Метод параллельных цепей для распознавания дактилоскопических изображений

Гудков Владимир Юльевич
Челябинский Государственный Университет, Челябинск, Россия
Diana@Sonda.ru

Аннотация

В работе предлагается метод измерения направлений светотеней линий дактилоскопических изображений, устойчивый к изменению ширины линий и просветов, разрывам линий и другим дефектам изображения. Результатом применения метода является поле направлений, снабженное достоверностью и отражающее ориентацию двух параллельных теневых или световых линий.

Ключевые слова: *Отпечаток пальца, поле направлений, светотени, параллельные цепи.*

1. ВВЕДЕНИЕ

В компьютеризированных системах (КС) идентификацию изображений, как правило, выполняют после обработки изображений [1-3, 5]. При этом ошибки обработки напрямую влияют на величины ошибок идентификации [6]. Вследствие этого ошибки обработки изображения необходимо минимизировать.

При распознавании дактилоскопических изображений (ДИ) выделяют признаки, формирующие структуру самого ДИ. К таким основным признакам, согласно [7], относят: поле направлений линий, поле плотности линий и поле качества линий в виде матриц, размерность которых определяется сегментацией ДИ. В ячейку каждой такой матрицы записывают локально вычисленное значение признака (яркость, контрастность, градиент) [5]. Это случайная функция двух аргументов (координат), значение которой неизвестно до исхода эксперимента. Очевидно, что случайные поля [4], генерируемые обработкой, определяются распределением яркостей точек ДИ.

На рис. 1 представлено ДИ с дефектами, увеличивающими ошибки идентификации [6]. Это вынуждает разработчиков КС применять новые методы распознавания [2].

Рис. 1: Изображение отпечатка пальца

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Изображение как множество действительных чисел формируют в виде $F = \{f(x,y) \mid (x,y) \in X \times Y\}$ в прямоугольной области G мощностью $|G| = x_0 y_0$, где $X = 0..x_0 - 1$ и $Y = 0..y_0 - 1$. Структурно обработку изображения представляют в виде пирамиды $\Re$ слоев (препаратов изображения) из взаимосвязанных иерархий [5]. Сегментация l-го слоя k-й иерархии $F_k^{(l)}$ разбивает слой на $x_h y_h$ непересекающихся квадратных сегментов $S_{hk}^{(l)}(x,y)$ с длиной стороны 2^{h-k} и вершинами $(x,y) \in X_h \times Y_h$, где $k < h$ и h – номер иерархии; $X_h = 0..x_h - 1$ и $Y_h = 0..y_h - 1$. Доступ к каждой точке сегмента $S_{hk}(x,y)$ записывают в координатах $(u,v) \in \overline{X}_{hk} \times \overline{Y}_{hk}$:

$$\begin{cases} \overline{X}_{hk} = & \{u + x2^{h-k} \mid x \in X_h \wedge u \in 0..2^{h-k} - 1\}, \\ \overline{Y}_{hk} = & \{v + y2^{h-k} \mid y \in Y_h \wedge v \in 0..2^{h-k} - 1\}, \end{cases} \quad (1)$$

а центры сегментов $(u,v) \in \hat{X}_h \times \hat{Y}_h$ находят в виде

$$\begin{cases} \hat{X}_h = & \{2^{h-1} + x2^h \mid x \in X_h\}\}, \\ \hat{Y}_h = & \{2^{h-1} + y2^h \mid y \in Y_h\}\}. \end{cases} \quad (2)$$

Для формализации методов классификационного анализа (КА) применяют аппарат апертур. Прямолинейные щелевые $A_h(x,y,\alpha,w)$ и точечная $A_h^o(x,y,\alpha,w)$ апертуры как множества точек и углов в виде элементов упорядоченных троек (u,v,β) определяют по формулам:

$$\begin{cases} A_h(x,y,\alpha,w) = \{(u,v,\beta) = (x + w_x, \, y + w_y, \beta) \mid w \in Z_w\}, \\ A_h^o(x,y,\alpha,w) = \{(u,v,\beta) = (x + w_x, \, y + w_y, \beta) \mid w \in Z_w^o\}, \end{cases} \quad (3)$$

где $w_x = w\cos(\alpha)$ и $w_y = w\sin(\alpha)$; $(x,y) \in X_h \times Y_h$ – центр апертуры; $(u,v) \in X_h \times Y_h$ – точка апертуры; w – размер апертуры; множества $Z_w = 1..w$ и $Z_w^o = w$; α – угол направления апертуры. Угол, определяющий направление из центра (x,y) в точку (u,v) апертуры, находят в виде

$$\beta = \text{arctg}\left(\frac{v-y}{u-x}\right) + \pi n \text{ при } n \in 0..1 .$$

Алгоритмы движения по точкам ДИ задает отношение

$$R = \{(x_d, y_d) \mid d \in 0..7\}, \quad (4)$$

полного строгого порядка по направлению движения d в 8-связанной области, где $(1,0)$ есть элемент для $d = 0$.

Отношение R определяет функцию перехода $T_h^d(x,y)$ в h-й иерархии в направлении d. Функция описывает смещение как отдельной точки с координатами $(x,y) \in X_h \times Y_h$, так и синхронное смещение множества точек в виде

$$T_h^d(\{(x,y)\}) = \{(a,b) = (x + x_d, y + y_d) \mid (a,b) \in X_h \times Y_h\}. \quad (5)$$

Задача заключается в построении помехоустойчивого метода измерения полей направлений ДИ с опорой на формальный аппарат (1-5).

Измерение полей направлений является частью общей задачи обработки ДИ, представляемой в виде последовательности процедур и функций, сгруппированных поэтапно, очередность выполнения которых определяется при разработке КС и реже – обучении. Это увязывает слои пирамиды $\Re$ между собой запрограммированной последовательностью отображения данных.

3. МЕТОД ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ

На основе формализма (1-5) рассматривается коррекция изображения, его сглаживание, построение светотеней и измерение полей направлений.

3.1 Коррекция изображения

Обычной процедурой КА является коррекция исходного изображения $F_0^{(0)} = \left\{ f_0^{(0)}(x,y) \right\} = \left\{ f(x,y) \right\} = F$ для обеспечения полного динамического диапазона яркостей:

$$F_0^{(1)} = \left\{ f_0^{(1)}(x,y) \right\} = \left\{ \frac{(f_0^{(0)}(x,y) - f_{\min})(2^b - 1)}{f_{\max} - f_{\min}} \right\}, \quad (6)$$

где $f_{\max}$ и $f_{\min}$ – наибольшее и наименьшее значение яркости изображения; b – глубина изображения [1]. Расчет $f_{\min}$ и $f_{\max}$ можно улучшить, опираясь на гистограмму яркостей или модулей градиента [3]. В последнем случае параметры функции (6) оценивают на этапе обучения программного объекта.

3.2 Сглаживание изображения

Данная процедура выполняется по формуле двумерной дискретной свертки

$$F_0^{(2)} = \left\{ f_0^{(2)}(x,y) \right\} = \left\{ \mathbf{H} ** f_0^{(1)}(x,y) \right\} \quad (7)$$

с ядром вида

$$\mathbf{H} = [h(i,j)] = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}.$$

Такая фильтрация применяется для расфокусировки изображения, преимущественно краев линий [1, 3]. Это улучшает результаты КА, особенно для изображений, снятых с ксерокопий и содержащих обедненный состав серого цвета. Утверждать, что сглаживание исходного изображения может увеличить ошибки распознавания изображения при его обработке не следует, так как слои $F_0^{(0)}$, $F_0^{(1)}$, $F_0^{(2)}$ одновременно хранятся в памяти машины, а функции КА имеют доступ к любому слою пирамиды .

3.3 Построение светотеней

Сглаженный слой по формуле (7) служит основой для формирования слоев светотеней $F_0^{(d+3)} = \{ f_0^{(d+3)}(x,y) \}$ по формуле двумерной дискретной свертки

$$F_0^{(d+3)} = \mathbf{H}^d ** F_0^{(2)}, \quad (8)$$

где $d \in D = 0..3$ – четыре направления засветки изображения через $45°$; $\mathbf{H}^d$ –маски Собела [5] в виде

$$\mathbf{H}^0 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \ \mathbf{H}^1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}, ..., \ \mathbf{H}^3 = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{bmatrix}.$$

Четыре слоя светотеней, вычисленные для ДИ, показаны на рис. 2. Нулевая реакция окрашена серым цветом, положительные значения светлее, а отрицательные – темнее.

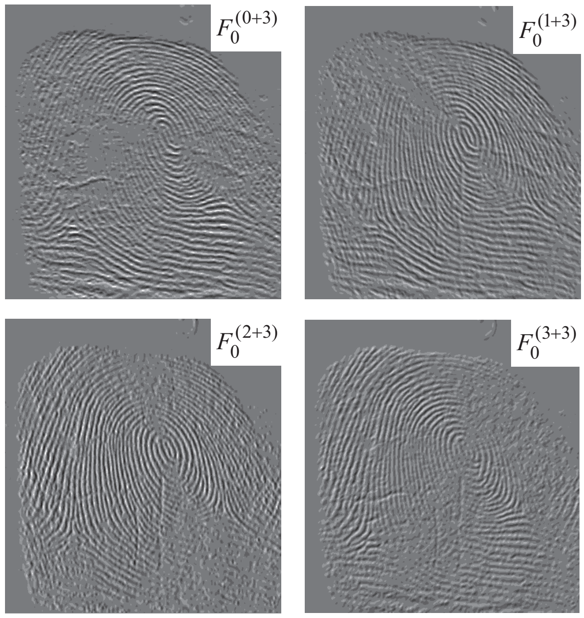

Рис. 2: Четыре слоя светотеней

3.4 Измерение полей направлений

Направление линии, по сути, близко к ориентации простой окрестности [5]. Поскольку светотени преимущественно формируются границами линий, применим метод локального адаптивного параллельного сканирования указанных слоев вдоль путей «тени» и «света» в качестве базовой оценки матриц направлений. Выполняемая процедура для направления $d \in D = 0..3$ реализует отображение

$$\Gamma : \{S_h^{(d+3)}\} \to \{\{\Delta_h\}, \{\Lambda_h\}\},$$

где $S_h^{(d+3)} = \{S_h^{(d+3)}(u,v) \mid (u,v) \in \hat{X}_h \times \hat{Y}_h\}$ – множество сегментов с центрами по (2) слоев $F_0^{(d+3)}$; $\Delta_h = \left[\delta_h(x,y)\right]$ – слой F_h как матрица направлений на сегментах изображения S_h с углами $0 \le \delta_h(x,y) < \pi$; $\Lambda_h = \left[\lambda_h(x,y)\right]$ – слой как матрица достоверностей Λ_h для матрицы направлений Δ_h; h – номер иерархии, на которой отображаются случайные поля, и $h \in H = 2..n$. Измерения выполняются в двух каналах, означенных символом $k \in \{0,1\}$: 0 – канал «тени» и 1 – канал «света».

3.4.1 Первый этап. Первый этап фиксирует для каждого базового сегмента и заданного направления d четыре позиции:

$$\begin{cases} p_q^{lk} = (x_q^{lk}, y_q^{lk}) \in P^{lk}, \\ p_q^{rk} = (x_q^{rk}, y_q^{rk}) \in P^{rk}, \end{cases} \tag{9}$$

где q – длина цепи; $k \in \{0,1\}$ – метка канала «тени» и «света»; l и r – метки левой и правой позиции; (x, y) – координаты; P – цепь. Цепи формируются в слоях $F_0^{(d+3)}$ как выделенные последовательности точек $\{p_i = (x_i, y_i)\}$ в направлении $s \in G = \{d+1, d+2, d+3\}$, которое в среднем перпендикулярно направлению засветки . Суммирование выполняют по модулю 8. Эти отсчеты соответствуют четырем простым цепям на точках изображения, как на вершинах графа. Две простые цепи для «тени» и две простые цепи для «света» P^{lk} и P^{rk} в процессе движения развиваются независимо:

$$\begin{cases} P^{lk} = \{p_i^{lk} = (x_i^{lk}, y_i^{lk}) \mid i \in 0..q \wedge p_0^{lk} = p^l\}, \\ P^{rk} = \{p_i^{rk} = (x_i^{rk}, y_i^{rk}) \mid i \in 0..q \wedge p_0^{rk} = p^r\}, \end{cases} \tag{10}$$

где $k \in \{0,1\}$ – метка канала; – длина цепи; $p^l = (x^l, y^l)$ и $p^r = (x^r, y^r)$ – две стартовые точки для левых и правых простых цепей. Обычно стартовые точки p^l и p^r располагаются в соседних сегментах. Они для сегментов $S_h^{(d+3)}$ с центрами $\{(u,v) \in \hat{X}_h \times \hat{Y}_h\}$ по (2) при $h = 2$ определяются методом переноса точки (u,v) в направлении и зеркальном ему $\overline{d} = d + 4$ (суммирование по модулю 8) в апертуре по (3):

$$\begin{cases} \{(x^l, y^l)\} = \{A_0^{\circ}(u, v, 45d, t) \mid (u,v) \in \hat{X}_h \times \hat{Y}_h\}, \\ \{(x^r, y^r)\} = \{A_0^{\circ}(u, v, 45\overline{d}, t) \mid (u,v) \in \hat{X}_h \times \hat{Y}_h\}, \end{cases}$$

где t – расстояние, на которое переносится точка из центра сегмента (в реализации $t \in 4..7$). Точка остается в центре сегмента, если при переносе ее координаты выходят за границы изображения.

Независимое развитие четырех простых цепей и определяется формулой

$$f_0^{(d+3)}(x_i, y_i) = f_0^{(d+3)}(T_0^s(x_{i-1}, y_{i-1})), \tag{11}$$

где $i > 0$; $d \in D = 0..3$ – направление засветки; $T_0^s(.)$ – функция перехода по (5); s – направление для функции перехода как аргумент выражения

$$s = \begin{cases} \arg\max\limits_{G}(f_0^{(d+3)}(x_i, y_i)) & \text{при } k = 0, \\ \arg\min\limits_{G}(f_0^{(d+3)}(x_i, y_i)) & \text{при } k = 1. \end{cases}$$

Итак, на каждом шаге развития цепи путь исследуется. Графы функций переходов показаны на рис. 3.

Этап фиксирует в каждом сегменте для текущего направления четыре позиции, точность определения которых существенна. Поэтому величина выбирается оптимальной по критерию: рост приводит к увеличению времени обработки, уменьшение снижает точность определения направлений даже на плавных линиях из-за наличия на ДИ пор, складок, залипаний, рыхлого фона старой бумаги и т.д. Для диагональных направлений выбирают целую часть величины $q' = q \cdot 0{,}707$.

Дополнительная оптимизация выполняется шевелением точек p^l и p^r в виде четырех шагов: шаг в направлении , два шага в направлении $\overline{d}$ и еще шаг в направлении по (11). При этом точки и расщепляются и образуются не две, а четыре стартовые точки для развития четырех независимых простых цепей аналогично (10).

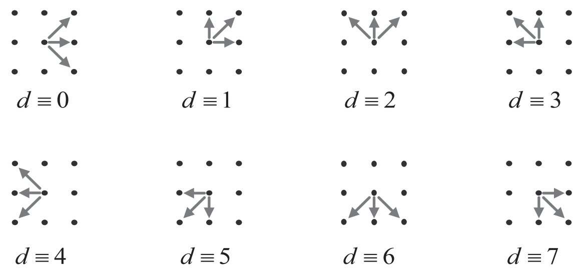

Рис. 3: Графы функций переходов T^d для $d \in 0..7$

3.4.2 Второй этап. На сегментах S_h измеряются параметры направлений. Из цепей по (10) зададим два множества $P^k = \{p^{lk}, p^{rk}\} = \{p_q^{lk}, p_q^{rk}\}$, . Каждое множество содержит две точки для «тени» либо две точки для «света». Расчет сводится к выделению в слоях $F_0^{(d+3)}$ по (8) отсчетов, отвечающих последовательностям точек в направлении $s \in \overline{G} = \{d+5, d+6, d+7\}$. Множество $\overline{G}$ по направлениям зеркально множеству G, а суммирование выполняют по модулю 8. Выбор направлений из $\overline{G}$ позволяет прослеживать светотени в направлении, обратном предшествующему этапу. Выделенные точки формируют две простые параллельные цепи для «тени» и две простые параллельные цепи для «света», причем параллельные цепи формируются одинаковой функцией перехода на каждом шаге:

$$\begin{cases} \overline{P}^{lk} = \{p_i^{lk} = (x_i^{lk}, y_i^{lk}) \mid i \in q..3q\}, \\ \overline{P}^{rk} = \{p_i^{rk} = (x_i^{rk}, y_i^{rk}) \mid i \in q..3q\}, \end{cases} \tag{12}$$

где $k \in \{0,1\}$; $3q - q$ – длина цепи; l и r – метки левой и правой цепи. Синтез на решетке двух копий простых параллельных цепей определяется условием

$$f_0^{(d+3)}(x_i, y_i) = f_0^{(d+3)}(T_0^s(x_{i-1}, y_{i-1})), \qquad (13)$$

где $T_0^s(.)$ – функция перехода по (5); начала цепей $(x_q, y_q) \in P^k$; s – направление движения для функции перехода как аргумент выражения

$$s = \arg \psi_G^k (f_0^{(d+3)}(x_i^l, y_i^l), f_0^{(d+3)}(x_i^r, y_i^r))$$

с функцией

$$\psi_G^k(a,b) = \begin{cases} \min\limits_{s \in G} \max(a,b) & \text{при } k = 0, \\ \max\limits_{s \in G} \min(a,b) & \text{при } k = 1 \end{cases}$$

исследования пути на каждом шаге развития цепей.

Для определения направлений «тени» и «света» на сегменте $S_h^{(d+3)}(u,v)$ при рассматриваемых засветках изображения используются пары точек (p_q^{lk}, p_{3q}^{lk}) или (p_q^{rk}, p_{3q}^{rk}) нулевой иерархии. Связанные с ними направления $\delta_h^{(dk)}(x,y) \in F_2$ для заданного направления d определяются по формуле для левой (или правой) цепи:

$$\delta_h^{(dk)}(x,y) = \left(\operatorname{arctg}\left(\frac{y_q^{lk} - y_{3q}^{lk}}{x_q^{lk} - x_{3q}^{lk}} \right) + \pi n \right) \bmod \pi \quad \text{при } n \in 0..1\,. \quad (14)$$

Действительно, выбор точек для расчета направлений цепей $\overline{P}^{lk}$ или $\overline{P}^{rk}$ не имеет значения, так как цепи канала k параллельны. Показателем достоверности такого решения могут служить величины $\lambda_h^{(dk)}(x,y) \in F_h$, собираемые в слоях данных:

$$\lambda_h^{(dk)}(x,y) = \frac{1}{q} \left| \sum_{i=q}^{3q} \psi^k (f_0^{(d+3)}(x_i^{lk}, y_i^{lk}), f_0^{(d+3)}(x_i^{rk}, y_i^{rk})) \right|, \quad (15)$$

где точки $f_0^{(d+3)}(x_i, y_i)$ выбираются по (13); в -м канале функция выбора точек из параллельных цепей находится в виде

$$\psi^k(a,b) = \begin{cases} \max(a,b) & \text{при } k = 0, \\ \min(a,b) & \text{при } k = 1; \end{cases}$$

и – метки левой и правой цепей. Достоверность λ_h можно рассматривать как аналог вероятности, отображенной на шкалу $0 - 2^b$ при глубине b изображения.

Итак, из двух параллельных цепей выбирается одна, а ее начальная и конечная вершины определяют направление как угол. Достоверность направления оценивается величинами, которые накапливаются в процессе развития цепей. Эти величины выбираются из двух параллельных цепей как значения, наименее отклоняющиеся от нуля. Выбор выполняется на каждом шаге развития цепей и напоминает корреляцию цепей, синтезируемых при движении по критерию (13).

Две независимые цепи по (10), две параллельные цепи (выделены) по (12) и перенос центра сегмента (пунктир) представлены на рис. 4.

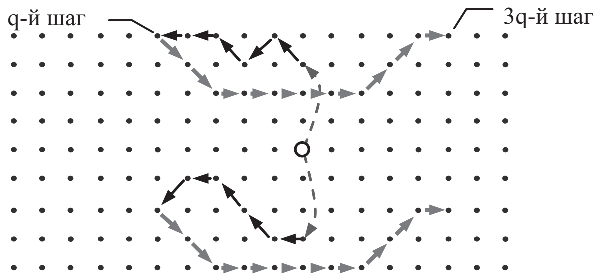

Рис. 4: Граф цепей для $d = 2$, $G = \{3,4,5\}$ в слое «тени»

Важность процедуры сглаживания изображения (7) очевидна. Она обеспечивает плавность перепадов яркостей точек. Без этого точность измерений ухудшается.

3.4.3 Третий этап. На третьем этапе оптимизируются элементы матриц на базовых сегментах S_h для заданного $d \in D = 0..3$ повторением этапов 1–2. Заметим, что движение на втором этапе производится в секторе, зеркальном сектору первого этапа. И хотя длина цепи первого этапа вдвое короче длины цепи второго этапа, цепи, казалось бы, должны центрироваться на сегменте. На самом деле это не происходит, цепи отклоняются, измерения в направлении не совпадают с измерениями в противоположном направлении $\bar{d} = d + 4$. Но направления и $\bar{d}$ равноправны и можно выбрать для «тени» и «света» наилучшее по достоверности измерение.

Оптимизация сводится к вычислению в слоях F_h восьми матриц направлений

$$\Delta_h^{(dk)} = \left[\delta_h^{(dk)}(x,y) \right] \qquad (16)$$

и соответствующих им восьми матриц достоверностей

$$\Lambda_h^{(dk)} = \left[\lambda_h^{(dk)}(x,y) \right] \qquad (17)$$

при $k \in \{0,1\}$. При этом в вершину каждого сегмента $S_h^{(d+3)}$ слоя $F_h^{(d+3)}$ записываются собственно направления

$$\delta_h^{(dk)}(x,y) = \delta_h^{(\vartheta(x,y,k)k)}(x,y)$$

и соответствующие им достоверности

$$\lambda_h^{(dk)}(x,y) = \lambda_h^{(\vartheta(x,y,k)k)}(x,y),$$

где направление

$$\vartheta(x,y,k) = \arg \max_{\{d,\bar{d}\}} (\lambda_h^{(dk)}(x,y), \lambda_h^{(\bar{d}k)}(x,y)); \qquad (18)$$

$\vartheta(x,y,k) \in \{d, \bar{d}\}$.

Направление $\vartheta(x,y,k)$ максимизирует достоверность. Пусть графы цепей такие, как на рис. 4. Изменим направление на противоположное ему . Несмотря на совпадение отсчетов

$\{p^l, p^r\}$, вычисляемых по (10), графы независимых цепей, вероятно, изменятся, вследствие чего и граф параллельных цепей тоже изменится. Тогда матрицы направлений и их достоверностей оптимизируются. Экспериментально обнаружено, что выбор по (18) улучшает результаты КА.

3.4.4 Четвертый этап. Это процедура перколяции [2, 5] матриц (16), (17) для направления d с иерархии измерений $h = \min(H)$ на более высокие иерархии пирамиды $\Re$. Процедура сводится к рекурсивному вычислению по иерархиям в векторных пространствах восьми матриц направлений

$$\Delta_h^{(dk)} = \left[\delta_h^{(dk)}(x,y)\right] = \left[\frac{1}{2}\left(\operatorname{arctg}\left(\frac{im_{h-1}^{(dk)}}{re_{h-1}^{(dk)}}\right) + \pi n\right)\right] \tag{19}$$

при $n \in 0..1$ и восьми матриц достоверностей

$$\Lambda_h^{(dk)} = \left[\lambda_h^{(dk)}(x,y)\right] = \left[\kappa\sqrt{\left(re_{h-1}^{(dk)}\right)^2 + \left(im_{h-1}^{(dk)}\right)^2}\right], \tag{20}$$

где $k \in 0..1$ – номер канала; иерархия $h \in H = 2..n$; направление $d \in D = 0..3$. Действительная и мнимая части векторов для сегмента $S_{h\,h-1}(x,y)$ определяются по модели сложения векторов с величинами модуля $\lambda_{h-1}^{(dk)}(x,y)$ и аргумента $\delta_{h-1}^{(dk)}(x,y)$ в виде

$$re_{h-1}^{(dk)} = \sum_{(u,v)\in G} \lambda_{h-1}^{(dk)}(u,v)\cos(2\delta_{h-1}^{(dk)}(u,v)),$$
$$im_{h-1}^{(dk)} = \sum_{(u,v)\in G} \lambda_{h-1}^{(dk)}(u,v)\sin(2\delta_{h-1}^{(dk)}(u,v)),$$

где $G = \overline{X}_{h\,h-1} \times \overline{Y}_{h\,h-1}$ – множество точек сегмента по (1); аргумент $\delta_{h-1}^{(dk)}(u,v)$ удваивается для расширения полуплоскости $[0,\pi)$ до плоскости $[0,2\pi)$ [5, 7]; κ – коэффициент нормировки векторов из G вида

$$\kappa = \frac{\max\limits_{(u,v)\in G} \lambda_{h-1}^{(dk)}(u,v)}{\sum\limits_{(u,v)\in G} \lambda_{h-1}^{(dk)}(u,v)}.$$

Результат сложения векторов запоминается в вершине сегмента. Данные жестко привязаны к координатам ДИ на разных уровнях пирамиды . Коэффициент нормировки масштабирует достоверность $\lambda(x,y)$, которая при $h > 2$ как мера когерентности направлений достигает максимально возможной величины для идеальной локальной ориентации, а для изотропной структуры она равна нулю [5].

3.4.5 Пятый этап. Выполняется отбор направлений на сегментах $S_h^{(d+3)}$. Формально алгоритм реализуется последовательным выбором в каналах направлений из $D = 0..3$ для иерархии $H = 2..n$ итерационно $h = \min(H) \Rightarrow H = H \setminus \{h\}$ по формулам

$$\Delta_h = \left[\delta_h(x,y)\right] = \left[\delta_h^{(\vartheta(x,y)k)}(x,y)\right], \tag{21}$$

$$\Lambda_h = \left[\lambda_h(x,y)\right] = \left[\lambda_h^{(\vartheta(x,y)k)}(x,y)\right], \tag{22}$$

где $k \in 0..1$ и $\vartheta(x,y,k) \in D$ – направление-победитель на отдельном сегменте иерархии h – определяются в виде пары

$$(\vartheta(x,y)k) = \arg\max_{k\in 0..1}\max_{d\in D} \lambda_h^{(dk)}(x,y).$$

Направления покрывают все многообразие ориентаций папиллярных линий $0 \le \delta < \pi$ при равноправном выборе направлений и $\overline{d}$ по (18) для простых окрестностей. Матрицы $\{\Delta_h\}$, $\{\Lambda_h\}$ содержат наиболее правдоподобные направления из каждого канала, но необязательно корректные. Здесь для каждой иерархии $h \in H$ формируется 18 слоев: $\{\Delta_h^{(dk)}\}, \{\Delta_h\}, \{\Lambda_h^{(dk)}\}, \{\Lambda_h\}$, где $d \in 0..3$; .

На этом заканчивается измерение полей направлений ДИ.

Матрицы направлений и величин их достоверностей показаны на рис. 5-7.

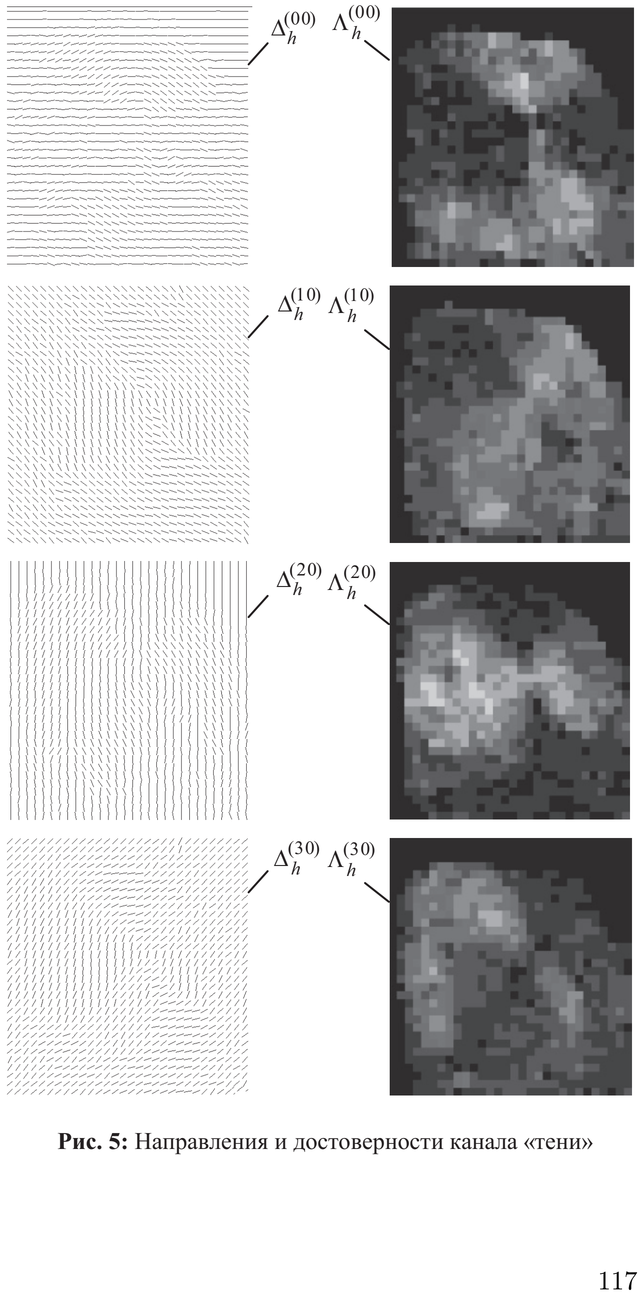

Рис. 5: Направления и достоверности канала «тени»

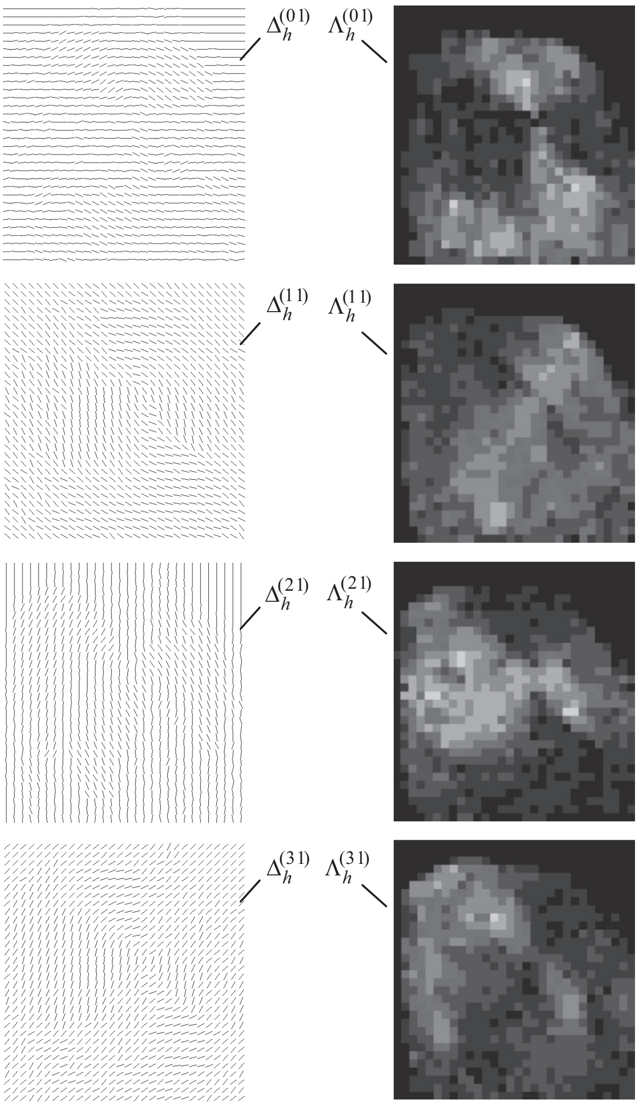

Рис. 6: Направления и достоверности канала «света»

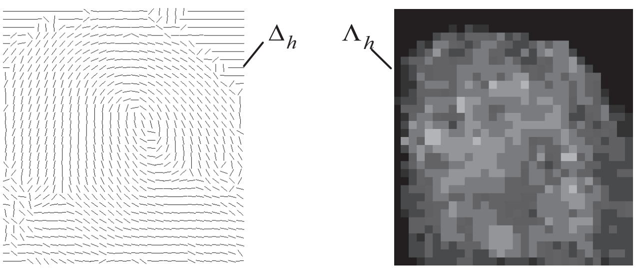

Рис. 7: Отобранные направления и достоверности

На рис 7 можно заметить, что, несмотря на дефекты ДИ, обозначенные на рис. 1, отобранные на основе максимизации достоверности направления (в виде черточек) в этих дефектных областях построены корректно.

Итак, метод измерения полей направлений основан на оценке величин отсчетов при параллельном движении в слоях светотеней, а разделение результатов КА на два канала и изобилие результатов измерений позволяет улучшить КА изображения и уменьшить ошибки обработки ДИ и, тем самым, уменьшить ошибки идентификации [6].

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен метод параллельных цепей для распознавания направлений линий на ДИ. Он базируется на формализме (1)–(5) и выполняется на основе следующих новых решений:

– отслеживание слоев светотеней на основе корреляции точек из параллельных цепей (13), зеркалирования направления движения по (16)-(18) и вероятностной оценки достоверностей направлений по (15);

– многоканальное независимое измерение полей направлений и их достоверностей согласно уравнениям (12);

– перколяцию матриц направлений и их достоверностей на более высокие иерархии пирамиды $\mathfrak{R}$ по (19, 20) в рамках пирамидальной модели;

– отбор наиболее достоверных направлений в каналах и синтез матриц более высокого качества отобранных направлений и их достоверностей по (21, 22).

Предложенный метод существенно отличается от метода простых окрестностей [5] как по точности, так и по качеству измерений.

В дальнейшем планируется развитие метода за счет применения трех параллельный цепей и присоединения к ним метода тензорного анализа простых окрестностей.

5. ССЫЛКИ

1. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс; пер. с англ.; под ред. П.А. Чочиа. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.

2. Новейшие методы обработки изображений / А.А. Потапов, А.А. Пахомов, С.А. Никитин, Ю.В. Гуляев. – М.: Физматлит, 2008. – 496 с.

3. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения / Ю.В. Визильтер, С.Ю.Желтов, А.В.Бондаренко и др. – М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.

4. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Королюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. – М.: Наука. – Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 640 с.

5. Яне, Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне; пер. с англ. А.М. Измайловой. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.

6. Bolle, R.M. Automatic fingerprint recognition systems / R.M. Bolle, N.K. Ratha. – New York: Springer-Verlag, 2004. – 458 p.

7. Maltoni D. Handbook of fingerprint recognition / D. Maltoni, D. Maio, A.K. Jain, S. Prabhakar. – London: Springer-Verlag, 2009. – 496 p

Об авторе

Гудков Владимир Юльевич – доцент Челябинского государственного университета. Его адрес: Diana@Sonda.ru.

Область научных интересов:

обработка изображений, распознавание образов, идентификация отпечатков пальцев, комплексы программ.