиқлайди. Бу юз ифодаси асосида автоматик таниб олиш тизимларини оптималлаштиришда муҳим назарий ва амалий аҳамият касб этади.

Тадқиқотда юзни чап ва ўнг қисми учун алоҳида олинган белгилар тўпламлари бўйича SVM, RF, DT, KNN ва MLP таснифлагичлари ўзаро таққосланди. Бунда аниқлик асосий баҳолаш мезони сифатида олинди. Юзни ўнг қисмидаги соҳалар комбинациялари умумий юқори аниқликни кўрсатди. Хусусан $X_3 - X_6$ белгилар учлик ва тўртлик комбинациялари SVM ва MLPда энг юқори натижаларни берди. Юзни чап қисмида эса X_1, X_3 ва X_4 комбинацияси усулларни энг юқори натижасини таъминлади бироқ, умумий ҳолда ўнг қисмига нисбатан пастроқ информативлик кузатилди.

Илмий натижаларни назарий аҳамияти юз ифодаларидаги функционал асимметрия нейрофизиологик таъсирлар билан бир-бирига уйғун ҳолда аниқланган белгилар орқали амалда кўрсатилди. Бу ҳис-туйғуларни автоматлаштирилган таниб олиш тизимлари учун локал ҳисобга олиш ва минтақавий функцияланиш моделларини ривожлантиришга асос бўлади.

Адабиётлар:

1. P. Ekman, “An Argument for Basic Emotions,” в *Cognition & Emotion / collected works*, 1992.
2. R. Adolphs, H. Damasio, D. Tranel, A. R. Damasio, “Cortical systems for the recognition of emotion in facial expressions,” *The Journal of Neuroscience*, vol. 16, no. 23, pp. 7678–7687, 1996.
3. R. Vats, “Comprehensive review and analysis on facial emotion recognition methods,” *Journal of Electronic Imaging (SPIE)*, vol. 32, no. 4, 040901, 2023.
4. Маматов, Н., Ниёзматова, Н., Тожибоева, Ш., Машанпин, Т., & Яхьяев, Б. (2025). Инсон ҳис туйғуларини аниқлаш усул ва алгоритмлари. *Inson kapitali va mehnatni muhofaza qilish*, 2(5), 394-405
5. Mamatov N., Niyozmatova N., Tojiboyeva Sh., Mashanpin T., Yakhyayev B. (2025). Methods and algorithms for constructing facial landmarks for emotion recognition. *The scientific journal vehicles and roads*, 2, 49-64
6. Mamatov N., Niyozmatova N., Tojiboyeva Sh., Mashanpin T., Yakhyayev B. (2025). Emotion classification using machine learning methods. *Slovak international scientific journal №97*, 19-25.
7. Deepak Ghimire, Joonwhoan Lee, *Geometric Feature-Based Facial Expression Recognition in Image Sequences Using Multi-Class AdaBoost and Support Vector Machines*.
8. Pan, Xianzhang; Guo, Wenping; Guo, Xiaoying; Li, Wenshu; Xu, Junjie; Wu, Jinzhao — *Deep Temporal–Spatial Aggregation for Video-Based Facial Expression Recognition*.
9. J. Sujanaa, S. Palanivel — *Fusion of Deep-CNN and Texture Features for Emotion Recognition using Support Vector Machines* (2021).

10. Moutan Mukhopadhyay, Aniruddha Dey, Sayan Kahali — *A deep-learning-based facial expression recognition method using textural features* (Neural Computing and Applications, 2022).
11. Nadia Shamsulddin Abdulsattar, Mohammed Nasser Hussain — *Facial expression recognition using HOG and LBP features with convolutional neural network*.
12. Rinn, W. E. (1984). *The neuropsychology of facial expression: A review of the neurological and psychological mechanisms for producing facial expressions*. *Psychological Bulletin*, 95(1), 52–77.
13. Darwin, C. (1872). *The Expression of the Emotions in Man and Animals*. London: John Murray.
14. Ekman, P., & Friesen, W. V. (1978). *Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press.
15. Levenson, R. W., Ekman, P., & Friesen, W. V. (1990). *Voluntary facial action generates emotion-specific autonomic nervous system activity*. *Psychophysiology*, 27(4), 363–384.
16. Behnke, M., & colleagues (2022). *Autonomic Nervous System Activity During Positive Emotions*.
17. Phillips, M. L., Drevets, W. C., Rauch, S. L., & Lane, R. (2003). Neurobiology of emotion perception II: Implications for major psychiatric disorders. *Biological Psychiatry*, 54(5), 515–528. [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(03\)00171-9](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(03)00171-9)
18. Adolphs, R. (2002). Recognizing emotion from facial expressions: Psychological and neurological mechanisms. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, 1(1), 21–62. <https://doi.org/10.1177/1534582302001001003>

19. Happy, S. L., & Routray, A. (2015). Automatic facial expression recognition using features of salient facial patches. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 6(1), 1–12. <https://doi.org/10.1109/TAFFC.2015.2392101>
20. Ниёзматова Н.А., Тожибоева Ш.Х., Машанпин Т.В. Юз тасвири асосида ҳис-туйғуларни таснифлашда белгилар фазосини шакллантириш алгоритми. *Scientific-technical journal (STJ FerSTU, ФарДТУ ИТЖ, НТЖ ФерГТУ, 2025, Т.29. спец. выпуск №7)*, 13-19.
21. Маматов Н., Ниёзматова Н., Тожибоева Ш., Машанпин Т., Яхяев Б. Инсон ҳис-туйғуларини аниқлашнинг нейрон тармоқ моделлари. (2025). *Digital transformation and artificial intelligence*, 3(3), 118-127.
22. GL Sălăgean et al. (2025). *Leveraging Symmetry and Addressing Asymmetry in Facial Emotion Recognition*. *Symmetry*, 17(3), 397.