Никита И. Белов
Национальный исследовательский университет ИТМО,
Кронверкский пр., 49, Санкт-Петербург, 197101
e-mail: nikit.belov@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-0644-1547

МЕТОДЫ ЦЕЛОСТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ АУТЕНТИФИКАЦИИ ЧЕЛОВЕКА ПО ТЕРМОГРАММЕ ЛИЦА

DOI: http://dx.doi.org/10.26583/bit.2022.3.04

Аннотация. **Цель работы.** Данное исследование проведено для изучения применимости методов целостного преобразования изображений к задаче аутентификации личности человека по термографическому изображению его лица. **Предмет исследования**. Данная работа включает исследование методов целостного преобразования изображений применительно к задаче аутентификации человека по термографическому снимку его лица. Собраны наборы данных изображений лиц в дальнем инфракрасном диапазоне (LWIR). Новизна исследования состоит в особенностях набора данных изображений, собранных в реальных условиях, оказывающих влияние на качество аутентификации, таких как мимика, ношение очков или медицинской маски, нанесение грима/косметики, различная освещенность и температурные условия окружающей среды, повороты головы. **Методы**. Исследуемые методы основаны на построении и выделении признаков изображения при сокращении размерности и преобразовании изображения в другую форму представления. Методы применяются при решении задачи выделения признаков на изображениях, при аутентификации по 2D-изображению лица и при решении других задач компьютерного зрения. В данной статье рассматриваются классические методы целостного преобразования изображений: анализ главных компонент, анализ главных компонент с применением ядра, анализ линейного дескриптора, анализ независимых компонент, усеченное сингулярное разложение, дискретное косинусное преобразование. В качестве меры близости изображений используется евклидово расстояние между векторами признаков изображения. **Основные результаты**. Тестирование методов было выполнено на наборе термограмм, состоящем из 632 тысяч изображений лиц 158 человек. В качестве метрики для оценки качества сопоставления выбранных методов использована F-мера. В результате проведенного эксперимента, метод анализа независимых компонент показал наиболее высокие значения метрики F-меры – 0,72. **Практическая значимость**. Результаты работы могут найти применения в системах управления и контроля доступом для повышения отказоустойчивости аутентификации лиц. Использование рассмотренных методов эффективно в задачах обработки термографических снимков для аутентификации человека по вторичным признакам, в частности по рисунку его вен и сосудов на лице, в случаях изменения мимики и внешности по средству нанесения грима и носимых аксессуаров.

Ключевые слова: компьютерное зрение, алгоритм аутентификации, термограмма лица, методы целостного преобразования, анализ главных компонент, анализ линейного дескриптора, анализ независимых компонент, усеченное сингулярное разложение, дискретное косинусное преобразование.

Для цитирования: БЕЛОВ, Никита И. МЕТОДЫ ЦЕЛОСТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ АУТЕНТИФИКАЦИИ ЧЕЛОВЕКА ПО ТЕРМОГРАММЕ ЛИЦА. Безопасность информационных технологий, [S.l.], т. 29, № 3, с. 53–61, 2022. ISSN 2074-7136. URL: https://bit.spels.ru/index.php/bit/article/view/1432. DOI: http://dx.doi.org/10.26583/bit.2022.3.04.

Nikita I. Belov
National Research University ITMO,
Kronverksky Ave., 49, Saint Petersburg, 197101
e-mail: nikit.belov@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-0644-1547

Methods of image transformation for person authentication using face thermographic image

DOI: http://dx.doi.org/10.26583/bit.2022.3.04

Abstract. The purpose of the paper is to study the holistic image transformation methods for person's identity authentication from a thermographic image of faces. Within this study the datasets of images of faces in the far infrared range (LWIR) have been collected. The novelty of the study consists in the features of the dataset of images which collected in real conditions that affect the quality of authentication, such as facial expressions, wearing glasses or a medical mask, applying makeup / cosmetics, different illumination and temperature conditions of the environment, head turns. The methods under the study are based on the construction and selection of image features while reducing the dimension and converting the image into another form of representation. These methods are used to solve the problem of distinguishing features in images, in authentication person identity by 2D image of his face and allows solving other computer vision problems. This paper discusses classical methods of integral image transformation: principal component analysis, principal component analysis using a kernel, linear descriptor analysis, independent component analysis, truncated singular value decomposition, discrete cosine transformation. As a measure of the proximity of images, the Euclidean distance between the vectors of image features is used. Testing of the methods was performed on a set of thermograms consisting of 632 thousand images of the faces of 158 people. The F-measure was used as a metric to assess the quality of comparison of the selected methods. As a result of the experiment, the independent component analysis method showed the highest values of the F-measure metric – 0.72. The results of the study can find applications in access control and control systems to increase the fault tolerance of authentication of persons. The use of the considered methods is effective in the tasks of processing thermographic images for authenticating a person by secondary signs, by the pattern of his veins and vessels on the face, in cases of changes in facial expressions and appearance by means of applying makeup and wearable accessories.

Keywords: computer vision, authentication algorithm, face thermogram, holistic transformation methods, principal component analysis, linear descriptor analysis, independent component analysis, truncated singular value decomposition, discrete cosine transformation.

For citation: BELOV, Nikita I. Methods of image transformation for person authentication using face thermographic image. IT Security (Russia), [S.l.], v. 29, no. 3, p. 53–61, 2022. ISSN 2074-7136. URL: https://bit.spels.ru/index.php/bit/article/view/1432. DOI: http://dx.doi.org/10.26583/bit.2022.3.04.

Введение

В настоящее время алгоритмы распознавания лиц [1] широко используются в различных системах: как в мобильных устройствах, так и в системах принятия платежей. Существует большое количество методов (методы на основе нейросетевых архитектур, методы целостного преобразования изображения, статистические методы, методы выделения локальных признаков на изображении), применяющихся для задачи аутентификации личности человека, демонстрирующие высокое качество распознавания и аутентификации на основе 2D изображений лиц [2]. Также растет и количество способов обхода таких алгоритмов, в частности, данные методы уязвимы перед изменениями условий снятия снимка лица человека, такими как освещение, изменение мимики, внешности, ракурса съемки. В связи с этим необходимо рассмотреть иные способы установления личности человека, устойчивые к подобным воздействиям. Методами, замещающих или дополняющих данные алгоритмы, могут стать методы на основе аутентификации человека по изображению его лица на изображении в дальнем инфракрасном диапазоне (Long-Wavelength Infrared Specter, LWIR).

Снимки в LWIR диапазоне являются уникальными для каждого отдельного человека. Используя аппаратуру с высоким разрешением в целях получения термограмм, возможно увидеть сети сосудов и вен на лице человека [3].

Цель данной работы – исследование классических методов целостного преобразования изображений в задаче аутентификации человека применительно к снимкам лица в LWIR диапазоне (8–14 мкм) с учетом изменчивости условий снятия снимка и внешности персон.

1. Сбор выборки для проведения эксперимента

Сбор данных для формирования выборки производился с помощью тепловизора Seek Thermal Compact Pro. Характеристики устройства указаны в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики тепловизора для сбора и анализа данных

Характеристика	Показатель
Температурный диапазон	от –40°C до +330 °C
Угол обзора	32°
Разрешение	320 x 240 px
Дальность видимости	до 550 м
Фокус	регулируемый
Частота обновления кадров	9 Гц

При подготовке были собраны короткие видеофрагменты по 20–40 с изображений лиц 158 человек выполняющих вращательные движения головой, к ним были добавлены видеоролики, где те же люди изображены после нанесения средств маскировки лица (грим, косметика), видеофрагменты с использованием носимых аксессуаров (очки, медицинские маски), видеофрагменты с охлаждением внешних тканей лица и их нагревом, видеофрагменты с изменением мимики, а также видеофрагменты с нанесением накладных усов, бороды.

В табл. 2 приведено сравнение наборов данных термографических снимков из открытых источников и собранных в данном исследовании. Недостатком известных исследований является сложность их практического применения в реальных условиях, так как внешность людей изменчива, как и условия окружающей среды (смена времен года, смена времени суток и др.). Также в исследованиях использовалось малое количество персон в выборке, что понижает вариативность уникальных признаков и искусственно повышает качество работы алгоритмов аутентификации. В настоящей работе, собранная выборка состоит из двух типов изображений: снимков лиц людей и термограмм в LWIR-диапазоне.

На следующем шаге видеофрагменты были нарезаны на кадры и проведена предварительная обработка (нормализация изображений) данных для дальнейшей передачи данных по одному из алгоритмов целостного преобразования изображения. Пример изображений из собранных данных представлен на рис. 1.

Таблица 2. Сравнительная характеристика наборов данных из открытых источников и собранного набора данных

Условия	Набор данных				
	Equinox database [4, 5]	RGB-DT face dataset [6]	NIST database [7]	University of Notre Dame [8]	Собранные данные
Количество изображений	14 560	45 900	25 000	2 293	632 000
Количество человек в наборе данных	91	51	91	82	158
Тип изображений	LWIR	LWIR	Фото и LWIR	LWIR	Фото и LWIR
Движение головы	+	+	–	–	+
Выражение лица (улыбка, грусть, спокойствие)	+	+	+	+	+
Изменение освещения	+	–	–	–	+
Изменение внешности (очки)	+	+	+	+	+
Изменение внешности (грим/косметика)	–	–	–	–	+
Изменение внешности (усы/борода)	–	–	–	–	+
Изменение внешности (ношение медицинской маски)	–	–	–	–	+
Изменение температуры окружающей среды	–	–	–	–	+

Рис. 1. Пример изображений из собранной выборки
Fig. 1. Thermal image example from the data set

2. Методы целостного преобразования изображения

В статье рассматриваются методы целостного преобразования изображения, которые широко применяются в задачах аутентификации человека в задаче аутентификации по 2D изображению лица человека. Данные методы базируются в первую очередь на идее аппроксимации данных и нахождения их проекции в пространстве. В частности, ряд ниже приведенных методов используется для выделения признаков изображения и сокращения их размерности, для дальнейшего сопоставления полученных векторов признаков изображения применяется меры расстояний или классификационные алгоритмы.

По данной тематике существует ряд работ зарубежных исследователей, где представлена оценка методов целостного преобразования изображений для термографических снимков: анализ главных компонент (Principal Component Analysis, PCA), анализ главных компонент с применением ядра (Kernel Principal Component Analysis, Kernel PCA), анализ линейного дескриптора (Linear Descript Analysis, LDA), анализ независимых компонент (Independend Component Analysis, ICA), усеченное сингулярное разложение (Truncated Singular Value Decomposition, T-SVD) и дискретное косинусное преобразование (Discrete Cosine Transform, DCT) [9]. Приведенные оценки не подходят для применения к выборкам обучения и тестирования моделей по количеству термограмм и по качественным характеристикам.

Алгоритм анализа главных компонент с применением ядра или Kernel PCA, является расширением базового метода PCA. Один из главных недостатков оригинального алгоритма в том, что он использует линейное разложение и испытывает трудности при преобразовании изображений, имеющих сложные нелинейные структуры [10]. Принцип его работы, это повышение размерности исходного изображения, для выделения в пространстве более высоких размерностей векторов, описывающих исходное изображение более полно.

Метод анализа линейного дескриптора LDA, также очень похож на метод анализа главных компонент PCA. Его основная идея схожа, требуется преобразовать изображение в одномерный вектор и уменьшить размерность исходного пространства. Кроме того, в данном методе учитывается класс, к которому принадлежит пиксель (2 класса: лицо или не лицо) [11].

Анализ независимых компонент ICA – метод, основанный на гипотезе о том, что объекты в рассматриваемом пространстве статистически независимы друг от друга. Данный метод позволяет выявить скрытые признаки на изображении путем понижения размерности [12].

Метод дискретного косинусного преобразования (DCT) является аналогом дискретного преобразования Фурье, преобразуя входное изображение из пространственной в частотную область [13].

Метод усеченного сингулярного разложения (T-SVD) имеет одно очень весомое преимущество перед рассмотренными ранее методами [14]. В отличие от них данный алгоритм не используется нормализацию изображения и хорошо работает с разряженными матрицами, не преобразуя их дополнительно.

3. Эксперимент

Алгоритмы, используемые в данной работе, успешно применяются в задачах аутентификации человека по 2D изображению [2]. Был проведен эксперимент по изучению возможности аутентификации людей по изображению их лица в LWIR

диапазоне применяя рассматриваемые методы. Блок схема проведения эксперимента представлена на рис. 2.

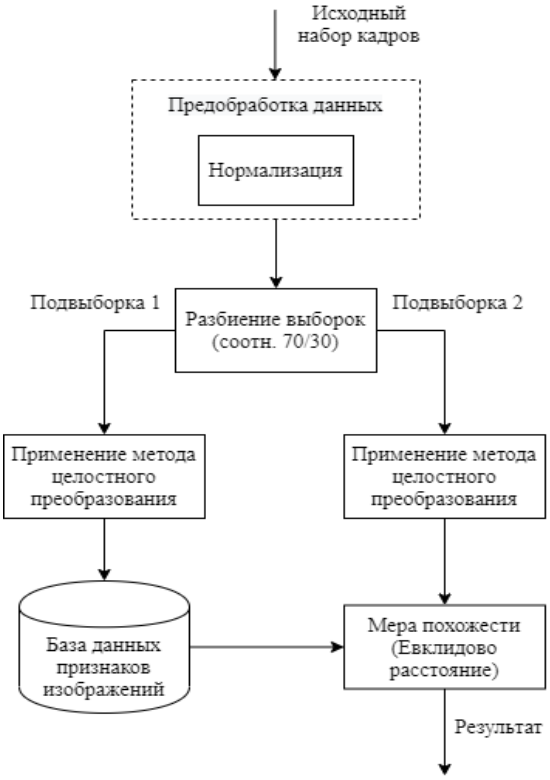

Рис. 2. Блок-схема проведения эксперимента
Fig. 2. Block diagram of the experiment

Первостепенно исходные данные предварительно обрабатывались методом минмакс нормализации (X_{norm})

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}},$$

где X – тензор изображения, X_{min} – минимальное значения пикселя на изображении, X_{max} – максимальное значения пикселя на изображении.

Далее, данные были разделены на 2 подвыборки: первая используется для создания базы данных векторов признаков изображений для каждого человека, вторая для проверки качества работы алгоритма. Таким образом после получения значений векторов, соответствующих каждому человеку из подвыборки 1, данные заносились в базу данных для дальнейшего сопоставления.

На последнем этапе проводится операция сопоставления векторов полученных в ходе использования методов целостного преобразования изображения над изображениями в подвыборке 2 и изображений векторов признаков изображений хранящихся в базе данных, с помощью меры расстояния, в данном случае Евклидова расстояния (d)

$$d(x,y) = \sqrt{\sum_{k=1}^{n} (x_k - y_k)^2},$$

где x и y – координаты вектора в пространстве.

После выполнения всех этапов преобразования термограмм в векторное представление, по средству использования методов целостного преобразования, по результатам сопоставления меры похожести опытным путем было выбрано пороговое значение равное 0.4. Результаты работы алгоритмов приведены в табл. 3 и были рассчитаны по метрике точности F-мера (F_β)

$$F_\beta = (1 + \beta^2)\ \frac{\text{precision} \cdot \text{recall}}{(\beta^2 \cdot \text{precision}) + \text{recall}},$$

где β – вес точности метрики (принимает значение в диапазоне $0 < \beta < \infty$), в нашем случае $\beta = 1$. Так как, при $\beta = 1$ значение метрики является сбалансированным между полнотой (recall) и точностью (precision).

Для расчета метрики точности F-мера первоначально на основе матрицы ошибок рассчитывается полнота (recall) и точность (precision)

$$\text{recall} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}}, \quad \text{precision} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FP}},$$

где TP – истинно положительные срабатывания системы, TN – истинно отрицательные срабатывания системы, FN – ложно отрицательные срабатывания системы, FP – ложно положительные срабатывания системы.

Таблица 3. Результаты работы алгоритмов распознавания

Метод преобразования изображения	Значение метрики F-мера
PCA	0.34
Kernel PCA	0.45
LDA	0.48
ICA	0.72
T-SVD	0.56
DCT	0.56

Классический алгоритм PCA, LDA и Kernel PCA обладают худшими показателями F-меры среди рассмотренных, значение F-меры не превышает 0,5. Методы DCT и T-SVD с задачей выделения признаков лица справились на одном уровне и имеют одинаковое значение точности 0,56. Отметим, что в ходе проведения эксперимента, метод ICA показал лучшие результаты относительно остальных методов для термограмм лица человека при сопоставлении векторов признаков, значение F-меры для данного метода составляет 0.72. Данный метод, также демонстрирует лучшие показатели точности по сравнению с методами выделения локальных признаков с изображения [15].

Заключение

В данной работе были исследованы шесть алгоритмов целостного преобразования изображений применительно к задаче аутентификации человека по термографическому снимку лица. Для проведения эксперимента был собран набор данных, состоящий из 632 000 изображений лиц 158 человек, максимально приближенный к реальным условиям эксплуатации подобных систем.

Полученные результаты в ходе эксперимента показали, что в задаче аутентификации по термограмме лица человека метод анализа независимых компонент ICA показал наилучший результат – значение метрики F-мера=0.72.

Также на основе полученных результатов, необходимо отметить, что оригинальные методы целостного преобразования изображений, в целом, не лучшим образом справляются с задачей, однако различные вариации и расширения классических методов, могут существенно повысить значения метрики точности и улучшить процесс аутентификации по термограмме лица человека.

В дальнейших работах планируется рассмотреть марковские модели распознавания лиц и методы на основе нейросетевых архитектур и сравнить их с методами целостного преобразования изображения и методами выделения локальных признаков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Zhao W., Chellappa R., Phillips P.J. and Rosenfeld A. Face recognition: A literature survey. ACM Comput. Surv. 2003, vol. 35, issue 4, p. 399–458. DOI: https://doi.org/10.1145/954339.954342.
2. Кузнецов Д.А., Дамм В.А., Кузнецов А.В., Трегубов Р.Б. Сравнительный анализ популярных методов распознавания лиц на изображениях. Научный результат. Информационные технологии. 2019, № 4, с. 3–9. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-populyarnyh-metodov-raspoznavaniya-lits-na-izobrazheniyah (дата обращения: 25.07.2022).
3. Jain A.K., Ross A. and Prabhakar S. An introduction to biometric recognition. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. 2004, vol. 14, no. 1, p. 4–20. DOI: https://doi.org/10.1109/TCSVT.2003.818349.
4. Bendada A. and Akhloufi M.A. Multispectral Face Recognition in Texture Space. Canadian Conference on Computer and Robot Vision. 2010, p. 101–106. DOI: https://doi.org/10.1109/CRV.2010.20.
5. Méndez, H., Martín, C.S., Kittler, J., Plasencia, Y., García-Reyes, E. (2009). Face Recognition with LWIR Imagery Using Local Binary Patterns. In: Tistarelli, M., Nixon, M.S. (eds) Advances in Biometrics. ICB 2009. Lecture Notes in Computer Science, vol 5558. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-01793-3_34.
6. Nikisins O., Nasrollahi K., Greitans M. and Moeslund T.B. RGB-D-T Based Face Recognition. 22nd International Conference on Pattern Recognition. 2014, p. 1716–1721. DOI: https://doi.org/10.1109/ICPR.2014.302.
7. Bebis George et al. Face recognition by fusing thermal infrared and visible imagery. Image and Vision Computing 24.7 (2006): p. 727–742. DOI: https://doi.org/10.1016/j.imavis.2006.01.017.
8. Palm R.B. Prediction as a candidate for learning deep hierarchical models of data. 2012. URL: http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/publication_details.php?id=6284 (дата обращения: 06.08.2022)
9. Kaur R. and Himanshi E. Face recognition using Principal Component Analysis. IEEE International Advance Computing Conference (IACC). 2015, p. 585–589. DOI: https://doi.org/10.1109/IADCC.2015.7154774.
10. Huang G.H., Shao H.H. Kernel Principal Component Analysis and Application in Face Recognition. Computer Engineering, Shanghai, 2004. URL: https://www.semanticscholar.org/paper/Kernel-Principal-Component-Analysis-and-Application-Hui-he/61221c884c40f2176c61f5b303222bd0a65b425b (дата обращения: 06.08.2022).
11. Xiaogang wang and Xiaoou Tang: Random Sampling for Subspace Face Recognition. International Journal of Computer Vision 70, p. 91–104, 2006. URL: https://mmlab.ie.cuhk.edu.hk/pdf/wangTijcv06.pdf (дата обращения: 10.08.2022).
12. Turk M.A. and Pentland A.P. Face recognition using eigenfaces Proceedings. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 1991, p. 586–591. DOI: https://doi.org/10.1109/CVPR.1991.139758.
13. Loeffler C., Ligtenberg A. and Moschytz G.S. Practical fast 1-D DCT algorithms with 11 multiplications. International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. 1989, vol. 2, p. 988–991. DOI: https://doi.org/10.1109/ICASSP.1989.266596.
14. Ahmed N., Natarajan T. and Rao K.R. Discrete Cosine Transform. IEEE Transactions on Computers. 1974, vol. C-23, no. 1, p. 90-93. DOI: https://doi.org/10.1109/T-C.1974.223784.
15. Белов Н.И., Ермак М.А., Дубинич Е.А., Кузнецов А.Ю. Методы выделения локальных признаков лица на изображении при аутентификации человека по термограмме. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2022, т. 22, № 2(138), с. 279–286. DOI: https://doi.org/10.17586/2226-1494-2022-22-2-279-286. – EDN JFLCZJ.

REFERENCES:

[1] Zhao W., Chellappa R., Phillips P.J. and Rosenfeld A. Face recognition: A literature survey. ACM Comput. Surv. 2003, vol. 35, issue 4, p. 399–458. DOI: https://doi.org/10.1145/954339.954342.

[2] Kuznetsov D.A., Damm V.A., Kuznetsov A.V., Tregubov R.B. Popular methods of face images recognition comparative analysis of. Nauchniy resultat. Informacionnie technologii. 2019. № 4, p. 3–9. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-populyarnyh-metodov-raspoznavaniya-lits-na-izobrazheniyah (accessed: 25.07.2022) (in Russian).

[3] Jain A.K., Ross A. and Prabhakar S. An introduction to biometric recognition. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. 2004, vol. 14, no. 1, p. 4–20. DOI: https://doi.org/10.1109/TCSVT.2003.818349.

[4] Bendada A. and Akhloufi M.A. Multispectral Face Recognition in Texture Space. Canadian Conference on Computer and Robot Vision. 2010, p. 101–106. DOI: https://doi.org/10.1109/CRV.2010.20.

[5] Méndez, H., Martín, C.S., Kittler, J., Plasencia, Y., García-Reyes, E. (2009). Face Recognition with LWIR Imagery Using Local Binary Patterns. In: Tistarelli, M., Nixon, M.S. (eds) Advances in Biometrics. ICB 2009. Lecture Notes in Computer Science, vol 5558. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-01793-3_34.

[6] Nikisins O., Nasrollahi K., Greitans M. and Moeslund T.B. RGB-D-T Based Face Recognition. 22nd International Conference on Pattern Recognition. 2014, p. 1716–1721. DOI: https://doi.org/10.1109/ICPR.2014.302.

[7] Bebis George et al. Face recognition by fusing thermal infrared and visible imagery. Image and Vision Computing 24.7 (2006): p. 727–742. DOI: https://doi.org/10.1016/j.imavis.2006.01.017.

[8] Huang G.H., Shao H.H. Kernel Principal Component Analysis and Application in Face Recognition. Computer Engineering, Shanghai, 2004. URL: https://www.semanticscholar.org/paper/Kernel-Principal-Component-Analysis-and-Application-Hui-he/61221c884c40f2176c61f5b303222bd0a65b425b (accessed: 06.08.2022).

[9] Xiaogang wang and Xiaoou Tang: Random Sampling for Subspace Face Recognition. International Journal of Computer Vision 70, p. 91–104, 2006. URL: https://mmlab.ie.cuhk.edu.hk/pdf/wangTijcv06.pdf (accessed: 10.08.2022).

[10] Kaur R. and Himanshi E. Face recognition using Principal Component Analysis. IEEE International Advance Computing Conference (IACC). 2015, p. 585–589. DOI: https://doi.org/10.1109/IADCC.2015.7154774.

[11] Turk M.A. and Pentland A.P. Face recognition using eigenfaces Proceedings. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 1991, p. 586–591. DOI: https://doi.org/10.1109/CVPR.1991.139758.

[12] Loeffler C., Ligtenberg A. and Moschytz G.S. Practical fast 1-D DCT algorithms with 11 multiplications. International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. 1989, vol. 2, p. 988–991. DOI: https://doi.org/10.1109/ICASSP.1989.266596.

[13] Ahmed N., Natarajan T. and Rao K.R. Discrete Cosine Transform. IEEE Transactions on Computers. 1974, vol. C-23, no. 1, p. 90-93. DOI: https://doi.org/10.1109/T-C.1974.223784.

[14] Belov N.I., Ermak M.A., Dubinich E.A., Kuznetsov A.Ю. Methods of local features extraction in person authentication task by face thermographic imageю Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2022, vol. 22, no. 2(138), p. 279–286. DOI: https://doi.org/10.17586/2226-1494-2022-22-2-279-286. – EDN JFLCZJ (in Russian).

Поступила в редакцию – 17 августа 2022 г. Окончательный вариант – 30 августа 2022 г.
Received – August 17, 2022. The final version – August 30, 2022.