

МЕТОД НЕЧЁТКОГО ПОИСКА НЕИЗВЕСТНОГО ЛИЦА ПО ФОТОПОРТРЕТУ

Каргин А.А., Григорьев А.В.

Донецкий национальный университет, г. Донецк
физический факультет
г. Донецк, Украина, E-mail: grand@silur.com

Abstract

Kargin A.A., Grigoriev A.V. The problem of finding the unknown people in database by a photo is described in this article. New method based on fuzzy comparison with the template is offered. Also new approach to detecting contour based on fuzzy sets theory is described. The results of comparison with foreign analogues are adduced.

Введение

В оперативно-розыскной работе правоохранительных органов зачастую возникает необходимость в решении задачи, связанной с поиском неизвестного человека в базе данных по его внешности, в частности, по фотопортрету. К таким задачам можно отнести поиск лиц, пропавших без вести; задач идентификации личности неизвестных участников и свидетелей преступлений, а также неопознанных трупов.

В настоящее время на территории стран СНГ используются системы криминологического учёта АДИС «Папилон» (Россия), в состав которой ходит модуль «словесное описание» [1], предполагающий занесение в БД фотографий регистрируемых лиц и информации об их внешности, и позволяющий проводить поиск по словесному описанию. В рамках системы информационной поддержки ОВД Украины действует подсистема «Пізнання» [2], которая так же позволяет проводить поиск неизвестного человека в БД по словесному описанию. Однако, обе системы не содержат модуля, позволяющего проводить поиск неизвестного лица по фотографии. В данной публикации предлагается метод автоматизированного поиска неопознанного лица в БД по фотопортрету, построенный на нечётких методах и моделях.

Постановка задачи

Задача поиска неизвестного лица в БД по фотопортрету ставится следующим образом. В базе данных хранится N изображений человеческих лиц, сделанных по правилам сигналетического (опознавательного) фото. Системе предъявляется тестовое фотографическое изображение неопознанного лица, сделанное по правилам сигналетического фото или существенно не отличающееся от него (допускаются лёгкие повороты головы, некоторые изменения эмоционального выражения лица, и т.д.). Система должна упорядочить хранящиеся в БД изображения по степени схожести с предъявляемым изображением и выдать их в порядке убывания, а окончательное решение принимает человек, работающий с системой.

Согласно своей специфике, система должна работать в режиме офф-лайн, таким образом, на систему не накладывается определённых ограничений по времени – поиск лишь должен осуществляться за разумное время. Кроме того, система предполагает работу в автоматизированном режиме, т.е. в процесс ввода информации допускается вмешательство человека, например, наряду с фото допускается ввод координат некоторых опорных точек.

Психологические и психофизические аспекты зрительного восприятия

Согласно современным знаниям о человеческом зрении [3], процесс зрительного восприятия непосредственно связан с движением. При этом установлено, что во время зрительного восприятия зрачок совершает движения трёх видов: трем (частые лёгкие колебания), плавное смещение и резкие скачки, или так называемые саккадические переходы. Третий вид движения вызывает особый интерес исследователей, работающих в области психологии восприятия и психофизики. Согласно современным знаниям, полученным на базе многочисленных экспериментов, считается, что конфигурация саккадических переходов связана с двумя факторами, а именно – с задачей, которая решается человеком в процессе зрительного восприятия и «натренированностью» зрения. Скажем, установлено, что при решении ряда задач, связанных со зрительным восприятием, взрослому человеку достаточно произвести на порядок меньшее количество саккадических переходов, нежели ребёнку.

На рис.1 изображен график, отражающий саккадические движения зрачка при выполнении задачи идентификации человеческого лица. Из приведенного изображения видно, что наибольшая плотность точек полученного графика соответствует области зрачковых, передненосовой, ротовой антропометрических точек; а так же точке, расположенной примерно посередине спинки носа. В связи с этим, выдвинута гипотеза о том, что области вокруг указанных точек несут наибольшее количество информации, достаточной для идентификации человеческого лица. В пользу выбора данных антропометрических точек также говорят знания в области габитоскопии [4]. В области данных антропометрических точек расположен ряд информативных индивидуализирующих контуров: например, контуры глазной щели, внутреннего и внешнего углов глаз, век, бровей; контуры крыльев, спинки и кончика носа; носогубного фильтра, носогубных складок; верхней и нижней каймы губ и т.д.

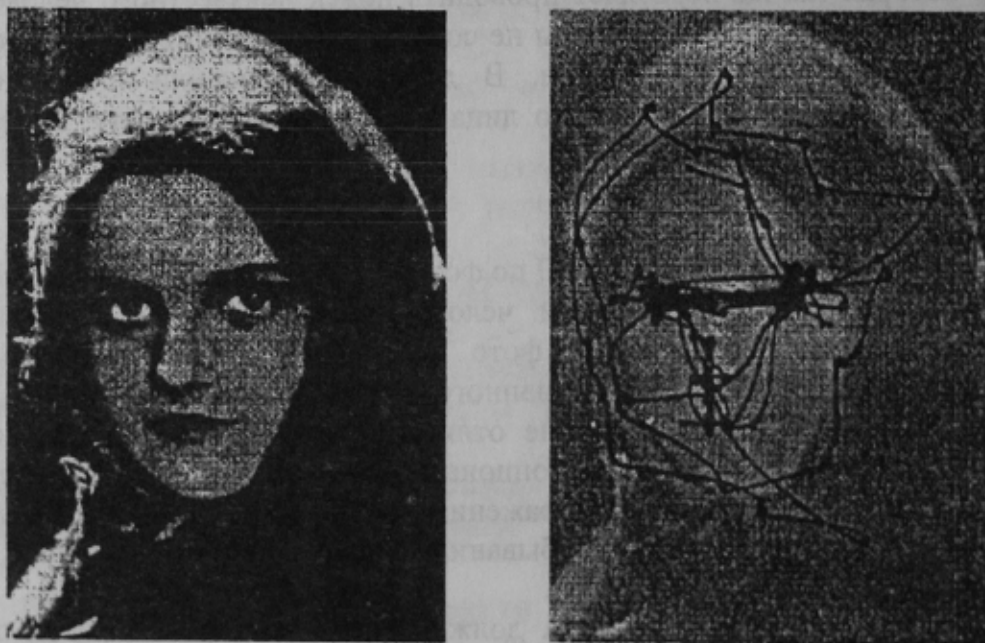


Рисунок 1 - Траектория саккадических движений зрачка при идентификации человека

Общая схема модели представления фотоизображения человеческого лица

В рассматриваемой модели исходное фотоизображение задано на пиксельной плоскости $P = \{(i, j) | i = \overline{1, N}; j = \overline{1, M}\}$ функцией яркости $f: P \rightarrow [0, 1]$. Кроме самого фотоизображения в исходные данные включены координаты правой и левой зрачковых точек; передненосовой, ротовой антропометрических точек и точки «спинка носа»

$p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 \in P$ соответственно. При этом координаты точек p_1, p_2, p_3, p_4 вводятся в автоматизированном режиме, а координата точки p_5 находится из соотношения $p_5 = \frac{1}{4}(p_1 + p_2) + \frac{1}{2}p_3$.

В основе предлагаемой модели лежит предположение, согласно которому в процессе идентификации человеческого лица наиболее важную роль играют окрестности указанных пяти точек. Данное предположение построено на основе психологических и психофизических экспериментов, и объясняется большим количеством индивидуализирующих контуров, попадающих в окрестности данных точек. В дальнейшем такие окрестности предложено называть «особыми областями». Модель особых областей задана набором моделей контрольных точек, взятых из окрестности и представленных нечёткими множествами, отражающими поведение контура в окрестностях контрольных точек.

Модель фотоизображения представляет собой набор моделей особых областей:

$$S = \langle \Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_5 \rangle; \quad (1)$$

где $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_5$ - модели особых областей правой и левой зрачковых точек; областей передненосовой, ротовой точек и области точки «спинка носа» соответственно.

Описание каждой модели Ω_k зависит от ряда параметров таких параметров как: центр особой области, задаваемый точкой $p_k \in P$; радиус области R_k и направление области Ψ_k . Последние два параметра зависят от взаимного расположения описываемой особой области относительно других особых областей, т.е. $R_k = H_k(p_1, \dots, p_5)$; $\Psi_k = \Pi_k(p_1, \dots, p_5)$, $\forall k = \overline{1, 5}$.

Радиусы особых областей предложено вычислять по следующим зависимостям: $R_1 = R_2 = \frac{1}{2} \ell_2(p_1, p_2)$, $R_3 = \frac{1}{4}(\ell_2(p_1, p_3) + \ell_2(p_2, p_3))$, $R_4 = \frac{5}{2} \ell_2(p_3, p_4)$, $R_5 = \frac{3}{2} \ell_2(p_4, p_5)$, где $\ell_2(p_i, p_j)$ - евклидово расстояние между точками p_i и p_j . Направления Ψ_k особых областей Ω_k представляют собой угол между векторами $\overline{a_k}$ и осью ординат, где $\overline{a_k} : \overline{a_1} = \overline{p_1 p_2}$, $\overline{a_2} = \overline{p_2 p_1}$, $\overline{a_3} = \overline{p_1 p_2} + \overline{p_2 p_1}$, $\overline{a_4} = \overline{p_4 p_5}$, $\overline{a_5} = \overline{p_5 p_4}$. При описании модели Ω_k k -й особой области удобнее пользоваться полярной системой координат с центром в точке p_k , единичным радиусом R_k и нулевой полярной угловой координатой, соответствующей направлению вектора $\overline{a_k}$. Евклидова (i, j) и введённая полярная (r, φ) системы координат связаны при этом выражениями: $i = i_k + R_k r \sin(\varphi + \Psi_k)$, $j = j_k + R_k r \cos(\varphi + \Psi_k)$.

Предложено оценивать нечётким множеством поведение контура в каждой из точек $\{(r_i, \varphi_j) \mid r_i = K^{1-i}; \varphi_j = 2\pi(j-1)/s, i = \overline{1, q}; j = \overline{1, s}\}$, где q и s задают размерность модели, а $K > 1$ - коэффициент смещения радиальной координаты. Обосновано, что $q = 22$, $s = 32$, $K = 1,05$. Таким образом, модель особой области представляется набором нечётких множеств, каждое из которых отражает поведение контура в окрестности контрольной точки:

$$\Omega_k = \langle \underset{\sim}{C_{11}^{(k)}}, \dots, \underset{\sim}{C_{ij}^{(k)}}, \dots, \underset{\sim}{C_{qs}^{(k)}} \rangle; \quad (2)$$

где $\tilde{C}_{ij}^{(k)}$ - нечёткое множество, задающее поведение контура в контрольной точке (r_i, φ_j) особой области Ω_k .

Нечёткие множества $\tilde{C}_{ij}^{(k)}$ строятся на базовом множестве $\Phi = \{0, 2\pi/3, 4\pi/3\}$ и имеют вид $\tilde{C}_{ij}^{(k)} = \{\phi_m | \mu(\phi_m)\}$, где $\phi_m \in \Phi$, а функция принадлежности $\mu(\phi_m)$ задаёт уверенность в том, что через контрольную точку (r_i, φ_j) особой области Ω_k проходит линия контура в направлении $\varphi_j + \phi_m$ в полярной системе координат, используемой при описании особой области Ω_k .

Нечёткое измерение направления контура и модель контрольной точки

Для описания процедуры вычисления функции принадлежности нечёткого множества $\tilde{C}_{ij}^{(k)}$ аналогично описанию модели особой области перейдём к более удобной системе координат с началом отсчёта в контрольной точке (r_i, φ_j) , нулевым направлением φ_j и единичным отрезком радиальной координаты, соответствующим размеру ε -окрестности контрольной точки (предложено выбрать ε окрестность радиусом в 4 пикселя). Связь между евклидовой (i, j) и введенной полярной (ρ, ξ) системами координат задана соотношениями: $i = i^* + \varepsilon \rho \sin(\xi + \Psi_k + \varphi_j)$, $j = j^* + \varepsilon \rho \cos(\xi + \Psi_k + \varphi_j)$, где (i^*, j^*) - координаты контрольной точки в системе координат (i, j) .

Определение 1. Пусть задано нечёткое множество $\tilde{A} \subset U$ и действительная функция $f: U \rightarrow R$. Средним значением функции f на нечётком множестве \tilde{A} будем называть выражение (3):

$$AVG_f(\tilde{A}) = (\int_{\tilde{A}} f(x) \cdot \mu_A(x) dx) / (\int_{\tilde{A}} \mu_A(x) dx); \tag{3}$$

Определение 2. Наличие контура в направлении ϕ - величина, представленная выражением (4):

$$DY_\phi = |AVG_f(\tilde{\Delta} * \tilde{\Lambda}) - AVG_f(\tilde{\Delta} * \tilde{\Lambda} * \tilde{\Theta}^+)| \vee |AVG_f(\tilde{\Delta} * \tilde{\Lambda}) - AVG_f(\tilde{\Delta} * \tilde{\Lambda} * \tilde{\Theta}^-)|; \tag{4}$$

где $\tilde{\Delta}, \tilde{\Lambda}, \tilde{\Theta}^+, \tilde{\Theta}^- \subset P$ - нечёткие области на пиксельной плоскости с функциями принадлежности, заданными выражениями (5)-(8):

$$\mu_{\tilde{\Delta}}(p) = \text{MAX}(1 - \rho^2, 0); \tag{5}$$

$$\mu_{\tilde{\Lambda}}(p) = \text{MAX}[1 - 3 \cdot \rho \sin(\xi - \phi)]^2, 0]; \tag{6}$$

$$\mu_{\tilde{\Omega}^+}(p) = \begin{cases} 1, \text{если } \text{sign}[\sin(\xi - \phi)] > 0; \\ 0, \text{если } \text{sign}[\sin(\xi - \phi)] \leq 0. \end{cases} \tag{7}$$

$$\mu_{\Omega^-}(p) = \begin{cases} 1, & \text{если } \text{sign}[\sin(\xi - \phi)] < 0; \\ 0, & \text{если } \text{sign}[\sin(\xi - \phi)] \geq 0. \end{cases} \quad (8)$$

Отметим, что хотя выражение (4) и выражает наличие контура в направлении ϕ , принимая при этом значение из диапазона $[0, 1]$, выражает лишь абсолютную разность средних освещённостей различных участков изображения, взятых из окрестности особой точки. Предложено в качестве функции принадлежности множества $C_{ij}^{(k)}$ использовать выражение (9), полученное «усилением» выражения (4) сигмоидальной функцией вида (10):

$$\mu_C(\phi) = \sigma(DY_\phi); \quad (9)$$

$$\sigma(x) = \frac{2}{1 + e^{-25x}} - 1; \quad (10)$$

Механизм поиска неизвестного лица в БД по фотопортрету

Согласно постановке задачи, системе необходимо отсортировать фотоизображения из БД по степени нечёткого соответствия образов предъявляемому образу. Степень сравнения нечётких моделей фотоизображений представлена AVG-критерием:

$$\delta^{(1)}(S, \hat{S}) = \frac{1}{5} \sum_{k=1}^5 \delta^{(2)}(\Omega_k, \hat{\Omega}_k); \quad (11)$$

где $\delta^{(2)}(\Omega_k, \hat{\Omega}_k)$ - степень нечёткого сравнения моделей особых областей. Для вычисления $\delta^{(2)}(\Omega_k, \hat{\Omega}_k)$ также использован avg-критерий (12):

$$\delta^{(2)}(\Omega_k, \hat{\Omega}_k) = \frac{1}{qs} \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^s \delta^{(3)}(C_{ij}^k, \hat{C}_{ij}^k); \quad (12)$$

где $\delta^{(3)}(C_{ij}^k, \hat{C}_{ij}^k)$ - степень сравнения моделей контрольных точек. Вычисление $\delta^{(3)}(C_{ij}^k, \hat{C}_{ij}^k)$ предложено проводить при помощи выражения (13):

$$\delta^{(3)}(C_{ij}^k, \hat{C}_{ij}^k) = 1 - \frac{\max_{\phi \in \Phi} |\mu_C(\phi) - \mu_{\hat{C}}(\phi)|}{\max_{\phi \in \Phi} (\mu_C(\phi) \vee \mu_{\hat{C}}(\phi))}; \quad (13)$$

Сравнение метода с известными западными аналогами

Для тестирования предложенного метода использовалась методика и база данных лиц FERET [5]. При оценке метода данной характеристикой, необходимо для каждого предъявляемого тестового образа отсортировать образы из БД. Если искомый образ в отсортированном списке образов из БД находится не далее, чем на i -й позиции, говорят, что он распознан по рангу i . Очевидно, можно построить неубывающую зависимость процента распознавания от ранга. Безусловно, данная характеристика, называемая CMS (cumulative

matching score), является удачной для оценки метода поиска в БД при данной постановке задачи.

Тестирование проводилось на базе данных фотопортретов, состоящей из 1196 фронтальных изображений различных людей и 1195 тестовых изображений - также различных людей. Изображения, имеющиеся в БД, не всегда в полной мере отвечают требованиям опознавательной съёмки, - имеются фотографии людей в очках; в парах изображений из БД и тестовой выборки, соответствующих одному лицу, как правило, различаются эмоциональное состояние, положение головы (допускаются лёгкие повороты головы в различные стороны). В связи с этим, условия эксперимента можно считать более жёсткими, нежели оглашено в постановке задачи. Для проведения эксперимента был написан программный модуль, реализующий формирование моделей фотопортретов и позволяющий осуществлять поиск фотопортрета в БД. Эксперимент проводился на ПК класса Pentium IV, 256Мб ОЗУ, ОС – Windows XP, средняя скорость сравнения составила 5352,9 тысяч сравнений в секунду (нечёткие модели были сформированы заранее, средняя скорость формирования составила 7,075 образов в секунду). На рис. 2 и рис. 3 приведены результаты сравнения описанного метода (dnu) с западными аналогами: Baseline Correlation (arl_cor) и Baseline Eigenface (arl_ef) от Army Research Laboratory; системы от NIST на основе eigenface, использующие различные метрики (ef_hist_dev_ang, ef_hist_dev_anm, и т.д.), excalibur от Excalibur Inc., системы от MIT Media Lab (mit_mar_95, mit_sep_96); umd (umd_mar_97) от University of Maryland и usc (usc_mar_97) от University of Southern California. Из приведенных на рисунках диаграмм видно, что предложенный метод на данном тесте превосходит по результатам все зарубежные аналоги по качеству распознавания фактически на всех рангах.

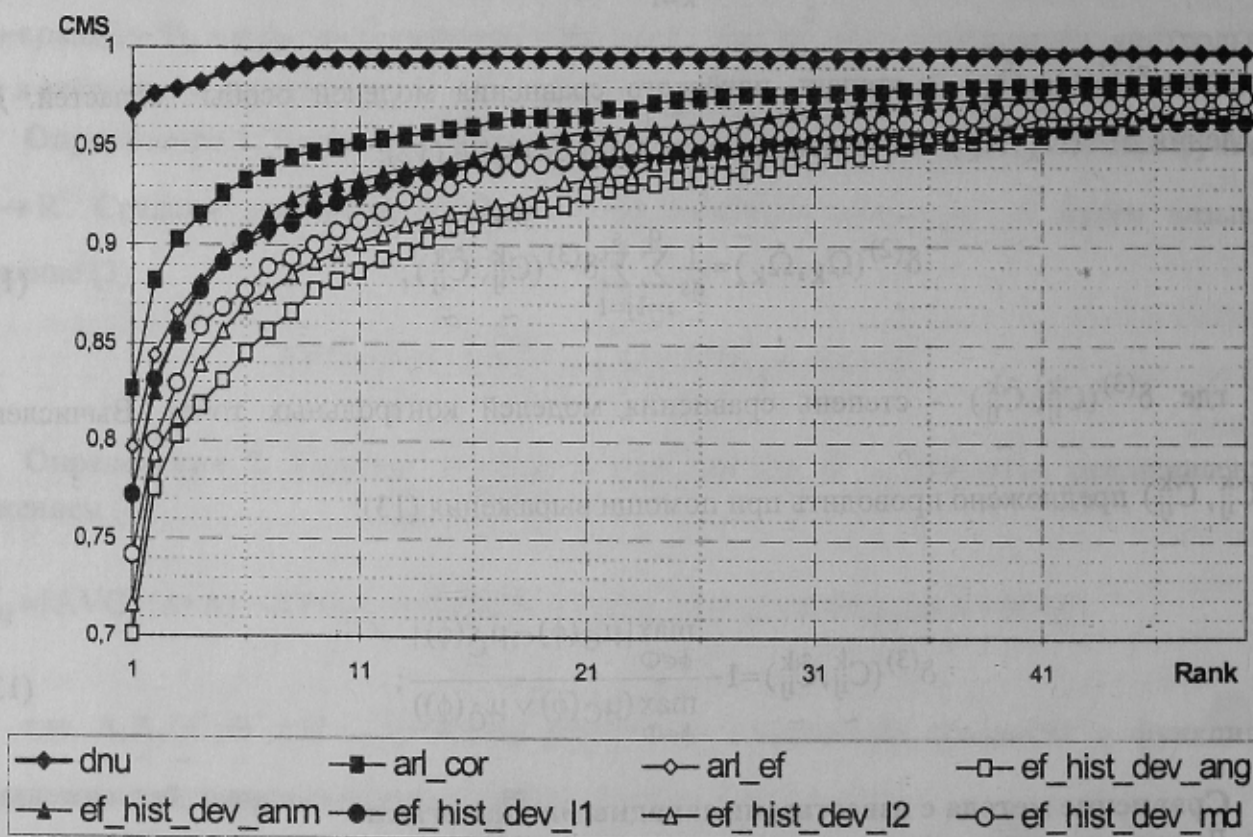


Рисунок 2 - Сравнение различных методов поиска лица в БД по фотопортрету (часть 1)

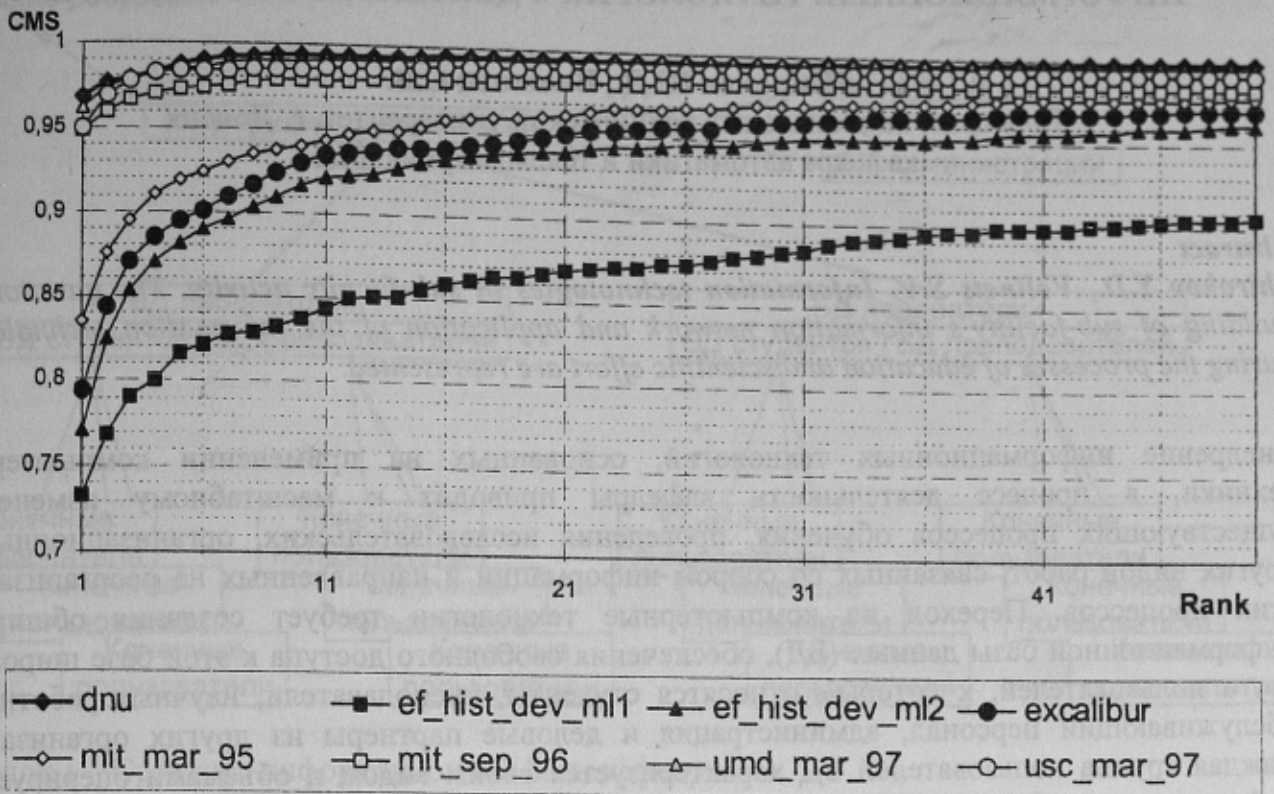


Рисунок 3 - Сравнение различных методов поиска лица в БД по фотопортрету (часть 2)

Выводы

Описанный в данной публикации метод, основанный на нечётком сравнении с эталоном, и построенный с использованием знаний в области психологии и психофизики показал свою эффективность. На приведённом тесте FERET метод показал наилучшие результаты: распознавание по первому рангу 96,82% и по 50-му рангу – 99,833%. Данный метод может быть положен в основу системы или модуля поиска неизвестного лица в БД по фотопортрету.

Литература

1. Системы Папилон, АДИС «Папилон» - Режим доступа: <http://www.papillon.ru/adis.html> – название экрана.
2. Саницкий В.А та ін. Система інформаційного забезпечення ОВС України: Навчально-практичний посібник / За ред. Л.В. Бородича. – К., Редакційно-видавничий відділ МВС України, ТОВ АНТЕКС, 2000. – 144с., іл., таб.
3. Шиффман Х. Р. Ощущение и восприятие. 5-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 928с.: ил.
4. Снетков В. А., Виниченко И. Ф., Зинин А. М., Освянникова М. Н. Криминалистическое описание внешности человека: учебное пособие/под ред. проф. В. А. Снеткова. – ВНИИ МВД СССР, 1984. – 128 с., 51 рис.
5. P. Jonathon Phillips & other, The FERET Evaluation Methodology for Face-Recognition Algorithms. Technical report NISTIR 6264. – 1999.