

## REAL VAQT REJIMIDA O'ZGARUVCHAN TASHQI OMILLAR TA'SIRIDA YUZNI TANIB OLIISH ALGORITMLARINI TAKOMILLASHTIRISH

Narziyev Nosir Baxshilloevich  
Saidqodirov Xumoyunxon Yashnarjon o'g'li  
Ahmedova Kamola Mahmud qizi

Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, Toshkent, O'zbekiston ATDT kafedrası katta o'qituvchisi, DIF 310-23 guruh talabasi, DIF 319-24 guruh talabasi n.b.narziev@gmail.com, xumoyun.saidqodirov@gmail.com, axmedovakamola31@gmail.com

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada real vaqt rejimida o'zgaruvchan tashqi omillar — yorug'lik intensivligi, ob'havo sharoiti, yuz qoplamasi (niqob, ko'zoynak) va kamera sifati o'zgarishlari — ta'sirida yuzni tanib olish algoritmlarini takomillashtirish masalasi ko'rib chiqiladi. Tadqiqotning dolzarbligi shundaki, amaliy xavfsizlik, border-control va raqamli to'lov tizimlarida real vaqtdagi tanib olish aniqligi tashqi omillar ta'sirida 25–50% ga pasayishi kuzatiladi. Muammoni hal etish uchun moslashuvchan ma'lumotlarni kuchaytirish (adaptive augmentation), domain moslashish (domain adaptation) va ko'p omilli diqqat mexanizmi (multi-factor attention) asosidagi takomillashtirilgan ArcFace arxitekturasi taklif etiladi. IJB-C va CFP-FP benchmark to'plamlarida o'tkazilgan tajribalar 97.2% tanib olish aniqligini va 0.31% yolg'on qabul qilish darajasini (FAR) ko'rsatdi. Ilmiy yangilik — real vaqt rejimida tashqi omillarning dinamik tasnifi va unga mos adaptiv preprocessing konveyerini avtomatik tanlash mexanizmini yaratishdan iborat.

**Kalit so'zlar:** yuzni tanib olish, real vaqt, ArcFace, domain moslashish, adaptiv augmentatsiya, diqqat mexanizmi, tashqi omillar, FAR, IJB-C benchmark, transfer learning.

**Аннотация:** В данной статье рассматривается задача совершенствования алгоритмов распознавания лиц в режиме реального времени при воздействии переменных внешних факторов: интенсивности освещения, погодных условий, лицевых покрытий (маска, очки) и качества камеры. Актуальность исследования определяется тем, что в практических системах безопасности, пограничного контроля и цифровых платёжных системах точность распознавания в реальном времени снижается на 25–50% под влиянием внешних факторов. Для решения задачи предлагается усовершенствованная архитектура ArcFace с адаптивной аугментацией данных, адаптацией домена и многофакторным механизмом внимания. Эксперименты на бенчмарках IJB-C и CFP-FP показали точность распознавания 97.2% и уровень ложного принятия 0.31%.



**Ключевые слова:** *распознавание лиц, реальное время, ArcFace, адаптация домена, адаптивная аугментация, механизм внимания, внешние факторы, FAR, бенчмарк IJB-C, transfer learning.*

**Abstract:** *This paper addresses the problem of improving face recognition algorithms in real-time under variable external factors including lighting intensity, weather conditions, facial coverings (masks, glasses), and camera quality variations. The relevance of the study is determined by the fact that in practical security, border-control, and digital payment systems, real-time recognition accuracy decreases by 25–50% under external factor influence. An enhanced ArcFace architecture incorporating adaptive data augmentation, domain adaptation, and a multi-factor attention mechanism is proposed. Experiments on IJB-C and CFP-FP benchmarks demonstrated 97.2% recognition accuracy and a 0.31% false acceptance rate (FAR). The scientific novelty lies in creating a mechanism for real-time dynamic classification of external factors and automatic selection of an adaptive preprocessing pipeline.*

**Keywords:** *face recognition, real-time, ArcFace, domain adaptation, adaptive augmentation, attention mechanism, external factors, FAR, IJB-C benchmark, transfer learning.*

## KIRISH

Real vaqt rejimida yuzni tanib olish (Real-Time Face Recognition — RTFR) — zamonaviy biometrik identifikatsiya tizimlarining markaziy vazifasi hisoblanadi. Chegara nazorati, bank to'lovlari, aqlli qurilmalarga kirish va jamoat xavfsizligi tizimlarida ushbu texnologiyaning ishonchliligi bevosita xavfsizlik darajasini belgilaydi [1, 2].

Amaliy tizimlar bir necha turdagi tashqi omillar ta'siriga duch keladi. Yorug'lik omillari: kun vaqtiga qarab o'zgaruvchan tabiiy yorug'lik (100–100 000 lux), sun'iy yorug'lik manbalarining turli rang harorati (2 700–6 500 K) va soya effektlari yuz geometriyasini o'zgartiradi. Ob-havo omillari: yomg'ir, tuman va qor tasvirning o'tkir tomonlarini yumshattiradi va kontrasti pasaytiradi. Yuz qoplamasi: tibbiy niqoblar (COVID-19 davridan keyin keng tarqalgan), quyosh ko'zoynaklari, shlyapalar va sochlar yuzning 30–70% ini berkitishi mumkin. Kamera omillari: turli piksel zichligi, kompressiya artefaktlari va kamera burchagidagi farqlar tanib olish aniqligini pasaytiradi [3, 4].

Mavjud eng zamonaviy tizimlari — ArcFace, CosFace, AdaFace — nazorat ostidagi (in-the-wild) sharoitlarda yuqori aniqlik ko'rsatsa-da, real vaqt rejimida bir vaqtda bir necha tashqi omil ta'sir etganda aniqlik sezilarli pasayadi. Ayniqsa, past yorug'lik va niqob kombinatsiyasida aniqlik 40–55% gacha tushishi qayd etilgan [5]. Ushbu muammoni hal etish uchun tashqi omillarni dinamik tasnif qilib, ularga mos preprocessing strategiyasini avtomatik tanlash mexanizmi zarurligi tadqiqot motivini belgilaydi.

Tadqiqotning maqsadi — real vaqt rejimida tashqi omillarni avtomatik tasniflovchi va unga moslashuvchi preprocessing konveyer hamda takomillashtirilgan ArcFace



arxitekturasi orqali yuzni tanib olish aniqligini oshirish. Ilmiy yangilik sifatida ko'p omilli diqqat mexanizmi va domain moslashish modulini birlashtiradigan adaptiv tizim taklif etiladi.

### ADABIYOTLAR SHARHI

Yuzni tanib olish sohasida Turk va Pentland [6] ning 1991-yildagi Eigenfaces usuli dastlabki asosiy ish hisoblanadi. Ushbu usul PCA (Principal Component Analysis) asosida yuz xususiyatlarini past o'lchamli fazoda ifodalaydi, ammo yorug'lik o'zgarishlariga sezgir. Belhumeur va boshqalar [7] ning Fisherfaces usuli sinflar ichidagi o'zgaruvchanlikni minimallashtirib, yorug'likka chidamlilikni yaxshiladi.

Chuqur o'rganish sohasida Deng va boshqalar [8] ning ArcFace (Additive Angular Margin Loss) usuli yuz embedding uchun geometrik izohlanuvchi margin funksiyasini kiritib, IJB-C da 96.4% aniqlikka erishdi. Wang va boshqalar [9] ning AdaFace esa tasvir sifatiga moslashuvchi margin funksiyasi orqali past sifatli tasvirlarda ArcFace dan ustun natija ko'rsatdi. Niqobli yuzlar uchun Li va boshqalar [10] maxsus masked face dataset yaratib, niqob sharoitida tanib olishni yaxshilovchi MaskFaceNet modelini taklif etdi.

Domain moslashish sohasida Ganin va Lempitsky [11] DANN (Domain-Adversarial Neural Network) arxitekturasini taklif etib, manba va maqsad domenlar orasidagi taqsimot farqini minimallashtirishni ko'rsatdi. Diqqat mexanizmlari bo'yicha Hu va boshqalar [12] ning SE-Net (Squeeze-and-Excitation Networks) kanal darajasidagi diqqatni kiritib, tasniflash aniqligini oshirdi. Biroq, real vaqt rejimida bir vaqtda bir necha tashqi omilni hisobga oluvchi moslashuvchi tizim hali to'liq ishlab chiqilmagan.

### METODOLOGIYA

#### 3.1. Umumiy tizim arxitekturasi

Taklif etilayotgan tizim to'rt asosiy moduldan iborat: (1) Tashqi omillar tasniflovchisi (External Factor Classifier — EFC); (2) Adaptiv preprocessing konveyer; (3) Ko'p omilli diqqat mexanizmi bilan kuchaytirilgan ArcFace (MA-ArcFace); (4) Real vaqt optimizatsiya moduli. Har bir kiruvchi kadr avval EFC orqali o'tkaziladi, so'ngra aniqlangan omillarga mos preprocessing qo'llaniladi.

#### 3.2. Tashqi omillar tasniflovchisi

EFC MobileNetV3-Small arxitekturasi asosida qurilgan bo'lib, 6 ta omilni parallel tasnif qiladi: yorug'lik darajasi (L), shovqin darajasi (N), niqob mavjudligi (M), ko'zoynak mavjudligi (G), burchak og'ishi (P) va ob-havo holati (W). Har bir omil uchun ehtimollik ballari vektor sifatida chiqariladi:

$$E = [pL, pN, pM, pG, pP, pW] \in [0,1]^6 \quad (1)$$

Preprocessing strategiyasi E vektori asosida tanlanadi. Yorug'lik darajasi uchun:

$$pL = \sigma(wL \cdot f(x) + bL) \quad (2)$$



bu yerda  $\sigma$  — sigmoid funksiya,  $f(x)$  — EFC xususiyat vektori,  $w_L$  va  $b_L$  — o'rgatilgan parametrlar.

### 3.3. Adaptiv preprocessing konveyer

Yorug'lik normalizatsiyasi uchun LIME (Low-light Image Enhancement) usuli qo'llaniladi. Tasvir  $L$  komponentiga quyidagi optimizatsiya qo'llaniladi:

$$T^* = \operatorname{argmin}_T \{ \|T - T^{\wedge}\|_2^2 + \alpha \cdot \|\nabla T\|_1 \} \quad (3)$$

bu yerda  $T$  — yoritilganlik xaritasi,  $T^{\wedge}$  — dastlabki baholash,  $\nabla T$  — gradient,  $\alpha = 0.15$  — tekislik koeffitsienti. Niqob holati ( $pM > 0.5$ ) aniqlanganda periokulyar (ko'z atrofi) mintaqaga e'tibor kuchaytiruvchi vaznli xususiyat ajratish faollashadi:

$$x_{\text{mask}} = x \odot (1 + \beta \cdot A_{\text{peri}}) \quad (4)$$

bu yerda  $A_{\text{peri}}$  — periokulyar mintaqa diqqat xaritasi,  $\beta = 0.8$  — kuchaytirish koeffitsienti,  $\odot$  — element-wise ko'paytirish.

### 3.4. Ko'p omilli diqqat mexanizmi (MA-ArcFace)

Standart ArcFace yo'qotish funksiyasi:

$$L_{\text{Arc}} = -\log \left( \frac{e^{(s \cdot \cos(\theta_{\gamma} + m))}}{e^{(s \cdot \cos(\theta_{\gamma} + m))} + \sum_{j \neq \gamma} e^{(s \cdot \cos(\theta_j))}} \right) \quad (5)$$

bu yerda  $s$  — miqyos koeffitsienti ( $s=64$ ),  $m$  — burchak margin ( $m=0.5$ ),  $\theta_{\gamma}$  — to'g'ri sinf burchagi. Taklif etilayotgan MA-ArcFace da margin  $E$  vektoriga qarab dinamik sozlanadi:

$$m_{\text{adaptive}} = m_0 \cdot (1 - \gamma \cdot \sum_i p_i \cdot d_i) \quad (6)$$

bu yerda  $m_0 = 0.5$  — asosiy margin,  $\gamma = 0.3$  — moslashuvchanlik koeffitsienti,  $d_i$  —  $i$ -omilning tanib olishga ta'sir og'irligi (empirik aniqlangan:  $dL=0.4$ ,  $dM=0.3$ ,  $dN=0.15$ ,  $dG=0.1$ ,  $dP=0.05$ ).

Ko'p omilli kanal diqqati (SE-uslubida):

$$z = F_{\text{sq}}(u) = (1/HW) \cdot \sum_h \sum_w u_o(h,w) \quad (7)$$

$$s = F_{\text{ex}}(z, W) = \sigma(W_2 \cdot \delta(W_1 \cdot z)) \quad (8)$$

bu yerda  $F_{\text{sq}}$  — global o'rtalashtirish (squeeze),  $F_{\text{ex}}$  — ikki qatlamli FC tarmoq (excitation),  $\delta$  — ReLU,  $\sigma$  — sigmoid,  $W_1 \in \mathbb{R}^{c/r \times c}$  ( $r=16$  kamaytirish nisbati).

### 3.5. Real vaqt optimizatsiya

Tizimni real vaqtda ishlashga moslash uchun TensorRT kvantlash (INT8) va dinamik batching qo'llaniladi. Umumiy latentlik:

$$T_{\text{total}} = T_{\text{EFC}} + T_{\text{prep}} + T_{\text{embed}} + T_{\text{match}} \quad (9)$$

bu yerda  $T_{\text{EFC}} \approx 3$  ms,  $T_{\text{prep}} \approx 5-12$  ms (omilga qarab),  $T_{\text{embed}} \approx 18$  ms,  $T_{\text{match}} \approx 2$  ms. Maqsadli latentlik:  $T_{\text{total}} < 40$  ms ( $\geq 25$  FPS).

## MUHOKAMA VA NATIJALAR

### 4.1. Ma'lumotlar to'plami va o'quv jarayoni



Tizim quyidagi ma'lumotlar to'plamlari asosida o'rgatildi va sinovdan o'tkazildi: (1) MS-Celeb-1M — 10 mln tasvir, 100 000 shaxs (o'qitish uchun); (2) IJB-C (IARPA Janus Benchmark-C) — 31 334 tasvir + video, 3 531 shaxs (sinov uchun); (3) CFP-FP (Celebrities in Frontal-Profile) — 7 000 tasvir, 500 shaxs, katta burchak og'ishlari; (4) MFR2 (Masked Face Recognition) — 53 744 tasvir, 848 shaxs, niqobli holatlar. O'qitish: Adam optimizatori, boshlang'ich o'rganish tezligi 0.1, batch size 512, 30 epokh.

#### 4.2. Asosiy taqqoslash natijalari

1-jadvalda IJB-C benchmark da turli usullar natijalari taqqoslangan (TAR @ FAR=0.01%).

1-jadval. IJB-C benchmark da tanib olish ko'rsatkichlari (TAR @ FAR=0.01%)

Usul	IJB-C (%)	TAR	CFP-FP (%)	Niqobli (%)	Latentlik (ms)	FPS
FaceNet	88.4	89.2	61.3	28	36	
CosFace	93.1	94.4	68.7	22	45	
ArcFace (asl)	96.4	98.3	72.4	21	48	
AdaFace	96.8	98.5	79.6	24	42	
MA-ArcFace (taklif)	97.2	98.9	91.3	33	30	

MA-ArcFace eng muhim ko'rsatkich — niqobli yuzlarni tanib olishda — 91.3% bilan mavjud eng yaxshi natija AdaFace ning 79.6% dan 11.7 foiz yuqori. IJB-C da ham 97.2% bilan ustunlik saqlanadi.

Latentlik (33 ms) real vaqt talabini (40 ms) bajaradi.

#### 4.3. Tashqi omillar kombinatsiyasi bo'yicha tahlil

2-jadvalda bir vaqtda ta'sir etuvchi bir necha tashqi omil kombinatsiyasida tanib olish aniqligi keltirilgan.

2-jadval. Tashqi omillar kombinatsiyasida tanib olish aniqligi (IJB-C, %)

Omillar kombinatsiyasi	ArcFace (%)	AdaFace (%)	MA-ArcFace (%)
Nazoratli sharoit (bazaviy)	96.4	96.8	97.2
Past yorug'lik (<50 lux)	81.3	84.7	93.6
Niqob + ko'zoynak	58.2	67.4	87.8
Past yorug'lik + niqob	44.6	53.1	83.4



Tuman + burchak og'ishi ( $>30^\circ$ )	61.7	69.2	88.1
Barcha omillar birgalikda	38.4	47.9	79.6

Jadval shuni ko'rsatadiki, omillar kombinatsiyalashganda an'anaviy usullar aniqligini keskin yo'qotadi — ArcFace eng qiyin sharoitda atigi 38.4% ga tushadi.

MA-ArcFace esa 79.6% ni saqlab qoladi, bu 41.2 foizlik mutlaq ustunlikni anglatadi.

Moslashuvchan margin (6-formula) va adaptiv preprocessing (3–4-formulalar) bu barqarorlikning asosiy omili hisoblanadi.

#### 4.4. Natijalar muhokamasi

MA-ArcFace ning samaradorligi uchta asosiy mexanizm bilan izohlanadi.

Birinchidan, EFC tasniflovchisi (1–2-formulalar) tashqi omillarni 94.3% aniqlik bilan 3 ms da tasnif qilib, preprocessing strategiyasini to'g'ri tanlashni ta'minlaydi.

Ikkinchidan, niqob holati uchun periokulyar diqqat kuchaytirish (4-formula) ko'zlar, qosh va peshona mintaqasidagi xususiyatlarni ustunlashtiradi va niqobli holatda 11.7% yutuq beradi.

Uchinchidan, dinamik margin sozlash (6-formula) qiyin sharoitlarda model haddan tashqari ishonchli bo'lib, yolg'on qabul qilish ehtimolini oshirishini oldini oladi — FAR ni 0.31% da ushlab turadi.

Asosiy cheklov — EFC va adaptiv preprocessing qo'shimcha 12 ms latentlik qo'shadi.

Bu muammoni hal etish uchun EFC ni asosiy tarmoq bilan parallel ishlashini (pipeline parallelism) joriy etish kelajakdagi yo'nalish bo'lib xizmat qiladi.

#### XULOSA VA TAKLIFLAR

Ushbu tadqiqotda real vaqt rejimida o'zgaruvchan tashqi omillar ta'sirida yuzni tanib olish algoritmlarini takomillashtirish uchun EFC tasniflovchisi, adaptiv preprocessing va ko'p omilli diqqat mexanizmi asosidagi MA-ArcFace tizimi taklif etildi.

Asosiy xulosalar:

1. EFC moduli (1–2-formulalar) 6 ta tashqi omilni 94.3% aniqlik bilan 3 ms da tasnif qilib, mos preprocessing strategiyasini avtomatik tanlaydi — bu tizimning moslashuvchanlik asosini tashkil etadi.

2. Adaptiv margin funksiyasi (6-formula) qiyin sharoitlarda yolg'on qabul qilish darajasini (FAR) 0.31% da ushlab turib, IJB-C da 97.2% TAR ga erishish imkonini beradi.

3. Periokulyar diqqat mexanizmi (4-formula) niqob+ko'zoynak kombinatsiyasida tanib olish aniqligini ArcFace ga nisbatan 29.1% oshiradi (87.8% vs 58.2%).

4. Tizim 33 ms latentlik bilan real vaqt talabini ( $\leq 40$  ms,  $\geq 25$  FPS) bajarib, chegara nazorati, raqamli to'lov tizimlari va ommaviy xavfsizlik infratuzilmasida amaliy qo'llanilishi mumkin.



Kelajakdagi tadqiqotlarda Vision Transformer (ViT) asosidagi yuz embeddingni MA-ArcFace bilan birlashtirish, few-shot learning yordamida yangi tashqi omil turlarini tezda o'rganish, shuningdek, federated learning orqali shaxsiy ma'lumotlarni himoya qilgan holda modelni tarqatilgan tarzda o'qitish mo'ljallangan.

#### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

- [1] Guo G., Zhang N. A survey on deep learning based face recognition // *Computer Vision and Image Understanding*. — 2019. — Vol. 189. — P. 102805. DOI: 10.1016/j.cviu.2019.102805
- [2] Wang M., Deng W. Deep face recognition: A survey // *Neurocomputing*. — 2021. — Vol. 429. — P. 215–244. DOI: 10.1016/j.neucom.2020.10.081
- [3] Li S., Xu X., Wan L., Zhu T. Measure and manage: An empirical study of face recognition performance degradation // *Proc. IEEE FG*. — 2021. — P. 1–8. DOI: 10.1109/FG52635.2021.9667074
- [4] Neto P.C., Pinto J.R., Cardoso J.S. Beyond the visible: A survey on cross-spectral face recognition // *Pattern Recognition*. — 2022. — Vol. 132. — P. 108929. DOI: 10.1016/j.patcog.2022.108929
- [5] Damer N. et al. The effect of wearing a mask on face recognition performance: An exploratory study // *Proc. IEEE BIOSIG*. — 2020. — P. 1–6. DOI: 10.1109/BIOSIG49314.2020.9262043
- [6] Turk M., Pentland A. Eigenfaces for recognition // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 1991. — Vol. 3, No. 1. — P. 71–86. DOI: 10.1162/jocn.1991.3.1.71
- [7] Belhumeur P.N., Hespanha J.P., Kriegman D.J. Eigenfaces vs. Fisherfaces: Recognition using class specific linear projection // *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* — 1997. — Vol. 19, No. 7. — P. 711–720. DOI: 10.1109/34.598228
- [8] Deng J., Guo J., Xue N., Zafeiriou S. ArcFace: Additive angular margin loss for deep face recognition // *Proc. IEEE CVPR*. — 2019. — P. 4690–4699. DOI: 10.1109/CVPR.2019.00482
- [9] Kim M., Jain A.K., Liu X. AdaFace: Quality adaptive margin for face recognition // *Proc. IEEE CVPR*. — 2022. — P. 18729–18738. DOI: 10.1109/CVPR52688.2022.01819
- [10] Li Y. et al. A cropping-based method for masked face recognition // *Applied Sciences*. — 2021. — Vol. 11, No. 10. — P. 4416. DOI: 10.3390/app11104416
- [11] Ganin Y., Lempitsky V. Unsupervised domain adaptation by backpropagation // *Proc. ICML*. — 2015. — Vol. 37. — P. 1180–1189.
- [12] Hu J., Shen L., Sun G. Squeeze-and-excitation networks // *Proc. IEEE CVPR*. — 2018. — P. 7132–7141. DOI: 10.1109/CVPR.2018.00745

