ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 72502.4— 2026 (ИСО/МЭК 29794-4:2024)

Информационные технологии

БИОМЕТРИЯ

Качество биометрического образца

Часть 4

Данные изображения отпечатка пальца

(ISO/IEC 29794-4:2024, Information technology — Biometric sample quality — Part 4: Finger image data, MOD)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2026

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российский институт стандартизации» (ФГБУ «Институт стандартизации») и Некоммерческим партнерством «Русское общество содействия развитию биометрических технологий, систем и коммуникаций» (Некоммерческое партнерство «Русское биометрическое общество») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 098 «Биометрия и биомониторинг»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 января 2026 г. № 45-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО/МЭК 29794-4:2024 «Информационные технологии. Качество биометрического образца. Часть 4. Данные изображения отпечатка пальца» (ISO/IEC 29794-4:2024 «Information technology — Biometric sample quality — Part 4: Finger image data», MOD) путем изменения отдельных фраз (слов, ссылок), которые выделены в тексте курсивом, а также путем изменения его структуры для приведения в соответствие с правилами, установленными в ГОСТ 1.5 (подраздела 4.2 и 4.3).

Внесение указанных технических отклонений направлено на учет особенностей национальной стандартизации.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5).

Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте, приведены в приложении ДА.

Сравнение структуры настоящего стандарта со структурой указанного международного стандарта приведено в дополнительном приложении ДБ

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© ISO, 2024
© IEC, 2024
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2026

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 1
4 Сокращения 2
5 Меры качества изображения отпечатка пальца 2
5.1 Введение 2
5.2 Обязательные компоненты качества 6
5.3 Дополнительные компоненты качества 21
5.4 Комплексный показатель качества 24
Приложение А (справочное) Учет данных участка изображения 25
Приложение В (справочное) Факторы, влияющие на качество изображения отпечатка пальца 26
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте 27
Приложение ДБ (справочное) Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем международного стандарта 28
Библиография 29

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Информационные технологии

БИОМЕТРИЯ

Качество биометрического образца

Часть 4

Данные изображения отпечатка пальца

Information technology. Biometrics. Biometric sample quality. Part 4. Finger image data

Дата введения — 2026—06—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает:

- термины и определения для количественной оценки качества изображений отпечатков пальцев;
- методы, используемые для количественной оценки качества изображений отпечатков пальцев;
- стандартизованное кодирование качества изображения отпечатка пальца.

Требования настоящего стандарта распространяются на изображения отпечатка пальца с пространственной частотой дискретизации 196,85 пикс/см и битовой глубиной 8 бит для значений интенсивности пикселей в оттенках серого, сканированных с карт с отпечатками пальцев или полученных с помощью оптических сканеров при прямом контакте с гребнями отпечатка пальца.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ ISO/IEC 2382-37 Информационные технологии. Словарь. Часть 37. Биометрия

ГОСТ Р 72502.1 (ИСО/МЭК 29794-1:2024) Информационные технологии. Биометрия. Качество биометрического образца. Часть 1. Структура

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую ссылку этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ ISO/IEC 2382-37 и ГОСТ Р 72502.1, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **область переднего плана** (foreground region): Область в изображении отпечатка пальца, в которую входят узоры применимого (годного) изображения отпечатка пальца.

Примечание — Наиболее очевидной структурной характеристикой применимого (годного) изображения отпечатка пальца является узор чередующихся гребней и впадин.

Издание официальное

3.2 **локальная область** (local region): Блок, состоящий из $m \times n$ пикселей, переднего плана изображения отпечатка пальца, где значения m и n меньше значений ширины и высоты изображения отпечатка пальца.

3.3 **алгоритм оценки качества изображения отпечатка пальца** (finger image quality assessment algorithm): Алгоритм, в результате применения которого предоставляется отчет, содержащий оценку качества рассматриваемого образца изображения отпечатка пальца.

3.4 **кадрирование** (trim): Удаление пикселей с верхней, левой, нижней и правой сторон изображения пальца, которые не входят в область переднего плана.

Примечание — Шаги кадрирования изображения для формирования области переднего плана определены в *6.1.5.2*.

4 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ДПФ — дискретное преобразование Фурье;

НДНПК — набор данных для нормализации показателя качества (quality score normalization dataset, QSND);

ОП — определяющий порог;

ПВО — полное внутреннее отражение;

COM — центр масс (centre of mass);

FDA — анализ частотных характеристик (frequency domain analysis);

FJFX — экстрактор признаков отпечатков пальцев FingerJet, версия с открытым исходным кодом (FingerJet Fingerprint Feature Extractor, Open Source Edition);

LCL — локальная четкость (local clarity);

MMB — среднее арифметическое всех локальных средних арифметических интенсивности пикселей входного изображения;

MU — метрика равномерности (uniformity metric);

OCL — достоверный уровень ориентации (orientation certainty level);

OFL — ориентация потока (orientation flow);

RVU — равномерность гребней и впадин (ridge valley uniformity).

5 Меры качества изображения отпечатка пальца

5.1 Введение

5.1.1 Общие положения

В настоящем разделе установлены меры для прогнозирования полезности изображения отпечатка пальца. Меры качества используют для обеспечения пригодности полученного изображения для распознавания.

При полном анализе качества изображения отпечатка пальца происходит проверка как локальных, так и глобальных структур изображения отпечатка пальца. Локальная структура отпечатка пальца представляет собой основной текстуроподобный узор гребней и впадин в рамках локальной области, в то время как применимая глобальная структура представляет собой непрерывный поток, ряд плавных линий гребней и впадин всего отпечатка пальца. Качество изображения отпечатка пальца определяется на основании как локальных, так и глобальных структур. В данном разделе представлены наиболее значимые признаки и характеристики изображений отпечатков пальцев как в локальных, так и в глобальных структурах, которые следует использовать в качестве компонентов качества для количественной оценки качества изображений отпечатков пальцев.

Для применения алгоритмов, описанных в *5.2* и *5.3*, изображение отпечатка пальца должно иметь пространственную частоту дискретизации 196,85 пикселей на сантиметр, битовую глубину 8 бит для значений интенсивности пикселей в оттенках серого, при этом гребни представлены более низкими значениями интенсивности пикселей, а впадины — более высокими. Алгоритмы были разработаны с использованием изображений отпечатков пальцев, собранных при контакте с электронным устройством захвата, и чернильных отпечатков пальцев, оцифрованных с помощью электронного сканера. Устройства формирования изображений и сканеры считаются свободными от геометрических искажений и демонстрируют линейность и однородность в оттенках серого.

В соответствии с требованиями ГОСТ Р 72502.1, компоненты качества должны быть сопоставлены с целым числом в диапазоне от 0 до 100 включительно.

***5.1.2* Методы сопоставления с заданным диапазоном значений**

5.1.2.1 Сигмоидальная функция

Сопоставление значений с диапазоном от 0 до 1 включительно выполняют для нескольких компонентов качества с помощью сигмоидальной функции по формуле

$$\text{sigmoid}(x,\ x_0,\ w) = \left(1 + \exp\left(\frac{x_0 - x}{w}\right)\right)^{-1}, \tag{1}$$

где x — собственная мера качества;

x_0 — точка перегиба, в которой функция принимает значение 0,5;

w — параметр масштабирования, определяющий ширину области, в которой функция переходит от ε к $1 - \varepsilon$;

ε — бесконечно малая положительная величина.

Значения, вычисленные с помощью сигмоидальной функции, далее сопоставляют с целевым диапазоном значений, с использованием методов, описанных далее.

5.1.2.2 Известные диапазоны

В случаях, когда для конкретной меры качества известен целевой диапазон значений (например, от 1 до 100 включительно), используют функцию известного диапазона по формуле

$$\left\lfloor \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x) + \varepsilon} 101 \right\rfloor, \tag{2}$$

где x — собственная мера качества;

$\lfloor x \rfloor$ — функция, результатом которой является наибольшее целое число, меньшее либо равное x;

ε — бесконечно малая положительная величина.

***5.1.3* Локальная составляющая меры качества**

Изображение отпечатка пальца делится на локальные области так, чтобы каждая область включала в себя достаточное количество данных о гребнях и впадинах, по крайней мере два отчетливых гребня, в то же время без чрезмерного ограничения гребней с высокой степенью изогнутости. Для изображений, пространственная частота дискретизации которых составляет 196,85 пикселей на сантиметр, расстояние между гребнями должно варьироваться между 8 и 12 пикселями (см. [*1*]). Для того чтобы в локальную область входило два отчетливых гребня, ее размер должен составлять больше 24 пикселей по ширине и по высоте. Таким образом, чтобы локальная область могла вместить два четких гребня, ее рекомендуемый размер должен быть равен 32 × 32 пикселя. Вместо декартовой системы координат (к гребню) может быть применена криволинейная система координат (вдоль гребня).

***5.1.4* Глобальная составляющая меры качества**

Чтобы оценить пригодность биометрического образца отпечатка пальца для распознавания, после кадрирования необходимо рассчитать глобальную меру качества по всему изображению отпечатка пальца.

***5.1.5* Предварительная обработка изображения**

5.1.5.1 Общие положения

Далее следует процесс сегментации, при котором каждая локальная область помечается как относящаяся к фону или к переднему плану. Существует несколько подходов к сегментации, как, например, использование средней величины градиента интенсивности пикселей в каждой локальной области (см. [*1*]).

Использование методов сегментации не относится к требованиям настоящего стандарта, но следует принять во внимание, что выполнение сегментации влияет на несколько компонентов качества. Постоянные или почти постоянные области входного изображения должны быть удалены (см. *5.1.5.2*) до вычисления мер качества (см. *5.2* и *5.3*).

Информация об учете данных участка изображения приведена в приложении *А*.

5.1.5.2 Удаление почти постоянных строк и столбцов на изображении

До вычисления компонентов качества из изображения отпечатка пальца должны быть удалены почти постоянные строки и столбцы на полях изображения. Для 8-битного серого изображения

интенсивность пикселей принимает значения [0; 255]. В качестве первого приближения области интереса удаляются столбцы и строки изображения, которые расположены вблизи постоянного белого фона.

Для получения изображения без почти постоянных областей вводится фиксированный порог интенсивности пикселей $T_\mu = 250$. Алгоритм удаления почти постоянных строк и столбцов следующий:

a) для каждой строки R_i матрицы $\hat{I}$, начиная сверху:

1) вычисление среднего арифметического строки μ_{row};

2) при первом выполнении условия $\mu_{row} \le T_\mu$ установление top = R_i;

3) при последнем выполнении условия $\mu_{row} \le T_\mu$ установление bottom = R_i;

b) для каждого столбца C_i матрицы $\hat{I}$, начиная слева:

1) вычисление среднего арифметического столбца μ_{col};

2) при первом выполнении условия $\mu_{col} \le T_\mu$ установление left = C_i;

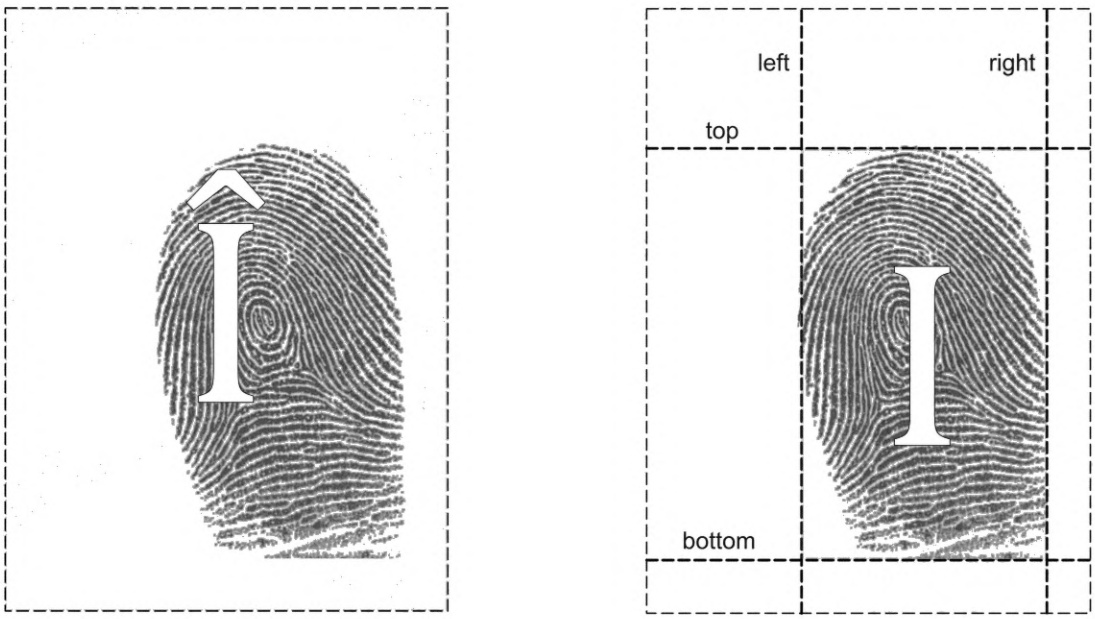
3) при последнем выполнении условия $\mu_{col} \le T_\mu$ установление right = C_i;

c) извлечение кадрированной области интереса I в виде пикселей $\hat{I}$, заключенных между верхней (a2) и нижней (a3) строкой включительно, и левым (b2) и правым (b3) столбцом включительно,

где $\hat{I}$ — матрица уровней серого, соответствующая пикселям изображения;

I — матрица уровней серого, соответствующая пикселям изображения после кадрирования.

Визуализация работы вышеописанного алгоритма представлена на рисунке 1.



a) Изображение до кадрирования

b) Результат работы вышеописанного алгоритма

Примечание — Зеленая область на рисунках a) и b) является визуализацией $\hat{I}$ и I соответственно, штриховой линией обозначены границы $\hat{I}$ и I.

Рисунок 1 — Пример удаления почти постоянных белых строк и столбцов на полях изображения

5.1.5.3 Сегментация переднего плана на основе локального стандартного отклонения

Для тех компонентов качества, которым для обозначения областей, содержащих отпечаток пальца, требуется маска переднего плана, применяется следующий алгоритм на основе локального стандартного отклонения:

a) нормализация I до нулевого среднего и единичного стандартного отклонения, получение I';

b) для каждой локальной области V в I':

1) вычисление стандартного отклонения локальной области V, σ_V;

2) локальная область V помечается в I_{mask} как передний план, если $\sigma_V > 0{,}1$.

5.1.5.4 Вычисление доминирующей ориентации потока гребней локальной области на основе градиентов интенсивности пикселей

Доминирующая ориентация потока гребней определяется путем вычисления градиента интенсивности пикселей и последующего определения ориентации главной оси.

Численный градиент локальной области определяется с использованием конечной центрированной разности для всех внутренних пикселей по направлениям x и y по формулам:

$$f_x = \frac{I(x+1,y) - I(x-1,y)}{2}, \tag{3}$$

$$f_y = \frac{I(x,y+1) - I(x,y-1)}{2}. \tag{4}$$

Доминирующая ориентация потока гребней angle(V) определяется аналитически с использованием синуса и косинуса двойного угла, определенных из средних арифметических ковариаций градиента интенсивности пикселей f_x и f_y по формулам:

$$a = \overline{f_x^2}, \tag{5}$$

$$b = \overline{f_y^2}, \tag{6}$$

$$c = \overline{f_x f_y}, \tag{7}$$

$$C = \begin{bmatrix} a & c \\ c & b \end{bmatrix}, \tag{8}$$

$$d = \sqrt{c^2 + (a-b)^2}, \tag{9}$$

$$\sin\theta = \frac{c}{d}, \tag{10}$$

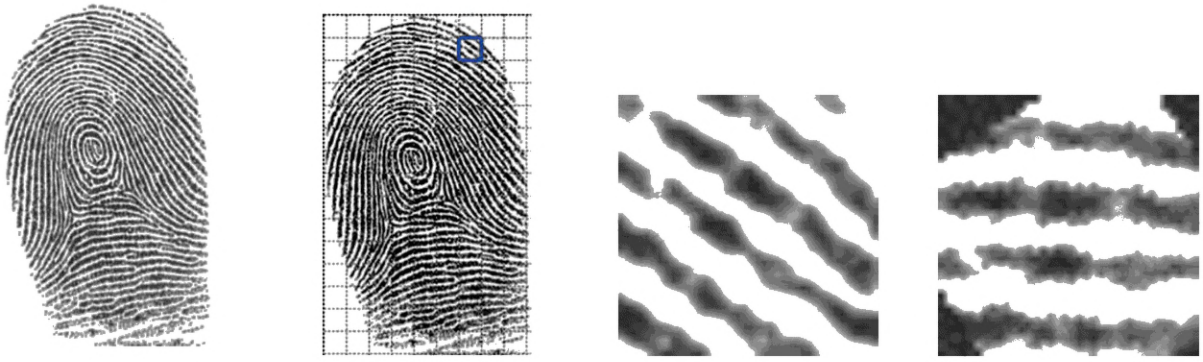
$$\cos\theta = \frac{a-b}{d}, \tag{11}$$

$$\text{angle}(V) = \frac{1}{2}\arctan\left(\frac{\sin\theta}{\cos\theta}\right). \tag{12}$$

Примечание — Верхняя черта в формулах (5)—(7) означает среднее значение.

5.1.6 **Примеры изображений**

В алгоритмах, работающих в режиме блочной обработки, кадрированное входное изображение делится на локальные области с использованием сетки (см. рисунок 2). В качестве примера локальной обработки на рисунке 2 b) синей линией обозначена локальная область $V(6,1)$. Увеличение этой локальной области показано на рисунке 2 c), а на рисунке 2 d) она повернута в соответствии с доминирующей ориентацией потока гребней, рассчитанной по формуле (12).



a) Входное изображение отпечатка пальца

b) Разделение на локальные области

c) Увеличенный вид локальной области V(6,1)

d) Локальная область V(6,1), повернутая в соответствии с доминирующей ориентацией потока гребней

Рисунок 2 — Пример расчета доминирующей ориентации гребней для локальной области

5.2 Обязательные компоненты качества

5.2.1 Общие положения

В настоящем подразделе определены алгоритмы вычисления компонентов качества изображения отпечатка пальца, которые вносят вклад в вектор признаков качества и в вычисление комплексного показателя качества.

5.2.2 Достоверный уровень ориентации

5.2.2.1 Общие положения

OCL (см. [*2*]) локальной области является мерой согласованности ориентаций гребней и впадин, содержащихся в данной локальной области. Алгоритм OCL определяет локальное качество и работает в режиме блочной обработки.

Изображение отпечатка пальца в пределах локальной области размером 32×32 пикселя обычно состоит из темных линий — гребней, разделенных друг от друга белыми линиями — впадинами, расположенными в аналогичной ориентации (в том же направлении). Равномерная ориентация гребней и надлежащая структура гребней и впадин представляют собой различимые локальные характеристики локальной области отпечатка пальца.

Градиент интенсивности (*dx*, *dy*) в пикселе характеризует направление и величину максимального изменения интенсивности на уровне пикселей. Посредством применения метода главных компонент к градиентам интенсивности пикселей локальной области формируется ортогональный базис этой локальной области путем нахождения его собственных значений и собственных векторов. Получающаяся в результате первая главная компонента имеет наибольшую величину отклонения, возникшую вследствие максимального общего изменения градиента в направлении, перпендикулярном ориентации гребней. Направление задается первым собственным вектором, а значение величины отклонения соответствует первому собственному значению λ_{max}. С другой стороны, градиент, полученный в результате второй главной компоненты, подвергается минимальному изменению в направлении потока гребней, соответствующему второму собственному значению λ_{min}. Таким образом, соотношение между двумя собственными значениями указывает на степень мощности энергии, сконцентрированной вдоль основного направления с двумя векторами, один из которых указывает в нормальном направлении, а второй — по касательной к усредненному потоку гребней.

5.2.2.2 Вычисление собственных значений и достоверной локальной ориентации

Собственные значения λ_{min} и λ_{max} вычисляются из ковариационной матрицы *C* [см. формулу (8)] по формулам:

$$\lambda_{min} = \frac{a + b - \sqrt{(a-b)^2 + 4c^2}}{2}, \tag{13}$$

$$\lambda_{max} = \frac{a + b + \sqrt{(a-b)^2 + 4c^2}}{2}. \tag{14}$$

Достоверный уровень ориентации имеет следующий вид:

$$q_{OCL}^{local} = \begin{cases} 1 - \dfrac{\lambda_{min}}{\lambda_{max}}, \text{ если } \lambda_{max} > 0, \\ 0 \text{ в остальных случаях} \end{cases}. \tag{15}$$

Диапазон значения q_{OCL}^{local} находится в интервале [0, 1], где 1 — наибольший достоверный уровень, а 0 — наименьший.

Примечание — Уровень достоверной ориентации не может являться основой для прогнозирования возможности сопоставления в том случае, если на образце имеются те или иные отметины или остаточные следы с явной ориентацией, как, например, те, что проявились из-за так называемых скрытых отпечатков, оставленных предыдущим пользователем сканера отпечатка пальцев.

5.2.2.3 Алгоритм вычисления OCL

Для каждой локальной области *V* в *I*:

a) вычисление градиента интенсивности пикселей *V* с помощью метода центрированной разности [см. формулы (3) и (4)];

b) вычисление ковариационной матрицы *C* [см. формулу (8)];

c) вычисление собственных значений *C*, получение q_{OCL}^{local} [см. формулы (13)—(15)].

Визуализация этапов обработки алгоритма показана на рисунке 3.



a) Текущая локальная область с соотношением между собственными значениями, отмеченным эллипсом

b) Исходное изображение до кадрирования и его значения q_{OCL}^{local}, сопоставленные со значениями 0—255

Рисунок 3 — Этапы обработки алгоритма оценки достоверного уровня ориентации

5.2.3 Локальная четкость

5.2.3.1 Общие положения

Отпечатки пальцев хорошего качества имеют четкую структуру гребней-впадин. Таким образом, LCL, являющаяся мерой четкости структуры гребней-впадин, является также показателем качества отпечатка пальца. Алгоритм вычисления LCL определяет локальное качество и работает в режиме блочной обработки.

Для того чтобы произвести анализ структуры гребней-впадин, передний план изображения отпечатка пальца необходимо разбить на локальные области размером 32 × 32 пикселя (см. [*2*]). В пределах каждой области необходимо вычислить данные линии ориентации, которая проходит перпендикулярно направлению гребней. В центре локальной области вдоль направления гребней извлекается локальная область 32 × 16 пикселей и трансформируется в вертикально выстроенную локальную область.

С использованием линейной регрессии (или подбора кривой методом наименьших квадратов) определяется ОП, который представляет собой линию, расположенную в центре локальной области *V* и применяется для разбиения локальной области на области гребней или области впадин. Области со степенью интенсивности серого ниже ОП классифицируются как области гребней; в противном случае — как области впадин.

Так как гребни на хороших изображениях отпечатков пальцев не могут располагаться слишком близко друг к другу или слишком далеко друг от друга, то для измерения качества полученного изображения отпечатка пальца может быть использована номинальная ширина гребней и впадин. Аналогично этому гребни, которые чрезмерно широки или узки, указывают на то, что изображение отпечатка пальца не было получено надлежащим образом (например, из-за того, что палец был приложен к сканеру слишком сильно или недостаточно сильно) или изображение представляет собой остаточный образец. Таким образом, качество изображения отпечатка пальца может быть определено посредством сопоставления ширины гребней и впадин и каждого из их номинального диапазона значений. Любое значение, выходящее за пределы номинального диапазона, может повлечь за собой появление узора гребней плохого качества. В целях нормализации диапазона значений ширины используется заданное максимальное значение ширины.

Максимальное значение ширины гребней или впадин W_{max} для хорошего изображения отпечатка пальца составляет 20 пикселей при пространственной частоте дискретизации сканера 196,85 пикс/см. Заданное значение в 20 пикселей в случае с пространственной частотой дискретизации сканера 196,85 пикс/см получается из среднего значения типичного разделения гребней в 8—12 пикселей (см. [*1*]) и исходя из предположения, что любое разделение гребней не превысит среднее значение в два раза. Это послужит гарантией того, что заданные значения действительно являются максимальными, до которых можно ограничить значение нормализованной ширины гребней и впадин между 0 и 1. Далее ширина гребней W_r и ширина впадин W_v нормализуются относительно максимальной ширины W_{max}.

При условии вышеуказанного разделения гребней и впадин можно произвести испытание четкости в каждой двухмерной сегментированной прямоугольной области.

В случае с гребнями с хорошей четкостью у распределений интенсивности пикселей гребней и впадин должен быть очень маленький участок перекрытия, а значит, и невысокий q_{OCL}^{local}. На размер совокупного участка перекрытия влияют следующие факторы:

a) шум на гребнях и впадинах;

b) пятна от воды на изображении, возникшие вследствие влажности пальцев;

c) некорректный угол ориентации вследствие дирекционального шума;

d) шрам вдоль узора гребней;

e) высокая степень кривизны гребней;

f) окончания гребней, бифуркации, дельта-точки и ядра;

g) начинающиеся линии гребней, потовые поры и точечные элементы.

Факторы от a) до c) являются физическим шумом, обнаруженным на изображении. Факторы от d) до g) являются фактическими физическими особенностями отпечатка пальца. Факторы, влияющие на качество изображения отпечатка пальца, приведены в приложении В.

5.2.3.2 Вычисление сигнатуры гребней-впадин локальной области

Для локальной области *V* сигнатура гребней-впадин S вычисляется по формуле

$$S(x) = \frac{\sum_{y=1}^{16} V_{x,y}}{16}, \tag{16}$$

где $V_{x,y}$ — уровень серого в точке (x, y);

x — индекс вдоль оси x.

5.2.3.3 Определение доли некорректно классифицированных пикселей

Доли пикселей в области впадин, некорректно классифицированных как гребни, и пикселей в области гребней, некорректно классифицированных как впадины, вычисляются по формулам (17) и (18) соответственно:

$$\alpha = \frac{v_B}{v_T}, \tag{17}$$

$$\beta = \frac{r_B}{r_T}, \tag{18}$$

где α — доля пикселей в области впадин, некорректно классифицированных как гребни;

β — доля пикселей в области гребней, некорректно классифицированных как впадины;

v_B — число пикселей в области впадин с интенсивностью ниже ОП;

v_T — общее число пикселей в области впадин;

r_B — число пикселей в области гребней с интенсивностью выше ОП;

r_T — общее число пикселей в области гребней.

5.2.3.4 Определение нормализованной ширины гребней и впадин

Нормализованная ширина впадин $\overline{W_v}$ и нормализованная ширина гребней $\overline{W_r}$ вычисляются по формулам:

$$\overline{W_v} = \frac{W_v}{\left(\frac{S \cdot 2{,}54}{125}\right) W^{max}}, \tag{19}$$

$$\overline{W_r} = \frac{W_r}{\left(\frac{S \cdot 2{,}54}{125}\right) W^{max}}, \tag{20}$$

где S — пространственная частота дискретизации в пикселях на сантиметр сканера отпечатков пальцев;

W^{max} — предполагаемая ширина гребня или впадины для изображения с пространственной частотой дискретизации 49,21 пикс/см;

W_v и W_r — наблюдаемые ширины впадин и гребней соответственно.

В соответствии с информацией, приведенной в [*1*], значение $W^{max} = 5$ является приемлемым для пространственной частоты дискретизации 49,21 пикс/см. В более общем смысле $\left(\frac{S \cdot 2{,}54}{125}\right) W^{max} = 20$ для пространственной частоты дискретизации 196,85 пикс/см.

5.2.3.5 Вычисление локальной четкости

Локальное значение качества q_{LCL}^{local} представляет собой ограниченное среднее значение α и β в диапазоне от 0 до 1, в соответствии с формулой

$$q_{LCL}^{local} = \begin{cases} 1 - \frac{\alpha + \beta}{2}, \text{ если } \left(W_v^{nmin} < \overline{W_v} < W_v^{nmax}\right), \left(W_r^{nmin} < \overline{W_r} < W_r^{nmax}\right), \\ 0 \text{ в остальных случаях} \end{cases} \quad (21)$$

где W_r^{nmin} и W_v^{nmin} — минимальные значения нормализованной ширины гребней и впадин, вычисляемые по формулам:

$$W_r^{nmin} = \frac{3}{\overline{W_r}}, \quad (22)$$

$$W_v^{nmin} = \frac{2}{\overline{W_v}}, \quad (23)$$

где W_r^{nmax} и W_v^{nmax} — максимальные значения нормализованной ширины гребней и впадин, вычисляемые по формулам:

$$W_r^{nmax} = \frac{10}{\overline{W_r}}, \quad (24)$$

$$W_v^{nmax} = \frac{10}{\overline{W_v}}. \quad (25)$$

Примечание — Некоторые области отпечатка пальца, такие как окончания гребней, бифуркации или области с высокой степенью кривизны (дельта-точки и ядра), оказывают негативное влияние на q_{LCL}^{local}.

5.2.3.6 Алгоритм вычисления локальной четкости

Для каждой локальной области *V* в *I*:

a) с использованием интерполяции ближайших соседей поворот *V* таким образом, чтобы доминирующая ориентация потока гребней была перпендикулярна оси *x*;

b) кадрирование *V* для исключения недействительных областей;

c) вычисление сигнатуры гребней-впадин *S* для *V* (см. *5.2.3.2*);

d) определение ОП с использованием линейной регрессии на *S*;

e) для каждого элемента *S*(*x*) установление порогового значения *T*(*x*) для *x*, классифицированного как гребень или впадина на основе значения ОП;

f) классификация столбцов *V* как гребней (1) или впадин (0) по условию:

$$P(x) = \begin{cases} 1, \text{ если } S(x) < T(x) \\ 0 \text{ в остальных случаях} \end{cases};$$

g) определение из *P* вектора *C* перехода гребня во впадину;

h) вычисление из *C* вектора *W*, содержащего ширину гребня и впадины;

i) определение нормализованной ширины гребня $\overline{W_r}$ и впадины $\overline{W_v}$ (см. *5.2.3.4*);

j) определение соотношения некорректно классифицированных пикселей α и β (см. *5.2.3.3*);

k) вычисление значения локального качества q_{LCL}^{local} (см. *5.2.3.5*).

Визуализация этапов обработки алгоритма представлена на рисунке 4.

5.2.4 Анализ частотных характеристик

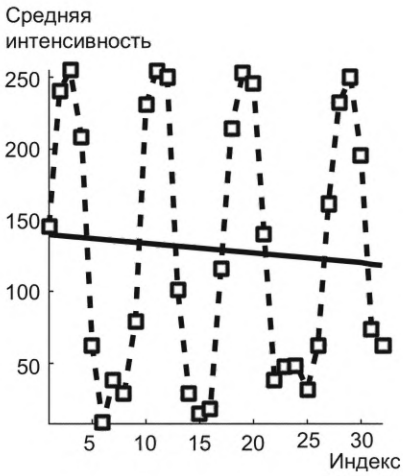
5.2.4.1 Общие положения

При анализе частотных характеристик извлекается одномерная сигнатура структуры гребня-впадины, на основе которой вычисляется ДПФ для определения частоты синусоиды, следующей за структурой гребня-впадины (см. [*3*]). Анализ частотных характеристик определяет локальное качество и работает в режиме блочной обработки.



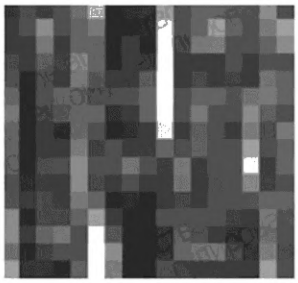
a) Кадрирование текущей локальной области

b) Средний профиль локальной области



c) Средний профиль локальной области с линией линейной регрессии

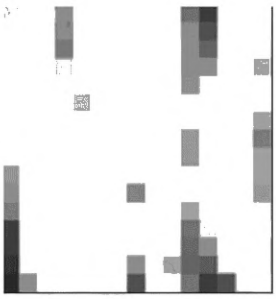
d) Маска бинаризации с областями гребней и впадин на основе линии регрессии



e) Пиксели, классифицированные с использованием маски как гребни



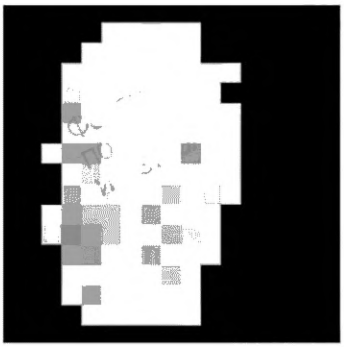
f) Пиксели, некорректно классифицированные с использованием порога как впадины



g) Пиксели, классифицированные с использованием маски как впадины



h) Пиксели, некорректно классифицированные с использованием порога как гребни



i) Локальная четкость

Рисунок 4 — Этапы обработки алгоритма вычисления локальной четкости

Сигнатура образца высокого качества представляет собой периодический сигнал, который может быть аппроксимирован либо прямоугольным колебанием (волной, импульсом), либо синусоидальным. В частотных характеристиках идеальное прямоугольное колебание (волна, импульс) должно демонстрировать преобладающую частоту с элементами боковых полос частот (sinc-функция). Синусоидальное колебание (волна, импульс) включает в себя единственную преобладающую частоту и минимум элементов с непреобладающими частотами.

Для каждой локальной области вычисляется сигнатура, перпендикулярная доминирующей ориентации потока гребней.

При анализе частотных характеристик, описанном в данном подразделе, оцениваются одномерные сигнатуры посредством вычисления средних значений вдоль направления потока гребней. В процессе вычисления средних значений отфильтровываются шумы, встречающиеся вдоль потоков гребней и впадин, и обеспечивается воспроизведение плавно изменяющегося сигнала в направлении, перпендикулярном потоку гребней.

5.2.4.2 Вычисление локального компонента качества, связанного с частотными характеристиками

Значение локального компонента качества, связанного с частотными характеристиками, вычисляется по формуле

$$q_{FDA}^{local} = \begin{cases} 1, \text{ если } F_{max} = A_1 \text{ или } F_{max} = A_{|A|}, \\ \dfrac{A_{F_{max}} + C\left(A_{F_{max}-1} + A_{F_{max}+1}\right)}{\sum_{F=1}^{|A|/2} A_F} \text{ в остальных случаях,} \end{cases} \quad (26)$$

где $C = 0{,}3$ — параметр затухания;

A_x — амплитуда с индексом частоты x.

Компонент качества q_{FDA}^{local} принимает значение 1, когда максимальная частота F_{max} достигается при амплитуде A_1 и $A_{|A|}$.

5.2.4.3 Алгоритм анализа частотных характеристик

Для каждой локальной области V в I:

a) дополнение V рамкой шириной 2 пикселя;

b) с использованием интерполяции ближайших соседей поворот V таким образом, чтобы доминирующая ориентация потока гребней была перпендикулярна оси x;

c) кадрирование V для исключения недействительных областей;

d) вычисление сигнатуры гребней-впадин S для V (см. *5.2.3.2*);

e) вычисление ДПФ S, получение представления величины A;

f) исключение компонента DC (т. е. первого компонента A);

g) определение F_{max} как индекса с наибольшей величиной в A;

h) вычисление q_{FDA}^{local} с использованием A и F_{max} (см. *5.2.4.2*).

Визуализация этапов обработки алгоритма представлена на рисунке 5.

5.2.5 Равномерность гребней и впадин

5.2.5.1 Общие положения

RVU представляет собой меру однородности ширины гребней и впадин (см. [2]).

Для изображения отпечатка пальца хорошего качества отношение ширины гребня к ширине впадины должно быть достаточно постоянным и близким к единице по всему изображению.

Алгоритм оценки RVU определяет локальное качество и работает в режиме блочной обработки.

Примечание — RVU зависит от пространственной частоты дискретизации.

5.2.5.2 Алгоритм вычисления RVU

Для каждой локальной области V в I:

a) определение доминирующей ориентации потока гребней;

b) поворот V таким образом, чтобы доминирующая ориентация потока гребней была перпендикулярна оси x;

c) кадрирование V для исключения недействительных областей;

d) вычисление сигнатуры гребней-впадин S для V (см. *5.2.3.2*);

e) определение ОП с использованием линейной регрессии на S;

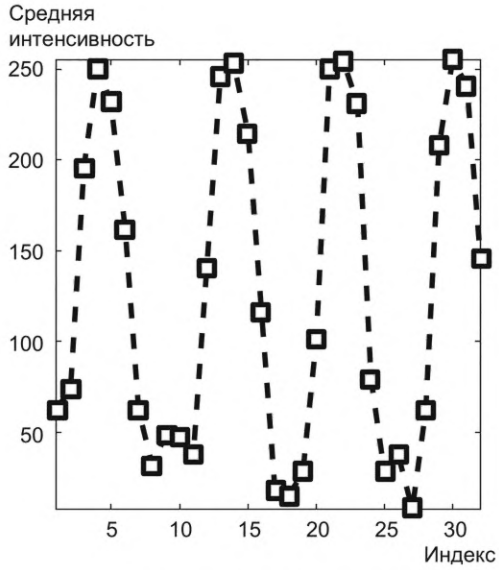
f) для каждого элемента $S(x)$ вычисление порога:

$$T(x) = x \cdot \text{ОП}(1) + \text{ОП}(0);$$

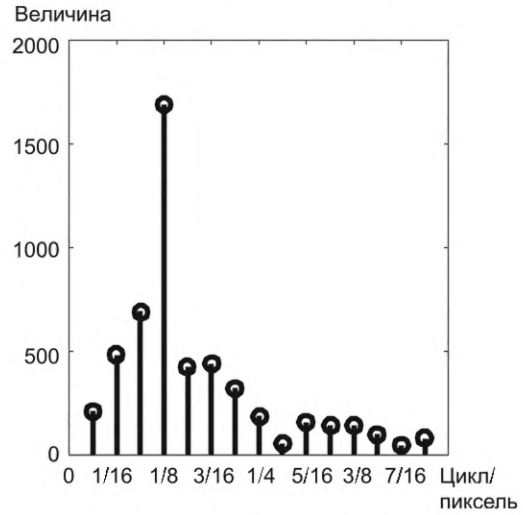
g) бинаризация S с использованием T;



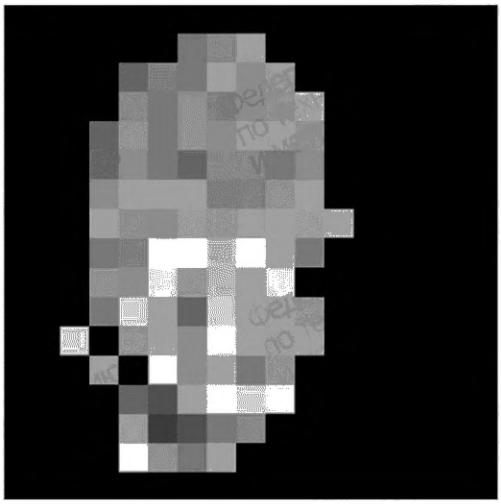
a) Центральная часть входной локальной области



b) Профиль гребней-впадин



c) ДПФ профиля гребней-впадин



d) Карта q_{FDA}^{local}

Рисунок 5 — Этапы обработки алгоритма анализа частотных характеристик

h) классификация гребней и впадин S по условию:

$$P(x)=\begin{cases}1, \text{ если } S(x-1)<T(x)\\0 \text{ в остальных случаях}\end{cases};$$

i) определение вектора перехода гребня во впадину:

$$C(x)=\begin{cases}1, \text{ если } P(x-1)\neq P(x)\\0 \text{ в остальных случаях}\end{cases};$$

j) с использованием C исключение из S первого и последнего переходов (удаление неполных гребней и впадин), получение S';

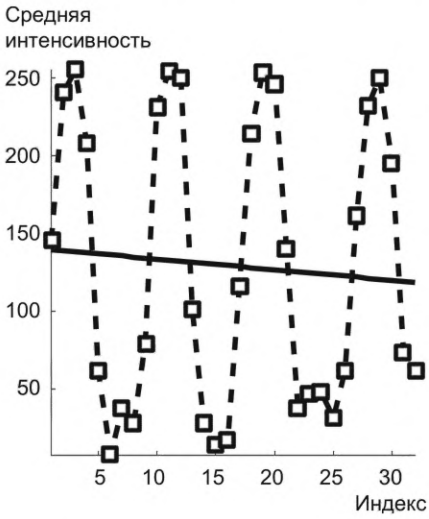
k) вычисление q_{RVU}^{local} как отношения ширины гребней к ширине впадин в S.

Визуализация этапов обработки алгоритма представлена на рисунке 6.

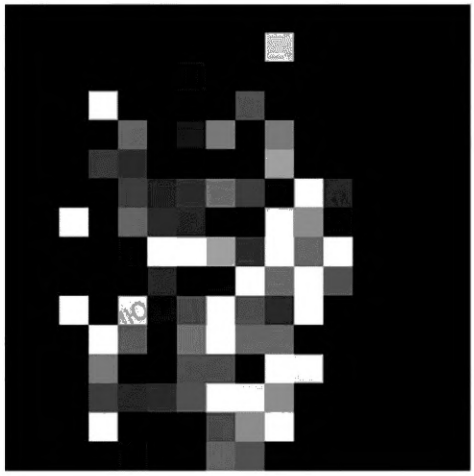


a) Кадрирование текущей локальной области

b) Средний профиль локальной области



c) Средний профиль с линией регрессии



d) Локальный собственный компонент качества, отображенный в виде отношения ширины гребней к ширине впадин

Рисунок 6 — Этапы обработки алгоритма вычисления равномерности гребней и впадин

5.2.6 Ориентация потока

5.2.6.1 Общие положения

OFL (см. [*4*]) представляет собой меру непрерывности гребней и впадин, которая основана на вычислении абсолютной разности ориентации локальной области и восьми близлежащих локальных областей.

OFL представляет собой первый признак, на основе которого описывается качество хорошего узора отпечатка пальца, потому что, как правило, направление гребней постепенно изменяется, кроме тех случаев, когда попадается дельта-точка или ядро.

Алгоритм оценки OFL определяет локальное качество и работает в режиме блочной обработки.

5.2.6.2 Абсолютная разность OFL локальной области

Поток гребней определяется мерой абсолютной разности между ориентацией локальной области и восьми близлежащих локальных областей. Абсолютная разность $D(i, j)$ для локальной области $V(i, j)$ вычисляется с использованием доминирующих OFL гребней текущей локальной области и восьми близлежащих локальных областей по формуле (см. [*1*])

$$D(i,j)=\frac{\sum_{m=-1}^{1}\sum_{n=-1}^{1}\min\left(\left|\theta_{V(i,j)}-\theta_{V(i-m,j-n)}\right|,360^\circ-\left|\theta_{V(i,j)}-\theta_{V(i-m,j-n)}\right|\right)}{8}. \quad (27)$$

Примечание — В формуле используется минимум угловой разности и разности 360° и угловой разности из-за необходимости учитывать полный угол (360°): так, разность между углами 2° и 358° составляет 4°.

5.2.6.3 Вычисление локальной ориентации потока

Значение локальной OFL $q_{\mathrm{OFL}}^{\mathrm{local}}$ для разности ориентации локальной области $D(i, j)$ вычисляется по формуле

$$q_{OFL}^{local} = \begin{cases} \dfrac{D(i,j) - \theta_{min}}{90° - \theta_{min}}, \text{ если } D(i,j) > \theta_{min} \\ 0 \text{ в остальных случаях} \end{cases}, \quad (28)$$

где θ_{min} = 4° — пороговое значение разности углов, которое следует учитывать.

Единицы измерения $D(i, j)$ — градусы.

5.2.6.4 Алгоритм вычисления локальной OFL

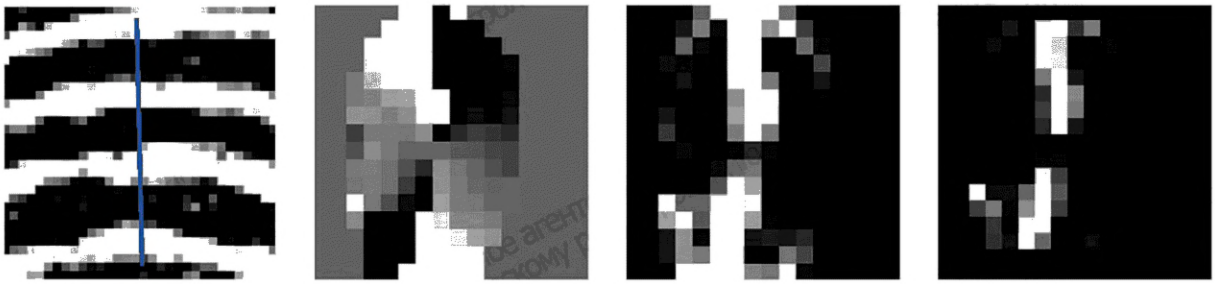
a) Определение доминирующей ориентации потока angle(V) локальной области V в I.

b) Для каждой локальной области V в I:

1) вычисление абсолютной разности ориентации $D(i, j)$ с использованием angle(V) (см. *5.2.6.2*);

2) вычисление локального показателя качества q_{OFL}^{local} (см. *5.2.6.3*).

Визуализация этапов обработки алгоритма представлена на рисунке 7.



a) Перпендикуляр к ориентации потока гребней | b) Локальные ориентации | c) Разности ориентаций | d) Значения q_{OFL}^{local}

Рисунок 7 — Этапы обработки алгоритма вычисления локальной OFL

***5.2.7* Равномерность интенсивности**

5.2.7.1 Общие положения

MU — это среднее арифметическое интенсивности всех пикселей входного изображения. Алгоритм оценки MU определяет глобальное качество.

5.2.7.2 Алгоритм расчета MU

Q_{MU} вычисляется как среднее арифметическое интенсивностей пикселей в I.

5.2.7.3 Сопоставление с заданным диапазоном значений

Для соответствия требованиям блока качества по ГОСТ Р 72502.1 значения q_{MU} с плавающей точкой должны быть сопоставлены с компонентом качества Q_{MU} в диапазоне от 0 до 100 с использованием формулы (2), где $x = q_{MU}$, $\min(q_{MU}) = 0$, $\max(q_{MU}) = 255$:

$$Q_{MU} = \left\lfloor \frac{q_{MU}}{255 + \varepsilon} 101 \right\rfloor. \quad (29)$$

***5.2.8* Среднее арифметическое всех локальных средних арифметических интенсивности пикселей входного изображения**

5.2.8.1 Общие положения

Алгоритм расчета MMB определяет локальное качество и работает в режиме блочной обработки.

5.2.8.2 Алгоритм расчета MMB

a) Для каждой локальной области V в I вычисление q_{MMB}^{local} — среднего арифметического интенсивности пикселей в V;

b) вычисление Q_{MMB} как среднего арифметического набора q_{MMB}^{local}.

5.2.8.3 Сопоставление с заданным диапазоном значений

Для соответствия требованиям блока качества по ГОСТ Р 72502.1, значения q_{MMB} с плавающей точкой должны быть сопоставлены с компонентом качества Q_{MMB} в диапазоне от 0 до 100 с использованием формулы (2), где $x = q_{MMB}$, $\min(q_{MMB}) = 0$, $\max(q_{MMB}) = 255$:

$$Q_{MMB} = \left\lfloor \frac{q_{MMB}}{255 + \varepsilon} 101 \right\rfloor. \quad (30)$$

***5.2.9* Количество минуций на изображении отпечатка пальца**

5.2.9.1 Общие положения

Количество минуций на изображении отпечатка пальца влияет на результат парного сравнения. Для определения количества минуций на изображении отпечатка пальца следует использовать программные средства. Например, экстрактор признаков отпечатков пальцев FingerJet, версия с открытым исходным кодом (FJFX) (см. [*5*]) обеспечивает подсчет обнаруженных минуций на изображении отпечатка пальца. Алгоритм вычисления количества минуций определяет глобальное качество.

5.2.9.2 Алгоритм вычисления количества минуций

q_{MIN}^{CNT} — это число минуций на изображении отпечатка пальца, обнаруженных экстрактором минуций.

5.2.9.3 Сопоставление с заданным диапазоном значений

Для соответствия требованиям блока качества по ГОСТ Р 72502.1 значения q_{MIN}^{CNT} должны быть ограничены до 100 по формуле

$$Q_{MIN}^{CNT} = \begin{cases} q_{MIN}^{CNT}, \text{ если } q_{MIN}^{CNT} \le 100 \\ 100, \text{ если } q_{MIN}^{CNT} > 100 \end{cases}. \quad (31)$$

***5.2.10* Количество минуций в области цента масс**

5.2.10.1 Общие положения

Количество минуций в области цента масс представляет собой количество минуций в локальной области (200 × 200 пикселей), центр которой совпадает с центром масс обнаруженных минуций (см. *5.2.9*). Данный компонент качества определяет локальное качество в области расположения минуций.

5.2.10.2 Алгоритм вычисления количества минуций в области центра масс

q_{MIN}^{COM} — это число минуций в локальной области размером 200×200 пикселей, центр которой совпадает с центром масс обнаруженных минуций на изображении отпечатка пальца.

5.2.10.3 Сопоставление с заданным диапазоном значений

Для соответствия требованиям блока качества по ГОСТ Р 72502.1 значения q_{MIN}^{COM} должны быть ограничены до 100 по формуле

$$Q_{MIN}^{COM} = \begin{cases} q_{MIN}^{COM}, \text{ если } q_{MIN}^{COM} \le 100 \\ 100, \text{ если } q_{MIN}^{COM} > 100 \end{cases}. \quad (32)$$

***5.2.11* Качество минуций на основе локального среднего**

5.2.11.1 Общие положения

Для каждого местоположения обнаруженной минуции (см. *5.2.9*) вычисляется локальное качество на основе статистики изображения. Фиксируемое значение показателя качества агрегируется как количество локальных показателей качества в указанном диапазоне. Данный компонент качества определяет локальное качество в области расположения минуций.

5.2.11.2 Алгоритм вычисления качества минуций на основе локального среднего

q_{MIN}^{MU} вычисляется путем определения локального качества каждой обнаруженной минуции по формуле

$$q_{MIN}^{local_{MU}} = \frac{\mu(I) - \mu(V)}{\sigma(I)}, \quad (33)$$

где $\mu(I)$ — среднее арифметическое изображения отпечатка пальцев;

$\mu(V)$ — среднее арифметическое локальной области размером 32×32 пикселя, центрированной на минуции;

$\sigma(I)$ — стандартное отклонение изображения отпечатка пальцев.

Показатель качества q_{MIN}^{MU} определяется как процент значений $q_{MIN}^{local_{MU}}$, которые находятся в диапазоне (0; 0,5]:

$$q_{MIN}^{MU} = \frac{\sum_{x=1}^{q_{MIN}^{CNT}} \begin{cases} 1, \text{ если } 0 < q_{MIN}^{local_{MU}} \le 0,5 \\ 0 \text{ в остальных случаях} \end{cases}}{q_{MIN}^{CNT}}. \quad (34)$$

5.2.11.3 Сопоставление с заданным диапазоном значений

Для соответствия требованиям блока качества по ГОСТ Р 72502.1 значения q_{MIN}^{MU} с плавающей точкой должны быть сопоставлены с компонентом качества Q_{MIN}^{MU} в диапазоне от 0 до 100 с использованием формулы (2), где $x = q_{MIN}^{MU}$, $\min\left(q_{MIN}^{MU}\right) = 0$, $\max\left(q_{MIN}^{MU}\right) = 255$:

$$Q_{MIN}^{MU} = \left\lfloor \frac{q_{MIN}^{MU}}{255 + \varepsilon} 101 \right\rfloor. \quad (35)$$

***5.2.12* Качество минуций на основе достоверного уровня ориентации локальной области**

5.2.12.1 Общие положения

Для каждого местоположения обнаруженной минуции (см. *5.2.9*) вычисляется достоверный уровень ориентации локальной области. Фиксируемое значение показателя качества агрегируется как количество локальных показателей качества, которые превышают заданное значение. Данный компонент качества определяет локальное качество в области расположения минуций.

5.2.12.2 Алгоритм вычисления качества минуций на основе достоверного уровня ориентации локальной области

q_{MIN}^{OCL} вычисляется путем определения локального качества каждой обнаруженной минуции по формуле

$$q_{MIN}^{local_{OCL}} = q_{OCL}^{local}(V), \quad (36)$$

где $q_{OCL}^{local}(V)$ — достоверный уровень ориентации локальной области V размером 32×32 пикселя, центрированной на минуции.

Показатель качества q_{MIN}^{OCL} определяется как процент значений $q_{MIN}^{local_{OCL}}$, которые превышают значение 0,8:

$$q_{MIN}^{OCL} = \frac{\sum_{x=1}^{q_{MIN}^{CNT}} \begin{cases} 1, \text{ если } q_{MIN}^{local_{OCL}} > 0{,}8 \\ 0 \text{ в остальных случаях} \end{cases}}{q_{MIN}^{CNT}}. \quad (37)$$

5.2.12.3 Сопоставление с заданным диапазоном значений

Для соответствия требованиям блока качества по ГОСТ Р 72502.1 значения q_{MIN}^{OCL} с плавающей точкой должны быть сопоставлены с компонентом качества Q_{MIN}^{OCL} в диапазоне от 0 до 100 с использованием формулы (2), где $x = q_{MIN}^{OCL}$, $\min\left(q_{MIN}^{OCL}\right) = 0$, $\max\left(q_{MIN}^{OCL}\right) = 255$:

$$Q_{MIN}^{OCL} = \left\lfloor \frac{q_{MIN}^{OCL}}{255 + \varepsilon} 101 \right\rfloor. \quad (38)$$

***5.2.13* Средняя интенсивность области интереса**

5.2.13.1 Общие положения

Область интереса для изображения отпечатка пальца — это область переднего плана, содержащая отпечаток пальца. Средняя интенсивность пикселей в этой области вычисляется по набору локальных областей размером 32×32 пикселя, в которых хотя бы один пиксель принадлежит области интереса. Данный компонент качества определяет глобальное качество.

Примечание — Данный компонент качества сильно коррелирует с q_{MU} (см. *5.2.7*) и q_{MMB} (см. *5.2.8*).

5.2.13.2 Определение области интереса

a) Разбиение изображения отпечатка пальца I структурирующим элементом размером 5×5 пикселей, получение $\bar{I}$;

b) применение к $\bar{I}$ нормализованного фильтра Гаусса (каждый вес делится на сумму всех весов) с размером ядра 41 × 41 и стандартным отклонением 6,5; получение G;

c) бинаризация G; получение B.

Примечание — Для бинаризации может быть использован метод Оцу (см. [*6*]);

d) применение к B нормализованного фильтра Гаусса (каждый вес делится на сумму всех весов) с размером ядра 91×91 и стандартным отклонением 14; получение G';

e) бинаризация G'; получение B';

f) определение контуров перевернутого B'; получение C.

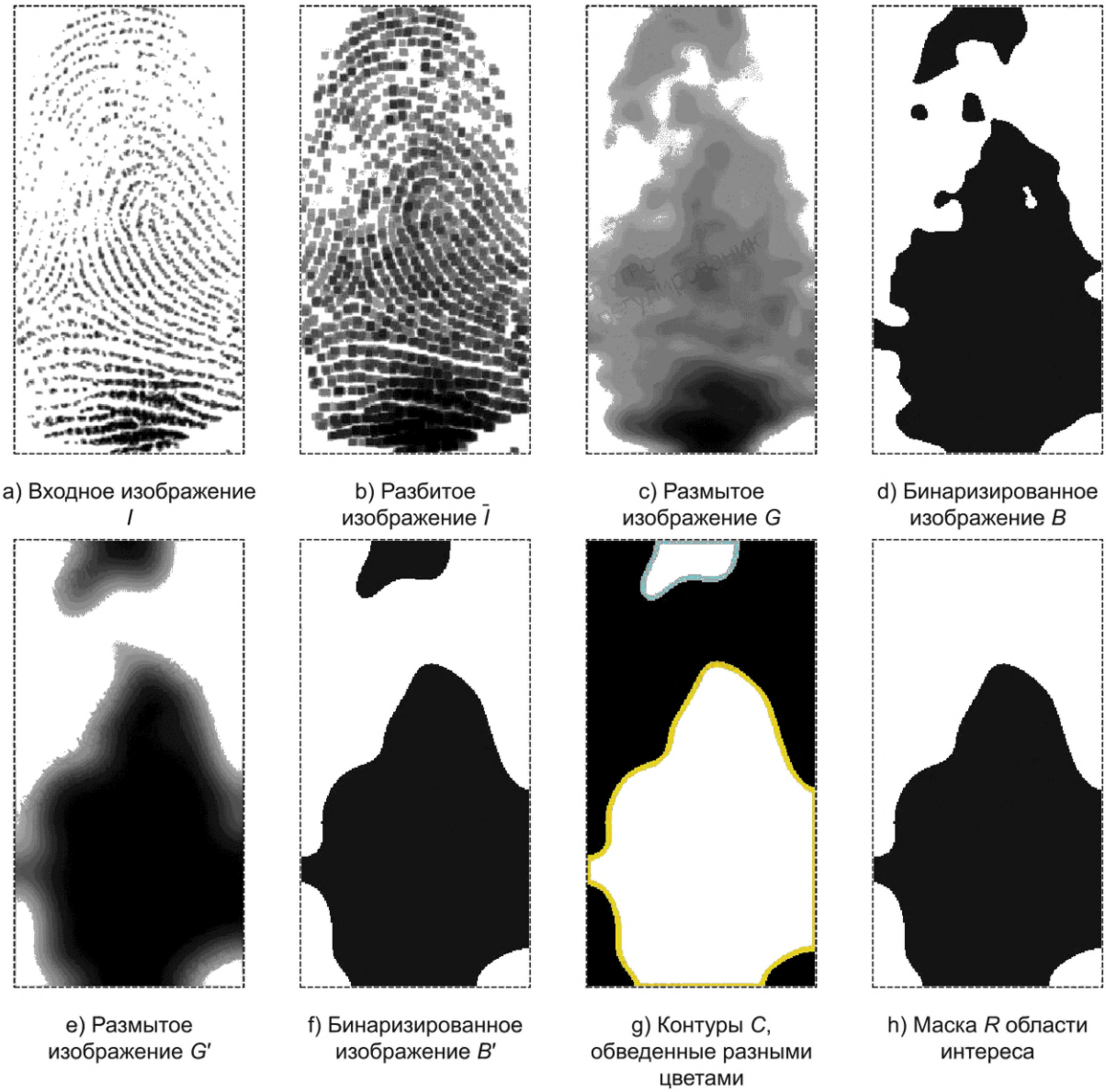
Примечание — Для определения контуров может быть использован метод Сузуки (см. [7]);

g) присвоение значения 0 пикселям контуров в иерархии C, имеющих родительский элемент;

h) присвоение значения 1 пикселям, не принадлежащим самой большой области пикселей со значением 0;

j) определение области интереса как пикселей со значением 0 в полученной бинарной маске R.

Визуализация этапов обработки алгоритма представлена на рисунке 8.



a) Входное изображение I | b) Разбитое изображение $\bar{I}$ | c) Размытое изображение G | d) Бинаризированное изображение B

e) Размытое изображение G' | f) Бинаризированное изображение B' | g) Контуры C, обведенные разными цветами | h) Маска R области интереса

Рисунок 8 — Этапы обработки алгоритма определения области интереса

5.2.13.3 Алгоритм вычисления показателя качества области интереса

a) Определение области интереса R (см. *5.2.13.1*);

b) для каждой локальной области V размером 32 × 32 в I: если V содержит хотя бы один пиксель, содержащийся в маске R, текущая локальная область помечается как передний план;

c) вычисление q^{μ}_{AREA} — среднего арифметического значений уровня серого всех пикселей в наборе локальных областей V, отмеченных как передний план.

5.2.13.4 Сопоставление с заданным диапазоном значений

Для соответствия требованиям блока качества по ГОСТ Р 72502.1 значения q^{μ}_{AREA} с плавающей точкой должны быть сопоставлены с компонентом качества Q^{μ}_{AREA} в диапазоне от 0 до 100 с использованием формулы (2), где x = q^{μ}_{AREA}, min(q^{μ}_{AREA}) = 0, max(q^{μ}_{AREA}) = 255:

$$Q^{\mu}_{AREA} = \left\lfloor \frac{q^{\mu}_{AREA}}{255 + \varepsilon} 101 \right\rfloor. \tag{39}$$

***5.2.14* Сумма карты когерентности ориентации области интереса**

5.2.14.1 Общие положения

Сумма карты когерентности ориентации количественно определяет когерентность предполагаемого поля ориентации изображения отпечатка пальца. Карта когерентности вычисляется в соответствии с методом, описанным в [*8*]. Алгоритм вычисления суммы карты когерентности определяет локальное качество и работает в режиме блочной обработки.

5.2.14.2 Вычисление градиентного поля

Градиентное поле $g = (g_x, g_y)^T$ интенсивности пикселей $I(i, j)$ изображения I вычисляется по формулам:

$$\begin{gathered} g_x(i, j) = (I(i + 1, j) - I(i - 1, j)) / 2 \text{ для } 1 \le i \le I_w - 1, 0 \le j \le I_h \\ g_x(0, j) = I(1, j) - I(0, j) \text{ для } 0 \le j \le I_h, \\ g_x(I_w, j) = I(I_w, j) - I(I_w - 1, j) \text{ для } 0 \le j \le I_h \end{gathered} \tag{40}$$

$$\begin{gathered} g_y(i, j) = (I(i, j + 1) - I(i, j - 1)) / 2 \text{ для } 0 \le i \le I_w, 1 \le j \le I_h - 1 \\ g_y(i, 0) = I(i, 1) - I(i, 0) \text{ для } 0 \le i \le I_w, \\ g_y(i, I_h) = I(i, I_h) - I(i, I_h - 1) \text{ для } 0 \le i \le I_w \end{gathered} \tag{41}$$

где I_w и I_h — соответственно ширина и высота I в пикселях.

5.2.14.3 Вычисление когерентности локальной области

Когерентность локальной области V вычисляется из соответствующего градиентного поля g_s интенсивности пикселей по формуле

$$\mathrm{coh}(V) = \frac{\left|\sum g_s(i, j)\right|}{\sum \left|g_s(i, j)\right|}, \tag{42}$$

где $|x|$ означает евклидову норму x, а суммы вычисляются по всем пикселям в V.

Примечание — g_s определен в *5.2.14.4*.

5.2.14.4 Алгоритм вычисления суммы когерентности

a) Вычисление градиентного поля g интенсивности пикселей I (см. *5.2.14.2*);

b) вычисление квадратного градиентного поля $g_s = (g_x^2 - g_y^2, 2g_x g_y)^T$;

c) определение области интереса R (см. *5.2.13.2*);

d) для каждой локальной области V размером 16 × 16 в I: если V содержит хотя бы один пиксель, содержащийся в R, вычисление когерентности coh(V), в противном случае coh(V) = 0;

e) вычисление суммы когерентности q^{sum}_{COH} как суммы coh(V) по всей V.

5.2.14.5 Сопоставление с заданным диапазоном значений

Для соответствия требованиям блока качества по ГОСТ Р 72502.1 значения q^{sum}_{COH} с плавающей точкой должны быть сопоставлены с компонентом качества Q^{sum}_{COH} в диапазоне от 0 до 100 с использованием формулы (2), где $x = q^{sum}_{COH}$, $\min\left(q^{sum}_{COH}\right) = 0$, $\max\left(q^{sum}_{COH}\right) = 3150$:

$$Q^{sum}_{COH} = \left\lfloor \frac{q^{sum}_{COH}}{3150 + \varepsilon} 101 \right\rfloor. \tag{43}$$

Примечание — Максимальное значение q^{sum}_{COH} определяется используемым программным обеспечением. Максимальный размер изображения, с которым работает экстрактор минуций, приведенный в *5.2.9*, составляет 800 × 1000 пикселей, что может вместить 3150 блоков пикселей размером 16 × 16. Таким образом, максимальное значение q^{sum}_{COH} для данной реализации составляет 3150.

***5.2.15* Относительная сумма карты когерентности ориентации области интереса**

5.2.15.1 Общие положения

Относительная сумма когерентности карты ориентации представляет собой среднее значение когерентности ориентации локальной области, определенной в *5.2.14*. Алгоритм вычисления относительной суммы когерентности определяет локальное качество и работает в режиме блочной обработки.

5.2.15.2 Алгоритм вычисления относительной суммы когерентности

a) Вычисление q_{COH}^{sum} и сохранение в n количества локальных областей V, которые содержат хотя бы один пиксель, содержащийся в R (см. *5.2.14*);

b) вычисление относительной суммы когерентности $q_{COH}^{REL} = \frac{q_{COH}^{sum}}{n}$.

5.2.15.3 Сопоставление с заданным диапазоном значений

Для соответствия требованиям блока качества по ГОСТ Р 72502.1 значения q_{COH}^{REL} с плавающей точкой должны быть сопоставлены с компонентом качества Q_{COH}^{REL} в диапазоне от 0 до 100 с использованием формулы (2), где $x = q_{COH}^{REL}$, $\min\left(q_{COH}^{REL}\right) = 0$, $\max\left(q_{COH}^{REL}\right) = 1$:

$$Q_{COH}^{REL} = \left\lfloor \frac{q_{COH}^{REL}}{1+\varepsilon} 101 \right\rfloor. \tag{44}$$

***5.2.16* Вектор признаков качества**

5.2.16.1 Общие положения

Признаки качества, описанные в *5.2.2*—*5.2.6*, предоставляют карту значений показателей качества для локальных областей изображения отпечатка пальца. Признаки качества, указанные в *5.2.7*—*5.2.15*, предоставляют скалярные значения показателей качества для изображения отпечатка пальца.

Все признаки качества должны быть объединены в вектор признаков качества фиксированной длины для возможности его использования системой классификации. Таким образом, признаки качества, описанные в *5.2.2*—*5.2.6,* агрегируются с использованием среднего арифметического (см. *5.2.16.2*), стандартного отклонения (см. *5.2.16.3*) и гистограммы (см. *5.2.16.4*) для последующего включения их в вектор признаков качества (см. *5.2.16.5*).

5.2.16.2 Среднее значение локальных показателей качества

a) Вычисление

Среднее значение показателя качества по матрице $N \times M$ локальных значений показателя качества вычисляется по формуле

$$G = \frac{1}{N \cdot M} \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} L(i,j), \tag{45}$$

где L — локальные показатели качества q_{OCL}^{local} (см. *5.2.2*), q_{LCL}^{local} (см. *5.2.3*), q_{FDA}^{local} (см. *5.2.4*), q_{RVU}^{local} (см. *5.2.5*), q_{OFL}^{local} (см. *5.2.6*);

G — агрегированные средние значения показателей качества q_{OCL}^{μ}, q_{LCL}^{μ}, q_{FDA}^{μ}, q_{RVU}^{μ}, q_{OFL}^{μ} в соответствии с L.

b) Сопоставление с заданным диапазоном значений

Для соответствия требованиям блока качества по ГОСТ Р 72502.1 агрегированные средние значения показателей качества с плавающей точкой [см. *5.2.16.2 a*)] должны быть сопоставлены с компонентом качества в диапазоне от 0 до 100 и округлены до ближайшего целого числа.

Показатели качества q_{OCL}^{μ}, q_{LCL}^{μ}, q_{FDA}^{μ} и q_{OFL}^{μ} сопоставляются соответственно с компонентами качества Q_{OCL}^{μ}, Q_{LCL}^{μ}, Q_{FDA}^{μ} и Q_{OFL}^{μ} с использованием формулы (2). Показатель качества q_{RVU}^{μ} сопоставляется с компонентом качества Q_{RVU}^{μ} по формуле

$$Q_{RVU}^{\mu} = \left\lfloor 100 \cdot \mathrm{sigmoid}\left(q_{RVU}^{\mu}, 1, \frac{1}{2}\right) + \frac{1}{2} \right\rfloor. \tag{46}$$

5.2.16.3 Стандартное отклонение локальных показателей качества

a) Вычисление

Стандартное отклонение показателя качества по матрице $N \cdot M$ локальных значений показателя качества вычисляется по формуле

$$G = \left(\frac{1}{N \cdot M - 1} \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} \left(L(i,j) - F \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \tag{47}$$

где L — локальные показатели качества q_{OCL}^{local} (см. *5.2.2*), q_{LCL}^{local} (см. *5.2.3*), q_{FDA}^{local} (см. 5.2.4), q_{RVU}^{local} (см. *5.2.5*), q_{OFL}^{local} (см. *5.2.6*);

G — агрегированные стандартные отклонения показателей качества q_{OCL}^{σ}, q_{LCL}^{σ}, q_{FDA}^{σ}, q_{RVU}^{σ}, q_{OFL}^{σ} в соответствии с L;

F — агрегированные средние значения показателей качества q_{OCL}^{μ}, q_{LCL}^{μ}, q_{FDA}^{μ}, q_{RVU}^{μ}, q_{OFL}^{μ} в соответствии с L.

b) Сопоставление с заданным диапазоном значений

Для соответствия требованиям блока качества по ГОСТ Р 72502.1 агрегированные средние значения показателей качества с плавающей точкой [см. *5.2.16.2* а)] должны быть сопоставлены с компонентом качества в диапазоне от 0 до 100 и округлены до ближайшего целого числа.

Показатели качества q_{OCL}^{σ}, q_{LCL}^{σ}, q_{FDA}^{σ} и q_{OFL}^{σ} сопоставляются соответственно с компонентами качества Q_{OCL}^{σ}, Q_{LCL}^{σ}, Q_{FDA}^{σ} и Q_{OFL}^{σ} с использованием формулы (2). Показатель качества q_{RVU}^{σ} сопоставляется с компонентом качества Q_{RVU}^{σ} по формуле

$$Q_{RVU}^{\sigma} = \left\lfloor 100 \cdot \mathrm{sigmoid}\left(q_{RVU}^{\sigma}, 1, \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} \right\rfloor. \tag{48}$$

5.2.16.4 Гистограмма локальных показателей качества

Значения локальных показателей качества, описанных в *5.2.2*—*5.2.6*, должны быть представлены в виде гистограмм фиксированной длины с 10 ячейками, отображающих распределения локальных показателей качества. Границы ячеек гистограммы для каждого показателя качества следующие:

$$\begin{gathered} B_{FDA} = \{-\infty;\ 0{,}268;\ 0{,}304;\ 0{,}33;\ 0{,}355;\ 0{,}38;\ 0{,}407;\ 0{,}44;\ 0{,}5;\ 1;\ \infty\}, \\ B_{LCL} = \{-\infty;\ 0;\ 0{,}7;\ 0{,}74;\ 0{,}77;\ 0{,}79;\ 0{,}81;\ 0{,}83;\ 0{,}85;\ 0{,}87;\ \infty\}, \\ B_{OCL} = \{-\infty;\ 0{,}377;\ 0{,}479;\ 0{,}579;\ 0{,}655;\ 0{,}716;\ 0{,}766;\ 0{,}81;\ 0{,}852;\ 0{,}898;\ \infty\}, \\ B_{OFL} = \{-\infty;\ 0{,}01715;\ 0{,}035;\ 0{,}0557;\ 0{,}081;\ 0{,}115;\ 0{,}1718;\ 0{,}2569;\ 0{,}4758;\ 0{,}748;\ \infty\}, \\ B_{RVU} = \{-\infty;\ 0{,}5;\ 0{,}667;\ 0{,}1;\ 1{,}25;\ 1{,}5;\ 2;\ 24;\ 30;\ \infty\}. \end{gathered} \tag{49}$$

Каждая гистограмма вычисляется с использованием указанных границ интервалов, где i-й интервал в гистограмме задается по формуле

$$(B^{i}_{Q},\ B^{i+1}_{Q}) \text{ для } 1 \le i \le |B_Q|, \tag{50}$$

где B_Q — это B_{FDA}, B_{LCL}, B_{OCL}, B_{OFL}, B_{RVU}.

Гистограммы локальных показателей качества определяются в соответствии с границами их интервалов по формулам (51) и (52). При этом i-й интервал содержит мощность мультимножества, содержащего значения, ограниченные этим интервалом.

$$\begin{aligned} q^{i}_{FDA} &= \left| \left\{ B^{i}_{FDA} \le q^{local}_{FDA} < B^{i+1}_{FDA} \right\} \right| \text{ для } 1 \le i \le |B_{FDA}|, \\ q^{i}_{LCL} &= \left| \left\{ B^{i}_{LCL} \le q^{local}_{LCL} < B^{i+1}_{LCL} \right\} \right| \text{ для } 1 \le i \le |B_{LCL}|, \\ q^{i}_{OCL} &= \left| \left\{ B^{i}_{OCL} \le q^{local}_{OCL} < B^{i+1}_{OCL} \right\} \right| \text{ для } 1 \le i \le |B_{OCL}|, \\ q^{i}_{OFL} &= \left| \left\{ B^{i}_{OFL} \le q^{local}_{OFL} < B^{i+1}_{OFL} \right\} \right| \text{ для } 1 \le i \le |B_{FDA}|, \\ q^{i}_{RVU} &= \left| \left\{ B^{i}_{RVU} \le q^{local}_{RVU} < B^{i+1}_{RVU} \right\} \right| \text{ для } 1 \le i \le |B_{RVU}|. \end{aligned} \tag{51}$$

Гистограмма отдельного признака, представленная ее ячейками, записывается следующим образом:

$$\begin{aligned} q_{FDA} &= \{q^i_{FDA}\} \text{ для } 1 \le i < |B_{FDA}|, \\ q_{LCL} &= \{q^i_{LCL}\} \text{ для } 1 \le i < |B_{LCL}|, \\ q_{OCL} &= \{q^i_{OCL}\} \text{ для } 1 \le i < |B_{OCL}|, \\ q_{OFL} &= \{q^i_{OFL}\} \text{ для } 1 \le i < |B_{OFL}|, \\ q_{RVU} &= \{q^i_{RVU}\} \text{ для } 1 \le i < |B_{RVU}|. \end{aligned} \quad (52)$$

5.2.16.5 Формирование вектора признаков качества

Вектор признаков качества, который является входным параметром для вычисления комплексного показателя качества (см. *5.4*), задается следующим образом:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ГОСТ Р 72502.1}} = \{&q^{\mu}_{OCL}, q^{\mu}_{LCL}, q^{\mu}_{FDA}, q^{\mu}_{RVU}, q^{\mu}_{OFL}, q^{\sigma}_{OCL}, q^{\sigma}_{LCL}, q^{\sigma}_{FDA}, q^{\sigma}_{RVU}, q^{\sigma}_{OFL}, q_{OCL}, q_{LCL}, q_{FDA}, \\ &q_{RVU}, q_{OFL}, q_{MU}, q_{MMB}, q^{REL}_{COH}, q^{sum}_{COH}, q^{\mu}_{AREA}, q^{CNT}_{MIN}, q^{COM}_{MIN}, q^{MU}_{MIN}, q^{OCL}_{MIN}\}. \end{aligned} \quad (53)$$

5.3 Дополнительные компоненты качества

5.3.1 Общие положения

В настоящем подразделе определены алгоритмы вычисления дополнительных компонентов качества изображения отпечатка пальца, которые не учитываются при вычислении комплексного показателя качества.

5.3.2 Радиальный спектр мощности

5.3.2.1 Общие положения

Радиальный спектр мощности является мерой максимальной мощности сигнала в определенной полосе частот глобального радиального Фурье-спектра. Гребни могут быть локально аппроксимированы посредством одной синусоидальной волны, поэтому высокая концентрация энергии в узкой полосе частот соответствует последовательным структурам гребней.

Ввиду того, что гребни на изображении отпечатка пальца могут быть локально аппроксимированы посредством синусоидальной волны, большое значение энергии синусоидальной волны свидетельствует об очень четких, ясных, насыщенных гребнях. Устойчивость гребневой структуры может быть использована для измерения качества изображения отпечатка пальца. Значением $\dot{F}$ выбирается максимальное значение радиального Фурье-спектра в пределах допустимой области Фурье. Допустимая область Фурье представляет собой область как не самой высокой частоты, так и не самой низкой. Чем выше значение $\dot{F}$, тем выше качество изображения отпечатка пальца.

5.3.2.2 Переменные

Переменные, используемые при вычислении радиального Фурье-спектра, приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Переменные, используемые при вычислении радиального Фурье-спектра

Переменная	Значение по умолчанию	Описание
r_{min}	0,143 цикл/пиксель	Нижняя граница полосы частот
r_{max}	0,077 цикл/пиксель	Верхняя граница полосы частот
Δ_r	1 пиксель	Шаг дискретизации между кольцевыми полосами в спектре частот
θ	180	Рассматриваемые градусы спектра

5.3.2.3 Алгоритм

a) Вычисление величины двумерного ДПФ $\dot{F}(u,v)$ входного изображения;

b) преобразование $\dot{F}(u,v)$ в полярные координаты и нормализация до диапазона [0;1];

c) определение максимальной энергии (т. е. максимальной величины всех частот) и вычисление q_{POW} (см. *5.3.2.5*).

5.3.2.4 Величина полосы частот в полярных координатах

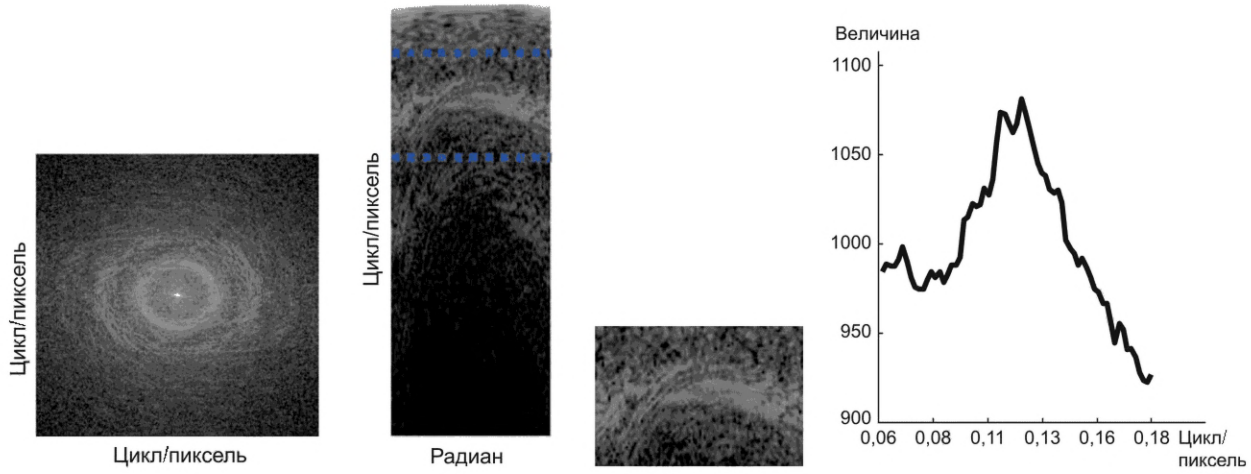
Величина J кольцевой полосы частот между r и $r + \Delta_r$ Фурье-спектра в полярных координатах $\dot{F}(\alpha,r)$ вычисляется по формуле

$$J(r)=\frac{\sum_{\alpha=0}^{\pi}\sum_{r}^{r+\Delta_r}\dot{F}(\alpha,r)}{\sum_{\alpha=0}^{\pi}\sum_{r_{min}}^{r_{max}}\dot{F}(\alpha,r)}, \quad (54)$$

где α — угол;

r — радиус.

$\dot{F}(\alpha,r)$ — является представлением спектра $f(p, q)$ в полярной системе координат (α, r), см. рисунок 9.



a) Фурье-спектр входного изображения

b) Фурье-спектр в полярной системе координат

c) Частоты в области интереса

d) Одномерная величина частот в области интереса

Рисунок 9 — Этапы обработки алгоритма вычисления радиального спектра мощности

5.3.2.5 Вычисление показателя качества по распределению энергии

Показатель качества q_{POW} вычисляется по формуле

$$q_{POW}=\max_{r\in[\Delta r]}\left|J(r)\right|. \quad (55)$$

Примечание — Радиальный спектр мощности зависит от пространственной частоты дискретизации. Значения по умолчанию, указанные в таблице 1, приведены для пространственной частоты дискретизации 196,85 пикс/см.

5.3.3 Фильтр Габора

5.3.3.1 Общие положения

Алгоритм вычисления показателя качества, основанного на фильтре Габора, работает в режиме пиксельной обработки и вычисляет стандартное отклонение ответов банка фильтров Габора (см. [*9*]). Размер банка фильтров определяет количество фильтров, равномерно ориентированных по полукругу. Сила ответа в заданной точке соответствует уровню согласованности между ориентацией фильтра и частотой в окрестности этой точки. Для тех областей изображения отпечатка пальца, в которых узор гребней-впадин четкий и регулярный, будет высокий ответ от одной или нескольких ориентаций фильтра Габора. Напротив, в областях изображения отпечатка пальца, содержащих фон или нечеткую структуру узора гребней-впадин, ответ всех ориентаций фильтра Габора будет низким и постоянным.

5.3.3.2 Переменные

Переменные, используемые для фильтра Габора, приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Переменные, используемые для фильтра Габора

Переменная	Значение по умолчанию	Описание
σ_x	6	Двумерное стандартное отклонение Гаусса по оси *x*
σ_y	6	Двумерное стандартное отклонение Гаусса по оси *y*
n	4	Размер банка фильтров (ориентации волны Габора)
f	0,1	Частота фильтра Габора
θ	—	Ориентация фильтра Габора

5.3.3.3 Алгоритм

a) Свертка входного изображения с двумерным ядром Гаусса с σ = 1, вычитание ее из входного изображения *I*, получение $\hat{I}$;

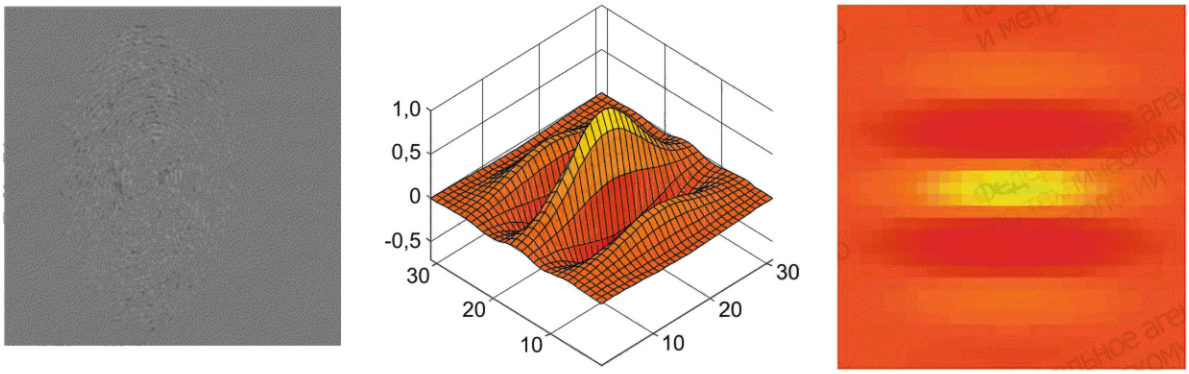
b) вычисление отклика фильтра Габора по $\hat{I}$ для каждой ориентации;

c) свертка величины (комплексного модуля) каждого отклика фильтра Габора с двумерным ядром Гаусса с σ = 4;

d) вычисление стандартного отклонения значений амплитуды отклика фильтра Габора в каждой точке, получение карты стандартных отклонений;

e) суммирование карты стандартных отклонений с последующей нормализацией в соответствии с количеством точек выборки; получение показателя качества q_{GAB} (см. *5.3.3.5*).

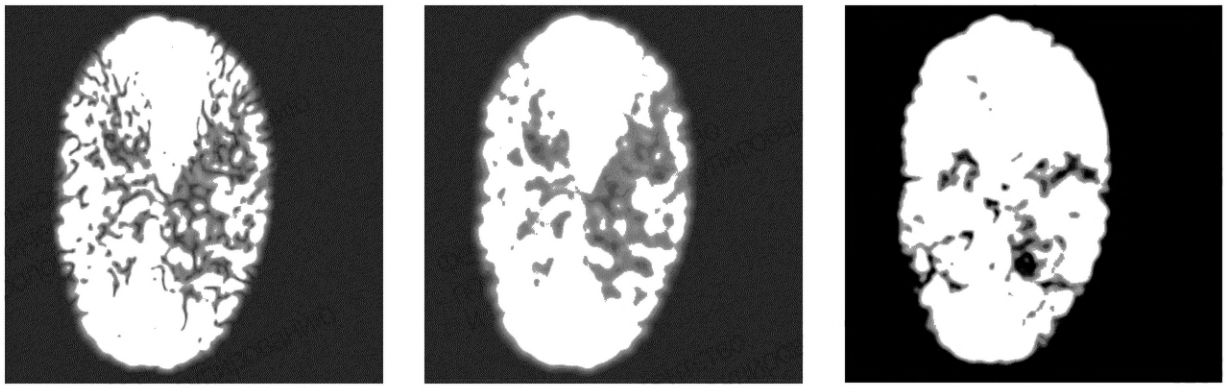
Визуализация этапов обработки алгоритма представлена на рисунке 10.



a) Полученное изображение $\hat{I}$

b) Фильтр Габора с реальным значением *h*

c) Фильтр Габора *h*



d) Свертка $\hat{I}$ с *h*, что дает матрицу G_0 откликов фильтра

e) Свертка G_0 с двумерным ядром Гаусса

f) Стандартное отклонение откликов фильтра по каждому пикселю

Рисунок 10 — Этапы обработки алгоритма фильтра Габора

5.3.3.4 Фильтр Габора

Общая форма комплексного двумерного фильтра Габора (см. [*10*]), h_{Cx}, в пространственной области задается формулой

$$h_{Cx}\left(x,y;f,\theta,\sigma_x,\sigma_y\right)=\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x_\theta^2}{\sigma_x^2}+\frac{y_\theta^2}{\sigma_y^2}\right)\exp\left(j2\pi f x_\theta\right)\right), \quad (56)$$

где x_θ и y_θ вычисляются соответственно по формулам:

$$x_\theta = x\sin\theta + y\cos\theta, \quad (57)$$

$$y_\theta = x\cos\theta - y\sin\theta, \quad (58)$$

где f — частота (цикл/пиксель) синусоидальной плоской волны вдоль ориентации θ. Размер окна сглаживания Гаусса определяют σ_x и σ_y.

Размер n банка фильтров используется для вычисления фильтров Габора разных ориентаций, составляющих банк фильтров. Ориентация θ при заданном n вычисляется по формуле

$$\theta=\frac{k-1}{n\pi},\ k=1,\ \ldots,\ n. \quad (59)$$

Примечание — Показатель качества, основанный на фильтре Габора, зависит от пространственной частоты дискретизации. Значения по умолчанию, указанные в таблице 2, приведены для пространственной частоты дискретизации 196,85 пикс/см.

5.3.3.5 Вычисление показателя качества по отклику фильтра Габора

Показатель качества q_{GAB}, основанный на отклике фильтра Габора, вычисляется по формуле

$$q_{GAB}=\frac{1}{X\cdot Y}\sum_x\sum_y G(x,y), \quad (60)$$

где G — матрица стандартных отклонений локальных ответов, полученных в результате свертки I и фильтра Габора.

5.4 Комплексный показатель качества

5.4.1 Методология объединения показателей качества

С целью получения единственного блока выходных данных нескольких компонентов качества, описанных в предыдущих подразделах, необходимо объединить значения этих компонентов качества и вывести единственную скалярную оценку качества, требуемую для блока качества по ГОСТ Р 72502.1. Объединение компонентов качества должно быть произведено таким образом, чтобы на основе общей оценки качества можно было бы прогнозировать эксплуатационные характеристики. Существует несколько методов, посредством которых можно осуществлять объединение компонентов качества, например вычисление средневзвешенных значений, использование классификаторов узоров и иные нелинейные вычисления.

5.4.2 Обучение классификатора

Классификаторы образов представляют собой математические модели, способные освоить концепт и спрогнозировать выходные данные при обработке новых и даже неизвестных ранее образцов.

Для применения классификации образов в объединении мер качества изображений отпечатков пальцев необходимо обучить классификатор образов, предоставив для образцов из обучающей выборки значения всех вычисленных мер качества и корректную разметку этих образцов. После того, как классификатор образов будет хорошо обучен, он сможет предоставить общий показатель качества изображения отпечатка пальца.

Входными данными для классификатора образов является вектор признаков $Q_{\text{ГОСТ Р 72502.1}}$ (см. *5.2.16.5*). Обучение классификатора образов может быть выполнено с использованием набора изображений отпечатков пальцев, такого как НДНПК, с категориями или показателями качества, предварительно размеченными одним или несколькими алгоритмами оценки качества. Для всех образцов в наборе данных вычисляются векторы признаков качества. Затем они сопоставляются с категорией или показателем качества и подаются в классификатор образов для обучения.

Приложение А
(справочное)

Учет данных участка изображения

Несмотря на то, что участок отдельно не должен использоваться как характеристика качества, участок изображения, содержащий годный дактилоскопический узор, влияет на эксплуатационные характеристики алгоритма сравнения и, как следствие, на качество изображения. В том случае если годный участок слишком мал, то изображение отпечатка пальца должно быть признано неудовлетворительным. Локальный анализ осуществляется на уровне локальных областей, в то время как глобальный анализ осуществляется на уровне всего изображения после кадрирования. В случае с глобальным анализом существует вероятность, что в результате подобного анализа небольшая, но высококачественная область обеспечит приемлемый показатель качества всего изображения. Поэтому необходима явная мера качества для участка изображения. Участок отпечатка пальца вычисляется на основе количества локальных областей, заполненных надлежащей структурой гребней-впадин (передний план) изображения отпечатка пальца. Фоновая область, пот или иные инородные тела (загрязнения), присутствующие на изображении, но не находящиеся в пределах надлежащей структуры гребней-впадин изображения отпечатка пальца, должны быть исключены из оценки участка отпечатка пальца. Граничная область изображения также может быть исключена.

Процесс автоматического разделения изображения на область переднего плана, включающую в себя надлежащую структуру гребней-впадин, и оставшуюся область (фон) называется сегментацией. Один из методов сегментации заключается в вычислении интенсивности ориентации в каждой локальной области (см. [*1*]). Посредством процесса сегментации можно узнать количество локальных областей (или, в общем, данные об участке на переднем плане или на фоне изображения отпечатка пальца), таким образом обеспечивая возможность учета данных анализа участка в общем качестве изображения.

Приложение В
(справочное)

Факторы, влияющие на качество изображения отпечатка пальца

В.1 Общие положения

Изображение отпечатка пальца, полученное от сканера отпечатков пальцев, не всегда хорошего качества. На нем могут быть участки низкого качества, причиной которых послужили те или иные особенности самого пользователя (например, состояние кожи пользователя), поведение пользователя (например, неправильно расположенный палец при получении образца), формирование изображения (например, ограниченные параметры сканера или его несовершенство) или условия (например, загрязнения на поверхности сканера).

Объем нечеткой области или степень дефектов, присутствующих на изображении отпечатка пальца, повлияют на эксплуатационные характеристики системы автоматического распознавания отпечатков пальцев. Рекомендуется вычислять показатель качества полученного изображения отпечатка пальца, так как он может быть использован системой для выполнения определенных рекомендаций, фильтрации или обработки изображения. Например, в процессе биометрической регистрации может быть рекомендовано выполнить повторное получение биометрического образца, если качество первого образца ниже определенного значения. Эксплуатационные характеристики системы автоматического распознавания отпечатков пальцев должны быть прогнозируемы на основании показателя качества.

В.2 Дефекты, влияющие на качество изображения отпечатка пальца

В настоящем подразделе приведены примеры дефектов, оказывающих влияние на меры качества изображения отпечатка пальца.

Сканер отпечатков пальцев может создавать изображение отпечатка пальца плохого качества, если палец слишком влажный. В случае датчика ПВО наличие влаги на датчике вызывает отражение световых волн в воде, которое препятствует отражению световых волн от гребней отпечатка пальца. Таким образом, полученное изображение может быть полностью темным в покрытой влагой области или с очень низким уровнем контраста, так как значения уровня серого гребней и впадин будут очень близки. Для таких изображений значения мер качества, описанных в *5.2* и *5.3*, будут низкими, так как не будет выполнено различие гребней и впадин алгоритмом оценки показателя качества. Такая ситуация возможна в том случае, когда изображение отпечатка пальца состоит из двух областей без контраста: фона и области с влагой.

Некоторые дефекты и их причины представлены в следующем списке:

a) дефекты, причиной которых послужили особенности самого пользователя:
   1) слишком нестандартные состояния кожи (например, очень влажная, очень сухая и т. д.);
   2) шрамы;
   3) морщины;
   4) мозоли;
   5) экзема;
   6) инородные тела, загрязнения, слабый (след отпечатка) отпечаток и т. д.;

b) дефекты, приобретенные в процессе формирования изображения:
   1) ошибка при взятии образца;
   2) низкий уровень контрастности или соотношения сигнал—шум;
   3) искажение;
   4) некорректные линии или «испещренность» полосами;
   5) неравномерный фон;
   6) недостаточный динамический диапазон;
   7) нелинейные или неоднородные выходные данные в градации серого;
   8) недоступность пикселей (например, вследствие отказа аппаратного оборудования);
   9) проблемы, связанные с эффектом наложения;

c) дефекты, причиной которых стало поведение пользователя:
   1) упругая деформация;
   2) некорректное положение пальца (например, слишком низкое, перевернутое и т. д.);
   3) недостаточность области с изображением отпечатка пальца;

d) дефекты, причиной которых стали условия, при которых производится получение изображений:
   1) влажность;
   2) освещение;
   3) инородные тела, загрязнения на поверхности сканера.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочных национального, межгосударственного стандартов	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта
ГОСТ ISO/IEC 2382-37—2016	IDT	ISO/IEC 2382-37:2012 «Информационные технологии. Словарь. Часть 37. Биометрия»[1)]
ГОСТ Р 72502.1—2026 (ИСО/МЭК 29794-1:2024)	MOD	ISO/IEC 29794-1:2024 «Информационные технологии. Качество биометрических образцов. Часть 1. Структура»
Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов: - IDT — идентичный стандарт; - MOD — модифицированный стандарт.		

[1)] Отменен. Действует ISO/IEC 2382-37:2022.

Приложение ДБ
(справочное)

Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем международного стандарта

Таблица ДБ.1

<table>
<tr><th colspan="2">Структура настоящего стандарта</th><th colspan="2">Структура международного стандарта ISO/IEC 29794-4:2024</th></tr>
<tr><td colspan="2">—*</td><td colspan="2">Раздел 5</td></tr>
<tr><td colspan="2">Раздел 5</td><td colspan="2">Раздел 6</td></tr>
<tr><td colspan="2">—*</td><td colspan="2">Раздел 7</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Приложения</td><td>A</td><td rowspan="5">Приложения</td><td>C</td></tr>
<tr><td>B</td><td>B</td></tr>
<tr><td>—*</td><td>A</td></tr>
<tr><td>ДА</td><td>—</td></tr>
<tr><td>ДБ</td><td>—</td></tr>
<tr><td colspan="2">Библиография</td><td colspan="2">Библиография</td></tr>
<tr><td colspan="4">* Данные структурные элементы исключены в связи с нецелесообразностью их приведения в настоящем стандарте.
Примечание — Сопоставление структуры стандартов приведено начиная с раздела 5 ISO/IEC 29794-4:2024, т. к. предыдущие разделы стандартов и их иные структурные элементы (за исключением предисловия) идентичны.</td></tr>
</table>

Библиография

[*1*] Maltoni D., Maio D., Jain A., Prabhakar S. Handbook of Fingerprint Recognition. Springer, Second Edition, 2009

[*2*] Lim E., Jiang X., Yau W. Fingerprint quality and validity analysis, in Proceedings of International Conference on Image Processing, 2002

[*3*] Lim E., Toh K., Suganthan P., Jiang X., Yau W. Fingerprint image quality analysis. In: Image Processing, 2004. ICIP '04. 2004 International Conference on. Vol. 2. 2004, 1241—1244

[*4*] Chen T., Jiang X., Yau W. Fingerprint image quality analysis, in Proceedings of International Conference on Image Processing, 2004

[*5*] Ivanisov A., Chen Y., Prabhakar S., Kaminsky J., Wei L., Cannon G., Lessmann R. FingerJet Fingerprint Feature Extractor, Open Source Edition. HID DigitalPersona. 2011. [Электронный ресурс] URL: gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru (дата обращения: 01.06.2025)

[*6*] Otsu, N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, Vols. Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-9, no. 1, 1979

[*7*] Suzuki S., Abe K. Topological structural analysis of digitized binary images by border following. Comput. Vis. Graph. Image Process. 1985, 30 (1) pp. 32—46

[*8*] Kass M., Witkin A. Analyzing oriented patterns. Comput. Vis. Graph. Image Process. 1987, 37 (3) pp. 362—385

[*9*] Olsen M., Xu H., Busch C. Gabor Filters as Candidate Quality Measure for NFIQ 2.0, in Proceedings of the 5th IAPR International Conference on Biometrics (ICB), 2012

[*10*] Daugman J. Uncertainty relation for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimized by two-dimensional visual cortical filters, Vol. 2, 1985

УДК 004.93’1:006.89:006.354 ОКС 35.240.15

Ключевые слова: биометрия, качество биометрического образца, данные изображения отпечатка пальца, показатель качества, качество изображения отпечатка пальца

Редактор *М.В. Митрофанова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.Д. Дульнева*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 28.01.2026. Подписано в печать 24.02.2026. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,18. Уч.-изд. л. 3,55.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru