ҚУЛОҚ ЧАНОҒИ ТАСВИРИ АСОСИДА ШАХНИ ТАНИБ ОЛИШНИНГ ГЕОМЕТРИК БЕЛГИЛАРГА АСОСЛАНГАН АЛГОРИТМИ

Маматов Нарзилло Солиджонович[1], Самижонов Абдурашид Нарзулло ўғли[1], Усаров Журабек Абдуназирович[1], Абдуллаева Барно Мўйдинжон қизи[1]

[1] "Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти" Миллий тадқиқот университети, Рақамли технология ва сунъий интеллект кафедраси
E-mail: abdullayevabarno1994@gmail.com

K E Y W O R D S

Ўрамли нейрон тармоқлар (CNN), идентификациялаш, Canny алгоритми, қулоқ чаноғи, контур ажратиш

A B S T R A C T

Ушбу мақолада қулоқ чаноғи асосида шахсни идентификациялаш мўлжалланган геометрик белгиларга янги алгоритм таклиф этилади. Таклиф этилган алгоритм асосида шахсни таниб олиш учун икки босқичли ёндашув ишлаб чиқилган бўлиб, унинг биринчи, яъни дастлабки ишлов бериш босқичида тасвирларга дастлабки ишлов беришнинг замонавий усулларидан фойдаланилган. Шунингдек, мазкур босқичда қулоқ чаноғини автоматик ажратиш амалга оширилган бўлиб, унда сегментлаш, геометрик шаклларни ажратиш ва муҳим соҳаларни локализациялаш алгоритмлари қўлланилган. Бу инсон билан боғлиқ хатоликларни камайтириш ҳамда аниқлик даражаси ошириш имконини беради. Иккинчи босқичда ажратилган қулоқ чаноғи тасвирининг ҳар бир нуқтаси ёки уни атрофидаги тузилмасига боғлиқ ҳолда куч таъсири билан тавсифланади, яъни куч майдони моделига ўтказилади. Ушбу алматириш тасвирни кучлар тақсимоти сифатида қайта ифодалаб, унинг геометрик тузилишини чуқурроқ очиб беради, яъни контурянада аниқлашади, мураккаб бурилишлар барқарор ифодаланади ва муҳим белгилар ишончли ажралади. Натижада тасвирдаги шовқин, ёруғлик ўзгариши ёки қисман бузилишларга қарамай, қулоқ чаноғи индивидуал белгиларини юқори аниқлик билан солиштириш ва улар асосида таниб олиш аниқлиги ориши имконияти пайдо бўлади. Бундан ташқари, қулоқ шакли мураккаб эгри чизиқлардан иборат бўлганлиги учун уларни вектор майдонига ўтказиб, дифференциал геометрия орқали таҳлил қилишни осонлаштиради. Сўнгра дифференциал геометрия усуллари асосида белгилар шакллантирилади. Таклиф этилган ёндашув қулоқ чаноғи мураккаб морфологик тузилишини инобатга олган ҳолда, уни қабариқ ва ботиқликларини юқори аниқликда ажратиш имконини беради. Таниб олишда таниб олиниши зарур бўлган тасвирдан олинган белгилар махсус таниб олиш алгоритмлари орқали маълумотлар базасидаги намуналар билан таққосланади. Таққослашда масофадан фойдаланилган бўлиб, тасвирларни ўхшашлик даражаси аниқланади. Таклиф этилган ёндашув ноаниқлик ва қисман бузилишлар мавжуд бўлган ҳолларда ҳам барқарор натижаларни таъминлади. Ўтказилган тажрибавий тадқиқотлар таклиф этилган алгоритмни самарадорлигини, юқори аниқликда ишлашини ва амалий масалаларда қўллаш имкониятларини тасдиқлайди. Муаллифлар таклиф этилган алгоритм асосида ишлаб чиқилган дастурий мажмуани биометрик идентификациялашда, хусусан, қулоқ чаноғи асосида шахсни таниб олиш масалаларини ҳал этишда ишончли ва самарали ечим бўлиб хизмат қила олади деб ҳисоблайди.

Кириш

Қулоқ чаноғи ўзгаришларга нисбатан барқарор бўлганлиги учун юзни таниб олиш усулларидан кўра кўроқ устунликка эга ҳисобланади. Дастлаб Альфред Ианнарелли томонидан шахсни қулоқ белгилари асосида таниб олиш бўйича тадқиқотлар ўтказилган бўлиб, унда 10000 дан ортиқ қулоқ тасвирлари таҳлил қилинган ва уларни ҳар биридан 12 тадан

© Н.Маматов, А.Самижонов, Ж.Усаров, Б.Абдуллаева

морфологик белгилар олинган [1]. Натижалар қулоқ чаноғи инсонлар орасида юқори даражада фарқланишга эга эканлигини кўрсатган. Бу ундан ишончли биометрик белги фойдаланиш мумкинлигини кўрсатади. Кейинчалик 2D ва 3D қулоқ тасвирлари асосида шахсни таниб олиш бўйича турли ёндашувлар ишлаб чиқилган [2-5]. Бунда бош компонентлар таҳлили (PCA), Voronoi диаграммаси, чизиқли дискриминант таҳлил (LDA), шаблонга мослаш ва графга асосланган мослаш каби усуллар, шунингдек, 3D маълумотлар учун ICP алгоритми, локал дескрипторлар (SIFT, SURF, ORB) ҳам кенг қўлланилган. Сўнгги йилларда эса ўрамли нейрон тармоқлар (CNN), Siamese netwFork ва metric learning каби чуқур ўқитишга асосланган ёндашувлар кенг қўлланилмоқда [6, 7]. Хусусан, Hurley ва унинг ҳаммуаллифлари томонидан таклиф этилган force field усули қулоқ тасвирларидаги энергия чуқурликларини белгилар сифатида ажратиш орқали шахсни таниб олишга мўлжалланган [8, 9].

Чуқур ўқитиш технологиялари қулоқ биометрикасида янги босқични бошлаб берди. Ўрамли нейрон тармоқлар (CNN), Siamese network ва metric learning усулларига асосланган моделлар юқори аниқлик ва барқарорликни таъминламоқда. Масалан, чуқур нейрон тармоқлар асосида қулоқни таниб олиш тизимлари катта маълумотлар тўпламларида самарали эканлиги иш муллифлари томонидан кўрсатиб ўтилган Шунингдек, 3D қулоқ биометрикасида локал дескрипторлар ва нуқтали булути ёндашувлар юқори аниқликни таъминламоқда. Замонавий таниб олиш алгоритмлари, хусусан, YOLO ва Mask R-CNN каби моделлар эса қулоқни автоматик сегментлаш самарадорлигини сезиларли даражада оширди [10, 11].

Ушбу мақолада қулоқ чаноғи шаклига асосланган биометрик идентификациялаш тизими таклиф этилган бўлиб, унда олинган тасвирлардан қулоқ соҳасини автоматик аниқлаш имкони мавжуд. Қулоқ соҳаси ажратилгандан сўнг force field алмаштириши орқали тасвир кучлар майдони кўринишига келтиради ва дифференциал геометрия асосида белгилар ажратиб олади. Таниб олиш жараёнида олинган белгилар бирор бир масофа орқали маълумотлар базасидаги намуналар билан таққосланади. Автоматик сегментлаш инсон омилини минималлаштириб, тизимни тўлиқ автоном ишлашини таъминлайди. Force field алмаштириши эса қулоқ чаноғини мураккаб геометрик тузилишини аниқ ва барқарор ифодалаш имконини бериб, контурлар ҳамда ички тузилмаларни ишончли ажратиб олишни таъминлайди. Дифференциал геометрияга асосланган белгиларни ажратиш усули индивидуал белгиларни юқори аниқлик билан акс эттириш имконини беради ва шовқин, ёруғлик ёки қисман ёпилиш каби омилларга нисбатан чидамлиликни оширади. Масофага асосланган мослаштириш механизми турли масштаб ва бурчакларда олинган тасвирлар орасида ҳам самарали таққослашни амалга оширади. Бундан ташқари, алгоритм ҳисоблаш нуқтаи назардан ҳам самарали бўлиб, катта ҳажмли маълумотлар базаларида тезкор ишлаш имкониятига эга.

Мақолани иккинчи бўлимда қулоқни сегментлаш, белгиларни ажратиш ва мослаштириш алгоритмлари батафсил баён этилса, учинчи бўлимда тажрибавий тадқиқот натижалари келтирилган ва таҳлил қилинган. Тўртинчи бўлим эса умумий хулосалардан иборат.

Қулоқ чаноғи асосида шахсни идентификациялаш тизими

Қулоқ чаноғини аниқлаш. Қулоқ чаноғини аниқлашнинг асосий мақсади тасвирдан фақат қулоқ чаноғи жойлашган соҳани аниқ ва ишончли ажратиб олишдир. Қулоқни аниқлаш бир нечта босқич асосида амалга ошириладии. Бунда ҳар бир босқич тасвирни қайта ишлашни муайян муаммоларини ҳал қилишга йўналтирилган. Дастлабки босқичда тери рангига асосланган сегментация қўлланилиб, тасвирдан инсонга тегишли бўлган эҳтимолий ҳудудлар ажратиб олинади. Бу жараёнда RGB, HSV ёки YCbCr каби ранг фазоларида тери пикселларини ажратиш усуллари кенг қўлланилади ва улар тасвирдаги фон таъсирини

© Н.Маматов, А.Самижонов, Ж.Усаров, Б.Абдуллаева

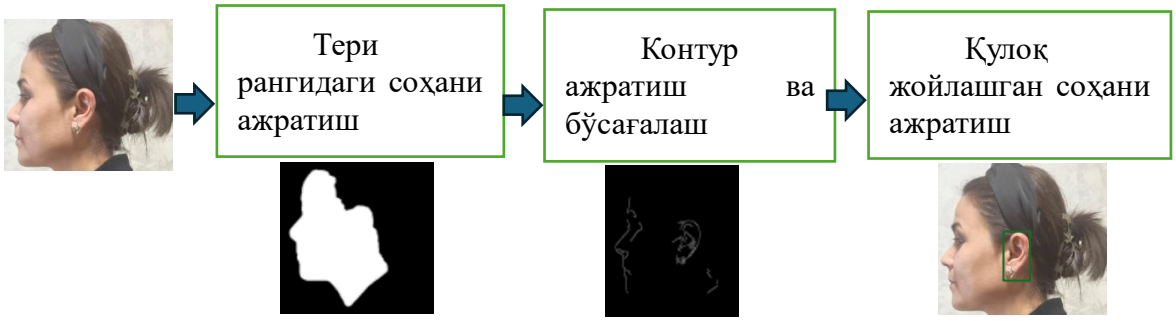
камайтиришга хизмат қилади [12-13].

Иккинчи босқичда ажратилган тери ҳудудлари доирасида контурларни аниқлаш амалга оширилади. Бунинг учун одатда Canny, Sobel ёки Laplace каби контур ажратиш алгоритмлари қўлланилади [14]. Ҳосил бўлган контурлар ўлчам бўйича фильтрланиб, жуда кичик ёки геометрик жиҳатдан аҳамиятсиз элементлар чиқариб ташланади. Бу босқич қулоқ чаноғини характерли шаклини ажратиб кўрсатишда муҳим аҳамиятга эга. Контур ажратиш алгоритмларини қиёсий баҳолаш ва тасвир сифатига қараб мос усул танлаш масаласи сўнгги тадқиқотларда ҳам долзарб бўлиб қолмоқда [15].

Учинчи босқичда эҳтимолий қулоқ ҳудудларини аниқлаш учун масофага асосланган мослаш усули қўлланилади. Бунда ҳар бир номзод ҳудуд соддалаштирилган қулоқ модели билан таққосланади ва улар орасидаги шакл ўхшашлиги баҳоланади. Масалан, Хаусдорф масофаси ушбу вазифада шаклларни таққослашда юқори самарадорликка эга бўлиб, қисман ёпилган ёки шовқинли тасвирларда ҳам ишончли натижаларни таъминлайди [16]. Натижада бир нечта номзод ҳудудлар орасидан энг мос келувчи вариант танлаб олинади.

Якуний босқичда эса танланган номзод ҳудуд ўртача қулоқ тасвири билан ўрта квадрат хатолик (Mean Squared Error, MSE) асосида қўшимча баҳоланади ва энг кичик хатоликка эга бўлган ҳудуд қулоқ чаноғи сифатида қабул қилинади. Бу қўшимча текширув босқичи тизимнинг аниқлигини оширишга ва нотўғри аниқлаш эҳтимолини камайтиришга хизмат қилади.

Сўнгги йилларда ушбу анъанавий ёндашувлар чуқур ўқитиш усуллари билан бойитилмоқда. Масалан, YOLO ва Mask R-CNN каби моделлар қулоқни реал вақтда юқори аниқлик билан аниқлаш имконини бермоқда. Бироқ, таклиф этилган усулни афзаллиги шундаки, у катта ўқув маълумотларини талаб қилмайди, ҳисоблаш жиҳатдан самарали ва турли шароитларда барқарор ишлайди [16-17].



1-расм. Қулоқ жойлашган соҳани аниқлаш схемаси

Тери рангига асосланган сегментация. Дастлаб юз соҳасини аниқлаш учун Flek усули қўлланилади [18]. Мазкур усул ранг ва текстура хусусиятларига асосланган тери фильтри орқали тасвирдаги терига тегишли ҳудудларни ажратади. Бироқ, қулоқ чаноғини мураккаб тузилиши сабабли, у баъзан тўлиқ ажралмаслиги мумкин. Шунинг учун морфологик дилатация амали қўлланилади, тери ҳудуди кенгайтирилади ва қулоқ чаноғини қамраб олади. Замонавий ёндашувларда эса ушбу босқич семантик сегментация тармоқлари (масалан, U-Net, DeepLab) орқали амалга оширилади, пиксел даражасида юқори аниқликда тери ва қулоқ ҳудудлари ажратиб олинади [19, 20].

Тери ҳудудида чегараларини аниқлаш. Ажратилган тери ҳудуди доирасида Canny алгоритми ёрдамида чегаралар аниқланади ва кейинчалик қисқа ҳамда изоляцияланган контурлар фильтрланади. Ушбу босқич қулоқ чаноғи асосий контурларини сақлаб қолишга хизмат қилади. Замонавий усулларда эса классик edge detection ўрнига HED (Holistically-Nested

Edge Detection) каби чуқур ўқитишга асосланган моделлар қўлланилиб, мураккаб ва шовқинли тасвирларда ҳам аниқ чеккаларни ажратиш имконини беради.

Шаблонга мослаш орқали қулоқни аниқлаш. Ушбу босқичда қулоқ чаноғи шаблонга мослаш усули орқали аниқланади. Соддалаштирилган helix контуридан иборат шаблон Хаусдорф масофаси асосида тасвирда қидирилади. Бунда аффин алмаштиришлар инобатга олинади. Ҳисоблаш самарадорлигини ошириш учун масофа трансформацияси ва ўзаро корреляция усули қўлланилади [21]. Сўнг non-maximum suppression орқали энг ишончли номзодлар ажратилади. Якунда номзод ҳудудлар ўртача қулоқ тасвири билан MSE орқали таққосланиб, энг мос келувчиси танланади [22].

Замонавий ёндашувларда эса шаблонга мослаш усули ўрнини чуқур ўқитишга асосланган объект аниқлаш моделлари эгалламоқда. Хусусан, YOLO, Faster R-CNN ва Mask R-CNN каби архитектуралар қулоқ чаноғини турли масштаб ва бурчакларда юқори аниқлик билан аниқлайди. Бундан ташқари, Transformer асосидаги DETR ва Vision Transformer (ViT) моделлари ҳам объектни глобал контекстни ҳисобга олган ҳолда аниқлаш имконини бермоқда. Бу усуллар катта маълумотлар тўпламларида ўқитилганда анъанавий методларга нисбатан юқори барқарорлик ва умумлаштириш қобилиятини намоён қилади [23-26].

Қулоқ белгиларини ажратиш. Қулоқ чаноғи анатомик тузилиши 2-расмда келтирилган бўлиб, инсон қулоғини энг фарқловчи белгилари уни морфологик элементлари, яъни ташқи ва ички чегара, ички қисм ва қулоқ пастки юмшоқ қисми каби тузилмалар шакли ва жойлашуви билан белгиланади. Анатомик элементлар индивидуал бўлиб, ҳар бир инсонда ўзига хос намоён бўлади. Шунинг учун, қулоқ чаноғини таниб олишда айнан ушбу тузилмаларга тегишли белгиларни ажратиш асосий вазифа ҳисобланади.



2-расм. *Қулоқ чаноғи анатомик тузилиши*

Force field алмаштириши асосида белгиларни шакллантириш. Мазкур ишда қулоқ белгиларини ажратиш учун дифференциал геометрияга асосланган ёндашувдан фойдаланилади. Бунда 2D интенсивлик тасвири $f(x,y)$ уч ўлчамли сирт сифатида қаралиб, яъни тасвирдаги ҳар бир пиксел (x, y) нуқтага мос ёркинлик қиймати $z=f(x,y)$ деб олинади ва сирт $S=(x,y,z)$ кўринишида ифодаланади. Бундай ифодалаш усули қулоқ чаноғи геометрик белгиларини чуқурроқ таҳлил қилиш имконини беради. Олинган сиртда қулоқни энг муҳим белгилари “ridge” (устки чизиқлар) ва “ravine” (ички чизиқлар) намоён бўлади. Бу чизиқлар қулоқ анатомиясини асосий элементларига мос келади ва уларни аниқлаш орқали ишончли белгилар ажратиб олинади. Ridge ва ravine чизиқларини ажратиш учун сирт дифференциал геометрияси, хусусан, асосий эгри чизиқларни аниқлаш зарур. Бу эгри чизиқлар сиртни қай даражада эгилишини ва қайси йўналишда максимал ёки минимал ўзгариш бўлаётганини аниқлаш имконини беради.

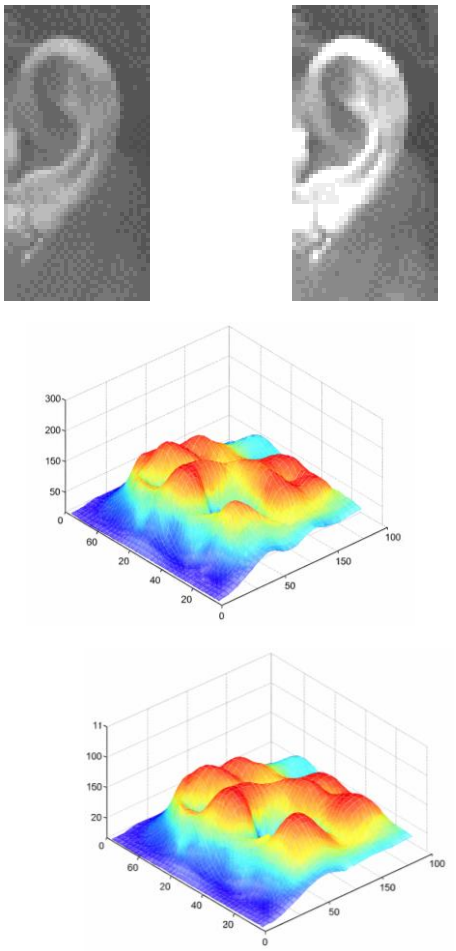
Force field ушбу жараённи янада самарали қилади, чунки у тасвирни кучлар майдони сифатида қайта ифодалаб, геометрик хусусиятларни кучайтирилган шаклда намоён этади. Натижада белгилар шовқинга нисбатан барқарор ва турли ёруғлик шароитларида ҳам ишончли аниқланади. Бу эса қулоқ чаноғини таниб олиш тизими умумий аниқлиги ва барқарорлигини оширади.

Асосий эгри чизиқларни ҳисоблаш иккинчи тартибли ҳосилаларга боғлиқ

бўлганлиги учун белгиларни барқарор ажратиш тасвирга дастлабки ишлов беришни шунингдек, муҳим тузилмаларни сақлаб қолиш талаб этади [27-45]. Шунинг учун ишда белгиларни ажратишдан олдин қулоқ тасвирига force field алмаштириши қўлланилади. Мазкур ёндашувда тасвир Гаусс аттракторлари массиви сифатида қаралади, яъни ҳар бир пиксел куч манбаи сифатида қабул қилиниб, умумий кучлар майдонини шакллантиради. Мазкур алмаштириш натижасида қулоқ тасвири силлиқланади, бироқ уни асосий геометрик тузилмалари, яъни контур, чўққи ва чуқурликлари сақланиб қолади. Бу эса навбатдаги босқичда дифференциал геометрия асосида аниқ ҳисоблашларни амалга ошириш учун қулай шароит яратади. Force field энергия функциясига кўра, тасвирдаги ҳар бир пиксел бошқа барча пикселларга барча йўналишларда тенг куч таъсир кўрсатади деб қабул қилинади ва натижада бутун тасвир ягона кучлар майдонига айлантирилади. Бу орқали шовқин камайтирилиб, муҳим хусусиятлар кучайтирилган ҳолда намоён бўлади, бу эса белгилар нуқталарини ишончли ажратишга хизмат қилади.

$$F_i(r_j) = P(r_i)\frac{r_i - r_j}{\left\|r_i - r_j\right\|^3},$$

$$F(r_j) = \frac{1}{N}\sum_{i\in 0,N-1 | i\neq j} F_i(r_j) = \frac{1}{N}\sum_{i\in 0,N-1 | i\neq j} P(r_j)\frac{r_i - r_j}{\left\|r_i - r_j\right\|^3}$$



3-расм. Force field энергия алмаштириши натижаси

бу ерда N – тасвирдаги пикселлар сонини ифодалайди, $F_i(r_j)$ эса r_j позициядаги пикселга r_i позицияда жойлашган бошқа пиксел томонидан кўрсатиладиган кучни англатади, бунда пиксел интенсивлиги $P(r_i)$ инобатга олинади. Куч катталиги пиксел интенсивлигига тўғри пропорционал ва пикселлар орасидаги масофага тескари пропорционал ўзгаради. 3-расмда force field энергия алмаштириши натижаси келтирилган. Сирт сифатидаги тасвир ифодасидан кўриниб турибдики, алмаштириш бажарилган тасвир асл тасвирга нисбатан анча силлиқ ҳолда, бироқ, уни асосий геометрик ва тузулмали белгилари сақланган. Бу ҳолат навбатдаги босқичларда белгиларни аниқ ва барқарор ажратиш учун муҳим аҳамият касб этади.

Қулоқ тасвирини сирт сифатида ифодалаш асосида белгиларни шакллантириш. Сирт $z = f(x, y)$ функция орқали ифодаланганда уни асосий геометрик хусусиятлари Гаусс қабариқлиги K, ўртача қабариқлик H ва асосий қабариқликлар, яъни k_1 ҳамда k_2 билан тавсифланади. Ушбу параметрлар сирт маҳаллий шаклини, яъни чўққи ва ботиқ ёки текис соҳаларини аниқлаш имконини беради. Қулоқ чаноғи тасвирида айнан шу геометрик хусусиятлар уни индивидуаллигини белгилайди.

Белгиларни ажратиш жараёнида иккинчи тартибли ҳосилалар ҳисобланади, чунки

© Н.Маматов, А.Самижонов, Ж.Усаров, Б.Абдуллаева

қабариқлик ёки ботиқлик сиртни иккинчи даражали ўзгаришларига боғлиқ. Бунинг учун дастлаб сирт нормал вектори $\vec{n}$ аниқлаш зарур. У сирт юзасига перпендикуляр бўлиб, ҳар бир нуқтада сирт йўналишини ифодалайди. Сўнгра иккинчи ҳосилалар орқали ботиқлик ва қабариқликлар ҳисобланиб, максимал ва минимал қабариқлик қийматлари, яъни k_1 ва k_2 аниқланади. Айнан шу асосий қабариқлик ёрдамида қулоқ чаноғини муҳим тузилмалари ва бошқа анатомик элементларга мос келувчи чўққи ва ботиқликлар аниқланади ва улар белгилар сифатида ажратиб олинади ҳамда таниб олиш босқичида қўлланилади. Бундай ёндашув қулоқ чаноғини мураккаб геометрик тузилишини юқори аниқлик билан тавсифлаш имконини бериб, идентификациялашда ишончли натижаларни таъминлайди.

Ишда асосий мақсади чўққи ва ботиқликларда жойлашган нуқталарни белгилар сифатида ажратиб олишдан иборат. Олинадиган нуқталар сиртдаги энг муҳим геометрик хусусиятларга мос келиб, "экстремал ridge нуқталари" деб аталади. Экстремал ridge нуқтада асосий қабариқликда k_1 локал мусбат максимум қийматга эга бўлади, яъни бу нуқталар сиртни энг бўртиб турган, чўққи хусусиятлари жойлашган қисмларини ифодалайди.

Чўққиларни аниқлашни турли усуллари мавжуд бўлса-да, ушбу ёндашувда k_1 бўсаға қиймат орқали ажратиб олинади. Бунда бўсаға қийматидан катта қийматларига эга бўлган нуқталар экстремал ridge нуқталари сифатида олинади. Бу усул ҳисоблаш жиҳатдан содда ва амалий жиҳатдан самаралидир.

Force field энергия тасвирида ажратилган таянч нуқталар намунаси келтирилган бўлиб, унда нуқталар энергия тасвири устига жойлаштирилган ҳолда кўрсатилган ва унда олинган нуқталар қулоқ чаноғини асосий тузилмасига мос келиши аниқ кўринади. Бу эса таклиф этилган усулни қулоқни муҳим морфологик хусусиятларини ишончли ажрата олиш қобилиятини тасдиқлайди.

Таниб олиш. Кўплаб биометрик тизимларда бўлгани каби таклиф этилган тизимда ҳам икки босқич мавжуд, яъни оффлайн (off-line) ва онлайн (on-line) босқичлар. Биринчи босқичда маълумотлар базасини шакллантириш амалга оширилади, яъни қулоқ тасвирларидан ажратилган белгилар сақланади. Онлайн босқичда эса янги тасвир қайта ишланиб, ундан олинган белгилар маълумотлар базасидаги намуналар билан солиштирилади ва ўхшашлик аниқланади.

Маълумотлар базасини шакллантиришда ҳар бир қулоқ тасвири учун force field ва дифференциал геометрия усуллари асосида ажратилган белгилар мажмуаси ҳосил қилиниб, улар базага ёзилади. Таниб олиш босқичида эса тест тасвир учун худди шу жараён такрорланади ва янги белгилар олинади. Сўнгра ушбу белгилар базадаги ҳар бир намуна билан таққосланади.

Таққослаш мезони сифатида икки томонлама (bi-directional) Хаусдорф масофаси олинди. Бу метрика икки нуқталар тўплами орасидаги ўхшашликни аниқлашда ишончли бўлиб, у ҳар икки томондан минимал масофаларни инобатга олади. Қисман икки томонлама Хаусдорф масофаси (partial bi-directional Hausdorff distance) эса барча нуқталар эмас, балки уларни маълум қисми асосида ҳисобланиб, шовқин ва нотўлиқ маълумотлар таъсирини камайтиради.

Икки белгилар тўплами ўзаро алмаштириш бажарган ҳолда (масалан, силжиш, бурилиш ёки масштаблаш инобатга олинган ҳолда) қисман икки томонлама Хаусдорф масофаси орқали таққосланади. Натижада энг кичик масофа эга бўлган намуна мос келувчи объект сифатида олинади. Бу ёндашув қулоқ чаноғи геометрик хусусиятларини аниқ таққослаш имконини бериб, идентификациялашни юқори аниқлигини таъминлайди.

$$H_{LK}\left(T(P),P'\right)=\max\left(h_L\left(P',T(P)\right),h_K\left(T(P),P'\right)\right)$$

бу ерда P — тест тасвирдан ажратиб

олинган қулоқ чаноғи белгилари тўплами, $T(P)$ эса ушбу белгилар тўпламини амаштиришдан сўнгги кўриниши. T алмаштириш одатда белгиларни маълумотлар базасидаги намуналарга мослаштириш учун қўлланилади ва у силжиш, буриш ҳамда масштаблаш каби алмаштиришлардан иборат бўлади.

Математик жиҳатдан, $T(P)$ ни қуйидагича ифодаланиши мумкин, яъни ҳар бир $P(x,y)$ да P нуқтани янги координаталари алмаштириш орқали аниқланади, яъни $P'=T(P)$. Бу ерда T — параметрларга боғлиқ бўлган функция бўлиб, у нуқталар тўпламини фазодаги жойлашувини ўзгартиради бироқ, уларни нисбий геометрик тузилмасини сақлаб қолишга ҳаракат қилади. Шундай қилиб, $T(P)$ орқали тест тасвирдан олинган белгилар базадаги намунага максимал даражада мослаштирилади ва кейинчалик Хаусдорф масофаси ёрдамида аниқ таққослаш амалга оширилади.

$$T(P)=A*P+t=\begin{pmatrix} s\cos\theta & s\sin\theta & t_x \\ -s\sin\theta & s\cos\theta & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

бу ерда P' — маълумотлар базасидаги қулоққа мос белгилар тўплами. $h_L\left(P',T(P)\right)$ - $T(P)$ дан P'га бўлган қисман йўналтирилган масофа бўлиб, у $T(P)$ тўпламидан P' тўпламигача бўлган масофалар орасидаги K-тартибдаги (яъни сараланган) қийматни англатади, бу ерда $1\le K\le q$, $(q)-(P)$ тўплмдаги нуқталар сони. Худди шундай, $h_L\left(P',T(P)\right)$ — P' дан $T(P)$ га бўлган қисман йўналтирилган масофа бўлиб, $1\le L\le q'$ $(q')-(P')$ даги нуқталар сони. Қисман йўналтирилган масофада барча нуқталар эмас, балки фақат энг яхши мос келувчи K ёки Lта нуқталар инобатга олинади. Яъни, у ($h_k(T(P),P')$ дан (P') гача бўлган масофалар тўпламидаги (T)-энг кичик қийматни англатади.

Амалда ушбу масофаларни ҳисоблаш учун f_1 ва f_2 улуш коэффициентлари берилади $0<f_1,f_2<1$ ва улар орқали $K=f_1\times q, L=f_2\times q'$ ҳисобланади. Бу коэффициентлар икки нуқталар тўплами орасида қанча мос келмайдиган (йўқолган ёки нотўғри) нуқталарга рухсат берилишини белгилайди. Шу тариқа, усул шовқин, қисман ёпилиш ёки белгилар йўқолишига нисбатан чидамли бўлади.

Таққослаш қатъий алмаштиришни топиш орқали, яъни бурилиш, масштаблаш ва силжиш параметрларини топишга қаратилган бўлиб, ушбу алмаштириш Хаусдорф масофасини минималлаштириши шарт. Натижада маълумотлар базасидаги қулоқ тасвирлари орасида тест тасвирига нисбатан энг кичик Хаусдорф масофасига эга бўлган намуна энг яхши мос келувчи деб қабул қилинади. Минимал Хаусдорф масофани топиш учун квадратик оптималлаштириш усули қўлланилади, бу эса оптимал мослаш параметрларини самарали ҳисоблаш имконини беради.

Натижалар

Тажрибалар ўтказиш учун 150 нафар шахсни ўнг ва чап қулоқлари тасвирларидан иборат маълумотлар базаси шакллантирилди. Ҳар бир шахс учун битта тасвир ўқитиш босқичида қўлланилиб, ундан қулоқ чаноғи аниқланди ва ажратилган белгилар базага сақланди. Таниб олиш босқичида эса ўқитишда фойдаланилмаган тасвирлар олинди. Жараён тест тасвирдан қулоқ ҳудудини аниқлаш ва белгилар ажратишдан бошланиб, маълумотлар базасидаги барча намуналар билан Хаусдорф масофаси орқали таққослашгача бажарилди. Таклиф қулоқни таниб олиш усули 70 нафар шахсга тегишли 140 та тасвирида синовдан ўтказилди (ҳар бир субъект учун иккитадан тасвир). Ушбу 140 та ҳолатдан 130 тасида тўғри жавоб олинди. Бу натижа усулни юқори аниқлик ва ишончлиликка эга эканлигини кўрсатади.

Тажрибаларда ҳисоблаш самарадорлигига ҳам алохида эътибор қаратилди. Қулоқни

аниқлаш ўртача 5.3 сония вақт талаб қилди, тахминан дақиқасига 26 та тасвир). Таниб олиш босқичида эса бир сўров тасвирини маълумотлар базасидаги 140 та қулоқ намунаси билан Хаусдорф масофаси орқали таққослаш ўртача 2.4 сонияни ташкил этди. Юқори унумдор ва оптималлаштирилган алгоритмлардан фойдаланиш ҳисоблаш вақти сезиларли даражада қисқартириши мумкин.

Хулоса

Ушбу ишда қулоқ тасвирлари асосида шахсни таниб олишга мўлжалланган таниб олиш тизими ишлаб чиқилди. Таклиф этилган тизим қулоқ чаноғини автоматик аниқлашни янги усулини ўз ичига олади, бу эса инсон иштирокини минималлаштириб, жараённи тўлиқ автоматлаштириш имконини беради. Шунингдек, қулоқ белгиларини ажратиш учун тасвирни алмаштириш ва дифференциал геометрияга асосланган янги ёндашув ишлаб чиқилди, бу эса қулоқни мураккаб морфологик тузилишини аниқ ва барқарор ифодалаш имконини таъминлайди.

Ўтказилган тажрибалар натижалари таклиф этилган тизим самарадорлигини тасдиқлаб, уни қулоқ чаноғи асосида биометрик идентификациялаш масалаларида ишончли ва юқори аниқликда ишлашини кўрсатди. Тизим шовқин, ёруғлик ўзгариши ва қисман ёпилиш каби омилларга нисбатан барқарор бўлиб, амалиёт учун мос ечим сифатида қараш мумкин.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Iannarelli A. Ear Identification. Forensic Identification Series, 1989.
2. Chang K., Bowyer K. Multi-biometric systems based on ear and face. IEEE, 2003.
3. Hurley D.J., Nixon M.S., Carter J.N. Force field feature extraction for ear biometrics. Computer Vision and Image Understanding, 2005.
4. Burge M., Burger W. Ear biometrics using Voronoi diagrams. Pattern Recognition, 2000.
5. Chen H., Bhanu B. Human ear recognition in 3D. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2007.
6. Emeršič Ž., Štruc V., Peer P. Ear recognition: More than a survey. Neurocomputing, 2017.
7. Hansley E., Segundo M.P., Sarkar S. Employing deep learning for ear recognition. IEEE, 2018.
8. Dodge S., Karam L. Understanding how image quality affects deep neural networks. IEEE, 2019.
9. Zhou Y., Zaferiou S. 3D ear recognition using deep models. IEEE, 2020.
10. Redmon J. et al. YOLOv3: An incremental improvement. 2018.
11. He K. et al. Mask R-CNN. IEEE, 2017.
12. Phung S.L., Bouzerdoum A., Chai D. Skin segmentation using color pixel classification. IEEE, 2005.
13. Jones M., Rehg J. Statistical color models with application to skin detection. IJCV, 2002.
14. Canny J. A computational approach to edge detection. IEEE, 1986.
15. Huttenlocher D., Klanderman G., Rucklidge W. Comparing images using the Hausdorff distance. IEEE, 1993.
16. Redmon J. et al. YOLOv3: An incremental improvement. 2018.
17. He K. et al. Mask R-CNN. IEEE, 2017.
18. Fleck M. et al. Human skin color detection in images. 1996.
19. Huttenlocher D. et al. Hausdorff distance for object matching. IEEE, 1993.
20. Borgefors G. Distance transformations in digital images. CVGIP, 1986.
21. Ronneberger O. et al. U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. 2015.
22. Chen L.C. et al. DeepLab: Semantic image segmentation. IEEE, 2018.
23. Xie S., Tu Z. Holistically-Nested Edge Detection. IEEE, 2015.
24. Ren S. et al. Faster R-CNN. IEEE, 2015.
25. He K. et al. Mask R-CNN. IEEE, 2017.
26. Carion N. et al. DETR: End-to-End Object Detection with Transformers. 2020 Mamatov N. et al. Algorithm for Selecting Optimal Features in Face Recognition Systems //2023 19th International Asian School-Seminar on

Optimization Problems of Complex Systems (OPCS). – IEEE, 2023. – С. 59-64.
27. Маматов Н. и др. Методы повышения контрастности изображений при мультиспиральной компьютерной томографии //Евразийский журнал академических исследований. – 2023. – Т. 3. – №. 9. – С. 125-132.
28. Mamatov N., Jalelova M., Samijonov B. Tasvir obyektlarini segmentatsiyalashning mintaqaga asoslangan usullari //Modern Science and Research. – 2024. – Т. 3. – №. 1. – С. 1-4.
29. Маматов Н. С. и др. Тасвир контур чизиқларини ингичкалаштиришнинг бидиагонал алгоритми //Eurasian Journal of Mathematical Theory and Computer Sciences. – 2024. – Т. 4. – №. 3. – С. 13-23.
30. Mamatov N. et al. Algorithms for contour detection in agricultural images //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – Т. 486. – С. 03017.
31. Mamatov N. et al. Algorithm of geometric normalization of face image //Norwegian Journal of development of the International Science No. – 2024. – Т. 130. – С. 121.
32. Mamatov N. et al. Gabor filtering method for formation features vector for person recognition based on face image //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2025. – Т. 3377. – №. 1. – С. 060011.
33. Mamatov N. S. et al. X-Ray Image Contrast Enhancement Algorithms //Journal of Advanced Research Design. – 2025. – Т. 130. – №. 1. – С. 1-12.
34. Narzullo M. et al. A Hybrid Algorithm for Contour Thinning in Image Processing //Journal of Communications Software and Systems. – 2025. – Т. 21. – №. 1. – С. 23-33.
35. Маматов Н. С. Юз соҳалари бўйича ҳис-туйғуларни таниб олиш алгоритми //Центрально азиатский журнал STEM. – 2025. – Т. 1. – №. 1.
36. Solidjonovich M. N., Kaymatdinovich E. K., Qizi J. M. M. TASVIRLARDA SIFAT KO ‘RSATKICHI ASOSIDA GAUSS SHOVQIN PARAMETRINI ANIQLASH YONDASHUVI //Al-Farg’oniy avlodlari. – 2025. – Т. 1. – №. 4. – С. 115-119.
37. Mamatov N., Jalelova M., Jo‘Raev I. Rentgen tasvirlarni shakllantirish vositalari //Современные проблемы интеллектуальных систем. – 2025. – Т. 1. – №. 1. – С. 44-46.
38. Маматов Н., Жалелова М., Файзиев В. Ўпка соҳасини аниқлашни такомиллаштирилган нейрон тармоқ модели //Современные проблемы интеллектуальных систем. – 2025. – Т. 1. – №. 1. – С. 164-166.
39. Маматов Н., Жўраев И., Абдуллаева Б. Чуқур нейрон тармоқ технологиялари ёрдамида буйрак патологияларини фарқлаш //Современные проблемы интеллектуальных систем. – 2025. – Т. 1. – №. 1. – С. 268-271.
40. Mamatov N. et al. Hybrid quadratic diagonal algorithm for thinning contour lines //EPJ Web of Conferences. – EDP Sciences, 2025. – Т. 321. – С. 03005.
41. Mamatov N. et al. Object segmentation approach in image processing //ITM Web of Conferences. – EDP Sciences, 2025. – Т. 72. – С. 03001.
42. Mamatov N. S. et al. A method for removing mixed noise in images //Artificial Intelligence and Information Technologies. – CRC Press, 2024. – С. 489-495.
43. Mamatov N. et al. X-ray Image Contrast Enhancement Approach //2024 3rd International Conference on Applied Artificial Intelligence and Computing (ICAAIC). – IEEE, 2024. – С. 1293-1297.
44. Mamatov N. et al. X-ray image contrast estimation and enhancement algorithms //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2024. – Т. 3147. – №. 1. – С. 040014.
45. Mamatov N. et al. Methods for increasing the contrast of drone agricultural images //AIP conference proceedings. – AIP Publishing LLC, 2024. – Т. 3147. – №. 1. – С. 040015.

© Н.Маматов, А.Самижонов, Ж.Усаров, Б.Абдуллаева