

Biometria - Tęczówka

Olga Borgula, Tomasz Danel

Uniwersytet Jagielloński

27.04.2017

Tęczówka oka

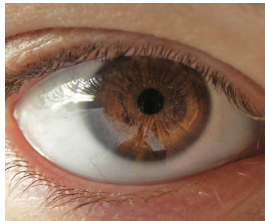


Figure 1: Tęczówka oka.

Nieprzezroczysta część błony naczyniowej oka, z otworem źrenicy pośrodku. Leży pomiędzy rogówką a soczewką i zbudowana jest warstwowo. Zawiera naczynia krwionośne i ziarna barwnika, oraz dwa układy antagonistycznych względem siebie włókienek mięśniowych, regulujących dostęp światła do środka oka.

Tęcza oka, cd.

- Włókna zwieracza źrenicy ułożone są spirale, rozszerza zaś - promieniście.
- Tęcza oka kształtuje się w ciągu 2 pierwszych lat naszego życia i nie zmienia się aż do śmierci, ulega natomiast zniszczeniu w maksymalnie 5s po zgonie.
- Tęcza zawiera aż 266 punktów charakterystycznych. Jest to parokrotnie więcej niż punktów charakterystycznych odcisku palca.
- Tęcza jest różna nawet u bliźniąt jednojajowych.

Historia rozpoznawania tęczówki

- 1953, F.H. Adler, *Physiology of the Eye* - *"In fact, the markings of the iris are so distinctive that it has been proposed to use photographs as a means of identification, instead of fingerprints."*,
- lata 80, Leonard Flom i Aron Safir - pierwszy opatentowany koncept,
- 1991, John Daugman, PhD - pierwszy algorytm.

Algorytm Daugmana

- Pierwszy algorytm rozpoznawania tęczówki, stosowany do dziś,
- Tworzy cyfrową reprezentację tęczówki na podstawie zdjęcia,
- Przeszukiwanie bazy w celu odnalezienia wzorca metodą exhaustive search,
- Opiera się na niezależności statystycznej we wzorze tęczówki,
- Pozwala na identyfikację z dużej odległości.

Identyfikacji tęczówki na świecie

- 1999 - LG IrisAccess 2200 - pierwszy komercyjny system identyfikacji tęczówki (LG IRIS),
- 2003 - Zjednoczone Emiraty Arabskie wprowadzają identyfikację tęczówki jako standard kontroli granicznej dla obcokrajowców - 2,7 miliarda porównań dziennie, 330 000 zidentyfikowanych osób,
- 2011 - Indie wprowadzają obraz tęczówki jako część programu *Unique ID* - 900+ milionów osób, z których każda identyfikacja wymaga porównania z całą bazą, co daje ponad 900 milionów milionów porównań dziennie,
- lotniska na całym świecie, m.in. Londyn, Amsterdam.

Wprowadzenie
Wykorzystanie identyfikacji tęczówki
Pobieranie i przechowywanie danych
Tęczówka jako biometryk
Algorytm Daugmana
Modyfikacje metody
Inne podejścia do problemu

Dostępne systemy
Pobieranie danych
Podczerwień vs Światło widzialne
Obróbka i kompresja danych
Przechowywanie danych
Dostępne bazy danych

Dostępne systemy



Figure 2: System iCAM7 do pomiaru i identyfikacji tęczówki, Iris ID

Dostępne obecnie systemy oferują identyfikację typu 1:1 (potwierdzenie tożsamości), oraz 1:n (rozpoznanie tożsamości).

Pobieranie danych

Do rozpoznania tęczówki potrzebne jest zdjęcie (może pochodzić z kamery/filmu). Najczęściej wykorzystywane są specjalistyczne kamery, pozwalające na właściwe naświetlenie, umożliwiające obserwację struktury tęczówki. Wyróżniamy zdjęcia uzyskane w świetle widocznym (visible wavelength) - VW, oraz w świetle podczerwonym (NIR: 700–900 nm).

Wprowadzenie
Wykorzystanie identyfikacji tęczówki
Pobieranie i przechowywanie danych
Tęczówka jako biometryk
Algorytm Daugmana
Modyfikacje metody
Inne podejścia do problemu

Dostępne systemy
Pobieranie danych
Podczerwień vs Światło widzialne
Obróbka i kompresja danych
Przechowywanie danych
Dostępne bazy danych

Podczerwień vs Światło widzialne

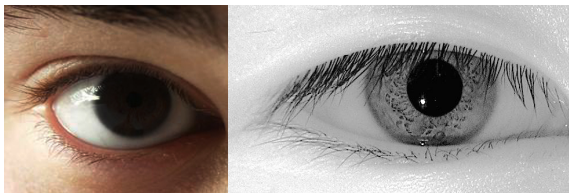


Figure 3: Oko o ciemnej barwie, A:Spektrum światła widzialnego, B: Spektrum podczerwone

Większość systemów bazuje na świetle podczerwonym, które umożliwia obserwację struktury tęczówki również u osób o ciemnym kolorze oczu. Dodatkowo, zmniejsza ono ilość refleksów pojawiających się na tafli oka, które mogłyby zakłócać działanie algorytmu.

Obróbka i kompresja danych

Ze względu na duży rozmiar danych w formie zdjęcia poszukuje się sposobów kompresji w taki sposób, aby zachować jak najwięcej danych istotnych dla identyfikacji, a jednocześnie zminimalizować wielkość pliku, a co za tym idzie pozwolić na wydajne przechowywanie i przesyłanie danych oraz szybkie wczytywanie danych do aplikacji.

Wprowadzenie
Wykorzystanie identyfikacji tęczówki
Pobieranie i przechowywanie danych
Tęczówka jako biometryk
Algorytm Daugmana
Modyfikacje metody
Inne podejścia do problemu

Dostępne systemy
Pobieranie danych
Podczerwień vs Światło widzialne
Obróbka i kompresja danych
Przechowywanie danych
Dostępne bazy danych

Podstawowa obróbka danych

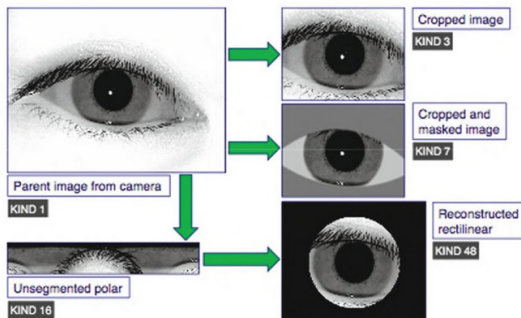


Figure 4: Standardowe formaty danych

Wyłuskiwanie istotnych danych - zbliżenie, maskowanie skóry i rzęs.

JPEG vs JPEG 2000

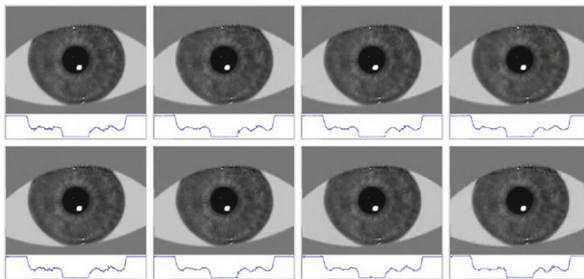


Fig. 3.5 A single-iris record compressed to different file sizes. From *left to right*, the image is uncompressed and compressed to 4, 3, and 2 K. JPEG 2000 is applied to the *top row* images, and JPEG to the *bottom*. Beneath each image is a horizontal scan line of pixel intensities across the center of the image

Standard ISO/IEC 19794-6 proponuje dwa sposoby kompresji danych
JPEG i JPEG 2000.

Przechowywanie danych - porównanie

Kompresja JPEG2000 w przypadku obrazów tęczówki zachowuje więcej informacji niż kompresja JPEG, a więc to ona powinna być wykorzystywana.

Dla uzyskania największej kompresji przy dobrym zachowaniu danych proponuje się korzystanie z formatu KIND7 (zbliżenie + maska) w kompresji JPEG2000, który umożliwia na zmniejszenie pojedynczego zdjęcia źrenicy do 3kb. Jego uzyskanie wymaga jednak dużego nakładu obliczeń oraz może okazać się problematyczne/błędne przy nieprawidłowym rozpoznaniu i maskowaniu skóry i rzęs.

Przechowywanie danych - porównanie, cd.

Jeśli dostępna jest większa przestrzeń do przechowywania danych (ok. 20kb/zdjęcie), zaleca się skorzystanie z formatu KIND3 (zbliżenie, bez maski), które jest szybkie do uzyskania i nie stosuje ryzykownego maskowania.

Format KIND16 ("rozwinięty" obraz tęczówki) jest niezalecany z uwagi na zaciemnianie dużej ilości informacji i prowadzenie do licznych błędów w identyfikacji.

Dostępne bazy danych

- Biometrics Ideal Test - <http://biometrics.idealtest.org/dbDetailForUser.do?id=4>,
- Computer Vision Research Laboratory - <https://sites.google.com/a/nd.edu/public-cvrl/data-sets>
- UBIRIS Noisy Visible Wavelength Iris Image Databases - <http://iris.di.ubi.pt/>

Cechy tęczy jako biometria

- Stabilność - formuje się do 2 roku życia i pozostaje niezmienna aż do śmierci,
- Unikalność - jest praktycznie niemożliwym znalezienie dwóch tęczy, które zostaną zakodowane w taki sam sposób,
- Elastyczność - wprowadzenie systemu identyfikacji tęczy do używanych systemów bezpieczeństwa jest proste i szybkie - wymagana jest jedynie specjalistyczna kamera,
- Wiarygodność - tęcza jest praktycznie niemożliwa do podrobienia/zgubienia/zmodyfikowania,
- Nieinwazyjność - zebranie danych jest natychmiastowe, bez jakiegokolwiek ingerencji w organizm człowieka.

Wykorzystywane promienie podczerwone są całkowicie bezpieczne dla oczu.

Tęcza a inne metody identyfikacji

Tradycyjne sposoby identyfikacji opierają się na przedmiotach posiadanych przez osobę (np. Dowód Osobisty, Paszport), lub danych znanych przez osobę (np. hasło). Przedmioty mogą jednak zostać zgubione, skradzione lub podrobione, a hasła - zapomniane lub wykradzione. Tęcza jest natomiast unikalnym i niezmiennym biometrykiem, który jest powszechny dla każdego, a więc zapewnia maksymalne bezpieczeństwo. Dodatkowo jest nieinwazyjna - nie wymaga ingerencji w organizm, a co za tym idzie nie wzbudza konfliktów moralnych. Niestety systemy są kosztowne w instalacji.

Wprowadzenie
Wykorzystanie identyfikacji tęczówki
Pobieranie i przechowywanie danych
Tęczówka jako biometryk
Algorytm Daugmana
Modyfikacje metody
Inne podejścia do problemu

Cechy tęczówki jako biometryka
Tęczówka a inne metody identyfikacji
Identyfikacja tęczówki a inne biometryki
Zalety identyfikacji tęczówki
Wady identyfikacji tęczówki

Identyfikacja tęczówki a inne biometryki

Identyfikację tęczówki uważa się za najdokładniejszy i najbardziej bezbłędny dostępny biometryk. Jej unikalność i niezmiennosc czyni z niej niezwykle bezpieczny i wiarygodny biometryk. Do jej pomiaru potrzebna jest kamera oświetlająca oko światłem w odpowiednim spektrum podczerwieni, co sprawia, że nie jest to jeszcze powszechny sposób identyfikacji w przedmiotach codziennego użytku (np. komputerach, telefonach, zamkach do drzwi). Jest to jednak metoda tak uniwersalna, że w niedalekiej przyszłości możemy spodziewać się jej rozpowszechnienia w codziennym życiu.

Zalety identyfikacji tęczówki

- Adekwatna do największej części populacji wśród biometryków
- może być stosowana również w stosunku do osób posiadających tylko jedno oko i dużej części niewidomych,
- Niezmienna przez życie człowieka - w porównaniu do twarzy czy odcisków palca, które mogą zmieniać się na przestrzeni kilku lat,
- Jest bardzo dobrze chronioną częścią ciała - sporadycznie dochodzi do uszkodzenia w skutek urazu lub choroby, często nawet uszkodzona tęczówka może być zarejestrowana i identyfikowana,
- Wyjątkowo unikalna i niepowtarzalna,

Zalety identyfikacji tęczęwki, cd.

- Jedyne zmiany w wyglądzie pochodzą z kurczenia/rozkurczania mięśni, a więc zmiany rozmiaru źrenicy, co jest proste do zestandaryzowania przez algorytm - w porównaniu do ruchomej i zmiennej twarzy,
- Nie wymaga kontaktu fizycznego osoby identyfikowanej z urządzeniem - przeprowadzana na odległość, a więc higieniczna,
- Popularny algorytm Daugmana pozwala na prawidłową identyfikację pomimo znacznego zaszumienia danych - do 26% wzorca może się różnić,
- Jedyna technologia biometryczna przygotowana do pracy w algorytmie wyszukiwania wyczerpującego (1:n), a więc można ją z powodzeniem stosować do ogromnych baz danych.

Zalety identyfikacji tęczówki, cd.

- Do pomiaru wystarczy prosta w obsłudze kamera pracująca i oświetlająca w podczerwieni,
- Odpowiednie kodowanie danych o punktach charakterystycznych tęczówki uniemożliwia odtworzenie jej obrazu, co znacznie zwiększa bezpieczeństwo,
- Działa również z użyciem szkieł kontaktowych, okularów oraz okularów przeciwsłonecznych o nieodbijającej tafli.

Wady identyfikacji tęczówki

- Wiele specjalistycznych kamer do odczytu obrazu tęczówki może zostać oszukane przez odpowiednio dokładne zdjęcie tęczówki w miejscu człowieka,
- Specjalistyczne kamery do pobierania obrazu są kosztowne w zakupie - w porównaniu do innych systemów biometrycznych,
- Dokładność skanera może być zmniejszona przez nieodpowiednie światło otoczenia,
- Trudność w identyfikacji osoby, która nie chce zostać zidentyfikowana, oraz z dystansu,
- Młodość technologii sprawia, że wiele krajów poczyniło już ogromne inwestycje w systemy identyfikacji odcisków palców, i wprowadzenie nowych systemów jest kosztowne i problematyczne.

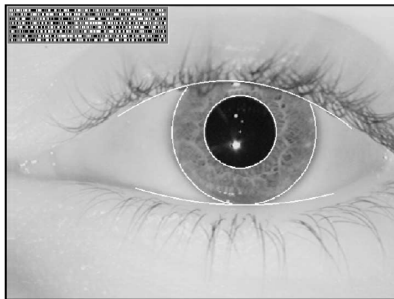
Wady identyfikacji tęczówki, cd.

- Nie wszystkie systemy posiadają odpowiednie zabezpieczenia przed odcodowaniem danych i otrzymaniem wyjściowego obrazu tęczówki, co może prowadzić do podszywania się pod inne osoby, jeśli dane zostaną wykradzione i obraz odzyskany,
- Ludzie obawiają się, że identyfikacja tęczówki, jako że może być stosowana na odległość, może zostać wykorzystywana wbrew ich woli i aktach śledzenia i kontroli,
- Zabieg usunięcia zaćmy często prowadzi do zmiany tęczówki na tyle, że bywa ona nierozpoznawana bądź niepoprawnie odrzucana przez systemy identyfikacji.

Wprowadzenie
Wykorzystanie identyfikacji tęczówki
Pobieranie i przechowywanie danych
Tęczówka jako biometryk
Algorytm Daugmana
Modyfikacje metody
Inne podejścia do problemu

Znajdowanie tęczówki
Demodulacja falkowa
Test statystycznej niezależności
Odporność na skalę, obrót i położenie
Środowisko testu

Znajdowanie tęczówki



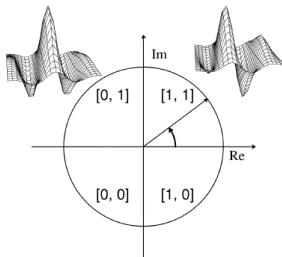
$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right|$$

Wprowadzenie
 Wykorzystanie identyfikacji tęczówki
 Pobieranie i przechowywanie danych
 Tęczówka jako biometryk
Algorytm Daugmana
 Modyfikacje metody
 Inne podejścia do problemu

Znajdowanie tęczówki
Demodulacja falkowa
 Test statystycznej niezależności
 Odporność na skalę, obrót i położenie
 Środowisko testu

Falki Gabora

Phase-Quadrant Demodulation Code



$$h_{\{Re, Im\}} = \text{sgn}_{\{Re, Im\}} \int_{\rho} \int_{\phi} I(\rho, \phi) e^{-i\omega(\theta_0 - \phi)} \cdot e^{-\frac{(r_0 - \rho)^2}{\alpha^2}} \cdot e^{-\frac{(\theta_0 - \phi)^2}{\beta^2}} \rho d\rho d\phi$$

Odległość dwóch kodów

- Kody porównywane są przy pomocy odległości Hamminga:

$$HD = \frac{\|(codeA \otimes codeB) \cap maskA \cap maskB\|}{\|maskA \cap maskB\|}.$$

- Ponieważ bity kodu są równe 0 i 1 z tym samym prawdopodobieństwem, wartość oczekiwana odległości między kodami dwóch różnych tęczy jest równa $\mathbb{E}(HD) = 0.5$.
- Odległości Hamminga mają w przybliżeniu rozkład dwumianowy

$$f(x) = \frac{N!}{m!(N-m)!} p^m (1-p)^{(N-m)}.$$

Empiryczne przykłady testów niezależności

- Dla teoretycznego rozkładu (obliczonego dla danych zebranych przez system w USA, UK, Japonii i Korei) jego dystrybucyjanta dla 0,333 daje prawdopodobieństwo 1 na 16 milionów, a $F(0.3) \approx 10^{-9}$.
- Testy przeprowadzone dla obu oczu jednej osoby oraz dla oczu bliźniaków jednojajowych wskazały niezależność kodów. Stąd możemy twierdzić, że wzory na tęczy są prawie w zupełności epigenetyczne.

Współrzędne polarne

- Tęczówkę możemy opisać przy pomocy współrzędnych polarnych, gdzie $r \in [0, 1]$ oraz $\theta \in [0, 2\pi]$.

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

- Natomiast $x(r, \theta)$ i $y(r, \theta)$ możemy zapisać przy użyciu punktów na granicy źrenicy $(x_p(\theta), y_p(\theta))$ oraz punktów na zewnętrznej granicy tęczówki $(x_s(\theta), y_s(\theta))$, które otrzymaliśmy przy użyciu operatora całkowo-różniczkowego.

$$\begin{aligned}x(r, \theta) &= (1 - r)x_p(\theta) + rx_s(\theta), \\y(r, \theta) &= (1 - r)y_p(\theta) + ry_s(\theta).\end{aligned}$$

Obrót płaszczyzny

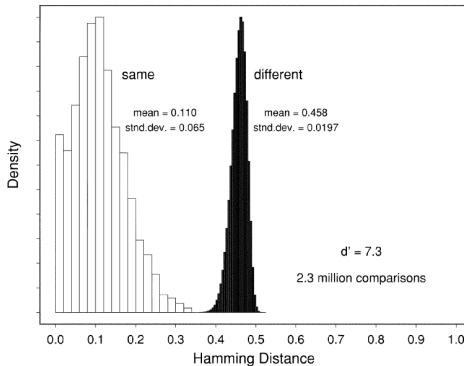
- Zamiast obracać obraz będziemy cyklicznie przesuwać kod tęczówki.
- W konsekwencji średnia odległość między kodami różnych tęczówek przesunie się w stronę zera (ponieważ zwracamy najlepszy wynik po wszystkich obrotach).

Wprowadzenie
Wykorzystanie identyfikacji tęczówki
Pobieranie i przechowywanie danych
Tęczówka jako biometryk
Algorytm Daugmana
Modyfikacje metody
Inne podejścia do problemu

Znajdowanie tęczówki
Demodulacja falkowa
Test statystycznej niezależności
Odporność na skalę, obrót i położenie
Środowisko testu

Środowisko

Decision Environment for Iris Recognition: Non-Ideal Imaging

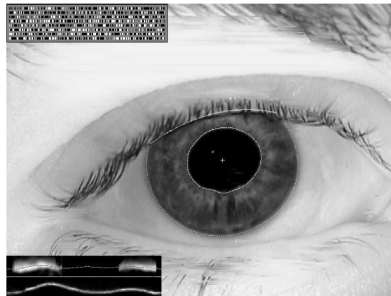
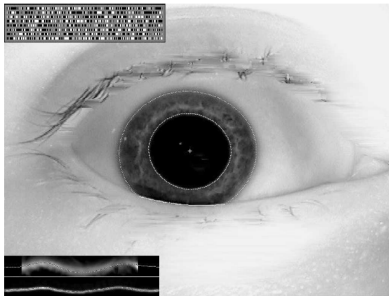


Przyjęcie
progu decyzyjnego nieco
poniżej 0,33 idealnie
rozdziela dwa rozkłady.

Wprowadzenie
Wykorzystanie identyfikacji tęczówki
Pobieranie i przechowywanie danych
Tęczówka jako biometryk
Algorytm Daugmana
Modyfikacje metody
Inne podejścia do problemu

Aktywny kontur
Trygonometria oparta o Fouriera
Usuwanie rzęs

Zmienny kształt konturu



Liczmy zbiór M dyskretnych współczynników Fouriera $\{C_k\}$ dla $k = 1, \dots, M - 1$:

$$C_k = \sum_{\theta=0}^{N-1} r_{\theta} e^{-2\pi i k \theta / N}$$

Aproksymacja szeregiem Fouriera

Teraz możemy stworzyć ciąg $\{R_\theta\}$ dla $\theta = 0, \dots, N - 1$, używając wyliczonych współczynników:

$$R_\theta = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{M-1} C_k e^{2\pi i k \theta / N}$$

Liczba M kontroluje stopnie swobody modelu kształtu. Dla $M = 1$ granica jest okręgiem. Z eksperymentów wynika, że dla konturu źrenicy najlepsze jest $M = 17$, a dla zewnętrznego konturu tęczówki $M = 5$.

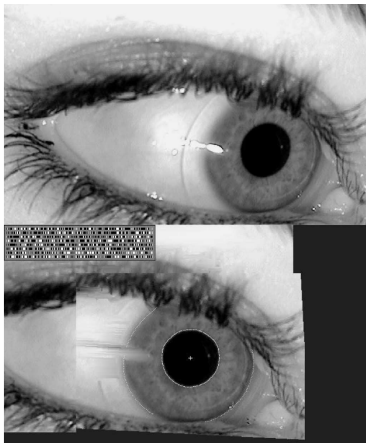
Korygowanie kierunku spojrzenia

- Niektóre przedstawiają oczy odchylone od osi.
- Do korekcji używamy wektorów współrzędnych $X(t)$, $Y(t)$ dla $t \in [0, 2\pi]$ opisujących brzeg źrenicy.
- Szukamy parametrów (θ, γ) przekształcenia afinicznego, które koryguje spojrzenie.
- Błędne założenie, że powierzchnia oka jest płaszczyzną.

Wprowadzenie
Wykorzystanie identyfikacji tęczówki
Pobieranie i przechowywanie danych
Tęczówka jako biometryk
Algorytm Daugmana
Modyfikacje metody
Inne podejścia do problemu

Aktywny kontur
Trygonometria oparta o Fouriera
Usuwanie rzęs

Efekt korekcji



Usuwanie rzęs

- 1 Tworzymy histogram tęczówki,
- 2 Dzielimy histogram na histogram górnej połowy i dolnej połowy tęczówki,
- 3 Obliczamy różnicę tych histogramów,
- 4 Sprawdzamy, czy lewa strona histogramu różnic jest statystycznie separowalna od wyjściowego histogramu (Z-test) i przyjmujemy odpowiedni próg.

Wprowadzenie
Wykorzystanie identyfikacji tęczówki
Pobieranie i przechowywanie danych
Tęczówka jako biometryk
Algorytm Daugmana
Modyfikacje metody
Inne podejścia do problemu

Zdjęcia w świetle widzialnym
Rozpoznawanie twarzy
Kodowanie szeregiem Taylora
Inne metody segmentacji

Światło widzialne

- Oko nie jest nauczone reagować na promienie podczerwone, które w nieodpowiednich dawkach może uszkodzić oko.
- Powstała baza UBRIS.v2 zdjęć w świetle widzialnym zrobionych z odległości i w ruchu.
- Do oceny tekstury obrazów użyto entropii obrazu, która wykazała, że jakość spada ze wzrostem odległości i poziomem pigmentacji tęczówki.

Wprowadzenie
Wykorzystanie identyfikacji tęczówki
Pobieranie i przechowywanie danych
Tęczówka jako biometriki
Algorytm Daugmana
Modyfikacje metody
Inne podejścia do problemu

Zdjęcia w świetle widzialnym
Rozpoznawanie twarzy
Kodowanie szeregiem Taylora
Inne metody segmentacji

Twarz + tęczówka

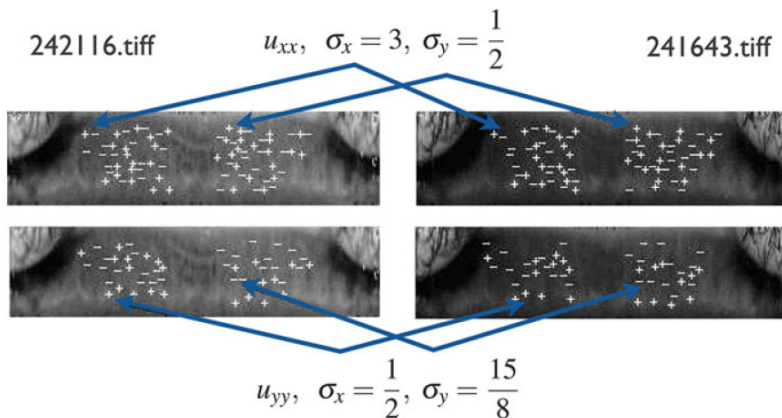
- Połączenie dwóch biometryków, czyli tzw. multi-biometryk.
- Algorytm jest wielopróbkowy, multimodalny i wieloinstancyjny.



Wprowadzenie
Wykorzystanie identyfikacji tęczówki
Pobieranie i przechowywanie danych
Tęczówka jako biometryk
Algorytm Daugmana
Modyfikacje metody
Inne podejścia do problemu

Zdjęcia w świetle widzialnym
Rozpoznawanie twarzy
Kodowanie szeregiem Taylora
Inne metody segmentacji

Taylor



Wprowadzenie
Wykorzystanie identyfikacji tęczówki
Pobieranie i przechowywanie danych
Tęczówka jako biometryk
Algorytm Daugmana
Modyfikacje metody
Inne podejścia do problemu

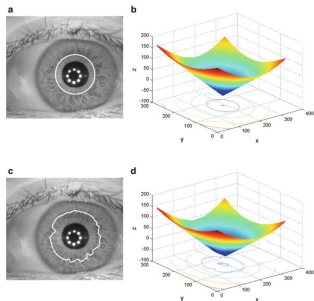
Zdjęcia w świetle widzialnym
Rozpoznawanie twarzy
Kodowanie szeregiem Taylora
Inne metody segmentacji

Segmentacja

- Transformacja Hough:

$$|\nabla G(x, y) * I(x, y)| \geq t$$

- Geodezyjny kontur aktywny:



Wprowadzenie
Wykorzystanie identyfikacji tęczówki
Pobieranie i przechowywanie danych
Tęczówka jako biometryk
Algorytm Daugmana
Modyfikacje metody
Inne podejścia do problemu

Zdjęcia w świetle widzialnym
Rozpoznawanie twarzy
Kodowanie szeregiem Taylora
Inne metody segmentacji

Źródła

- Burge, M., Bowyer, K., *Handbook of Iris Recognition*, Springer, 2013, dostęp: <https://books.google.pl/books?hl=pl&lr=&id=VVVHAAAAQBAJ>,
- Daugman, J., *How Iris Recognition Works*, IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY, VOL. 14, NO. 1, 2004, dostęp: <https://www.cl.cam.ac.uk/~jgd1000/csvt.pdf>,
- Daugman, J., *New Methods in Iris Recognition*, 2007,
- Muller, I., *Everything you need to know about iris recognition*, 2016, dostęp: <https://www.veridiumid.com/blog/everything-need-know-iris-recognition/>,
- Iris ID, Inc, informacje na temat technologii ze strony producenta, dostęp: <http://www.irisid.com/>,
- Wikipedia, Iris Recognition, https://en.wikipedia.org/wiki/Iris_recognition,
- Wikipedia, Iris (anatomy), [https://en.wikipedia.org/wiki/Iris_\(anatomy\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Iris_(anatomy)),
- Tęczówka Oka, Biometria.pl, dostęp: <http://biometria.pl/biometria-6.html>.