

## Dobór elementów sprzętowo-programowych w systemie akwizycji obrazu tęczówki do celów identyfikacji osób

**Streszczenie.** Artykuł przedstawia badania dotyczące analizy zagadnień związanych z akwizycją zdjęcia tęczówki oka ludzkiego. Prawidłowy obraz tęczówki jest kluczowym elementem systemu identyfikacji biometrycznej. Pokazano problemy pojawiające się przy wykonywaniu zdjęć z zastosowaniem prostych i stosunkowo niedrogich rozwiązań, dokonujących akwizycji zarówno w świetle dziennym, jak i bardziej popularnym rozwiązaniu, które wykorzystuje podczerwień. Odniesiono się do wymagań określonych w normach europejskich ISO/IEC WD 19794-6 oraz IEC EN 60825-1.

**Abstract.** This paper presents an analysis of issues related to the acquisition of human iris images. Proper acquisition of iris picture is a key element of the biometric identification system. We analyze problems that arise when taking photos using simple and relatively inexpensive solutions, which can be widely used as popular biometric test standard. We have designed and built an experimental iris acquisition system with impulsive infrared lighting. In our experiments we performed acquisitions both in daylight and infrared light. The experiments and the investigations were prepared according to the requirements of the European standards ISO / IEC WD 19794-6 and IEC EN 60825-1. (**Selection of hardware and software elements of iris image acquisition system for people.**)

**Słowa kluczowe:** biometria, rozpoznawanie tęczówki, akwizycja w podczerwieni.

**Keywords:** biometry, iris recognition, image acquisition in infrared.

### Wprowadzenie

Rozpoznawanie osób na podstawie tęczówki jest jedną ze stosunkowo najmłodszych technik identyfikacji biometrycznej. W porównaniu do innych biometrycznych cech fizycznych, zaletą tęczówki jest niezmiennosc jej wyglądu praktycznie przez całe życie danej osoby, a także stosunkowo dobre zabezpieczenie przez wpływem otaczającego środowiska – oko jest zawsze czyste. Pierwsze propozycje wykorzystania obrazu tęczówki zostały zaproponowane już w 1936 roku [1]. Niestety w tamtych czasach możliwości technologiczne nie pozwalały na praktyczne zastosowanie takich propozycji. Pierwszy automatycznie działający system został opracowany i opatentowany przez J. Daugmana w 1994 r. [2, 3]. Aktualnie na rynku dostępnych jest kilka systemów komercyjnych, które umieszczone są m.in. na lotniskach, przejściach granicznych, parkingach strzeżonych, ambasadach, czy w innych obiektach objętych szczególną ochroną.

Komercyjne systemy akwizycji tęczówki wymagają od użytkownika współpracy polegającej na ustawieniu głowy, a tym samym oka, w odpowiedniej odległości od kamery. Sygnalizacja prawidłowego ustawienia odbywa się za pomocą diody informacyjnej lub komunikatu słownego. Przykładowo, system [4] dokonuje akwizycji obrazu z odległości 315–345 mm. Jednym z problemów przy akwizycji jest precyzyjny pomiar odległości tęczówki od obiektywu oraz uzyskanie dużej głębi ostrości [5], choć już niezbyt odległą przyszłością wydają się systemy pozwalające na detekcję tęczówki u osób, które są w ruchu [6].

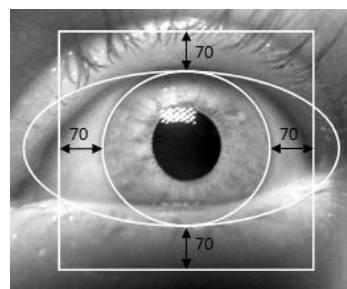
Akwizycji obrazu tęczówki dokonuje się typowo w świetle podczerwonym o długości fali 0.75–1.4  $\mu\text{m}$  – przy takim oświetleniu, nawet przy ciemnej pigmentacji tęczówki otrzymujemy cechy dystyngtywne. Typowo w systemach automatycznej klasyfikacji kolor tęczówki nie jest brany pod uwagę [7].

### Wymagania dotyczące akwizycji obrazu tęczówki oraz bazy danych

Międzynarodowa Organizacja Standaryzująca (ISO) opisała w [8] cyfrowy zapis tęczówki, dwóch formatów danych biometrycznych BDB (ang. biometric data block)

oraz definicję struktury danych. Standard ten określa także sposób akwizycji zdjęcia tęczówki i konwersję do formatu cyfrowego. Pierwszy z formatów bazujący na bezstratnym zapisie zdjęcia (np. RAW, JPEG2000), zajmuje dużo pamięci, ale proces przetwarzania obrazu jest prosty. Drugi format, wykorzystujący transformację biegunową uzyskuje wyniki o wyższym stopniu kompresji, ale równocześnie jest bardziej złożony. Według [8] minimalna średnica tęczówki obrazu niskiej jakości powinna wynosić 100 pikseli oraz powyżej 200 pikseli dla obrazu o wysokiej jakości. Obraz powinien zawierać co najmniej 70 pikseli pomiędzy zewnętrzną krawędzią tęczówki a każdą krawędzią obrazu (rys. 1). W [9] przedstawiono wzorcowe obrazy tęczówki do testów biometrycznych.

Należy zaznaczyć, że standard [8] nie definiuje algorytmów kodowania cech tęczówki. Metody ekstrakcji oraz porównania cech charakterystycznych tęczówki leżą w gestii firm produkujących systemy biometryczne.



Rys. 1. Specyfikacja obrazu tęczówki

Jak wspomniano wcześniej, lepszą widoczność tekstury tęczówki uzyskują zdjęcia oka wykonane w podczerwieni. Do najbardziej popularnych baz zdjęć tęczówek należą CASIA oraz IrisBath, obie wykonane przy oświetleniu w bliskiej podczerwieni.

CASIA [10], jest dostępna w czterech wersjach. Baza ta zawiera ponad 54,6 tysiąca obrazów tęczówek pochodzących od ponad 1800 osób. Przykładowo, obrazy z bazy CASIA-Iris-Interwał zostały wykonane specjalistyczną kamerą wyposażoną w oświetlacz

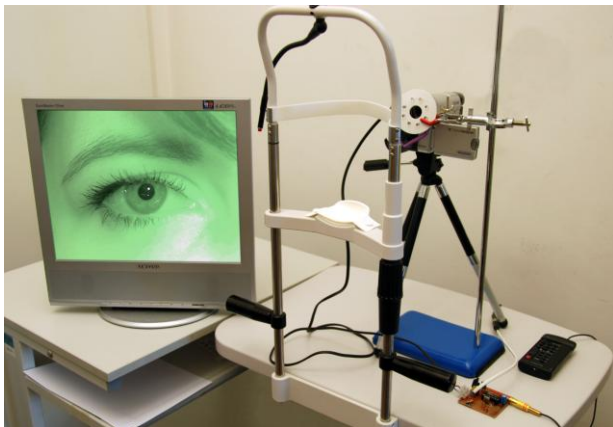
w kształcie koła z bardzo jasnych diod NIR (ang. Near InfraRed). Zdjęcia oka są wykonywane z rozdzielczością 320x280 w bardzo bliskiej odległości od oka w warunkach wewnętrznych. W bazie CASIA-Iris-Distance akwizycja obu oczu i wzorca twarzy odbywa się z odległości 3 metrów za pomocą kamery o wysokiej rozdzielczości (2352x1728).

Kolejną bazą zawierającą zdjęcia oczu w podczerwieni jest IrisBath [11]. Baza danych zawiera po 20 zdjęć zarówno lewego jak i prawego oka dla 800 osób. Obrazy te wykonano kamerą o wysokiej rozdzielczości (1280x960) i zapisano w standardzie JPEG2000. Bezpośrednio pod kamerą znajdowała się macierz diod LED umieszczonych pod kątem tak, by wyeliminować refleksy znajdujące się na tęczówce i skierować je na źrenicę oraz zmniejszyć jej rozmiar (by informacja o tęczówce była jak największa). Dodatkową funkcją oświetlacza umieszczonego od dołu jest uniknięcie cienia rzęs na tęczówce oka. W systemie akwizycji wykorzystano filtr podczerwieni. Zastosowano dwie nakładki powiększające, żeby powierzchnia oka zajmowała całą powierzchnię zdjęcia.

Należy pamiętać, że istotnym aspektem przy akwizycji obrazu tęczówki jest energia promieniowania oświetlacza, która, w skrajnym przypadku, może być szkodliwa. Odpowiednie wartości ekspozycji w stosunku do promieniowania optycznego można określić w oparciu o [12].

### System akwizycji obrazów

Na rys. 2 przedstawiono system akwizycji obrazów tęczówki z zastosowaniem stolika okulistycznego. Poprzez dwupunktowe oparcie głowy (broda, czoło) wpływa on w znaczący sposób na stabilność głowy, a jednocześnie na jakość (a w szczególności ostrość) pozyskiwanych zdjęć.



Rys. 2. Układ akwizycji tęczówki z zastosowaniem stolika okulistycznego

Precyzyjne ustawianie parametrów akwizycji (głównie ostrość i ekspozycja) wspomaga duży monitor prezentujący obraz w czasie rzeczywistym. W zrealizowanym systemie oko jest oświetlane przez zestaw diod w bliskiej podczerwieni (940 nm) ułożonych w formie okręgu, który znajduje się bardzo blisko obiektywu kamery i nie zasłania jego pola widzenia. Oświetlacz może pracować w dwóch trybach: ciągłym i impulsowym. Podczas pracy impulsowej błysk diod oświetlacza jest zsynchronizowany z migawką kamery (tryb pojedynczych zdjęć) za pomocą mikroprocesorowego interfejsu sterującego. Dodatkowo, w trybie tym, jasność diod jest około 10x większa niż w trybie ciągłym.

Tabela 1. Parametry kamer wykorzystanych w eksperymentach

Kamera	Standard	Przetwornik obrazu	Właściwości w zakresie podczerwieni (IR)
Sony DCR-TRV33E	MiniDV	1 Mpix	przełączany filtr i oświetlacz podczerwieni, duża czułość
Sony HDR-XR200 VE	HD	2,3 Mpix	przełączany filtr i oświetlacz podczerwieni, duża czułość
Panasonic NV-GS500	MiniDV	3xCCD, 3x1 Mpix	wbudowany filtr podczerwieni
Modecom Venus Web Cam	USB	1,9 Mpix	wbudowany oświetlacz LED, niewrażliwa w IR

Tabela 2. Przykłady obrazów tęczówek wykonanych przy pomocy badanych kamer w różnych warunkach

	Poprawne	Niepoprawne
<b>Sony DCR-TRV33E</b>		 Prześwietlenie zdjęcia (podczerwień, mono)
<b>Sony HDR-XR200 VE</b>		 Duża ilość szumów oraz refleksy na tęczówce (podczerwień, mono)
<b>Panasonic NV-GS500</b>		 Zbyt słabe warunki oświetlenia, brak ostrości, refleksy na tęczówce
<b>Modecom Venus Web Cam</b>		 Zbyt słabe warunki oświetlenia, duży cień górnych rzęs

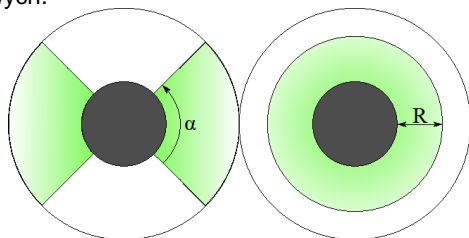
Przetestowano 4 kamery cyfrowe. Zestawienie ich najważniejszych parametrów prezentuje Tabela 1. W celu zobrazowania problemów podczas akwizycji obrazów tęczówki zarejestrowano bazę zdjęć wykonanych w różnych warunkach oświetleniowych i za pomocą różnych kamer. Przykładowe obrazy pokazano w Tabeli 2.

Wśród przedstawionych przykładowo zdjęć w Tabeli 2 najwyższą jakość mają zdjęcia w lewej kolumnie w wierszach drugim i trzecim. Najgorszą zaś ma zdjęcie w prawym dolnym narożniku. Aktualnie trwają badania nad określeniem parametrów jakości zdjęć, które zapewniają prawidłową segmentację.

## Algorytmy segmentacji i kodowania cech

Poprawność funkcjonowania procesu akwizycji można stwierdzić na etapie programowej segmentacji, a następnie kodowania cech tęczówki [8]. Algorytmy segmentacji tęczówki polegają na zlokalizowaniu na zdjęciu obszaru tęczówki oraz źrenicy i określeniu ich parametrów, tj. pozycji i promienia. W badaniach wykorzystano metodę zaproponowaną w [13]. Wyszukuje ona okręgi tworząc mapę krawędzi oraz dopowując jej do poszukiwanego wzorca. Proces znajdowania okręgu będącego zewnętrzną krawędzią tęczówki wykonywany jest za pomocą transformaty Hougha [14]. Następnym krokiem jest normalizacja (przekształcenie obrazu kołowego do współrzędnych biegunowych) oraz kodowanie cech charakterystycznych. Dużą rolę odgrywają tu parametry opisujące zakres obszaru badanej tęczówki. Parametry te określają rozdzielczość kątową oraz promieniową tęczówki i zostały zilustrowane na rys. 3.

Przykładowy obraz wynikowy omówionych etapów został zilustrowany na rys. 4, gdzie w środkowej części okna programu zaimplementowanego w środowisku MATLAB znajdują się trzy obrazy [15, 16]. Lewy górny obraz przedstawia zdjęcie oka wykonane w podczerwieni i przekonwertowane do skali odcieni szarości. Zdjęcie prawe przedstawia obraz po segmentacji, a dolne – fragment tęczówki przetransformowany do współrzędnych biegunowych.



Rys.3. Rozdzielczość kątowa (z lewej) oraz promieniowa (z prawej) tęczówki.

Metody ekstrakcji cech, w ogólności, można podzielić na trzy grupy: metody fazowe (np. [3]), metody polegające na analizie tekstury (np. [13]) oraz tzw. metody „zero-crossing” (np. [17]). W końcowym etapie identyfikacji porównywane są cechy danej osoby z danymi w bazie. Obliczana jest wartość określająca różnicę między badanymi schematami cech charakterystycznych dla tęczówki. Stosowanymi jest tu kilka miar odległości, m.in. Hamminga, Euklidesowa lub ważona Euklidesowa, używa się też metod bazujących na korelacji sygnałów.

Ze względu na specyfikę przetwarzania (segmentacji) zdjęć tęczówek w celu wyekstrahowania cech, akwizycja obrazów musi spełniać odpowiednie warunki:

- Brak refleksów lub refleksy tylko w źrenicy. Refleksy otoczenia na powierzchni oka, które można zaobserwować na zdjęciach w tabeli 2 powodują szum oraz utratę użytecznych danych o teksturze tęczówki. Ponieważ jednak nie jesteśmy w stanie całkowicie usunąć odbłasków z oka (zbyt małe oświetlenie utrudnia wykonanie dobrego zdjęcia, tj. zawierającego wystarczające informacje) istotna jest minimalizacja odbłasków lub skupienie ich w obszarze źrenicy. Jeśli refleksy utrudniają dokonanie segmentacji, a skupiają się w obszarze źrenicy, możliwe jest ich usunięcie w dalszym etapie przetwarzania. W [18] zaproponowano metodę usuwania refleksów opartą na badaniu histogramu obrazu. W prezentowanym systemie autorzy rozwinęli tę metodę o badanie histogramu nie tylko całego obrazu, lecz również fragmentu obrazu przedstawiającego obszar tęczówki i źrenicy.



Rys.4. Interfejs użytkownika programu do rozpoznawania tęczówki w środowisku MATLAB [15]

- Oko wycentrowane w obrazie (najlepiej zajmujące jak największą powierzchnię). Im większą powierzchnię zdjęcia zajmuje obraz oka, tym więcej informacji o teksturze można wydobyc (przy stałej rozdzielczości). Przydatnym jest też, aby oko na obrazie zajmowało jego centralną część, dzięki czemu można zoptymalizować algorytm lokalizacji tęczówki, co znacząco skróci czas wykonywania algorytmu.

- Mała lub średnia rozdzielczość obrazu (do około 1Mpix). Pomimo, iż większy obraz powinien dostarczać więcej informacji, zdjęcie o rozdzielczości od 0.3 do 1 Mpix zawiera dostateczną ilość danych o teksturze tęczówki i jest wystarczające do dokonania poprawnej identyfikacji badanego. Złożoność obliczeniowa proponowanego algorytmu segmentacji rośnie z kwadratem rozmiarów liniowych obrazu (segmentacja obejmuje większy obszar), co znacznie wydłuża czas identyfikacji osób. Jest to bardzo istotny parametr w przypadku systemów pracujących w czasie rzeczywistym. Jednym z pomysłów jest ograniczenie obszaru wykorzystywanego do poszukiwań tęczówki. W skonstruowanym przez autorów systemie akwizycji tęczówki znana jest odległość badanego od obiektywu. Dodatkowo znana jest średnica oka, która wynosi w przybliżeniu 24 mm, natomiast tęczówka ma ok. 10–12 mm średnicy. Na tej podstawie wiadomo w jakim obszarze obrazu znajduje się tęczówka (jeżeli jest wycentrowana w obrazie). Dzięki temu możemy zawęzić obszar poszukiwań za pomocą wzoru:

$$(1) \quad Im = Image(dOy : (Y - dOy); dOx : (X - dOx))$$

gdzie  $Im$  to nowy obszar,  $Image$  to obraz początkowy,  $X$  – szerokość obrazu początkowego,  $Y$  – wysokość obrazu początkowego,  $dOx = \min(R, X/2 - R)$ , a  $dOy = \min(R, Y/2 - R)$ .

Po prawidłowym zlokalizowaniu tęczówki źrenica poszukiwana jest w granicach wyodrębnionego już obszaru tęczówki. Ponieważ średnica źrenicy to ok. 2–8 mm (w zależności od oświetlenia), można na tej podstawie również zawęzić obszar poszukiwań okręgu określającego źrenicę (zostawiając odpowiedni margines błędów dla przypadków gdy badany jest usytuowany pod kątem lub gdy stosunek średnicy źrenicy do średnicy tęczówki jest duży – np. 8–10 mm).

- Dobra ostrość obrazu. W procesie ekstrakcji cech niezbędne jest, aby obraz tęczówki był ostry, gdyż dostarczy on wtedy maksymalną ilość informacji o teksturze tęczówki, a więc i wartości będących własnością indywidualną danego człowieka. Otrzymanie zdjęcia o dobrej ostrości nie jest prostym zadaniem ze względu na mimowolne ruchy gałki ocznej, drgania układu pomiarowego, niewielką głębię ostrości przy ekspozycjach makro, a także ograniczoną precyzję nastaw w aparacie/kamerze.

## Podsumowanie

Opacowane stanowisko jest pierwszym etapem badań umożliwiającym przeprowadzenie szerokiego programu eksperymentów związanych z akwizycją a następnie testowaniem prawidłowości tego procesu. Wykonywanie zdjęć tęczówki bez współpracy osoby badanej jest problemem technicznym wymagającym szukania nowych rozwiązań. Celem autorów jest zbadanie potencjalnych możliwości rozpoznawania tęczówki na podstawie nagrań wykonywanych przez kamery systemu monitoringu.

Aktualnie autorzy pracują nad optymalizacją stanowiska pomiarowego do wykonywania fotografii tęczówek oczu, a zwłaszcza nad właściwym oświetleniem impulsowym w zakresie światła podczerwonego. Trwają również badania eksperymentalne, które mają na celu określenie parametrów jakościowych zdjęć zapewniających prawidłową segmentację tęczówki.

## LITERATURA

- [1] Iris Recognition, *The NISTC Subcommittee on Biometrics and Identity Management*, <http://www.biometrics.gov/Documents/IrisRec.pdf>
- [2] Daugman J., Biometric Personal Identification System Based on Iris Analysis, *U.S. Patent*, No. 5, 1994, 291-560.
- [3] Daugman J., How iris recognition works, *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, 14, 1, 2004, 21–30.
- [4] Park K., A Study on Fast Iris Image Acquisition Method, *Computer Analysis of Images and Patterns (Book Series: Lecture Notes in Computer Science)*, Springer Berlin / Heidelberg, 2005, 33-40.
- [5] IrisStationR 2000, <http://www.smartsensors.co.uk/information/iris-station%C2%AE-2000>.
- [6] Iris on the Move® Product Guide - Iris Recognition at a Distance and on the Move, [http://sarnoff.com/files/IOM\\_Product\\_Family\\_Brochure\\_20110616\\_WEB.pdf](http://sarnoff.com/files/IOM_Product_Family_Brochure_20110616_WEB.pdf)
- [7] Marciniak T., Dąbrowski A., Chmielewska A., Krzykowska A., Selection of parameters in iris recognition system, *Multimedia Tools Applications*, DOI 10.1007/s11042-012-1035-y.
- [8] ISO/IEC 19794-6:2005, Biometric data interchange formats – Part 6: Iris image data
- [9] Biometric Ideal Test website <http://biometrics.idealtest.org/>
- [10] CASIA Iris Image Database: <http://www.cbsr.ia.ac.cn/china/Iris%20Databases%20CH.asp>
- [11] IrisBath: <http://www.smartsensors.co.uk/information/bath-iris-image-database/>
- [12] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2006/25/EC z dnia 05.04.2006r.
- [13] Wildes R., Iris Recognition: an emerging biometric technology, *Proceedings of the IEEE*, vol. 85, no. 9, 1997.
- [14] Żorski W., Metody segmentacji obrazów oparte na transformacie Hougha, *Instytut Automatyki i Robotyki, Wydział Cybernetyki, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2000*.
- [15] Rogowski M., Analiza etapów identyfikacji osób na podstawie tęczówki, praca dyplomowa magisterska, promotor: Marciniak T., *Politechnika Poznańska*, 2012.
- [16] Kamiński T., Implementacja i analiza skuteczności identyfikacji osób na podstawie tęczówki, praca dyplomowa magisterska, promotor: T. Marciniak, *Politechnika Poznańska*, 2007.
- [17] Boles W.W. i Boashash B., A Human Identification Technique Using Images of the Iris and Wavelet Transform, *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 46, no. 4, 1998, 1185-1188.
- [18] Sankowski W., Grabowski K., Zubert M., Napieralska M., Iris Finder – Program for reliable iris localization in images taken under visible light, *XI Conference "Medical Informatics & Technologies*, 2006, 88-95.

---

**Autorzy:** dr inż. Tomasz Marciniak, dr inż. Paweł Pawłowski, mgr inż. Agnieszka Krzykowska, mgr inż. Agata Chmielewska, prof. dr hab. inż. Adam Dąbrowski, *Politechnika Poznańska, Katedra Sterowania i Inżynierii Systemów, Pracownia Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, e-mail: [tomasz.marciniak@put.poznan.pl](mailto:tomasz.marciniak@put.poznan.pl)*