

УДК 004.93

ТЕХНОЛОГИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДАКТИЛОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

канд. физ.-мат. наук, доц. **Е.И. КОЗЛОВА**, Д.С. ШТУКАТЕР
(Белорусский государственный университет, Минск)

канд. техн. наук, доц. **Ю.А. ЧЕРНЯВСКИЙ**
(Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск)

Рассматривается способ кодирования и формирования сжатых аналогов дактилоскопических изображений с использованием радиального сканирования, специальной процедуры логической коррекции скелета изображения, пространственного описания расположения локальных характеристик изображения, а также топологии отпечатков пальцев и адаптивных процедур ограничения количества характеристик, требуемых в процессе сравнения изображений.

Ключевые слова: дактилоскопические изображения, локальные характеристики, радиальное сканирование, логическая коррекция.

Введение. Выбранный способ сравнения латентных отпечатков пальцев (ОП) и ОП из базы данных, во многом определяет эффективность процесса идентификации. Это, в первую очередь, относится к используемым процедурам кодирования дактилоскопических изображений (ДИ), формированию их сжатых аналогов, а также к функциональной организации и алгоритмам процесса сравнения ДИ.

При реализации кодирования сжатие информации должно сочетаться с полнотой сохранения информации о местоположении и топологии необходимого количества особых деталей (ОД) локальных характеристик (ЛХ) отпечатка. Способ кодирования выбирается с учетом используемой процедуры сравнения ОП, необходимости обеспечения определенной скорости и достоверности обработки ДИ, имеющегося объема памяти и т.д. При малом отношении сигнал/помеха в элементах всего или части кадра высокую достоверность процесса идентификации ДИ обеспечивает лишь использование большого количества ЛХ. В случаях ОП хорошего качества необходимая достоверность идентификации достигается при кодировании ДИ с минимальной избыточностью. Вне зависимости от специфических особенностей ОП важен поиск адаптивных процедур кодирования с использованием минимально возможного числа как основных, так и расширенных кодов ДИ при безусловном выполнении требований минимизации общего времени идентификации [1].

В работе рассматривается способ кодирования и формирования сжатых аналогов ДИ с использованием радиального сканирования, специальной процедуры логической коррекции скелета ДИ, пространственного описания расположения ЛХ по отношению друг к другу и в целом, а также топологии ОП и адаптивных процедур ограничения количества ЛХ, требуемых в процессе сравнения ДИ.

1. Формирование базового и расширенного кодов ОП с использованием процедуры радиального сканирования – обзора скелета ОП. Процесс кодирования функционально увязан с обследованием ОП путем сканирования скелета S ОП по часовой стрелке (рисунок). При этом используется система радиальных лучей $\{l_i\}_{i=0,n}$, где n – общее число локальных (индивидуальных) признаков ЛХ, исходящих из центра $O(X_o, Y_o)$ отпечатка (в пространстве углов $\overline{0, \pi}$) по направлениям местоположений $P_i = (X_i, Y_i)$ ЛХ Γ_i на скелете ОП. Сканирование сопровождается фиксацией координат пересечения $P_{i,j} = (x_i, y_i)$ линий скелета с лучами $\{l_i\}_{i=0,n}$, где l_0 – нулевой (дополнительный) луч, проведенный из точки $O(X_o, Y_o)$ вертикально вниз; в координате $P_{i,j}$ точки j ($j = 1, R_i$) соответствуют пересечениям луча l_i линиями скелета, R_i – количество таких пересечений при начале нумерации от центра O .

В результате вычислений, сопутствующих процессу сканирования, формируется основной (базовый) код ОП в виде системы векторов

$$C_0 = \{T_i, \theta_i, D_i, R_i\}_{i=0,n}, \quad (1)$$

где $T_0 = n$ – общее количество ЛХ;

T_1, T_2, \dots, T_n – коды типов ЛХ $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n$;

$D_i = CP_i$ – расстояние ЛХ T_i от центра O отпечатка;

R_i – число точек пересечения без учета точек пересечения P_i линиями скелета отрезка CP_i ;

$\theta_i = \angle(L_0, L_i)$ – угол между лучами L_0 и L_i , отсчитываемый по часовой стрелке.

Расстояния D_i и углы θ_i определяются по формулам:

$$D_i = \left\{ (x_i - x_o)^2 + (y_i - y_o)^2 \right\}^{1/2}, \quad (2)$$

$$\theta_i = \frac{1}{h} \left(2\pi(x_o - x_i) + \operatorname{arctg} \frac{x_i - x_o}{y_i - y_o} \right), \text{ если } y_i < y_o, \quad (3)$$

$$\theta_i = \frac{1}{h} \left(\pi + \operatorname{arctg} \frac{x_i - x_o}{y_i - y_o} \right), \text{ если } y_i \geq y_o, \quad (4)$$

где h – шаг дискретизации параметра $\theta_i \in [0, 2\pi] (i = \overline{1, n})$.

Непосредственно перед процедурой формирования кода C_0 скелет S анализируемого латентного ДИ подвергается логической коррекции [2] с целью устранения на изображении S явных несоответствий геометрических конфигураций линий их истинной топологии. Полученное после выполнения корректирующих действий изображение S является непосредственным объектом кодирования.

В процессе радиального сканирования процедуры логической коррекции скелета и формирования кода ДИ реализуются последовательностью следующих операций:

- продвижение в направлении по часовой стрелке при поточечном прохождении всех радиальных лучей, начиная с луча L_0 ;
- детектирование точек $P_i = (X_i, Y_i)$, в окрестностях которых нарушается ламинарное течение линий;
- идентификация связанных с точками $P_i = (X_i, Y_i)$ неравномерностей ЛХ; в случае выполнения процедуры логической коррекции скелета ДИ реализацией действий по логической коррекции скелета ДИ, подробно описанных в [3], формированием компонент соответствующих векторов кода при выполнении процедуры кодирования.

Существенно, что, помимо сформированной таким образом локальной топологии, выявление перечня типов T_i ЛХ и количества R_i пересечений лучей L_i линиями скелета позволяет конструировать целостные топологические модели кодируемого ОП [4].

Более полное описание пространственного расположения ЛХ относительно друг друга и, в целом, по топологии ОП дает т.н. расширенный пространственно-топологический код

$$C = C_0, C_T; \quad (5)$$

$$C_T = \left\{ \gamma_{i,j}^+, n_{i,j}^+, \gamma_{i,j}^-, n_{i,j}^- \right\}_{i=\overline{0,n}, j=\overline{1,n}}, \quad (6)$$

где $\gamma_{i,j}^+$ и $\gamma_{i,j}^-$ – коды событий $E_{i,j}^+$ и $E_{i,j}^-$, соответственно.

Эти события заключаются в том, что при обследовании скелета ДИ вдоль топологической линии от стартовой точки $P_{i,j}$ первыми ЛХ, обнаруженными на пересечении с лучами L_i в сторону по часовой стрелке, будут $\Gamma_{i,j}^-$, а в противоположном направлении – $\Gamma_{i,j}^+$ ($\Gamma_{i,j}^-, \Gamma_{i,j}^+ \in \{\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n\}$).

Порядковые номера $n_{i,j}^+$ и $n_{i,j}^-$ ($n_{i,j}^+, n_{i,j}^- \in \{1, 2, \dots, n\}$) соответствуют ЛХ $\Gamma_{i,j}^+$ и $\Gamma_{i,j}^-$.

При большом количестве используемых ЛХ $\{\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n\}$ хранение расширенного кода C в базе данных файловых ОП требует значительного объема памяти. Данный недостаток устраняется при формировании этого кода в процессе топологического обследования с помощью адаптивной процедуры топологической реконструкции. Указанная процедура ограничения числа ЛХ особенно эффективна при достаточно хорошем качестве ОП, когда кодирование ДИ возможно по небольшому набору ЛХ.

2. Алгоритм сравнения латентных и файловых дактилоскопических изображений. Процедуры сравнения латентного и отдельного файлового ДИ должны обеспечивать:

- надлежащую достоверность результатов сравнения ОП;
- относительную независимость результатов сравнения ОП, принадлежащих одному и тому же индивидууму, от изменений в допустимых пределах местоположения центральной точки;
- приемлемое время выполнения процесса сравнения ОП, включая случаи использования расширенных пространственно-топологических кодов (при необходимости посредством адаптивного изменения объемов кодов сопоставляемых ДИ).

Отмеченные характеристики достигаются при использовании многопараметрического критерия идентичности сопоставления не только местоположений различных комбинаций ЛХ, но и топологических структур ОП. Кроме этого, востребованным оказался принцип адаптивного сужения анализируемых частей ДИ до областей, обладающих достаточной степенью информативности при минимуме зон, мешающих качественному сравнению ДИ.

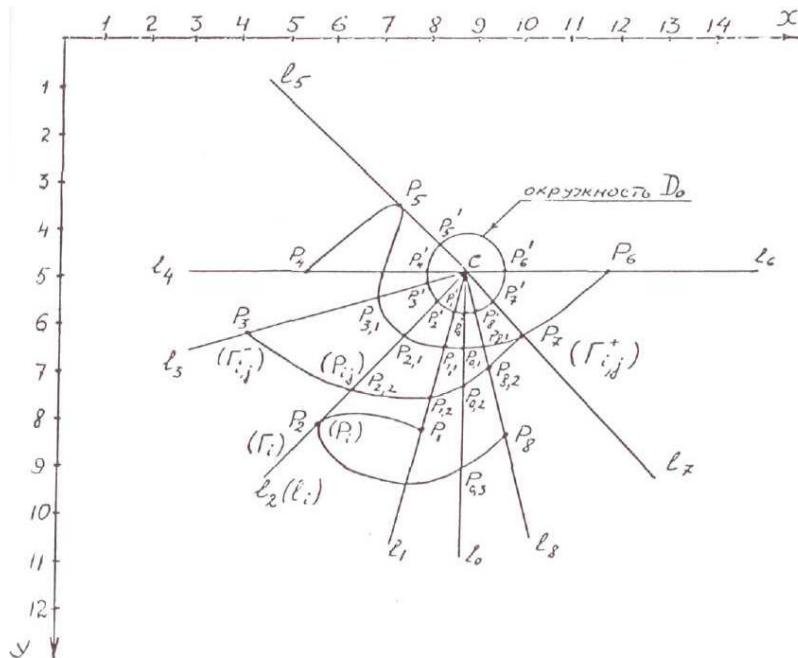


Рисунок. – Иллюстрация принципа радиального сканирования

3. Процедура сравнения латентного и файлового отпечатков. Процесс сравнения латентных и файловых ОП осуществляется в два этапа. На первом этапе формируются геометрические характеристики для ДИ S и \tilde{S} , осуществляется сравнительный анализ топологий этих ДИ для всех в окрестностях лучей l_i и \tilde{l}_k , соответственно. На втором этапе в результате процедуры сравнения для всех $i=1, n$ устанавливается мера соответствия между ЛХ Γ_i и одноименными ЛХ – кандидатами $\Gamma_{k(i)}$.

Сравниваемый латентный S и некоторый файловый \tilde{S} отпечатки задаются основными и расширенными пространственно-топологическими кодами $C = \langle C_0, C_T \rangle$ и $\tilde{C} = \langle \tilde{C}_0, \tilde{C}_T \rangle$, где:

$$C_0 = \{ \langle T_i, \theta_i, D_i, R_i \rangle \}_{i=0, n}, \tag{7}$$

$$C_T = \{ \langle C_{i,j} = \langle \gamma_{i,j}^+, n_{i,j}^+, \gamma_{i,j}^-, n_{i,j}^- \rangle \}_{i=0, n, j=1, R}, \tag{8}$$

$$\tilde{C}_0 = \{ \langle C_i = \langle T_i, \tilde{\theta}_i, D_i, R_i \rangle \}_{i=0, \tilde{n}}, \tag{9}$$

$$\tilde{C}_T = \{ \langle \tilde{C}_{i,j} = \langle \tilde{\gamma}_{i,j}^+, \tilde{n}_{i,j}^+, \tilde{\gamma}_{i,j}^-, \tilde{n}_{i,j}^- \rangle \}_{i=0, \tilde{n}, j=1, \tilde{R}}. \tag{10}$$

При этом компоненты векторов и параметры кодов в (9) и (10) имеют такой же смысл, как и соответствующие элементы, представленные в уравнениях (7) и (8). В случае наличия только основных кодов C_0 и \tilde{C}_0 процессу сравнения предшествует процедура топологической реконструкции кодов C_T и \tilde{C}_T исходных отпечатков.

Рассмотрим процедуру сравнения ОП при использовании правила формирования характеристики их сходства – некой меры сходства $Q(C, \tilde{C})$, имеющей аддитивную структуру. Сравнение латентного и файлового ДИ осуществляется в два этапа.

На первом этапе для каждой ЛХ $\Gamma_i \in \{\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n\}$ латентного ДИ S ($i = \overline{1, n}$) формируется набор

$$\langle \tilde{\Gamma}_{k_1}, \tilde{\Gamma}_{k_1}, \dots, \tilde{\Gamma}_{k_{r_i}} \rangle, \quad (11)$$

который включает все ЛХ $\tilde{\Gamma}_{k_s} \in \{\tilde{\Gamma}_1, \tilde{\Gamma}_2, \dots, \tilde{\Gamma}_{\tilde{n}}\}$ файлового ДИ \tilde{S} ($k_s \in \{1, 2, \dots, \tilde{n}\}$; $S = \overline{1, r_i}$; $r_i \geq 0$, при $r_i = 0$ набор (11) пустой; $\tilde{\Gamma}_t$ – t -я ЛХ ДИ \tilde{S} ; $t = \overline{1, \tilde{n}}$).

Локальная признак $\tilde{\Gamma}_{k_s}$ ДИ \tilde{S} является кандидатом на идентичность (одноименность) с ЛХ Γ_i ДИ S , если выполняются условия:

$$\begin{cases} \tilde{T}_{k_s} = T_k \\ |\tilde{\theta}_{k_s} - \theta_i| \leq \Delta_{y\varphi} \\ |\tilde{D}_{k_s} - D_i| \leq \Delta_p, \end{cases} \quad (12)$$

где $\Delta_{y\varphi}$ и Δ_p – принятые допуски для изменений полярных координат (соответственно угла и расстояния) одноименных ЛХ на ОП, принадлежащих индивидууму.

При условии выполнения (11) сравниваются топологии ДИ S и \tilde{S} в окрестностях лучей l_i и \tilde{l}_{k_s} соответственно. Процедура сравнения топологий данных ДИ включает сопоставление между собой углов и линейных расстояний для вторых и третьих компонентов векторов C_0 с порядковыми номерами i , $\tilde{n}_{i,j}^+$, $n_{i,j}^-$, n_{i,R_i-j}^+ , n_{i,R_i-j}^- и векторов кода \tilde{C}_0 с порядковыми номерами k_s , $\tilde{n}_{k_s,j}^+$, $n_{k_s,j}^-$, $n_{k_s,\tilde{R}_{k_s}-j}^+$, $n_{k_s,\tilde{R}_{k_s}-j}^-$. Расчетные соотношения для геометрических характеристик ДИ S и имеют следующий вид (аналогичный и для ДИ \tilde{S}):

$$\angle(L_{i,j}^+, L_i) = \theta_i - \theta_{\tilde{n}_{i,j}^+}, \quad (13)$$

$$\angle(l_{i,R_i-j}^+, l_i) = \theta_i - \theta_{\tilde{n}_{i,R_i-j}^+}, \quad (14)$$

$$\angle(l_i, L_{i,j}^-) = \theta_{\tilde{n}_{i,j}^-} - \theta_i, \quad (15)$$

$$\angle(l_i, l_{i,R_i-j}^-) = \theta_{\tilde{n}_{i,R_i-j}^-} - \theta_i, \quad (16)$$

$$\rho(\Gamma_{i,j}^+, \Gamma_i) = \left(D_{\tilde{n}_{i,j}^+}^2 + D_i^2 - 2D_{\tilde{n}_{i,j}^+} D_i \cos(\theta_{\tilde{n}_{i,j}^+} - \theta_i) \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (17)$$

$$\rho(\Gamma_{i,R_i-j}^+, \Gamma_i) = \left(D_{\tilde{n}_{i,R_i-j}^+}^2 + D_i^2 - 2D_{\tilde{n}_{i,R_i-j}^+} D_i \cos(\theta_{\tilde{n}_{i,R_i-j}^+} - \theta_i) \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (18)$$

$$\rho(\Gamma_i, \Gamma_{ij}^-) = \left(D_i^2 + D_{\tilde{n}_{i,j}^-}^2 - 2D_i D_{\tilde{n}_{i,j}^-} \cos(\theta_{\tilde{n}_{i,j}^-} - \theta_i) \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (19)$$

$$\rho(\Gamma_i, \Gamma_{i,R_i-j}^-) = \left(D_i^2 + D_{\tilde{n}_{i,R_i-j}^-}^2 - 2D_i D_{\tilde{n}_{i,R_i-j}^-} \cos(\theta_{\tilde{n}_{i,R_i-j}^-} - \theta_i) \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (20)$$

Сравнительный анализ топологий ДИ S и \tilde{S} в окрестностях лучей l_i и \tilde{l}_{k_s} заключается в проверке следующих неравенств:

$$\left| \angle(l_{i,j}^+, l_i) - \angle(\tilde{l}_{k_s,j}^+, \tilde{l}_{k_s}) \right| \leq \Delta_{y\varphi}, \quad (21)$$

$$\left| \rho(\Gamma_{i,j}^+, \Gamma_i) - \rho(\tilde{\Gamma}_{k_s,j}^+, \tilde{\Gamma}_{k_s}) \right| \leq \Delta_p^{(t)}, \quad (22)$$

$$\left| \angle(l_i, L_{i,j}^-) - \angle(\tilde{l}_{k_s}, \tilde{L}_{k_s}^-) \right| \leq \Delta_{y\varphi}, \quad (23)$$

$$\left| \rho(\Gamma_i, \Gamma_{i,j}^-) - \rho(\tilde{\Gamma}_{k_s}, \tilde{\Gamma}_{k_s,j}^-) \right| \leq \Delta_p^{(t)}, \quad (24)$$

$$\left| \angle \left(l_{i,R_i-j}^+, l_i \right) - \angle \left(\tilde{l}_{k_s, \tilde{R}_{k_s-j}}^+, \tilde{l}_{k_s} \right) \right| \leq \Delta_{yz}, \quad (25)$$

$$\left| \rho \left(\Gamma_{i,R_i-j}^+, \Gamma_i \right) - \rho \left(\tilde{\Gamma}_{k_s, \tilde{R}_{k_s-j}}^+, \tilde{\Gamma}_{k_s} \right) \right| \leq \Delta_p^{(t)}, \quad (26)$$

$$\left| \angle \left(l_i, l_{i,R_i-j}^- \right) - \angle \left(\tilde{l}_{k_s}, \tilde{l}_{k_s, \tilde{R}_{k_s-j}}^- \right) \right| \leq \Delta_{yz}, \quad (27)$$

$$\left| \rho \left(\Gamma_i, \Gamma_{i,R_i-j}^- \right) - \rho \left(\tilde{\Gamma}_{k_s}, \tilde{\Gamma}_{k_s, \tilde{R}_{k_s-j}}^- \right) \right| \leq \Delta_p^{(t)}. \quad (28)$$

В выражениях (21)–(28) приняты следующие обозначения:

– $l_{i,j}^+, l_{i,j}^-, l_{i,R_i-j}^+$ и l_{i,R_i-j}^- – лучи, идущие от центра S ОП S к точкам нахождения $\Gamma_{i,j}^+, \Gamma_{i,j}^-, \Gamma_{i,R_i-j}^+$ и Γ_{i,R_i-j}^- соответственно;

– $\tilde{l}_{k_s,j}^+, \tilde{l}_{k_s,j}^-, \tilde{l}_{k_s, \tilde{R}_{k_s-j}}^+$, $\tilde{l}_{k_s, \tilde{R}_{k_s-j}}^-$ – лучи, соединяющие центр S ОП S и соответствующие ЛХ;

– $\rho(\Gamma, \Gamma^*)$ – расстояние между точками, фиксирующими расположения ЛХ в ДИ;

– $\Delta_p^{(t)}$ ($t = 0, 1$) – допуски на флуктуации расстояния, причем $\Delta_p^{(0)} < \Delta_p^{(1)}$;

– индекс j в (21)–(24) принимает все натуральные значения от 1 до $\min \{R_i, \tilde{R}_{k_s}\}$, а в (25)–(27) –

все натуральные значения от 0 до $\min \{R_i, \tilde{R}_{k_s}\} - 1$.

В каждом случае констатации выполнения условий (21), (23), (25) и (27) при жестком допуске Δ_{yz}^0 мера одноименности ЛХ Γ_i и $\tilde{\Gamma}_{k_s}$, которой присваивается начальное значение $q_{i,k_s} = 0$, наращивается на заданный вес $w(q_{i,k_s} + w)$.

Если при жестком допуске Δ_p^0 оказывается справедливым какое-либо из условий (22), (24), (26) или (28), то текущее значение меры идентичности q_{i,k_s} ЛХ Γ_i и $\tilde{\Gamma}_{k_s}$ увеличивается на вес $w_p^{(0)}$, соответствующий этому допуску: $q_{i,k_s} + w_p^{(0)}$. Когда это неравенство выполняется при менее жестком допуске $w_p^{(1)}$, значение меры идентичности q_{i,k_s} увеличивается на данный вес $w_p^{(1)}$.

В итоге анализа выполнения условий (21)–(28) при всех возможных значениях j и использовании процедуры адекватной коррекции величины q_{i,k_s} определяется итоговая мера одноименности ЛХ Γ_i и $\tilde{\Gamma}_{k_s}$

$$q_{i,k_s} = w_0 + v_{i,k_s} w_{yz} + v_{i,k_s} w_p^{(0)} + v_{i,k_s} w_p^{(1)}, \quad (29)$$

где v_{i,k_s} – общее количество случаев выполнения неравенств вида (21), (23), (25) и (27);

$v_{i,k_s}^{(0)}$ – общее количество выполнения условий (22), (24), (26) и (28) при жестком допуске на флуктуации расстояния Δ_p^0 ;

$w_p^{(1)}$ – количество выполнения условий (22), (24), (26) и (28) для других допусков.

Используя выражение (29), из множества пар ЛХ (Γ_i и $\tilde{\Gamma}_{k_s}$ ($s = \overline{1, r_i}$)) выбирают пару ЛХ, соответствующую максимальному значению $q_{i,k(i)}$, где $k(i) \in \{k_1, k_2, \dots, k_{r_i}\}$. Следствием является установление ЛХ $\tilde{\Gamma}_{k_s}$ одноименной с ЛХ Γ_i латентного ОП S .

Результатом первого этапа сравнения топологий ДИ S и \tilde{S} для всех $i = \overline{1, n}$ является установление соответствия между ЛХ $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n$ и ЛХ $\tilde{\Gamma}_{k(1)}, \tilde{\Gamma}_{k(2)}, \dots, \tilde{\Gamma}_{k(n)}$ с набором мер идентичности

$$q(C, \tilde{C}) = \left\langle \left(q_{1,k(1)}, q_{2,k(2)}, \dots, q_{n,k(n)} \right) \right\rangle. \quad (30)$$

Когда для некоторых ЛХ $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n$ файловых ОП не обнаруживаются одноименные ЛХ-кандидаты, на соответствующее место множества ЛХ $\tilde{\Gamma}_{k(1)}, \tilde{\Gamma}_{k(2)}, \dots, \tilde{\Gamma}_{k(n)}$ помещаются элементы, обозначаемые через $\tilde{\Gamma}_0$.

На втором этапе сравнения ДИ S и \tilde{S} проверяется совместимость набора ЛХ-кандидатов $\tilde{\Gamma}_{k(1)}, \tilde{\Gamma}_{k(2)}, \dots, \tilde{\Gamma}_{k(n)}$ с набором ЛХ $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n$. Признаки Γ_i ДИ S считаются совместимыми с $\tilde{\Gamma}_{k(i)}$, если для всех $j \neq i (i, j \in \{1, 2, \dots, n\})$ выполняется система неравенств

$$\left\{ \begin{aligned} & \left| \rho(\Gamma_i, \Gamma_j) - \rho(\tilde{\Gamma}_{k(i)}, \tilde{\Gamma}_{k(j)}) \right| \leq \Delta_p \\ & \left| \angle(l_i, l_j) - \angle(\tilde{l}_{k(i)}, \tilde{l}_{k(j)}) \right| \leq \Delta_{ye} \end{aligned} \right. \quad (31)$$

где
$$\rho(\Gamma_i, \Gamma_j) = \left(D_i^2 + D_j^2 - 2D_i D_j \cos(\theta_i - \theta_j) \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (32)$$

$$\rho(\tilde{\Gamma}_{k(i)}, \tilde{\Gamma}_{k(j)}) = \left(D_{k(i)}^2 + D_{k(j)}^2 - 2D_{k(i)} D_{k(j)} \cos(\theta_{k(i)} - \theta_{k(j)}) \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (33)$$

$$\angle(l_i - l_j) = |\theta_i - \theta_j|, \quad (34)$$

$$\angle(\tilde{l}_{k(i)} - \tilde{l}_{k(j)}) = |\tilde{\theta}_{k(i)} - \tilde{\theta}_{k(j)}|. \quad (35)$$

Выполнение условия (30) при каждом i , последовательно принимающем значения $1, 2, \dots, n$, проверяется только для всех $j > i$. Каждый факт выполнения для пары i, j первого (второго) неравенства системы (30) фиксируется, а текущее значение меры идентичности $q_{i,k(i)}$ (28) увеличивается на вес $w_p^{(1)}$ (w_{ye}). Итоговое значение меры идентичности для всех пар ЛХ Γ_i и $\tilde{\Gamma}_{k_s}$ ($i = \overline{1, n}$) с учетом (28) определяется выражением

$$q_{i,k(i)} = w_0 + \left(v_{i,k(i)} + v'_{i,k(i)} \right) w_{ye} + v_{i,k(i)}^{(0)} w_p^{(0)} + \left(v_{i,k(i)}^{(1)} + v_{i,k(i)}^{(2)} \right) w_p^{(1)}, \quad (36)$$

где $v_{i,k(i)}^{(1)}$ ($v_{i,k(i)}^{(2)}$) – количество случаев выполнения при данном i второго (первого) неравенства в системе (30). На этом второй этап процесса сравнения ДИ S и \tilde{S} завершается.

Для определения степени сходства ОП могут использоваться кумулятивные характеристики:

$$Q(C, \tilde{C}) = \max \left\{ q_{1,k(1)}, q_{2,k(2)}, \dots, q_{n,k(n)} \right\}, \quad (37)$$

$$Q_{c,\tilde{c}} = \sum_{i=1}^n q_{i,k(i)}. \quad (38)$$

Заключение. Достаточно трудоемкая процедура сравнения ОП гарантирует высокую достоверность идентификации дактилоскопических изображений, при этом требуемая оперативность принятия решений обеспечивается благодаря адаптивному кодированию ОП и широкому использованию традиционных цифровых методов скоростной обработки информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Туркин, А.В. Выделение локальных особенностей бинарного изображения отпечатка пальца / А.В. Туркин // Изв. высш. учеб. заведений. Электроника. – 2012. – № 1. – С. 59–66.
2. Проблемы развития теоретико-методологических и алгоритмических основ базовой технологии обработки отпечатков пальца и следов / Д.Л. Гордей [и др.] // Методы, алгоритмы и программное обеспечение гибких информационных технологий для автоматизированных идентификационных систем : сб. науч. ст. / Белорус. гос. ун-т. – Минск, 1999. – С. 18–28.
3. Кодирование дактилоскопических изображений / А.С. Боков [и др.] // Методы, алгоритмы и программное обеспечение гибких информационных технологий для автоматизированных идентификационных систем : сб. науч. ст. / Белорус. гос. ун-т. – Минск, 1999. – С. 83–90.

4. Методы и алгоритмы сравнения дактилоскопических изображений / А.С. Боков [и др.] // Методы, алгоритмы и программное обеспечение гибких информационных технологий для автоматизированных идентификационных систем : сб. науч. ст. / Белорус. гос. ун-т. – Минск, 1999. – С. 91–97.

Поступила 12.09.2019

TECHNOLOGY OF DACTYLOSCOPIC IMAGE IDENTIFICATION

E. KOZLOVA, D. SHTUKATER, Y. CHERNYAVSKY

The paper considers a method for encoding and forming compressed analogs of fingerprint images using radial scanning, a special procedure for logical correction of the image skeleton, spatial description of the location of local characteristics of the image, as well as the topology of fingerprints and adaptive procedures for limiting the number of characteristics required in the process of image comparison.

Keywords: *dactyloscopic images, local features, radial scanning, logical correction.*