

Biometryczna Identyfikacja Tożsamości

Wykłady 9-10: Biometria tęczówki

Adam Czajka

Wykład na Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych
Politechniki Warszawskiej

Semestr letni 2014

Wykłady 9-10: Biometria tęczówki

- Geneza i budowa tęczówki

- Krótką historią

- Pozyskiwanie obrazu tęczówki

- Segmentacja obrazu tęczówki

- Reprezentacja obrazu tęczówki

- Kodowanie tęczówki (wybrane metody)

- Atrybuty metody

Wykłady 9-10: Biometria tęczówki

Geneza i budowa tęczówki

Krótką historią

Pozyskiwanie obrazu tęczówki

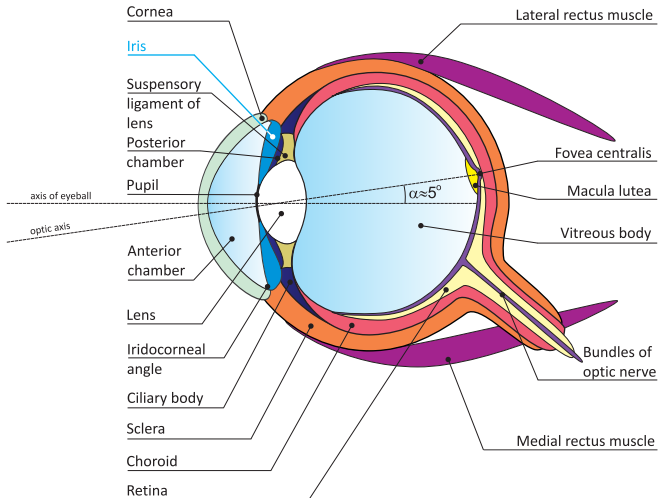
Segmentacja obrazu tęczówki

Reprezentacja obrazu tęczówki

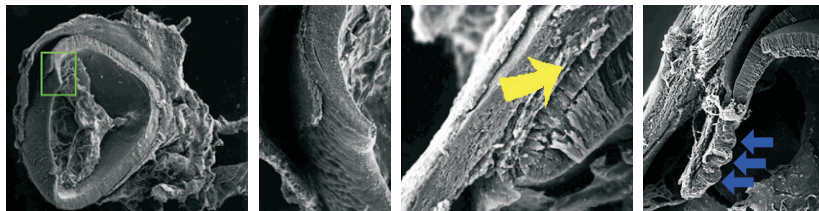
Kodowanie tęczówki (wybrane metody)

Atrybuty metody

Tęczówka częścią narządu wzroku



Rozwój tęczówki

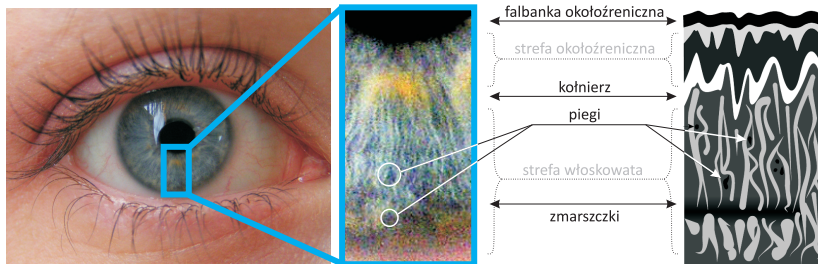


8 tydzień

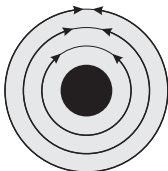
15 tydzień

1. **Początek:** przełom 2 i 3 miesiąca życia płodowego
2. **Koniec:** ósmy miesiąc życia płodowego
3. Struktura beleczek mięśniowych niezmienna aż do śmierci (hipoteza; wstępne prace raportujące stabilność struktury tęczówki w czasie)
4. Procesy rzęskowe, wysoki stopień zróżnicowania struktury, niezależność od genów (hipoteza)

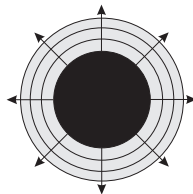
Struktura tęczówki

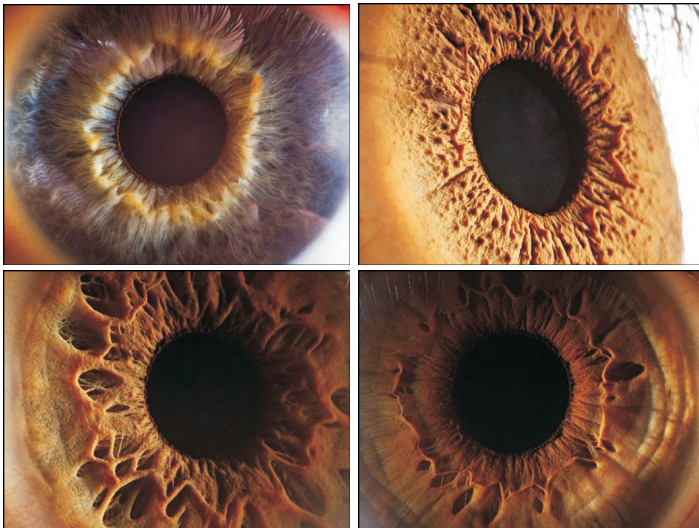


koliste ułożenie
mięśni zmniejszających
żrenicę (rozszerzenie
tęczówki)



radialne ułożenie mięśni
zwiększających żrenicę
(kurczenie tęczówki)

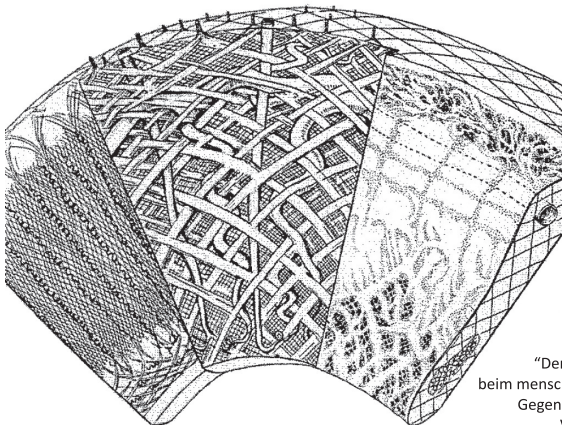




zdjęcia: Suren Manvelyan

Przedmiot obserwacji

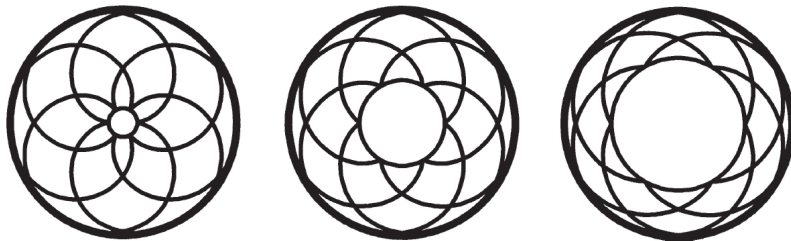
Struktura tęczy



Źródło: Hans Rohen,
"Der bau der regenbogenhaut
beim menschen und einigen saugern",
Gegenbaur Morphology Journal,
Vol. 91, pp. 140-181, 1951

Przedmiot obserwacji

Struktura tęczówki



Źródło: H.J. Wyatt, "A minimum-wear-and-tear meshwork for the iris",
Vision Research, Vol. 40, pp. 2167--2176, 2000

Wykłady 9-10: Biometria tęczówki

Geneza i budowa tęczówki

Krótka historia

Pozyskiwanie obrazu tęczówki

Segmentacja obrazu tęczówki

Reprezentacja obrazu tęczówki

Kodowanie tęczówki (wybrane metody)

Atrybuty metody

Historia rozpoznawania tęczówki

1. 1883 – Alphonse Bertillon
 - kolor tęczówki; uzupełnienie systemu *Bertillonage*
2. 1936 – Frank Burch
 - prezentacja idei rozpoznawania tęczówki na konferencji Amerykańskiej Akademii Okulistyki
3. 1949 – James Doggarts
 - opis idei wykorzystania tęczówki dla celów identyfikacji tożsamości
4. 1987 – Aran Safir, Leonard Flom
 - patent bazujący na teorii Burch'a

Historia rozpoznawania tęczówki

5. 1992 – John Daugman

- pierwszy algorytm kodowania tęczówki oparty o dwuwymiarowy filtr Gabora (metoda opatentowana w 1994)
- praca wykonana na prośbę Safira i Floma (1989) i przy ich współpracy
- pierwsze prototypowe urządzenie weryfikujące tęczówkę (Bench Model 2.5)

6. 2005 – Wygasa patent Safira i Floma z 1987 r.

Historia implementacji metody Daugmana



Demo Room w głównej siedzibie firmy Iridian (2005 r., obecnie L-1) w Moorestown k. Filadelfii (USA) prezentujący historię rozwoju systemów biometrii tęczówki wykorzystujących metodę Daugmana

Historia implementacji metody Daugmana



Product name: Bench Model 2.5

Manufacturer: IriScan

Date: 1992

Type of product: Prototype

Bench Model 2.5 is one of the earliest working prototypes of iris recognition. It was assembled and tested by the founders of iris recognition including Dr. Len Flom, Dr. Aaron Safir and Dr. John Daugman.

Jeden z pierwszych prototypów systemu weryfikacji tęczówki, skonstruowany przez Leonarda Floma, Arana Safira i Johna Daugmana, 1992 r.

Historia implementacji metody Daugmana



Product name: IriScan 2100

Manufacturer: IriScan

Date: 1996

Type of product: Commercially available

The IriScan 2100 was the first commercially available iris recognition product. It was designed primarily for physical access applications and was installed in several prisons in the United States to authenticate identity during prisoner booking and release.

Pierwszy system biometrii tęczówki dostępny komercyjnie dla celów fizycznej kontroli dostępu (więzienia w USA)

IriScan 2001, 1996 r.

Historia implementacji metody Daugmana



Pierwszy system biometrii tęczówki z aktywną lokalizacją twarzy i oka

R1, 1998 r.

Product name: R1

Manufacturer: Sensar

Date: 1998

Type of product: Commercially available

Sensar, a licensee of IriScan's technology, released R1. This camera is noted for being the first fully automatic iris camera. The user need only stand in front of the camera from about 15" to 30" inches away and look at the unit for enrollment or recognition. R1 includes three cameras to first find you and then zoom in on your eye. It worked with software that was a pre-cursor to KnoWho for server based storage and matching of IrisCode® templates.

Historia implementacji metody Daugmana



Product name: SecureCam

Manufacturer: Sensar

Date: 1999

Type of product: Prototype

SecureCam was the first handheld prototype. This camera was developed to move iris recognition into the information technology security market. It plugs into a desktop computer via a USB port and is designed to be held about 4 inches from your eye.

iridian
technologies

Pierwsza kamera współpracująca z PC, 1999r.

Spektakularne wykorzystanie metody Daugmana



Spektakularne wykorzystanie metody Daugmana

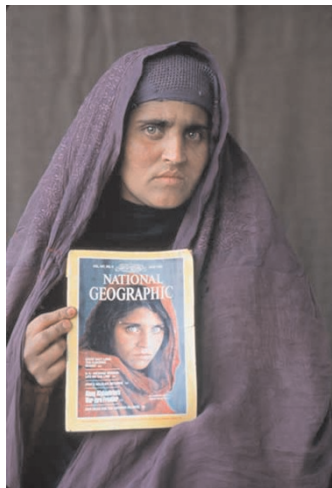


Dziewczynka afgańska

Okładka National Geographic Magazine, 1985 r., fot. Steve McCurry

Zdjęcie wykonane w 1984 r. w Pakistanie w obozie dla uchodźców z Afganistanu (okupacja sowiecka)

Spektakularne wykorzystanie metody Daugmana



John Daugman stosuje swoją metodę do rozpoznania tożsamości dziewczynki

Sharbat Gula
Afganistan, 2002

Wykłady 9-10: Biometria tęczówki

Geneza i budowa tęczówki

Krótką historią

Pozyskiwanie obrazu tęczówki

Segmentacja obrazu tęczówki

Reprezentacja obrazu tęczówki

Kodowanie tęczówki (wybrane metody)

Atrybuty metody

Charakterystyka obrazowania tęczówki

Kłopotliwy pomiar

1. Mała **głębina ostrości** systemów optycznych
 - obiekt mały, ruchliwy, trójwymiarowy
2. Najczęściej **wymagana współpraca** osoby z maszyną
 - konieczny wcześniejszy trening
3. Konieczne **modelowanie i pomijanie zakłóceń**
 - łatwe: powieki, wypalenia (odblaski); trudniejsze: rzęsy, włosy, nadruki na szklach kontaktowych
 - zmiana wielkości źrenicy
 - marszczenie powierzchni tęczówki (nieliniowe)
 - spontaniczne obroty głowy
 - spojrzenia nie w osi optycznej kamery

Charakterystyka obrazowania tęczówki

Wybrane zalecenia wg ISO/IEC FDIS 19794-6 oraz ISO/IEC WD5 29794-6, 2011

1. Rozpiętość tonalna, kodowanie informacji

- min. 256 poziomów szarości, przy czym użyteczna informacja kodowana na co najmniej 7 bitach
- separacja minimum 50 i 70 poziomów jasności pomiędzy, odpowiednio, białkówką i tęczówką oraz tęczówką i źrenicą

2. Rozdzielczość

- min. 11.76 linii/mm (przy założeniach: średnica tęczówki w zakresie 10.2mm – 13.00 (średnia 11.8 mm) oraz skanowanie min. 60 punktów wzdłuż promienia tęczówki)
- mniejsza rozdzielczość stosowana w systemach mobilnych (np. telefonach komórkowych)

Charakterystyka obrazowania tęczówki

Wybrane zalecenia wg ISO/IEC FDIS 19794-6 oraz ISO/IEC WD5 29794-6, 2011

3. Zakłócenia i położenie oka

- widoczność minimum 70% mięśnia tęczówki
- średnica źrenicy nie większa niż 7 mm
- zalecane usunięcie okularów oraz soczewek z nadrukami
- odległość obwodu tęczówki od granic obrazu: $0.6r$ w poziomie i $0.2r$ w pionie (gdzie r to promień tęczówki)

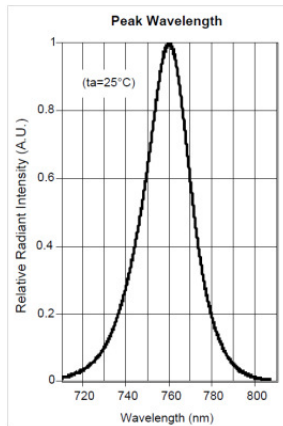
Charakterystyka obrazowania tęczęwki

Wybrane zalecenia wg ISO/IEC FDIS 19794-6 oraz ISO/IEC WD5 29794-6, 2011

4. Oświetlenie

- podczerwień z zakresu 700-900 nm
- zapewnienie 35% energii oświetlenia dla każdego zakresu o szerokości 100 nm

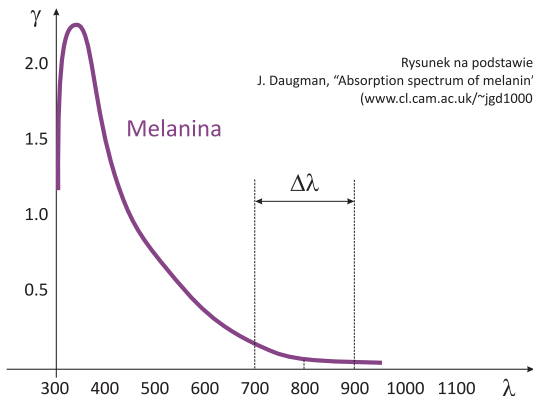
Intensywność promieniowania przykładowej LED
($\lambda = 760\text{nm}$), Roithner LaserTechnik GmbH,
www.roithner-laser.com



Charakterystyka obrazowania tęczówki

Pomiar w podczerwieni

1. Stopień absorpcji światła przez melaninę maleje wraz ze wzrostem długości fali (pomijamy informację o kolorze oka)



Charakterystyka obrazowania tęczówki

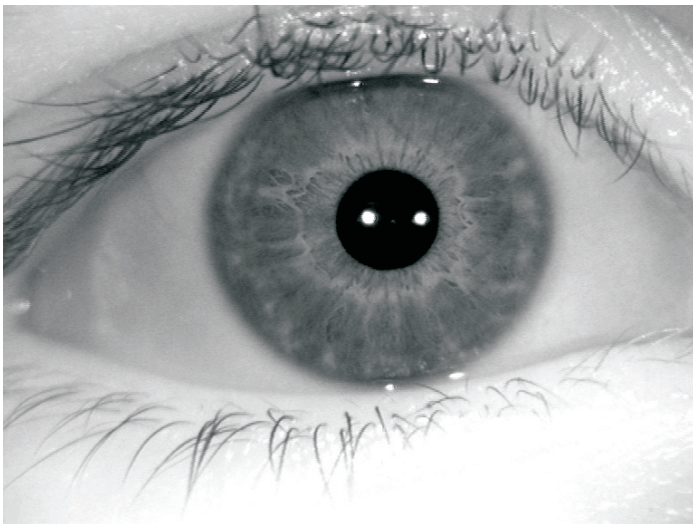
Pomiar w podczerwieni

2. Należy przestrzegać norm gdyż podczerwień nie jest obojętna dla oka

- dla urządzeń biometrii tęczówki: IEC 60825-1:1993 (+ uzupełnienia A1:1997 i A2:2001) oraz ANSI RP-27.1-96

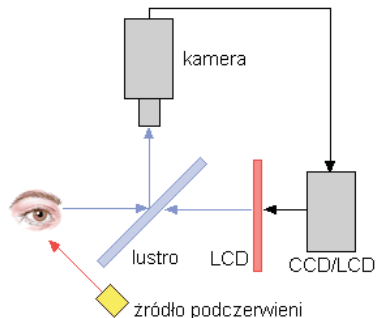
przykład: zgodnie z IEC 60825-1, maksymalna dozwolona gęstość promieniowania (Maximum Permissible Exposure, MPE) nie większa niż $0.1 * MPE_{max}$, gdzie MPE_{max} to gęstość promieniowania powodująca nieodwracalne zmiany w oku dla 50% populacji

Przykładowe zdjęcie tęczówki

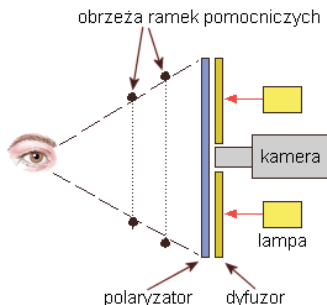


Podstawowe układy optyczne

Daugman, Wildes



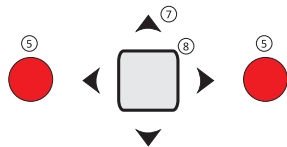
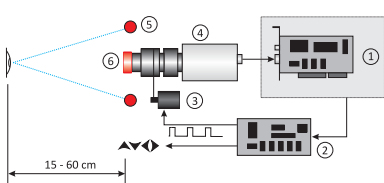
Pomiar w świetle podczerwonym
(John Daugman)



Pomiar w świetle widzialnym
(Richard P. Wildes)

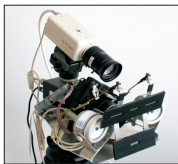
Podstawowe układy optyczne

NASK/PW



- 1. Stacja sterująca
- 2. Kontroler serwo mechanizmu i oświetlenia
- 3. Serwo mechanizm
- 4. Kamera o podwyższonej czułości w podczerwieni

- 5. Oświetlacze podczerwieni
- 6. Filtr podczerwieni
- 7. Diody pozycjonujące
- 8. Lustro



IrisFLY, 2001r.



IrisCUBE, 2006r.



Kamery stosowane obecnie (wybór)



CrossMatch



IrisGuard: IG-H100



IG-AD100



Panasonic: ET-300



ET-100

(źródło: www.panasonic.com)



OKI IrisPass-M

(źródło: www.oki.com)

Pomiar bez kooperacji

1. Wykorzystanie wielokrotnych kamer o zwiększonej rozdzielczości (Sarnoff Corp., USA)
 - kamera szerokokątna do obserwacji i lokalizacji twarzy
 - kamera wąskokątna do obserwacji i rejestracji tęczęwki (1384 × 1036 punktów)
2. Wykorzystanie deformowalnych lusterek (AOptix, USA)
 - pomysł wykorzystany wcześniej w konstrukcji teleskopów astronomicznych kompensujących zniekształcenia atmosfery ziemskiej
 - wielomiany Zernike'a stosowane w optyce do opisu aberracji soczewek, tutaj wykorzystane do opisu deformacji lusterek
 - bardzo szybki pomiar (ok. 2 sek.) z odległości 1.5m – 2.5m, bardzo dobra jakość obrazów (znacznie przewyższająca wymagania ISO/IEC 19794)

Pomiar bez kooperacji



AOptix Insight™ SD, 2008
(Biometrics 2008, Londyn)



AOptix Insight™ VM, 2010
(źródło: *Insight VM Datasheet*)



Bramka Iris-On-The-Move™
(źródło: *IOM Portal Datasheet*)

Przykład pomiaru kamerą Iris-On-The-Move™

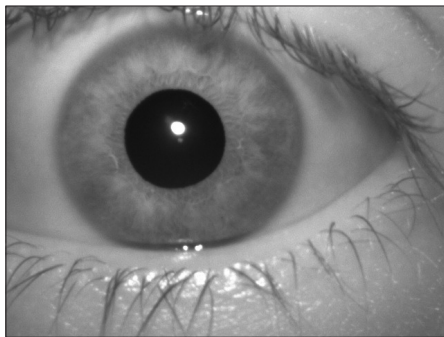


Obraz nieprzetworzony pochodzi z bazy MBGC 2008
Lokalizacja oczu metodami Lab. Biom. NASK/PW

Miniaturyzacja biometrii tęczówki



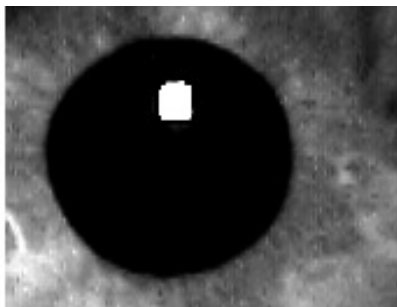
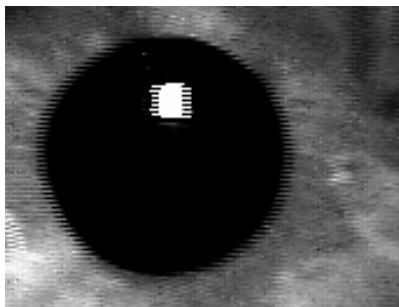
IriTech, USA, 2008r.



Przykładowe zdjęcie spełniające
wymogi ISO/IEC 19794-6

Przetwarzanie wstępne obrazu tęczówki

1. Usuwanie zakłóceń związanych z urządzeniem (szum sensora, przeplot, zakłócenia z sieci energetycznej)
2. Usuwanie odblasków
3. Poprawa kontrastu, wyrównywanie histogramu, usuwanie trendów liniowych



Wykłady 9-10: Biometria tęczówki

Geneza i budowa tęczówki

Krótką historią

Pozyskiwanie obrazu tęczówki

Segmentacja obrazu tęczówki

Reprezentacja obrazu tęczówki

Kodowanie tęczówki (wybrane metody)

Atrybuty metody

Lokalizacja tęczy

1. Operator całkowo-różniczkowy Daugmana

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

gdzie:

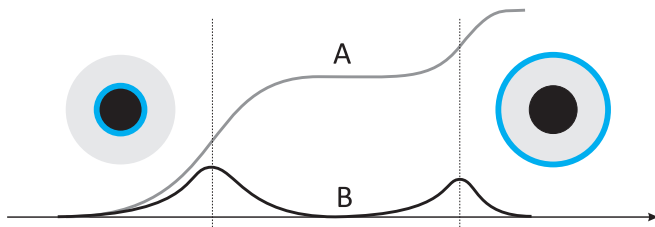
I – surowy obraz tęczy

r, x_0, y_0 – parametry krzywej s (okręgu)

$g_\sigma(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(r-r_0)^2}{2\sigma^2}}$ – funkcja wygładzająca

Lokalizacja tęczówki

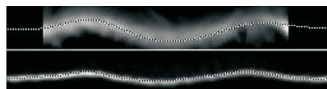
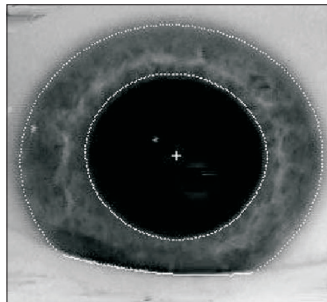
$$\max_{r, x_0, y_0} \left| \underbrace{g_\sigma(r)}_B * \underbrace{\frac{\delta}{\delta r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds}_A \right|$$



Lokalizacja tęczówki

2. Rozwinięcie Fouriera

- wyznaczenie obrazu gradientowego w celu uwypuklenia granic
- rozkład parametrycznych funkcji konturu źrenicy w szereg Fouriera (w układzie biegunowym)
- ważna cecha: składowa stała rozwinięcia Fouriera odpowiada promieniowi źrenicy (lub tęczówki) w przypadku jej aproksymacji okręgiem



źródło: J. Daugman, *New Methods in Iris Recognition*,
IEEE Tran. on Systems, Man, and Cybernetics
Part B: Cybernetics, Vol. 37, No. 5, October 2007

Lokalizacja tęczówki

3. Transformata Hough'a

- wykorzystanie obrazu kierunkowego tęczówki
- inkrementacja tablicy akumulatorowej indeksowanej parametrami poszukiwanej krzywej
- atrakcyjna złożoność obliczeniowa
- praktyczne zastosowania do najprostszycch krzywych

4. Aktywne kontury

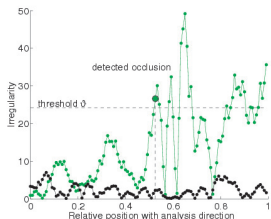
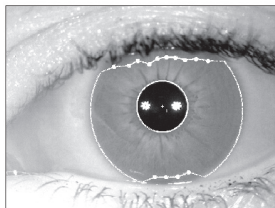
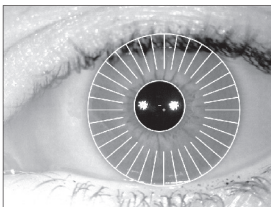
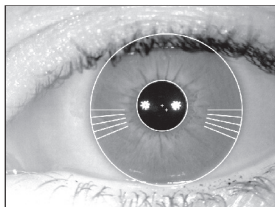
- ewolucja krzywej opisana równaniem różniczkowym
- możliwość dopasowania do dowolnych kształtów
- metoda intensywna obliczeniowo

Lokalizacja zakłóceń

1. Wykorzystanie technik parametrycznych (z ew. modyfikacjami) stosowanych do lokalizacji tęczówki
 - operator całkowo-różniczkowy Daugmana (dla krzywych parabolicznych i eliptycznych)
 - transformata Hough'a (dla krzywych eliptycznych)
 - rozwinięcie Fouriera
2. Techniki nieparametryczne
 - aktywne kontury
 - wykrywanie niejednorodności obrazu tęczówki: wyznaczenie średniej wariancji poziomu jasności dla obszarów niezakłóconych i detekcja obszarów o wariancji przekraczającej (eksperymentalnie dobrany) próg

Lokalizacja zakłóceń

Wykrywanie niejednorodności obrazu tęczówki (przykład)



źródło: A. Czajka, "Human Iris for Automatic Identity Verification", IAIIS PW, 2005

Korekcja kąta spojrzenia

1. Operator całkowo-różniczkowy Daugmana

- aproksymacja tęczówki za pomocą elipsy
- marszczenie powierzchni do okręgu

2. Rozwinięcie Fouriera

- współczynniki pierwszego rzędu rozwinięcia parametrycznych funkcji konturu źrenicy w szereg Fouriera zawierają informację o parametrach elipsy, niezależnie od współczynników dalszych rzędów

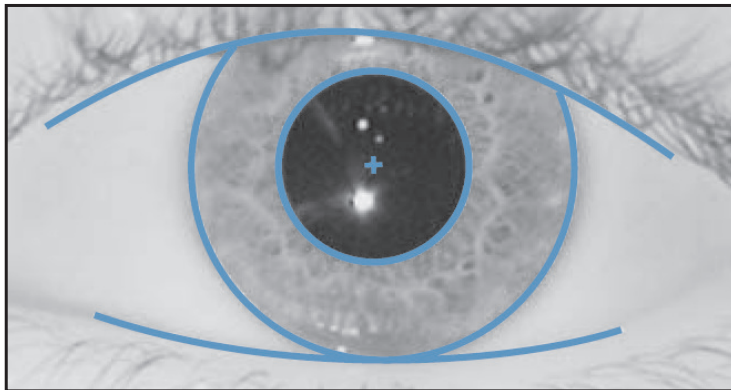
3. Aktywne kontury

- marszczenie powierzchni wyznaczonej przez kontur w celu upodobnienia jej do koła

Wszystkie wymienione metody korekcji zakładają kolistość źrenicy oraz tęczówki

Przykłady segmentacji tęczówki

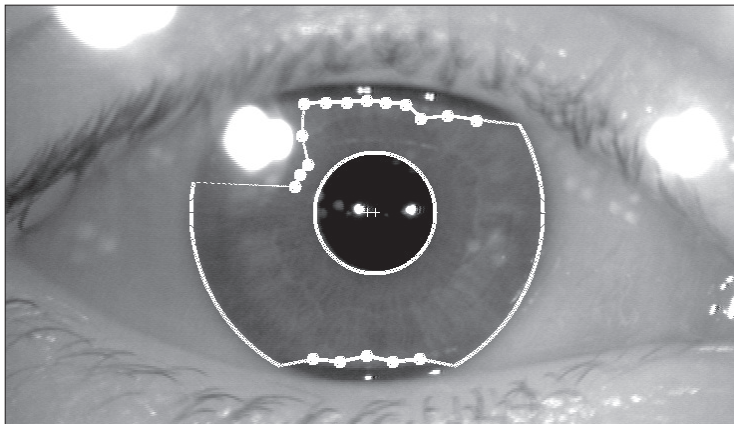
Wykorzystanie operatora całkowo-różniczkowego Daugmana



źródło: J. Daugman, "How Iris Recognition Works"
IEEE Trans. CSVT 14(1), pp. 21 - 30, 2004

Przykłady segmentacji tęczówki

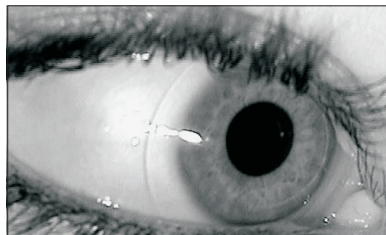
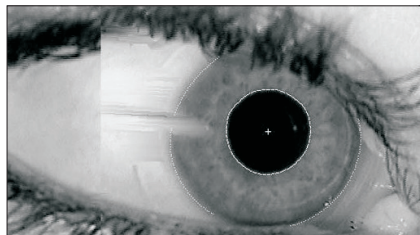
Wykorzystanie informacji o niejednorodności obrazu tęczówki



źródło: A. Czajka, "Human Iris for Automatic Identity Verification", IAIIS PW, 2005

Przykłady segmentacji tęczówki

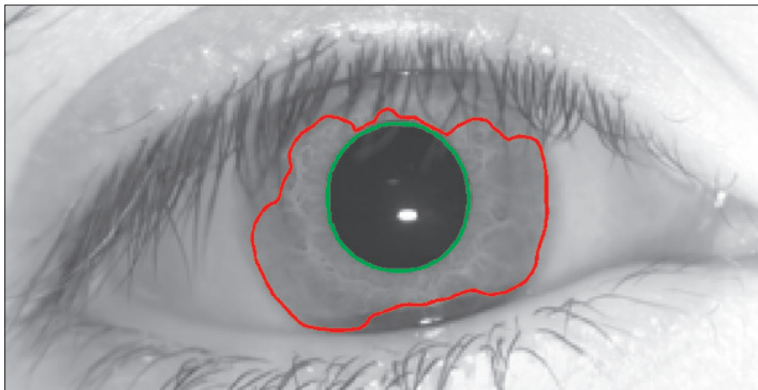
Wykorzystanie rozwinięcia Fouriera



źródło: J. Daugman, "New Methods in Iris Recognition"
IEEE Tran. on Systems, Man, and Cybernetics
Part B: Cybernetics, Vol. 37, No. 5, October 2007

Przykłady segmentacji tęczówki

Wykorzystanie Aktywnych Konturów



źródło: Weronika Gutfeter, "Lokalizacja tęczówki metodą Aktywnych Konturów"
Praca dypl. inżynierska, Zespół Biometrii i Uczenia Maszynowego, IAiS PW, 2010

Wykłady 9-10: Biometria tęczówki

Geneza i budowa tęczówki

Krótką historią

Pozyskiwanie obrazu tęczówki

Segmentacja obrazu tęczówki

Reprezentacja obrazu tęczówki

Kodowanie tęczówki (wybrane metody)

Atrybuty metody

Reprezentacja obrazu tęczówki

Formaty ISO/IEC 19794-6 (FDIS, 2011)

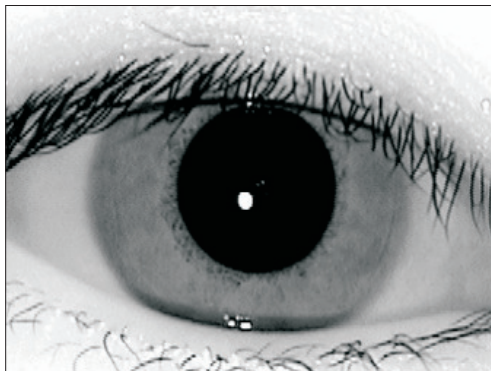
1. Surowy obraz (ISO: **UNCROPPED** lub **VGA**)



Reprezentacja obrazu tęczówki

Formaty ISO/IEC 19794-6 (FDIS, 2011)

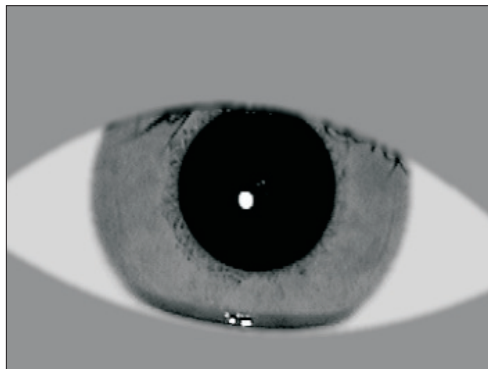
2. Obraz kadrowany (ISO: CROPPED)



Reprezentacja obrazu tęczówki

Formaty ISO/IEC 19794-6 (FDIS, 2011)

3. Obraz kadrowany i maskowany
(ISO: **CROPPED AND MASKED**)



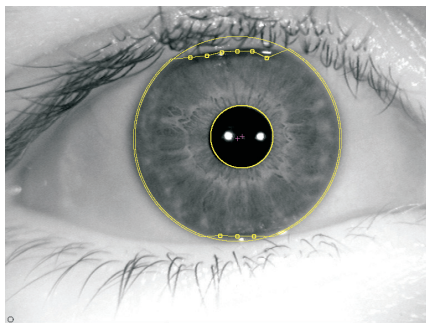
Reprezentacja obrazu tęczówki

4. Reprezentacja w układzie biegunowym
(niezależność od skali i położenia tęczówki)
wraz z mapą zakłóceń

$$I(x(r, \theta), y(r, \theta)) \rightarrow I(r, \theta)$$
$$x(r, \theta) = (1 - r)x_z(\theta) + rx_t(\theta)$$
$$y(r, \theta) = (1 - r)y_z(\theta) + ry_t(\theta)$$

gdzie (x_z, y_z) oraz (x_t, y_t) - współrzędne punktów na okręgach reprezentujących, odpowiednio, źrenicę i tęczówkę, oraz $r \in \langle 0; 1 \rangle$ i $\theta \in \langle 0; 2\pi \rangle$

Reprezentacja obrazu tęczówki



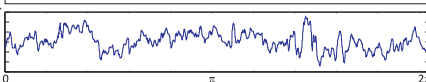
segmentacja
obrazu
tęczówki



obraz tęczówki
w układzie
biegunowym



mapa
zakłóceń



poziom jasności obrazu
w funkcji kąta
dla ustalonego promienia

Wykłady 9-10: Biometria tęczówki

Geneza i budowa tęczówki

Krótką historią

Pozyskiwanie obrazu tęczówki

Segmentacja obrazu tęczówki

Reprezentacja obrazu tęczówki

Kodowanie tęczówki (wybrane metody)

Atrybuty metody

Kodowanie Daugmana [J. Daugman, 1993]

1. Wykorzystanie filtru Gabora

$$J(r_0, \theta_0) = \int_{\phi} H(\phi; \theta_0, \beta) \underbrace{\int_{\rho} G(\rho; r_0, \alpha) I(\rho, \phi) \rho d\rho d\phi}_{\text{uśrednianie w kier. radialnym}}$$

filtracja w kierunku kątowym

gdzie

$$H(\phi; \theta_0, \beta) = e^{-i\omega(\theta_0 - \phi)} e^{-(\theta_0 - \phi)^2 / \beta^2}$$

oraz

$$G(\rho; r_0, \alpha) = e^{-(r_0 - \rho)^2 / \alpha^2}$$

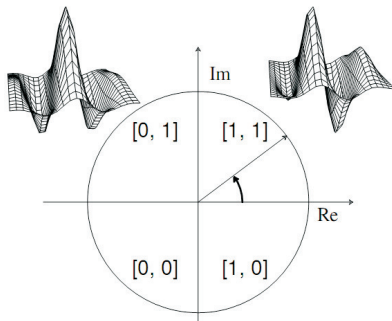
natomiast α i β (zakłada się $\beta = 1/\omega$) ustalają rozmycie obrazu I w kierunku, odpowiednio, radialnym i kątowym

Kodowanie Daugmana [J. Daugman, 1993]

2. Kodowanie fazy sygnału

$$\text{Re}_{r_0\theta_0} = \text{sgn } \Re(J(r_0, \theta_0))$$

$$\text{Im}_{r_0\theta_0} = \text{sgn } \Im(J(r_0, \theta_0))$$



źródło: J. Daugman, *Probing the Uniqueness and Randomness of IrisCodes: Results From 200 Billion Iris Pair Comparisons*, Proceedings of the IEEE, Vol. 94, No. 11, November 2006

3. Dodanie maski wskazującej miejsca zakłóceń w obrazie

4. Wynikowa długość wzorca tęczówki, tzw. *iriscode*TM: 4096 bitów (2048 bitów kodu tęczówki + 2048 bitów maski)

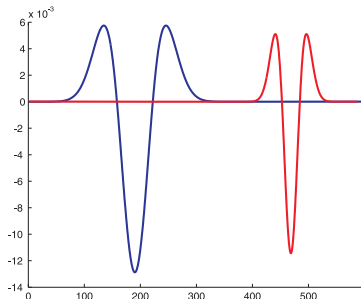
Metoda “przejąć przez zero” [W.W. Boles, 1997]

1. Filtracja jednowymiarowych funkcji jasności obrazu tęczówki (w kierunku kątowym, tzw. *iris signatures*) dla różnych filtrów
 - często: wykorzystanie drugiej pochodnej funkcji wygładzającej, np. laplasjan gaussowski

Przykładowa funkcja jasności obrazu tęczówki (w kierunku kątowym)



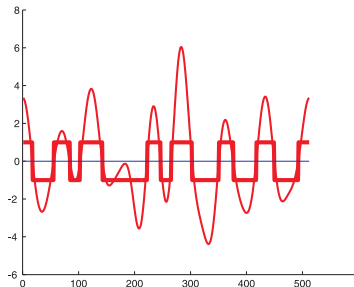
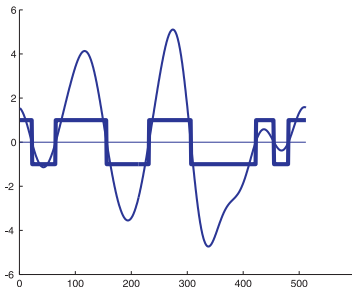
Przykładowe jądra filtru LoG



Metoda “przejąć przez zero” [W.W. Boles, 1997]

2. Reprezentacja w postaci kodu binarnego “przejąć przez zero” (tzw. *zero-crossing*)
 - modyfikacja: reprezentacja w postaci **funkcji schodkowej** z zachowaniem pól pomiędzy miejscami zerowymi funkcji

Wyniki filtracji i odpowiadające im reprezentacje w metodzie przejąć przez zero (*zero-crossing*)



Pakiety falkowe*

Przykład: kodowanie Zaka-Gabora [A. Czajka, A. Pacut, 2002]

1. Dyskretne rozwinięcie Gabora dla obrazu we współrzędnych biegunowych

$$f(p) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{k=0}^{K-1} a_{mk;s} g_{mk;D}(p), \quad p = 0, \dots, P-1$$

gdzie

$$g_{mk;D}(p) = e^{-\pi(p-mK)^2/D^2} e^{ikp2\pi/K}$$

oraz f - jednowymiarowa dyskretna funkcja jasności obrazu w kierunku kątowym, M - liczba przesunięć okna g , K - liczba rozpatrywanych częstotliwości, D - parametr obwiedni okna g , P - liczba elementów f

Pakiety falkowe*

Przykład: kodowanie Zaka-Gabora [A. Czajka, A. Pacut, 2002]

2. Jeden stopień swobody więcej w porównaniu do kodowania bazującego na filtracji (np. Daugmana): częstotliwość i obwiednia okna g ustalane “niezależnie”
3. Wykorzystanie transformaty Zaka
 - pozwala na przekształcenie problemu wyznaczenia współczynników a do wykonania trzech szybkich transformat Fouriera 2D

Pakiety falkowe*

Przykład: kodowanie Zaka-Gabora [A. Czajka, A. Pacut, 2002]

4. Niezależne kodowanie znaku części rzeczywistej i urojonej współczynników a dla wybranych (eksperymentalnie) m, k, D

$$\text{Re}_{mk;D} = \text{sgn } \Re(a_{mk;D}), \quad \text{Im}_{mk;D} = \text{sgn } \Im(a_{mk;D})$$

5. Wynikowa długość wzorca tęczówki: 1024 bity + 4 liczby określające kąty sektorów tęczówki wolnych od zakłóceń (wykorzystanych do kodowania)

Porównywanie binarnych kodów tęczówki

1. Odległość binarnych kodów

$$\text{HD} = \frac{\| (C_1 \otimes C_2) \cap M_1 \cap M_2 \|}{\| M_1 \cap M_2 \|}$$

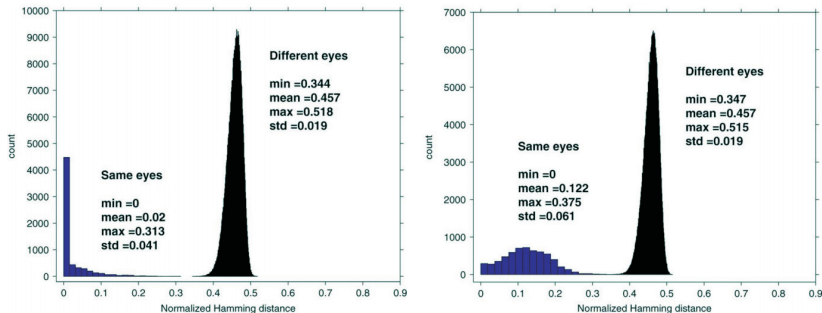
gdzie C – kod tęczówki, M – maska wskazująca istotne i nieistotne elementy kodu (odpowiednio '1' i '0'), \otimes – suma logiczna modulo 2, \cap – iloczyn logiczny

2. Korekcja obrotu gałki ocznej

- względne **przesunięcie kodów** (dla metod kodowania wykorzystujących filtrację)
- wzorzec jako **zbiór kodów dla symulowanych obrotów** (dla metod kodowania wykorzystujących transformaty falkowe)

3. Skalarny próg dopasowania (wyznaczany eksperymentalnie)

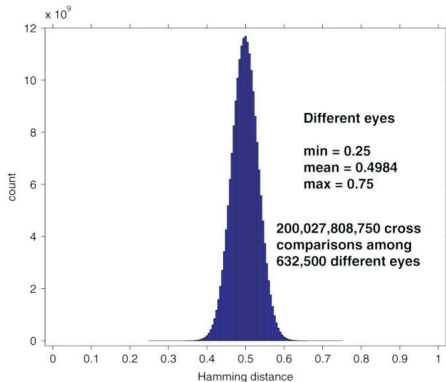
Statystyczne własności kodu Daugmana



źródło: F. Hao *et al.*, A Fast Search Algorithm for a Large Fuzzy Database
IEEE Trans. on Inf. Forensics and Security, Vol. 3, No. 2, 2008

Statystyczne własności kodu Daugmana

1. Aproksymacja gęstości prawdopodobieństw (z próby) gęstością rozkładu dwumianowego



źródło: F. Hao *et al.*, A Fast Search Algorithm for a Large Fuzzy Database
IEEE Trans. on Inf. Forensics and Security, Vol. 3, No. 2, 2008

Statystyczne własności kodu Daugmana

2. Wyznaczenie stopni swobody rozk. dwumianowego (z próby)

- dla N niezależnych prób Bernoulego zachodzi równość

$$\sqrt{p(1-p)/N} = \sigma$$

- stosując empiryczne oceny $\hat{p} = 1 - \hat{q} = 1 - 0.457 = 0.543$ oraz $\hat{\sigma} = 0.019$ (dla przykładowych wyników porównań różnych tęczówek) otrzymujemy

$$\hat{N} = \hat{p}(1 - \hat{p})/\hat{\sigma}^2 \approx 687 \neq N = 2048$$

- \hat{N} często błędnie interpretowane jako “liczba punktów unikalnych tęczówek”
- wyznaczona zawartość informacyjna ok. 3.2 bit/mm² ($\hat{N}/\text{PolePowierzchniTęczówki}$) wynika z algorytmu Daugmana; nie jest to własność tęczówki

Wykłady 9-10: Biometria tęczówki

Geneza i budowa tęczówki

Krótką historią

Pozyskiwanie obrazu tęczówki

Segmentacja obrazu tęczówki

Reprezentacja obrazu tęczówki

Kodowanie tęczówki (wybrane metody)

Atrybuty metody

Zalety (+) i wady (-) metody

1. Zawartość informacyjna

- + wysoki stopień zróżnicowania (inny układ detali u bliźniąt jednojajowych)
- + niezmienność w czasie
- + dokładność rozpoznania podparta wynikami wielu badań eksperymentalnych (eksperymenty uwzględniające ponad 200 miliardów porównań wzorców różnych tęczówek za sprawą instalacji tych systemów w scenariuszach masowej kontroli)
- nieznan model kurczenia mięśnia tęczówki, rozkłady zmienności wewnątrzklasowej trudne do modelowania

2. Akceptacja użytkowników

- + powszechne przekonanie o wysokiej niezawodności
- utrudniony pomiar
- błędne przeświadczenie o szkodliwości pomiaru

Zalety (+) i wady (–) metody

3. Odporność na fałszerstwa

- + ograniczona możliwość pozyskania danych bez wiedzy lub zgody
- możliwość fałszerstwa za pomocą niewyrafinowanych technik (konieczne dodatkowe zabezpieczenia)

4. Możliwość realizacji technicznej

- + powszechność
- + niska podatność na uszkodzenia (obiekt chroniony w naturalny sposób przez rogówkę)
- wysoki koszt czytników

5. Inwazyjność pomiaru

- + pomiar bezkontaktowy (higieniczny)
- pomiar kłopotliwy, wymagający (najczęściej) współpracy
- konieczność wcześniejszego treningu
- konieczność przestrzegania norm emisji podczerwieni

Co powinniśmy zapamiętać

1. Jakie cechy tęczówki wykorzystywane są w biometrii?
2. W jaki sposób pozyskujemy zdjęcie tęczówki?
3. Na czym polega segmentacja obrazu tęczówki?
4. Jak reprezentujemy obraz tęczówki?
5. Na czym polega kodowanie Daugmana?
6. Jakie są podstawowe własności statystyczne kodu Daugmana?