

KONFERENSIYALAR COM

ANJUMANLAR PLATFORMASI

**XIX RESPUBLIKA ILMIY-
AMALIY KONFERENSIYASI**

**YANGI DAVR ILM-
FANI: INSON UCHUN
INNOVATSION G'OYA
VA YECHIMLAR**

OKTYABR, 2026

ISSN 3093-8791

ELEKTRON NASHR:

<https://konferensiyalar.com>



Yangi davr ilm-fani: inson uchun innovatsion g'oya va yechimlar.
XIX Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi materiallari to'plami.
2-jild, 19-son (13-oktyabr, 2026-yil).– 191 bet.

Mazkur nashr ommaviy axborot vositasi sifatida 2025-yil, 8-iyulda
C-5669862 son bilan rasman davlat ro'yaxatidan o'tkazilgan.

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

ISSN: 3093-8791 (onlayn)

Konferensiya tashkilotchisi: "Scienceproblems Team" MChJ

Konferensiya o'tkazilgan sana: 2026-yil, 9-oktyabr

Mas'ul muharrir:

Isanova Feruza Tulqinovna

Annotatsiya

Mazkur to'plamda "Yangi davr ilm-fani: inson uchun innovatsion g'oya va yechimlar" mavzusidagi XIX Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi materiallari jamlangan. Nashrda respublikaning turli oliy ta'lim muassasalari, ilmiy markazlari va amaliyotchi mutaxassislari tomonidan tayyorlangan maqolalar o'rin olgan bo'lib, ular ijtimoiy-gumanitar, tabiiy, texnik va yuridik fanlarning dolzarb muammolari va ularning innovatsion yechimlariga bag'ishlangan.

Ushbu nashr ilmiy izlanuvchilar, oliy ta'lim o'qituvchilari, doktorantlar va soha mutaxassislari uchun foydali qo'llanma bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: ilmiy-amaliy konferensiya, innovatsion yondashuv, zamonaviy fan, fanlararo integratsiya, ilmiy-tadqiqot, nazariya va amaliyot, ilmiy hamkorlik.

Barcha huquqlar himoyalangan.

© Scienceproblems team, 2026-yil

© Mualliflar jamoasi, 2026-yil

ГИБРИДНЫЕ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ГЛАЗА

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. Рассмотрены гибридные системы распознавания человека по изображению глаза, которые объединяют два признака одного снимка — радужную оболочку глаза (РОГ) и сосудистый рисунок склеры, а также разные классы методов: классические дескрипторы и глубокие нейронные сети. Предложена классификация таких систем по уровню слияния информации: на уровне изображения, признаков, оценок сходства и решений. Для каждого уровня определены достоинства, ограничения, требования к выравниванию данных и примеры опубликованных реализаций. Проведён анализ опубликованных систем «РОГ + склера» за 2010–2026 гг.: показано, что преобладает слияние на уровне оценок, а результаты разных авторов несопоставимы из-за различий в базах данных, метриках и протоколах оценки. Предложена структура гибридной системы с двухуровневым слиянием: глубокие признаки двух модальностей объединяются на уровне признаков, а итоговая оценка дополнительно учитывает классический код радужной оболочки. Сформулирован план сравнения всех уровней слияния в едином протоколе на базе MOBIUS, снятой на три смартфона, с учётом точности, размера шаблона и вычислительных затрат, что позволит обоснованно выбрать уровень слияния для мобильных устройств.

Ключевые слова: гибридная биометрическая система, радужная оболочка глаза, склера, мультимодальная биометрия, уровни слияния, глубокое обучение, мобильная биометрия.

HYBRID SYSTEMS FOR HUMAN RECOGNITION FROM EYE IMAGES

Khamidov Elnur

“Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers”

National Research University,

Tashkent, Uzbekistan

Annotation. The paper considers hybrid systems for human recognition from eye images that combine two traits of a single image — the iris and the scleral vascular pattern — as well as different classes of methods: handcrafted descriptors and deep neural networks. A classification of such systems by the level of information fusion is proposed: image, feature, matching score and decision level. For each level, its advantages, limitations, data alignment requirements and published implementations are identified. Published iris-sclera systems from 2010–2026 are analysed; score-level fusion is shown to dominate, while results of different authors are not comparable because of differences in datasets, metrics and evaluation protocols. A hybrid system structure with two-level fusion is proposed: deep features of the two modalities are fused at the feature level, and the final score additionally takes into account a classical iris code. A plan is formulated for comparing all fusion levels within a single protocol on the MOBIUS dataset captured with three smartphones, considering accuracy, template size and computational cost, which will allow a justified choice of the fusion level for mobile devices.

Keywords: hybrid biometric system, iris, sclera, multimodal biometrics, fusion levels, deep learning, mobile biometrics.

DOI: <https://doi.org/10.47390/ydif-y2026v2i19/n05>

Введение

Радужная оболочка глаза (РОГ) считается одним из самых надёжных биометрических признаков, однако высокая точность достигается при съёмке в ближнем инфракрасном диапазоне. В видимом свете, в котором работают камеры смартфонов, получить качественный рисунок тёмной РОГ трудно. Сосудистый рисунок склеры, напротив, хорошо виден в видимом спектре, но точность по нему падает на пересвеченных снимках [17]. Оба признака присутствуют на одном изображении глаза, поэтому их совместное использование не требует дополнительного оборудования и повышает точность по сравнению с каждым признаком в отдельности [15, 17].

В настоящей работе гибридной называется система, которая сочетает: а) несколько признаков одного изображения глаза — РОГ и склеру; б) разные классы методов — классические дескрипторы (фильтры Габора, локальные бинарные шаблоны) и глубокие нейронные сети. Такая трактовка охватывает и мультимодальное, и мультиалгоритмическое слияние, которые рассматриваются как основные пути повышения надёжности биометрических систем [5, 10].

Цель работы — систематизировать гибридные системы «РОГ + склера» по уровню слияния информации, проанализировать опубликованные решения и предложить структуру системы, пригодной для мобильных устройств.

Классификация гибридных систем по уровню слияния

Согласно классической схеме [10], информация в мультибиометрической системе может объединяться на уровне исходных данных, признаков, оценок сходства и решений. Чем раньше выполняется слияние, тем больше информации сохраняется, но тем выше требования к согласованию данных. Именно по этим критериям — сохранению информации, требованиям к выравниванию, вычислительной сложности и пригодности к внедрению — сравнивает уровни слияния недавний обзор окулярной биометрии [13]. Применительно к паре «РОГ + склера» четыре уровня показаны на рис. 1.



Рис. 1. Уровни слияния в гибридной системе «РОГ + склера» и примеры работ для каждого уровня (выделены уровни, используемые в предлагаемой системе)

1. Уровень изображения. Сеть обрабатывает общую область, содержащую часть РОГ и склеры, без их отдельной сегментации [2]. К этому же уровню относится мультиспектральная съёмка, при которой ИК-канал передаёт текстуру РОГ, а цветные

каналы — сосуды склеры [3]. Достоинство — нет ошибок сегментации; недостаток — вклад модальностей нельзя контролировать и интерпретировать.

2. Уровень признаков. Векторы признаков двух модальностей объединяются до сопоставления: вейвлет-преобразованием [1], слиянием по опорным значениям [9] или дискриминантным корреляционным анализом, который учитывает принадлежность к классам и имеет низкую вычислительную сложность [6]. Уровень наиболее информативен, но требует согласования размерностей и масштабов признаков разной природы.

3. Уровень оценок. Каждая модальность сопоставляется отдельно, затем нормированные оценки сходства объединяются взвешенной суммой, ядерными методами [15], байесовскими моделями [7] или с учётом качества изображения [16]. По данным систематического обзора [5], это наиболее распространённый уровень слияния в мультимодальной биометрии.

4. Уровень решений. Каждая модальность принимает собственное решение, а итоговое выбирается по правилу голосования или по максимуму апостериорной вероятности [4]. Уровень прост и устойчив к полному перекрытию одной из областей, но теряет большую часть информации.

Возможно и сочетание уровней: для других модальностей показано, что слияние сразу на уровне признаков и оценок даёт более высокую точность, чем слияние на одном уровне [8]. Именно такой двухуровневый вариант лежит в основе предлагаемой структуры.

Анализ существующих систем «РОГ + склера»

В табл. 1 собраны опубликованные системы, объединяющие РОГ и склеру на изображениях видимого спектра, в хронологическом порядке.

Таблица 1

Гибридные системы «РОГ + склера»

Работа	Уровень слияния	Признаки и метод слияния	Данные и результат
Zhou и др., 2010 [15]	оценки	РОГ: фильтры Габора и 1D log-Габора; склера: шаблон сосудов; ядерное слияние оценок	точнее одномодальных систем и линейного слияния на основе PCA и LDA
Tankasala и др., 2012 [12]	оценки	слияние оценок сходства РОГ и сосудов склеры	UBIRIS v1: EER 4,52 % против 7,59 % (РОГ) и 10,22 % (склера)
Zhou и др., 2012 [16]	оценки с учётом качества	оценки качества всего глаза, области РОГ и области склеры	оценки качества сильно коррелируют с точностью распознавания
Das и др., 2017 [4]	решения	выбор признака (РОГ, склера, периокулярная область) с	по данным авторов, первая система на трёх

Работа	Уровень слияния	Признаки и метод слияния	Данные и результат
		наибольшей апостериорной вероятностью	окулярных признаках в видимом спектре
Pathak и др., 2019 [9]	признаки	log-Габор для РОГ, Y-образные признаки сосудов, цветовые гистограммы; слияние по опорным значениям (SVBF)	точность 93,33 % (MMU) и 97 % (UBIRIS.v2)
Jain и др., 2020 [7]	оценки	байесовская модель PI-MED, сопоставление по расстоянию Хэмминга	время слияния меньше на 47 %, доля верных принятий выше на 33 % относительно известных методов
Chuang и др., 2021 [2]	изображение	YOLOv2 по совместной области РОГ и склеры без сегментации	собственная база: mAP до 99 %
Adeniyi и др., 2026 [1]	признаки	LBP-признаки РОГ и склеры, вейвлет-слияние, классификация сиамской сетью	лучший показатель 98,5 у бимодальной системы

Анализ таблицы позволяет сделать четыре вывода:

1. В четырёх из восьми работ используется слияние на уровне оценок, что согласуется с общей картиной в мультимодальной биометрии [5]. Слияние на уровне признаков встречается реже и опирается на классические дескрипторы.

2. Результаты несопоставимы: авторы используют разные базы (UBIRIS v1, UBIRIS.v2, MMU, собственные выборки) и разные метрики (EER, точность классификации, mAP). Единого протокола для сравнения уровней слияния РОГ и склеры в рассмотренных работах нет.

3. Глубокое обучение применяется либо для сегментации и классификации [1, 9], либо для обработки общей области [2]. Обучаемое слияние глубоких признаков с весами модальностей хорошо изучено для пары «РОГ + периокулярная область» на мобильных устройствах, где оно дало EER 0,60 % [14], но для пары «РОГ + склера» в рассмотренных работах не встречается.

4. Качество изображения явно учитывается лишь в одной работе [16], хотя именно оно определяет, какая из модальностей надёжнее в конкретном снимке.

Предлагаемая структура гибридной системы

Предлагается система с двухуровневым слиянием, в которой сочетаются обе стороны гибридности: две модальности и два класса методов.

1. Общий модуль сегментации выделяет на снимке РОГ, зрачок, склеру и веки; кольцевая область РОГ нормализуется в прямоугольное изображение.

2. Ветвь РОГ формирует два представления: классический бинарный код с на основе фильтров Габора, который не требует обучения и легко интерпретируется, и глубокий вектор признаков f_1 , извлекаемый свёрточной сетью.

3. Ветвь склеры формирует глубокий вектор f_2 по изображению склеры с усиленными сосудами.

4. Слияние на уровне признаков: векторы f_1 и f_2 нормируются и объединяются в общий вектор z — взвешенной конкатенацией с обучаемыми весами по аналогии с [14] либо дискриминантным корреляционным анализом [6].

5. Слияние на уровне оценок: итоговая оценка объединяет сходство общих векторов и сходство классических кодов РОГ.

Итоговая оценка для пары снимков a и b вычисляется по формуле

$$S(a, b) = \beta \cdot \cos(z_a, z_b) + (1 - \beta) \cdot (1 - \text{HD}(c_a, c_b)) \quad (1)$$

где $\cos$ — косинусная мера сходства общих векторов, HD — нормированное расстояние Хэмминга между кодами РОГ, $\beta \in [0, 1]$ — весовой коэффициент, подбираемый на обучающей выборке. Предполагается, что классическая составляющая повысит устойчивость при смене устройства съёмки, а глубокая скомпенсирует слабую текстуру тёмной РОГ за счёт информации о сосудах склеры.

Для проверки предлагается единый протокол на базе MOBIUS: 100 субъектов, снимки трёх смартфонов и 3 559 снимков с разметкой РОГ, зрачка и склеры [11]. В одинаковых условиях сравниваются: каждая модальность отдельно, слияние на каждом из четырёх уровней и предложенная двухуровневая схема. Оцениваются EER, доля ложных отказов при доле ложных совпадений 10^{-3} , размер шаблона и время обработки кадра. Такое сравнение устраняет главный недостаток существующих работ — несопоставимость результатов.

Заключение

Гибридные системы «РОГ + склера» позволяют распознавать человека по одному цветному снимку глаза и в работах, где проводилось такое сравнение, превосходят одномодальные системы [1, 12, 15, 17]. Предложенная классификация по уровню слияния показывает, что исследователи чаще всего объединяют оценки сходства, а обучаемое слияние глубоких признаков и учёт качества используются редко. Главное препятствие для выбора лучшего решения — отсутствие единого протокола оценки.

Предложенная структура с двухуровневым слиянием сочетает классический код РОГ с обучаемым общим вектором признаков РОГ и склеры. Дальнейшая работа — реализация всех вариантов слияния и их сравнение в едином протоколе на базе MOBIUS, что позволит обоснованно выбрать уровень слияния для мобильных устройств.

Adabiyotlar/Literatūra/References:

1. Adeniyi J.K. [et al.] Fusion of Siamese network-based sclera and iris detection: a multimodal biometrics approach using a sclera detection tracing algorithm // IET Information Security. – 2026. – DOI: 10.1049/ise2/5569382.
2. Chuang C.-W. [et al.] Deep-learning based joint iris and sclera recognition with YOLO network for identity identification // Journal of Advances in Information Technology. – 2021. – Vol. 12, No. 1. – P. 60–65. – DOI: 10.12720/jait.12.1.60-65.

3. Crihalmeanu S., Ross A. Multispectral scleral patterns for ocular biometric recognition // Pattern Recognition Letters. – 2012. – Vol. 33. – DOI: 10.1016/j.patrec.2011.11.006.
4. Das A. [et al.] A decision-level fusion strategy for multimodal ocular biometric in visible spectrum based on posterior probability // Proc. IEEE International Joint Conference on Biometrics (IJCB 2017). – 2017. – DOI: 10.1109/BTAS.2017.8272772.
5. Es-Sobhahi H. [et al.] Multimodal biometrics: a review of handcrafted and AI-based fusion approaches // IET Biometrics. – 2025. – DOI: 10.1049/bme2/5055434.
6. Haghighat M. [et al.] Discriminant correlation analysis: real-time feature level fusion for multimodal biometric recognition // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. – 2016. – Vol. 11. – DOI: 10.1109/TIFS.2016.2569061.
7. Jain D. [et al.] Fusion of iris and sclera using phase intensive rubbersheet mutual exclusion for periocular recognition // Image and Vision Computing. – 2020. – DOI: 10.1016/j.imavis.2020.104024.
8. Kabir W. [et al.] A multi-biometric system based on feature and score level fusions // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2914992.
9. Pathak M. [et al.] Multimodal eye biometric system based on contour based E-CNN and multi algorithmic feature extraction using SVBF matching // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. – 2019. – DOI: 10.35940/ijitee.I7729.078919.
10. Ross A., Jain A. Information fusion in biometrics // Pattern Recognition Letters. – 2003. – Vol. 24, No. 13. – P. 2115–2125. – DOI: 10.1016/S0167-8655(03)00079-5.
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. Yu Y. [et al.] Segmentation and multimodal fusion in ocular biometric recognition: a review // Medinformatics. – 2026. – DOI: 10.47852/bonviewMEDIN62029908.
14. Zhang Q. [et al.] Deep feature fusion for iris and periocular biometrics on mobile devices // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. – 2018. – Vol. 13. – DOI: 10.1109/TIFS.2018.2833033.
15. Zhou Z. [et al.] Multimodal eye recognition // Proc. SPIE. – 2010. – DOI: 10.1117/12.849731.
16. Zhou Z. [et al.] Quality fusion based multimodal eye recognition // Proc. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2012). – 2012. – DOI: 10.1109/ICSMC.2012.6377912.
17. Zhou Z. [et al.] A comprehensive multimodal eye recognition // Signal, Image and Video Processing. – 2013. – DOI: 10.1007/s11760-013-0468-8.

YANGI DAVR ILM-FANI: INSON UCHUN INNOVATSION G'OYA VA YECHIMLAR

**XIX RESPUBLIKA ILMIY-AMALIY KONFERENSIYASI
MATERIALLARI**
2026-yil, oktyabr

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

Yangi davr ilm-fani: inson uchun innovatsion g'oya va yechimlar.
XIX Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi materiallari to'plami.
2-jild, 19-son (13-oktyabr, 2026-yil). – 191 bet.

Mazkur nashr ommaviy axborot vositasi sifatida 2025-yil, 8-iyulda
C-5669862 son bilan rasman davlat ro'yaxatidan o'tkazilgan.

ISSN: 3093-8791 (onlayn)

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

Konferensiya tashkilotchisi: "Scienceproblems Team" MChJ

Konferensiya o'tkazilgan sana: 2026-yil, 9-oktyabr.

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