

Weryfikacja użytkownika na podstawie obrazu tęczówki oka

Streszczenie. W artykule przedstawiono autorski algorytm weryfikacji tożsamości na podstawie obrazu tęczówki oka. Algorytm weryfikacji tęczówki składa się z czterech etapów – segmentacji obrazu tęczówki, normalizacji obszaru tęczówki, ekstrakcji cech obszaru tęczówki i klasyfikacji. Etap ekstrakcji cech wyodrębnia informacje na temat histogramu obrazu tęczówki. Algorytm został przetestowany w celu ustalenia współczynników błędnej analizy FAR i FRR. Algorytm zaimplementowano wykorzystując wybrane funkcje przetwarzania obrazu biblioteki OpenCv.

Abstract. The article presents author's identity verification algorithm based on image of the iris. Iris verification algorithm consists of four modules – segmentation of iris image, normalization of the iris region, features extraction of the iris region, features classification. Features extraction of the iris region extracts information about the histogram of the image. The algorithm has been tested to find performance metrics. The algorithm was implemented using selected image processing functions of OpenCv library. **Identity verification algorithm based on image of the iris**

Słowa kluczowe: rozpoznawanie tęczówki, histogram obrazu, przetwarzanie obrazu, biometria.

Keywords: iris recognition, histogram of image, image processing, biometry.

Wstęp

Konieczność zapewnienia społeczeństwu najwyższego poziomu bezpieczeństwa danych, informacji oraz miejsc prowadzi do wzrostu zainteresowania systemami biometrycznymi. Jedną z najbardziej atrakcyjnych cech biometrycznych wykorzystywaną w systemach zabezpieczeń jest obraz tęczówki oka [1].

Tęczówka jest barwnym krążkiem zlokalizowanym w podłużnym przekroju oka między rogówką a soczewką. W centrum tęczówki znajduje się źrenica. Obraz tęczówki stosowany w systemach biometrycznych spełnia wszystkie podstawowe warunki stawiane technologiom biometrycznym – uniwersalność, unikatowość, stabilność oraz mierzalność. Pomijając nieliczną grupę osobników, tęczówkę posiada każdy człowiek. Formowanie struktury tęczówki jest wynikiem indywidualnych i niepowtarzalnych procesów, przez co nawet tęczówki prawego i lewego oka jednej osoby są wzorami niepowiązаныmi ze sobą [2]. Stabilność biometryki tęczówki jest spowodowana tym, że od momentu całkowitego wykształcenia struktury tęczówki nie zmienia się ona do końca życia [1]. Akwizycja obrazu tęczówki jest nieinwazyjna, a sam proces akwizycji jest wygodny i akceptowany przez użytkowników.

Atrakcyjność systemu biometrycznego wykorzystującego obraz tęczówki oka spowodował dynamiczny rozwój tej metody biometrii. Obecnie większość systemów biometrycznych tęczówki bazuje na algorytmie rozpoznawania stworzonym przez Johna Daugmama w 1994 roku. Do realizacji algorytmu weryfikacji tęczówki oka w części wykorzystano założenia algorytmu Daugmana. Zrealizowany algorytm weryfikacji składa się z następujących etapów [3]:

- akwizycja obrazu tęczówki oka,
- segmentacja obrazu tęczówki,
- normalizacja obszaru tęczówki,
- ekstrakcji cech obszaru tęczówki,
- klasyfikacji cech.

Algorytm weryfikacji tęczówki został zaimplementowany w języku C++ przy użyciu wybranych funkcji biblioteki OpenCV w wersji 2.4.6. OpenCV (Open Source Computer Vision Library) jest bezpłatną biblioteką o otwartym kodzie przeznaczoną na użytek cyfrowego przetwarzania obrazów.

Podczas pracy nad projektem algorytmu weryfikacji zrealizowano również autorskie stanowisko akwizycji obrazu tęczówki. Projekt stanowiska akwizycji przewidywał użycie prostych metod oraz rejestrację obrazu tęczówki oka prowadzoną w oświetleniu światłem o zakresie podczerwieni. Obraz tęczówki pozyskiwano za pomocą kamery internetowej dostosowanej do rejestracji obrazu

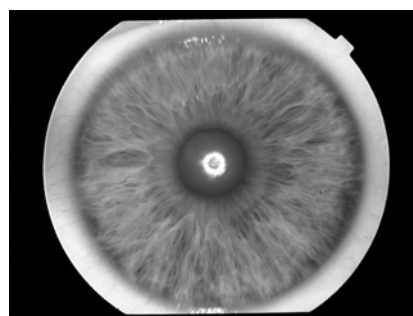
przy oświetleniu w zakresie bliskiej podczerwieni. Zaprojektowany system oświetlenia tęczówki składa się z czterech diod emitujących światło podczerwone o długości fali 940 nm.

Akwizycja obrazu tęczówki

Poprawność przeprowadzenia akwizycji obrazu tęczówki ma kluczowe znaczenie w systemach biometrycznych tęczówki oka. Odpowiednia jakość zarejestrowanego obrazu ma fundamentalne znaczenie na etapie segmentacji tęczówki, zapewnia poprawne wydobycie charakterystyk biometrycznych i właściwe końcowe dopasowanie.

Twórcami bazy zdjęć tęczówek wykorzystywaną w realizacji projektu weryfikacji tęczówki są Michała Dobeša i Libora Machala. Baza zdjęć tęczówek pozyskana została ze strony <http://www.inf.upol.cz/iris/>. Baza zdjęć tęczówek Michała Dobeša i Libora Machala składa się z obrazów tęczówek 64 osób. Zdjęcia tęczówek są barwne, w formacie jpg i rozdzielczości 768 x 576 pikseli. Przykładowy obraz tęczówki bazy danych pobranej z Internetu został przedstawiony na rysunku 1a.

a)



b)



Rys. 1. Przykłady obrazów tęczówek z baz danych

Podczas realizacji projektu stworzono również bazę danych obrazów tęczówek pozyskaną za pomocą autorskiego stanowiska akwizycji. Stworzenie własnej bazy danych wymagało pozyskania obrazu tęczówki od dziesięciu osób. Na rysunku 1b zaprezentowano obraz tęczówki z bazy danych.

Segmentacja obrazu tęczówki

Celem etapu segmentacji jest lokalizacja obszaru tęczówki oka na obrazie. Właściwa segmentacja obrazu ma kluczowe znaczenie w algorytmie rozpoznawania, ponieważ nieprawidłowości na tym etapie mogą wpłynąć na wynik weryfikacji biometrycznej. Etap segmentacji bazuje na założeniach algorytmu Daugmana i podzielony jest na dwa etapy [4]:

- lokalizacja granicy tęczówki oka,
- lokalizacja granicy źrenicy oka.

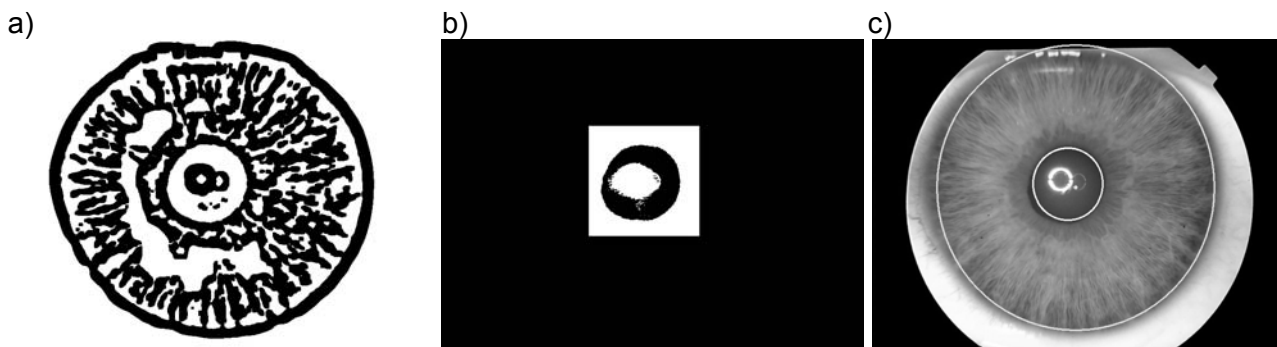
Segmentacja tęczówki wymaga wstępnego przetwarzania obrazu. W tym celu wykorzystano funkcje Image Processing Module biblioteki OpenCV. Rozbudowany etap wstępnego przetwarzania obrazu tęczówki oka jest konieczny, gdyż każda niedokładność podczas procesu lokalizacji tęczówki i źrenicy może niekorzystnie wpłynąć na wynik klasyfikacji. Każda operacja wstępnego przetwarzania obrazu zmniejsza ilość szczegółów obrazu oraz zwiększa intensywność granicy

tęczówki i źrenicy oka. Dobrze widoczna granica tęczówki zwiększa prawdopodobieństwo prawidłowego wyniku lokalizacji granicy tęczówki i źrenicy. Wstępne przetwarzanie obrazów obejmuje m. in. operacje:

- transformacji pomiędzy przestrzeniami barw – RGB do odcieni szarości,
- filtracji - filtr Gaussa
- binaryzacji – progowanie adaptacyjne,
- morfologiczne – erozja i dylacja

Na rysunku 2a i 2b zaprezentowano wynik przetwarzania obrazu tęczówki.

W zaimplementowanym etapie automatycznej segmentacji obrazu kształty tęczówki i źrenicy aproksymowano do okręgu. Do realizacji zadania lokalizacji granic tęczówki oraz źrenicy wykorzystano transformatę Hougha. Transformacja Hougha wykorzystywana jest podczas analizy obrazów w celu wykrycia kształtów, które dają się opisać w sposób analityczny. W bibliotece OpenCv funkcją wykorzystującą transformatę Hougha jest funkcja wykorzystująca transformatę Hougha jest HoughCircles(). Funkcja HoughCircles() spośród wykrytych elementów wybiera te kształty, których kształt najbardziej zbliżony jest do okręgu. Rezultatem zastosowania funkcji lokalizującej okręgi są współrzędne x, y środka okręgu oraz jego promień r . Rysunek 2c przedstawia wynik lokalizacji granicy tęczówki i źrenicy.



Rys. 2. Wynik wstępnego przetwarzania obrazu (a,b) oraz lokalizacji granicy tęczówki i źrenicy (c)

Normalizacja obszaru tęczówki

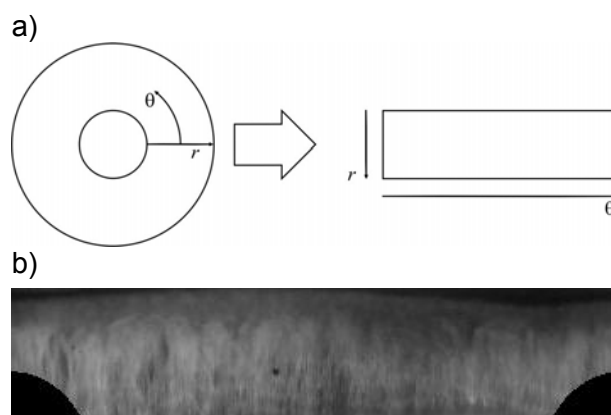
Normalizacja jest drugim etapem procesu rozpoznawania tęczówki algorytmu zaproponowanego przez Johna Daugmana. Etap normalizacji ma za zadanie przekształcenie obszaru tęczówki w taki sposób, aby miał on stałe rozmiary. Uzyskanie stałych rozmiarów jest niezbędne w celu późniejszego procesu porównania. Normalizowany obszar tęczówki zapewnia odporność na rozbieżności w rozmiarach obszaru tęczówki spowodowane rozszerzaniem się źrenicy przy różnych poziomach oświetlenia oraz różnic wynikających z odległości kamery od oka [2][5].

Metoda normalizacji Johna Daugmana nazywana „Daugman’s Rubber Sheet Model” (Rys.3a) jest matematycznym przekształceniem (1) współrzędnych w układzie Kartezjańskim (x,y) do współrzędnych w niekoncentrycznym układzie biegunowym (r,θ) [6].

$$(1) \quad \begin{aligned} x(r, \theta) &= (1-r)x_p(\theta) + rx_i(\theta) \\ y(r, \theta) &= (1-r)y_p(\theta) + ry_i(\theta) \end{aligned}$$

gdzie x_p, y_p, x_i, y_i – współrzędne środka tęczówki i źrenicy w układzie biegunowym, r_p – promień źrenicy, r_i – promień tęczówki.

Wynikiem zastosowania przekształcenia matematycznego na obrazie tęczówki jest obraz o stałych rozmiarach 80x359 (Rys. 3b).



Rys. 3. Daugman’s Rubber Sheet Model (a) oraz znormalizowany obszar tęczówki

Ekstrakcja cech obszaru tęczówki

W celu automatycznego rozpoznawania biometrycznego należy przeprowadzić wyodrębnienie informacji zawartych w strukturze tęczówki. Wyselekcjonowane informacje o strukturze tęczówki tworzą biometryczne charakterystyki [2].

W większości obecnie stosowanych systemów biometrycznych strukturę tęczówki koduje się zgodnie z algorytmem Daugmana. Obszar tęczówki oka zgodnie z

algorytmem Daugmana jest poddawany dekompozycji za pomocą transformaty Gabora. Transformata Gabora znajduje reprezentacje cech w przestrzeni zespolonej. Najbardziej wyróżniające cechy zostają wyodrębnione poprzez obliczenie częstotliwościowych wartości transformaty Gabora, więc dzieli sygnał wejściowy na składowe rzeczywiste i urojone. Wynik dekompozycji obszaru tęczówki jest kodowany za pomocą dwóch bitów, dzięki czemu powstaje tzw. kod tęczówki składający się z 2048 bitów [7][8].

W zrealizowanym algorytmie weryfikacji etap ekstrakcji cech znacząco różni się od algorytmu zaproponowanego przez Johna Daugmana i jest autorskim pomysłem. Zaimplementowany algorytm ekstrakcji cech wyodrębnia informacje o histogramie znormalizowanego obszaru tęczówki. Histogram obrazu jest to funkcja, pozwalająca scharakteryzować obraz przez określenie liczby pikseli o jednakowej intensywności [9].

Uzyskany po etapie normalizacji pasek tęczówki jest dzielony na osiem mniejszych pasków, z których każdy posiada rozmiar 10 x 359 pikseli.

Ekstrakcja informacji o histogramie struktury tęczówki oka niweluje problem rozbieżności obrazów tęczówki spowodowanej obrotem oka, a podział na mniejsze paski ma za zadanie zmniejszyć problem błędów podczas akwizycji obrazu.

Po operacji podziału paska tęczówki wyznaczany jest histogram każdego mniejszego paska. W bibliotece OpenCv funkcją obliczającą histogram obrazu funkcja calcHist().

Klasyfikacja na użytek weryfikacji

W procesie weryfikacji biometrycznej następuje klasyfikacja charakterystyk biometrycznych, które zostały uzyskane na etapie ekstrakcji cech. Weryfikacja to określenie podobieństwa badanego przykładu do wzorca znajdującego się w bazie danych [2]. W zaprojektowanym algorytmie weryfikacji, podczas procesu klasyfikacji porównywane są histogramy wyodrębnionych pasków z tęczówki badanej osoby z paskami tęczówki znajdującej się w bazie danych. Wyniki podobieństwa ośmiu pasków są następnie poddawane procesowi uśredniania.

Algorytm klasyfikacji, w celu porównania histogramów analizowanej tęczówki z obrazem tęczówki znajdującej się w bazie danych, używa funkcji biblioteki OpenCV - compareHist(). Na etapie klasyfikacji wykorzystuje się, w celu określenia słuszności hipotezy o tożsamości analizowanej osoby, wszystkie cztery miary podobieństwa dwóch histogramów – *Correlation* (2), *Chi-Square* (3), *Intersection* (4), *odległość Bhattacharyya* (5).

$$(2) d_{Correlation} = \frac{\sum_I (H(I_1) - \overline{H_1})(H(I_2) - \overline{H_2})}{\sqrt{\sum_I ((H(I_1) - \overline{H_1})^2 (H(I_2) - \overline{H_2})^2)}}$$

$$(3) d_{Chi-Square} = \sum_I \frac{(H(I_1) - H(I_2))^2}{H(I_1)}$$

$$(4) d_{Intersection} = \sum_I \min(H(I_1), H(I_2))$$

$$(5) d_{Bhattacharyya} = \sqrt{1 - \frac{I}{\sqrt{H_1 H_2 N}} \sum_I H(I_1) H(I_2)}$$

gdzie $\overline{H_k} = \frac{1}{N} \sum_I H(I_k)$, N – liczba poziomów intensywności pikseli a $H(I_1), H(I_2)$ – histogramy obrazów.

Liczba poziomów intensywności N dla obrazu w odcieniach szarości wynosiła 256. Określenie podobieństwa poddawanego analizie przykładu do wzorca wymaga zdefiniowania wartości parametrów klasyfikacji. Dobór parametrów podobieństwa w etapie klasyfikacji jest kluczowy przy podejmowaniu decyzji potwierdzenia lub odrzucenia zakładanej tożsamości badanej osoby.

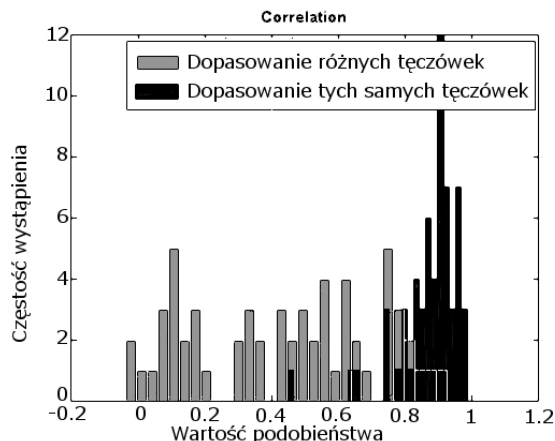
Dobór parametrów algorytmu klasyfikacji

W celu uzyskania poprawnego wyniku klasyfikacji obrazu tęczówki wymagany był dobór progów podobieństwa dla każdej miary. Oszacowana wartość progowa podobieństwa rozdziela dwa brane pod uwagę, wyniki weryfikacji biometrycznej – zgodność tęczówki ze wzorcem oraz niezgodność analizowanych obrazów tęczówek.

Ustalenie optymalnych wartości progów wymagało analizy uzyskanych wyników ze 120 prób dopasowania obrazów tęczówki. Proces dopasowania obrazów tęczówek wykorzystywał bazę danych zdjęć tęczówek zgromadzoną przez Michała Dobeśa i Libora Machala. Sześćdziesiąt prób odbywało się na obrazach tęczówkach tych samych osób, a kolejne 60 na tęczówkach należących do różnych osób. Do analizy wyników prób dopasowania wykorzystano wykresy rozkładów. Przykładowy wykres rozkładu dla miary *Correlation* przedstawiono na rysunku 4.

Po analizie rozkładu podobieństwa miary *Correlation* przyjęto próg równy 0,8. W przypadku przekroczenia wartości 0,8 obraz tęczówki oka zostaje zaakceptowany, jako pasujący do wzorca. Po analizie pozostałych wykresów rozkładów podobieństwa histogramów ustalono kryteria klasyfikacji dla trzech innych miar – *Chi-Square*, *Intersection* i *Bhattacharyya*.

Na wykresach rozkładu miar podobieństwa histogramów zaobserwowano nakładanie się obszarów rozkładu wyników dopasowania tych samych i różnych tęczówek. Przedstawiony algorytm klasyfikacji w celu potwierdzenia hipotezy o tożsamości badanej osoby wymaga spełnienia kryteriów klasyfikacji przez co najmniej trzy miary. Zabieg ma za zadanie poprawę pewności rozpoznawania.



Rys. 4. Przykładowy wykres rozkładu miary podobieństwa

Testy algorytmu weryfikacji

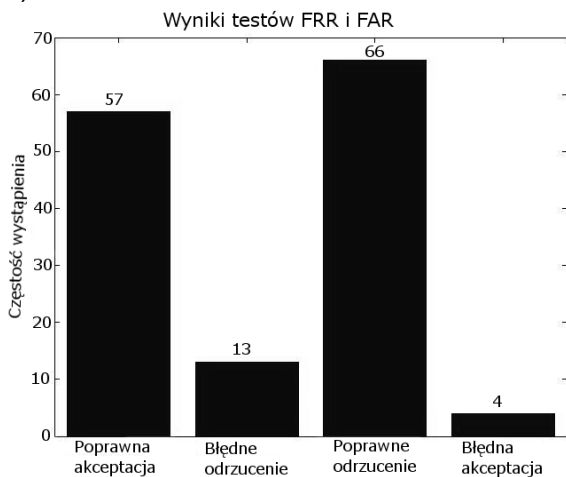
Dokładność przeprowadzanych procesów weryfikacji jest główną cechą charakteryzującą system biometryczny. Oceny poprawności działania algorytmu rozpoznawania dokonano poprzez analizę współczynników FRR (ang. False Rejection Rate) i FAR (ang. False Acceptance Rate) oraz charakterystyki ROC (ang. Receiver Operating Characteristics) [2].

W celu ustalenia współczynników błędnej analizy FRR oraz FAR przeprowadzono testy systemu biometrycznego

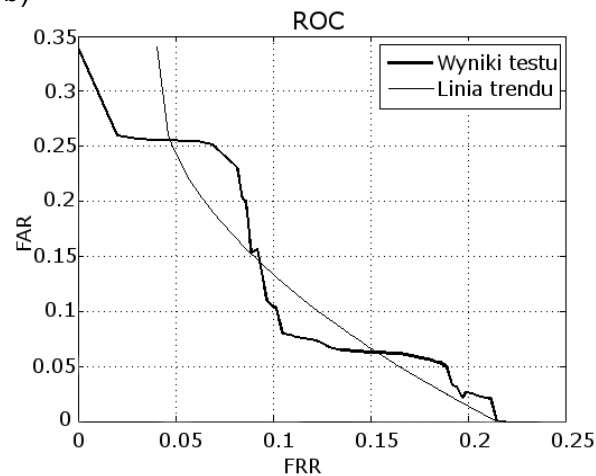
na 70 obrazach tęczówek oka (Rys. 5a). Pierwszy test służący do określenia współczynnika błędnego odrzucenia FRR, polegał na porównaniu tęczówek należących do tych samych osób. Zaproponowany algorytm rozpoznawania zaklasyfikował poprawnie 57 a nieprawidłowo 13 obrazów tęczówek. Test pozwolił określić współczynnik FRR na poziomie 18%.

W teście określającym wartość współczynnika FAR obrazy tęczówek należały do innych osób. Wynikiem testu porównania 70 obrazów tęczówek należących do różnych osób było prawidłowe odrzucenie 66 obrazów tęczówek oka. Współczynnik FAR dla realizowanego systemu biometrycznego został określony na poziomie 5%.

a)



b)



Rys. 5. Graficzne przedstawienie wyników testów

Podstawę do oceny poprawności działania realizowanego systemu biometrycznego stanowi analiza charakterystyki jakości rozpoznawania ROC (Rys. 5b). Otrzymanie charakterystyki jakości rozpoznawania ROC

wymagało przetestowania algorytmu rozpoznawania przy zmiennych progach podobieństwa histogramów.

Stworzony system biometryczny został przetestowany również w celu oceny poprawności działania zaprojektowanego systemu akwizycji obrazu tęczówki oka. Obrazy tęczówek pozyskane za pomocą systemu akwizycji zostały poprawnie zweryfikowane podczas 6 z 10 prób dopasowania.

Podsumowanie

Zrealizowany system biometryczny przetestowano w celu ustalenia współczynników FAR, FRR oraz charakterystyki ROC. Nieprawidłowa akceptacja obrazu tęczówki stanowi jedynie 5% z wszystkich 70 przeprowadzonych testów. Współczynnik nieprawidłowego odrzucenia FRR zaprojektowanego systemu wynosi 18%. W testach uzyskano wartość współczynnika FRR na poziomie 18%.

Wyniki testu na skuteczności algorytmu rozpoznawania na obrazach tęczówek zgromadzonych w własnej bazie danych, świadczą o poprawnej realizacji działania stanowiska akwizycji obrazu tęczówki oka.

Otrzymane wyniki testów określających wartości współczynnika FAR i FRR są zadowalające i potwierdzają użyteczność zaprojektowanego algorytmu. Analiza testów skuteczności działania systemu akwizycji świadczy o trudności zaprojektowania systemu akwizycji obrazu tęczówki oka bazując na prostych rozwiązaniach.

LITERATURA

- [1] Bowyer K. W., Hollingsworth K., Flynn P. J., Image Understanding for Iris Biometrics: A Survey, *Computer Vision and Image Understanding*, 110 (2008), n.2, 281-307
- [2] Ślot K. Wybrane zagadnienia biometrii, *Wydawnictwa Komunikacji i Łączności*, (2008)
- [3] Burge M. J., Bowyer K., Handbook of iris recognition, *Springer*, (2013)
- [4] Verma P., Dubey M., Verma P., Basu S., Daugman's algorithm method for iris recognition – a biometric approach, *IJETAE*, 2 (2012), n.6, 177-185
- [5] Masek L., Recognition of human iris patterns for biometric identification, *The University of Western Australia*, (2003)
- [6] Daugman J., Probing the uniqueness and randomness of IrisCodes: Results from 200 billion iris pair comparisons, *Proceedings of the IEEE*, 94 (2006), n.11, 1927-1935
- [7] Daugman J., How iris recognition works, *IEEE Trans. CSVT*, 14(2004), n.1, 21 – 30
- [8] Boyd M., Carmaciu D., Giannaros F., Payne T., Snell W., Iris recognition, *Imperial College London*, (2010)
- [9] Tadeusiewicz R., Korohoda P., Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów, *Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji*, (1997)

Autorzy: prof. nzw. dr hab. inż. Dariusz Sawicki, E-mail: dariusz.sawicki@ee.pw.edu.pl; dr inż. Marcin Kołodziej, E-mail: marcin.kolodziej@ee.pw.edu.pl; mgr inż. Michał Ochocki, E-mail: michal-ochocki@wp.pl