

Идентификация и верификация личности – комплексная биометрическая информационная технология

К.С. Маркелов

Аннотация — В соответствии с методикой комплексной биометрической информационной технологии рассматривается решение задачи идентификации личности на основе дактилоскопических данных. Построена математическая модель описания свойств отпечатков пальцев для их представления в форме биометрического информационного портрета (БМИП), а также модель и алгоритмы процесса идентификации в целом. По соответствующим алгоритмам проведено экспериментальное исследование системы идентификации личности. Результаты исследований показали, что разработанная система по ряду показателей превосходит существующие аналогичные системы.

Ключевые слова — биометрия, дактилоскопическое изображение отпечатка пальца, комплексная биометрическая информационная технология, биометрический информационный портрет, система идентификации личности.

I. ВВЕДЕНИЕ

Сегодня в России представлены биометрические средства идентификации личности по данным дактилоскопии в виде больших и малых систем, способных работать в частных офисах, институтах и т.п. Например, такие как: Система электронного дактилоскопирования ПАПИЛОН «ЖИВОЙ СКАНЕР», Биометрическая система защиты компьютерной информации «Дакто» и др. Существует ряд больших фирм и институтов, которые занимаются непосредственно конкретными разработками того или иного метода, это ЗАО «ПАПИЛОН», МГТУ им. Баумана, ОАО «Черниговский завод радиоприборов», BioLink Technologies, Элсис, НПП Электрон (Россия), Опак (Белоруссия), P&P (Германия), SAC Technologies, Identix, Biometric Identification, Biometric Access Corp, American Biometric Corp, Sony, National Registry Inc.

В задачу работы входит реализация модели комплексной биометрической информационной технологии (КБМИТ), созданной на основе системно-комплексного анализа существующих биометрических методов. Модель представляется на примере идентификации личности по дактилоскопическим

данным.

При этом используются уточнения математических методов и применение адекватных и ранее неиспользуемых методов, направленных на повышение точности результатов верификации и идентификации личности человека.

Целесообразно рассмотреть существующие биометрические методы с целью выявления некоторых идентификаторов и предоставления некоторой технологии по идентификации личности. Существуют два вида признаков на отпечатках, по которым идёт распознавание, это – по отдельным деталям (характерным точкам) и по рельефу всей поверхности пальца, а также их комбинация.

Проблемой определения выбора признака – биометрического идентификатора (БМИ) является то, что все знания по биометрии не структурированы. Существуют достаточно большое количество институтов, лабораторий, фирм, которые занимаются разработкой биометрических систем идентификации, но единой, целостной, научно обоснованной (системно-комплексной) технологии, которая позволила бы разрабатывать систему идентификации личности (СИЛ) по любому из БМИ, нет.

Необходимо проанализировать подходы и математические методы к идентификации личности, так как непосредственно для достижения цели по разработке и реализации модели комплексной биометрической технологии с использованием уточняющих математических методов, направленных на повышение точности и эффективности идентификации СИЛ играет важную роль сам процесс идентификации.

Помимо самого процесса идентификации важную роль играют качественные входные данные – дактилоскопические изображения отпечатка пальцев (ДИОП). В рамках данной работы в качестве БМИ используются папиллярные линии кожного покрова пальца человека. Существует настоятельная необходимость в корректном, правильном, качественном отображении линий на ДИОП. От неправильного отображения линий может зависеть судьба человека, если по ДИОП рассматривается дело в суде. Например, от аутентификации в процессе телеобучения зависит то, что обучаемый пройдёт ли этап идентификации для начала дистанционного обучения, сможет ли получать образовательные услуги в полной мере. Для стороны учебного заведения важно то,

Статья получена 20 апреля 2015.

Маркелов К.С. аспирант «Московского государственного технического университета радиотехники, электроники и автоматики» (ФГБОУ ВПО МГТУ МИРЭА).

что тот ли обучаемый сейчас проходит обучение, выполняет контрольные или тестовые задания. Поэтому для достижения цели по точности и эффективности идентификации, необходимо ещё решить задачу повышения информативности входных ДИОП. Для решения этой задачи нужно проанализировать существующие подходы обработки изображений, в частности, рассмотреть методы многокадровой обработки.

Основные задачи, решаемые в рамках данной работы:

- построить математические модели описания полученных характеристик отпечатка пальцев в виде БМИП и идентификации;
- разработать алгоритм идентификации и реализовать его в виде соответствующего программного приложения – СИЛ;
- провести экспериментальное исследование разработанного приложения идентификации.

II. КОМПЛЕКСНАЯ БИОМЕТРИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

КБМИТ основана на органическом сочетании четырёх этапов информационной деятельности, каждый из которых характеризуется своей технологией, а в совокупности они составляют комплексную технологию, направленную на достижение цели по идентификации личности в различного рода задач по распознаванию, идентификации, верификации, аутентификации (рис. 1).

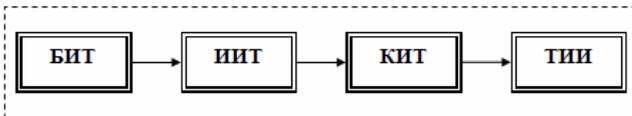


Рисунок 1 – Схема концептуальной модели комплексной биометрической информационной технологии идентификации индивида.

Полное описание КБМИТ представлено в работах [1 - 3]. В рамках этой технологии на этапе компьютерной информационной технологии (КИТ) приводится математическая модель построения биометрического информационного портрета индивида (БМИП).

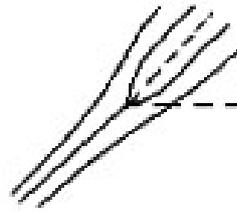
Биометрическим информационным портретом индивида (БМИП) - совокупности унифицированных данных, которые получают в результате обработки информации со сканеров отпечатков пальцев с применением математических и иных адекватных задачам методов, дающих возможность выделить уникальные особенности БМИ и представить их в уникальной форме.

III. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БМИП

Для выделения БМИП необходимо построить математическую модель. Модель будет строиться на основании подхода модифицированного метода канонического разложения. Суть его в том, что будет строиться дискретный ряд некоторых признаков на отпечатке пальцев.

В основе модели рассматриваются типы признаков минуций: разветвление (раздвоение) и окончание (рис. 2).

Раздвоение



Окончание

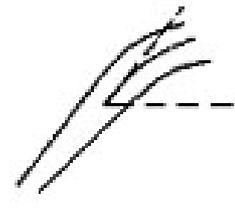


Рисунок 2 - Минуции: разветвление и окончание.

Для описания каждого признака необходимо однозначно задавать координаты, углы, типы признаков. Входной информацией является список минуций в абсолютных параметрах, содержащий все необходимые параметры. Для примера рассматриваемых признаков – минуций:

$$M = \begin{pmatrix} X_1 & Y_1 & \alpha_1 & T_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_k & Y_k & \alpha_k & T_k \end{pmatrix} \quad (1)$$

где X_i, Y_i ($i \in \overline{1, k}$) – координаты минуций на растровом представлении ДИОП, целые числа, величина которых ограничена размером ДИОП в пикселях; α_i ($i \in \overline{1, k}$) – направление предполагаемого продолжения гребня на ДИОП в точки типа окончание и направление слипания для точки типа разветвление; T_i ($i \in \overline{1, k}$) – тип обнаруженной точки, битовое поле, принимает 2 значения «разветвление» = 0 и «окончание» = 1; k – количество минуций на исследуемом БМИ.

При сканировании отпечатка пальцев возможно смещение или поворот изображения отпечатка пальца по сравнению с тем, который уже хранится в БД. Данные погрешности не должны оказывать влияние на результат распознавания получаемого БМИ. Для этого предложено использовать преобразование абсолютных параметров минуций к относительным. Посредством такого преобразования удастся предотвратить негативное влияние поворота и смещения, даже если палец повернут на 180°. Преобразование относительных параметров к абсолютным параметрам компенсирует влияние параллельного переноса и поворота отпечатков пальцев при сканировании. Преобразование происходит для каждой обнаруженной минуции относительно всех остальных минуций на ДИОП.

На рис. 3 представлено изображение отпечатка пальца с обнаруженными на нём минуциями. Линиями представлено расположение точек относительно исходной точки.

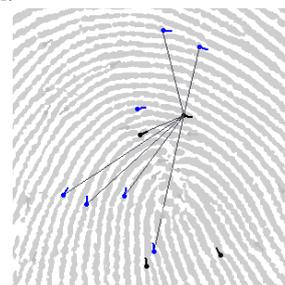


Рисунок 3 – Пример прямого расположения отпечатка

пальца.

На рис. 4 представлено изображение отпечатка того же пальца, но повернутого относительно первого на 45°. Линиями представлено расположение точек относительно центральной, т е той, относительно которой будут переводиться параметры.

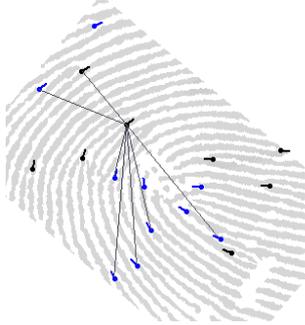


Рисунок 4 - Пример повернутого на 45° расположения отпечатка пальца.

Преобразование происходит для каждой обнаруженной минуции относительно всех остальных точек по следующим формулам:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (2)$$

$$\alpha_{-1_{ij}} = \alpha_{ij} - \alpha_i$$

$$\alpha_{-2_{ij}} = \alpha_j - \alpha_i$$

где i, j – минуции; d_{ij} – расстояние между точками i и j ; $\alpha_{-1_{ij}}$ – угол между направлением точки i и направлением на точку j ; $\alpha_{-2_{ij}}$ – угол между направлением точки i и точки j .

В процессе преобразования координат получатся относительные параметры координат d_{ij} , которые несут в себе информацию о расположении того или иного признака, а также информацию об относительности расположения признаков друг к другу для конкретного отпечатка пальца. Аналогичные преобразования должны происходить и для углов.

Для каждой точки минуции списки длин:

$$d_{11} = \{ d_{12}, d_{13}, d_{14}, \dots, d_{1j} \}; \quad (3)$$

$$d_{22} = \{ d_{21}, d_{23}, d_{24}, \dots, d_{2j} \};$$

$$\dots;$$

$$d_{ii} = \{ d_{ij} \}.$$

Для каждой точки минуции списки углов:

$$\alpha_{11} = \{ \alpha_{12}, \alpha_{13}, \alpha_{14}, \dots, \alpha_{1j} \}; \quad (4)$$

$$\alpha_{22} = \{ \alpha_{21}, \alpha_{23}, \alpha_{24}, \dots, \alpha_{2j} \};$$

$$\dots;$$

$$\alpha_{ii} = \{ \alpha_{ij} \}.$$

где $i = [1, \dots, N]$; $j = [1, \dots, N - 1]$; $i \neq j$; N – число точек.

Для построения корректных значений углов необходимо произвести их нормировку по формуле (5).

$$\alpha_i^{norm} = \left[\frac{\alpha_1}{|\alpha|}, \frac{\alpha_2}{|\alpha|}, \dots, \frac{\alpha_i}{|\alpha|} \right] \quad (5)$$

$$\text{где } |\alpha| = \sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} \alpha_i^2}$$

После нормирования для каждой точки необходимо построить некоторый ряд (6):

$$D_1 = \{ D_{12}, D_{13}, D_{14}, \dots, D_{1j} \}; \quad (6)$$

$$D_2 = \{ D_{21}, D_{23}, D_{24}, \dots, D_{2j} \};$$

...

$$D_i = \{ D_{ij} \}.$$

где $D_i = d_{ij} * \alpha_{-1_{ij}^{norm}} + \alpha_{-2_{ij}^{norm}}$; $i = [1, \dots, N]$; $j =$

$[1, \dots, N - 1]$; $i \neq j$; N – число точек.

Для каждой точки существует некоторый ряд относительных величин, которые для D_i можно представить в виде некоторой БМИП для конкретного признака (минуции) (рис. 5), как некоторой зависимости относительных параметров расположения признаков к номерам признаков отпечатка.

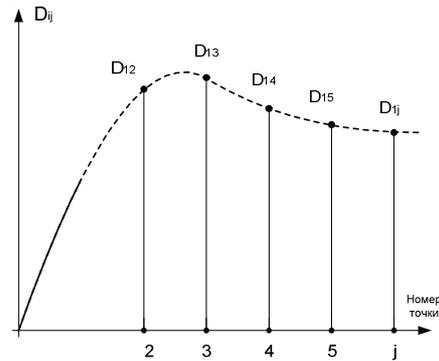


Рисунок 5 – Пример набора относительной характеристики D_j для одной точки.

Для построения полной математической модели, т е получения БМИП необходимо ряд (6) для каждой точки привести к некоторому представлению. По аналогии с подходом в методе канонических разложений [6 - 10] предлагается использовать математическое ожидание дискретного ряда для каждой точки. После нормирования для каждой точки необходимо построить некоторый упорядоченный ряд (7):

$$D_{av} = \{ D_{av_1}, D_{av_2}, D_{av_3}, \dots, D_{av_i} \} \quad (7)$$

где $D_{av_i} = \frac{\sum_{j=1}^{N-1} D_{ij}}{N-1}$; $i = [1, \dots, N]$; $j = [1, \dots, N - 1]$; $i \neq j$;

N – число точек.

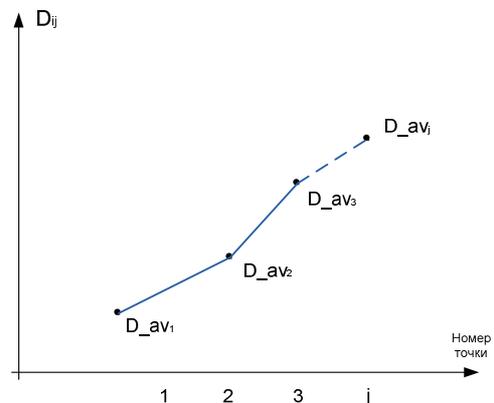


Рисунок 6 – Первая часть БМИП для одной минуции (признака).

БМИП должен состоять из двух частей. Первая часть – это упорядоченная часть относительных параметров для каждой точки, а вторая – координаты, угол и тип минуции для каждой точки. Ряд, представленный на рис. 6 является математической моделью описания БМИ

- первой часть БМИП. Вторая часть БМИП – это модельное представление формулы (1).

IV. МОДЕЛЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ

Идентификация должна происходить в два этапа:

- I этап. Поиск в БД наиболее подходящего БМИП.
- II этап. В рамках найденного БМИП уточнение по координатам, углам и типу минуции соответствует ли искомый БМИП с найденным в БД.



Рисунок 7 - Модель идентификации личности.

V. ОБЩАЯ СХЕМА АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ БМИП

Каждый из наборов параметров в первой части БМИП представляет собой одну точку. Для приведения параметров к относительным параметрам проводится обзор и преобразование всех точек. Необходимо оценить расстояние между каждой из пар минуций, сложность этих алгоритмов превышает $O(N^2)$, где N - количество обнаруженных минуций на изображении отпечатка пальца. В среднем количество точек на отпечатке не превышает 50, таким образом, потребуется $50^2 = 2500$ операций, что является небольшим объёмом вычислений. Тесты показывают, что современные пользовательские ЭВМ способны выполнять около $1 \cdot 10^7$ операций вычисления расстояния в секунду.

Таким образом, на анализ одного ДИОП будет уходить в

среднем $\frac{2500}{1 \cdot 10^7} = 2.5 \cdot 10^{-4}$ секунд. Такие темпы обработки информации вполне отвечают понятию интерактивности, что является приемлемым условием для разрабатываемого алгоритма построения первой части БМИП. Схема работы такого алгоритма, согласно описанной выше математической модели, представлена на рис. 8.



Рисунок 8 – Общая схема работы алгоритма построения БМИП.

VI. ОБЩАЯ СХЕМА АЛГОРИТМА ИДЕНТИФИКАЦИИ

Вследствие эластичности кожи и роста человека расстояние между точками может измениться, что не должно влиять на результат распознавания, однако разные точки так же не должны быть приняты за одну. Для этого в процесс идентификации был разбит на два этапа, а также было предложено при идентификации на

втором этапе рассматривать окрестности вхождения координат и углов, а также различные их сочетания для оценки степени совпадения двух БМИП в целом. Таким образом, точка считается совпавшей, если её местоположение относительно другой точки входит в определённую область вокруг первоначального положения. Общая схема работы алгоритма идентификации личности представлена на рис. 9.

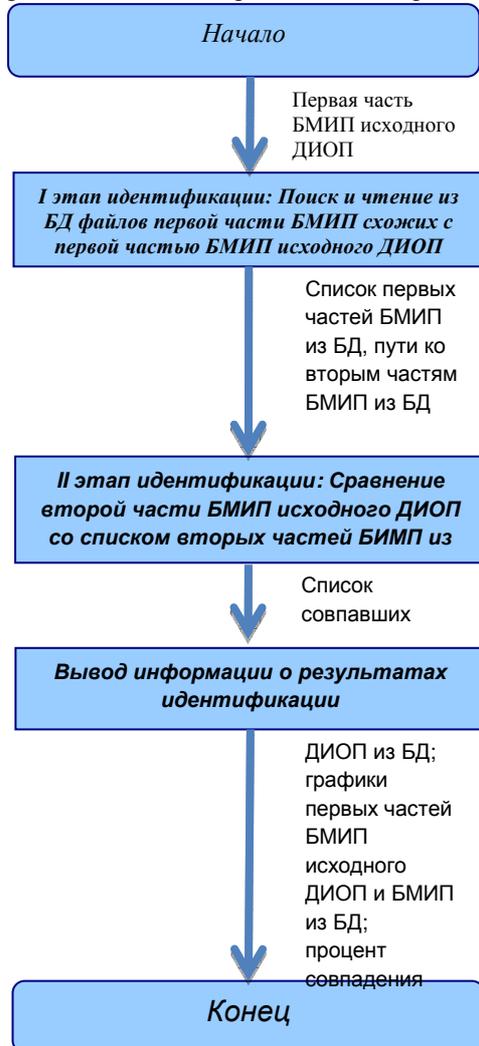


Рисунок 9 – Общая схема работы алгоритма идентификации личности.

VII. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Проведены серии экспериментальных исследований программной реализации разработанных алгоритмов предварительной обработки входных ДИОП [4, 5], алгоритма построения БМИП и двух этапного алгоритма идентификации.

Тестирование № 1. Проверка СИЛ на тестовой выборке DV1 из БД FVC2002:

В тестировании в БД находилось: 880 ДИОП.

На вход СИЛ подавались следующие данные:

- ДИОП из самой БД;
- распечатанные и отсканированные ДИОП из БД;
- ложные ДИОП, которые не присутствовали в БД.



Рисунок 10 - Пример входных данных Тестирования №1. При тестировании СИЛ ошибок **FAR** было 2. При тестировании СИЛ ошибок **FRR** было 1. Проведены подсчёты ошибок первого и второго рода **FAR и FRR**:

$$FAR = 2 / ((110 * (110 - 1)) / 2) = 0,000333611$$

$$FRR = 1 / (110 * (8 - 1)) = 0,001298701$$

Тестирование № 2. Проверка СИЛ на тестовой выборке DV2 из БД FVC2002:

В тестировании в БД находилось: 880 ДИОП. На вход СИЛ подавались данные, аналогичные по содержанию как и для Тестирования №1.



Рисунок 11 - Пример входных данных Тестирования №2. При тестировании СИЛ ошибок **FAR** было 1. При тестировании СИЛ ошибок **FRR** было 5. Проведены подсчёты ошибок первого и второго рода **FAR и FRR**:

$$FAR = 1 / ((110 * (110 - 1)) / 2) = 0,000166805$$

$$FRR = 5 / (110 * (8 - 1)) = 0,006493506$$

Ниже приведены примеры правильного (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**) и ошибочного (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**) распознавания ДИОП в СИЛ.

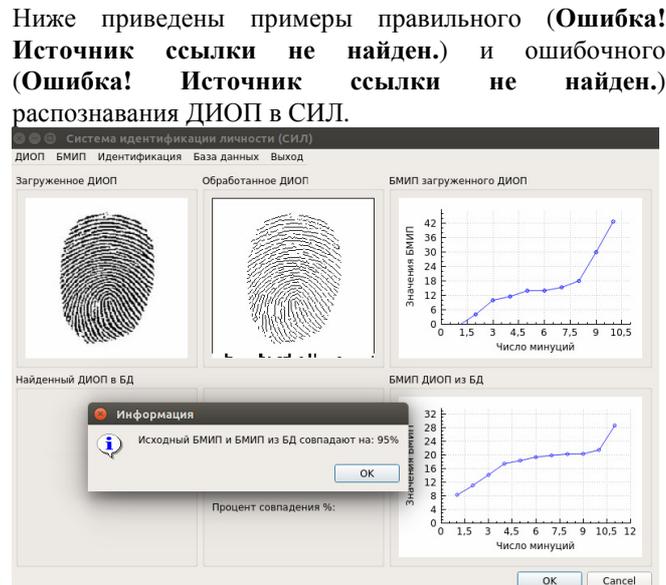


Рисунок 12 - Пример правильного распознавания изображений из FVC2002.

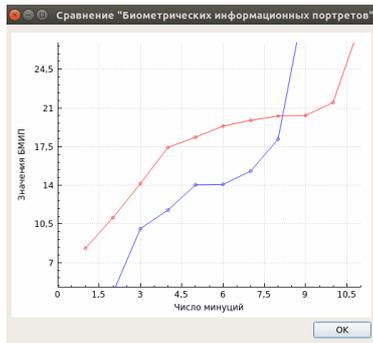


Рисунок 13 - Пример вывода БМИП при ошибочном распознавании изображений из FVC2002.

В процессе идентификации на основе экспериментальных данных показано, что показатели по сравнению с некоторыми системами остались на уровне, а некоторые показатели улучшены по сравнению с существующими системами. Результаты тестирования укладываются в существующие ошибки FRR и FAR, и во многих случаях превосходят аналогичные системы (рис. 14 и рис. 15).

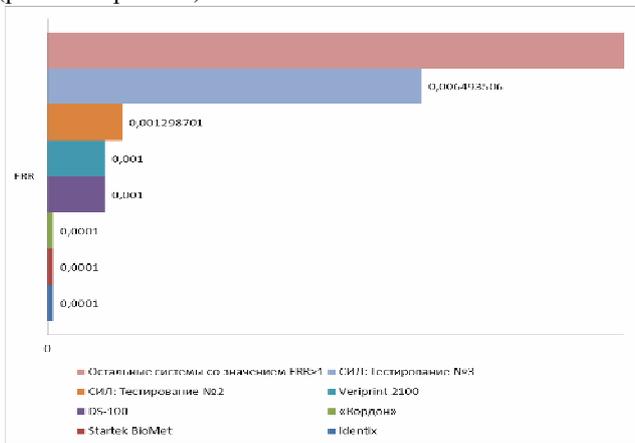


Рисунок 14 – Результаты сравнения ошибок FRR, полученные в результате тестирования с ошибками систем аналогов.

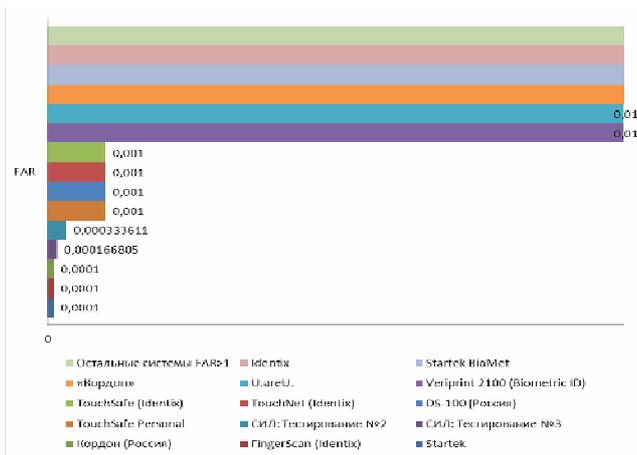


Рисунок 15 - Результаты сравнения ошибок FAR, полученные в результате тестирования с ошибками систем аналогов.

VIII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По разработанным методикам, моделям и алгоритмам предварительной обработки входных ДИОП [4, 5], построения БМИП и идентификации реализована СИЛ. СИЛ включает подсистему предварительной обработки

серии входных ДИОП, подсистему построения БМИП и подсистему идентификации.

Биометрический процесс идентификации констатирует уровень надёжности и эффективности, которые гарантирует СИЛ в выявлении истинности проверяемого. Процесс идентификации не гарантирует, что предъявленные входные ДИОП являются точной копией образцов в БД, а говорит о том, что вероятность того, что личность с входным ДИОП именно та личность, за которую себя выдаёт, составляет величину X в %. Всегда предполагается, что автоматический процесс должен обеспечить вероятность правильного распознавания равную или очень близкую к 100 %. Таким образом, присутствует вероятность того, что могут быть ошибки по распознаванию. Анализ показывает, что хотя ни одна СИЛ не обеспечивает 100% надёжности и что биометрический процесс не даёт точного совпадения двух ДИОП, всё же идентификация даёт чрезвычайно высокий уровень точности при условии подачи корректных данных.

По проведённым экспериментальным исследованиям разработанной СИЛ можно сделать вывод, что разработанная СИЛ способна сравнивать и отыскивать схожие ДИОП на более большой БД, а значит и есть возможность определить человека, которому принадлежит, обрабатываемый отпечаток. По результатам тестирования СИЛ можно сделать выводом о том, что ошибки FAR и FRR по сравнению с некоторыми существующими системами идентификации по отпечаткам пальцев остались на уровне, а некоторые показатели улучшены по сравнению с существующими системами. Уровень надёжности и эффективности, дозволенный для систем идентификации, может быть совершенно различным, однако уровень FRR не вызывает какого-либо беспокойства, в то время как FAR фактически должен быть доведён до нуля, что показывают результаты экспериментов. На больших данных показатели могут быть ещё улучшены.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Маркелов К.С., Нечаев В.В. Систематизация и классификация методов биометрической идентификации. // Современные информационные технологии в управлении и образовании: Сборник научных трудов. В 3-х ч. – М.: ФГУП НИИ «Восход», 2013. – Ч.1 – с. 100 – 109
- [2] Маркелов К.С., Нечаев В.В. Биометрические информационные технологии: актуальные и перспективные методы // Информационные и телекоммуникационные технологии. №18, 2013, с. 24-42
- [3] Маркелов К.С., Нечаев В.В. Биометрические методы идентификации и верификации человека в системах телеобучения // Информационные и телекоммуникационные технологии. №20, 2013, с. 50-61
- [4] Маркелов К.С. Модель повышения информативности цифровых изображений на базе метода суперразрешения. // Электронный научно-технический журнал Инженерный вестник. М.: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана», № 03, март 2013, 18 с.
- [5] Маркелов К.С., Нечаев В.В. Алгоритм повышения качества цифровых изображений дактилоскопической информации // Информационные технологии. №10, 2014, с. 44-50
- [6] Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления / Пугачев В.С. — М.: Гостехиздат, 1957. — с. 884.
- [7] Теория вероятностей и математическая статистика / Пугачев В.С. — М.: Наука, 1979. — с. 496.

- [8] Теория вероятностей / Вентцель Е.С. — М.: Наука, 1964. — с. 564.
- [9] Нечаев В.В., "Математическое моделирование интегральных характеристик сложных систем на основе модифицированного метода канонических разложений," Электронное Моделирование, Том 33 №2, 2011. — с. 51-58.
- [10] Канонические представления случайных функций и их применение в задачах компьютерной поддержки научных исследований / Синицын И. Н. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2009. — с. 768.

IDENTIFICATION AND VERIFICATION OF PERSONS – INTEGRATED BIOMETRIC INFORMATION TECHNOLOGY

Markelov K. S.

Abstract — In accordance with the methodology of integrated biometric information technology deals with the problem of identification on the basis of fingerprint data. A mathematical model describing the properties of fingerprints for submission in the form of biometric information portraits (BMIP), as well as model and algorithm identification process as a whole. By corresponding algorithms an experimental study of identity. The results showed that the developed system on a number of performance superior to existing similar systems.

Keywords — biometrics, fingerprint image, integrated biometric information technology, biometric information portrait, system identification.