

УДК 621.391

ВЫБОР ДЕСКРИПТОРОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА

А.И. МИТЮХИН

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь**Поступила в редакцию 21 октября 2021*

Аннотация. В работе рассматривается алгоритм получения дескрипторов изображения кровеносных сосудов глазного дна (сетчатки). Наряду с использованием традиционных пространственных и спектральных вейвлет- или Фурье-дескрипторов, рассматривается возможность применения разложения исходных данных в базисе собственных функций и эффективного кодирования. Применение интегрированного подхода при выборе дескрипторов позволяет повысить точность процесса идентификации для известных методов, основанных на выполнении операции пространственного сравнения образа входа и прототипов базы данных. В связи с существующими спецификационными ограничениями на размер входных данных этап эффективного кодирования коэффициентов разложения позволяем ускорить процесс принятия решения о классификации, что важно при практическом использовании системы идентификации.

Ключевые слова: биометрическая идентификация, сетчатка, распознавание, изображение, сегментация, дескрипторы, собственные векторы, линейное преобразование.

Введение

Индивидуальные биометрические параметры сравнительно давно используются в криминалистике [1] и в системах обеспечения безопасности [2]. Одними из основных требований при проектировании технических аппаратно-программных средства идентификации являются эффективность и надежность этапа распознавания. Точностные характеристики любой системы биометрической идентификации во многом определяются выбором соответствующих признаков (дескрипторов) объекта распознавания. Системы идентификации обладают определенной степенью надежности, если физиологические параметры относительно стабильны. Однако многие эти параметры изменяется с возрастом, существенных патологий. Значения параметров могут подвергаться замене в результате маскирования, имитации, например, изображения радужной оболочки глаза [3]. Современное хирургическое вмешательство позволяет изменить лицо практически до неузнаваемости и пр. Повышенную надежность процесса идентификации можно получить, если в качестве признаков распознавания использовать дескрипторы, характеризующиеся постоянством (стабильностью). В отличие от таких индивидуальных физических характеристик человека как отпечатки пальцев, голосовые особенности, лицо и др. изображение сетчатки практически не изменяется с возрастом. Медицинские и идентификационные [4] исследования на достаточно большом временном интервале показывают, что даже однояйцевые близнецы имеют различия в характерных изображениях кровеносных сосудов глазного дна. При этом подчеркивается даже уникальность изображений отдельных фрагментов кровеносной сосудистой сети. Кроме того, изображение кровеносных сосудов в виде сети не может быть искусственно изменено. В статье предлагается и описывается вычислительный алгоритм получения дескрипторов сетчатки, где используются элементы известных пространственных методов с добавлением эффективного кодирования. По мнению автора, результатом является возможность улучшения точностных и временных характеристик идентификации, что важно, когда предъявляются особые требования по обеспечению безопасности, контролю и управлению доступом на специальные объекты.

Теоретические принципы

Решение задачи отнесения входных изображений сетчатки к какому-либо из идентифицируемых классов образов основывается на выполнении операций дифференциации существенных признаков образов от фоновых составляющих и от деталей, не относящихся к обрабатываемому процессу. В обобщенном виде, как и для многих приложений, где используются цифровая обработка изображений, алгоритм идентификации по изображению сетчатки отображается схемой, показанной на рис. 1. Этап морфологической обработки реализует утончение изображение дерева кровеносных сосудов, а также фильтрацию мало заметных сосудов с целью уменьшения временных затрат на получение классификационных решений.



Рис. 1. Обобщенная схема идентификации по изображению сетчатки

После процесса бинаризации формируется сегментированное изображение, показанное на рис. 2.

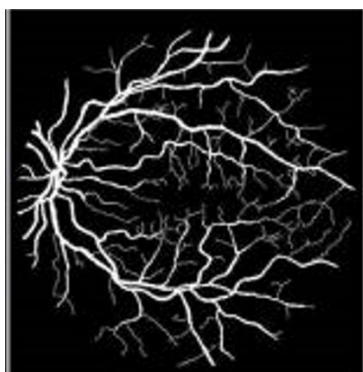


Рис. 2. Сегментированное изображение сетчатки [5]



Рис. 3. Фрагмент изображения

В известных и применяемых алгоритмах, взятых из опубликованных работ, извлечение существенных признаков сети сосудов ограничивается только фрагментом изображения, рис. 3. С одной стороны, это связано с временным ограничением процесса идентификации. Если для распознавания используется процесс линейной пространственной фильтрации всего изображения, рис. 2, временные затраты на обработку становятся чрезмерными. С другой стороны, имеются исследования, которые показывают, что увеличение размера входа обработки больше некоторой оптимальной величины, незначительно влияет на точностные характеристики работы классификатора. Один из подходов получения фрагмента базируется на радиальном разделении изображения [6]. Для этого используется маска (окно), выполненная в виде кольца. Внешние границы кольца определяются двумя значениями радиусов $R_1 - R_2 = M$. После совмещения изображения с маской формируется изображение фрагмента, описываемое в полярной системе координат. Используя известные соотношения между представлением данных в полярной и декартовой системах координат, изображение фрагмента будем описывать в декартовом пространстве. После развертки маски-кольца и бинаризации имеем матрицу G размером $M \times N$.

Известно, что эффективность обработки изображений как понятие массива случайного процесса, можно повысить, если учитывать его статистические характеристики. Бинарные изображения сетчатки на малых участках напоминают локальные однородные структуры, распределенные по пространству: линии, контуры, разветвления и пр. Все они имеют постоянные значения яркостей. Такие свойства означают высокую степень коррелированности локальных пространственных признаков изображений, позволяют использовать линейные преобразования коррелированных признаков в набор некоррелированных меньшего размера. Преобразование сравнительно просто реализуется посредством БПФ. Значения дескрипторов Фурье образуют компоненты вектора признаков изображения сетчатки. Вектор хранится в базе данных зарегистрированных пользователей

системы идентификации. Недостатком такого выбора дескрипторов является неполная декорреляция исходных данных, усложнение схемы классификатора. Некоррелированные признаки можно получить из решения задачи на собственные значения [7]. Вычислительно решение этой задачи сравнительно затратно. Отсутствие быстрых вычислительных алгоритмов затрудняет его практическое использование для обработки больших массивов данных. Однако, на специальных объектах имеется ограничение на размер базы данных зарегистрированных пользователей. Кроме того, существует ограничение на размер матрицы \mathbf{G} . По многим научным и техническим источникам размер матрицы \mathbf{G} находится в диапазоне 320–10800 бинарных пикселей. По [8] и другим открытым источникам о системах контроля безопасности, размер вектора дескрипторов Фурье находится в пределах 40–96 байт. Высокая размерность вектора признаков всегда усложняет процесс распознавания. С другой стороны, если выделить главные информационные признаки о объекте, можно уменьшить пространство признаков, и тем самым упростить схему (программу) классификатора. Исходя из этих предпосылок, рассматривается подход выбора (эффективного описания) дескрипторов через переход из декартовой системы координат в систему, базовыми координатами которой, являются собственные векторы ковариационной матрицы изображения сетчатки. В этом случае следует ожидать полной декорреляции данных и повышения эффективности каждого признака с точки зрения представления входного процесса. Рассмотрим основные этапы предлагаемого алгоритма выбора векторов дескрипторов.

1. Определяется ортонормированный базис \mathbf{T} в виде матрицы собственных векторов ковариационной матрицы $\text{cov}(\mathbf{G})$. Матрица \mathbf{T} задает ядро прямого преобразования [9, 10]

$$\hat{\mathbf{G}} = \mathbf{T}(\mathbf{G} - \mathbf{G}_m) \quad (1)$$

цифрового изображения вида $(\mathbf{G} - \mathbf{G}_m)$, где \mathbf{G}_m – вектор математического ожидания всего фрагмента \mathbf{G} .

Значения коэффициентов матрицы $\hat{\mathbf{G}}$ образуют компоненты векторов $\hat{\mathbf{g}}_i = (\hat{g}_0, \dots, \hat{g}_{N-1})^T$, $i = 0, 1, \dots, M-1$ некоррелированных признаков. Так как вектор математического ожидания $\hat{\mathbf{G}}_m$ равен нулю, процесс выбора дескрипторов сводится к отбору коэффициентов, имеющих наибольшие значения дисперсий. Таким образом, размер векторов $\hat{\mathbf{g}}_i$ уменьшается при сохранении информации о изображении. Далее векторы $\hat{\mathbf{g}}_i$ преобразуются в двоичный идентификационный код, хранящийся в памяти системы контроля доступа.

2. Для подтверждения правильности идентификации производится дополнительная проверка по усредненному вектору $\mathbf{G}_m = (g_{m,0}, \dots, g_{m,M-1})$ декартовых данных, описываемых матрицей \mathbf{G} . Размерность этого вектора соответствует числу строк $M \leq N$ матрицы \mathbf{G} . Расстояния между входным образом \mathbf{G}_m и прототипами вычисляются в метрике Хэмминга. Вычисления в этой метрике над двоичным полем Галуа не требуют значительных временных затрат как в аппаратном, так и программном смысле. На этом этапе классификация может осуществляться с помощью простых решающих правил, например, сравнения между множеством допускаемых расстояний внутри класса и расстояниями между классами. Это замечание следует учитывать с учетом того, что при регистрации пользователя в биометрической системе предоставляется несколько образцов биометрического материала.

Экспериментальные исследования

Идентификационные исследования проводились с использованием изображений сетчатки, взятых из базы данных [5]. В настоящее время продолжается экспериментальная работа с целью получения усредненной оценки минимального размена вектора признаков и, соответственно, длины кода идентификации. Начальное моделирование в среде MATLAB решения о подтверждении правильной идентификации личности человека показало, что время обработки не превышало две секунды. Оценка проводилась на 9 различных изображениях, включенных в базу данных созданной для эксперимента. Для более определенной оценки алгоритма предполагается продолжить исследования с использованием базы данных большего размера.

Заключение

С учетом особенностей статистических характеристик изображения сетчатки рассмотрен алгоритм выбора дескрипторов, позволяющий более эффективно выявлять информационное содержание входного биометрического параметра. Свойство эффективности приводит к преимуществам более быстрой идентификации и аутентификации. Дальнейшие исследования подхода выбора дескрипторов изображения сетчатки связаны с оценкой численности сотрудников специальных объектов, при которой точностные характеристики идентификации должны соответствовать задаваемым техническим требованиям.

PROTECTION OF INFORMATION BASED ON SPECTRAL-SPATIAL CODING

A.I. MITSUKHIN

Abstract. The paper considers the algorithm for obtaining descriptors of the image of bloody vessels of the fundus (retina). Along with the use of traditional spatial and spectral wavelet or Fourier descriptors, the possibility of using the decomposition of the initial data in the basis of its own functions and effective coding is considered. Using an integrated approach to selecting descriptors improves the accuracy of the identification process for known methods based on performing a spatial comparison operation on the login image and database prototypes. Due to the existing specification limitations on the size of the input data, the stage of effective coding of coefficients of decomposition allows us to speed up the process of making a decision on classification, which is important in the practical use of the identification system.

Keywords: biometric identification, retina, recognition, image, segmentation, descriptors, eigenvectors, linear transformation.

Список литературы

1. American National Standards Institute (ANSI). Biometric Information Management and Security. Technical Report X9.84-2001.
2. Болл Р., Коннел Д., Панканти Ш. [и др.] Руководство по биометрии. Москва, Техносфера, 2007.
3. Старовойтов В.В., Мониц Ю.И. // Искусственный интеллект. 2011. № 3. С. 278-284.
4. Ramya M., Sornalatha. M. // IJETSSE. 2014. № 3. С. 164-168.
5. Images Page 1 // [Electronic resource]. URL: <https://cecas.clemson.edu/~ahoover/stare/images1.htm>.
6. Farzin H., Abrishami H., Shahram M. // EURASIP. 2008. № 5. С. 1-10.
7. Fukunaga K. Introduction to Statistical Pattern Recognition. Academic Press, New York and London, 1972.
8. Behrens M., Roht B. Biometrische Identifikation. Springer Verlag, 2001.
9. Mitsukhin A. // Proc. 52. IWK. 2007. Vol. 2. P. 321-325.
10. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М., 2005.