

ANALIZA OBRAZÓW DŁONI NA POTRZEBY BIOMETRII

Streszczenie

W artykule przedstawiono podstawy metodologiczne systemów biometrycznych opartych o analizę obrazów cyfrowych. Skupiono się na opisie metod wyznaczania cech osobniczych w obrazach odcisków palców i dłoni. Zaprezentowano autorskie podejście do analizy dłoni w warunkach swobodnego położenia dłoni względem kamery.

Abstract

The paper presents computational methods of image analysis applied in human biometric systems. Special attention is paid to fingerprint- and hand-image analysis. An original approach is proposed for the recognition of a freely located hand, coupled with a subsequent detection and matching of relative hand features.

1. WPROWADZENIE

W ostatnich latach notuje się zwiększone zainteresowanie przemysłu zastosowaniami biometrii, w tym także metodami opartymi o analizę obrazów odcisków palca, dłoni, twarzy, oka, itp. [1]. Urządzenia będące wdrożeniami tych metod można już spotkać w różnych miejscach, wszędzie tam, gdzie potrzebna jest szybka kontrola uprawnień dostępu lub identyfikacja osoby. Prace w tej dziedzinie doprowadziły do opatentowania szeregu metod identyfikacji osób na podstawie cech osobniczych wykrywanych w obrazie [2]. Jakość pracy komercyjnych urządzeń, będących wdrożeniami tych patentów nie zawsze jest zadowalająca, ale z roku na rok poprawia się.

Prawidłowe działanie wdrożonych urządzeń identyfikacji wymaga przeprowadzenia pomiaru w ściśle skalibrowanych warunkach. Szczegółowe opisy algorytmów tych urządzeń nie są publikowane. Dlatego też prace badawczo-wdrożeniowe

¹ Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Kasprzak jest kierownikiem Zakładu Inżynierii Oprogramowania w Warszawskiej Wyższej Szkole Informatyki i profesorem Wydziału Elektroniki Politechniki Warszawskiej.

w krajach nadążających dopiero za postępowaniem cywilizacyjnym polegają na rozwinięciu i przebadaniu własnych metod imitujących w działaniu nieznane aplikacje umieszczone w urządzeniach komercyjnych [3-4]. Prace naukowo-badawcze w tym zakresie koncentrują się obecnie na proponowaniu **bardziej złożonych cech** aniżeli dotychczas stosowane [2, 4], zapewnieniu bezpieczeństwa danych [5] lub na przyjęciu założeniu **elastyczności procesu pomiarowego**, tzn. braku podstawki lub formy, na której musi zostać oparta dłoń lub głowa podczas pomiaru [6-7].

2. ZASADA PRACY SYSTEMU BIOMETRYCZNEGO

Prosty wzorzec jest n-wymiarową funkcją o charakterze „elementarnym”, tzn. wyrażoną bezpośrednio w przestrzeni obrazu i/lub czasu. Różne wzorce mogą posiadać to samo znaczenie (semantykę) – mówimy wtedy, że należą one do tej samej klasy wzorców. Np. pewien zbiór funkcji wyznacza nam klasę nad n-wymiarową dziedziną [8]:

$$\Omega_r(\mathbf{x}) = \begin{pmatrix} f_{r1}(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ f_{r2}(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ f_{rm}(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

W dziedzinie cyfrowych obrazów poszczególnym funkcjom zbioru zwanego „klasą wzorca” mogą odpowiadać bloki obrazu zawierające różne instancje „tego samego” wzorca. Dla przykładu na rys. 2.1 pokazano 12 klas wzorców, do których należą różne wzorce, ale o tych samych znaczeniach.

1	5	6	7	a	f	h	q	G	O	Q	S
l	5	6	7	a	f	h	q	G	O	Q	S
1	5	6	7	a	f	h	q	G	O	Q	S
1	5	6	7	a	f	h	q	G	O	Q	S
1	5	6	7	a	f	h	q	G	O	Q	S
1	5	6	7	a	f	h	q	G	O	Q	S
1	5	6	7	a	f	h	q	G	O	Q	S
1	5	6	7	a	f	h	q	G	O	Q	S
1	5	6	7	a	f	h	q	G	O	Q	S
1	5	6	7	a	f	h	q	G	O	Q	S
1	5	6	7	a	f	h	q	G	O	Q	S
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Ω ₁	Ω ₂	Ω ₃	Ω ₄	Ω ₅	Ω ₆	Ω ₇	Ω ₈	Ω ₉	Ω ₁₀	Ω ₁₁	Ω ₁₂

Rys. 2.1. Przykład klas wzorców odpowiadających literom i cyfrom [8]

System biometryczny oparty o analizę obrazu działa na zasadzie **klasyfikatora cech** prostego wzorca (rys. 2.2). Wektor cech posiada znacznie mniejszy wymiar niż sam wzorzec. Klasyfikacja jest odwzorowaniem wektora cech w „najlepszą” klasę z punktu widzenia reguły decyzyjnej przyjętej dla klasyfikatora.



Rys. 2.2. Schemat klasyfikacji prostych wzorców

Proces uczenia klasyfikatora nosi w biometrii nazwę wprowadzania cech osobniczych (ang. „enrollment”) a klasie odpowiada jedna osoba lub grupa osób.

Zadaniem systemu biometrycznego jest:

- **Weryfikacja** – sprawdzenie, czy cechy badanego wzorca należą do cech grupy zaufanych osób (porównanie cech „jeden-do-jednego”) lub
- **Identyfikacja** – określenie osoby ze zbioru znanych osób (porównanie cech „jeden-do-wielu”).

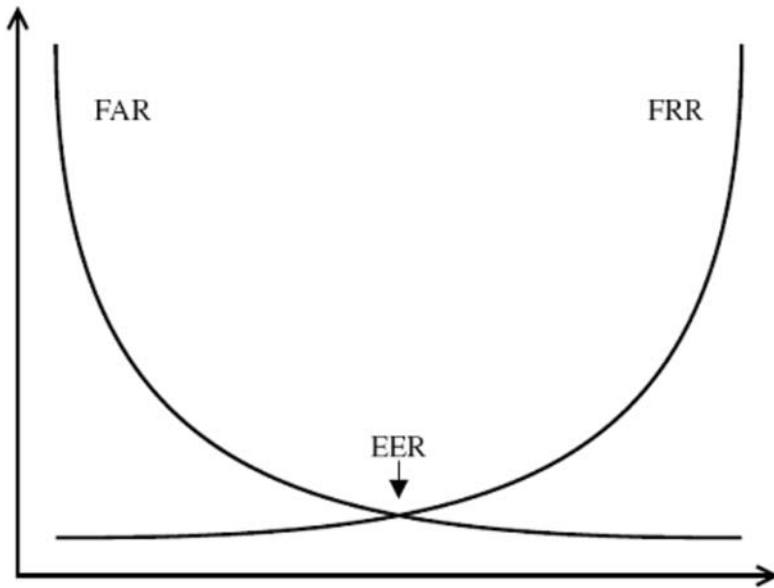
Analiza obrazu dostarcza systemowi biometrycznemu tzw. **cech fizycznych** danej osoby. Cechy te mogą dotyczyć: siatkówki i tęczówki oka, wzorca naczyń krwionośnych, twarzy, geometrii dłoni i palca, odcisków palców.

Oprócz tego systemy biometryczne starają się wykorzystywać tzw. **cechy behawioralne**, specyficzne dla danej osoby. Dla przykładu możemy mierzyć dynamikę uderzania w klawiaturę, analizować próbki mowy lub dynamikę podpisu.

Miary jakości systemu biometrycznego:

- „False Rejection Rate” (FRR) – częstość odrzucenia uprawnionej osoby.
- „False Acceptance Rate” (FAR) – częstość akceptacji nieuprawnionej osoby.
- „Equal Error Rate” (EER) – częstość błędnej akceptacji (lub błędnego odrzucenia), dla sytuacji w której zachodzi: $FRR = FAR$.
- „Failure to Enroll Rate” (FER) – jaka część użytkowników nie może zostać wprowadzona do systemu.

Zwykle sytuację, gdy współczynnik FAR przyjmuje wysoką wartość uznajemy za gorszą niż sytuację, gdy jest wysoka wartość współczynnika FRR. Kryterium EER wprowadza się jako obiektywną miarę porównania działania różnych systemów. W sytuacji rzeczywistego korzystania z systemu jego parametry dopasowuje się tak, aby FRR było większe niż FAR.



Rys. 2.3. Krzywe FAR i FRR oraz punkt EER

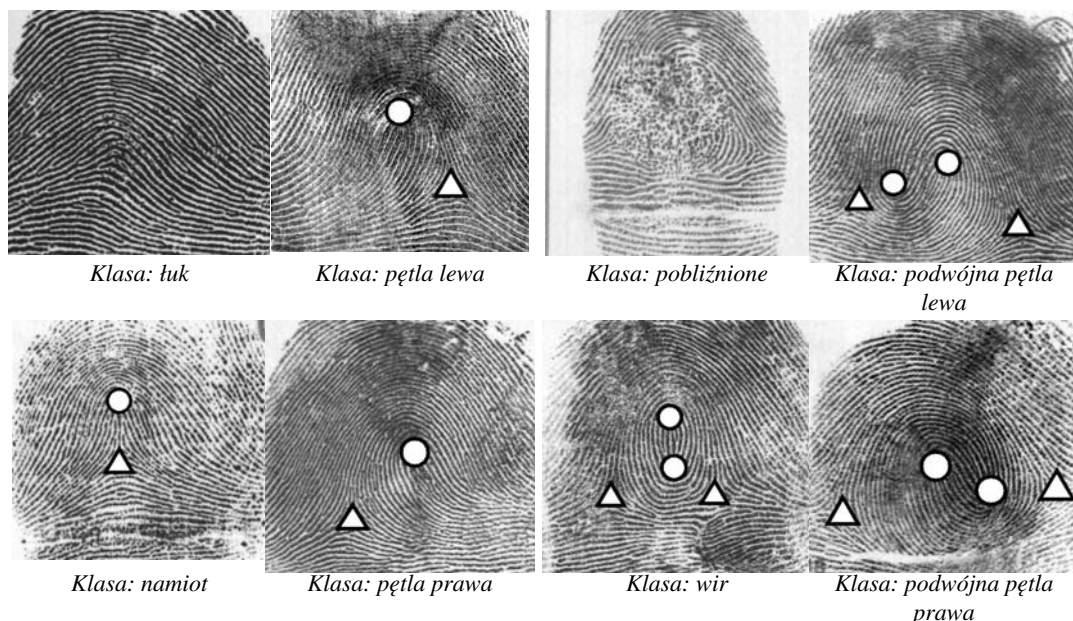
3. BIOMETRYCZNE SYSTEMY DLA ODCISKU PALCA I OBRAZU DŁONI

3.1. Obrazy odcisku palca

W przypadku obrazów linii papilarnych palca możemy mówić o automatycznej klasyfikacji odcisku do jednej z kilku klas lub o identyfikacji/weryfikacji w oparciu o cechy osobnicze, tzw. *minucje* [9].

W celu wyznaczenia klasy odcisku palca (linii papilarnych) wykorzystuje się położenie punktów typu *rdzeń* i *delta* względem linii papilarnych. Na rys. 3.1 przedstawiono charakterystyczne układy tych punktów dla linii papilarnych różnych klas.

Identyfikacja osoby na podstawie odcisku palca polega na przyporządkowaniu danemu obrazowi pewnego obrazu z bazy danych obrazów o największym stopniu podobieństwa układu punktów *minucji*. Zwykle wyróżnia się dwa rodzaje punktów minucji: rozejście i zakończenie (rys. 3.2).



Rys. 3.1. Położenie punktów rdzeń – delta na obrazach poszczególnych klas. Rdzeń zaznaczony jest okręgiem, a delta – trójkątem



Rys. 3.2. Przykład minucji w obrazie odcisku palca – rozejście i zakończenie [9]

Proces automatycznej identyfikacji składa się z następujących etapów:

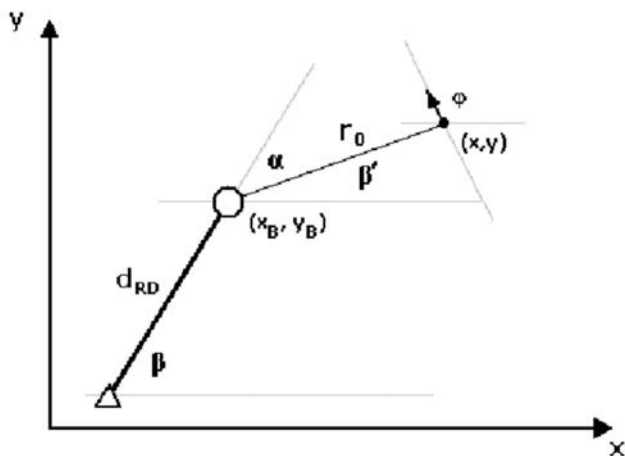
- przetwarzanie wstępne, binaryzacja, pocienianie krawędzi (szkieletyzacja),
- detekcja punktów minucji, utworzenie mapy minucji na płaszczyźnie obrazu,
- przetwarzanie końcowe (eliminacja nadmiarowych punktów minucji),
- wieloetapowe wyszukiwanie kandydatów w bazie danych o obrazach.

Pierwsze trzy operacje służą do wyodrębnienia odpowiednich cech obrazu umożliwiającego jego identyfikację. Są to przede wszystkim minucje, których unikalny

układ jednoznacznie opisuje obraz odcisku palca. Pozostałe cechy służą jedynie przyspieszeniu procesu wyszukiwania kandydatów.

Wyszukiwanie kandydatów polega na wyznaczeniu dla obrazów w bazie współczynników określających stopień podobieństwa do obrazu prezentowanego do identyfikacji. Odbывается to poprzez porównanie ze sobą zbioru cech dwóch obrazów. Końcowym etapem wyszukiwania jest prezentacja najbardziej prawdopodobnych kandydatów o największych współczynnikach dopasowania. Proces porównywania składa się z trzech etapów: rejestracja, łączenie cech (minucji) w pary, szacowanie dopasowania.

Wspomnieliśmy o wyznaczaniu punktów charakterystycznych typu rdzeń i delta. Spośród nich wybieramy punkt, względem którego określone zostaną położenia minucji (rys. 3.3). Jest to rdzeń w obrazach klas: namiot, pętla lewa, pętla prawa oraz położony bardziej na lewo rdzeń w przypadku klas: wir, podwójna pętla.



Rys. 3.3. Ilustracja wyznaczania położenia minucji względem rdzenia

Odcisk palca posiada zwykle ok. 100 minucji. Obszar skanowany przez system kontroli dostępu on-line obejmuje najczęściej od 30 do 40 minucji. Według europejskiego prawa do pozytywnej identyfikacji osoby wystarczy zgodność przynajmniej 12 minucji (tzw. „zasada 12 punktów”). Według statystyki nie znajdziemy 2 osób w gronie 10 milionów osób o identycznym układzie 12 minucji. Zwykle też komercyjne systemy kontroli dostępu podejmują pozytywną decyzję po znalezieniu zgodności 8 minucji ($FAR = 1$ na milion).

Odciski to jednak najbardziej **zawodna forma** danych w systemie kontroli dostępu. W praktyce system nie odróżni odcisku „żywego” palca od jego kopii. Np.: silikonowa podróbka odcisku lub pieczęć z odciskiem może łatwo „zmylić” system

biometryczny. Z uwagi na dużą zawodność danych odcisku palca te systemy stosuje się głównie jako wspomaganie pracy policji. W komercyjnych systemach kontroli dostępu, pracujących w czasie rzeczywistym, odcisk palca nigdy nie występuje samodzielnie, tzn. systemy dostępowe mają charakter wielo-modalny – łączą one kartę identyfikacyjną osoby z analizą danych biometrycznych, pobieranych w trybie „online”. Należy też zauważyć, że dla odcisków palców współczynnik FER wynosi ok. 5%, tzn. taka część populacji w ogóle nie może zostać wprowadzona do bazy danych, gdyż nie posiada ona cech charakterystycznych.

3.2. Analiza obrazu dłoni

Niemal już klasyczne rozwiązanie oparte o cechy geometryczne dłoni podano w pracy Sanchez-Reillo et al. [11]. Pomiar dłoni polega na wyznaczeniu pewnej liczby szerokości palców w określonych miejscach, długości palców i nasady ręki, grubości palców i nasady dłoni, wariancji (zmienności) cech palców i zorientowania linii pomiędzy palcami. W sumie proponuje się zastosowanie 25 cech, przy 10 obrazach uczących dla każdej osoby i bazie obejmującej 20 osób. W procesie identyfikacji autorzy stosują klasyczne podejście statystycznej klasyfikacji. Cechy każdej osoby wyznaczają rozkład prawdopodobieństwa a priori będący mieszaniną rozkładów normalnych (Gausa). Identyfikacja polega na określeniu, dla której osoby z bazy danych wartość jego a posteriori prawdopodobieństwa rozkładu warunkowego pomiaru aktualnego wektora cech przy znajomości rozkładu a priori dla tej osoby jest największa.

W pracy Jain & Duta [12] proponuje się całościowe dopasowanie aktualnego konturu dłoni i konturu wzorcowego, tzn. wyznaczenie odległości pomiędzy nimi w oparciu o całościowe reprezentacje obu konturów. Miarą odległości jest błąd średnio-kwadratowy dla wszystkich odpowiadających sobie par punktów obu konturów. W procesie pomiarowym wymagane jest złączenie palców ze sobą.

Jain, Ross & Pankanti [13] zaproponowali zestaw 16 cech geometrycznych obejmujący szerokości i długości palców, stosunek rozmiarów nasady dłoni i palców oraz grubość dłoni. W procesie identyfikacji skorzystano z klasyfikatora minimalno-odległościowego stosując miary odległości Euklidesowej i Mahalanobisa.

Podobne w charakterze cechy do proponowanych w pracach [11] i [13] wyznaczają autorzy pracy Bulatov et al. [14] z tym, że liczba cech wynosi tu 30, a w procesie porównania wektorów cech stosowana jest miara Chebysheva.

Z kolei Öden et al. [15] łączą opis całościowego konturu z cechami geometrycznymi – szerokościami i długościami palców i nasady dłoni. Kontury aproksymowane są wielomianami 4-tego stopnia. W ten sposób autorzy uzyskują zestaw 16 cech i w procesie identyfikacji stosują miarę Mahalanobisa.

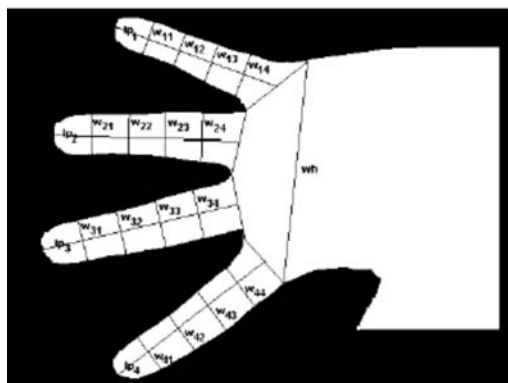
Konukoglu et al. [4] proponują wykorzystanie metody ICA (analiza niezależnych komponentów) dla opisu charakterystyki 1-wymiarowej funkcji odległości punktów konturu od punktu referencyjnego konturu. Proces identyfikacji prowadzony jest alternatywnie w oparciu o dwa zestawy cech. Pierwszy z nich polega na bezpośrednim porównaniu całych konturów z wykorzystaniem miary odległości Hausdorffa. Drugi sposób korzysta z metody ICA i wymaga wyznaczenia funkcji bazowych i współczynników wymieszania w przekształceniu ICA dla 1-W funkcji odległości punktów konturu od punktu referencyjnego danego konturu. Dopiero odległość Euklidesowa dwóch zbiorów wektorów bazowych – jednego znalezionej dla aktualnego konturu i drugiego – dla konturu referencyjnego – ma być podstawą identyfikacji.

Typowe rozwiązanie identyfikacji opartej o cechy geometryczne uzyskane w wyniku analizy obrazu – pomiarze dłoni przeprowadzonym w ściśle zadanych warunkach – opisano w pracy [16]. Autor miał dostęp do komercyjnego urządzenia przeznaczonego do identyfikacji za pomocą analizy konturu dłoni i mógł porównać wyniki swojej pracy z wynikami działania tego urządzenia (rys. 3.4). Poprawne warunki pomiaru zapewniono dzięki zastosowaniu kołków pozycjonujących, do których należy dosunąć odpowiednie punkty dłoni znajdujące się między palcami. Pobrano monochromatyczny obraz dłoni ułożonej płasko na podstawie z rozpostartymi palcami oraz obraz krawędzi dłoni i kciuka, dzięki odbiciu lustrzanemu. Na tak otrzymanym obrazie wyznaczane są charakterystyczne punkty dłoni i odległości między nimi. Następnie formowany jest wektor czterdziestu cech, w skład, którego wchodzi wymiary: wysokość i szerokość dłoni, szerokości palców oraz wysokość kciuka, mierzone w kilku różnych miejscach. Wektory cech porównywane są w procesie weryfikacji przy pomocy różnych technik, między innymi z zastosowaniem sieci neuronowych.



Rys. 3.4. Przykłady urządzeń (Hanarunch 1000 [www.timeclockplus.com] i HandKey I [16] firmy Recogniton Systems Inc.) do ściśle określonych warunków pomiaru dłoni

W innej pracy wykonanej w Instytucie Automatyki i Informatyki Stosowanej PW [17] wyznaczono cechy geometryczne konturu dłoni w postaci 19 fizycznych (bezwzględnych) odległości dla dłoni: 4 długości palców (bez kciuka), po 4 szerokości dla każdego z 4 palców i 1 szerokość dłoni (rys. 3.5).



Rys. 3.5. Typowy zestaw danych pomiarowych – 19 odległości [17]

3.3. Analiza obrazu naczyń krwionośnych

Oprócz pomiaru kamerą wizyjną, dającą kolorowy obraz dłoni, rozwijane są systemy identyfikacji mierzące dłoń w 3 wymiarach (tzw. proces rejestracji dzięki właściwemu oświetleniu lub wielokrotnym ujęciom z różnych stron [18]) lub „prześwietlające” dłoń za pomocą kamery termowizyjnej [19].

W pracy [18] zaprezentowano technikę pomiaru dłoni wykorzystującą oświetlenie rzucające na obiekt wzorec równoległych linii. Pozwala to na dokładne oddzielenie tła od obiektu pierwszego planu i na rejestrację 3-wymiarowych cech obiektu. Po analizie danych dłoń reprezentowana jest w postaci struktury drzewiastej typu *quadtree*.

Z kolei firma Fujitsu opracowała i wdrożyła urządzenie do identyfikacji osoby na podstawie obrazu termowizyjnego naczyń krwionośnych dłoni [19] (rys. 3.6).



(a) obraz z kamery mono (b) obraz termowizyjny (c) naczynia krwionośne

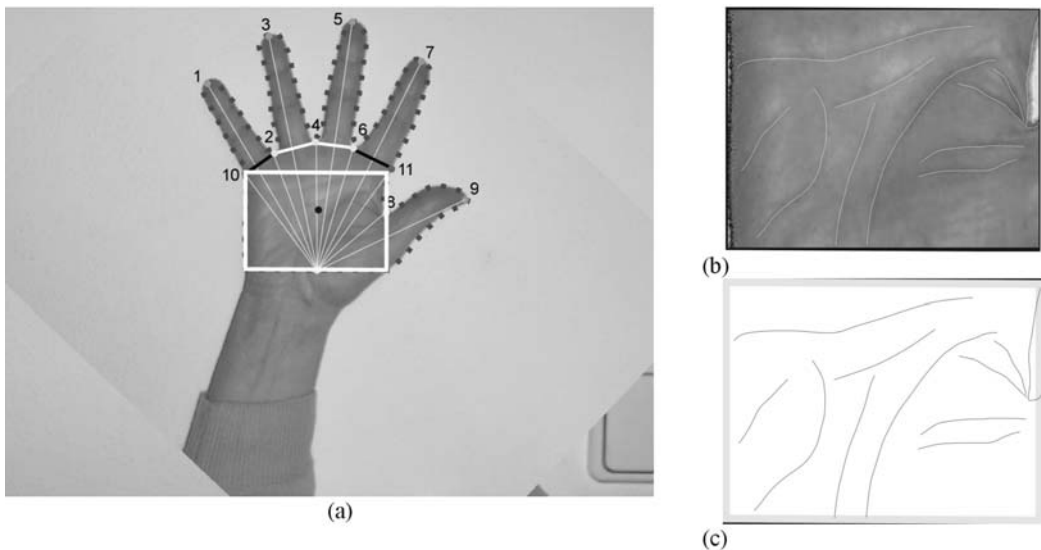
Rys. 3.6. Sekwencja pomiarowa i wynik analizy z wykorzystaniem kamery termowizyjnej [19]

4. IDENTYFIKACJA SWOBODNEGO UKŁADU DŁONI

W innych pracach autora opisano sekwencję metod analizy pojedynczego obrazu kolorowego, która realizuje pomiar swobodnie ułożonej dłoni w przestrzeni przed kamerą, detekcję obszaru zainteresowania, rozpoznanie właściwego układu dłoni, wyznaczenie cech osobniczych i porównanie tych cech z cechami pamiętanymi w bazie danych w celu identyfikacji osoby [6-7]. Ta sekwencja metod potrzebnych dla identyfikacji osoby, na podstawie obrazu w miarę swobodnie ułożonej dłoni, zgrupowana została w kolejne etapy analizy obrazu:

- wstępna detekcja obszaru dłoni,
- rozpoznanie właściwej widoczności dłoni,
- wyznaczenie cech dłoni, tzn. wymiarowanie ręki na podstawie punktów charakterystycznych i zapamiętanie charakterystycznych linii w nasadzie dłoni,
- akwizycja cech referencyjnych i dopasowanie cech aktualnych i referencyjnych.

Rozpoczęcie pracy z obrazem kolorowym prezentującym dłoń wymaga określenia jej umiejscowienia na obrazie. Charakterystyczną cechą, która pozwala na wykrycie piksela dłoni jest jego kolor. Dlatego też w pierwszym etapie przetwarzania zastosowana została segmentacja obrazu na podstawie wykrywania koloru skóry. W jej wyniku otrzymujemy informację, które obszary obrazu prezentują obiekt o ko-



Rys. 4.1. Po detekcji dłoni i normalizacji jej położenia i zorientowania automatycznie wyznaczamy: (a) 11 punktów charakterystycznych dla konturu dłoni, (b) prostokątny obszar wewnętrznej części dłoni, w której poszukujemy (c) tzw. „linii życia”

lorze skóry, czyli poszukiwaną dłoń. Pozostałe obiekty o innych kolorach traktowane są jako tło, nieistotne z punktu widzenia realizowanego zadania.

Następną fazą pracy z otrzymanym obrazem dłoni jest wykrycie położenia dłoni i widocznych palców. W pracy skorzystano z metody „aktywnych konturów” [20] w procesie rozpoznania układu dłoni, gdyż stosujemy w niej analizę różnic przebiegu dwóch konturów względem środka masy wykrytej dłoni.

Jeśli wykryta zostanie właściwie ułożona dłoń (widoczna wewnętrzna strona dłoni, wszystkie palce widoczne i oddzielone od siebie) to przechodzimy do procesu pomiaru cech geometrycznych (rys. 4.1).

Następnym zadaniem jest wyznaczenie optymalnego (w sensie minimalizacji błędu średnio-kwadratowego) przekształcenia zbioru punktów referencyjnych $\mathbf{P}$ dla każdej osoby z bazy danych (w jej układzie współrzędnych) do zbioru punktów $\mathbf{p}$ znalezionych dla aktualnego obrazu dłoni (danych w aktualnym układzie współrzędnych):

$$\mathbf{p} = \mathbf{S} \cdot \mathbf{R}_{\hat{\alpha}} \cdot \mathbf{T}_G \cdot \mathbf{P} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{P} \quad (4.1)$$

Przekształcenie zapisane jest za pomocą macierzy $\mathbf{A}$.

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{P} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

w której poszukujemy 4 niezależnych współczynników: $a_{11} = a_{22}$, $a_{12} = -a_{21}$, a_{13} , a_{23} .

Procedura dopasowania dwóch zbiorów punktów na płaszczyźnie:

1) Znajdujemy korespondujące ze sobą, $m = 11$, punkty w aktualnym obrazie $\mathbf{p}_i = (x_i, y_i)$ ($i=1,2,...,m$), i punkty referencyjne danej klasy wzorca – $\mathbf{P}_i = (X_i, Y_i)$ ($i=1,2,...,m$).

2) Dla każdej pary punktów $(\mathbf{p}_i, \mathbf{P}_i)$ tworzymy dwa równania o postaci:

$$\begin{aligned} a_{11}X_1 + a_{12}Y_1 + a_{13} - x_1 &= \varepsilon_1 \\ -a_{12}X_1 + a_{11}Y_1 + a_{23} - y_1 &= \varepsilon_2 \\ &\dots \\ a_{11}X_m + a_{12}Y_m + a_{13} - x_m &= \varepsilon_{M-1} \\ -a_{12}X_m + a_{11}Y_m + a_{23} - y_m &= \varepsilon_M \end{aligned}$$

Łącznie powstanie $M = 22$ równań z 4 niewiadomymi $a_{11} - a_{23}$.

3) Definiujemy sumaryczny błąd średniokwadratowy:

$$U = \sum_{i=1}^M \varepsilon_i^2$$

4) Określamy minimum funkcji U ze względu na każdą niewiadomą:

$$\frac{1}{2} \frac{\partial U}{\partial a_{11}} = 0; \frac{1}{2} \frac{\partial U}{\partial a_{12}} = 0; \frac{1}{2} \frac{\partial U}{\partial a_{13}} = 0; \frac{1}{2} \frac{\partial U}{\partial a_{23}} = 0;$$

Uzyskujemy układ 4 niezależnych liniowo równań.

5) Rozwiązujemy układ znaleziony w punkcie 4), np. metodą eliminacji Gaussa.

Kryterium jakości dopasowania zbioru cech aktualnych i referencyjnych

Po wyznaczeniu najlepszego możliwego dopasowania par punktów wyznaczamy wartość sumarycznego błędu $U_{p,p}(a_{11}, \dots, a_{23})$ i po normalizacji sumą odległości (w kwadracie) punktów zbioru referencyjnego od ich środka masy uzyskujemy miarę błędu dopasowania:

$$\lambda(P, p) = \frac{U_{p,p}(a_{11}, \dots, a_{23})}{\sum_{P_i} |P_i - m(P)|^2}$$

Następnie przekształcamy referencyjny blok binarnego obrazu T , zawierającego „linie życia”, zgodnie ze znalezioną macierzą A i obliczamy różnicę pomiędzy dwoma blokami – aktualnym t i przekształconym referencyjnym T :

$$\chi(T, t) = \sum_{T_{ij}} |t_{ij} - A(T_{ij})|$$

Łącząc obie miary błędu uzyskujemy miarę niedopasowania aktualnego obrazu ze wzorcem, pamiętanym w bazie danych:

$$\Gamma(\{P, T\}, \{p, t\}) = \lambda(P, p) + \phi \cdot \chi(T, t)$$

5. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono metody analizy obrazów stosowane w systemach biometrycznych. Zaproponowano rozwiązanie, w którym dłoń może być swobodnie rozmieszczona względem kamery. System automatycznie wykrywa czy położenie dłoni jest właściwe co umożliwi pomiar cech osobniczych dłoni. Eksperymenty potwierdzają użyteczność tej metody, jednak pełna weryfikacja tego rozwiązania wymaga dalszych złożonych prac implementacyjnych i ekstensywnych testów na reprezentatywnej, dużej bazie danych.

Literatura

- [1] A. Jain, R. Bolle, S. Pankanti, (Eds.) **Biometrics**, Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [2] A. Czajka: *Human Iris for Automatic Identity Verification*, Rozprawa doktorska, Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej, 2005.
- [3] A. Czajka, A. Pacut: *Biometryczna weryfikacja tożsamości – systemy komercyjne i prototypy*, Pracowania Biometrii, Naukowa i Akademicka Sieć Komputerowa NASK – informacja własna.
- [4] E. Konukoglu, E. Yörük, J. Darbon, B. Sankur: *Shape-Based Hand Recognition*, **IEEE Transactions on Image Processing**, vol. 15, 2006, No. 7, w druku.
- [5] A. Pacut, A. Czajka, P. Strzelczyk: *Iris biometrics for secure remote access*. [J. S. Kowalik et al. (Eds.), **Cyberspace Secure and Defense: Research Issues**, Springer, The Netherlands, 2005], str. 259-278.
- [6] W. Kasprzak, P. Skrzyński: *A double active contour-based approach to hand sign detection*, [T. Zielińska, C. Zieliński (Eds.): **ROMANSY 16**. CISM Courses and Lectures, No. 487, 2006, SpringerWienNewYork, 2006], str. 439-446.
- [7] W. Kasprzak, P. Skrzyński, *Palm image-based person identification from unconstrained hand images*. [12th IEEE Int. Conf. on Methods and Models in Automation and Robotics, **MMAR 2006**. Szczecin University of Technology Press, 2006], (w druku).
- [8] H. Niemann: **Klassifikation von Mustern**. 2nd edition, Springer, Berlin, 2001.
- [9] J. L. Blue, G. T. Candela, P. J. Grother, R. Chellappa, and C. L. Wilson. *Evaluation of pattern classifiers for fingerprint and OCR application*. **Pattern Recognition**, vol. 27, No. 4, April 1994, str. 485-501.
- [10] K. Karu, A.K. Jain: *Fingerprint Classification*, **Pattern Recognition**, vol. 29, No. 3, 1996, str. 389-403.
- [11] R. Sanches-Reillo, C. Sanchez-Avila, A. Gonzalez-Marcos: *Biometric Identification through Hand Geometry Measurements*, **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, Vol. 22, No. 10, October 2000, str. 1168-1171.
- [12] N. Duta, A. K. Jain, K. V. Mardia: *Matching of palmprint*, **Pattern Recognition Letters**, vol. 23, no. 4, Feb. 2002, str. 477-485.
- [13] A. K. Jain, A. Ross, S. Pankanti: *A prototype hand geometry based verification system*, Proc. of 2nd Int. Conference on Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication, Washington D.C., March 1999, str. 166-171.
- [14] Y. Bulatov, S. Jambawalikar, P. Kumar, S. Sethia: *Hand recognition using geometric classifiers*, **Biometric Authentication: First International Conference, ICBA 2004**, Proceedings, Editors: David Zhang, Anil K. Jain. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3072 / 2004, Springer, Berlin, 2004, str. 753-759.

- [15] C. Öden, A. Ercil, B. Büke: *Combining implicit polynomials and geometric features for hand recognition*, **Pattern Recognition Letters**, vol. 24, 2003, str. 2145-2152.
- [16] Ł. Stasiak: *Weryfikacja tożsamości poprzez wykorzystanie cech dłoni*, Praca magisterska, Politechnika Warszawska, IAIIS, 2004.
- [17] A. Gilewski: *Biometria dłoni*, Praca dyplomowa inżynierska, IAIIS PW, wrzesień 2003.
- [18] Y. L. Lay: *Hand shape recognition*, **Optics and Laser Technology**, 32(1), Feb. 2000, str. 1-5.
- [19] M. Watanabe, T. Endoh, M. Shiohara, S. Sasaki: *Palm vein authentication technology and its applications*. **Biosymposium 2005**, Fujitsu Laboratories Ltd., Kawasaki, Japan.
- [20] M. Kass, A. Witkin, D. Terzopoulos: *Snakes. Active contour models*, **International Journal of Computer Vision**, 1 (1988), No. 4, str. 321–331.