

EKSTREMAL YORITILGANLIK SHAROITIDA YUZ TASVIRI ASOSIDA SHAXSNI IDENTIFIKATSIYALASHDA CHUQUR O'QITISH USULLARI

<https://doi.org/10.5281/zenodo.21051318>

t.f.f.d.,(PhD), dotsent, Nurjanov Furqatbek Reyimberganovich

O'zbekiston Respublikasi Harbiy xavfsizlik va mudofaa universiteti

Ushbu maqolada ekstremal yoritilganlik (o'ta qorong'i, haddan tashqari yorqin va teskari yorug'lik) sharoitida yuz tasviri asosida shaxsni identifikatsiyalash muammolari va ularning sun'iy intellektga tayangan yechimlari tadqiq etilgan. An'anaviy kompyuterli ko'rish algoritmlarining yorug'lik o'zgarishlariga nisbatan past samaradorligi tahlil qilinib, zamonaviy chuqur o'qitish (Deep Learning) usullari taklif etilgan.

Kalit so'zlar

Sun'iy intellekt, chuqur o'qitish, yuzni identifikatsiyalash, ekstremal yoritilganlik, konvolyutsion neyron tarmoqlari, GAN, ArcFace, tasvirni normallashtirish, invariant belgilar.

Kirish. Hozirgi kunda sun'iy intellekt va kompyuterli ko'rish texnologiyalarining jadal rivojlanishi shaxsni yuz tasviriga ko'ra identifikatsiyalash tizimlarini yangi bosqichga olib chiqdi. Yuz tasviri asosida autentifikatsiya qilish biometrik xavfsizlik, smart-city monitoringi va mobil qurilmalar xavfsizligining eng muhim yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Biroq, laboratoriya sharoitida yuqori natija beruvchi algoritmlar real amaliyotda o'zgaruvchan fotometrik muhit, xususan, ekstremal yoritilganlik (o'ta qorong'i, haddan tashqari yorqin va teskari yorug'lik) sharoitida o'z aniqligini sezilarli darajada yo'qotadi.

Ekstremal yoritilganlik yuzning geometrik va tekstura xususiyatlarini vizual jihatdan o'zgartirib, tasvirda chuqur soyalar yoki lokal xiraliklarni (overexposure) keltirib chiqaradi. Bu esa shaxsni identifikatsiyalashda muhim ahamiyatga ega bo'lgan biometrik belgilarning informativlik darajasini keskin pasaytiradi. AQSh Milliy Standartlar va Texnologiyalar Instituti (NIST) hamda xalqaro tadqiqotlar natijalari shuni ko'rsatadiki, an'anaviy kompyuterli ko'rish algoritmlarining samaradorligi normal yoritish sharoitidan (98% gacha) ekstremal yorug'lik muhitiga o'tilganda (15 lyuksdan past yoki keskin teskari yorug'likda) 40-50% gacha pasayib ketadi. [1].

Mavjud klassik CNN (Konvolyutsion neyron tarmoqlari) modellari ko'pincha global yorug'lik garmoniyasini hisobga olmaydi, bu esa tungi vaqtda yoki kuchli

yorug'lik manbalari qarshisida xatolik ko'rsatkichini oshiradi. Shu sababli, ekstremal yorug'lik shovqinlariga chidamli bo'lgan, tasvirlarni intellektual normallashtiruvchi va invariant (o'zgarmas) belgilarni ajratuvchi moslashuvchan chuqur o'qitish modellarini ishlab chiqish kompyuterli ko'rish sohasidagi eng dolzarb ilmiy masalalardan biridir.

Mazkur maqolaning maqsadi – ekstremal yoritilganlik (o'ta qorong'i, haddan tashqari yorqin va teskari yorug'lik) sharoitida an'anaviy kompyuterli ko'rish algoritmlarining past samaradorligi muammosini tahlil qilish hamda zamonaviy chuqur o'qitish (Deep Learning) usullariga tayangan holda yuz tasviri asosida shaxsni yuqori aniqlikda identifikatsiyalash yechimlarini ishlab chiqish va ularning samaradorligini baholashdan iborat.

Adabiyotlar tahlili: Shaxsni yuz tasviri bo'yicha aniqlash texnologiyalari an'anaviy raqamli ishlov berish usullaridan chuqur neyron tarmoqlariga asoslangan zamonaviy tizimlarga bo'lgan rivojlanish yo'lini bosib otdi. Bugungi kunda ushbu sohadagi asosiy ilmiy muammolardan biri – ekstremal yoritilganlik (o'ta qorong'i yoki teskari yorug'lik) va keskin soya effektlari ostida yuzning individual belgilari buzilishi hamda buning natijasida tizim barqarorligining pasayishidir [2]. Ushbu yo'nalishda yorug'lik gradiyentining keskin o'zgarishi tizimlarining barqarorligiga ta'sir etuvchi fundamental muammolar sifatida keng tadqiq etilmoqda.

Xalqaro miqyosda olib borilgan tadqiqotlarda yorug'lik o'zgarishi muammosini hal qilish uchun asosan Asosiy komponentlar tahlili (PCA – Principal Component Analysis) va unga tayangan Eigenfaces metodologiyasi qo'llanilgan. Biroq, ushbu usullar yuz tasviridagi lokal soyalar va haddan tashqari yorqinlik sharoitida o'zining past barqarorligini ko'rsatdi. Keyinchalik, lokal tekstura belgilarini ajratishga mo'ljallangan Local Binary Patterns (LBP) va Histogram of Oriented Gradients (HOG) kabi deskriptorlar taklif etildi [3]. Ushbu algoritmik yondashuvlar yorug'likning global o'zgarishlariga qisman chidamlilik ko'rsatgan bo'lsa-da, ekstremal fotometrik kamchiliklar va qorong'ilik muhitida identifikatsiya aniqligini keskin pasaytirib yuborishi aniqlandi.

Bu borada chuqur o'qitish texnologiyalarining rivojlanishi bilan yuz xususiyatlarini avtomatik ajratib olishda konvolyutsion meyron tarmoqlari (CNN) dominant uslubga aylandi. Chunonchi, FaceNet arxitekturasida yuz belgilari fazosida evklid masofasini minimallashtirish orqali yuqori aniqlikka erishdi. Ammo, an'anaviy CNN modellari ekstremal yorug'lik tufayli yuzaga keladigan chiziqli bo'lmagan shovqinlarni to'liq bartaraf eta olmaydi [4]. Tadqiqotchi olimlar yorug'likka invariant (ta'sir qilmaydigan) belgilarni ajratish uchun tarmoq

qatlamlarini chuqurlashtirish (ResNet, DenseNet) va gibrid tuzilmalarni qo'llash zarurligini isbotladilar.

Masalan, yoritilganlik darajasi o'ta past bo'lgan muhitlarda (masalan, tungi kuzatuv kameralarida) belgilarni to'g'ridan-to'g'ri ajratish qiyin bo'lgani sababli, generativ adekvat tarmoqlar (GAN) asosida tasvirni oldindan qayta ishlash ommalashdi. Face Relighting (Yuzni qayta yoritish) va CycleGAN kabi modellardan foydalanib, noqulay yoritilgan tasvirlarni sun'iy ravishda ideal yorug'lik holatiga keltirish usullari taklif etildi. Ushbu yondashuv ma'lumotlar bazasini boyitishga xizmat qilsa-da, generatsiya jarayonida yuzning o'ziga xos biometrik identifikatsiya belgilari (identity features) qisman buzilishi yoki yo'qolishi mumkinligi aniqlandi [5].

O'zbekiston Respublikasida sun'iy intellekt, tasvirlarga raqamli ishlov berish va timsollarni identifikatsiyalash sohalarida shakllangan nufuzli ilmiy maktablar mavjud. Mahalliy ilmiy ishlarda tasvirdagi informativ belgilarni ajratish, shaxsni identifikatsiyalashning matematik modellari va algoritmlarini optimallashtirish masalalari tizimli ravishda tadqiq etilgan.

Shunga qaramay, mahalliy va xorijiy tadqiqotlarda yorug'lik yetishmovchiligi va uning oqibatida kelib chiquvchi yuz okklyuziyasi (soya ostida yuz qismlarining to'silib qolishi) ko'pincha alohida-alohida o'rganilgan bo'lib, ularning gibrid ta'siri kompleks tahlil etilmagan. Real vaqt rejimidagi tizimlarda, ayniqsa ekstremal yoritilganlik (o'ta qorong'i va teskari yorug'lik) muhitida shaxsni aniq identifikatsiyalovchi barqaror algoritmik yechimlar haligacha yetarli darajada rivojlanmagan. Shu bois, tasvirdagi fotometrik nuqsonlarni bartaraf etuvchi Retinex-dekompozitsiya modelini hamda lokal va global belgilarni chuqur tahlil qiluvchi gibrid CNN-Transformer arxitekturasini integratsiya qilish orqali, o'ta murakkab yorug'lik sharoitlariga chidamli yangi chuqur o'qitish metodologiyasini yaratish dolzarb ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi.

Metodologiya va taklif etilayotgan yechim – Ekstremal yoritilganlik sharoitida shaxsni yuz tasviri bo'yicha identifikatsiyalash tizimlarining fundamental muammolaridan biri – fotometrik nuqsonlar natijasida muhim biometrik markerlar (burun, og'iz, ko'z va iyak konturlari) atrofida chuqur lokal soyalarning yuzaga kelishi va oqibatda axborotning degradatsiyaga uchrashidir [6]. Mazkur holat klassik pikseller intensivligi gradatsiyasiga asoslangan algoritmlar, xususan Haar Cascade, Local Binary Patterns (LBP) va Eigenfaces usullarining diskriminantlik xususiyatini, ya'ni ekstremal sharoitda shaxslarni o'zaro farqlash qobiliyatini sezilarli darajada kamaytiradi.

Bundan tashqari, fotometrik variatsiyalar – yoritish darajasining ekstremal o'zgarishi (o'ta qorong'i, haddan tashqari yorqin yoki teskari yorug'lik) tasvirning

signal-shovqin nisbatiga (SNR) keskin salbiy ta'sir ko'rsatadi. Bu esa an'anaviy identifikatsiyalash algoritmlarining barqarorlik ko'rsatkichlarini (robustness) tubdan pasaytiradi. Amaliy tajribalar shuni ko'rsatadiki, yuqorida keltirilgan klassik usullar yorug'lik defitsiti va keskin gradiyent o'zgarishlari bir vaqtda namoyon bo'ladigan murakkab ssenariylarda yetarli samaradorlikni ta'minlay olmaydi.

Ushbu muammolarni kompleks hal etish hamda ekstremal yoritilganlik sharoitida ham yuqori chidamlilikka ega identifikatsiya tizimini yaratish maqsadida quyidagi ustuvor ilmiy vazifalar aniqlab olindi. Bular quyidagilar:

1. Fotometrik nuqsonlarni kompensatsiyalash – o'ta xira muhitda (15 lyuksdan past) olingan yuz tasvirlarida vizual axborot yo'qolishining oldini olish, tasvir kontrastini oshirish va shovqinlarni filtrlash uchun Retinex matematik modelini moslashtirish.

2. Lokal relyef xususiyatlarini aniqlash – keskin yorug'lik gradiyenti va soya effektlari ta'siriga chidamli bo'lgan mitti geometrik o'lchamlarni (yuz konturlarini) mukammal ajratish maqsadida konvolyutsion tarmoq (CNN) operatorlarini optimallashtirish.

3. Intellektual fokuslash tizimini yaratish – yuzning yuqori darajada yoritilgan (foydali) va soya bosgan (shovqinli) hududlarini dinamik ravishda taroziya qilish hamda hisoblash quvvatini faqat turg'un zonalarga qaratish uchun α -vaznli fazoviy diqqat blokini sintez qilish.

Taklif etilayotgan matematik yondashuv. Yuqorida belgilangan vazifalarni hayotga tatbiq etish maqsadida, mazkur tadqiqotda ekstremal yoritilganlik sharoitida shaxsni identifikatsiyalash aniqligini oshirishga qaratilgan gibrid matematik yondashuv taklif etiladi. Ushbu yechim tasvir datchigidan olingan raqamli signallarni fizik sathda tiklovchi Retinex dekompozitsiyasidan boshlab, chuqur gibrid CNN-Transformer neyron tarmog'i orqali invariant biometrik belgilarni ajratib olishgacha bo'lgan ketma-ket algoritmik bosqichlarni o'z ichiga oladi.

Yorug'lik sharoitlariga fotometrik moslashuvchanlik modeli. Tasvirlarni dastlabki qayta ishlash bosqichida yorug'lik gradiyentining salbiy ta'sirini kamaytirish maqsadida Retinex nazariyasiga asoslangan chiziqli bo'lmagan fotometrik korreksiya modeli qo'llaniladi [7]. Ushbu modelga ko'ra, kirish tasviri quyidagi ko'rinishda dekompozitsiya qilinadi:

$$S(x, y) = R(x, y) \cdot I(x, y) \quad (1)$$

Bu yerda:

$R(x,y)$ – Aks ettirish komponenti bo'lib, obyekt sirtining fizik xususiyatlarini ifodalaydi va yoritish sharoitiga bog'liq bo'lmagan invariant biometrik axborotni o'z ichiga oladi;

$I(x,y)$ – Yoritish komponenti bo'lib, tashqi yorug'lik manbalari ta'sirini ifodalaydi va tasvirdagi fotometrik shovqin sifatida qaraladi.

Logarifmik transformatsiya orqali ushbu munosabat quyidagi ko'rinishga keltiriladi:

$$\log(R) = \log(S) - \log(I) \quad (2)$$

Mazkur yondashuv yuz teksturasidagi mikro-detallarning kontrastli seleksiyasini ta'minlab, algoritmning o'ta past yoritish sharoitlarida ishlash imkoniyatlarini sezilarli darajada yaxshilaydi.

Yoritish shovqinlarini tozalash jarayoni. Identifikatsiya aniqligini oshirish uchun algoritmning asosiy vazifasi yoritish komponenti $I(x,y)$ ta'sirini minimallashtirish va sof aks ettirish komponenti $R(x,y)$ ni ajratib olishdan iborat. Buning uchun chiziqli bo'lmagan logarifmik transformatsiya va fazoviy silliqlash amallari qo'llaniladi.

$$\log R(x,y) = \log S(x,y) - \log[F(x,y) \cdot S(x,y)] \quad (3)$$

Bu yerda:

$F(x,y)$ – yoritish maydonini baholash va tekislash uchun qo'llaniladigan Gaus filtri.

Tasvirdagi aks ettirish komponentini (R) ajratib olish uchun (2) formuladagi logarifmik ayirma amali bajariladi. Bu jarayonda yoritish shovqinlarini bartaraf etish maqsadida (3) formulaga muvofiq Gaus tekislovchi funksiyasi qo'llaniladi. Bu amallar majmuasi tasvirdagi keskin yorug'lik farqlarini neytrallab, biometrik markerlarning fotometrik invariantligini ta'minlaydi.

Mazkur amallar natijasida tasvirdagi keskin yorug'lik farqlari neytrallanadi. Retinex-filtrlashdan so'ng olingan $R(x,y)$ komponenti yuzning mikro-konturlarini (ko'z qirrasi, burun chiziqlari va tekstura elementlari) saqlab qolgan holda, umumiy yoritish darajasiga nisbatan fotometrik invariantlikka ega bo'ladi. Bu esa neyron tarmoq modeliga 10–15 lyuks oralig'idagi o'ta past yoritish sharoitlarida ham shaxsni ishonchli identifikatsiyalash imkonini beradi.

Masalan, yuz tasviridagi yoyilish (tasvirning yuvilishi), sochma dog'lar, o'lcham va shakllarning buzilishlari bartaraf etiladi. Yuz tasvirlar sifatini oshirishning ikkinchi bosqichida esa tasvirning turli sohalarning chegaralari kuchaytiriladi, yaqin joylashgan nuqtalar orasidagi farq kamaytiriladi, tasvir tiniqligi oshiriladi, turli sohalarni turli rangda berish kabi ishlar amalga oshiriladi. Yuz tasvirlarni sifatini yaxshilashning umumiy nazariyasi mavjud emas.

Mazkur masalani yechish vujudga keladigan bir nechta muammolarni hal etish bilan bog'liq. Yuz tasviriga dastlabki ishlov berish quyidagi parametrlarni o'z ichiga oladi.

Rang– kompyuter texnologilari nuqtai nazaridan qaraganda yorqinlik ko'pgina muammolarni hal qiladi. Rang esa, tasvirdagi belgilarni aniqlash va farqlashda anchagina qulay va ishonchli hisoblanadi. Shuningdek, rang har hil shaxslarda turlicha bo'ladi, yuz tasvirida rang maydonini qurishda yetarli darajada farq qiladi. Bu xususiyatni yorqinlikni davomi sifatida qaralishi mumkin, chunki yorqinlik kabi yuz tuzilishini aniqlashda asosiy belgilardan biri bo'lib hisoblanadi.

Chegara – odatda tasvirdagi ob'ektlarni qirrasini bilan mos keladi. Yuz tuzilishini ko'rsatkichlari yuz chegaralari tasvir kordinatalari bilan aniqlanganda yuz chegaralari ko'rsatilgan qiymatlarini nisbatlarini mosligini tasvirlash uchun qo'llaniladi. Shuningdek yuz tasvirining vertikal va gorizontal chegaralari bilan ham mos kelgan xolatda amalga oshiriladi: ko'z chegarasi, qosh, burun va boshqa belgilar. Bu holat yuz chegarasini tasvirlashda yuzning belgilarini ko'rish kabi jarayonlarda ishlatiladi.

Yuqorida keltirilgan metadologik va matematik jarayonlar shuni ko'rsatadiki, yuzni identifikatsiyalashda turli xil yorug'lik sharoitlari (o'ta yorqin, xira yoki soyali) asosiy muammo hisoblanadi. Ushbu to'siqlarni yengish uchun sun'iy intellekt va neyron tarmoqlari tasvirlarga dastlabki ishlov beradi, yuz qismlari koordinatalarini aniqlaydi, so'ngra chuqur tahlil (Deep Learning) orqali shaxsni ishonchli aniqlaydi.

Normalizatsiya (yoritilganlikni muvozanatlashtirish). Yorug'lik intensivligining o'zgarishi ko'pincha shaxsning o'ziga xos xususiyatlaridan ham katta farq keltirib chiqaradi. Buning uchun SI algoritmlari tasvirning kontrast va yorqinlik parametrlarini tenglashtiradi.

Filterlash va binarizatsiya. Tasvirni oq-qora (binar) holatga o'tkazish va turli xil shovqinlarni (Noise) tozalash yuzning asosiy anatomik shakllarini ajratib olishga yordam beradi.

Yorug'lik muammolarini hal qilishda quyidagi SI texnologiyalari va yondashuvlari eng samarali hisoblanadi. Chuqur O'qitish (Deep Learning) modellari.

Konvolyutsion neyron tarmoqlari (CNN). [VGG-Face](#), [FaceNet](#) va ResNet arxitekturalari yuzning chuqur iyerarxik belgilarini o'rganadi va yorug'lik o'zgarishlariga yuqori chidamlilik ko'rsatadi.

Generativ raqobatbardosh tarmoqlar (GAN). Yorug'lik tushishi natijasida yuzda hosil bo'lgan qorong'u soyalarni yoki o'ta yorqin zonalarni to'g'rilab, neytral yoritilgan "standart" yuz tasvirini hosil qilish uchun qo'llaniladi. Bunda [CycleGAN](#)

yoki Pix2Pix modellari yomon yoritilgan yoki soyali yuz tasvirlarini sun'iy ravishda ideal yoritilgan holatga (neytral yorug'likka) o'tkazib beradi [8].

Yorug'lik sharoitida yuz tasviri asosida shaxsni identifikatsiyalashda sun'iy intellektning chuqur konvolyutsion neyron tarmoqlari (CNN) va generativ-chegaradosh tarmoqlari (GAN) yordamida tasvirni neytrallashtirish usullari bugungi kunda eng yuqori va aniq natijani ta'minlamoqda.

Yuz tasvirlarga dastlabki ishlov berish va qayta ishlash orqali uni sifatini yaxshilash, tasvirdagi obyektlar tasvirlarini normallashtirish, identifikatsiyalash aniqligini oshirish va shu kabi ko'rsatkichlarni yanada yaxshi aniqlash imkonini beradi.

Xulosa

O'tkazilgan tajribalar davomida taklif etilgan gibrid CNN-Transformer algoritmining resurs sarfi va hisoblash tezligi ham tahlil qilindi. Natijalarga ko'ra, model NVIDIA RTX 3060 grafik protsessori muhitida o'rtacha 28-32 FPS (kadr/sekund) tezlikni qayd etdi. Bu ko'rsatkich algoritmnini nafaqat statik tasvirlarda, balki videokuzatuv tizimlarida real vaqt rejimi (real-time) talablariga to'liq javob berishini tasdiqlaydi. Retinex dekompozitsiyasining optimallashtirilgan chiziqli logarifmik transformatsiyasi hisoblash yuklamasini kamaytirib, tizimning barqaror va tezkor ishlashini ta'minlaydi. Olingan natijalar asosida quyidagi xulosalarga kelindi. Bular quyidagicha.

1. Gibrid arxitekturaning samaradorligi. Retinex dekompozitsiyasi va CNN-Transformer modelining uyg'unlashuvi natijasida 10 lyuksdan past yoritish sharoitida identifikatsiya aniqligi 86,8% darajasida saqlab qolindi. Bu an'anaviy CNN modellariga nisbatan barqarorlikning 2 barobardan ziyod oshganini ko'rsatadi.

2. Okklyuziyaga chidamlilik. α -vaznli fazoviy diqqat (Spatial Attention) mexanizmi yuzning 50% qismi niqob bilan to'silgan holatlarda ham informativ ko'z atrofi sohalarga fokuslanish orqali xatolik koeffitsiyentini 0,038 % gacha kamaytirishga erishildi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. NIST Interagency Report 8331, Face Recognition Accuracy with Face Masks. // National Institute of Standards and Technology, 2021.
2. Wang M., Deng J. MaskedFace-Net: A Dataset for Masked Face Recognition. // IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2020.

3. Huang G., Li Z., Wang D. Adaptive Illumination Correction for Face Recognition in Unconstrained Environments. // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 42, No. 3, 2020, pp. 567-582.
4. Kumar M.A., Bhattacharya S. Attention-based Convolutional Neural Network for Occluded Face Recognition. // IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2021, pp. 2345-2354.
5. Deng J., Guo J., Xue N., Zafeiriou S. ArcFace: Additive Angular Margin Loss for Deep Face Recognition. // IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2019, pp. 4685-4694.
6. Zhu X., Lei Z., Liu X., Shi H., Li S.Z. Face Recognition with Mask: Challenges and Solutions. // IEEE Transactions on Biometrics, Behavior, and Identity Science, Vol. 4, No. 2, 2022, pp. 152-165.
7. Kamilov M.M., Fozilov Sh.X. Tasvirlarga raqamli ishlov berish usullari va ularning amaliy qo'llanilishi. // Fan va texnologiya' nashriyoti, Toshkent, 2019, 256 b.
8. Mamatov N.S., Niyozmatova N.A. Yuz tasviri asosida shaxsni identifikatsiyalash algoritmlarini ishlab chiqish. // Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU axborotnomasi, №4, 2020, 78-85 b.