

KONFERENSIYALAR.COM

ANJUMANLAR PLATFORMASI

O'ZBEKISTON – 2030: INNOVATSIYA, FAN VA TA'LIM ISTIQBOLLARI

**II RESPUBLIKA ILMIY-AMALIY
KONFERENSIYA MATERIALLARI**

OKTYABR, 2026-YIL



ISBN 978-9910-8337-7-9

O‘ZBEKISTON – 2030: INNOVATSIYA, FAN VA TA’LIM ISTIQBOLLARI. II Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi materiallari. – Toshkent: Scienceproblems team, 2026. – 200 bet.

Elektron nashr: <https://konferensiyalar.com>

Konferensiya tashkilotchisi: “Scienceproblems Team” MChJ

Konferensiya o‘tkazilgan sana: 2026-yil, 2-oktyabr

Mas’ul muharrir:

Isanova Feruza Tulqinovna

Annotatsiya

Mazkur nashrda “O‘zbekiston — 2030: innovatsiya, fan va ta’lim istiqbollari” nomli II Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi doirasida taqdim etilgan ilmiy maqolalar to‘plami jamlangan. Unda O‘zbekistonning turli oliy ta’lim va ilmiy-tadqiqot muassasalari, tarmoq tashkilotlari, mustaqil tadqiqotchilar tomonidan taqdim etilgan ijtimoiy-gumanitar, iqtisodiyot, huquq, biologiya, tibbiyot va boshqa sohalarga oid maqolalar kiritilgan. Maqolalarda ilm-fanning zamonaviy yo‘nalishlari, innovatsion texnologiyalar, ta’lim islohotlari hamda barqaror taraqqiyotga oid masalalar muhokama qilingan. To‘plam akademik izlanishlar, amaliy tajribalar va ilmiy xulosalarni birlashtirgan holda, fanlararo integratsiyani chuqurlashtirish va ilmiy hamkorlikni kuchaytirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: ilmiy-amaliy konferensiya, innovatsiya, fan va ta’lim, O‘zbekiston 2030, barqaror rivojlanish, ilmiy izlanishlar, fanlararo integratsiya, ilmiy hamkorlik, texnologik taraqqiyot, zamonaviy ta’lim.

ISBN 978-9910-8337-7-9

Barcha huquqlar himoyalangan.

© Scienceproblems team, 2026-yil

© Mualliflar jamoasi, 2026-yil

РАСПОЗНАВАНИЕ ЛИЧНОСТИ ПО СОСУДИСТОМУ РИСУНКУ СКЛЕРЫ (EYEPRINT) НА МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Хамидов Эльнур Хамидович

«Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»

Национальный исследовательский университет

Email: elnur.khamidov1587@gmail.com

ORCID: 0009-0009-7634-4479

Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В работе рассмотрено распознавание личности по сосудистому рисунку склеры (eyeprint) — узору кровеносных сосудов конъюнктивы и эписклеры, который регистрируется штатной камерой смартфона в видимом спектре без дополнительного оборудования. Выполнен анализ методов сегментации склеры, выделения сосудов и сопоставления шаблонов — от классических дескрипторов до гибридных архитектур на основе свёрточных сетей и трансформеров. Выделены основные ограничения модальности: нелинейная деформация сосудов при движении глаза, снижение точности при переносе между устройствами и условиями съёмки, демографическое смещение моделей сегментации. Обосновано, что в видимом спектре сосуды склеры и радужная оболочка деградируют в разных условиях и потому дополняют друг друга. Предложена схема мультимодальной системы, в которой оценки качества областей глаза и угол взгляда управляют весами слияния двух модальностей для каждого кадра. Описан протокол экспериментальной проверки на открытых базах MOBIUS, SBVPI и UBIRIS.v2 с кросс-устройственной оценкой и абляционным анализом. Сформулирована проверяемая гипотеза: адаптивное слияние должно снижать равную ошибку по сравнению с отдельными модальностями и слиянием с фиксированным весом, особенно для тёмной радужки и отведённого взгляда.

Ключевые слова: биометрия, eyeprint, сосуды склеры, радужная оболочка, мобильная биометрия, слияние модальностей, оценка качества изображения.

PERSON RECOGNITION BY THE SCLERAL VASCULAR PATTERN (EYEPRINT) ON MOBILE DEVICES

Khamidov Elnur

“Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers”

National Research University

Tashkent, Uzbekistan

Annotation The paper addresses person recognition by the scleral vascular pattern (eyeprint): conjunctival and episcleral blood vessels captured in the visible spectrum by a standard smartphone camera without additional hardware. Methods for sclera segmentation, vessel extraction and template matching are analysed, from classical descriptors to hybrid convolutional-transformer architectures. The main limitations of the modality are identified: non-linear vessel deformation during eye movement, accuracy loss across devices and acquisition conditions, and demographic bias of segmentation models. In the visible spectrum the scleral vessels and the iris degrade under different conditions and therefore complement each other. A multimodal system is proposed in which quality scores of the ocular regions and the gaze angle control the fusion weights of the two modalities for each frame. An experimental protocol on the public MOBIUS, SBVPI and UBIRIS.v2 datasets with cross-device evaluation and ablation analysis is described. The hypothesis is that adaptive fusion lowers the equal error rate compared with single modalities and fixed-weight fusion, especially for dark irides and averted gaze.

Key words biometrics, eyeprint, scleral vessels, iris, mobile biometrics, multimodal fusion, image quality assessment.

Введение

Мобильные сервисы — банковские приложения, электронные платежи, разблокировка устройств — требуют биометрической аутентификации, которая работает без дополнительного оборудования. Классическое распознавание по радужной оболочке рассчитано на съёмку в ближнем инфракрасном диапазоне, тогда как фронтальная камера смартфона формирует цветное изображение в видимом свете. В видимом спектре текстура радужки уверенно различима в основном у светлых глаз или при специальной подсветке [10], а для тёмной, сильно пигментированной радужки цветной снимок несёт ограниченную биометрическую информацию [6]. Поэтому для мобильных устройств актуален поиск признаков глаза, которые хорошо видны именно в видимом свете.

Таким признаком является сосудистый рисунок на белочной оболочке глаза. Сосуды конъюнктивы и эписклеры контрастно выделяются на белом фоне склеры и снимаются обычной цифровой камерой; их использование в качестве самостоятельного биометрического признака предложено в работе [4]. Шаблон по этому рисунку принято называть *eyeprint* — по имени технологии *Eyeprint ID* компании *EyeVerify* (США). В 2015 г. эта технология была встроена в смартфон ZTE Grand S3, мобильные банковские приложения и мобильный кошелек Vodafone [5], а в 2016 г. компанию приобрела Ant Financial, оператор платёжной системы Alipay [1]. Таким образом, *eyeprint* уже прошёл промышленную апробацию, однако в открытой научной литературе он изучен значительно меньше радужной оболочки [13].

Цель работы — проанализировать состояние методов распознавания по *eyeprint* и обосновать подход, при котором сосуды склеры и радужная оболочка, снятые в одном кадре смартфона, объединяются с учётом качества изображения и направления взгляда.

Анализ состояния проблемы

Типовой конвейер распознавания по склере включает четыре этапа: сегментацию склеры, усиление и выделение сосудов, построение признаков и сопоставление шаблонов [17]. В работе [17] также показано, что сосудистая структура склеры многослойна и при движении глаза испытывает сложные нелинейные деформации, а снимки сосудов часто расфокусированы или пересвечены. Поэтому авторы предложили линейные дескрипторы сосудов, инвариантные к освещению, масштабу, повороту и деформации.

Для смартфонов в [7] предложен двухстадийный метод сопоставления. На первой стадии используются ключевые точки (Harris–Stephens, FAST, SURF) и регистрация шаблонов методом RANSAC, на второй — корреляционное сравнение локальных бинарных шаблонов, построенных по фазе фильтров Габора. На выборке из 226 пользователей равная ошибка (EER) при долговременной верификации снижена до 0,04 % [7].

Среди нейросетевых методов лучшие результаты на соревновании SSRBC 2023 показала архитектура *Sclera-TransFuse*: для сегментации она параллельно использует энкодеры ResNet-34 и Swin Transformer, а для распознавания — связку EfficientNet-B0 и многомасштабного трансформера [16]. Итоги самого соревнования показали, что более точная сегментация склеры во всех случаях давала более высокую точность

верификации [2]. Для мобильных устройств важна сеть GazeNet с вычислительной сложностью ниже 1 GFLOP: она обучается совместно извлекать признаки склеры и определять направление взгляда и при этом превосходит более тяжёлую модель ScleraNET [15].

Склера и радужка дополняют друг друга. На отобранном по качеству подмножестве базы UBIRIS v1 слияние оценок сходства снизило EER до 4,52 % против 7,59 % для радужки и 10,22 % для сосудов склеры по отдельности [12]. Это объяснимо геометрией съёмки: при фронтальном взгляде открытой склеры мало, а при отведённом взгляде радужка искажается, зато площадь видимой склеры наибольшая.

Анализ литературы позволяет выделить четыре открытые задачи:

1. Нелинейная деформация сосудов при смене направления взгляда. Один из подходов — проецировать ключевые точки на сферическую поверхность глаза и сравнивать их взаимное расположение по дуговым расстояниям [8].

2. Перенос между устройствами и условиями съёмки. В исследовании [3], где модели обучались и проверялись на снимках высокого качества и на снимках с мобильных телефонов, EER на четырёх базах составил 0,079–0,132.

3. Демографическое смещение. Совместная оценка семи моделей сегментации склеры на пяти базах показала, что главный источник смещения — этническая принадлежность субъектов [14].

4. Выбор вклада каждой модальности при слиянии с учётом качества конкретного кадра и угла взгляда. Именно эта задача лежит в основе предлагаемого подхода.

Предлагаемый подход

Предлагается мультимодальная система, которая по одному кадру глаза с камеры смартфона извлекает признаки сосудов склеры и радужной оболочки (рис. 1). Ключевая идея состоит в том, что оценка качества изображения используется не только как фильтр на входе, но и как управляющий сигнал, который задаёт вклад каждой модальности в итоговое решение.



Рис. 1. Схема предлагаемой системы: оценки качества q_1 , q_2 и угол взгляда γ задают вес склеры w при слиянии с радужкой.

Обработка кадра включает четыре этапа:

1. Многоклассовая сегментация одной лёгкой сетью: склера, радужка, зрачок, веки и ресницы. Дополнительные выходы сети оценивают качество областей склеры q_1 и радужки q_2 (резкость, блики, доля видимой площади) и угол отклонения взгляда γ от фронтального направления.

2. Ветвь склеры: усиление сосудов (например, по зелёному каналу, где сосуды обычно наиболее контрастны), построение дескриптора, устойчивого к деформации, и вычисление оценки сходства s_1 . При регистрации пользователя сохраняются шаблоны для нескольких направлений взгляда, и сравнение ведётся с ближайшим по углу шаблоном.

3. Ветвь радужки: нормализация кольцевой области, извлечение признаков с маской надёжных участков и вычисление оценки сходства s_2 .

4. Адаптивное слияние нормированных оценок и принятие решения сравнением с порогом t .

Итоговая оценка сходства вычисляется по формуле

$$S = w \cdot s_1 + (1 - w) \cdot s_2, \quad w = \sigma(\theta_1(q_1 - q_2) + \theta_2|\gamma| + \theta_0) \quad (1)$$

где σ — сигмоидальная функция, θ_0 , θ_1 , θ_2 — параметры, настраиваемые на обучающей выборке. При положительных θ_1 и θ_2 вес склеры w растёт, когда её область качественнее области радужки и когда взгляд отведён в сторону. При фиксированном w формула (1) сводится к классическому взвешенному слиянию оценок, что даёт естественную базовую линию для сравнения. Целевой бюджет вычислений на извлечение признаков — не более 1 GFLOP, что соответствует уровню современных лёгких моделей для склеры [15].

План экспериментальной проверки

Проверка планируется на трёх открытых базах снимков глаза в видимом спектре (табл. 1). База MOBIUS выбрана основной, поскольку сочетает съёмку тремя смартфонами, метки направления взгляда и многоклассовую разметку областей глаза.

Таблица 1

Базы данных для экспериментальной проверки

База	Объём	Устройство съёмки	Особенности
MOBIUS [11]	100 субъектов, 16 717 снимков	Sony Xperia Z5 Compact, Apple iPhone 6s, Xiaomi Pocophone F1	4 направления взгляда; 3 условия освещения; 3 559 снимков с разметкой склеры, радужки, зрачка и периокулярной области
SBVPI [11, 13]	55 субъектов, 1 858 снимков	зеркальная камера Canon EOS 60D	4 направления взгляда; попиксельная разметка

База	Объём	Устройство съёмки	Особенности
			сосудов склеры для части снимков
UBIRIS.v2 [9]	11 102 снимка	цифровая фотокамера, съёмка в движении с расстояния 4–8 м	неконтролируемые условия, блики, расфокусировка; служит для проверки ветви радужки

Протокол оценки включает следующие элементы:

- кросс-устройственная проверка: обучение на снимках двух смартфонов MOBIUS и тестирование на третьем, с непересекающимися наборами субъектов;
- отдельный анализ по направлению взгляда, условиям освещения и цвету радужки (светлая / тёмная, разметка вручную);
- метрики точности: EER, доля ложных отказов FNMR при доле ложных совпадений FMR = 10^{-3} , индекс делимости d' ;
- метрики реализуемости: число операций (GFLOP) и время обработки кадра на смартфоне;
- абляционный анализ: только склера, только радужка, слияние с фиксированным весом, адаптивное слияние.

Проверяемая гипотеза: адаптивное слияние даёт меньший EER, чем лучшая отдельная модальность и слияние с фиксированным весом, причём наибольший выигрыш ожидается на снимках с отведённым взглядом и тёмной радужкой. Поскольку SBVPI содержит снимки только европеоидных субъектов [11], а этническая принадлежность является главным источником смещения моделей сегментации склеры [14], открытые базы целесообразно дополнить собственной выборкой, снятой на смартфоны в Узбекистане.

Заключение

Распознавание по сосудистому рисунку склеры (eyepoint) уже прошло промышленную апробацию в смартфонах и платёжных сервисах [1, 5], однако его точность ограничивают деформация сосудов, перенос между устройствами и демографическое смещение моделей. В видимом спектре склера и радужка деградируют в разных условиях: тёмная пигментация и отведённый взгляд ухудшают распознавание по радужке, а фронтальный взгляд уменьшает видимую площадь склеры.

Это обосновывает предложенный подход адаптивного слияния, при котором оценки качества областей глаза и угол взгляда задают вклад каждой модальности в каждом кадре. Дальнейшая работа включает реализацию конвейера, экспериментальную проверку гипотезы на базах MOBIUS, SBVPI и UBIRIS.v2 и оценку быстродействия на смартфоне.

Adabiyotlar/Literatura/References:

1. Ant Financial acquires EyeVerify [Электронный ресурс] // NFCW. – 14.09.2016. – URL: <https://www.nfcw.com/2016/09/14/347254/ant-financial-acquires-eyeverify/> (дата обращения: 03.10.2026).

2. Das A. [et al.] Sclera segmentation and joint recognition benchmarking competition: SSRBC 2023 // Proc. IEEE International Joint Conference on Biometrics (IJCB 2023). – 2023. – DOI: 10.1109/IJCB57857.2023.10448601.
3. Das S. [et al.] Sclera biometrics in restricted and unrestricted environment with cross dataset evaluation // Displays. – 2022. – DOI: 10.1016/j.displa.2022.102257.
4. Derakhshani R. [et al.] A new biometric modality based on conjunctival vasculature // Intelligent Engineering Systems through Artificial Neural Networks (ANNIE 2006). – ASME Press, 2006. – DOI: 10.1115/1.802566.paper74 .
5. EyeVerify technology uses smartphone cameras to easily verify ID by eye veins [Электронный ресурс] // Biometric Update. – 08.2015. – URL: <https://www.biometricupdate.com/201508/eyeverify-technology-uses-smartphone-cameras-to-easily-verify-id-by-eye-veins> (дата обращения: 03.10.2026).
6. Gottemukkula V. [et al.] Fusing iris and conjunctival vasculature: ocular biometrics in the visible spectrum // Proc. IEEE Conference on Technologies for Homeland Security (HST 2012). – 2012. – DOI: 10.1109/THS.2012.6459841.
7. Gottemukkula V. [et al.] Method for using visible ocular vasculature for mobile biometrics // IET Biometrics. – 2016. – Vol. 5. – DOI: 10.1049/iet-bmt.2014.0059.
8. Lee S. [et al.] Robust sclera recognition based on a local spherical structure // Expert Systems with Applications. – 2021. – DOI: 10.1016/j.eswa.2021.116081.
9. Proença H., Filipe S., Santos R., Oliveira J., Alexandre L.A. The UBIRIS.v2: a database of visible wavelength iris images captured on-the-move and at-a-distance // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2010. – Vol. 32, No. 8. – P. 1529–1535. – DOI: 10.1109/TPAMI.2009.66.
10. Rattani A., Derakhshani R. Ocular biometrics in the visible spectrum: a survey // Image and Vision Computing. – 2017. – Vol. 59. – P. 1–16. – DOI: 10.1016/j.imavis.2016.11.019.
11. Sclera datasets: SBVPI, MOBIUS [Электронный ресурс] / University of Ljubljana. – URL: <https://sclera.fri.uni-lj.si/datasets.html> (дата обращения: 03.10.2026).
12. Tankasala S.P. [et al.] Visible spectrum, bi-modal ocular biometrics // Procedia Technology. – 2012. – Vol. 6. – DOI: 10.1016/j.protcy.2012.10.068.
13. Vitek M., Rot P., Štruc V., Peer P. A comprehensive investigation into sclera biometrics: a novel dataset and performance study // Neural Computing and Applications. – 2020. – Vol. 32. – DOI: 10.1007/s00521-020-04782-1.
14. Vitek M. [et al.] Exploring bias in sclera segmentation models: a group evaluation approach // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. – 2023. – Vol. 18. – DOI: 10.1109/TIFS.2022.3216468.
15. Vitek M. [et al.] GazeNet: a lightweight multitask sclera feature extractor // Alexandria Engineering Journal. – 2025. – DOI: 10.1016/j.aej.2024.11.011.
16. Wang C. [et al.] Sclera-TransFuse: fusing vision transformer and CNN for accurate sclera segmentation and recognition // IEEE Transactions on Biometrics, Behavior, and Identity Science. – 2024. – DOI: 10.1109/TBIOM.2024.3415484.
17. Zhou Z., Du E.Y., Thomas N.L., Delp E.J. A new human identification method: sclera recognition // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part A: Systems and Humans. – 2012. – Vol. 42, No. 3. – P. 571–583. – DOI: 10.1109/TSMCA.2011.2170416.

O‘ZBEKISTON — 2030: INNOVATSIYA, FAN VA TA’LIM ISTIQBOLLARI

II RESPUBLIKA ILMIY-AMALIY KONFERENSIYASI MATERIALLARI

2026-yil, 6-oktyabr

Mas’ul muharrir: *F.T.Isanova*
Texnik muharrir: *N.Bahodirova*
Diszayner: *I.Abdihakimov*

O‘ZBEKISTON — 2030: INNOVATSIYA, FAN VA TA’LIM
ISTIQBOLLARI. II Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi
materiallari. – Toshkent: Scienceproblems team, 2026. – 200 bet.

Elektron nashr: <https://konferensiyalar.com>

Konferensiya tashkilotchisi: Scienceproblems Team

Konferensiya o‘tkazilgan sana: 2026-yil, 2-oktyabr

ISBN 978-9910-8337-7-9

Barcha huquqlar himoyalangan.
© Scienceproblems team, 2026-yil.
© Mualliflar jamoasi, 2026-yil.