Biometryczna Identyfikacja Tożsamości

Wykład 4: Biometria tęczówki

Adam Czajka

Wykład na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechniki Warszawskiej

Semestr letni 2015

Wykład 4: Biometria tęczówki

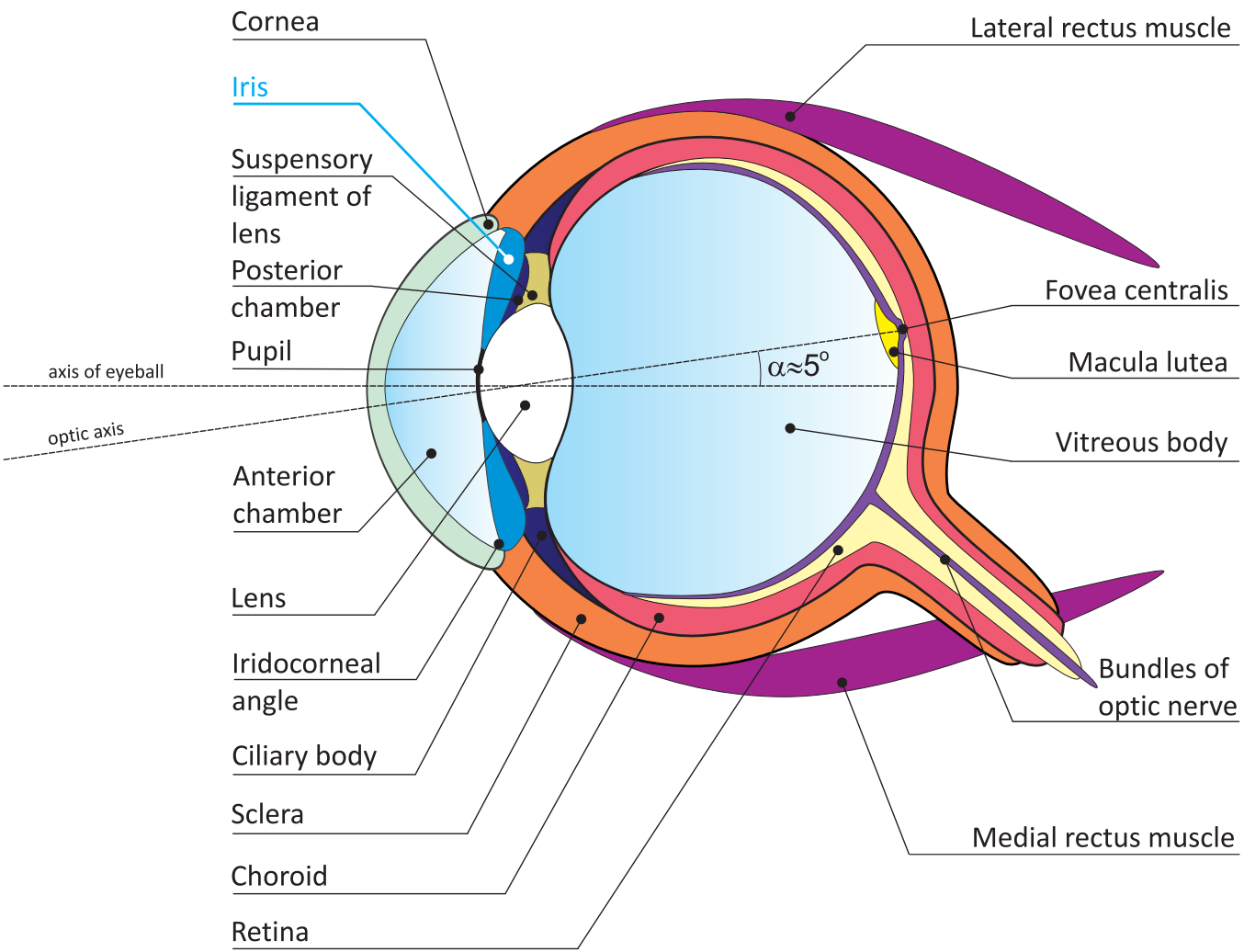
- Geneza i budowa tęczówki
- Krótka historia
- Pozyskiwanie obrazu tęczówki
- Segmentacja obrazu tęczówki
- Reprezentacja obrazu tęczówki
- Kodowanie tęczówki
- Porównywanie kodów tęczówki

Wykład 4: Biometria tęczówki

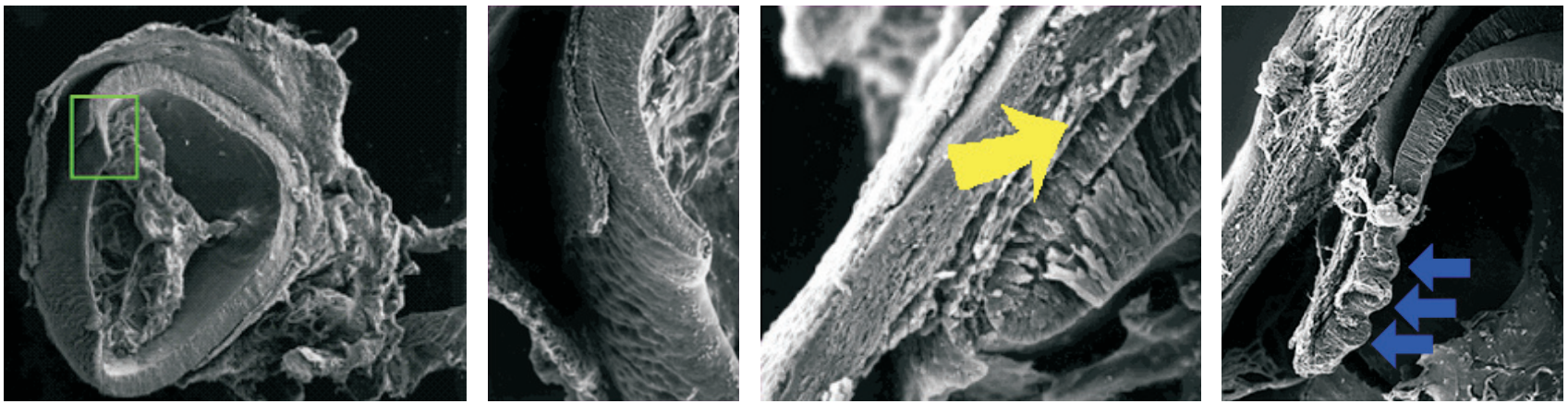
Geneza i budowa tęczówki

Krótka historia
Pozyskiwanie obrazu tęczówki
Segmentacja obrazu tęczówki
Reprezentacja obrazu tęczówki
Kodowanie tęczówki
Porównywanie kodów tęczówki

Tęczówka częścią narządu wzroku



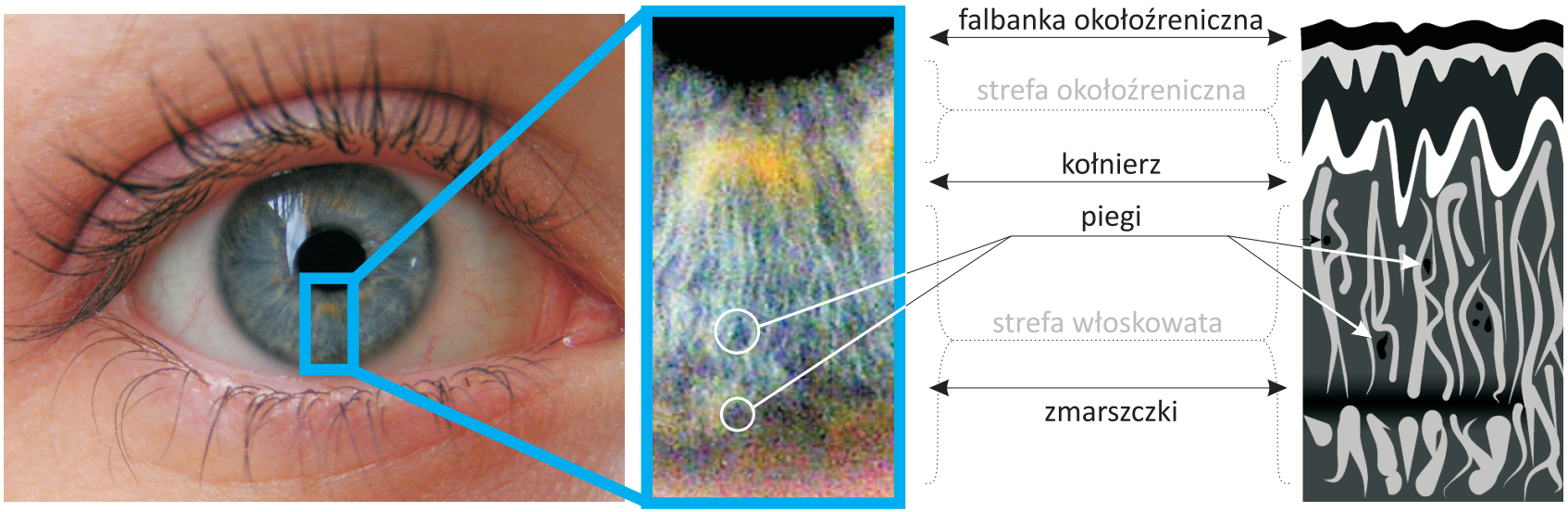
Rozwój tęczówki



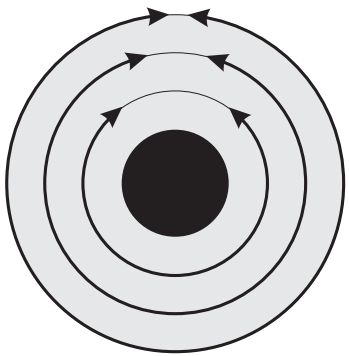
8 tydzień 15 tydzień

1. Rozwój: od 2 do 8 miesiąca życia płodowego
2. Hipoteza 1: struktura beleczek mięśniowych niezmienna aż do śmierci, choć najnowsze badania coraz częściej przeczą tej hipotezie (Univ. of Notre Dame, Politechnika Warszawska, Clarkson Univ.)
3. Hipoteza 2: procesy rzęskowe niezależne od genów $\rightarrow$ wysoki stopień zróżnicowania w populacji

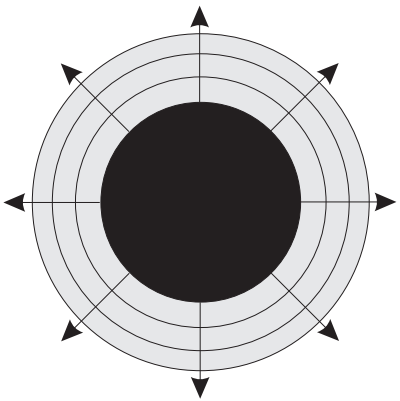
Struktura tęczówki

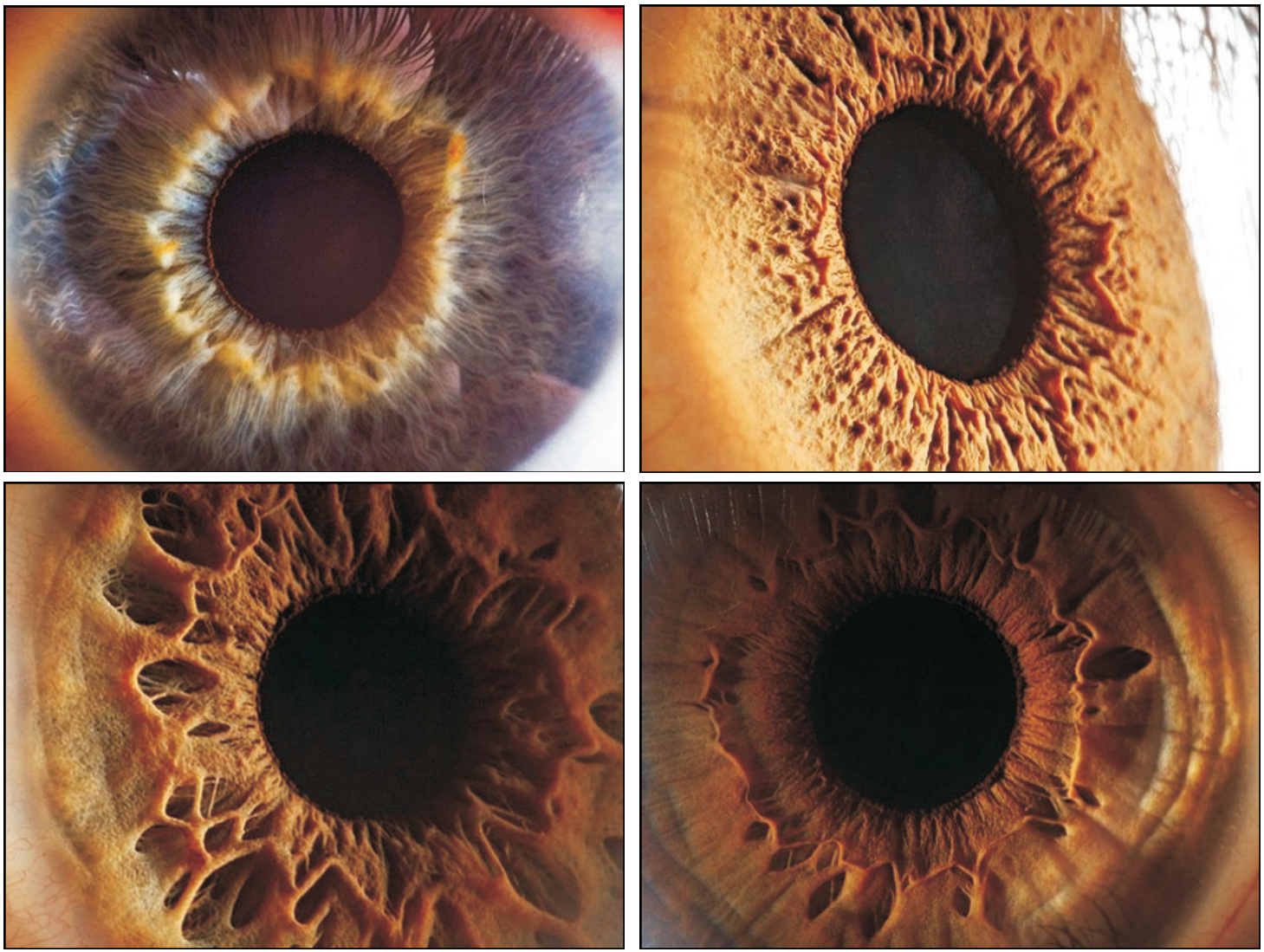


koliste ułożenie mięśni zmniejszających źrenicę (rozszerzanie tęczówki)



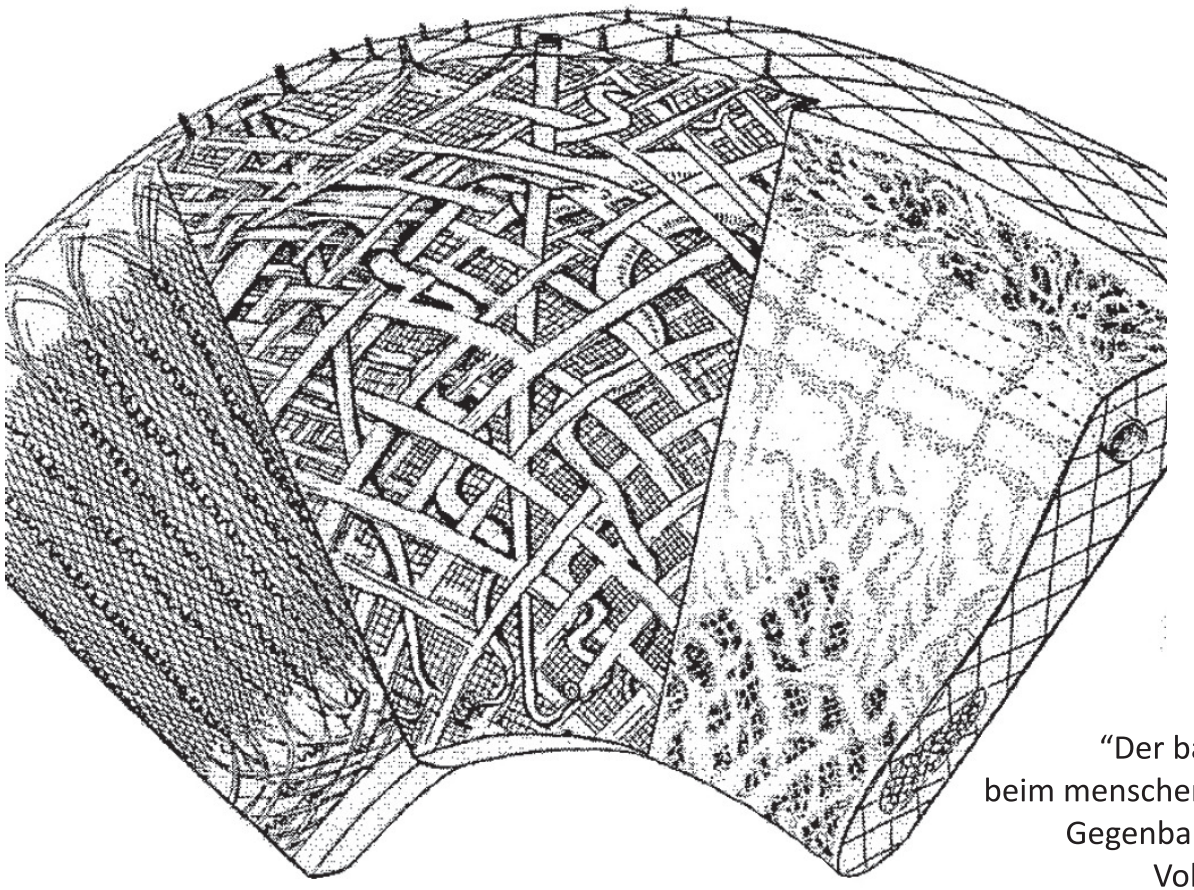
radialne ułożenie mięśni zwiększających źrenicę (kurczenie tęczówki)





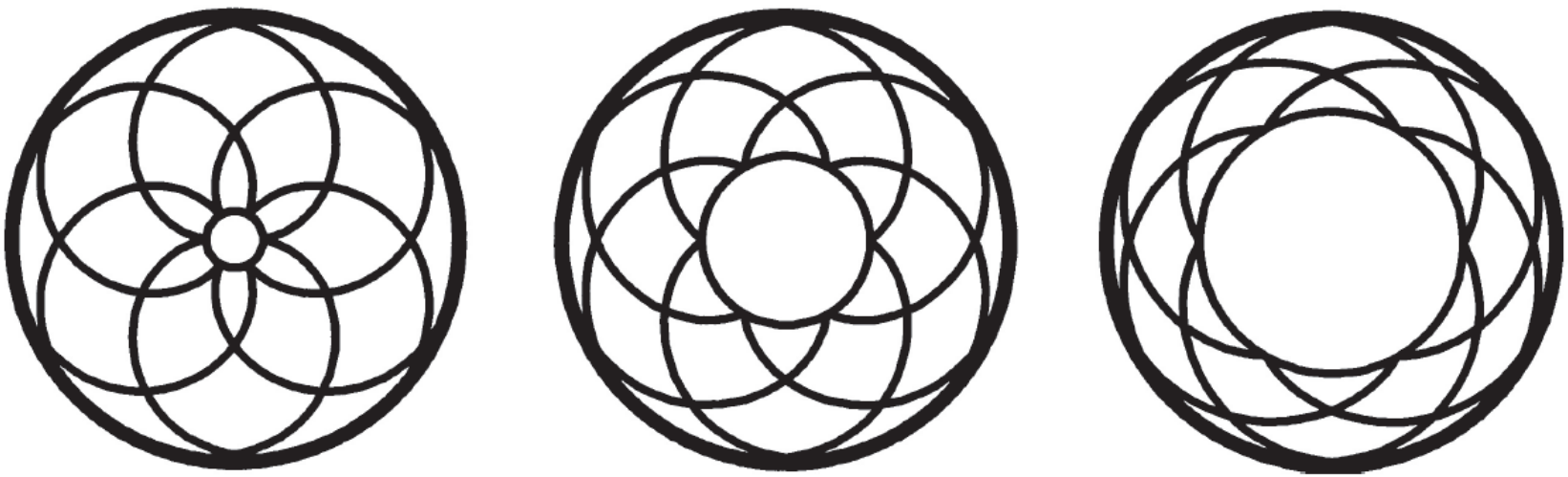
zdjęcia: Suren Manvelyan

Struktura tęczówki



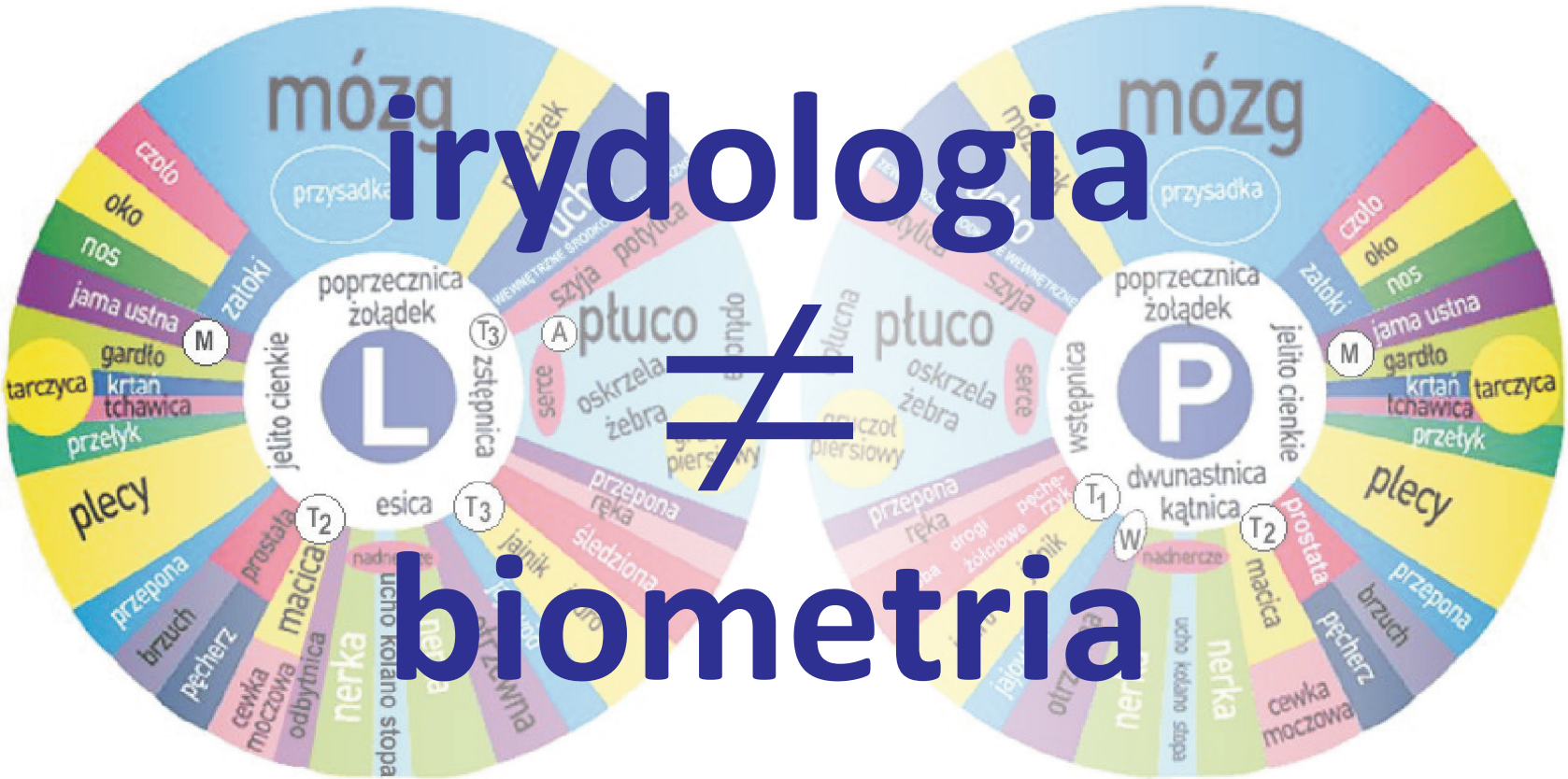
Źródło: Hans Rohen,
"Der bau der regenbogenhaut
beim menschen und einigen saugern",
Gegenbaur Morphology Journal,
Vol. 91, pp. 140-181, 1951

Struktura tęczówki



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

Irydologia a biometria



źródło map irydologicznych
http://irydologia.republika.pl

Wykład 4: Biometria tęczówki

Geneza i budowa tęczówki
Krótka historia
Pozyskiwanie obrazu tęczówki
Segmentacja obrazu tęczówki
Reprezentacja obrazu tęczówki
Kodowanie tęczówki
Porównywanie kodów tęczówki

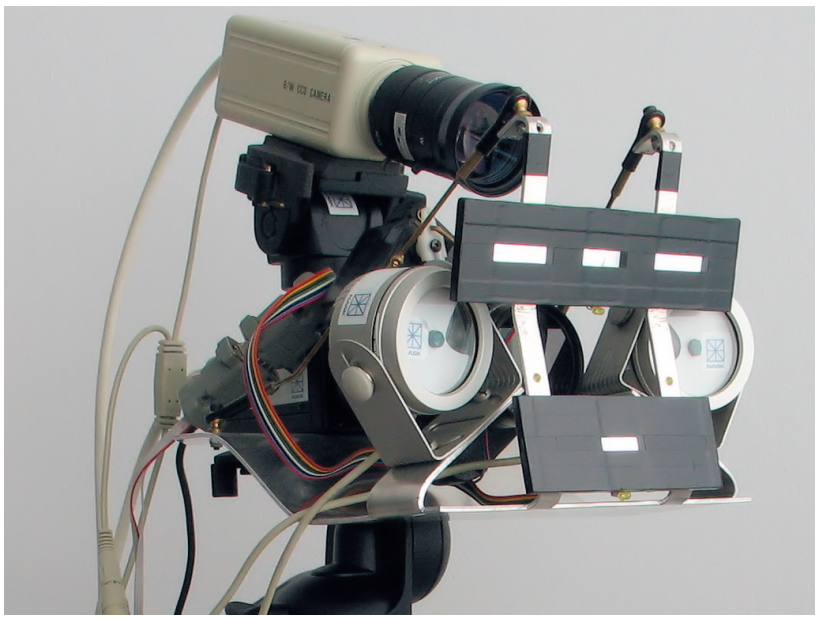
Historia rozpoznawania tęczówki

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. 2001: Pierwsze urządzenia konstruowane w Polsce
   - początkowo w Instytucie Automatyki i Informatyki Stosowanej na Politechnice Warszawskiej, później również w NASK
7. 2005: Wygasa patent Safira i Floma z 1987 r.

Urządzenia konstruowane na Politechnice Warszawskiej i w NASK



IrisFLY (2001 r.) oraz **IrisCUBE** (2006 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

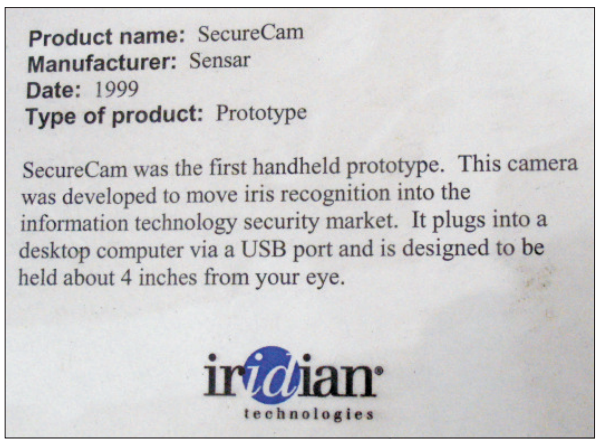
Pierwszy system biometrii tęczówki z aktywną lokalizacją twarzy i oka

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



Pierwsza kamera współpracująca z PC, 1999r.

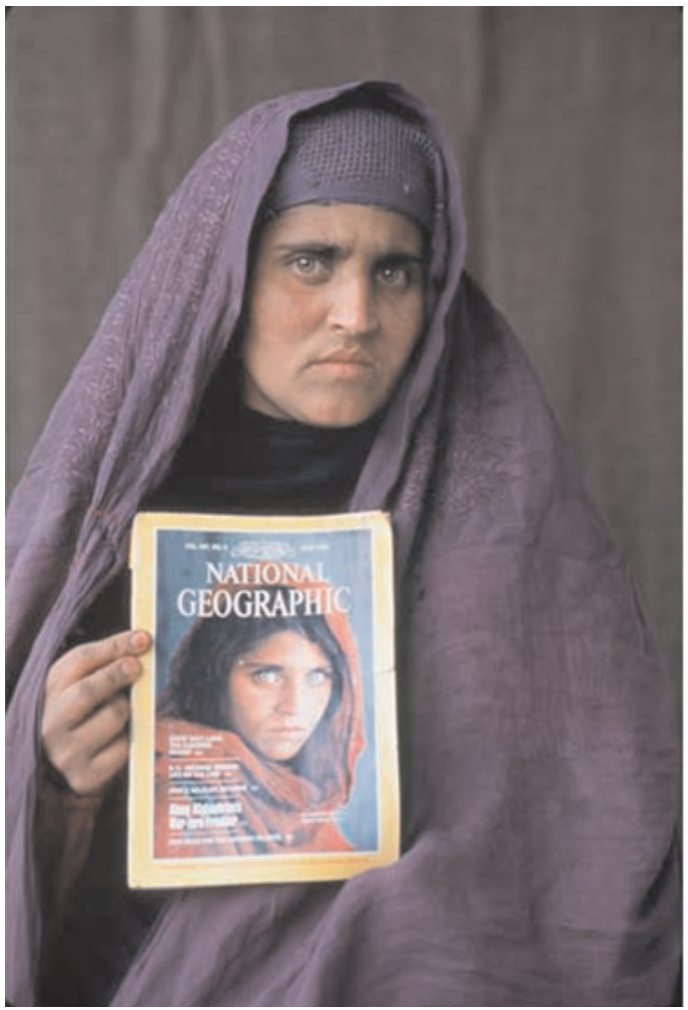
Spektakularne wykorzystanie metody Daugmana

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



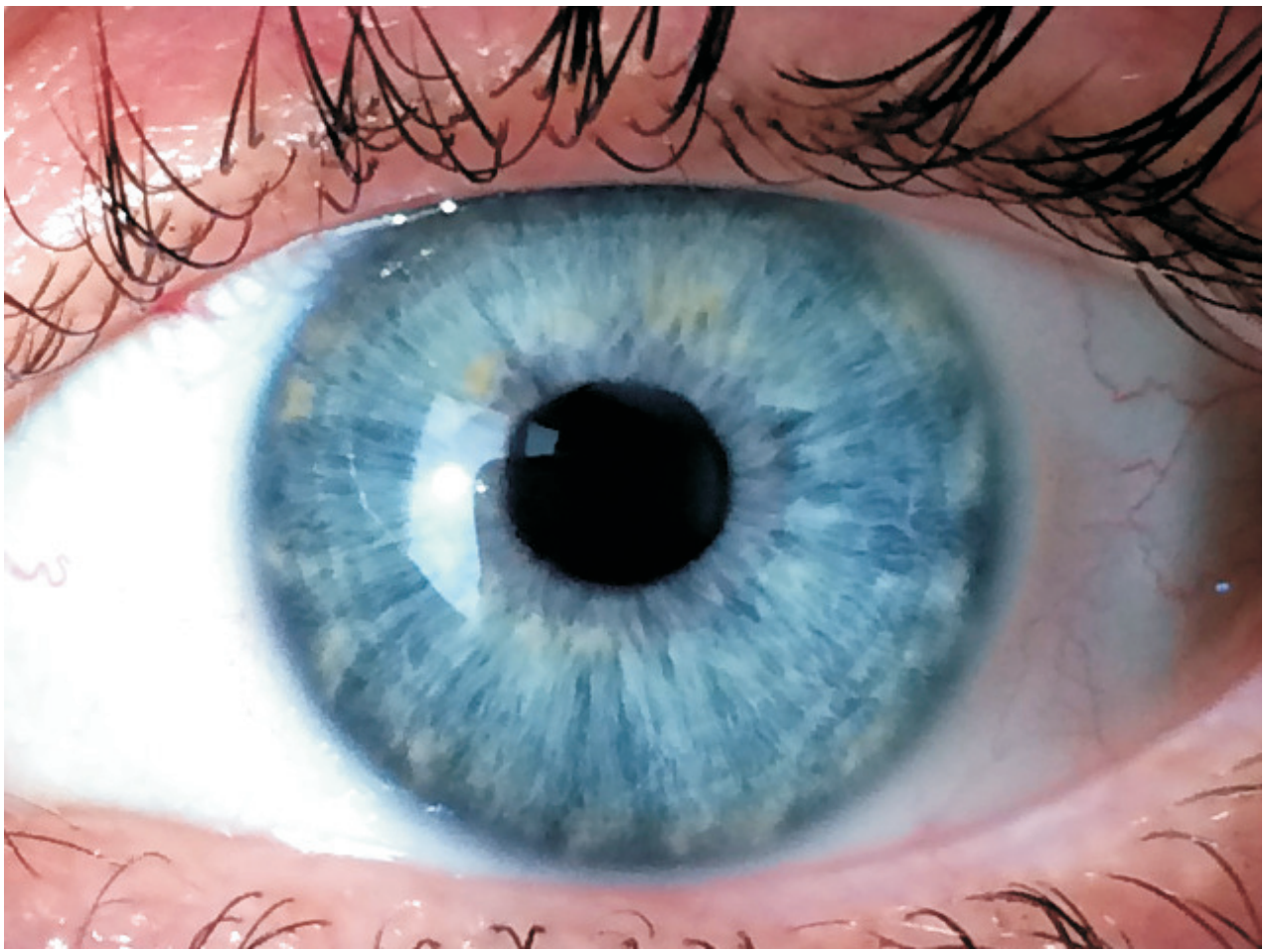
John Daugman stosuje swoją metodę do rozpoznania tożsamości dziewczynki

Sharbat Gula
Afganistan, 2002

Wykład 4: Biometria tęczówki
Geneza i budowa tęczówki
Krótka historia
Pozyskiwanie obrazu tęczówki
Segmentacja obrazu tęczówki
Reprezentacja obrazu tęczówki
Kodowanie tęczówki
Porównywanie kodów tęczówki

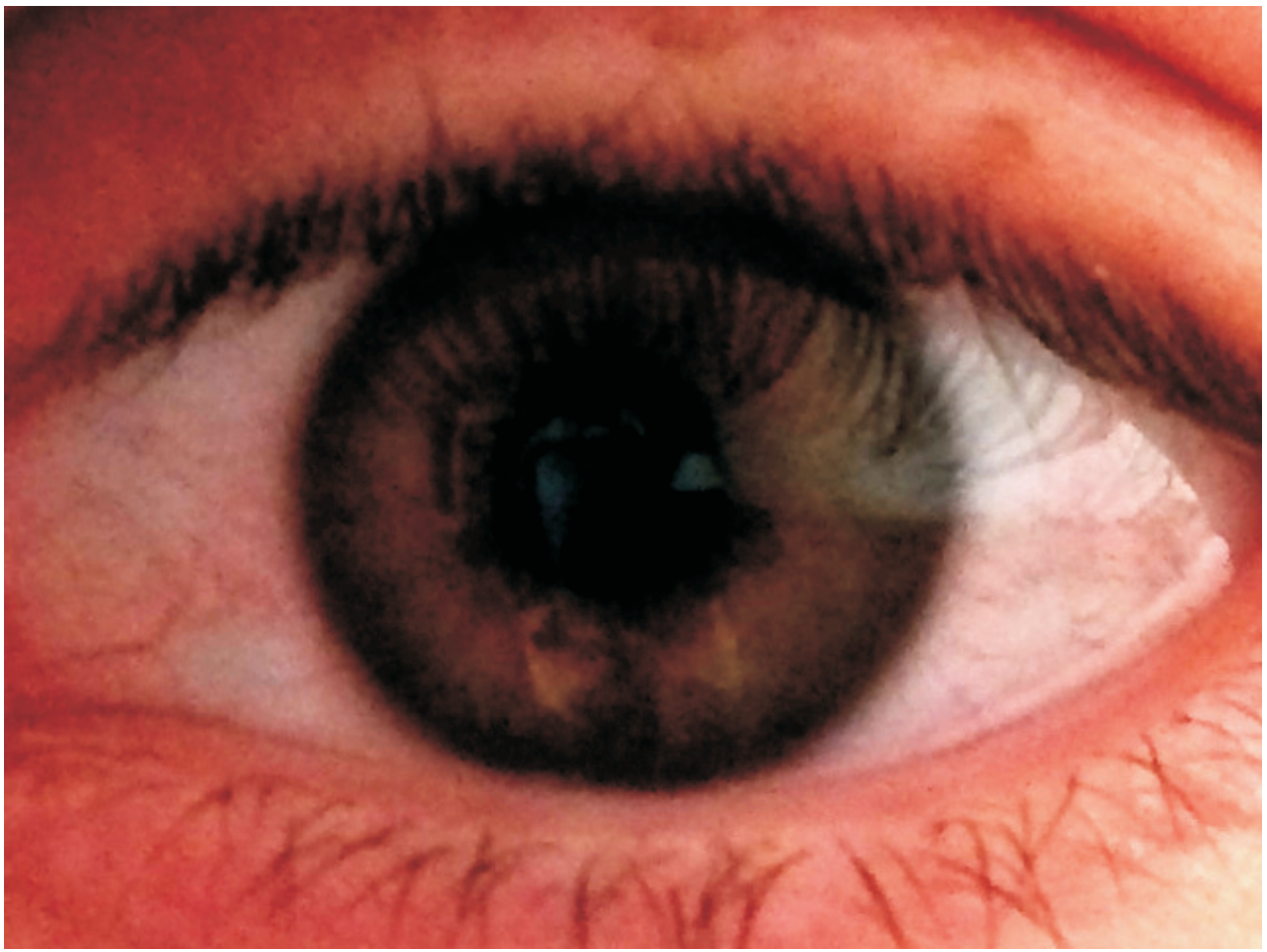
Wykorzystanie światła widzialnego

Możliwe, niejednokrotnie niezbędne ...

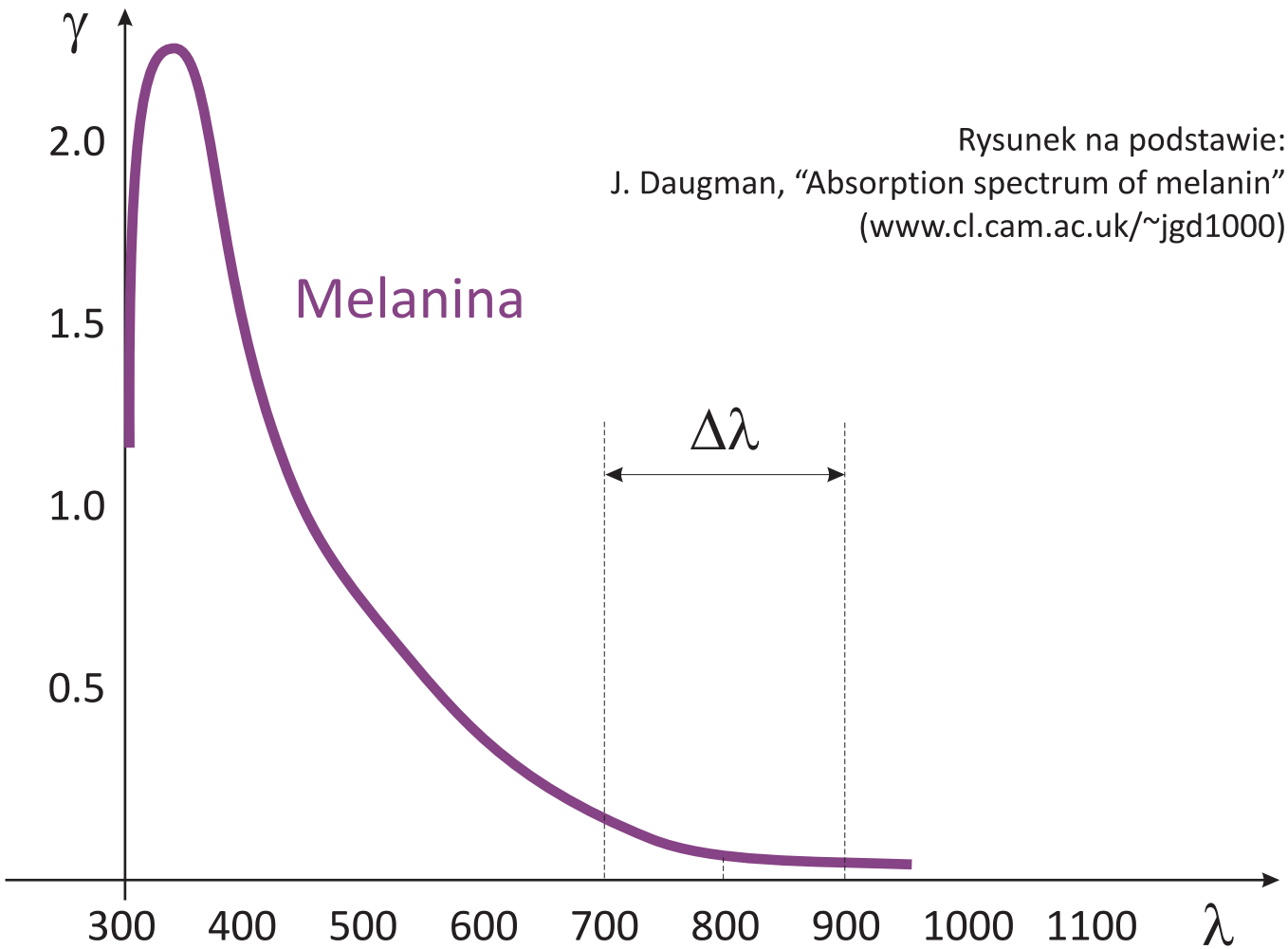


Wykorzystanie światła widzialnego

... ale może być zawodne dla ciemnych tęczówek

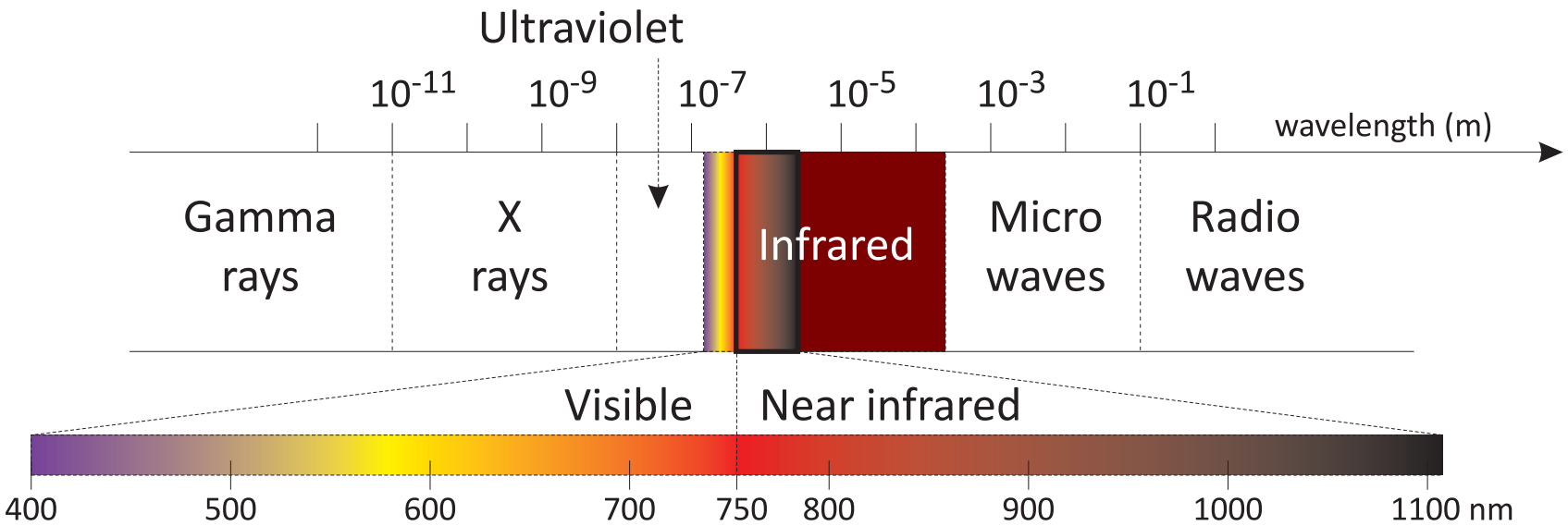


Melanina: ważny pigment chroniący nasz organizm



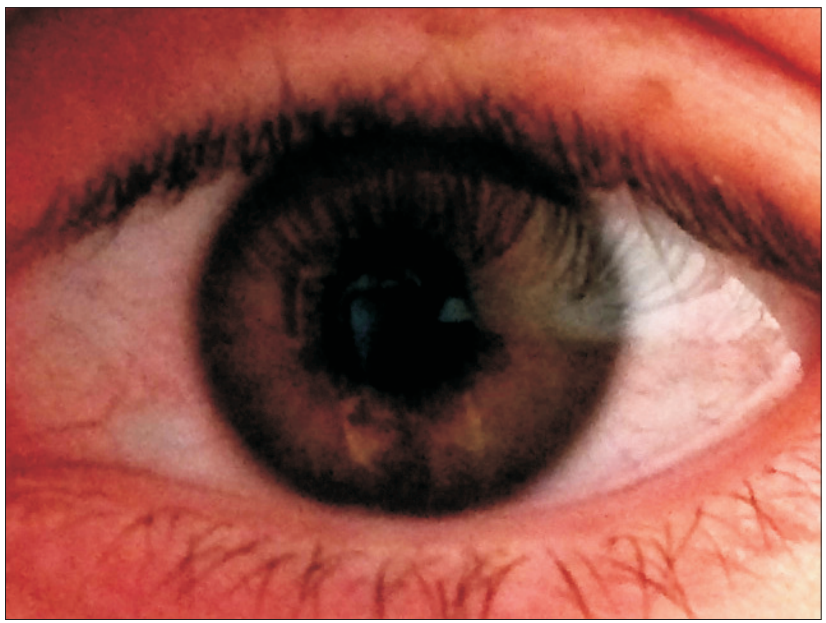
Rysunek na podstawie:
J. Daugman, "Absorption spectrum of melanin"
(www.cl.cam.ac.uk/~jgd1000)

Czy światło widzialne jest jedyną możliwością?

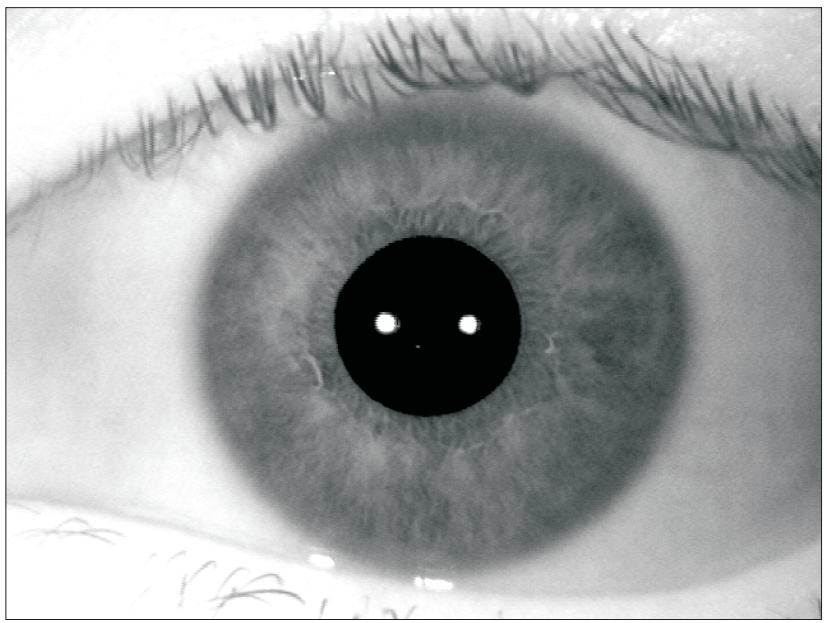


Obrazowanie w świetle widzialnym i bliskiej podczerwieni (przykład)

To samo oko. Zdjęcie w podczerwieni wykonane kamerą IrisCUBE

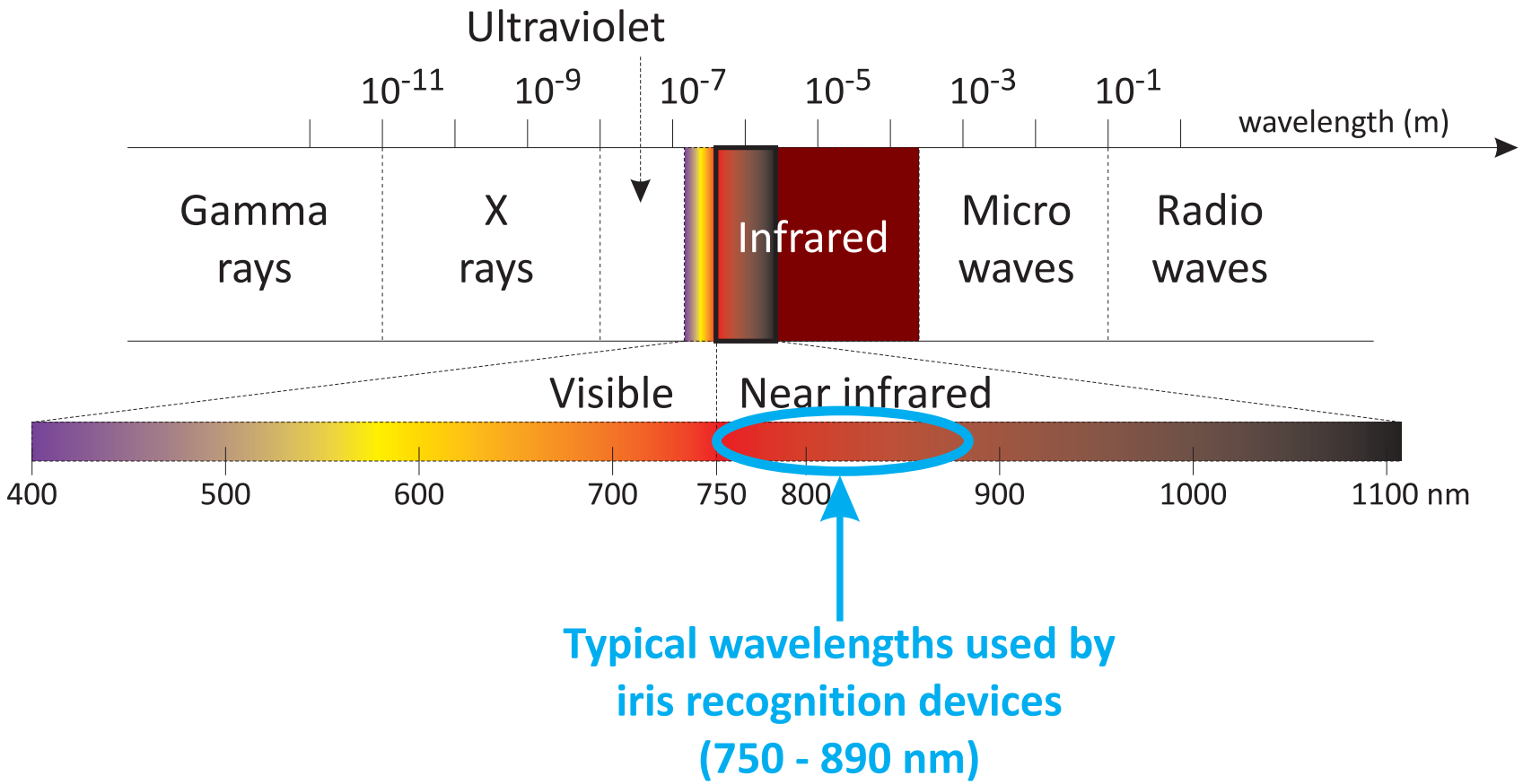


Visible light



Near infrared light (peak in 860 nm)

Czy światło widzialne jest jedyną możliwością?



Kłopotliwy pomiar

1. Mała głębia 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 szkłach kontaktowych
   - zmiana wielkości źrenicy
   - marszczenie powierzchni tęczówki (nieliniowe)
   - spontaniczne obroty głowy
   - spojrzenia nie w osi optycznej kamery

Wybrane zalecenia dot. pomiaru tęczówki

ISO/IEC 19794-6, ISO/IEC 29794-6
IEC 60825-1:1993 (+ uzupełnienia A1:1997 i A2:2001), ANSI RP-27.1-96

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)

Wybrane zalecenia dot. pomiaru tęczówki

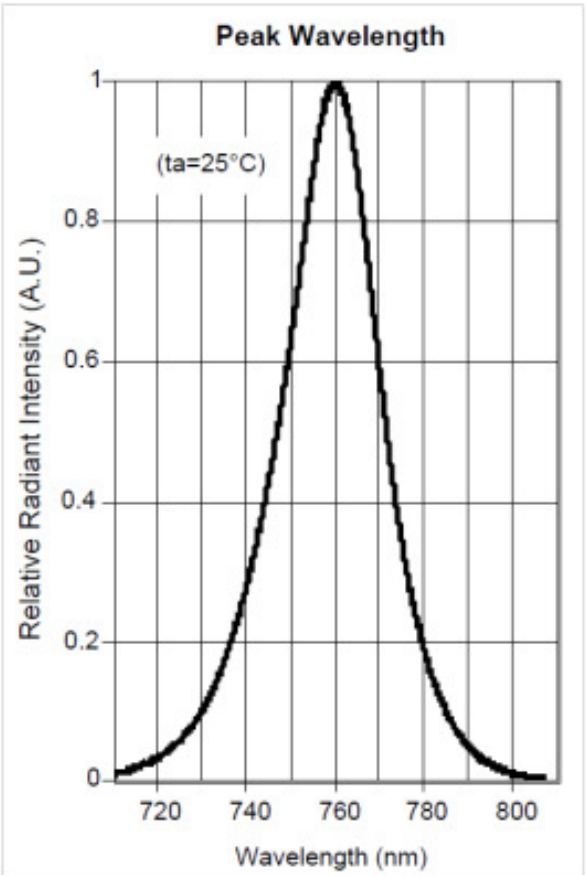
ISO/IEC 19794-6, ISO/IEC 29794-6
IEC 60825-1:1993 (+ uzupełnienia A1:1997 i A2:2001), ANSI RP-27.1-96

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)
4. Podczerwień nie jest obojętna dla oka
   - 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

Wybrane zalecenia dot. pomiaru tęczówki

ISO/IEC 19794-6, ISO/IEC 29794-6
IEC 60825-1:1993 (+ uzupełnienia A1:1997 i A2:2001), ANSI RP-27.1-96

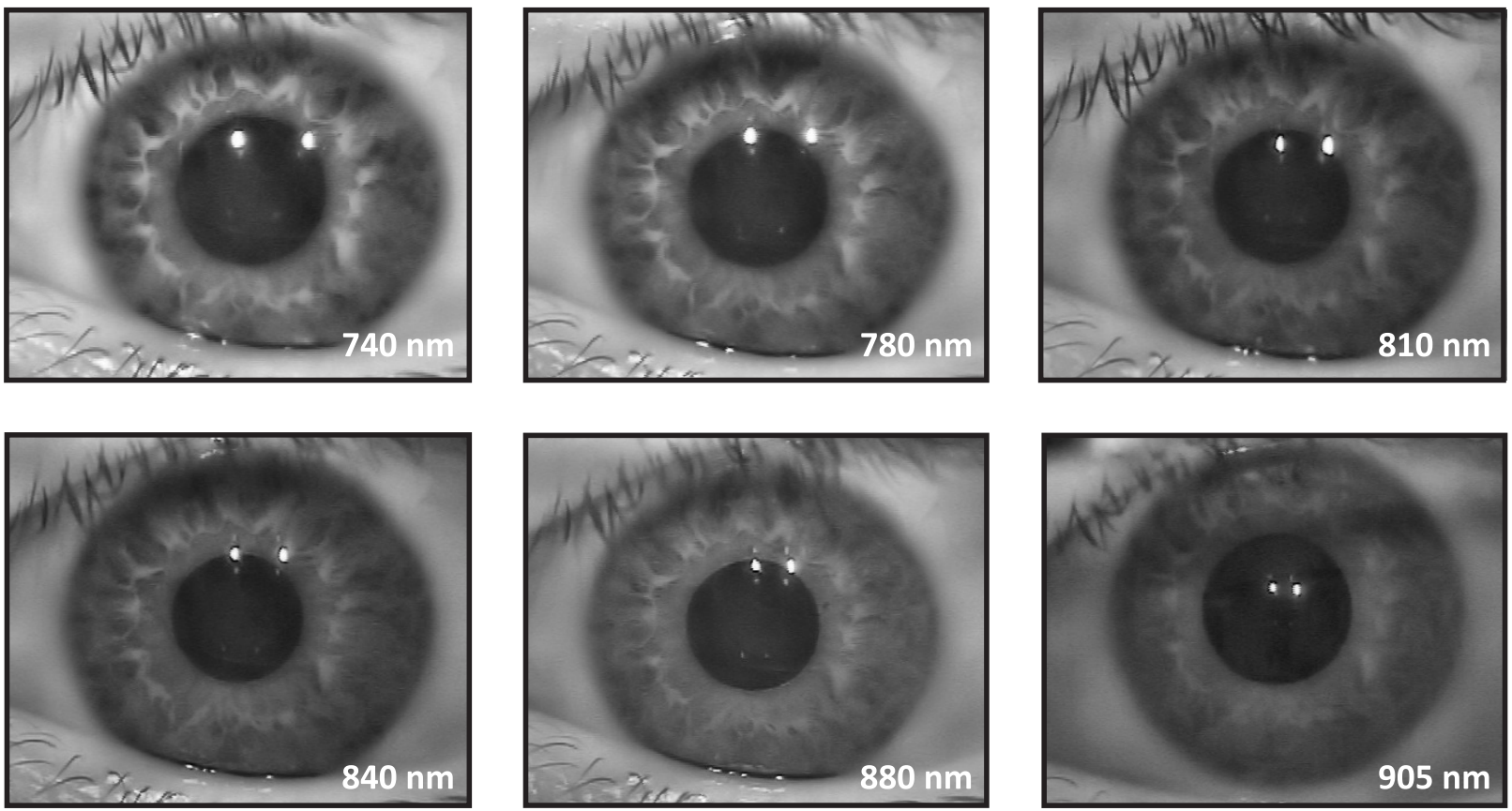
5. Oświetlenie
   - podczerwień z zakresu 700-900 nm
   - zapewnienie 35% energii oświetlenia dla każdego zakresu o szerokości 100 nm



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

Interoperacyjnoć pomiaru

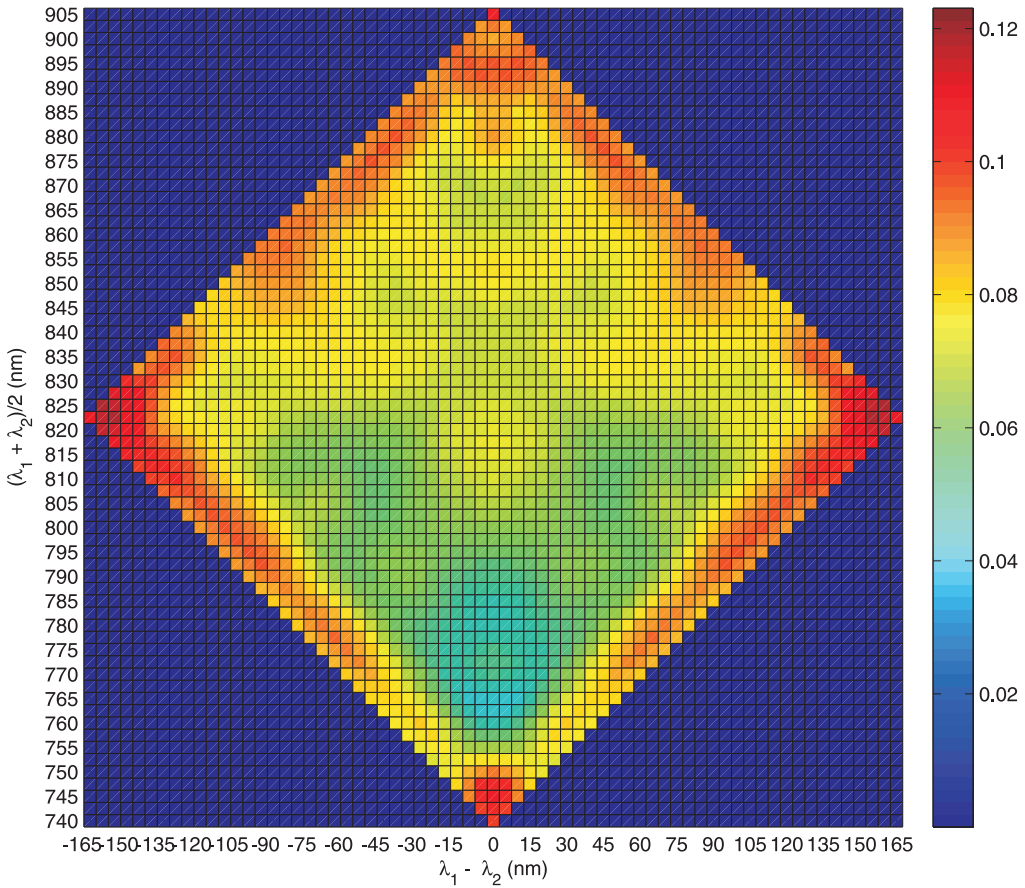
Wpływ oświetlenia na jakość rozpoznawania



źródło: Adam Czajka, Andrzej Pacut, "Influence of Near IR Illumination Wavelength on Iris Recognition Interoperability", International Biometric Performance Conference, NIST, USA, 5-9 marca 2012

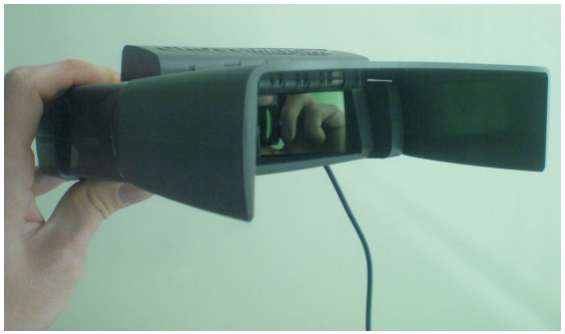
Interoperacyjnoć pomiaru

Wpływ oświetlenia na jakość rozpoznawania



źródło: Adam Czajka, Andrzej Pacut, "Influence of Near IR Illumination Wavelength on Iris Recognition Interoperability", International Biometric Performance Conference, NIST, USA, 5-9 marca 2012

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)

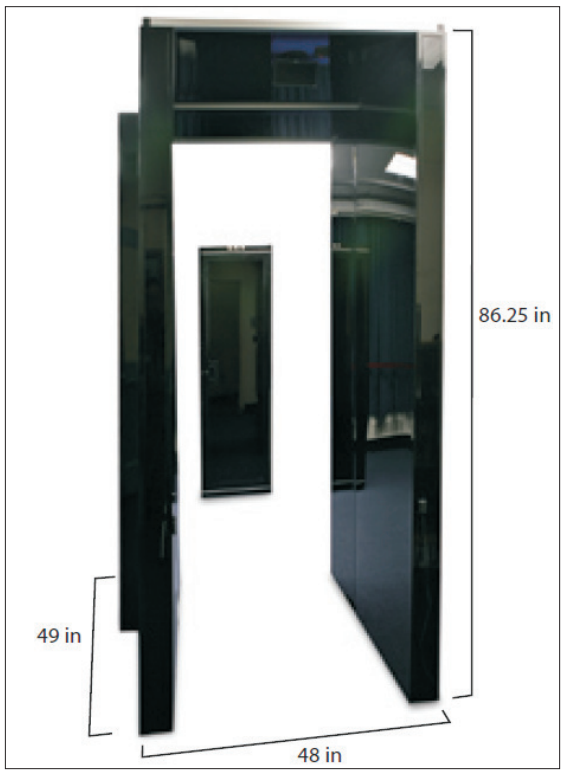
Pomiar bez kooperacji

1. Wykorzystanie wielokrotnych kamer o zwiększonej rozdzielczości (Sarnoff Corp., USA)
   - kamera szerokokątna do obserwacji i lokalizacji twarzy
   - kamera wąskokątna do obserwacji i rejestracji tęczówki (1384 $\times$ 1036 punktów)
2. Wykorzystanie deformowanych luster (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 luster
   - 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*)



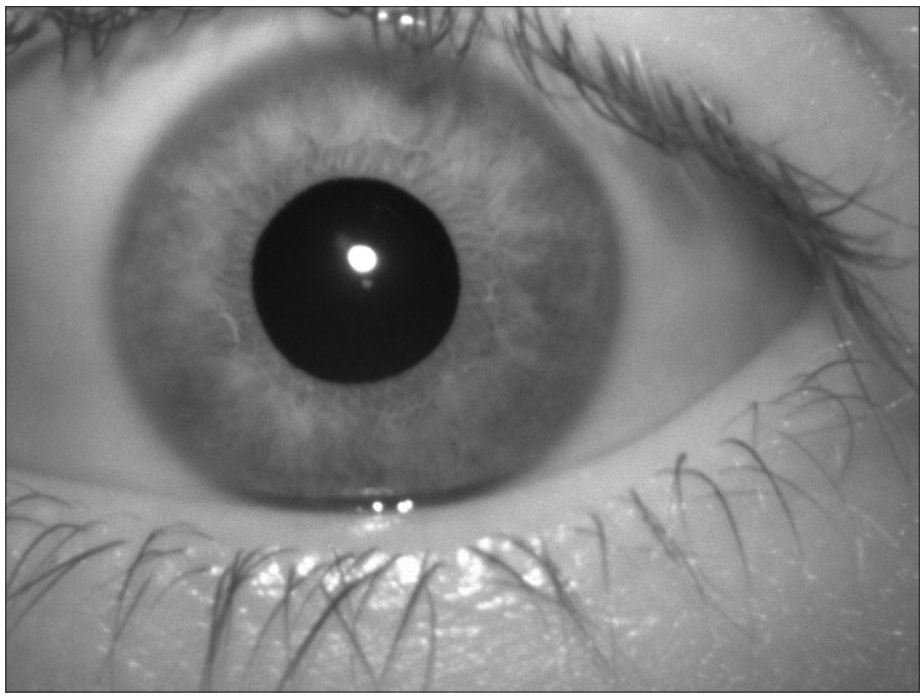
Bramka Iris-On-The-Move™
(źródło: *IOM Portal Datasheet*)

Przykład pomiaru kamerą Iris-On-The-Move™

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

Miniaturyzacja biometrii tęczówki

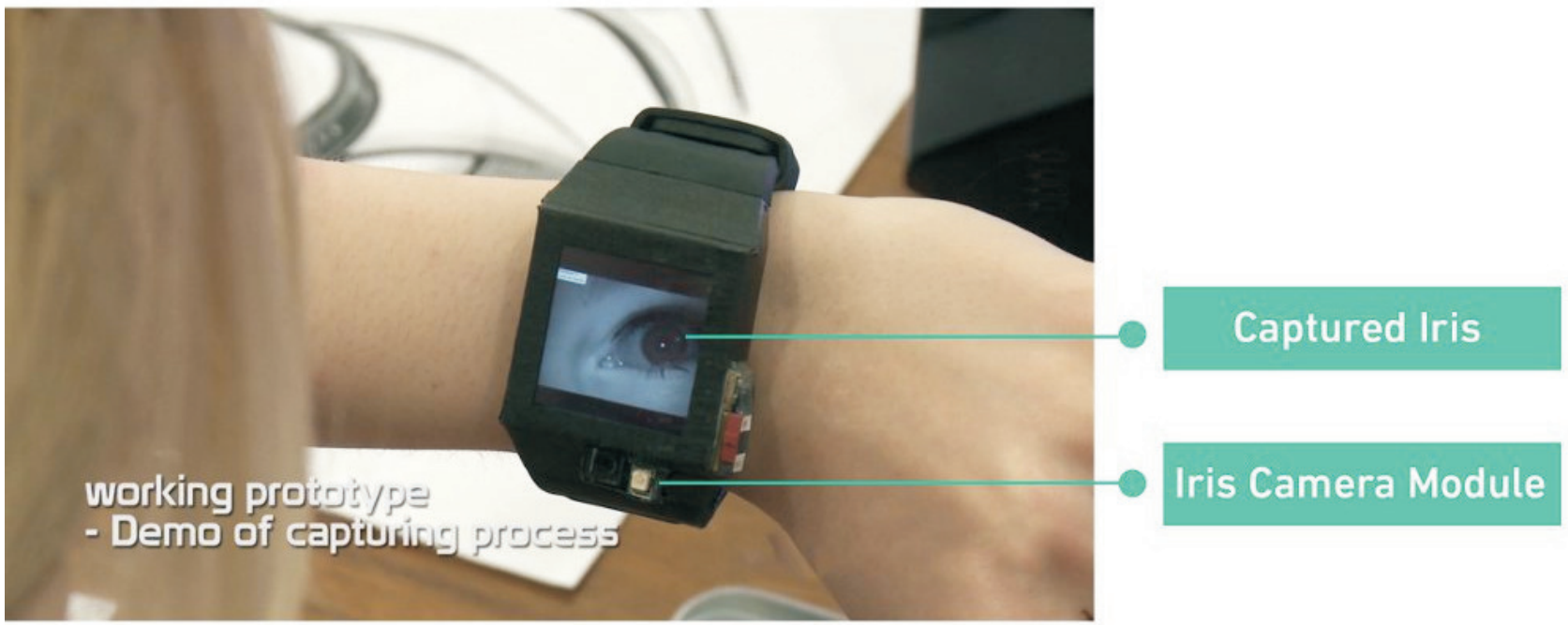
IriTech, USA, 2008r.



Przykładowe zdjęcie spełniające wymogi ISO/IEC 19794-6

Miniaturyzacja biometrii tęczówki

'Fidelys' smartwatch: prototyp pracujący pod kontrolą Androida



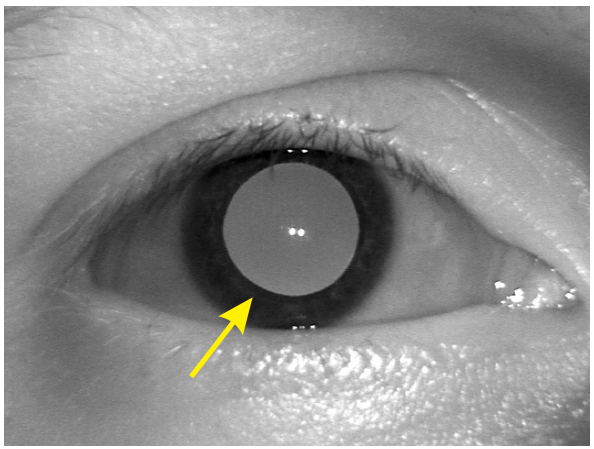
źródło: linuxgizmos.com/worlds-first-iris-recognition-smartwatch-runs-android, 2014

Miniaturyzacja biometrii tęczówki

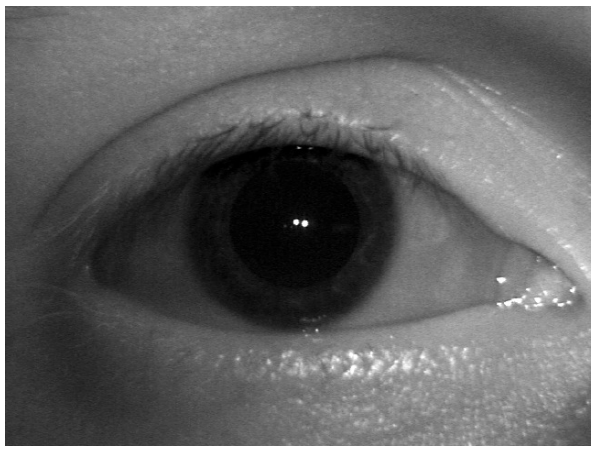
'Fidelys' smartwatch: finalny produkt

źródło: linuxgizmos.com/worlds-first-iris-recognition-smartwatch-runs-android, 2014

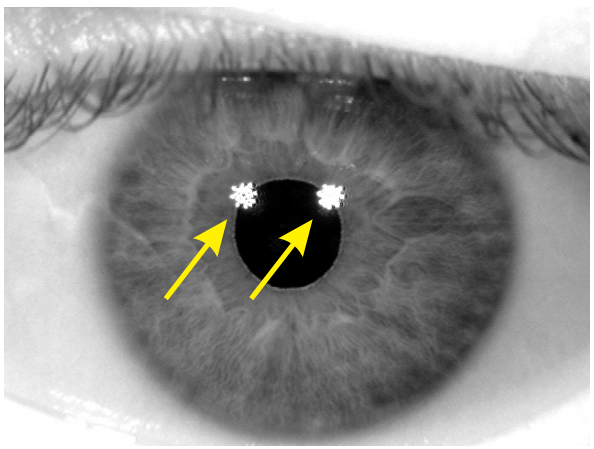
Pozycja oświetlaczy podczerwieni: niełatwy wybór



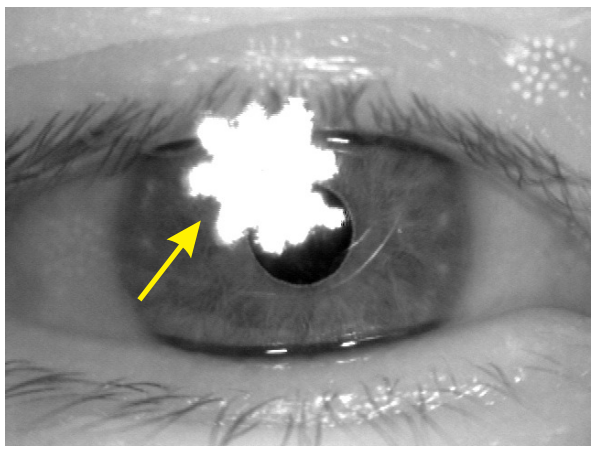
illuminants to close to the lens axis
(reflections from the retina, "red eye")



correct location of the illuminants
(reflections inside the pupil)



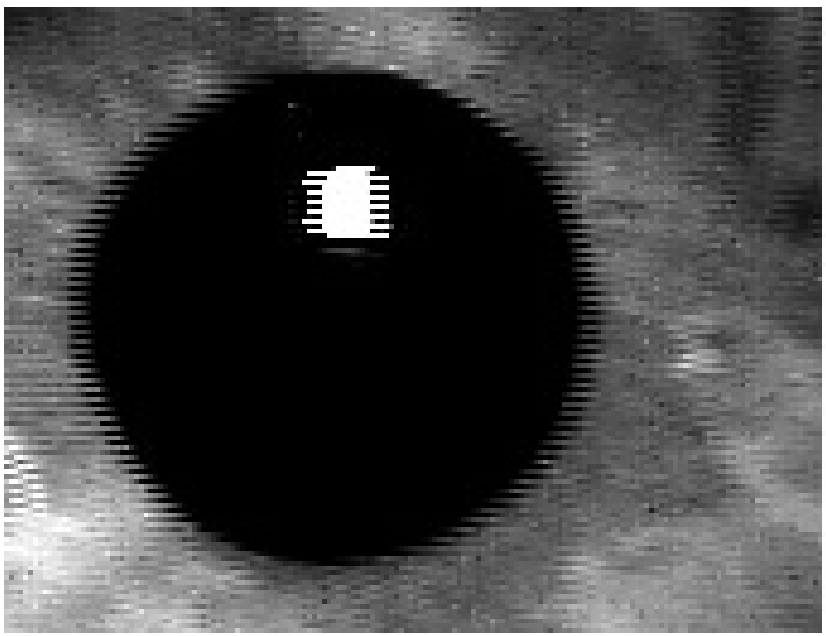
illuminants to far from the lens axis
(reflections obstruct the iris)

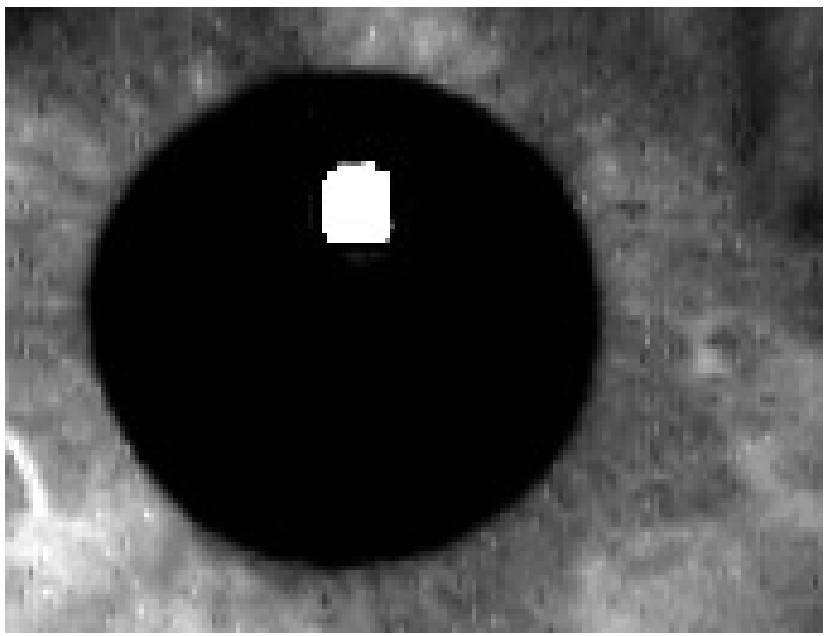


lens axis coincides with the reflection axis
(reflections from glasses obstruct the iris)

Przetwarzanie wstępne obrazu tęczówki

1. Polepszanie struktury obrazu: usuwanie szumu sensora, przeplotu, odblasków
2. Polepszanie intensywności obrazu: modyfikacja kontrastu, histogramu, usuwanie trendów



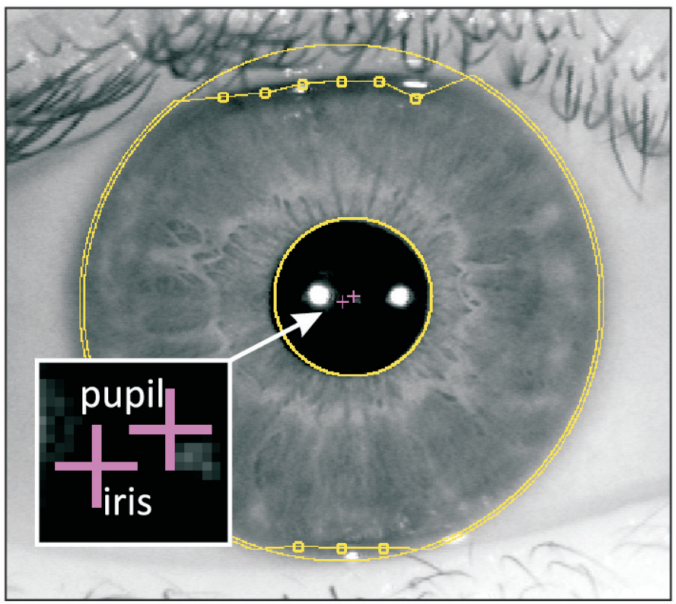


Wykład 4: Biometria tęczówki

Geneza i budowa tęczówki
Krótka historia
Pozyskiwanie obrazu tęczówki
Segmentacja obrazu tęczówki
Reprezentacja obrazu tęczówki
Kodowanie tęczówki
Porównywanie kodów tęczówki

1. Popularne założenia

- Kształt tęczówki i źrenicy przybliżany okręgiem: przybliżenie najczęściej niedokładne (szczególnie dla źrenicy) ale wystarczające w większości zastosowań
- Tęczówka i źrenicya nie są koncentryczne: środek źrenicy przesunięty w kierunku nosa w ponad 95% przypadków
- Kształt powiek przybliżany krzywymi parabolicznymi



2. Elementy do lokalizacji

- Granica zewnętrzna (ang. *limbic boundary*) pomiędzy białkówką i tęczówką
- Granica wewnętrzna (ang. *pupillary boundary*) pomiędzy tęczówką i źrenicą
- Zakłócenia: powieki, rzęsy, odblaski

Lokalizacja tęczówki

Operator całkowo-różniczkowy [Daugman, 1993]

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

gdzie:

I – surowy obraz tęczówki

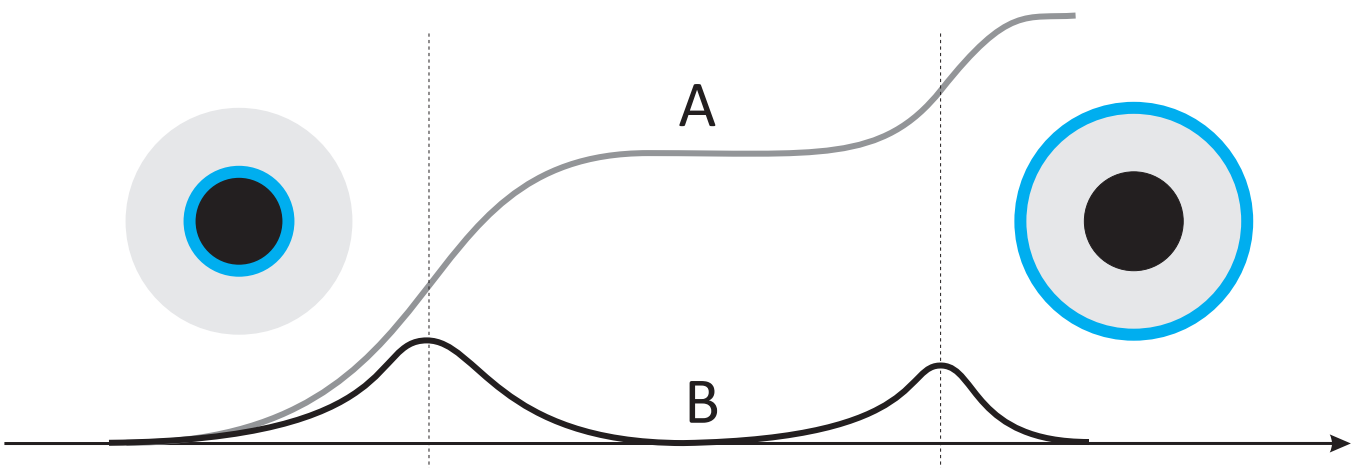
r, x_0, y_0 – parametry krzywej s (okręgu)

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

Lokalizacja tęczówki

Operator całkowo-różniczkowy [Daugman,1993]

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



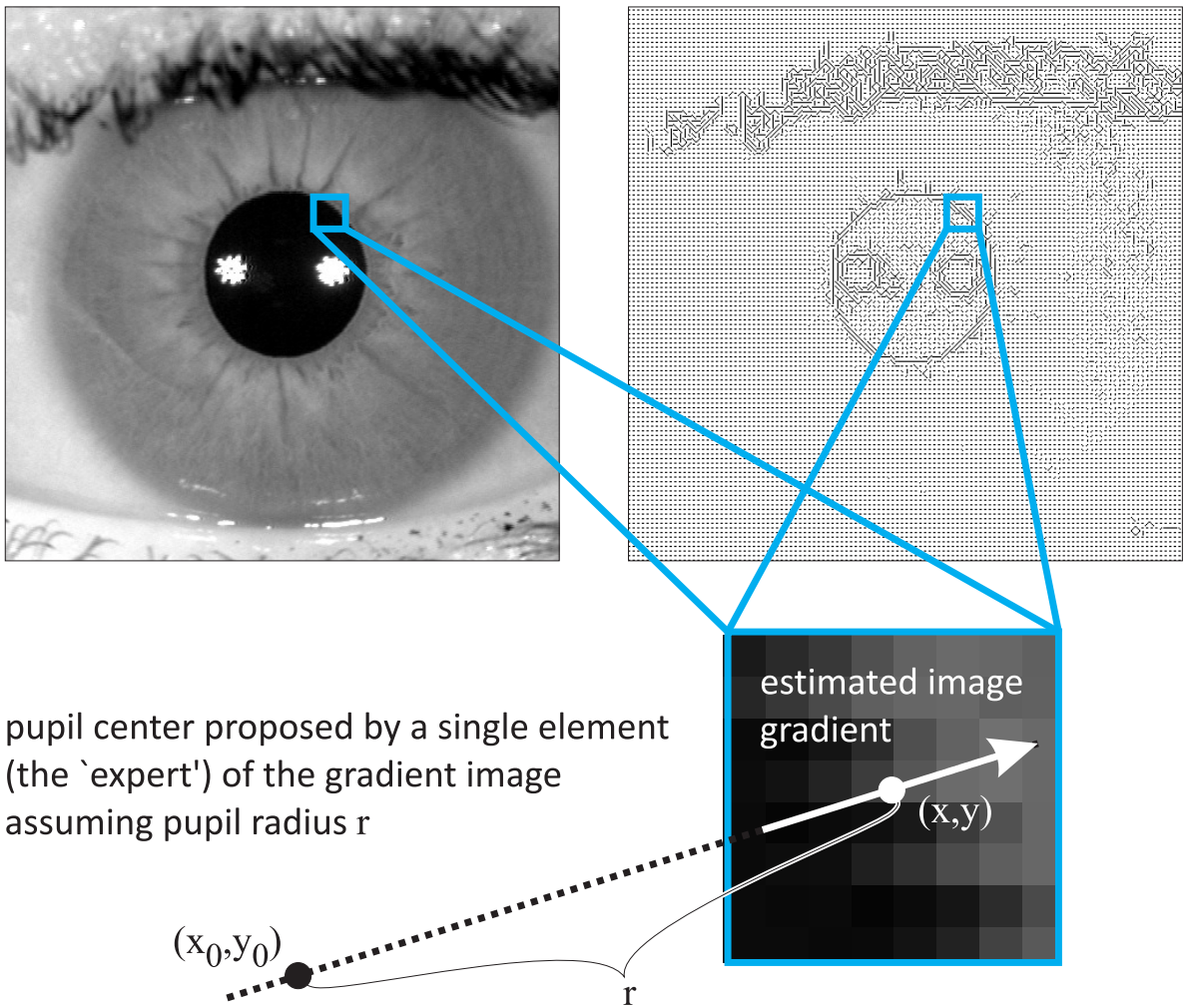
Lokalizacja tęczówki

Operator całkowo-różniczkowy [Daugman, 1993]: implementacje

1. Zastosowanie typowych metod optymalizacji
2. Wykorzystanie transformaty Hough'a
   - wyznaczenie obrazu gradientowego
   - macierz akumulatorowa indeksowana parametrami poszukiwanej krzywej, np. dla okręgu (r, x_0, y_0)
   - elementy obrazu gradientowego występują w roli "ekspertów" proponujących optymalne (z ich punktu widzenia) wartości parametrów
   - metoda może być rozszerzana na inne (nieskomplikowane) krzywe, np. elipsy

Lokalizacja tęczówki

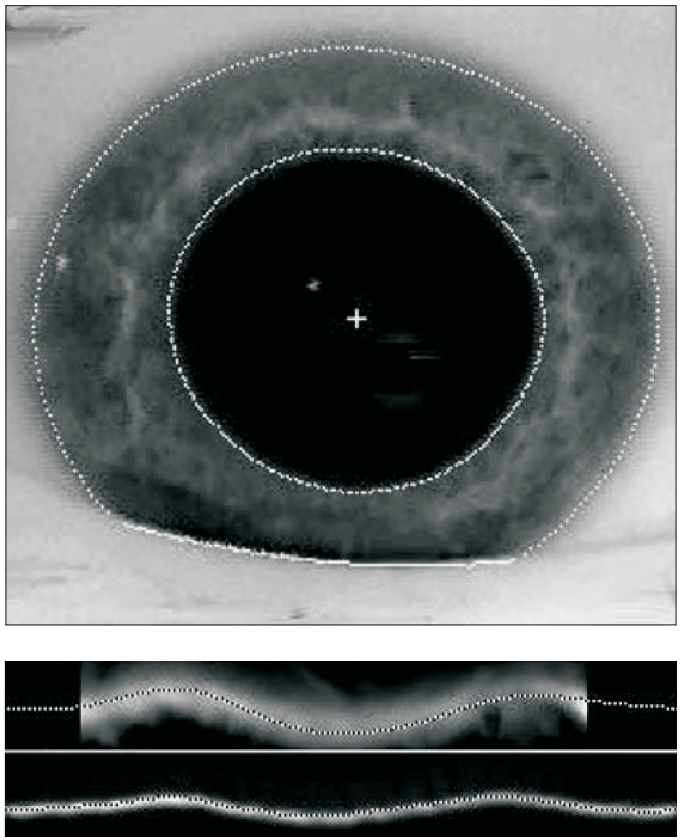
Wykorzystanie transformaty Hough'a



Lokalizacja tęczówki

Wykorzystanie rozwinięcia Fouriera

1. Uwypuklanie i detekcja krawędzi w układzie kartezjańskim lub biegunowym
2. Aproksymacja kształtu krawędzi za pomocą rozwinięcia w szereg 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

Lokalizacja tęczówki

Wykorzystanie rozwinięcia Fouriera

(+) Metoda matematycznie elegancka ...

- składowa stała odpowiada najlepszej aproksymacji okręgiem
- każdy dodatkowy składnik rozwinięcia polepsza dokładność
- łatwe mapowanie wyniku do układu biegunowego

(–) ... ale sprawiająca trudności implementacyjne

- niekompletne (przesłonięte) granice zmniejszają dokładność
- detekcja krawędzi wymaga filtracji dopasowanej do "szerokości" krawędzi (trudne przy zmieniającej się rozdzielczości obrazów)
- liczba składników rozwinięcia Fouriera zależna od zdjęć (np. ISO rekomenduje 17 dla źrenicy i 5 dla tęczówki)

Lokalizacja zakłóceń

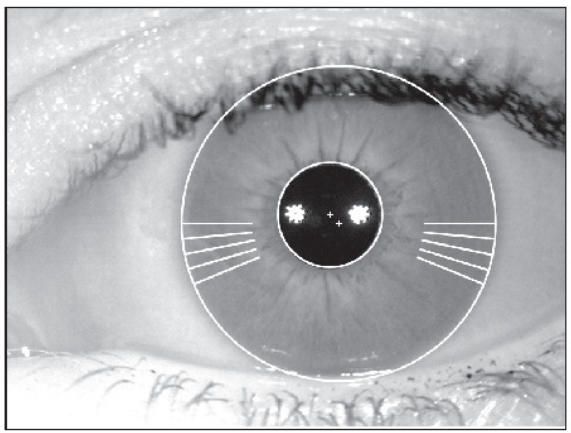
Dwie możliwości implementacji

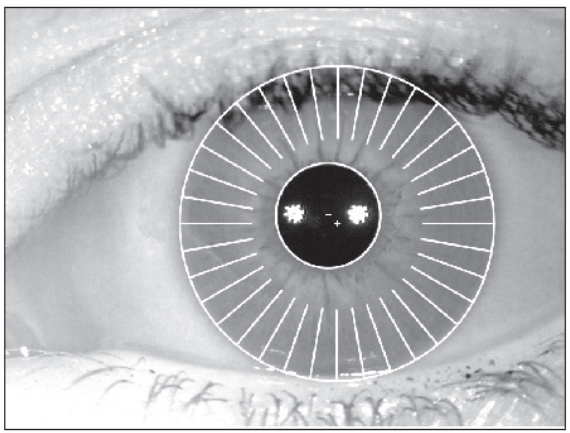
1. Dodatkowy etap po lokalizacji tęczówki
   - metody parametryczne wykorzystywane do lokalizacji tęczówki, np. operator całkowo-różniczkowy dla krzywych parabolicznych
   - metody nieparametryczne wyszukujące tekstur odbiegających własnościami od tekstury tęczówki
2. Wpisana w lokalizację tęczówki
   - Rozwinięcie Fouriera
   - "Aktywne Kontury": ewolucja krzywej opisanej równaniami różniczkowymi, możliwość dopasowania do dowolnych kształtów, metoda czasochłonna

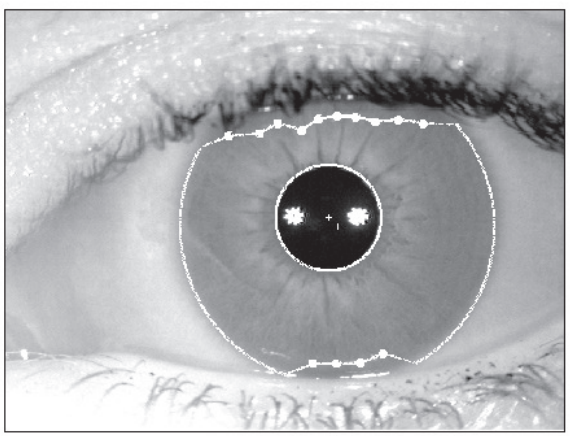
Zakłócenia reprezentowane w postaci maski: cechy tęczówki wyznaczone na podstawie zakłóconych pikseli będą odrzucane na etapie porównywania cech

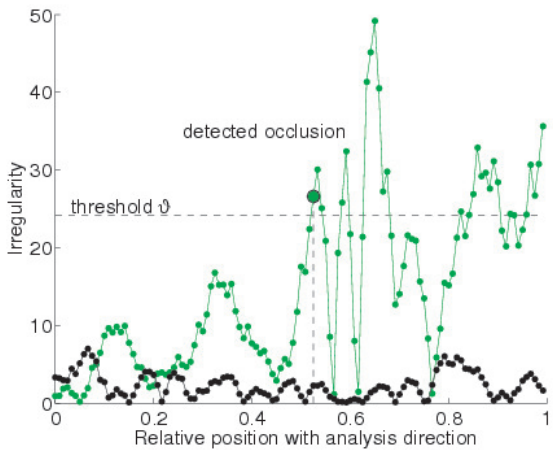
Lokalizacja zakłóceń

Wykrywanie niejednorodności obrazu tęczówki (przykład)





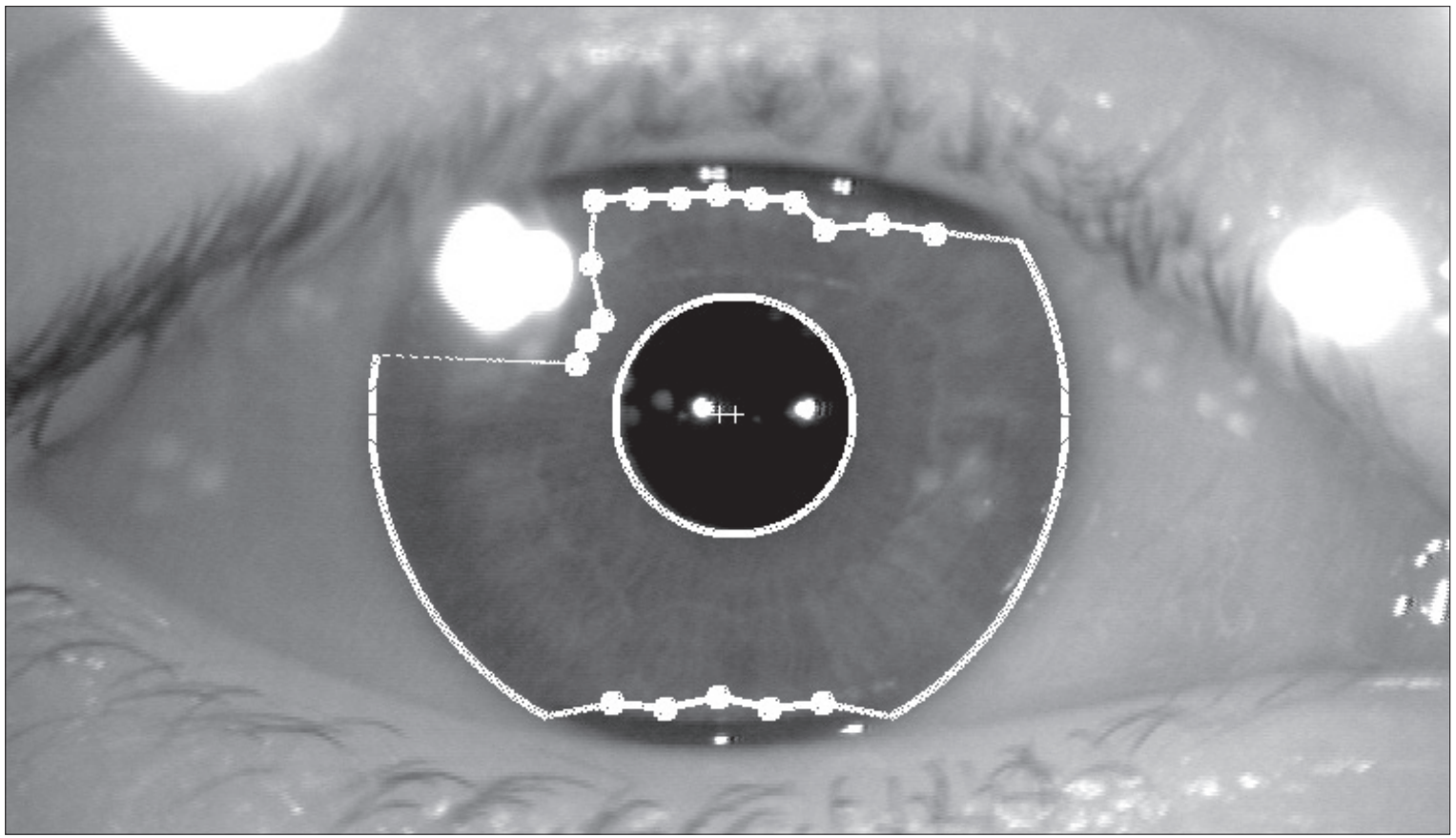




źródło: A. Czajka, "Human Iris for Automatic Identity Verification", IAiIS PW, 2005

Lokalizacja zakłóceń

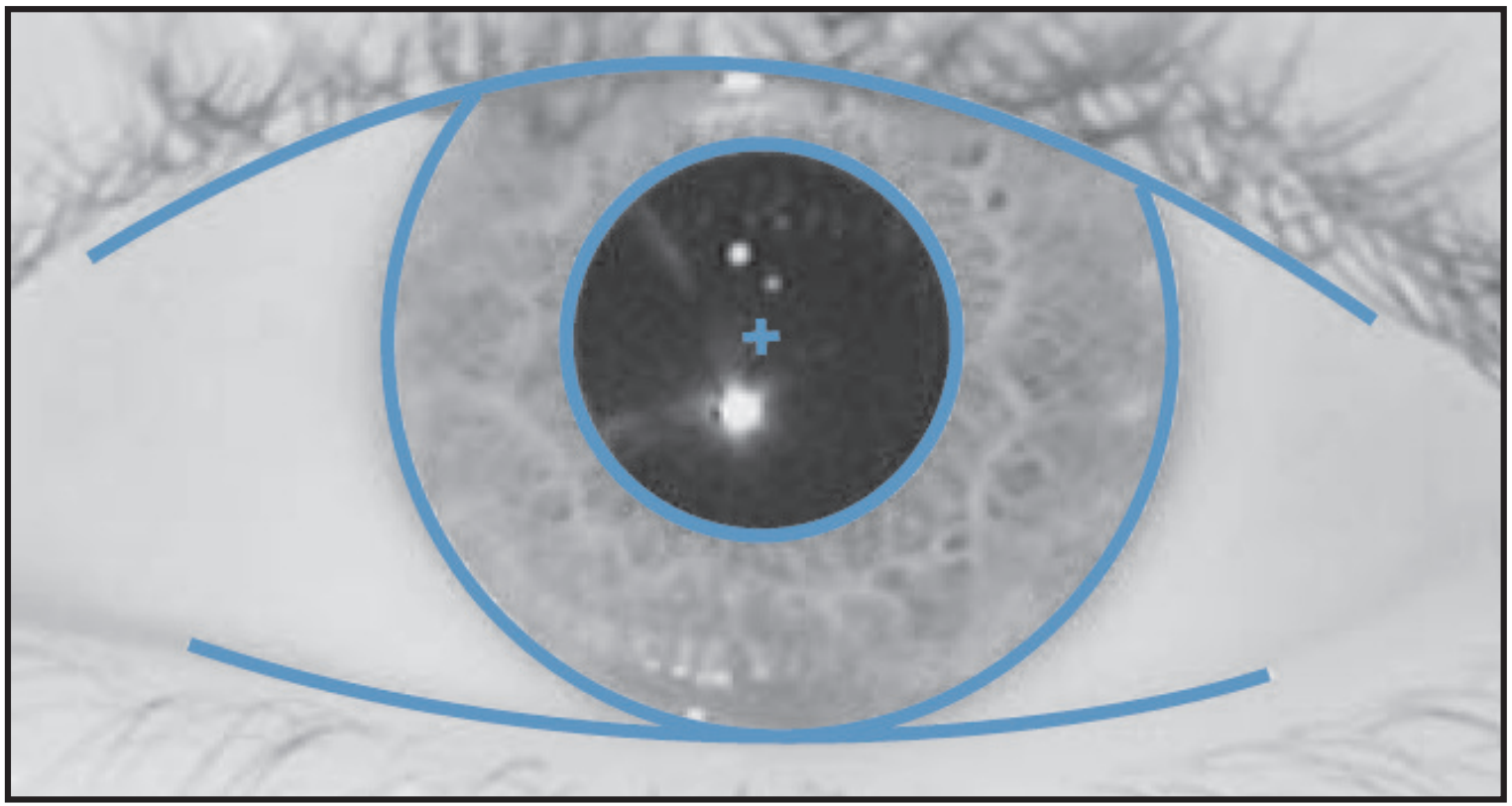
Wykrywanie niejednorodności obrazu tęczówki (przykład)



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

Lokalizacja zakłóceń

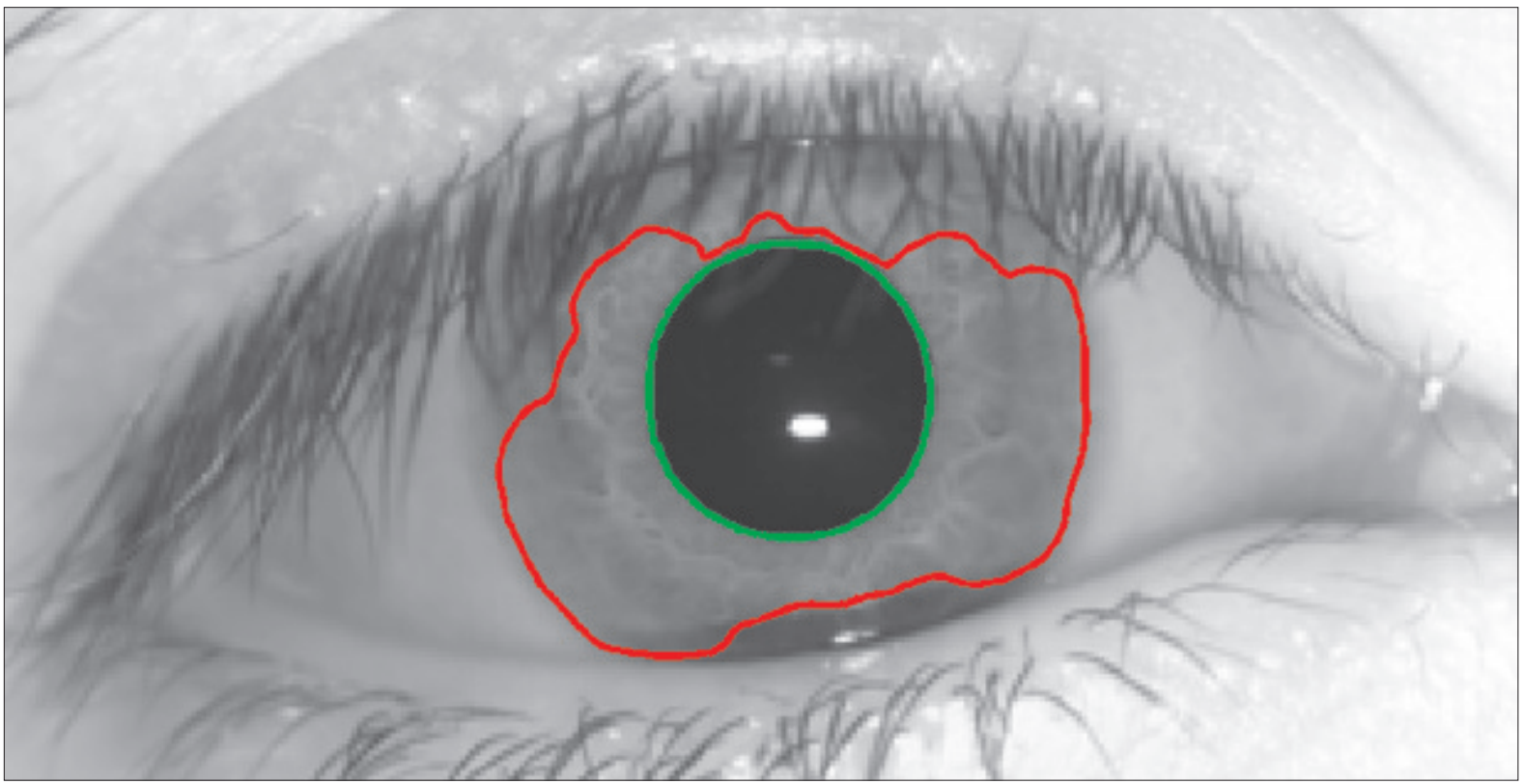
Wykorzystanie operatora całkowo-różniczkowego Daugmana (przykład)



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

Lokalizacja zakłóceń

Wykorzystanie "Aktywnych Konturów"



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

Dodatkowe przetwarzanie po segmentacji

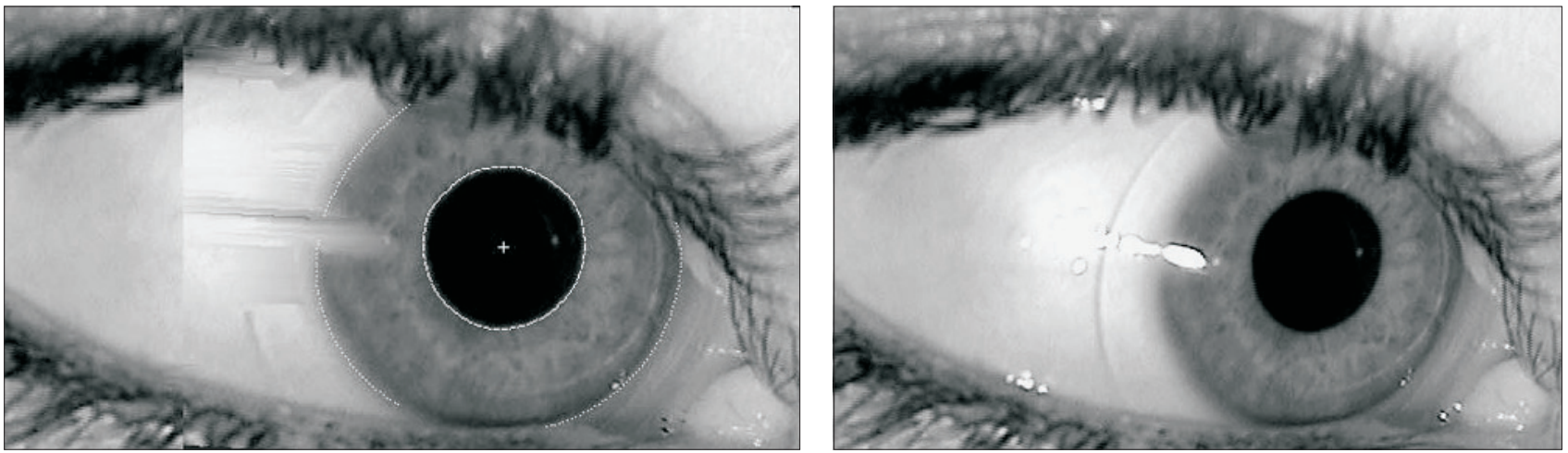
Korekcja kąta spojrzenia

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

Korekcja kąta spojrzenia

Wykorzystanie rozwinięcia Fouriera (przykład)



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

Wykład 4: Biometria tęczówki

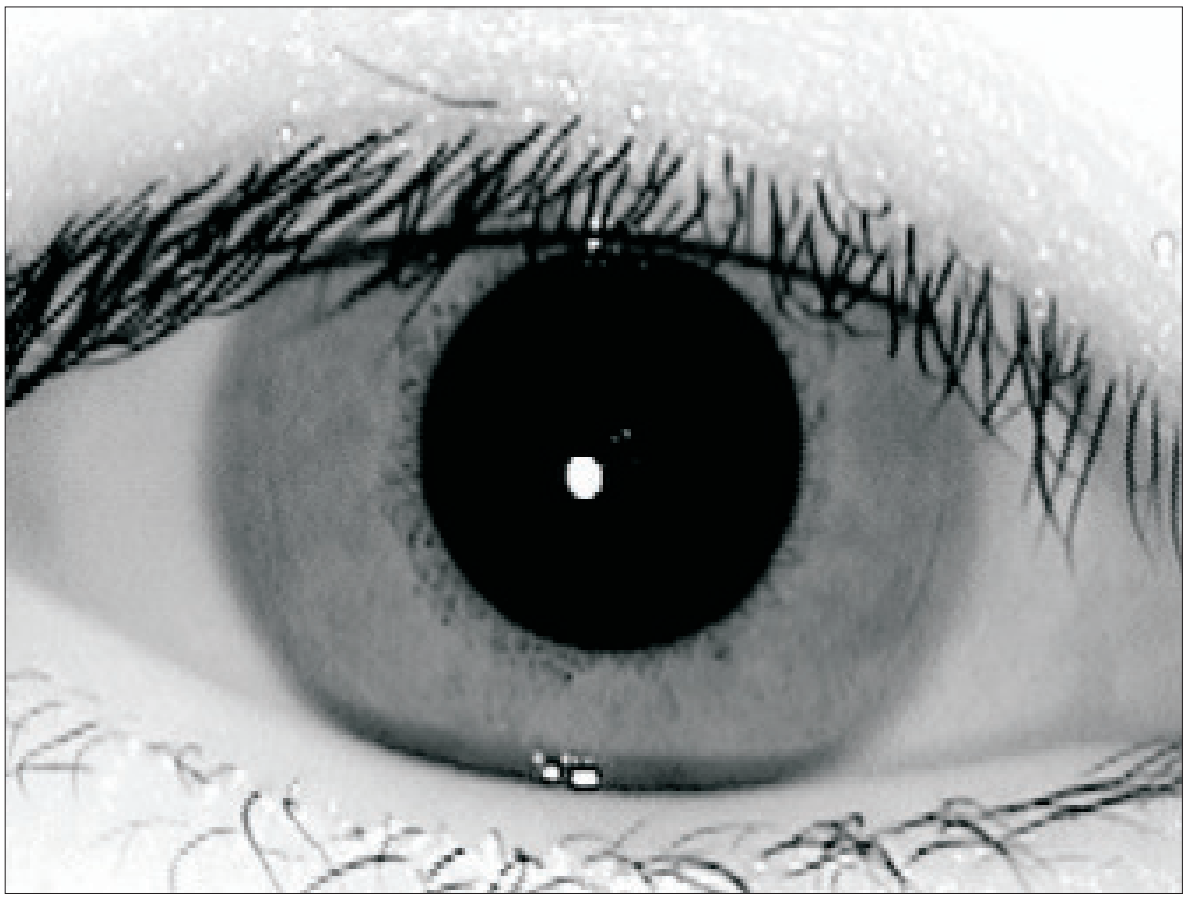
Geneza i budowa tęczówki
Krótka historia
Pozyskiwanie obrazu tęczówki
Segmentacja obrazu tęczówki
Reprezentacja obrazu tęczówki
Kodowanie tęczówki
Porównywanie kodów tęczówki

Formaty ISO/IEC 19794-6

Surowy obraz (UNCROPPED lub VGA)

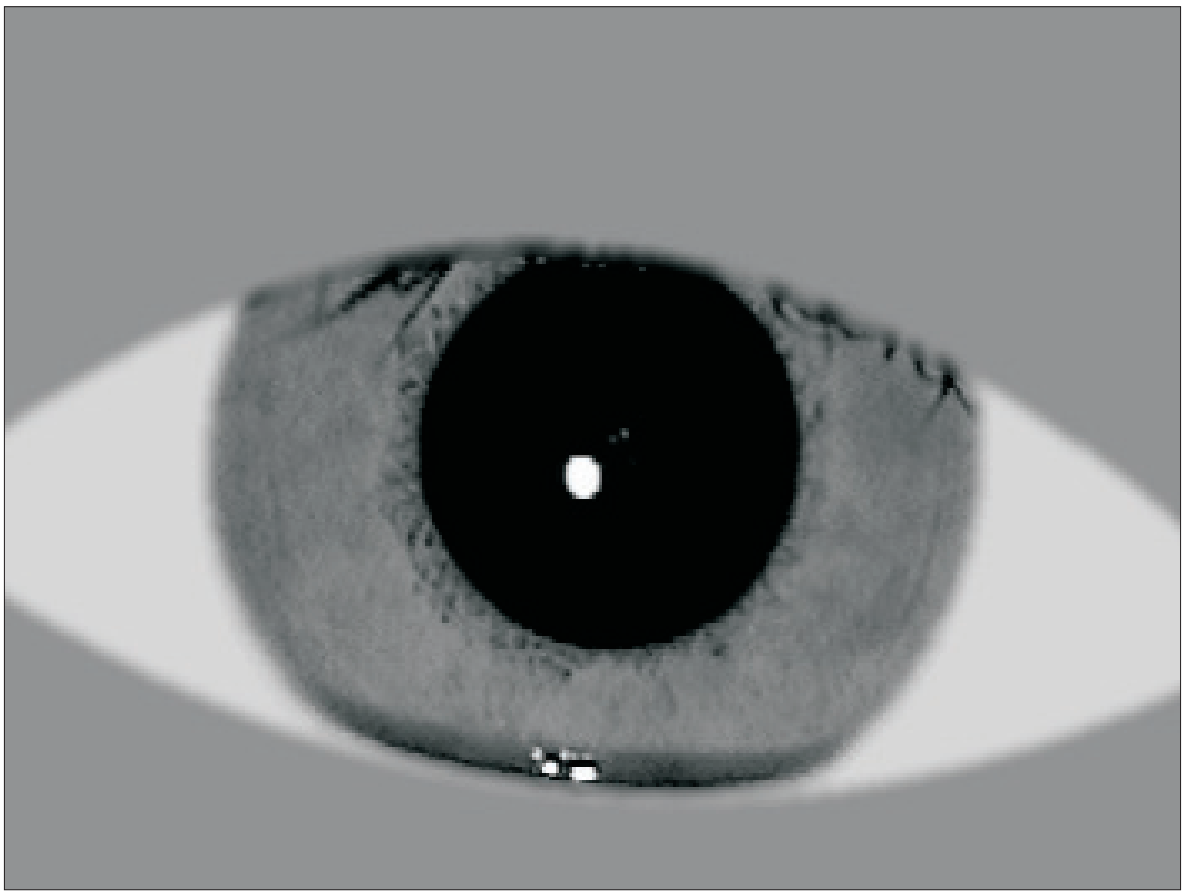
Formaty ISO/IEC 19794-6

Obraz kadrowany (CROPPED)



Formaty ISO/IEC 19794-6

Obraz kadrowany i maskowany (CROPPED AND MASKED)



Reprezentacja w układzie biegunowym

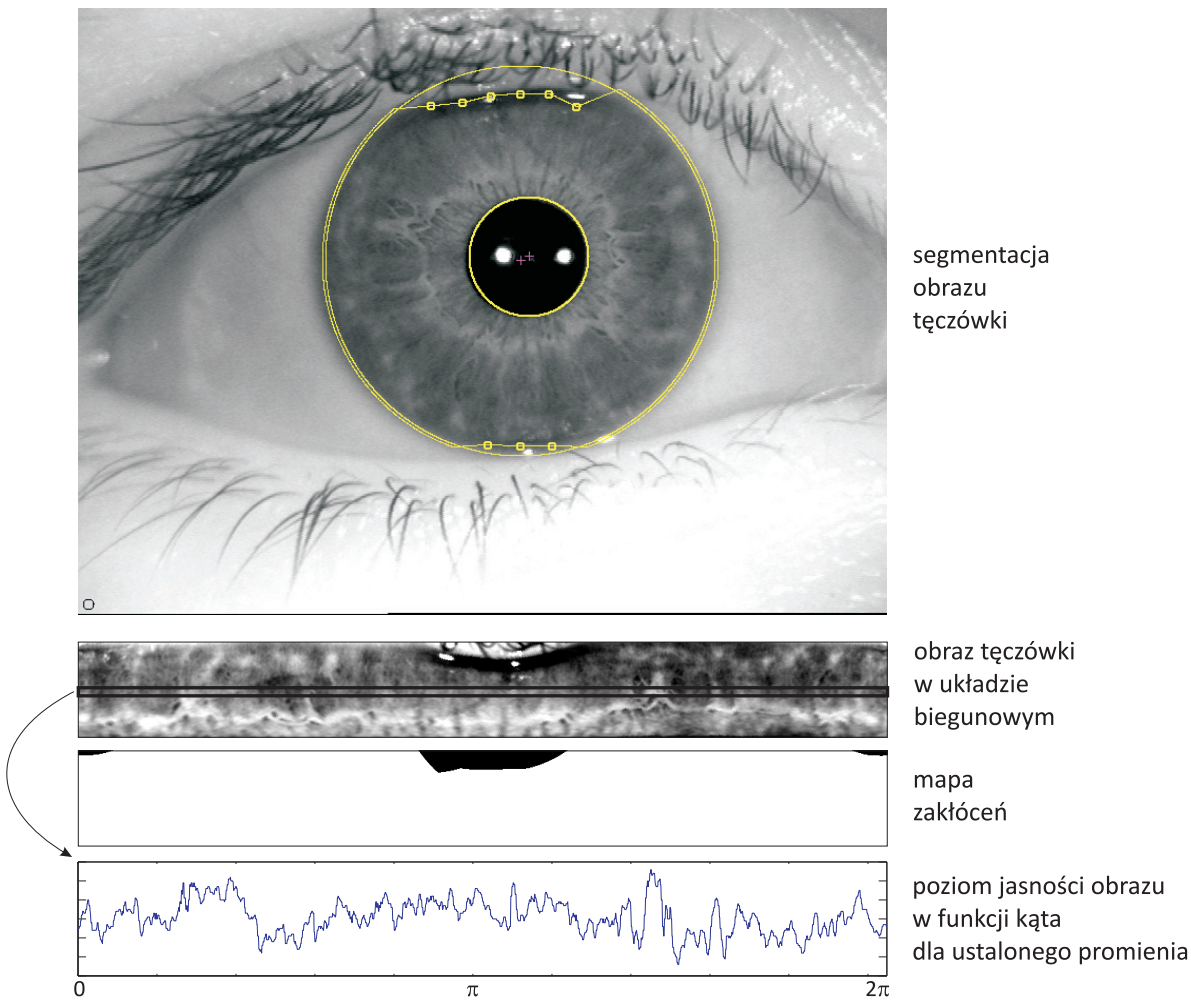
(niezależność od skali i położenia tęczówki)

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

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 w układzie biegunowym

(niezależność od skali i położenia tęczówki)



Wykład 4: Biometria tęczówki

Geneza i budowa tęczówki
Krótka historia
Pozyskiwanie obrazu tęczówki
Segmentacja obrazu tęczówki
Reprezentacja obrazu tęczówki
Kodowanie tęczówki
Porównywanie kodów tęczówki

Cechy tęczówki

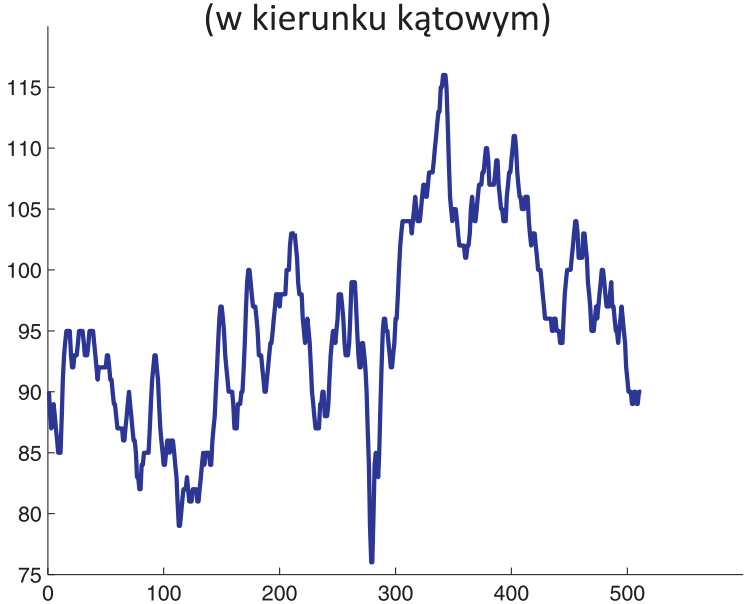
Popularny schemat: budowanie "kodu tęczówki"

1. Filtracja obrazu: jądra wielorozdzielcze, czyli uwypuklające własności tęczówki w różnych zakresach częstotliwości przestrzennych
   - popularne jądra: Gabor 1D/2D, LoG, DoG, Haar
   - podejście alternatywne: wykorzystanie współczynników transformaty, czyli brak powrotu do dziedziny obrazu
   - pomimo bogactwa cech w różnych zakresach częstotliwościowych, praktyką jest wykorzystywanie niskich częstotliwości w rozpoznawaniu tęczówki (kompromis między zawartością informacyjną a odpornością na zakłócenia)
2. Kwantyzacja wyniku filtracji: najczęściej kodowanie jedynie znaku każdej z liczb na wyjściu filtracji $\rightarrow$ kod tęczówki

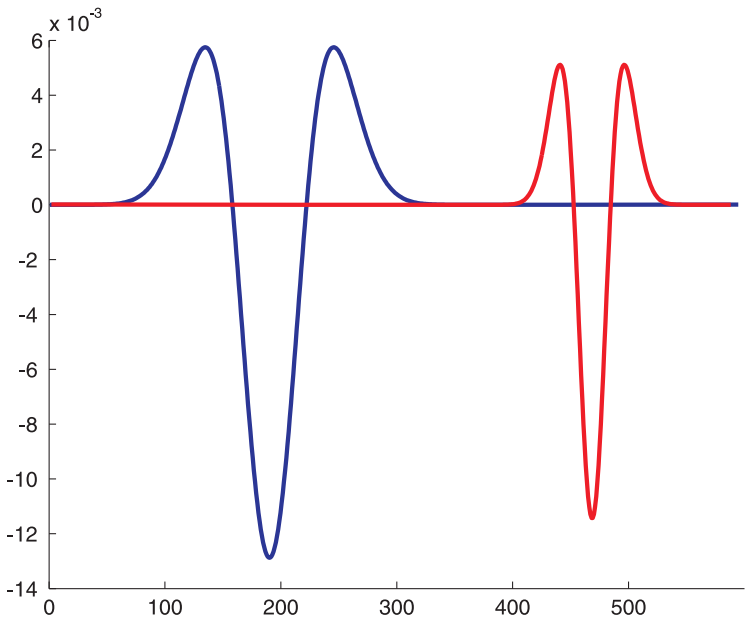
Metoda "przejć przez zero" [W.W. Boles, 1997]

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)



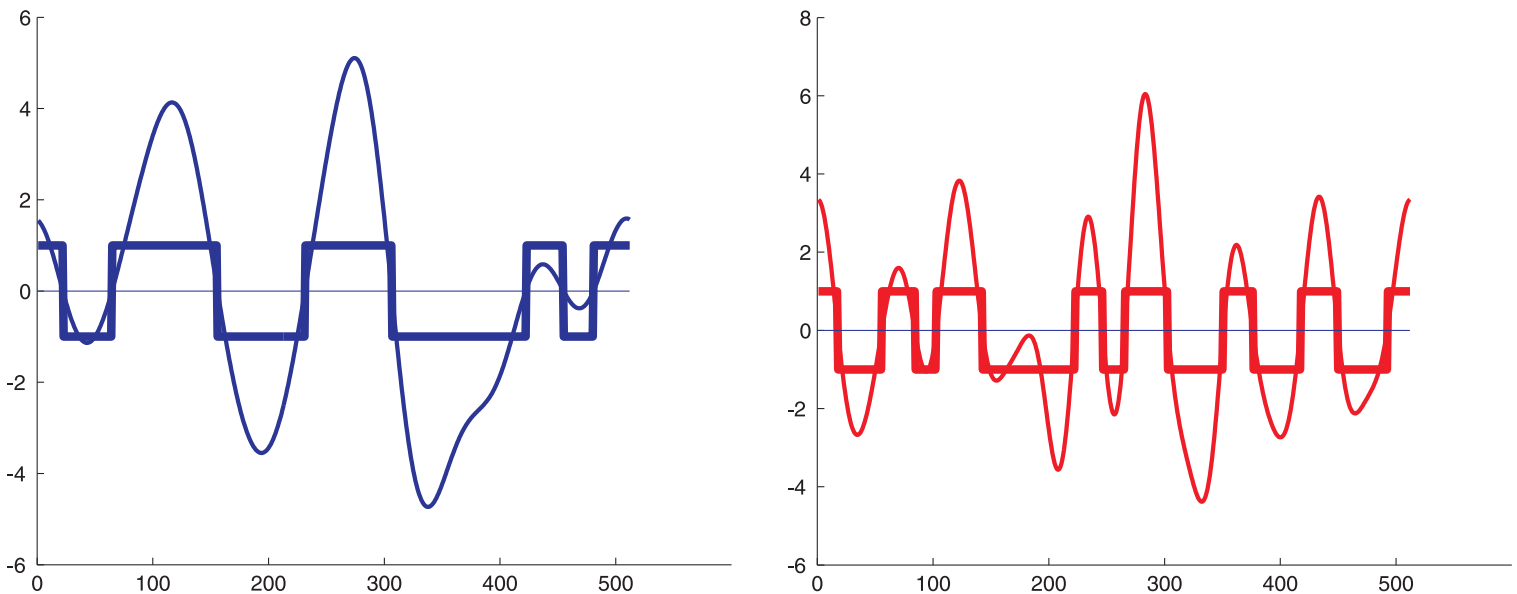
Przykładowe jądra filtru LoG



Metoda "przejć przez zero" [W.W. Boles, 1997]

2. Reprezentacja w postaci kodu binarnego "przejć 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 przejść przez zero (*zero-crossing*)



Kodowanie Daugmana [Daugman, 1993]

1. Wykorzystanie filtru Gabora

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

gdzie

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

oraz

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

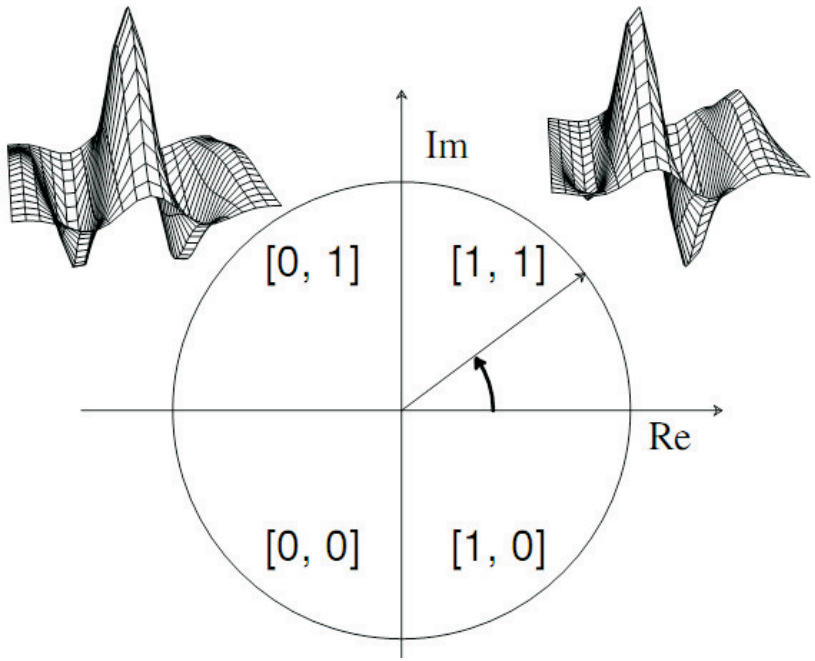
natomiast α i β (zakłada się $\beta = 1/\omega$) ustalają rozmycie obrazu I w kierunku, odpowiednio, radialnym i kątowym

Kodowanie Daugmana [J. Daugman, 1993]

2. Kodowanie fazy sygnału

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

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



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*$^{\mathrm{TM}}$: 4096 bitów (2048 bitów kodu tęczówki + 2048 bitów maski)

Pakiety falkowe*

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

1. Dyskretne rozwinięcie Gabora dla obrazu we współrzędnych biegunowych

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

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 przesunięæ 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

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

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

Wykład 4: Biometria tęczówki

Geneza i budowa tęczówki
Krótka historia
Pozyskiwanie obrazu tęczówki
Segmentacja obrazu tęczówki
Reprezentacja obrazu tęczówki
Kodowanie tęczówki
Porównywanie kodów tęczówki

Porównywanie binarnych kodów tęczówki

1. Wyznaczenie ułamkowej odległości Hamminga

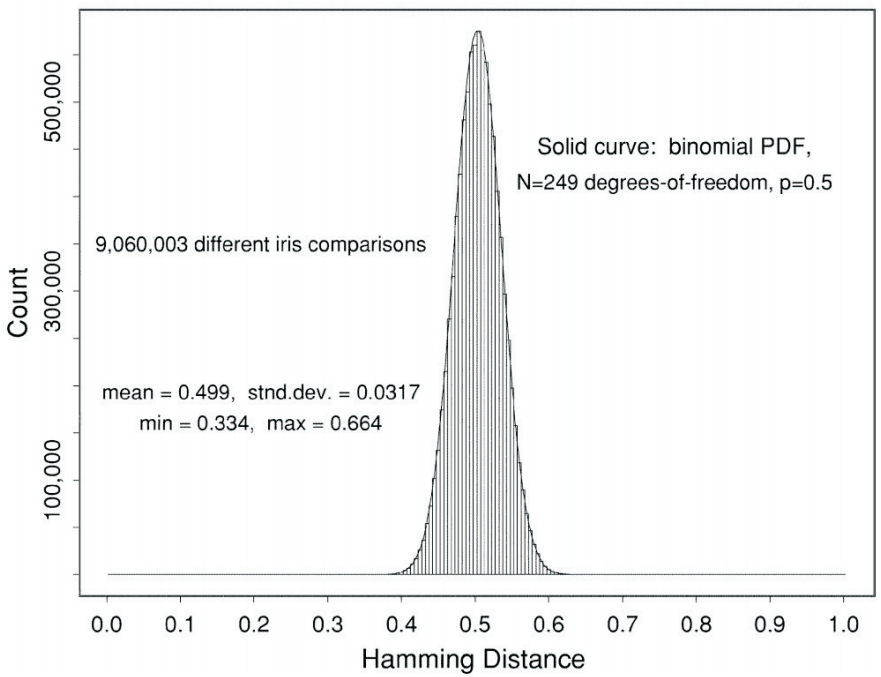
$$\mathrm{HD} = \frac{||(C_1 \otimes C_2) \cap M_1 \cap M_2||}{||M_1 \cap M_2||}$$

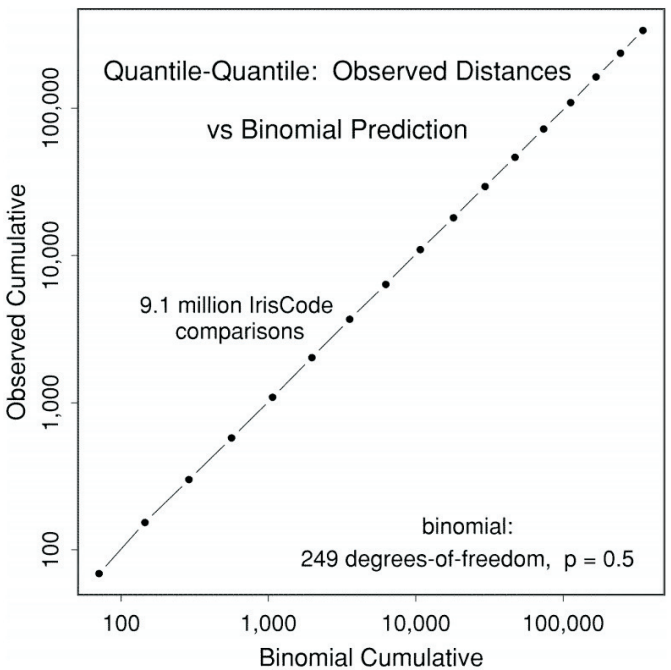
gdzie C – kod tęczówki, M – maska wskazująca istotne i nieistotne elementy kodu (odpowiednio '1' i '0'), $\otimes$ – suma logiczna modulo 2, $\cap$ – iloczyn logiczny

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

Aproksymacja gęstości rozkładu porównań między-klasowych gęstością rozkładu dwumianowego

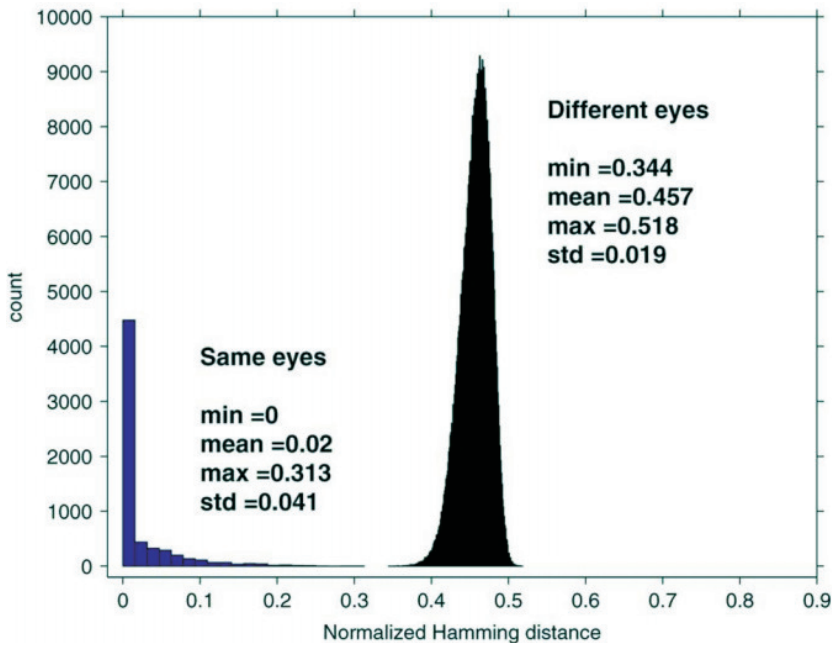


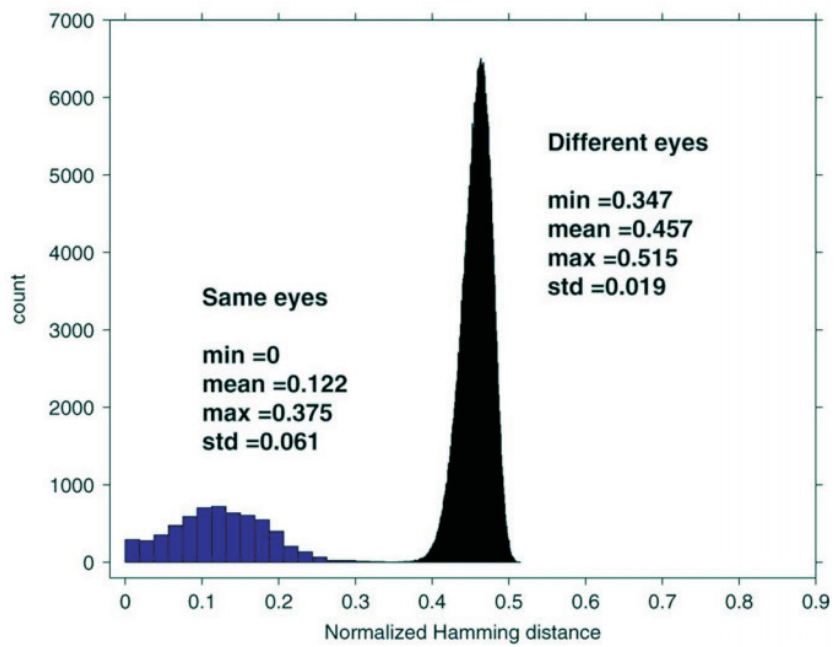


źródło: John Daugman, How Iris Recognition Works, IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Tech. Vol. 14, No. 1, Jan. 2004

Statystyczne własności kodu Daugmana

Interoperacyjność kamer a rozkłady porównań wewnątrz-klasowych

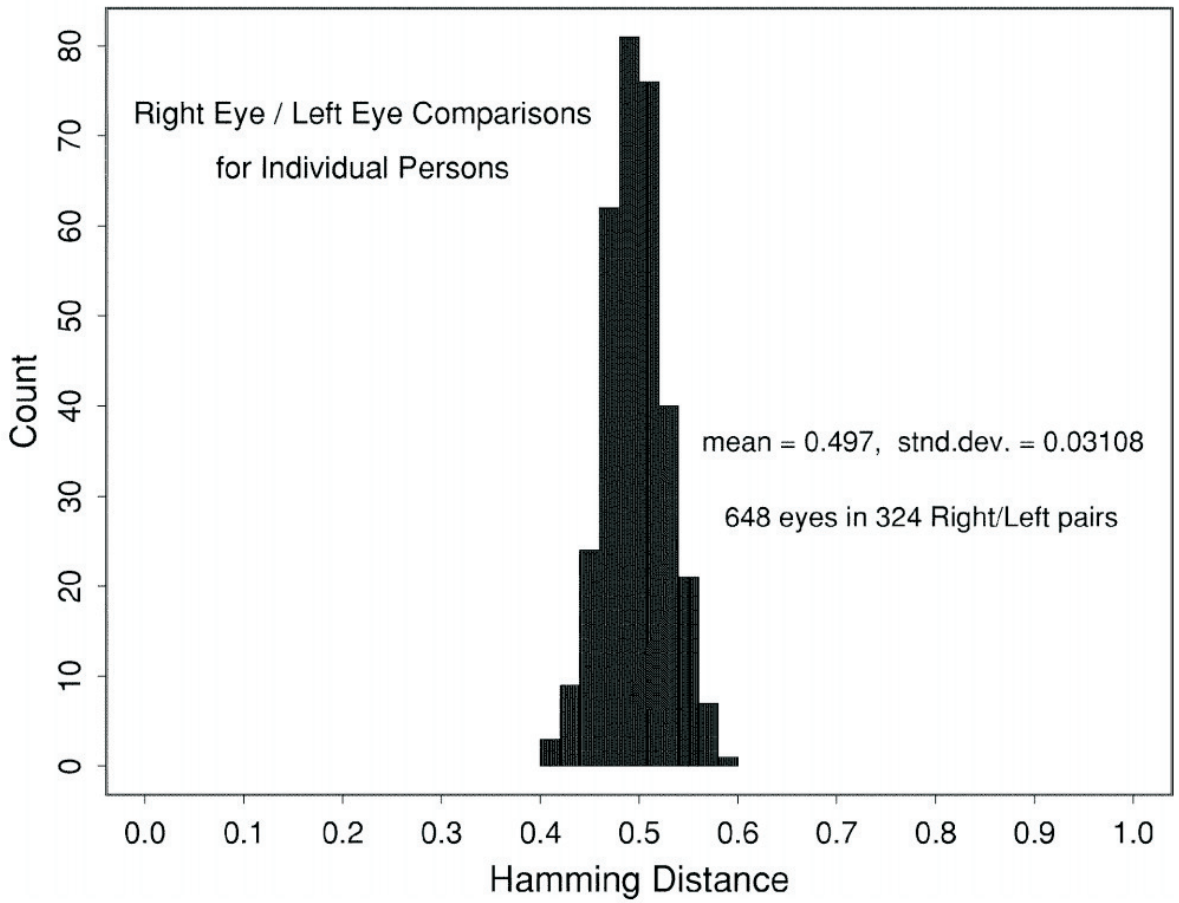




źródło: F. Hao *et al.*, A Fast Search Algorithm for a Large Fuzzy Database IEEE Trans. on Inf. Forensics and Security, Vol. 3, No. 2, 2008

Statystyczne własności kodu Daugmana

Tęczówki bliźniąt jednojajowych są różne



źródło: John Daugman, How Iris Recognition Works, IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Tech. Vol. 14, No. 1, Jan. 2004

Statystyczne własności kodu Daugmana

Aproksymacja gęstości rozkładu porównań między-klasowych gęstością rozkładu dwumianowego

1. Dla N niezależnych prób Bernouliego mamy:

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

gdzie: p to prawdopodobieństwo "sukcesu", σ^2 to wariancja, natomiast N reprezentuje liczbę stopni swobody

Statystyczne własności kodu Daugmana

Aproksymacja gęstości rozkładu porównań między-klasowych gęstością rozkładu dwumianowego

2. Wybierzmy przykładowe wartości z próby $\widehat{p}$ oraz $\widehat{\sigma}$:

$$\widehat{p} = 1 - \widehat{q} = 1 - 0.499 = 0.501$$

$$\widehat{\sigma} = 0.0317$$

Otrzymujemy:

$$\widehat{N} = \widehat{p}(1-\widehat{p})/\widehat{\sigma}^2 \approx 249 \neq N = 2048$$

gdzie 2048 to długość kodu Daugmana (liczba bitów w kodzie)

Co to oznacza?

Statystyczne własności kodu Daugmana

Aproksymacja gęstości rozkładu porównań między-klasowych gęstością rozkładu dwumianowego

3. Typowe błędy w interpretacji

- $\widehat{N}$ błędnie interpretowane jako liczba "unikalnych cech tęczówki" lub "unikalnych punktów tęczówki", itp.
- $\widehat{N}$ podzielone przez średnią powierzchnię tęczówki pozwala oszacować entropię kodu (dla metody Daugmana i danych, których rozkład naszkicowano na slajdzie nr 76 – około 3.2 b/mm^2); jest to właściwość metody Daugmana, nie tęczówki

Miliard osób ma już swój kod tęczówki ...

'As of August 2014, almost a billion persons worldwide have had their iris patterns mathematically encoded using the Daugman algorithms for enrollment in national ID or entitlements programmes. This number is projected to reach 1.3 billion persons when current national projects have been completed at the end of 2015.'

źródło: `http://www.cl.cam.ac.uk/~jgd1000`

Przykładowe pytanie egzaminacyjne

Załóżmy, że liczbę zgodnych bitów w wyniku porównań dwóch kodów Daugmana traktujemy jako sumę N niezależnych zmiennych losowych o rozkładzie dwupunktowym przyjmujących wartości 0 lub 1. Suma taka ma rozkład dwumianowy $\mathcal{B}_{N,p}$. Wiadomo, że dla rozkładu dwumianowego $\mathcal{B}_{N,p}$ wartość oczekiwana $m = Np$ a wariancja $\sigma^2 = Np(1-p)$. Parametry te można oszacować na podstawie wielokrotnych porównań kodów Daugmana otrzymując $\hat{m}$ i $\hat{\sigma}^2$. Czy oszacowanie takie może prowadzić do sprzeczności? Uzasadnij odpowiedź.