

УДК 621.391.037.372

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ШТРИХ-КОДА ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ ЛИЦ¹

Г.А. Кухарев^a, Ю.Н. Матвеев^{b, c}, Н.Л. Щеголева^d

^a Западно-Поморский технологический университет в Щецине, Щецин, Польша, gkukharev@wi.zut.edu.pl

^b Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), Санкт-Петербург, Россия, matveev@speechpro.com

^c ООО «ЦРТ-инновации» НИУ ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

^d Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет (ЛЭТИ), Санкт-Петербург, Россия, NLSchegoleva@etu.ru

Предложен метод формирования линейного штрих-кода стандартного типа по изображениям лиц. Метод основан на использовании гистограммы яркости исходного изображения, ее усреднении на ограниченном числе интервалов яркости, последующем квантовании в диапазоне десятичных цифр от 0 до 9 и табличном преобразовании в окончательный штрих-код. Предложенное решение не требует больших вычислительных затрат, а также использования специализированных пакетов программ по обработке изображений, что создает условия для формирования штрих-кодов в рамках мобильных систем, а предложенный метод можно отнести к классу экспресс-методов. Тестирование выполнено на базах «Faces94» и «CUHK Face Sketch FERET Database». Как следует из результатов тестирования, предложенный метод предлагает новое решение для практики использования в реальных условиях – динамики изменения параметров изображений лиц. Показано, что результат остается стабильным при изменении локальных размеров лиц, наклона в плоскости XY , изменения ракурса и зеркального поворота вокруг вертикальной оси, а также при изменениях мимики лица и наличии на нем теней от локального освещения. Предложенный способ формирования стандартного штрих-кода строится непосредственно по исходному изображению лица и, таким образом, уникально представляет конкретную личность.

Ключевые слова: изображения лиц, штрих-код, экспресс-метод, мобильные системы.

EXPRESS METHOD OF BARCODE GENERATION FROM FACIAL IMAGES¹

G.A. Kukharev^a, Yu.N. Matveev^{b, c}, N.L. Shchegoleva^d

^a Westpomeranian University of Technology, Szczecin, Poland, gkukharev@wi.zut.edu.pl

^b Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (University ITMO), Saint Petersburg, Russia, matveev@speechpro.com

^c «STC –Innovation», Saint Petersburg, Russia

^d Saint Petersburg Electrotechnical University (LETI), Saint Petersburg, Russia, NLSchegoleva@etu.ru

In the paper a method of generating of standard type linear barcodes from facial images is proposed. The method is based on use of the histogram of facial image brightness, averaging the histogram on a limited number of intervals, quantization of results in a range of decimal numbers from 0 to 9 and table conversion into the final barcode.

The proposed solution is computationally low-cost and not requires the use of specialized software on image processing that allows generating of facial barcodes in mobile systems, and thus the proposed method can be interpreted as an express method.

Results of tests on the Face94 and CUHK Face Sketch FERET Databases showed that the proposed method is a new solution for use in the real-world practice and ensures the stability of generated barcodes in changes of scale, pose and mirroring of a facial image, and also changes of a facial expression and shadows on faces from local lighting. The proposed method is based on generating of a standard barcode directly from the facial image, and thus contains the subjective information about a person's face.

Keywords: facial images, barcode, express method, mobile systems.

Введение

Технологии кодирования с помощью штрих-кодов разнообразных товаров, платежных счетов и финансовых документов, рекламных объявлений и услуг широко и бесповоротно вошли в нашу повседневную жизнь. Чтение таких штрих-кодов осуществляется просто и мгновенно с помощью специальных считывающих устройств и смартфонов, а понимание их содержательной части вообще не составляет труда. Пожалуй, первое в современной истории применение стандартного штрих-кода для идентификации людей было предложено в патенте [1] в 1999 г. При этом предполагалось, что идентификация человека осуществляется в момент реализации им электронных платежей, т.е. в режиме реального времени, а уникальный штрих-код нанесен на руку человека и считывается специальным устройством. Однако дальнейшего развития системы идентификации людей по штрих-кодам не получили. Тем не менее, штрих-код, нанесенный на тело человека, сегодня уже рекламируется как модная татуировка [2], и примеры некоторых татуировок, выполненных в форме штрих-кодов, показаны на рис. 1.

При этом в штриховых кодах [2], размещенных на теле человека, отсутствует информация о каких-либо биометрических характеристиках самого человека. Можно с уверенностью сказать, что, когда

¹ Работа выполнена при государственной финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации (субсидия 074-U01).

This work was financially supported by the Government of the Russian Federation (Grant 074-U01).

штрих-код на теле человека будет представлять этого человека по какой-либо биометрике, он будет не только широко использован как «модная фишка», но и утилитарно применен в практике идентификации людей. Однако практически невозможно представить себе процесс идентификации человека по штрих-коду, спрятанному под одеждой человека или на части тела, трудно доступной и неудобной для считывания этого кода, что можно видеть на рис. 1.



Рис. 1. Примеры татуировок, выполненных в форме штрих-кодов [2]

Идеальным решением могло бы быть формирование штрих-кода только тогда, когда это нужно, и в реальном времени, например, непосредственно по лицу или голосу человека. В этом случае идентификацию людей можно производить «на расстоянии», незаметно для самого человека, не требуя от него каких-либо действий и не храня уникальный штрих-код на теле человека.

Если предположить, что такая задача решена в принципе, то полученное решение могло бы быть использовано для кодирования изображений лиц или голоса в форме штрих-кодов. Эти коды могли бы применяться в мобильных биометрических системах контроля доступа («Access Control» – АС), портативных системах человек–компьютер для идентификации пользователя, для распознавания людей в системах видеонаблюдений по лицам и в других системах – по голосу.

Из двух подходов, основанных на голосе и изображениях лиц, остановимся на последнем, исходя из новых решений, представленных в работах [3, 4]. Несмотря на перспективы и потенциал решений [3, 4], отметим проблемы, стоящие на пути преобразования изображений лиц в штрих-коды.

Одной из нерешенных сегодня проблем в практике представления и распознавания изображений лиц остается динамика изменения параметров изображений лиц (локальной яркости изображений, размеров и наклона области лиц на изображениях, а также мимики лиц) в реальных условиях. В основе этой проблемы лежит невозможность представления изображений лиц в форме инвариантных признаков, не зависящих от динамики параметров исходных изображений в самом общем случае. В свою очередь, неинвариантность признаков приводит к нестабильности формируемых штрих-кодов, какую бы форму эти коды ни принимали. Использование таких нестабильных кодов становится невозможным, например, в системах класса АС. И хотя в таких системах изменения параметров исходных изображений с лицами не так значительны, поскольку здесь применяется стабилизация параметров изображений (освещение лиц перед камерами, контроль поворота, мимики и т.д.), но даже и в этих случаях получение стабильных штрих-кодов остается под вопросом. Решение этой проблемы позволило бы упростить идентификацию лиц, повысить быстродействие соответствующих систем распознавания и их надежность, поскольку устройства считывания штрих-кодов и их декодирование давно и эффективно применяются в различных практических приложениях. Именно поэтому интерес к проблеме стабильного представления изображений лиц штрих-кодами не ослабевает, по сути, с момента появления первых компьютерных систем распознавания людей по лицам.

Целью предлагаемой работы является разработка подходов для представления лица человека в форме линейных штрих-кодов по типу EAN-8, EAN-13 (или UPS) [5].

Краткий обзор существующих подходов

Через 10 лет после опубликования патента [1] авторы работы [6] отметили, что вся информация о человеческом лице содержится в горизонтальных линиях, таких как линия бровей, линия глаз и линия губ. Более того, они показали, что эту информацию можно с успехом представить в виде набора черных и белых линий (т.е. в виде некоторого штрихового кода, который назвали «биологическим штрих-кодом»), и обратили внимание на некоторые инвариантные характеристики «биологического штрих-кода лица человека». Пример представления области лица в форме штрих-кода по [6] показан на рис. 2. Однако, как следует из работы [6] и дальнейших публикаций этих авторов, они не определили алгоритма построения подобных штрих-кодов, но отметили, что представление области лица только толстыми прямыми черно-белыми полосами никогда не будет точной моделью лица конкретного человека. Эта модель, оставаясь точным «биологическим штрих-кодом лица», является «очень грубым приближением» к конкретному лицу человека, что, например, видно на рис. 2 при сравнении его частей «а» и «в».

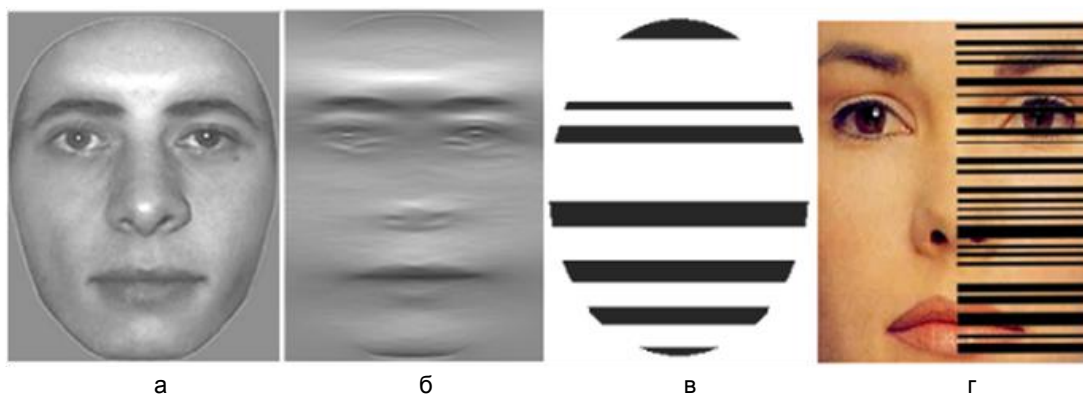


Рис. 2. Представления области лица в форме штрих-кода: исходное изображение лица (а); вариант выделения особенностей лица (б); «биологический штрих-код лица человека» (в); стандартный штрих-код как желаемый результат (г)

Неточность отмеченного приближения связана с морфологией лица человека: границы волосы/лоб, границы линий и особенностей бровей, границы линий глаз и границы линии носа и губ трудно определить, а еще труднее описать простыми толстыми прямыми линиями. Здесь требуется более тонкая и множественная структура линий. Возможно, что лицо человека и соответствующий ему штрих-код могли бы выглядеть так, как показано на рис. 2, г, что отмечается в работе [7].

Еще через 5 лет появилось наиболее серьезное практическое исследование по проблеме представления лиц в форме штрих-кодов [8]. Авторы этой работы предложили алгоритм формирования штрих-кода, основанный на поиске особых (ключевых) точек на области лица, описании их окрестностей с помощью дескрипторов и формировании двумерного цветного штрих-кода HCC2D. Как показано в [8], код HCC2D сочетает в себе достоинства двумерного кода HCCB (High Capacity Color Barcode) и двумерного кода QR (Quick Response), но отличается от них более высокой плотностью упаковки информации. Однако в рамках мобильных систем, построенных на базе планшетов и смартфонов, предложенный в [8] алгоритм вряд ли будет реализован и использован в ближайшее время. Это связано с тремя важными недостатками, присущими алгоритму построения кода HCC2D.

1. Предложенный в [8] алгоритм характеризуется слишком сложным процессом поиска особых (ключевых) точек на изображении лица и алгоритмом описания их окрестностей, основанным на использовании процедур SIFT (Scale Invariant Feature Transform) и SURF (Speeded Up Robust Features) [8].
2. Результат поиска особых (ключевых) точек по алгоритму SURF не инвариантен к масштабу, что требует декомпозиции исходного изображения в пирамиду разномасштабных областей и многократного применения метода SURF для каждой области пирамиды. Это еще больше усложняет алгоритм поиска ключевых точек.
3. Формируемый двумерный код HCC2D чувствителен к геометрическим искажениям. Он должен считываться строго параллельно по заданным осям, поскольку на точность его распознавания влияет угол, под которым код виден считывающим устройством.

Кроме того, представление изображения лица в форме двумерного кода является отступлением от концепции линейного штрих-кода [6]. Именно поэтому в настоящей работе предлагается один из наиболее простых подходов для представления лица человека в форме стандартных линейных штрих-кодов.

Этапы формирования штрих-кода

Алгоритм формирования штрих-кода включает четыре основных этапа:

1. предобработка исходного изображения;
2. экстракция признаков из изображения;
3. кодирование признаков;
4. генерация штрих-кода.

Из всех возможных систем, которые могут использовать штрих-коды для представления лиц, остановимся только на системах класса АС. Этот выбор обоснован тем, что в системах АС человек, стоящий перед камерой, старается выполнить условия, обеспечивающие стабильность съемки – захват портрета анфас при нейтральном выражении лица. Эти условия являются необходимыми для формирования стабильного штрих-кода. Однако в реальных сценариях достаточно сложно выдержать эти условия, поэтому необходимо допустить некоторые изменения изображений лиц, поступающих на вход системы АС. Примеры допустимых изменений изображений лиц показаны на рис. 3, где все изображения лиц взяты из базы «Faces94» [9].



Рис. 3. Допустимые изменения изображений лиц

Часто в системах АС, основанных на идеях бимодальных систем, входными данными являются не только лица, но и голос человека [10]. В этом случае мимика человека изменяется при произношении им некоторого контрольного слова, заданной фразы или в момент разговора, что показано на рис. 4. Эти изменения изображений лиц, хоть и не так значительны, но заметны «на глаз». Связаны они с изменением размеров области лица, наклона в плоскости XU , изменением собственно мимики лица, а также изменением яркости некоторых областей лица (из-за влияния локальных теней или очков). Исходя из отмеченного выше, на этапе 1 (предобработка исходного изображения) решаются две основные задачи. Первая – анализ исходного изображения с оценкой его параметров: размера, шкалы цветности, а также угла отклонения линии глаз от горизонтали. Вторая – поворот изображения в плоскости XU , если это необходимо, исходя из результатов анализа, корректировка размеров изображения и выравнивание его яркости.

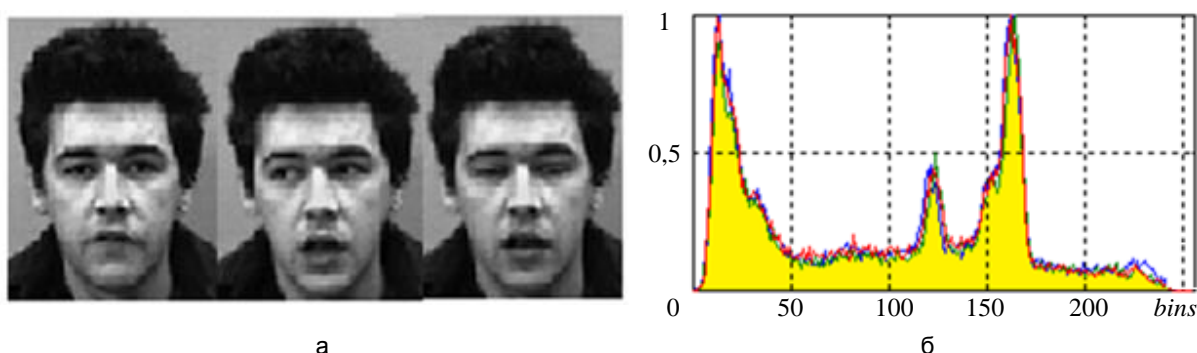


Рис. 4. Изменение мимики говорящего человека: исходные изображения лиц (а); нормированные гистограммы яркости исходных изображений (для 256 интервалов яркости) (б)

Обеспечение стабильности кодирования изображений лиц в условиях, показанных на рис. 4, зависит от выбора признаков, представляющих лица. Они должны быть такими, чтобы влияние мимики и сопутствующих ей изменений на лице не было заметно. Эта задача решается на этапе 2 (экстракция признаков). И здесь есть, по крайней мере, один очень простой и многообещающий подход на основе использования гистограмм яркости исходных изображений с лицами. Как показано в [11, 12], эти гистограммы обеспечивают высокую результативность поиска изображений с лицами в больших базах данных и часто являются единственным инструментом в системах поиска изображений по содержанию. На рис. 4, б, показаны три совмещенные гистограммы яркости, вычисленные для трех изображений лиц на рис. 4, а, отличающихся мимикой. Для формирования гистограмм использовались 256 яркостных интервалов ($bins=256$). Видно, что форма этих гистограмм практически совпадает, что и является предпосылкой для их использования (как исходных признаков) для формирования соответствующего штрих-кода.

На этапе 3 решается наиболее важная задача, а именно кодирование признаков с представлением их требуемым числом десятичных цифр.

Задача этапа 4 в этом случае – табличное перекодирование результата, сформированного на этапе 3. Формирование стандартного штрих-кода включает вычисление контрольной суммы для десятичного кода, сформированного на этапе 3, и преобразование этого кода в бинарную матрицу, представляющую исходное изображение в графической форме штрих-кода стандартного вида.

Предлагаемый подход позволяет формировать линейные штриховые коды по изображениям лиц в формате EAN-8 и может быть применен для формирования линейных кодов в формате EAN-13 и UPS, поскольку эти форматы отличаются от формата EAN-8 только наличием цифровой преамбулы, характеризующей территориальную, социальную или ассортиментную принадлежность кода к изделию или товару. При этом способ кодирования в формате EAN-13 и UPS аналогичен кодированию штрих-кода в формате EAN-8, за исключением того, что здесь используется дополнительная таблица кодировки десятичных знаков в соответствующие штрихи.

Формирование штрих-кода на основе гистограмм

В предлагаемом методе исходные гистограммные признаки усредняются в рамках выбранных интервалов яркости $bins \ll 256$, а полученные значения квантуются в диапазоне целых чисел от 0 до 10. Это еще больше снижает влияние мимики говорящего человека на форму и значения гистограммы и создает условия стабильного представления исходного изображения в форме «биометрического» штрих-кода.

Пусть исходное изображение, представленное в полутоновой шкале (GREY), имеет размер $M \times N$, и пусть нашей задачей является представление этого изображения в форме, например, штрих-кода EAN-8. В этом случае выберем начальное значение параметра $bins \geq 7$, поскольку для формирования штрих-кода EAN-8 нам потребуется всего 7 значащих десятичных цифр. Пусть, например, $bins = 8$, тогда гистограмма исходного изображения H , рассчитанная изначально на 256 интервалах яркости (от 0 до 255), будет усреднена точно по 32 интервалам.

Вычисление одномерной гистограммы яркости исходного изображения и сведение ее значений в вектор гистограммных признаков не вызывают трудностей: каждый j -й элемент гистограммы $H(j)$ определяется количеством пикселей исходного изображения, имеющих значение яркости, равное $j = 0, 1, \dots, 255$. Для признаков, определенных на интервале $bins = BIN$, гистограмма $H(j)$ преобразуется в $H(b)$ по следующему правилу:

$$H(b) = \sum_{j=(b-1) \cdot 256 / BIN}^{b \cdot (256 / BIN) - 1} H(j), \quad b = 1, 2, \dots, BIN.$$

Затем значения $H(b)$ нормируются, что приводит их к одинаковому масштабу:

$$H_{(b)}^{(norm)} = H(b) / (MN), \quad b = 1, 2, \dots, BIN, \quad (1)$$

где M, N – число строк и число столбцов в исходном изображении. Далее выполняется этап предварительного кодирования (через квантование) значений гистограммы, полученных по (1):

$$H_{(b)}^{(norm)} = f(scale \times H_{(b)}^{(norm)} / \max(H_{(b)}^{(norm)})), \quad b = 1, 2, \dots, BIN, \quad (2)$$

где $f(\cdot)$ – округление до целого с отбрасыванием дробной части; $scale$ – масштабный множитель, $9 < scale < 10$.

В (2) значения гистограммы квантуются в диапазоне десятичных цифр от 0 до 9. Тем самым достигается ее представление в форме десятичного кода, состоящего из BIN цифр. Если $BIN=8$, то в дальнейшем формировании штрих-кода EAN-8 участвуют только семь цифр, например, 1–7 или 2–8.

Таким образом, исходное изображение, представленное гистограммными признаками на выходе этапа 3, будет представлено в форме семизначного десятичного числа. Полученный по (2) результат этапа 3 используется на этапе 4, где формируется окончательный штрих-код EAN-8, состоящий из 8 цифр, причем 8-я цифра определяет контрольную сумму для первых 7 цифр, полученных на этапе 3. Здесь используется стандартный алгоритм, описанный в [5].

Результаты экспериментов

Проверка методов формирования штрих-кодов для изображений лиц проводилась на тестовой базе фотопортретов людей «Faces94» [11]. Использовались первые 100 классов изображений по 20 изображений в каждом классе этой базы, для которых определялся штрих-код EAN-8. Исходные изображения размером 200×180 пикселей были переведены в формат GREY. Никаких других операций анализа и поворота изображений для выравнивания уровня линии глаз не выполнялось, хотя, как отмечалось выше, параметры этих изображений не так стабильны, как требуют, например, системы класса AC. Результат для выполненного теста приведен на рис. 5. Из каждого класса выбирался портрет под номером 1, и для него формировался штрих-код для первых 7 значений гистограммы, вычисленной для $BIN=8$. Затем для следующих 19 портретов каждого класса штрих-коды определялись по тем же значениям параметров управления процессом кодирования (рис. 5).

В результате тестирования по всем 100 классам было получено 670 связанных пар изображений, имеющих одинаковые коды. Эти связанные пары изображений принадлежали только своим классам, что составило от 6 до 7 изображений на класс. Важно при этом отметить, что «речевая мимика» не была препятствием для стабильного формирования штрих-кода. Отдельно на рис. 5 выделена матрица проверки дублирования в сформированных кодах. Эта матрица имеет диагональную структуру при ее порядке, равном 100, т.е. все сформированные коды принадлежат изображениям только своих классов (не получено ни одного дублирования).

В таблице приведены результаты по 10 аналогичным тестам с кросс-валидацией для исходных данных: в каждом тесте изменялся состав 100 классов изображений базы «Faces94». Для теста 1 были выбраны данные классов 1–100; для теста 2 – данные классов 2–101 и т.д. Как видно из таблицы, формирование штрих-кодов по методу гистограмм яркости во всех 10 тестах прошло без ошибок совпадений. При этом найденное число пар одинаковых штрих-кодов изменяется незначительно в каждом тесте, что связано с изменениями характеристик изображений в каждом тесте, но также свидетельствует и о ста-

бильности метода. Отметим также, что результат не изменялся при зеркальном повороте тестовых изображений вокруг вертикальной оси и повороте тестового изображения на 90° (влево или вправо). Это «свойство инвариантности» гистограмм яркости обуславливает применимость предложенного подхода в реальной жизни, где используются разные варианты съемок людей на смартфоны и планшеты (назовем это условиями «мобильной съемки»).

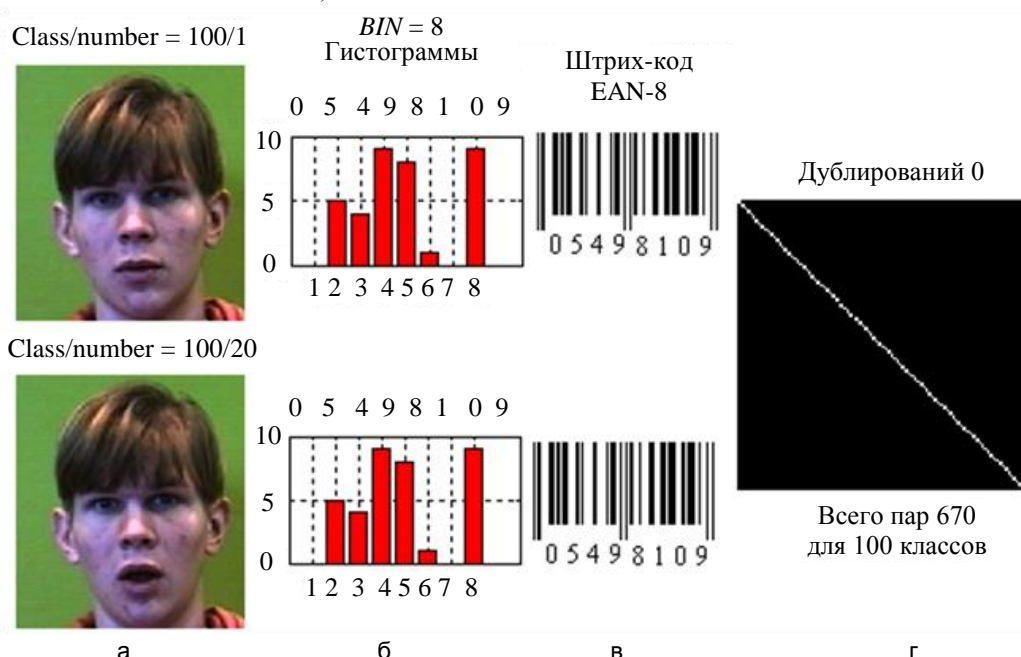


Рис. 5. Результаты формирования штрих-кода по методу гистограмм яркости: исходные изображения (1-е в первом классе и 20-е в 100-м классе) (а); соответствующие им квантованные гистограммы (б); сформированные штрих-коды в формате EAN-8 (в); матрица контроля дублирования (г)

Тест	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Классы	1–100	2–101	3–101	4–103	5–104	6–105	7–106	8–107	9–108	10–109
Число пар	670	681	680	679	685	687	679	677	678	676
Совпадений	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица. Результаты формирования лицевых штрих-кодов на базе «Faces94»



Рис. 6. Результаты формирования штрих-кода для базы: оригинальный скетч и его модификации (а); гистограмма яркости (одинаковая для всех скетчей), рассчитанная для bins=16 (б); штрих-коды для первых семи и последних семи значений гистограммы соответственно (в, г)

На рис. 6 приведен результат формирования штрих-кодов для скетчей, полученных из изображений базы FERET. На рис. 6, а, показан оригинальный скетч из «CUNK Face Sketch FERET Database» [13], а также две его модификации – непропорциональное изменение размера и эффект изменения области лица, подобный «рыбьему глазу». Этот эффект также часто появляется в условиях «мобильной съемки». На рис. 6, б, приведена гистограмма в форме бар-кода, рассчитанная для $BIN=16$ и представленная в виде **0012211111234598** из 16 десятичных цифр. И здесь отметим важный факт: эта гистограмма является одной и той же для всех трех вариантов скетчей. На рис. 6, в, г, показаны два варианта штрих-кодов EAN-8. Первый из них получен для первых 7 цифр закодированной гистограммы, а второй – из последних 7 цифр закодированной гистограммы. Эти цифры выделены жирным шрифтом под рис. 6, б, в левом нижнем углу.

Подводя итог этому эксперименту, отметим, что изменение параметров исходных изображений (размера изображения и области лица с эффектом «рыбий глаз») не повлияло на стабильность формирования штрих-кода. Все три изображения здесь имеют одинаковый штрих-код.

Заключение

В работе предложен метод формирования линейного штрих-кода стандартного типа по изображениям лиц. Метод основан на использовании гистограммы яркости исходного изображения, ее усреднении на ограниченном числе интервалов яркости, последующем квантовании в диапазоне десятичных цифр от 0 до 9 и табличном преобразовании в окончательный штрих-код, поэтому не требует больших вычислительных затрат, и его можно отнести к классу экспресс-методов. Эти характеристики создают условия для формирования линейных штрих-кодов «методом гистограмм» в рамках систем с невысокими ресурсами памяти и вычислительной мощности. К ним относятся так называемые мобильные системы – смартфоны и планшеты, тем более что они уже имеют встроенную функцию детекции области лица на изображениях и встроенные программы считывания штрих-кодов. Такие программы могут быть легко адаптированы в задачу синтеза штрих-кода по предложенному методу.

Как следует из результатов тестирования на базах «Faces94» и «Face Sketch FERET Database», предложенный метод предлагает новое решение для практики использования в реальных условиях – при наличии динамики изменения параметров изображений лиц. Показано, что результат остается стабильным при изменении локальных размеров лиц, наклона в плоскости XY , изменения ракурса и зеркального поворота вокруг вертикальной оси, а также при изменениях мимики лица и наличии на нем теней от локального освещения.

Кроме того, предложенный способ формирования стандартного штрих-кода строится непосредственно по исходному изображению лица и, таким образом, уникально представляет конкретную личность.

Следует также отметить, что в условиях реальной съемки, т.е. при нестабильном освещении лиц и глобальных тенях на области лица, возможны некоторые проблемы. Однако в системах контроля доступа, обычно использующих подсветку лиц, предложенный в работе подход может быть широко использован, так как обеспечивает высокую стабильность формирования биометрического штрих-кода.

Литература

1. Heeter T.W. Method for verifying human identity during electronic sale transactions. US Patent 5878155A. 1999.
2. Штрих-код / Татуировки [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.barcodeart.com/store/wearable/tattoos/>, свободный. Яз. англ. (дата обращения 24.02.2013).
3. Forczmanski P., Kukharev G., Shchegoleva N. **An algorithm of face recognition under difficult lighting conditions // Electrical Review**. 2012. N 10b. P. 201–204.
4. Кухарев Г.А., Щеголева Н.Л. **Способ распознавания изображений лиц и система для его осуществления. Патент RU 2490710, 2012.**
5. Алгоритм формирования линейных штрих-кодов EAN-8 и EAN-13 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cherry-notes.spb.ru/barcode_ean8.htm, свободный. Яз. рус. (дата обращения 24.02.2013).
6. Dakin S.C., Watt R.J. Biological «bar codes» in human faces // *Journal of Vision*. 2009. V. 9. N 4. P. 1–10.
7. Facial Barcodes Help Us Identify People [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.barcodesinc.com/news/?p=92>, свободный. Яз. англ. (дата обращения 24.02.2014).
8. Querinini M., Italiano G.F. Facial recognition with 2D color barcodes // *International Journal of Computer Science and Application*. 2013. V. 10. N 1. P. 78–97.
9. Collection of Facial Images: Faces94 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cswwww.essex.ac.uk/mv/allfaces/faces94.html>, свободный. Яз. англ. (дата обращения 24.02.2014).
10. Матвеев Ю.Н. Технологии биометрической идентификации личности по голосу и другим модальностям // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. Специальный выпуск. Биометрические технологии*. 2012. № 3. С. 46–61.

11. Forczmanski P., Kukharev G. **Comparative analysis of simple facial features extractors** // **Journal REAL-TIME IMAGE PROCESSING**, 2007. N 1. P. 239–255.
12. Методы обработки и распознавания изображений лиц в задачах биометрии / Под ред. М.В. Хитрова. СПб: Политехника, 2013. 388 с.
13. CUHK Face Sketch FERET Database [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mmlab.ie.cuhk.edu.hk/cufsf>, свободный. Яз. англ. (дата обращения 24.02.2014).

- | | |
|--------------------------------------|---|
| Кухарев Георгий Александрович | – доктор технических наук, профессор, Западно-Поморский технологический университет в Щецине, Щецин, Польша, gkukharev@wi.zut.edu.pl |
| Матвеев Юрий Николаевич | – доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), главный научный сотрудник, профессор, ООО "ЦРТ-инновации" НИУ ИТМО, Санкт-Петербург, Россия; matveev@speechpro.com |
| Щеголева Надежда Львовна | – кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет (ЛЭТИ), Санкт-Петербург, Россия, NLSchegoleva@etu.ru |
| Georgy A. Kukharev | – D.Sc., Professor, Professor, Westpomeranian University of Technology, Szczecin, Poland, gkukharev@wi.zut.edu.pl |
| Yuri N. Matveev | – D.Sc., Professor, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (University ITMO),; Chief scientific researcher, "STC-Innovation", LLC, Saint Petersburg, Russia; matveev@speechpro.com |
| Nadezhda L. Shchegoleva | – PhD, Associate professor, Saint Petersburg Electrotechnical University (LETI), Saint Petersburg, Russia, NLSchegoleva@etu.ru |

Принята к печати 24.12.13

Accepted 24.12.13