

Biometryczne
wspomaganie interakcji człowiek-komputer
Biometria tęczy

Bartłomiej Stasiak

bartlomiej.stasiak@p.lodz.pl
basta@ics.p.lodz.pl

Instytut Informatyki
Politechnika Łódzka

2017

Plan wykładu

- 1 Biometria tęczówki
 - Wstęp
 - Budowa oka
 - Segmentacja tęczówki
 - Ekstrakcja cech i klasyfikacja

Wstęp

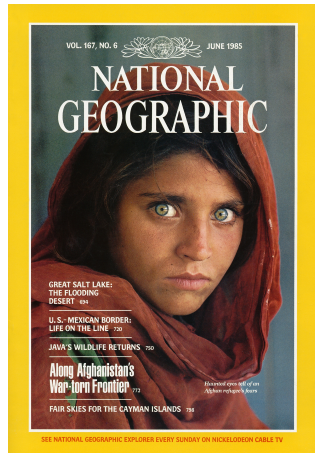
- Rozpoznawanie tęczówki jest (obok odcisków palców) jednym z najskuteczniejszych sposobów identyfikacji osób
- W systemach automatycznej identyfikacji i kontroli dostępu istotne są następujące elementy:
 - Bardzo wysoka unikalność, trwałość i uniwersalność
 - Względna łatwość akwizycji
 - Najskuteczniejsze systemy typu “stop and stare”
 - Mniejsza skuteczność w przypadku akwizycji w ruchu, z większej odległości, pod kątem

Rys historyczny

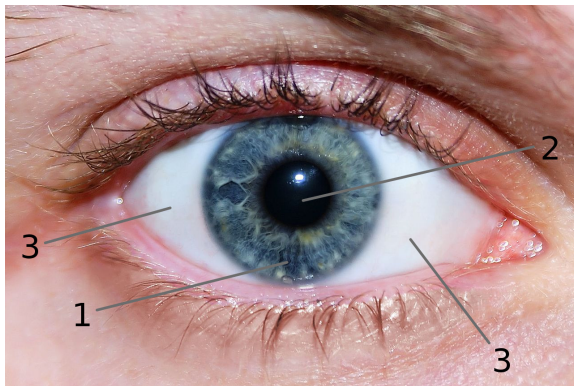
- Pierwsze sugestie odnośnie użycia tęczówki do identyfikacji
 - 1885 – Alphonse Bertillon
 - 1949 – James Doggart (brytyjki okulista) – porównanie złożoności wzoru tęczówki do linii papilarnych
- Pierwsze patenty
 - 1987 – Leonard Flom & Aran Safir – bez określonej techniki/algorytmu (z wyjątkiem ustalania rozmiaru źrenicy za pomocą kontrolowanego oświetlenia)
 - **1994 – John Daugman (Harvard University)**
Biometric personal identification system based on iris analysis
- Pierwsze wdrożenia i komercjalizacja
 - IriScan (Flom, Safir, Daugman)

Rys historyczny – najstynniejsza tęczówka świata

- Oryginalne zdjęcie (fotograf: Steve McCurry) wykonane w 1984r. w Pakistanie w obozie dla afgańskich uchodźców
- Po 18 latach z pomocą Johna Daugmana udało się odnaleźć i zidentyfikować osobę na zdjęciu (Sharbat Gula) dzięki analizie tęczówki

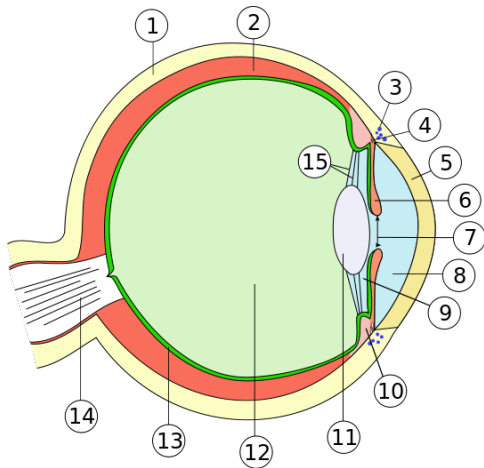


Budowa oka



- 1 Tęczówka
- 2 Źrenica
- 3 Twardówka

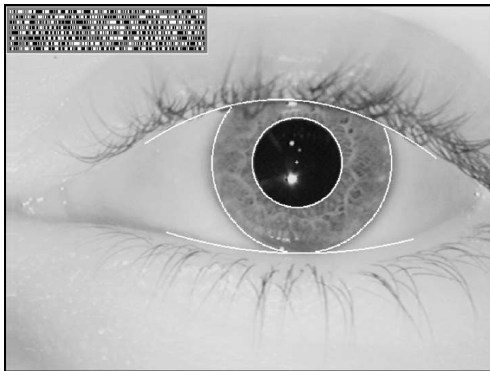
Budowa oka



- 1 twardówka
- 2 naczyniówka
- 3 kanał Schlemma
- 4 wyrostek rzęskowy
- 5 rogówka
- 6 tęczówka
- 7 źrenica
- 8 komora przednia oka
- 9 komora tylna oka
- 10 ciało rzęskowe
- 11 soczewka
- 12 ciało szkliste
- 13 siatkówka
- 14 nerw wzrokowy
- 15 więzadełko rzęskowe

Segmentacja tęczówki

- Lokalizacja tęczówki na obrazie
- Wykrycie obu promieni tęczówki
 - wewnętrzny – na granicy ze źrenicą
 - zewnętrzny – na granicy z twardówką
- Wykrycie granic powiek
 - Wykrycie i eliminacja rzęs
 - Wykrycie i eliminacja odbić światła na rogówce, ew. na okularach



Metody segmentacji

- Dwa współśrodkowe okręgi (podejście uproszczone)
- Dwa niewspółśrodkowe okręgi
- Operator całkowo-różniczkowy Daugmana
- Transformacja Hougha
- Analiza brzegu tęczówki (aktywne kontury)

Metody segmentacji

- Operator całkowo-różniczkowy Daugmana służy do określenia współrzędnych środka i obu promieni tęczówki

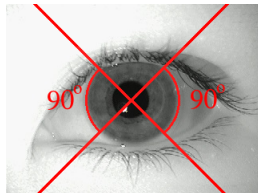
$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right|$$

gdzie I jest obrazem wejściowym, $*$ oznacza splot z funkcją Gaussa $G_{\sigma}(r)$ o odchyleniu standardowym σ , a całkę liczymy po łuku ds okręgu o promieniu r

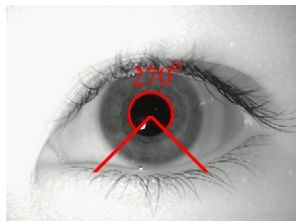
- W pierwszej kolejności ustalamy duże rozmycie filtra gaussowskiego (σ) i wykrywamy granicę tęczówka/twardówka (operator $|\cdot|$ można opuścić)
- Następnie, mając oszacowaną lokalizację środka (przybliżoną), wykrywamy granicę źrenicy, stosując mniejsze rozmycie (i tu potrzebny jest operator $|\cdot|$, bo w niektórych przypadkach tęczówka może być ciemniejsza od źrenicy)

Metody segmentacji

- Łuk okręgu, jaki wybieramy zależy od tego, którą granicę liczymy:
 - Zewnętrzna granica tęczówki



- Wewnętrzna granica tęczówki (rozbłąsk zwykle w dolnej części)



Metody segmentacji

- Transformacja Hougha dla okręgów

- Równanie okręgu o środku w punkcie (a, b) :

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$$

- Postać parametryczna:

$$x = a + r \cos(\theta)$$

$$y = b + r \sin(\theta)$$

- Dla ustalonego r każdy punkt (x, y) okręgu wyznacza w przestrzeni parametrów zbiór potencjalnych środków, będący również okręgiem o tym samym promieniu r i o środku w punkcie (x, y) :

$$a = x - r \cos(\theta)$$

$$b = y - r \sin(\theta)$$

Metody segmentacji

- Transformacja Hougha dla okręgów
 - Jeśli przyjmimy promień r o dowolnej długości, wówczas musimy uzupełnić przestrzeń parametrów o trzeci wymiar
 - Każdy punkt (x, y) okręgu wyznaczy wtedy w przestrzeni parametrów zbiór potencjalnych środków, będący stożkiem
 - Dzieląc przestrzeń parametrów na komórki (*accumulator cells*) i wybierając te, w których przecina się najwięcej stożków, uzyskujemy oszacowanie lokalizacji środka tęczy i jej promienia

Metody segmentacji

- Analiza brzegu tęczówki (aktywne kontury)
 - Reprezentacja konturu tęczówki w dziedzinie częstotliwości

$$C_k = \sum_{\theta=0}^{N-1} r_{\theta} e^{\frac{-j2\pi k\theta}{N}}$$

gdzie r_{θ} określa promień dla kąta θ ; $j^2 = -1$;
 $k = 0, \dots, N-1$ to numer współczynnika Fouriera C_k .

- Filtracja dolnoprzepustowa

$$\hat{r}_{\theta} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{M-1} C_k e^{\frac{j2\pi k\theta}{N}}$$

gdzie $M \ll N$ określa dokładność rekonstrukcji konturu

Metody segmentacji

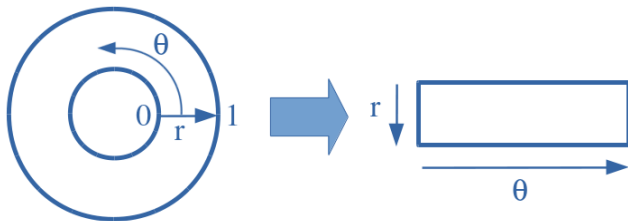
- Typowe wartości:
 - $M = 17$ dla granicy wewnętrznej (żrenica)
 - $M = 5$ dla zewnętrznej granicy tęczówki
- Inne podejście – stopniowa redukcja wartości współczynników Fouriera dla rosnących częstotliwości (nie-idealny filtr dolnoprzepustowy)

Ekstrakcja cech i klasyfikacja

- Zmiana układu współrzędnych
 - Po zlokalizowaniu tęczówki i określeniu jej granic na obrazie “rozwijamy” ją, poprzez zmianę układu współrzędnych z kartezjańskiego do biegunowego (*podwójnie bezwymiarowy niekoncentryczny układ współrzędnych biegunowych*):

$$I(x(r, \theta), y(r, \theta)) \rightarrow I(r, \theta)$$

gdzie $r \in [0, 1]$, $\theta \in [0, 2\pi)$



Ekstrakcja cech i klasyfikacja

- Zmiana układu współrzędnych
 - Aby uniezależnić się od rozmiaru i potencjalnych nieregularności brzegu tęczówki oraz od zmian rozmiaru źrenicy, uwzględniamy (dla każdego kąta θ) znalezione podczas segmentacji punkty brzegowe wewnętrznego ($x_p(\theta), y_p(\theta)$) i zewnętrznego ($x_s(\theta), y_s(\theta)$) brzegu tęczówki:

$$x(r, \theta) = (1 - r)x_p(\theta) + rx_s(\theta)$$

$$y(r, \theta) = (1 - r)y_p(\theta) + ry_s(\theta)$$

Generowanie kodu tęczówki

- Obraz tęczówki w układzie biegunowym filtrowany jest bankiem filtrów Gabora

$$G(r, \theta) = e^{-j\omega(\theta-\theta_0)} e^{-(r-r_0)^2/\alpha^2} e^{-(\theta-\theta_0)^2/\beta^2}$$

- Dla każdego filtra otrzymujemy dwa bity, dla części rzeczywistej i urojonej, odpowiednio
- W tym celu testujemy, czy wartość wyrażeń:

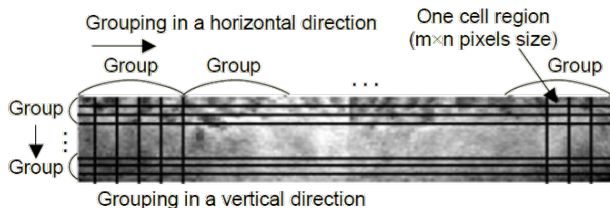
$$\text{Re} \int_{\rho} \int_{\phi} e^{-j\omega(\theta_0-\phi)} e^{-(r_0-\rho)^2/\alpha^2} e^{-(\theta_0-\phi)^2/\beta^2} I(\rho, \phi) \rho d\rho d\phi$$

$$\text{Im} \int_{\rho} \int_{\phi} e^{-j\omega(\theta_0-\phi)} e^{-(r_0-\rho)^2/\alpha^2} e^{-(\theta_0-\phi)^2/\beta^2} I(\rho, \phi) \rho d\rho d\phi$$

jest dodatnia, czy ujemna

Generowanie kodu tęczówki

- Metoda alternatywna – algorytm sum kumulatywnych
 - Tęczówka dzielona jest na obszary:



- Sumy kumulatywne obliczane są dla każdej grupy pięciu kolejnych komórek (poziomo):

$$S_i = S_{i-1} + (X_i - X_{mean}), \text{ dla } i = 1, 2, \dots, 5$$

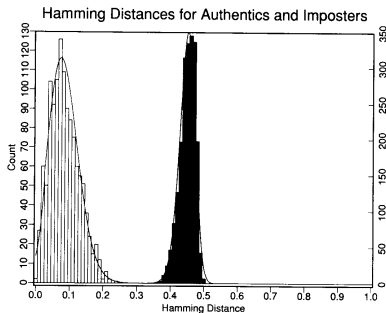
- Dla każdej grupy szukamy wartości MAX i MIN

Generowanie kodu tęczówki

- Jeśli w obrębie danej grupy S_i znajduje się pomiędzy lokalizacją MIN i MAX:
 - Jeśli wartości S_i rosną, wygeneruj element kodu tęczówki 1
 - Jeśli wartości S_i maleją wygeneruj element kodu tęczówki 2
- W przeciwnym wypadku wygeneruj element kodu tęczówki 0
- Przykład 1:
 - Wartości kolejnych sum: -19, 4, 21, 31, -2
 - Kod: 1 1 1 1 0
- Przykład 2:
 - Wartości kolejnych sum: 11, 31, 19, -15, 2
 - Kod: 0 2 2 2 0

Porównywanie kodów tęczówek

- Podstawowa metoda porównania kodu dla dwóch tęczówek oparta jest na odległości Hamminga



J.G. Daugman: *High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence*, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 15 No 11 (1993)

Dziękuję za uwagę