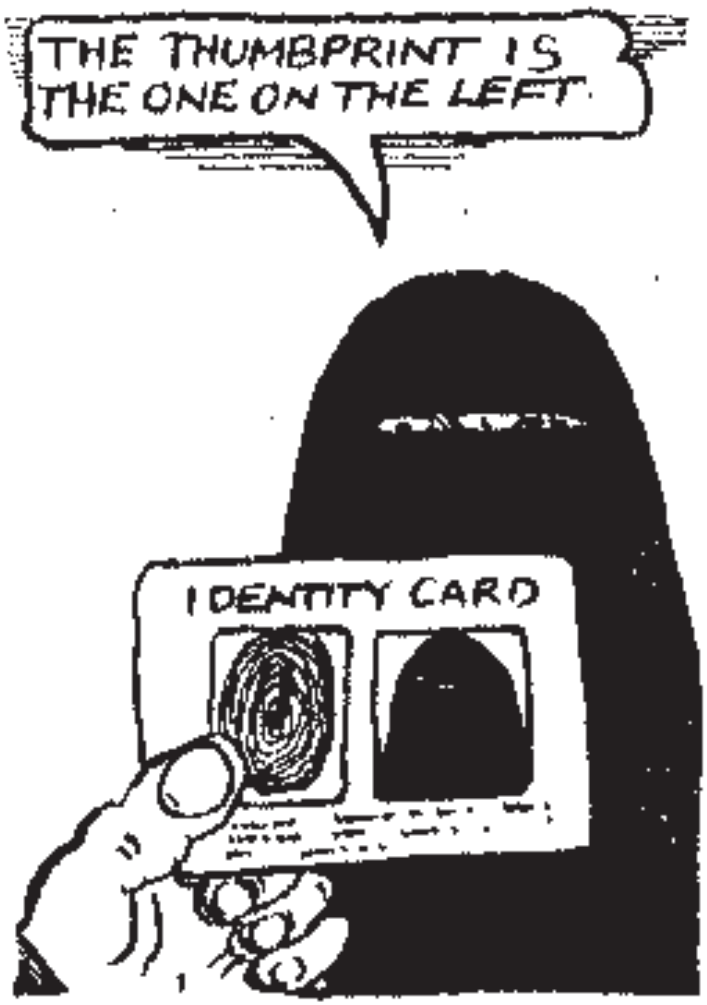
Biometryczna Identyfikacja Tożsamości

Wykład 2: Biometria odcisku palca

Adam Czajka

Wykład na Wydziale Elektroniki i
Technik Informacyjnych
Politechniki Warszawskiej

Semestr zimowy 2015/16



Wykład 2: Biometria odcisku palca

- Przedmiot obserwacji
- Pozyskiwanie obrazu
- Przetwarzanie wstępne
- Klasyfikacja metod rozpoznawania
- Metody minucyjne

Historia: metody nieautomatyczne

1. 1684: Nehemian Grew, Anglia
   - pierwsza praca naukowa nt. struktury grzbietów, dolin i porów powierzchni palców
2. 1686: M. Malpighi, Uniwersytet w Bolonii
   - charakterystyka odcisków palców
   - brak informacji o wykorzystaniu tej wiedzy w identyfikacji tożsamości
3. 1809: Thomas Bewick, Anglia
   - wykorzystanie odcisku palca we własnym podpisie; ważny "kamień milowy" dla tej metody
4. 1823: John Purkinji, Uniwersytet Wrocławski
   - charakterystyka dziewięciu typów odcisków palców
   - brak informacji o wykorzystaniu tej wiedzy w identyfikacji tożsamości
5. 1856: Sir William Herschel, Indie
   - wykorzystanie odcisków dłoni w uwierzytelnianiu kontraktów

Historia: metody nieautomatyczne

6. 1880: Henry Faulds, Tokio
   - indywidualność odcisku (poparte badaniami eksperymentalnymi)
   - pierwsza identyfikacja odcisku pozostawionego na butelce (po kradzieży w szpitalu w Tokio)
   - przekazanie wiedzy Darwinowi (a następnie Galtonowi)
7. 1888: Sir Francis Galton (kuzyn Darwina)
   - klasyfikacja punktów osobliwych,
   - definicja tzw. "minucji" (detali Galtona)
   - określenie trwałości linii papilarnych i jednoznaczności weryfikacji (prawdopodobieństwo błędu 1:64 mld)
   - dzieło "Fingerprints"
   - podwaliny obecnie funkcjonujących systemów biometrii odcisku

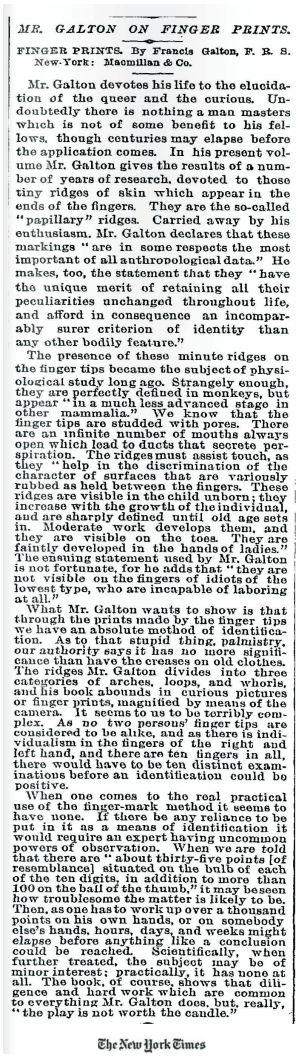
Historia: metody nieautomatyczne

Recenzja "Fingerprints" F. Galtona, New York Times, 1893

"Carried away by his enthusiasm, Mr. Galton declares that these markings «are in some respects the most important of all anthropological data» (...) What Mr. Galton wants to show is that through the prints made by the finger tips we have an absolute method of identification. As to that stupid thing, palmistry, our authority says it has no more significance than the creases on old clothes."

"When one comes to the real practical use of the finger-mark method it seems to have none. If there be any reliance to be put in it as a means of identification it would require an expert having uncommon powers of observation."

"Scientifically, when further treated, the subject may be of minor interest; practically, it has none at all. The book, of course, shows that diligence and hard work which are common to everything Mr. Galton does, but really «the play is not worth the candle»."



MR. GALTON ON FINGER PRINTS.

FINGER PRINTS. By Francis Galton, F. R. S. New-York: Macmillan & Co.

Mr. Galton devotes his life to the elucidation of the queer and the curious. Undoubtedly there is nothing a man masters which is not of some benefit to his fellows, though centuries may elapse before the application comes. In his present volume Mr. Galton gives the results of a number of years of research, devoted to those tiny ridges of skin which appear in the ends of the fingers. They are the so-called "papillary" ridges. Carried away by his enthusiasm, Mr. Galton declares that these markings "are in some respects the most important of all anthropological data." He makes, too, the statement that they "have the unique merit of retaining all their peculiarities unchanged throughout life, and afford in consequence an incomparably surer criterion of identity than any other bodily feature."

The presence of these minute ridges on the finger tips became the subject of physiological study long ago. Strangely enough, they are perfectly defined in monkeys, but appear "in a much less advanced stage in other mammalia." We know that the finger tips are studded with pores. There are an infinite number of mouths always open which lead to ducts that secrete perspiration. The ridges must assist touch, as they "help in the discrimination of the character of surfaces that are variously rubbed as held between the fingers. These ridges are visible in the child unborn; they increase with the growth of the individual, and are sharply defined until old age sets in. Moderate work develops them, and they are visible on the toes. They are faintly developed in the hands of ladies." The ensuing statement used by Mr. Galton is not fortunate, for he adds that "they are not visible on the fingers of idiots of the lowest type, who are incapable of laboring at all."

What Mr. Galton wants to show is that through the prints made by the finger tips we have an absolute method of identification. As to that stupid thing, palmistry, our authority says it has no more significance than have the creases on old clothes. The ridges Mr. Galton divides into three categories of arches, loops, and whorls, and his book abounds in curious pictures or finger prints, magnified by means of the camera. It seems to us to be terribly complex. As no two persons' finger tips are considered to be alike, and as there is individualism in the fingers of the right and left hand, and there are ten fingers in all, there would have to be ten distinct examinations before an identification could be positive.

When one comes to the real practical use of the finger-mark method it seems to have none. If there be any reliance to be put in it as a means of identification it would require an expert having uncommon powers of observation. When we are told that there are "about thirty-five points [of resemblance] situated on the bulb of each of the ten digits, in addition to more than 100 on the ball of the thumb," it may be seen how troublesome the matter is likely to be. Then, as one has to work up over a thousand points on his own hands, or on somebody else's hands, hours, days, and weeks might elapse before anything like a conclusion could be reached. Scientifically, when further treated, the subject may be of minor interest; practically, it has none at all. The book, of course, shows that diligence and hard work which are common to everything Mr. Galton does, but, really, "the play is not worth the candle."

The New York Times

Historia: metody nieautomatyczne

http://www.nlm.nih.gov

8. 1880: Alphonse Bertillon, Francja
   - system *Bertillonage*: pomiary długości kości, kolor tęczówki
   - znaleziono osoby posiadające prawie identyczny zestaw długości kości (1903 r.)

Historia: metody nieautomatyczne

Upadek systemu *Bertillonage*

William West i Will West przyjęci do tego samego zakładu karnego Leavenworth w Kansas, USA. Wydarzenie podważyło skuteczność systemu *Bertillonage* i stało się akceleratorem rozwoju biometrii odcisku palca.

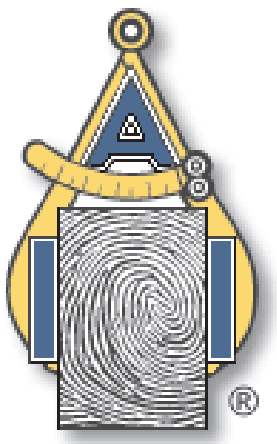
Źródło: "History of Fingerprints", INTERPOL, 2009

Historia: metody nieautomatyczne

9. 1892: Juan Vucetich, Argentyna
   - pierwsza sprawa kryminalna, w której oficjalnie wykorzystano odciski palców do udowodnienia morderstwa
10. 1893: Mark Twain, USA
    - znacząca "promocja" siły biometrii odcisków w nowelach kryminalnych (*Pudd'n'head Wilson*), w szczególności do identyfikacji bliźniąt
11. 1899: Sir Edward Richard Henry, Anglia
    - system klasyfikacji odcisków (tzw. system Henry'ego), w rzeczywistości opracowany przez indyjskich asystentów Henry'ego (Azizul Haque oraz Hem Chandra Bose)
12. 1910: Edmond Locard, Francja
    - wyznaczenie minimalnej liczby zgodnych cech (=12) do wydania werdyktu o pozytywnym dopasowaniu odcisków
    - "zasada wymiany" (*Exchange Principle*): popełniając przestępstwo zawsze coś zostawiamy i coś zabieramy ze sobą

Historia: metody nieautomatyczne

13. 1911: Alphonse Bertillon, Francja
    - nieudana próba identyfikacji złodzieja (Vicenzo Perugia) Mona Lisy z muzeum Louvre ze względu na brak systemu klasyfikacji dla odcisków przechowywanych w kartach daktyloskopijnych
    - kilka tysięcy kart, kilka miesięcy pracy dla dwóch osób
14. 1903–1924: Powszechna akceptacja wykorzystania odcisków palca w rozpoznawaniu tożsamości
    - 1903: wpisanie metody w procesy działania Scotland Yard
    - 1915: powołanie *International Association for Identification*
    - 1924: utworzenie Fingerprint Identification Division w strukturach FBI (wtedy jeszcze *Bureau of Investigation*)



Logo IAI a w nim odcisk prawego palca wskazującego Galtona

Paradygmaty biometrii odcisku
(początek XX wieku)

1. Indywidualne cechy powierzchni palca są inne dla różnych palców i niezmienne w czasie (**podstawa rozpoznawania odcisków**)
2. Charakter/wygląd linii papilarnych jest zmienny w danej populacji, ale jego zmienność pozwalana na systematyczne grupowanie odcisków (**podstawa klasyfikacji odcisków**)

Wykład 2: Biometria odcisku palca

Przedmiot obserwacji

Pozyskiwanie obrazu

Przetwarzanie wstępne

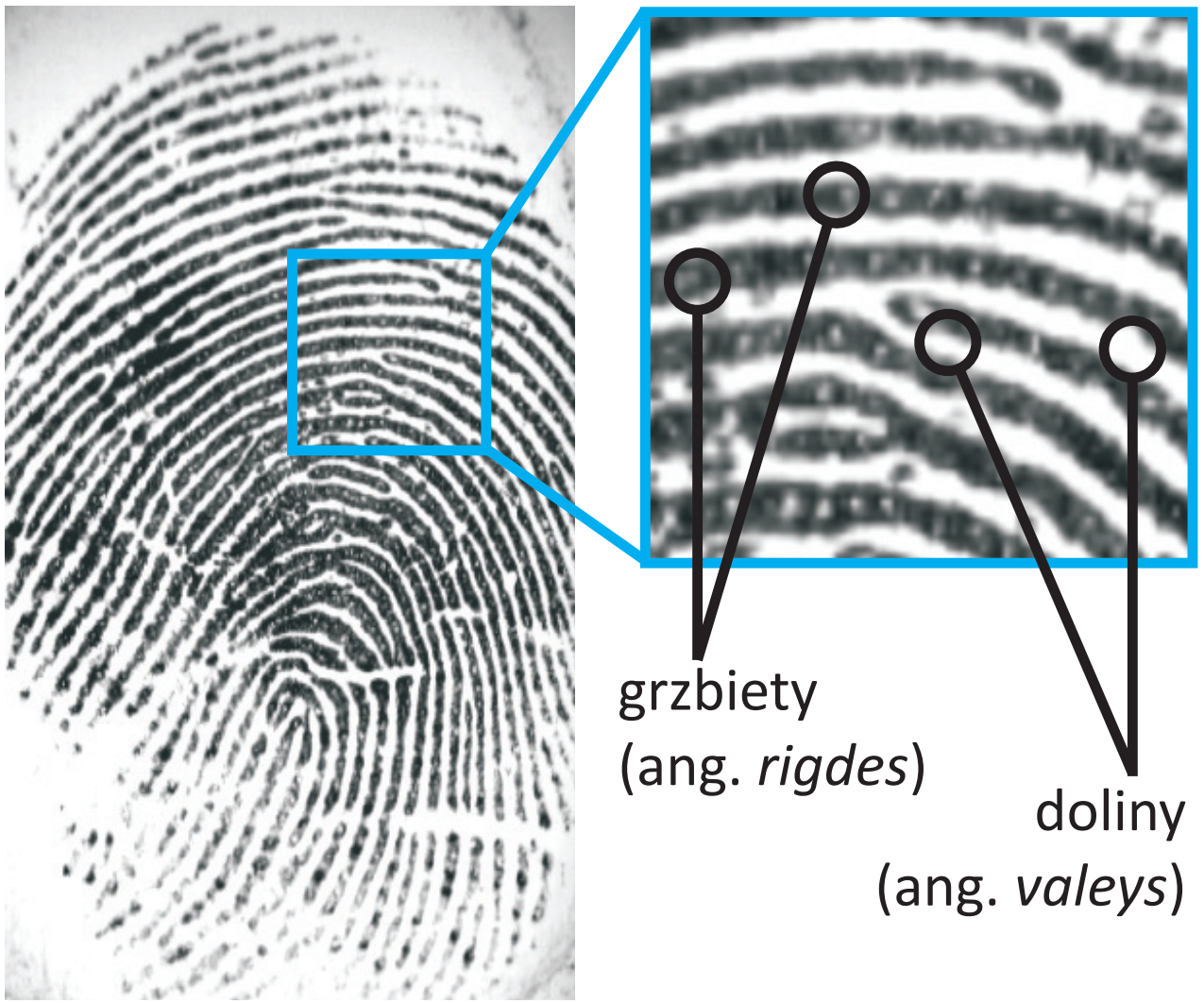
Klasyfikacja metod rozpoznawania

Metody minucyjne

Poziomy obserwacji

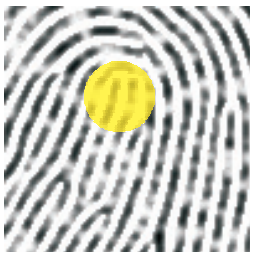
1. Elementy podstawowe: grzbiety i doliny
2. Poziom globalny: rdzeń i punkty osobliwe
3. Poziom lokalny: minucje (detale Galtona)
4. Poziom szczegółów: pory, brodawki, zmarszczki, blizny, linie zdegenerowane

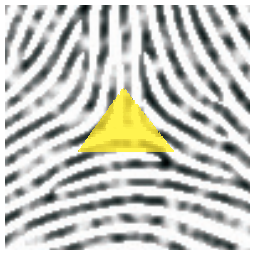
Elementy podstawowe: grzbiety i doliny



Poziom globalny: rdzeń i punkty osobliwe

wir


pętla

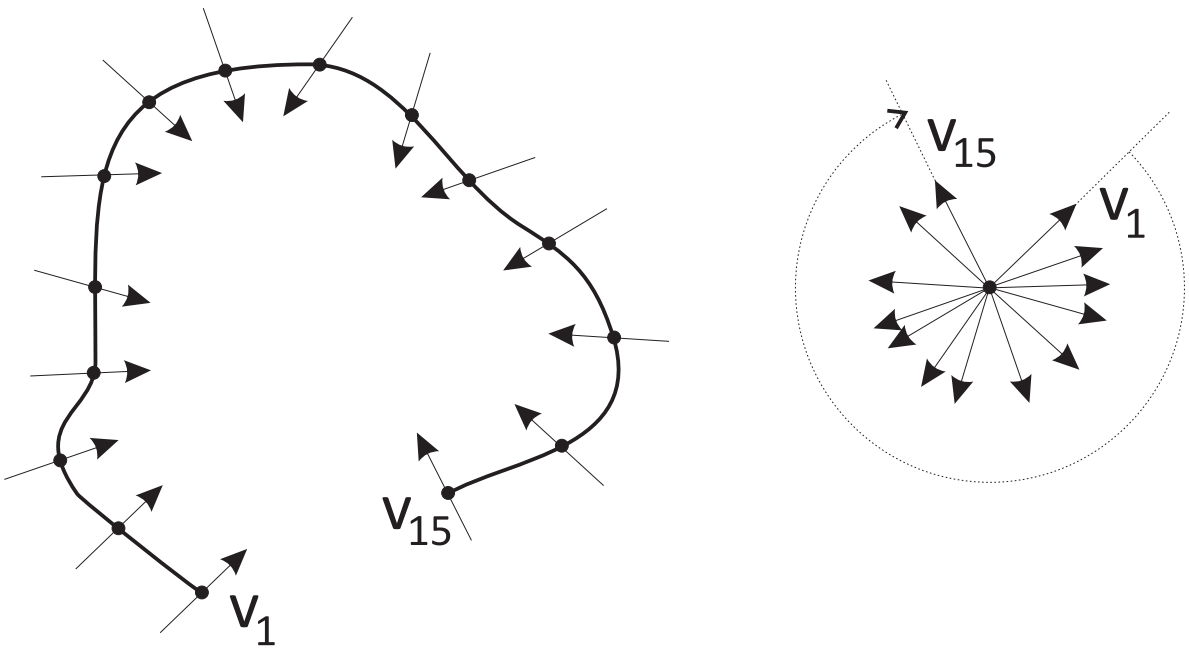

delta

odciski syntetyczne wygenerowane programem SFINGE

1. Punkty osobliwe
   - wir, pętla, delta
   - podstawa klasyfikacji odcisków
2. Rdzeń
   - tożsamy z najbardziej na północ wysuniętym punktem osobliwych typu wir lub pętla
   - dla odcisków nieposiadających punktów osobliwych tożsamy z położeniem maksymalnej krzywizny linii (trudne do określenia)
   - niezbędny w celu wyrównania obrazów przed identyfikacją

Lokalizacja punktów osobliwych

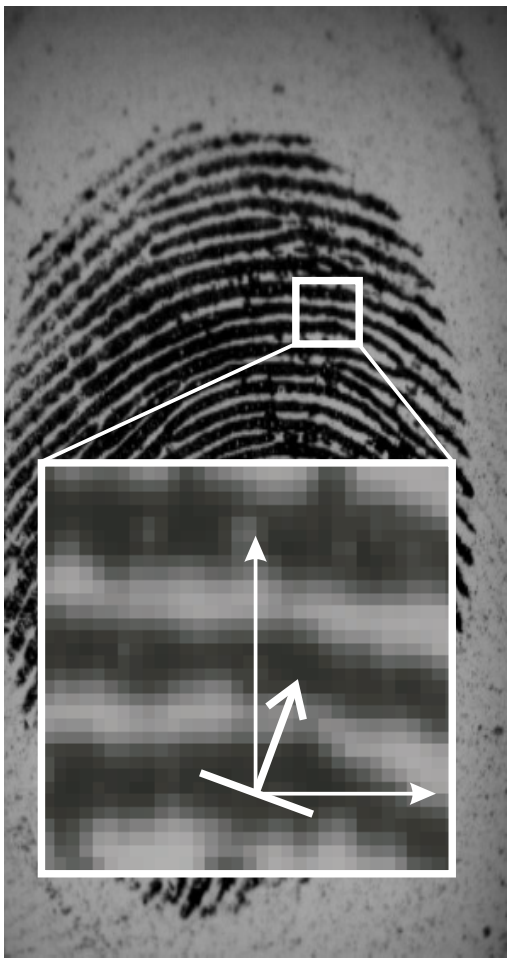
Indeks Poincaré (Kawagoe i Tojo, 1984)



1. Całkowita rotacja wzdłuż krzywej pola wektorowego
2. Obraz kierunkowy odcisku $\neq$ pole wektorowe (brak informacji o zwrocie wektorów)
   - losowy wybór zwrotu pierwszego wektora

Lokalizacja punktów osobliwych

Estymacja obrazu kierunkowego



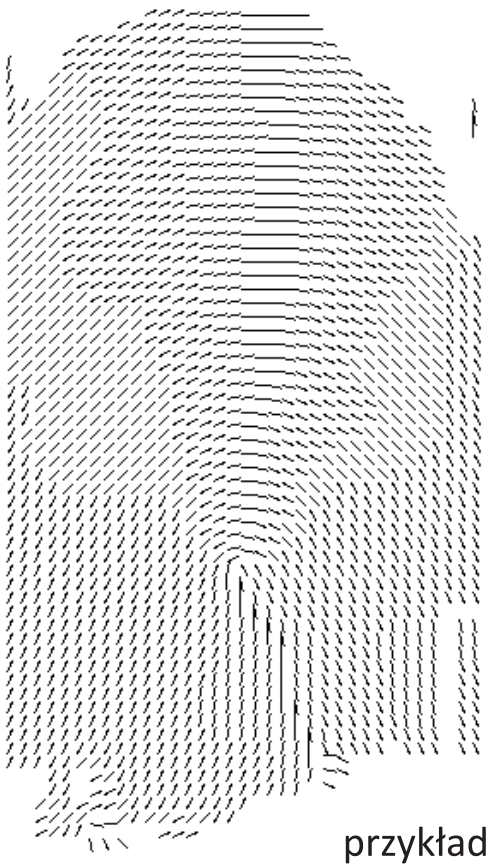
1. Pole gradientu (dyskretnego)

$$\nabla(x_i, y_i) = [\nabla_x(x_i, y_i), \nabla_y(x_i, y_i)]^T$$

2. Pole kierunków ortogonalne do pola gradientu; elementy nie posiadają zwrotu
3. Obraz kierunkowy $\equiv$ pole średnich lokalnych kierunków
4. Uśrednianie (kierunków nie gradientów) w obszarach np. 8×8 punktów

Lokalizacja punktów osobliwych

Estymacja obrazu kierunkowego



przykład
obrazu kierunkowego

obraz wyk. progr. NIST mindtct

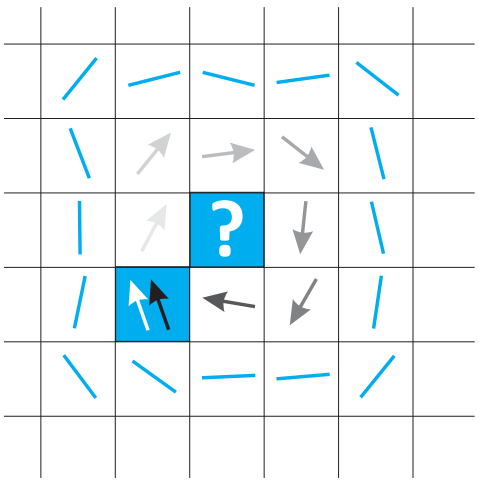
1. Pole gradientu (dyskretnego)

$$\nabla(x_i, y_i) = [\nabla_x(x_i, y_i), \nabla_y(x_i, y_i)]^T$$

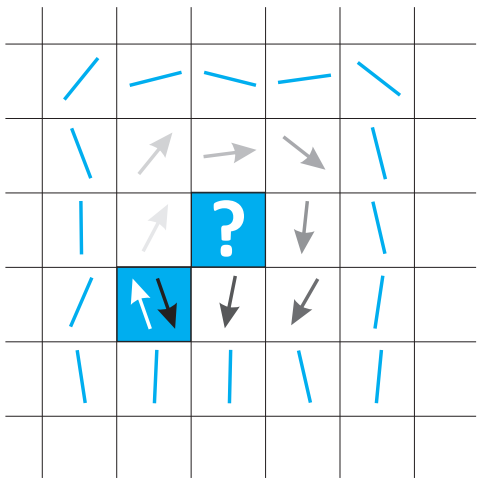
2. Pole kierunków ortogonalne do pola gradientu; elementy nie posiadają zwrotu
3. Obraz kierunkowy $\equiv$ pole średnich lokalnych kierunków
4. Uśrednianie (kierunków nie gradientów) w obszarach np. 8×8 punktów

Lokalizacja punktów osobliwych

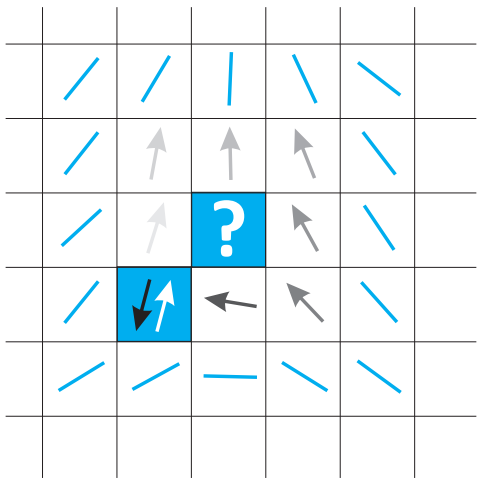
Indeks Poincaré (Kawagoe i Tojo, 1984)



p = 360° (wir)



p = 180° (pętla)



p = -180° (delta)

Cztery dyskretne wartości indeksu:

0°	–	punkt nie należy do regionu pkt. osob.
360°	–	punkt należy do regionu typu wir
180°	–	punkt należy do regionu typu pętla
-180°	–	punkt należy do regionu typu delta

Lokalizacja punktów osobliwych

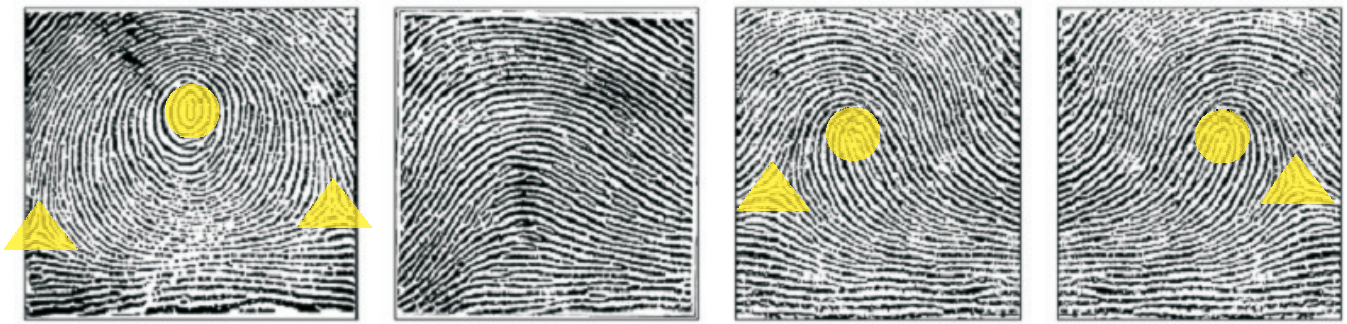
Pozostałe popularne metody

1. Cechy lokalne układu linii: nieregularność, krzywizna, symetria
   - np. operator nieregularności (Capelli)

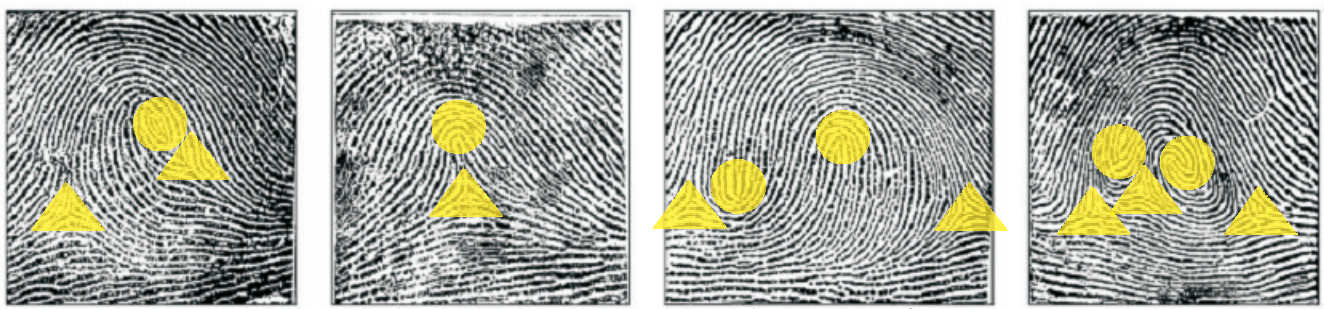
$$\rho_{i,j} = 1 - \frac{\| \sum_m \sum_n \mathbf{d}_{m-i,n-j} \|}{\sum_m \sum_n \| \mathbf{d}_{m-i,n-j} \|}$$

2. Partycjonowanie obrazu (z wykorzystaniem dyskretyzacji nachyleń linii)

Klasyfikacja Henry'ego



wir (27.9%) | łuk zwykły (2.7%) | pętla prawa (31.7%) | pętla lewa (33.8%)



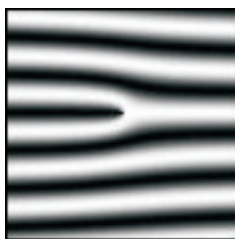
gniazdo centralne | łuk uniesiony (2.9%) | pętla podwójna | ułożenie przypadkowe

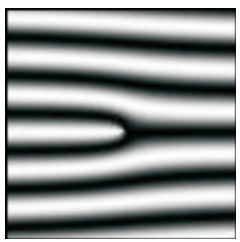
Źródło: N. Yager, A. Amin, *Fingerprint verification based on minutiae features*. Pattern Anal. Applic. vol. 7, str. 94-113, 2004

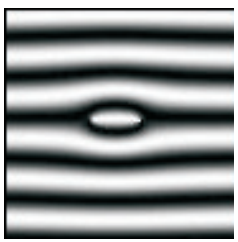
Poziom lokalny

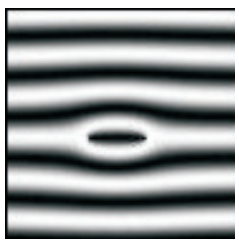
Minucje (detale Galtona)

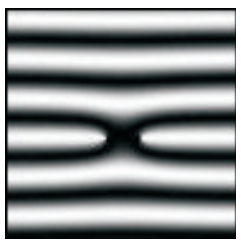
minucje podstawowe

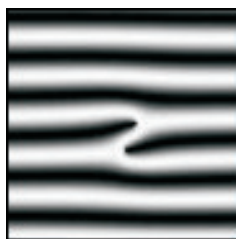

zakończenie

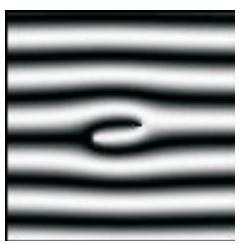

rozwidlenie

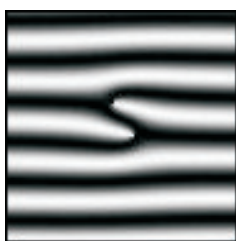

oczko

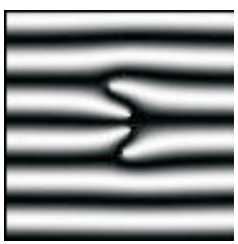

odcinek

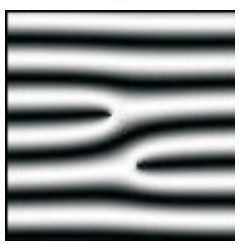

skrzyżowanie

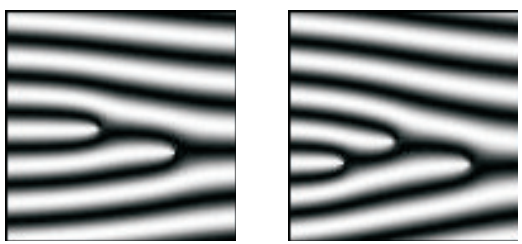

styk boczny


haczyk

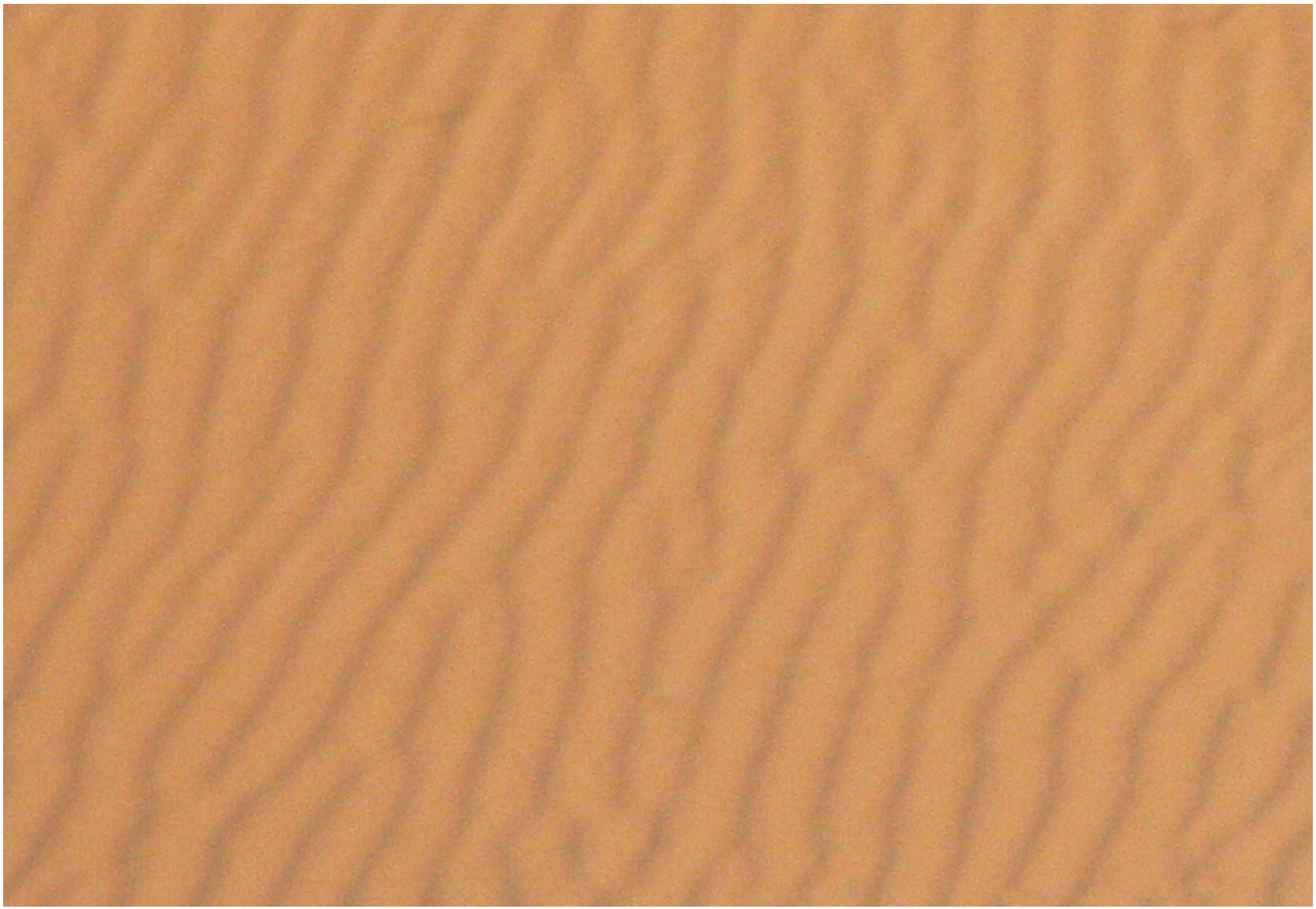

mostek


mostek bliźniaczy


linia przechodząca


rozwidlenia

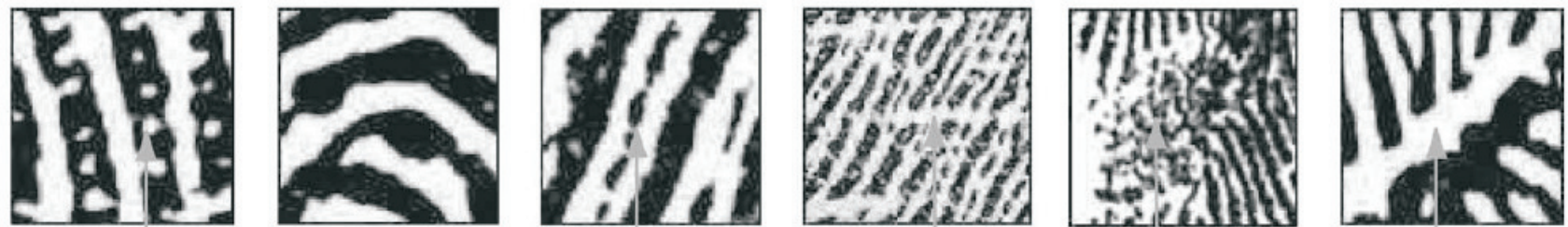
przykłady pochodzą ze strony `www.optel.com.pl`



Źródło: freewallpaperspot.com

Poziom szczegółów

źródło: A. K. Jain, Y. Chen, and M. Demirkus, *Pores and Ridges: High-Resolution Fingerprint Matching Using Level 3 Features,* PAMI, IEEE, 2007



1. Wymagana rozdzielczość: co najmniej 1000 dpi
2. Cechy indywidualne: kształt linii, położenie i kształt porów, zmarszczek, brodawek, blizn, linii zdegenerowanych
3. Umożliwia identyfikację z wykorzystaniem fragmentu odcisku

AFIS i biometria

(AFIS: Automatic Fingerprint Identification System)

1. Kryminalistyka
   - Ogromne bazy danych: aktualna baza FBI – ponad 200 mln kart daktyloskopijnych (karta zawiera odcisk każdego z 10 palców), baza polska – około 3.4 mln kart oraz 85 tys. niezidentyfikowanych śladów z miejsc przestępstw (CLK KGP, październik 2012)
   - Różna jakość danych (odciski utajone, niepełne)
   - Czas identyfikacji odcisku liczony w minutach

     przykład: przeszukanie 3.4 mln kart daktyloskopijnych zajęłoby jednej osobie ok. 134 lata; system AFIS to samo zadanie rozwiązuje w ok. 40 minut
2. Biometria
   - Identyczna jakość porównywanych odcisków
   - Czas identyfikacji odcisku liczony w ułamkach sekundy

Wykład 2: Biometria odcisku palca

Przedmiot obserwacji
Pozyskiwanie obrazu
Przetwarzanie wstępne
Klasyfikacja metod rozpoznawania
Metody minucyjne

Metody pozyskiwania odcisków

1. Metody off-line
   - Digitalizacja odcisków z kart daktyloskopijnych
   - Digitalizacja odcisków utajonych (ang. *latent fingerprints*)
2. Metody on-line
   - Pojemnościowe
   - Optyczne
   - Naciskowe
   - Termiczne
   - Ultradźwiękowe
   - Bezdotykowe (nowość)

Obrazowanie odcisków ukrytych (utajonych)

(stosowane przez ekspertów, nie w systemach automatycznych)

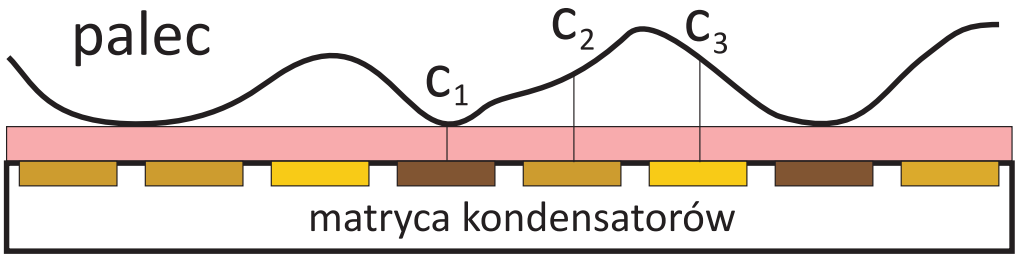
Daktyloskopijny magnetyczny
proszek fluorescencyjny

Obraz w świetle widzialnym

Obraz w świetle UV
(+ filtr pomarańczowy)

Obrazy otrzymane przy współpracy z Katedrą Kryminalistyki
Wydziału Prawa i Administracji Uniwersytetu Warszawskiego
w ramach projektu MNiSW “Pratforma bezpiecznej implementacji biometrii”

Technika pojemnościowa



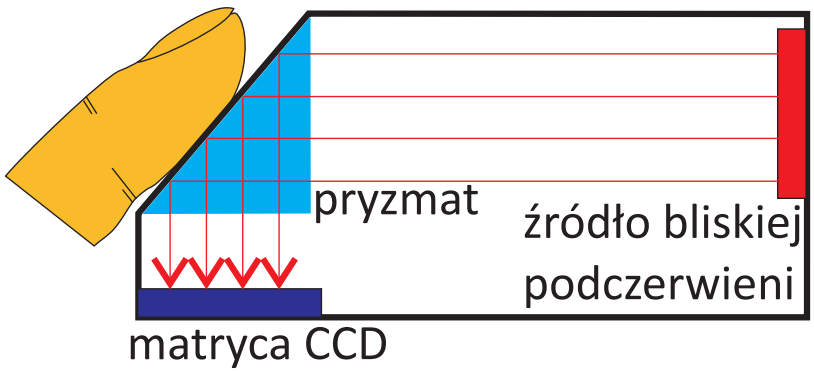
1. Matryca kondensatorów o ładunku zależnym od odległości struktury palca od sensora
2. Ładunek zamieniany w przetworniku AC na liczbę 8-bitową
3. Niski koszt wykonania
4. Niska odporność na zakłócenia
5. Wrażliwość na wilgotność palca
6. Dokładność maleje z czasem wskutek zanieczyszczeń (kontakt ze skórą)
7. Typowa rozdzielczość 300 dpi

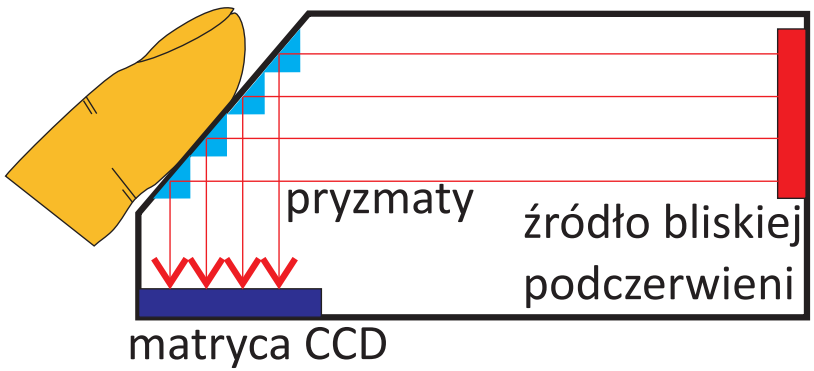
Technika pojemnościowa

Przykładowe zdjęcie odcisku

źródło:
FVC 2002

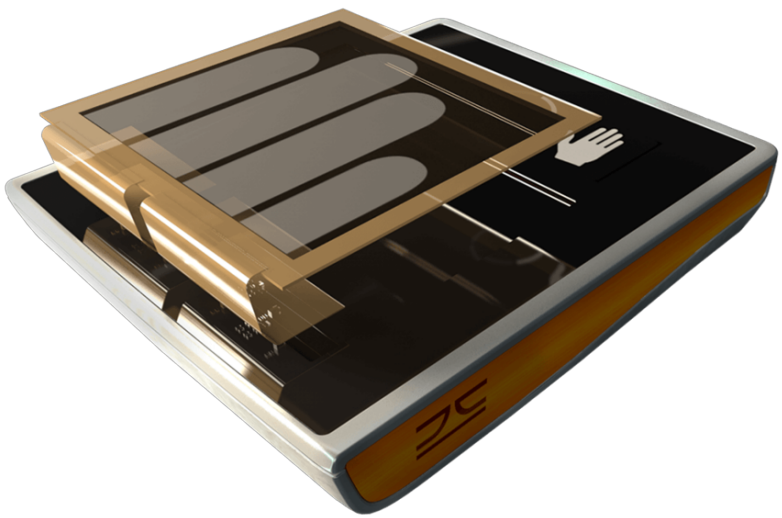
Technika optyczna





1. Na granicy dwóch ośrodków (gęstszego i rzadszego optycznie) światło ulega całkowitemu wewnętrznemu odbiciu
2. Brak odbicia w miejscach kontaktu struktury palca (grzbiety) z czytnikiem
3. Rejestracja obrazu 8-bitowego
4. Typowa rozdzielczość 400–600 dpi

Technika optyczna



Nowość: wersja bez pryzmatu, przeźroczysta, wyświetlająca informacje dla użytkownika wprost na sensorze

(www.jenetric.de, prezentacja podczas Biometrics 2015, Londyn, UK)

Technika optyczna

Przykładowe zdjęcia odcisku

Odcisk "płaski"
(czytnik: Biometrika FX2000)

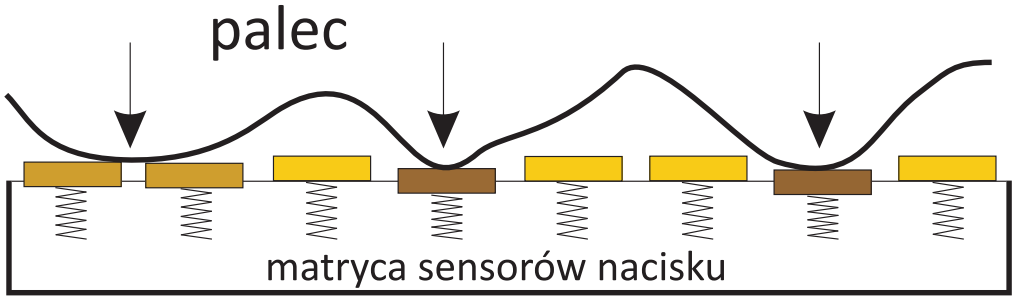
Odcisk "rolowany"
(czytnik: CrossMatch LS320)

Technika optyczna

Przykładowe zdjęcia odcisku

Obrazy kciuków (z lewej) i pozostałych palców (z prawej)
otrzymane w trybie "4-4-2" (czytnik: L1 TP4100)

Technika naciskowa



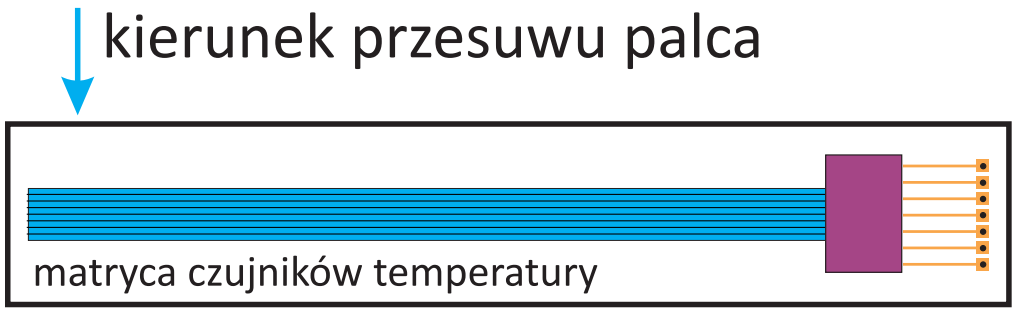
1. Matryca piezoelektrycznych sensorów nacisku
2. Siła nacisku przetwarzana przez każdy sensor na liczbę 8-bitową.
3. Brak wrażliwości na stopień wilgotności palca; obrazy dla zupełnie suchego i mokrego palca są niemal identyczne
4. Nieistotna całkowita siła nacisku palca na czytnik
5. Typowa rozdzielczość 400 dpi

Technika naciskowa

Przykładowe zdjęcie odcisku

Technika termiczna

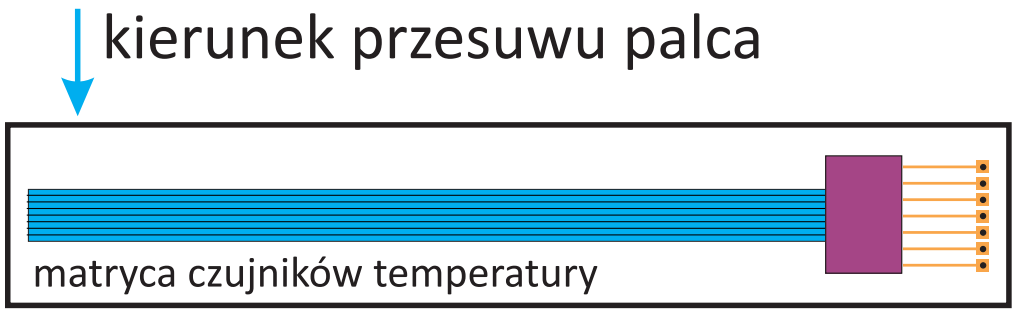
(na przyładzie Atmel AT77C101B FingerChip)



1. Pomiar temperatury palca przesuwanego w kierunku prostopadłym do matrycy sensorów temperatury (8 x 280 sensorów)
2. Przetwornik AC porównuje temperatury zmierzone w chwilach t oraz t+Δ, do 1780 pomiarów na sekundę (istotna stabilność Δ w czasie pomiaru)

Technika termiczna

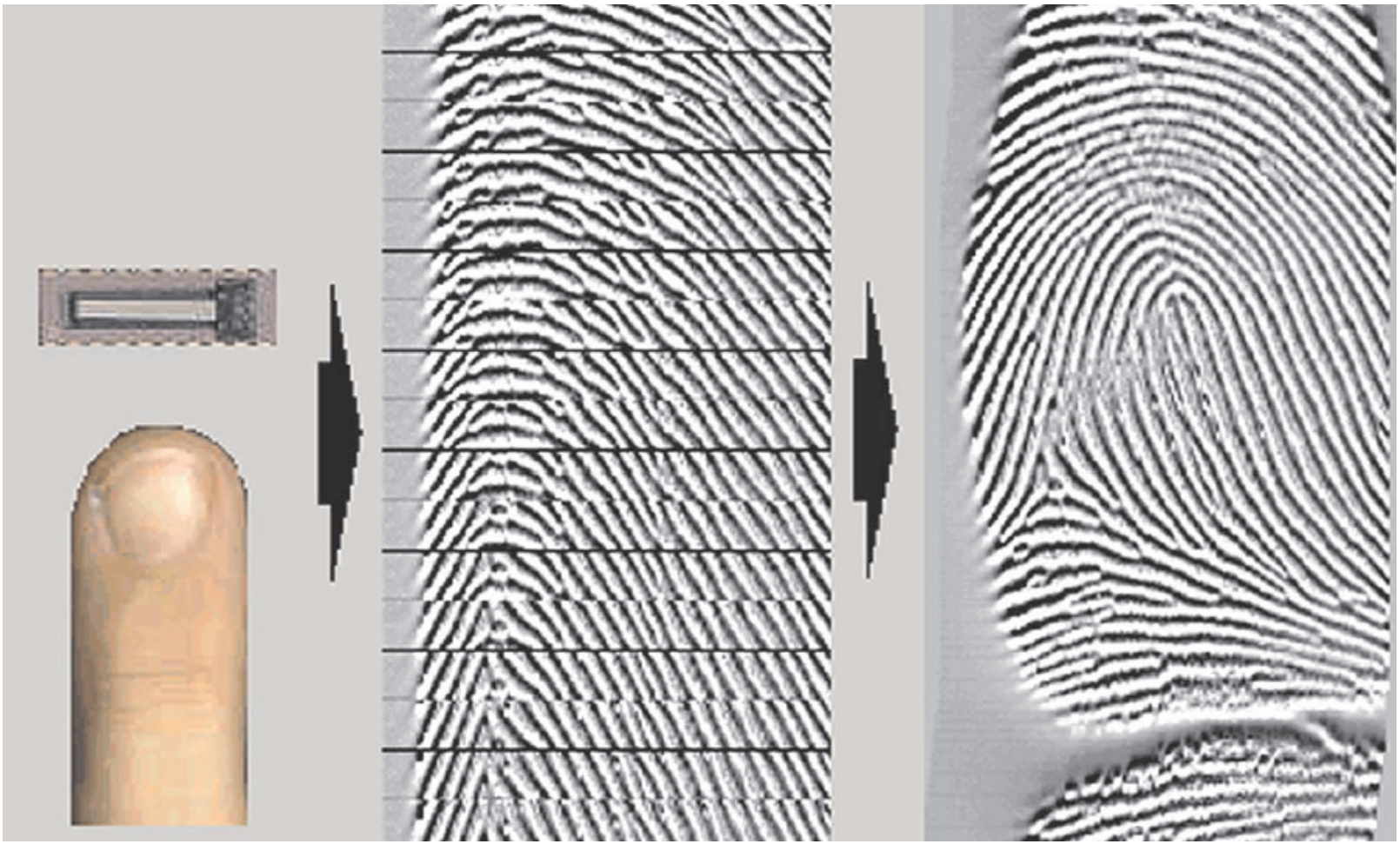
(na przyładzie Atmel AT77C101B FingerChip)



3. Mały rozmiar sensora (50μm) daje wysoką rozdzielczość (500 dpi)
4. Dokładność odwrotnie proporcjonalna do szybkości skanowania (dla przeciętnej szybkości przesuwu wymagane ¿ 500 pomiarów na sek.)

Technika termiczna

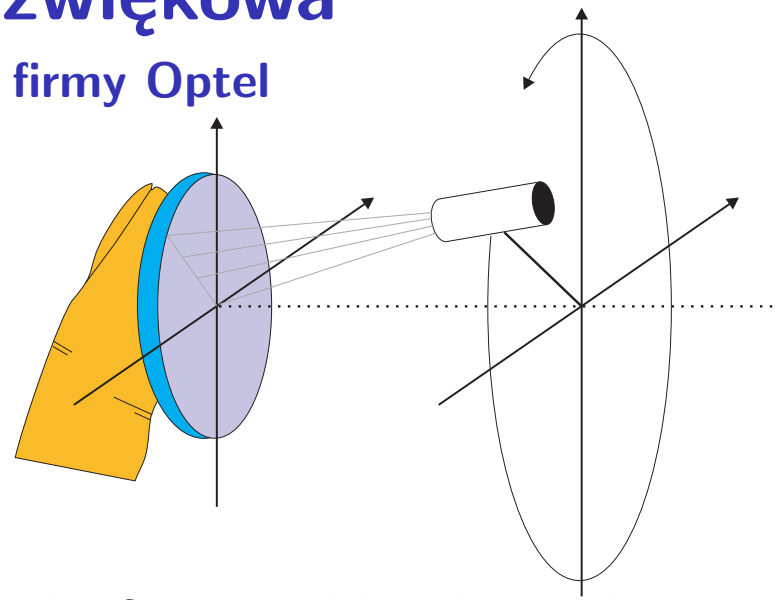
Przykładowe zdjęcie odcisku



źródło: Atmel Fingerchip Witepaper

Technika ultradźwiękowa

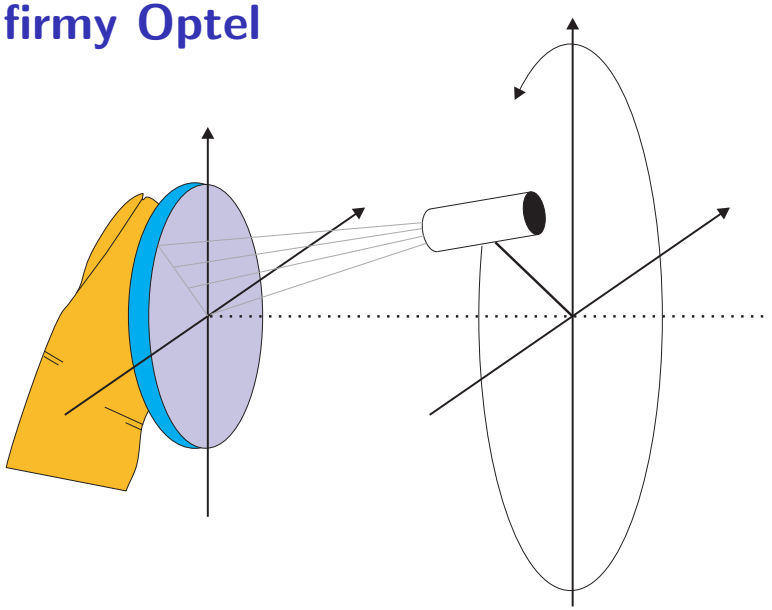
Propozycja wrocławskiej firmy Optel



1. Zmiana rozkładu fal ultradźwiękowych na granicy dwóch ośrodków
2. Odczyt odpowiedzi impulsowej za pomocą głowicy ultradźwiękowej poruszającej się koliście w płaszczyźnie równoległej do powierzchni palca
3. Sygnał z głowicy (rodzina odpowiedzi impulsowych) przetwarzany z zastosowaniem technik stosowanych dla tomografów odbiciowych

Technika ultradźwiękowa

Propozycja wrocławskiej firmy Optel



4. 256 pomiarów na sek. daje rozdzielczość ok. 250 dpi
5. Rozwiązanie droższe i bardziej skomplikowane, trudna miniaturyzacja
6. Możliwość testu żywotności: rozproszenia fal dźwiękowych nie tylko w miejscu kontaktu pozwala na detekcję przepływu krwi

Technika ultradźwiękowa

Przykładowe zdjęcie odcisku

źródło:
www.optel.com.pl

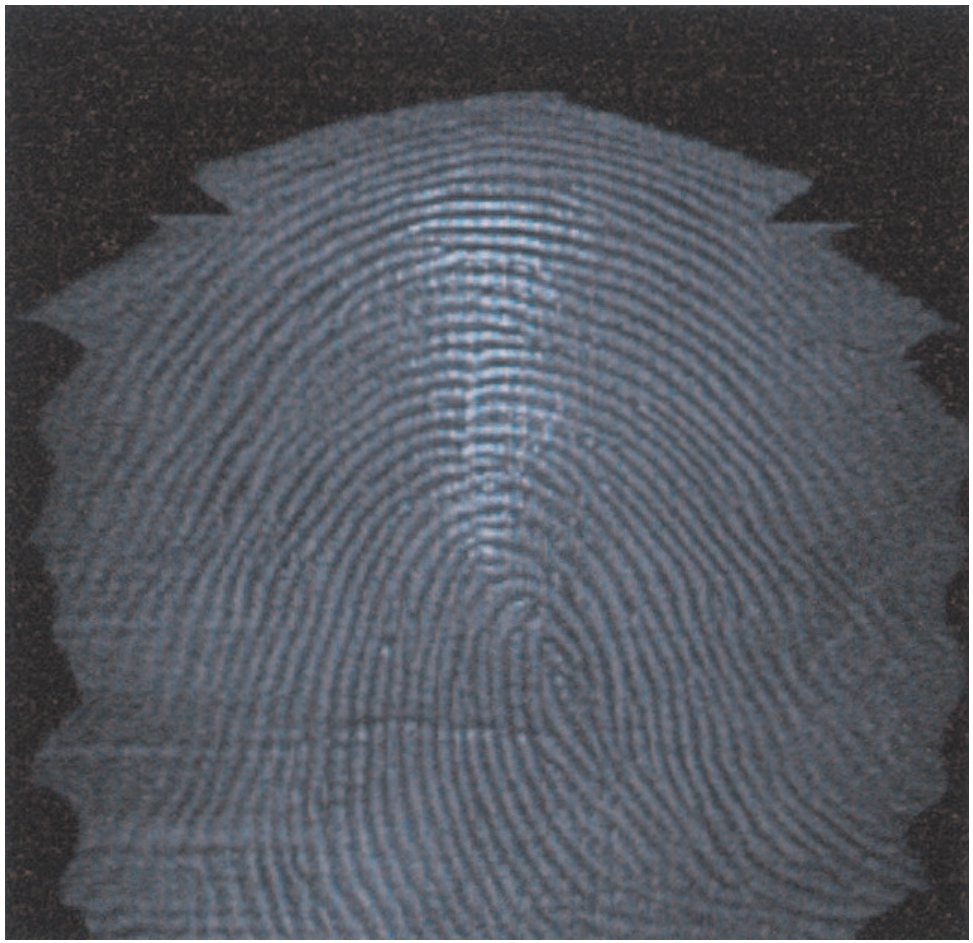
Technika bezdotykowa

Prototyp bezdotykowego czytnika
linii papilarnych
(SAGEM, Biometrics 2009, Londyn)

1. Obrazowanie 3D przy pomocy przetworników CCD
2. Przekształcenie obrazu 3D odcisku do postaci (płaskiej) zgodnej z ISO/IEC 19794-4 (standard definiujący postaæ obrazu odcisku palca) oraz z wymaganiami ICAO dot. dokumentów podróży

Technika bezdotykowa

Przykładowe zdjęcie odcisku

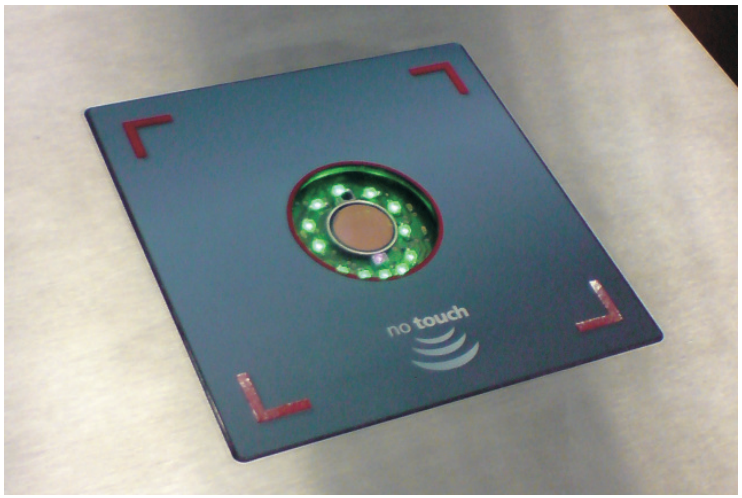


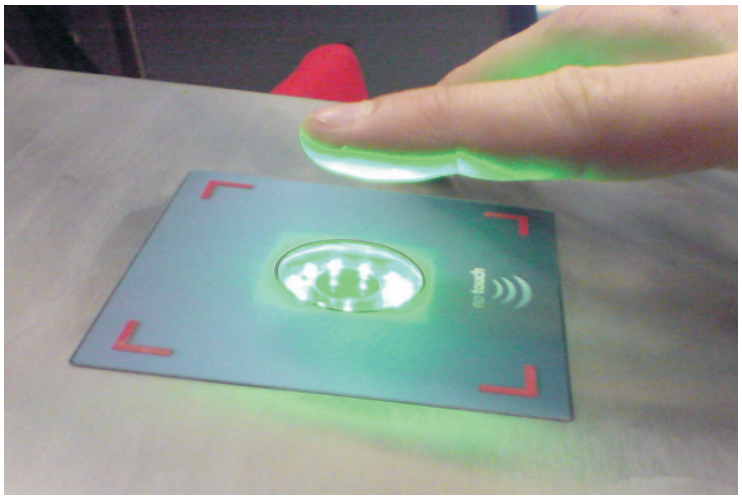
czytnik:
MORPHO

Przykłady czytników

Bezdotykowy czytnik linii papilarnych MORPHO (Biometrics 2010, Londyn)

Przykłady czytników





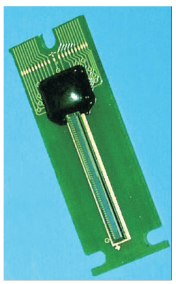
Bezdotykowy czytnik linii papilarnych TST Biometrics (Biometrics 2010, Londyn)

Przykłady czytników

Optyczne
(Identix)

Pojemnościowe
(Precise Biometrics i Covetek)

Naciskowy
(BMF/Hitachi)



Termiczny
(BioOK i Atmel Fingerchip)

Ultradźwiękowy
(Optel)

Reprezentacja obrazu

1. Pełny (surowy) obraz
   ISO/IEC 19794-4:2005
2. Obraz po kompresji
   - WSQ (*Wavelet Scalar Quantization*, kompresja falkowa wykorzystywana przez FBI)
     IAFIS-IC-0110 (V3), WSQ Gray-scale Fingerprint Image Compression Specification 1997
     - transformata falkowa
     - kwantyzacja współczynników rozwinięcia falkowego
     - kodowanie Huffmana
   - JPEG, JPEG2000, PNG

Reprezentacja obrazu

3. Dane spektralne
   ISO/IEC 19794-3:2006
   - podział obrazu na regiony
   - przekształcenie kosinusowe
   - dyskretna transformata Fouriera
   - filtry Gabora
4. Obraz szkieletowy (reprezentacja symboliczna linii)
   ISO/IEC 19794-8:2006
5. Obraz cech (np. minucji)
   ISO/IEC 19794-2:2005

Wykład 2: Biometria odcisku palca

Przedmiot obserwacji
Pozyskiwanie obrazu
Przetwarzanie wstępne
Klasyfikacja metod rozpoznawania
Metody minucyjne

Zakłócenia

1. Deformacje liniowe i afiniczne
   - przesunięcia i obroty palca, inny kąt ułożenia palca (problem małych sensorów)

     przykład: przesunięcie o 2mm (niezauważalne dla człowieka) to różnica około 40 pikseli dla sensora o rozdzielczości 500 dpi
2. Deformacje nieliniowe (zniekształcenia elastyczne)
   - różna siła docisku
   - mapowanie 3D $\Rightarrow$ 2D
   - główna przyczyna zmienności wewnątrzklasowej

Zakłócenia

3. Różne obszary pomiarowe
4. Własności skóry (sucha, spocona, chora, zraniona)
   - grzbiety nie kontaktują się z powierzchnią urządzenia
   - niekompletny obraz odcisku
   - nieciągłości linii
   - sklejenia linii
5. Odciski utajone pozostałe po poprzednich pomiarach
6. Niedokładność urządzenia pomiarowego

Zakłócenia

Przykładowe obrazy odcisku dla skóry normalnej, suchej i wilgotnej

Source: D. Maltoni, *et al.* Handbook of Fingerprint Recognition, Second Edition

Normal skin

Dry skin

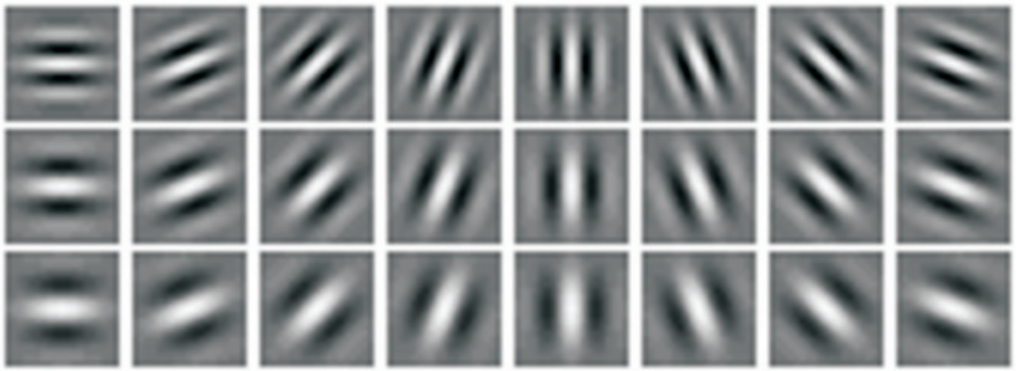
Wet skin

Przetwarzanie wstępne

1. Uwypuklanie grzbietów i dolin
   - lokalna selektywność kierunkowa i częstotliwościowa: transformata Fouriera, filtry Gabora, przekształcenia falkowe
   - odpowiedź filtrów osiąga maksimum na kierunkach ortogonalnych do grzbietów
2. Wyrównywanie jasności i ostrości obrazu
   - wyrównywanie histogramu
   - filtracja Laplace'a

Przetwarzanie wstępne

przykład: filtr Gabora do uwypuklania grzbietów i dolin



Graphical representation of Gabor filter bank used in fingerprint image enhancement

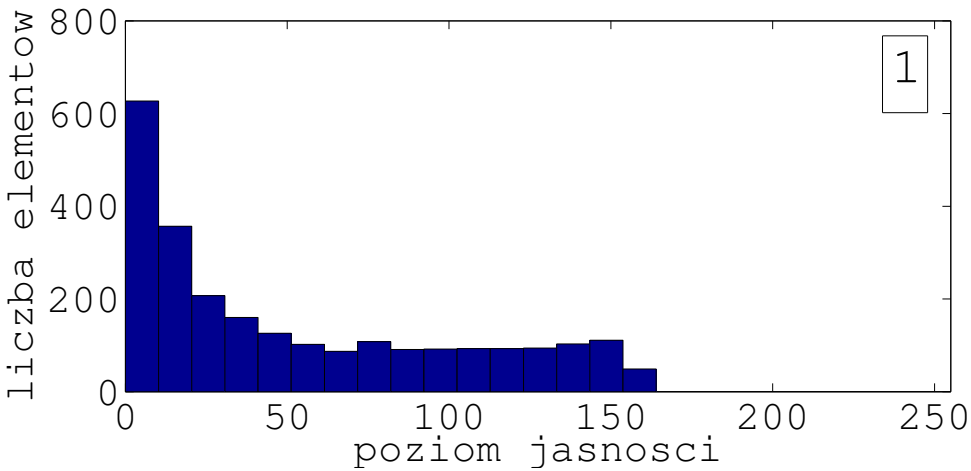
Original fingerprint image (**left**) and enhanced fingerprint image (**right**)

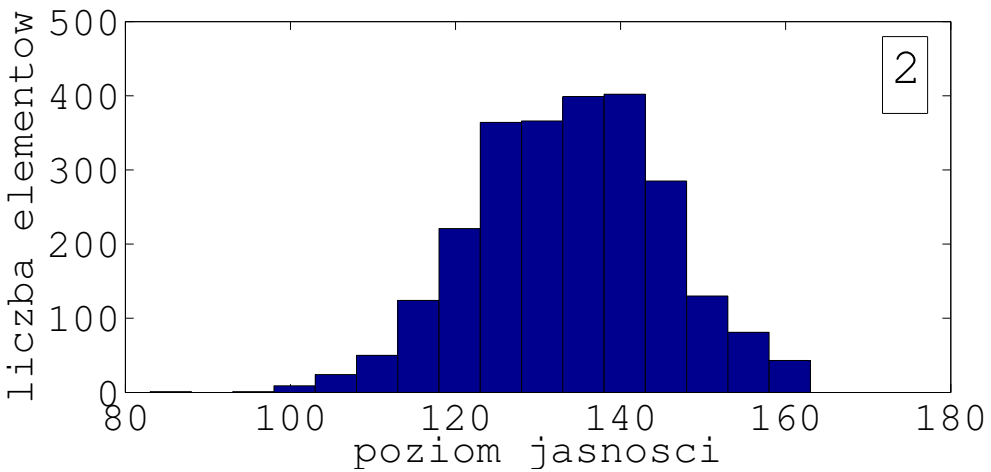
Source: D. Maltoni, *et al.* Handbook of Fingerprint Recognition, Second Edition

Segmentacja

Segmentacja

1. Analiza histogramów





Segmentacja

2. Średnia wariancja w obszarach

   Dla przykładowych obszarów:

$$\sigma_1^2 = 2\ 441.12$$

$$\sigma_2^2 = 131.96$$

   Modyfikacja: wariancja w kierunkach ortogonalnych i równoległych do grzbietów

3. Analiza wartości gradientu

Segmentacja

4. Lokalne widmo Fouriera do oceny energii
5. Filtry Gabora (selektywność kierunkowa i częstotliwościowa)
6. Wskaźniki wielowymiarowe (dokładne ale intensywne obliczeniowo)

   przykłady:

   - wariancja + jasność + wartość gradientu
   - klasyfikator liniowy + filtry morfologiczne

Segmentacja

Wykład 2: Biometria odcisku palca

Przedmiot obserwacji
Pozyskiwanie obrazu
Przetwarzanie wstępne
Klasyfikacja metod rozpoznawania
Metody minucyjne

Klasyfikacja metod rozpoznawania

1. Porównywanie na poziomie globalnym
(ang. *level 1 fingerprint matching*)
   - lokalne własności obrazu kierunkowego
   - filtracja obrazu (np. falkowa) + kwantyzacja wyniku filtracji (budowanie "kodu odcisku")
   - metody korelacyjne
2. Porównywanie na poziomie lokalnym
(ang. *level 2 fingerprint matching*)
   - reprezentacja odcisku jako mapy minucji
(położenie i orientacja, rzadko typ minucji)
   - poszukiwanie maksymalnej liczby par "pasujących" minucji
   - podejście zdecydowanie najpopularniejsze
3. Porównywanie na poziomie szczegółów
(ang. *level 3 fingerprint matching*)
   - własności szczegółów: kształt, położenie, orientacja (jeśli ma sens), liczność, itp.

Potrzeba wprowadzania metod nieminucyjnych

1. Dodatkowy, w stosunku do minucyjnego, opis odcisku
2. Większa niezawodność dla odcisków bardzo słabej jakości
3. Możliwość rozpoznania odcisków niepełnych

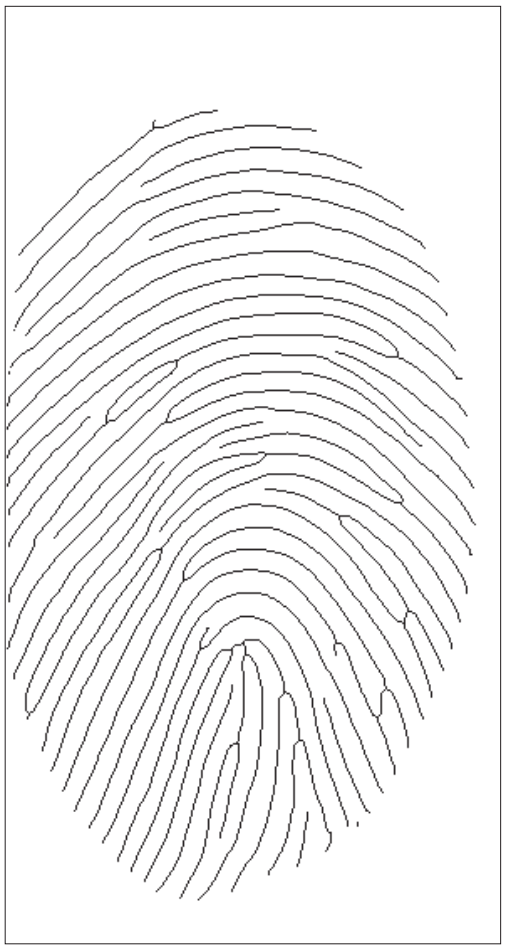
Wykład 2: Biometria odcisku palca

Przedmiot obserwacji
Pozyskiwanie obrazu
Przetwarzanie wstępne
Klasyfikacja metod rozpoznawania
Metody minucyjne

W jakich obrazach szukamy minucji?

Gray scale image

Binary image



Skeletal image

Estymacja minucji

Wykorzystanie obrazu oryginalnego (w skali szarości)

1. Śledzenie grzbietów (Maio, Maltoni, 1997)
   - Modyfikacja 1: adaptacja długości kroku i progu binaryzacji (Jiang, Yau, Ser 1999, 2001)
   - Modyfikacja 2: jednoczesne śledzenie grzbietu i sąsiednich dolin (Liu, Huang, Chan, 2000)
2. Filtr Gabora + klasyfikacja nieliniowa, np. perceptron nieliniowy (Leung, Engeler, Franck, 1990)
3. Modelowanie lokalnych histogramów mieszaninami gaussowskimi (Chang, Fan, 2001)
4. Symetria obszarów (Nilsson, Bigun, 2001)

Estymacja minucji

Wykorzystanie obrazu binarnego

przykład obrazu binarnego

wyk. progr. NIST mindtct

1. Detekcja grzbietów (tworzenie obrazu binarnego)
   - progowanie obrazu z progiem globalnym (niska jakość)
   - progowanie obrazu z progiem lokalnym/adaptacyjnym
   - dekompozycja lokalnego histogramu poziomu jasności w kierunkach ortogonalnych do grzbietów (Ratha, Chen, Jain, 1995)
   - uwypuklanie grzbietów i dolin + progowanie z progiem lokalnym
2. Śledzenie grzbietów (łatwiejsze niż dla obrazu w skali szarości)

Estymacja minucji

Wykorzystanie obrazu szkieletowego

przykład
obrazu szkieletowego

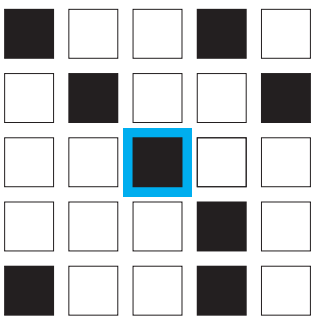
wyk. progr. Neurotechnology

1. Pocienianie obrazu binarnego
   - morfologia matematyczna
   - metody znane z problemów rozpoznawania pisma, analizy dokumentów, wektoryzacji map
2. Wygładzanie obrazu szkieletowego
   - usuwanie krótkich grzbietów
   - usuwanie krótkich połączeń grzbietów
   - łączenie krótkich przerw grzbietów

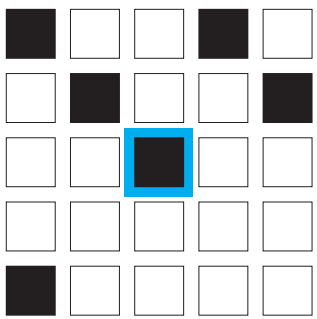
Estymacja minucji

Wykorzystanie obrazu szkieletowego

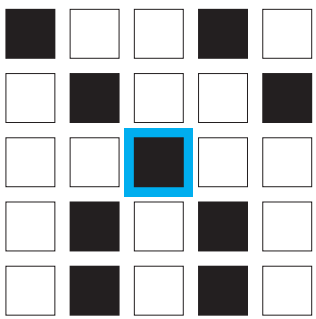
brak minucji



zakończenie



rozwidlenie

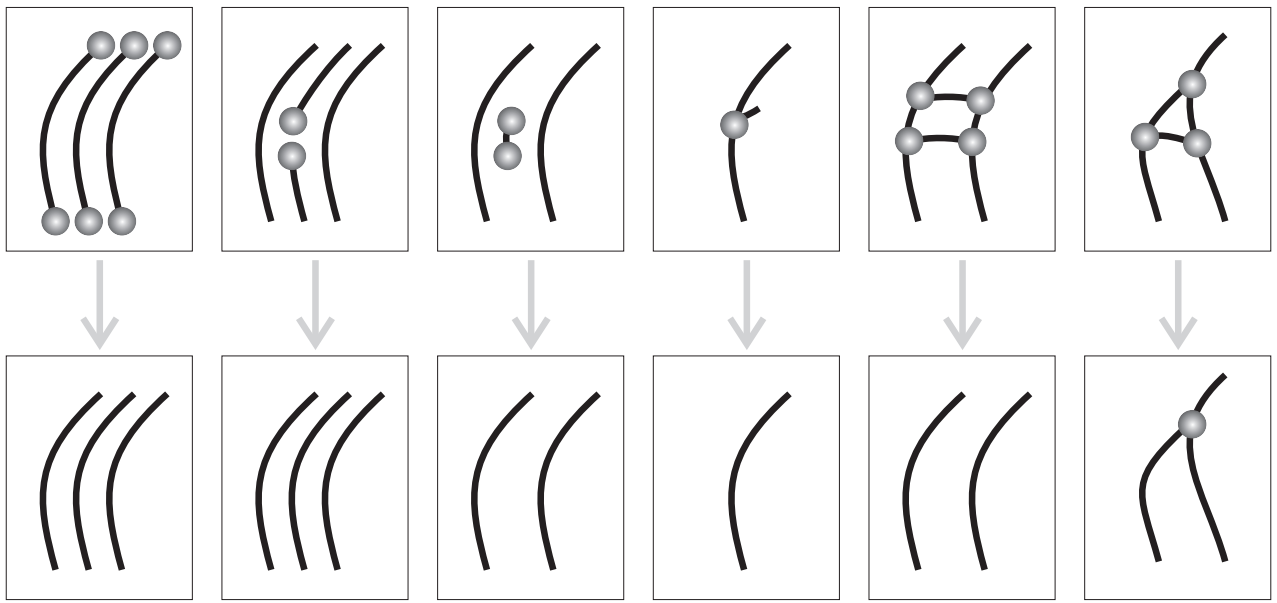


rys. na podstawie:
D. Maltoni *et al.*,
Handbook of Fingerprint Recognition, Springer, 2005

3. Prosta analiza sąsiadujących elementów
   - liczba sąsiadów należących do grzbietu
     $= 1$: zakończenie
     $= 2$: grzbiet, brak minucji
     ≥ 3 : rozwidlenie
   - zakłócenia mogą zwielokrotniać liczbę minucji
     (niezbędna weryfikacja fałszywych minucji)

Estymacja minucji

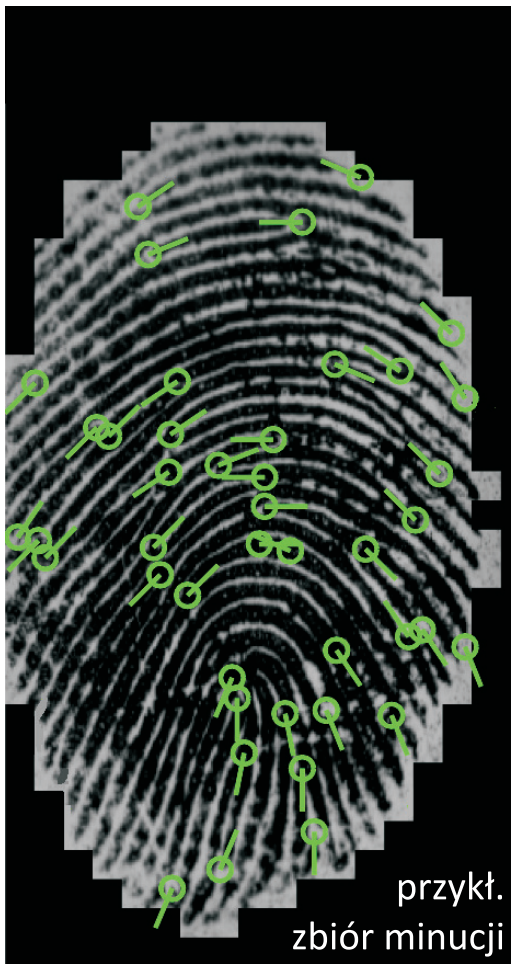
Wykorzystanie obrazu szkieletowego

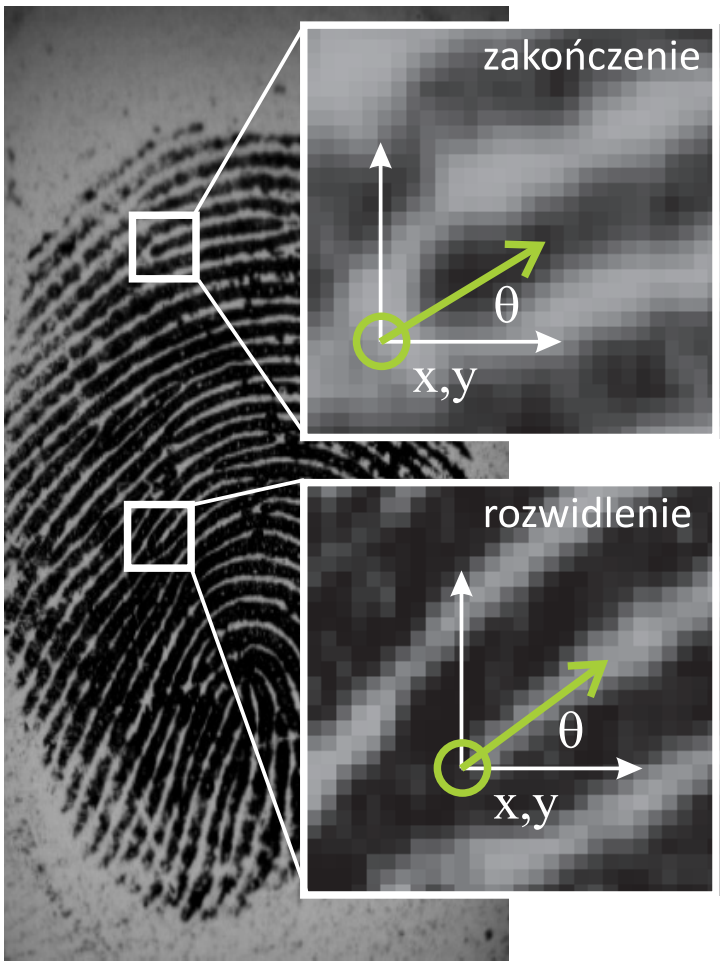


4. Filtracja minucji
   - reguły heurystyczne: usuwanie minucji brzegowych oraz konstelacji minucji
   - wykorzystanie dualności minucji (Hung, 1993)

Przykładowa mapa minucji

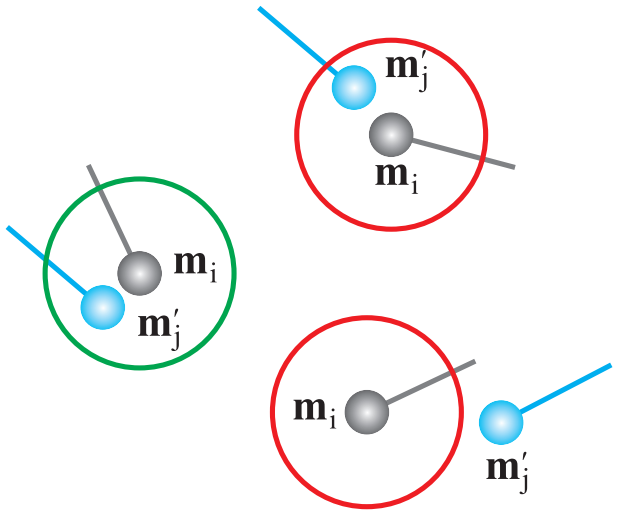
Po prawej: parametry minucji zgodnie z ISO/IEC FDIS 19794-2 (2011)





Kroki dopasowania map minucji

1. Kompensacja deformacji liniowych
   - dopasowywanie afiniczne zbiorów minucji (poszukiwanie przekształcenia afinicznego)



2. Kompensacja deformacji nieliniowych
   - określenie obszaru dopuszczalnego błędu dla każdej minucji (ang. *tolerance box*)
   - wykorzystanie formy kanonicznej obrazu szkieletowego odcisku (Senior, Bolle, 2001)
   - marszczenie powierzchni (Capelli, Maio, Maltoni, 2001)

Kroki dopasowania map minucji

3. Wyznaczenie wskaźnika dopasowania
   - popularny: $\frac{\text{liczba pasujących minucji}}{\text{średnia liczba minucji w obu obrazach}}$
   - modyfikacje:
     a) wagi związane z jakością minucji (minucje o lepszej jakości mają większy wpływ na wynik)
     b) liczba minucji w części wspólnej obrazów (po segmentacji) zamiast średniej liczby minucji w całych obrazach

Dopasowywanie wzorców punktowych

Sformułowanie problemu

Zbiory punktów (minucji)

$$\mathcal{W} = \{\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \ldots, \mathbf{m}_M\}, \quad \mathbf{m}_i = \{x_i, y_i, \theta_i\}, \quad i = 1, \ldots, M$$
$$\mathcal{P} = \{\mathbf{m}'_1, \mathbf{m}'_2, \ldots, \mathbf{m}'_N\}, \quad \mathbf{m}'_j = \{x'_j, y'_j, \theta'_j\}, \quad j = 1, \ldots, N$$

Warunki dopasowanie zbiorów

$$s(\mathbf{m}'_j, \mathbf{m}_i) = \sqrt{(x'_j - x_i)^2 + (y'_j - y_i)^2} \leq r_0$$
$$d(\mathbf{m}'_j, \mathbf{m}_i) = \min\left(|\theta'_j - \theta_i|, 360^\circ - |\theta'_j - \theta_i|\right) \leq \theta_0$$

Dopasowywanie wzorców punktowych

Sformułowanie problemu

Dopasowanie zbiorów

$$f : \mathbf{m}'_j \mapsto \mathbf{m}''_j$$

$$\mathbf{m}'_j = \{x'_j, y'_j, \theta'_j\}, \quad \mathbf{m}''_j = \{x''_j, y''_j, \theta'_j + \theta\}, \quad j = 1, \ldots, N$$

np. przy uwzględnieniu jedynie obrotu i przesunięcia:

$$\begin{bmatrix} x''_j \\ y''_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'_j \\ y'_j \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}$$

Dopasowywanie wzorców punktowych

Sformułowanie problemu

Funkcja celu

$$\max_{\Delta x,\Delta y,\theta,p} \sum_{i=1}^{N} h\Big(f_{\Delta x,\Delta y,\theta}(\mathbf{m}'_{p(i)}), \mathbf{m}_i\Big)$$

gdzie

$$h(\mathbf{m}''_j, \mathbf{m}_i) = \begin{cases} 1 & \text{jeżeli } s(\mathbf{m}''_j, \mathbf{m}_i) \leq r_0 \text{ oraz } d(\mathbf{m}''_j, \mathbf{m}_i) \leq \theta_0 \\ 0 & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

natomiast p określa przyporządkowanie minucji w zbiorach $\mathcal{W}$ i $\mathcal{P}$.

Dopasowywanie wzorców punktowych

Sformułowanie problemu

Uwagi do funkcji p

- $p(i) = j$ nie oznacza, że minucje "pasują" do siebie w sensie h
- $p(i) = j$ gdy minucja $\mathbf{m}_i \in \mathcal{W}$ odpowiada minucji $\mathbf{m}'_j \in \mathcal{P}$
- gdy $p(i) \neq j$ dla $i = 1, \ldots, M$ minucja $\mathbf{m}'_j \in \mathcal{P}$ nie ma odpowiednika w zbiorze $\mathcal{W}$
- p jest funkcją wzajemnie jednoznaczną (bijekcją): każdej minucji $\mathbf{m}'_j \in \mathcal{P}$ przyporządkowana jest dokładnie jedna minucja $\mathbf{m}_i \in \mathcal{W}$ (nieprzyporządkowane minucje są pomijane w obliczeniach)
- w praktyce p jest nieznane, znalezienie rozwiązania poprzez pełen przegląd prowadzi do wykładniczej złożoności obliczeniowej (w funkcji liczby minucji)

Kompensacja deformacji liniowych

Przykład: wykorzystanie transformaty Hough'a

Maltoni *et al.*, "Handbook of Fingerprint Recognition", 2nd Ed., Springer 2009

1. Metoda popularna i szybka
2. Przekształca problem dopasowania wzorców punktowych do problemu znalezienia maksymalnych wartości w tzw. przestrzeni Hough'a lub przestrzeni parametrów

   parametry w biometrii odcisku: położenie i orientacja minucji oraz skala mapy minucji
3. Niezależni "eksperci" głosują nad optymalnymi (w ich mniemaniu) wartościami parametrów

   każdy głos "eksperta" zwiększa wartość wybranego elementu w tzw. przestrzeni akumulatorowej
4. Maksymalna wartość elementu przestrzeni akumulatorowej daje rozwiązanie (najlepsza kombinacja wartości parametrów)

Kompensacja deformacji liniowych

Przykład: wykorzystanie transformaty Hough'a

Maltoni *et al.*, "Handbook of Fingerprint Recognition", 2nd Ed., Springer 2009

Założenia

- przekształcenie opisywane czwórką $(\Delta x, \Delta y, \theta, s)$ reprezentującą – odpowiednio – przesunięcie, obrót i skalę
- wykorzystanie dyskretnych wartości $\Delta x^+, \Delta y^+, \theta^+$ oraz s^+ spośród zbiorów dopuszczalnych wartości przesunięcia, obrotu i skali

Kompensacja deformacji liniowych

Przykład: wykorzystanie transformaty Hough'a

Maltoni *et al.*, "Handbook of Fingerprint Recognition", 2nd Ed., Springer 2009

Wypełnianie tablicy akumulatorowej

$\mathbf{A}[\Delta x^+, \Delta y^+, \theta^+, s^+] = 0$ dla wszystkich $\Delta x^+, \Delta y^+, \theta^+$ oraz s^+

dla każdej $\mathbf{m}_i$, dla każdej $\mathbf{m}'_j$, dla każdego θ^+

jeżeli $d(\theta'_j + \theta^+, \theta_i) \leq \theta_0$

dla każdego s^+

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} - s^+ \begin{bmatrix} \cos\theta^+ & -\sin\theta^+ \\ \sin\theta^+ & \cos\theta^+ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'_j \\ y'_j \end{bmatrix}$$

$$\Delta x^+ = \text{kwantyzacja}(\Delta x),\ \Delta y^+ = \text{kwantyzacja}(\Delta y)$$

$$\mathbf{A}[\Delta x^+, \Delta y^+, \theta^+, s^+] = \mathbf{A}[\Delta x^+, \Delta y^+, \theta^+, s^+] + 1$$

Kompensacja deformacji liniowych

Przykład: wykorzystanie transformaty Hough'a

Maltoni *et al.*, "Handbook of Fingerprint Recognition", 2nd Ed., Springer 2009

Optymalne parametry przekształcenia

$$(\Delta x^*, \Delta y^*, \theta^*, s^*) = \underset{\Delta x^+, \Delta y^+, \theta^+, s^+}{\operatorname{argmax}} \mathbf{A}(\Delta x^+, \Delta y^+, \theta^+, s^+)$$

Pożyteczne modyfikacje:

1. Jednoczesna inkrementacja $\mathbf{A}(\Delta x^+, \Delta y^+, \theta^+, s^+)$ oraz sąsiadów (z założonymi wagami)
2. Implementacje równoległe
3. Podejście wielorozdzielcze (ang. *coarse-to-fine*)

Przykładowe pytanie egzaminacyjne

Dla każdej z poniższych propozycji orzec czy jest to minucja podstawowa:

a) rozwidlenie

b) rdzeń

c) zakończenie

d) haczyk

e) delta