

Michał WIŚNIOŚ¹, Tadeusz DĄBROWSKI¹, Marcin BEDNAREK²

¹WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA, WYDZIAŁ ELEKTRONIKI, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa 49

²POLITECHNIKA RZESZOWSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I INFORMATYKI, Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów

Wpływ czynników środowiskowych na proces identyfikacji osób w oparciu o obraz twarzy

Mgr inż. Michał WIŚNIOŚ

Absolwent Wojskowej Akademii Technicznej (w 2010r. ukończył studia na Wydziale Elektroniki). Obecnie doktorant i pracownik naukowo-dydaktyczny w Instytucie Systemów Elektronicznych WAT. Jego zainteresowania naukowe skupione są wokół metod wiarygodnego rozpoznawania osób na podstawie cech biometrycznych, a w szczególności identyfikacji na podstawie obrazu twarzy.



e-mail: mwisnios@wat.edu.pl

Dr hab. inż. Tadeusz DĄBROWSKI

Dyrektor Instytutu Systemów Elektronicznych na Wydziale Elektroniki WAT. Zasadniczy obszar zainteresowań naukowych i działalności dydaktycznej to: diagnostyka systemów antropotechnicznych, niezawodność eksploatacyjna, techniczne systemy bezpieczeństwa. Jest autorem/współautorem ponad 70 artykułów, 150 drukowanych referatów konferencyjnych, 12 pozycji książkowych.



e-mail: tdabrowski@wat.edu.pl

Dr inż. Marcin BEDNAREK

Pracuje na stanowisku adiunkta w Katedrze Informatyki i Automatyki Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Główny obszar zainteresowań to: diagnostyka systemów antropotechnicznych, komunikacja w rozproszonych systemach sterowania, niezawodność i bezpieczeństwo systemów. Jest autorem/współautorem ponad 80 publikacji.



e-mail: bednarek@prz.edu.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki prac badawczych, celem których było określenie wpływu czynników zakłócających proces identyfikacji osób w oparciu o biometryczny obraz twarzy. Zaprezentowano wyniki badania m.in. wpływu parametrów oświetlenia na wiarygodność procesu identyfikacji. Szczególną uwagę zwrócono - w tych badaniach - na zależność wiarygodności procesu rozpoznania od kąta padania światła na identyfikowaną twarz, na zagadnienie pożądanej rozdzielczości obrazu twarzy oraz na zalecane parametry sztucznych źródeł światła.

Słowa kluczowe: multibiometria, biometria twarzy, wiarygodność identyfikacji.

The influence of environmental factors on the process of person identification based on a facial image

Abstract

The paper presents the results of research aimed at determining the effect of confounding factors in the process of people identifying based on the biometric facial image. There are given the results of the test impact of the most important disturbing factors, i.e. intensity of lighting, on the process of identifying. Figure 2 shows the model of a face image with the marked axes of rotation in three directions. A particularly important problem was in the case of the X coordinate, where the identification was too difficult even for an expert. The research was focused on the assessment of the impact of environmental conditions on the process of identifying faces. There were taken into account the factors having the greatest influence on this phenomenon, namely: lighting, facial image resolution and angle of rotation. The initial experiments consisted in examining the methods of detecting faces in an image containing the entire scene (faces, background, and facial like elements). This allowed the practical implementation of the system to identify a person based on the facial image. The analysis of investigation results shows clearly that the type of lighting has the greatest impact on the biometric face identification. The results allowed determining the degree of other factors influence on the operation of a biometric identification system. The possible opportunities to improve the reliability of identification are also indicated.

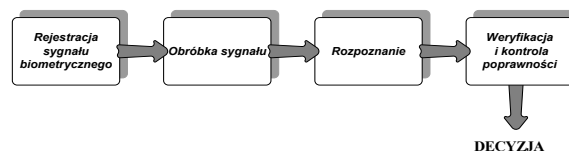
Keywords: facial biometric, multi-biometric, identification credibility.

1. Wstęp

Obraz twarzy jest najczęściej używanym przez człowieka sposobem rozpoznawania innych ludzi. Naturalność rozpoznawania twarzy powoduje, iż własności charakterystyczne twarzy są najbardziej akceptowalnymi danymi biometrycznymi. Potwierdzeniem tego faktu jest umieszczanie tej właśnie cechy, jako gwaranta tożsamości we wszelkiego rodzaju dokumentach, takich jak dowód osobisty czy paszport. Szczególnie ukierunkowanym na obraz twarzy jest drugi z wymienionych dokumentów, który już w samej nazwie został „zdominowany” przez biometrię. Pomimo, iż na świecie powszechnie stosowane są paszporty biometryczne, to brak jest systemów, które w sposób całkowicie automatyczny mogłyby zapewnić niezawodną identyfikację i weryfikację osób. Przyczyn, które mają wpływ na taką sytuację jest bardzo wiele. Trudności w prowadzeniu identyfikacji na podstawie obrazu twarzy wynikają nie tylko z procesu starzenia się jej, ale również z naturalnych stanów emocjonalnych, chorobowych i zmęczenia. Szczególny wpływ ma tu również mimika i grymasy wywołane np. rozmową podczas akwizycji obrazu. Podstawową przeszkodą w akwizycji wiarygodnego obrazu są także czynniki maskujące prawdziwy wygląd twarzy, np. okulary, makijaż, broda czy wąsy. Do grupy czynników utrudniających proces automatycznej detekcji i identyfikacji obrazu twarzy należy zaliczyć przede wszystkim kąt obserwacji [1, 5] oraz warunki oświetlenia powodujące na przykład cienie i refleksy, dlatego pożądane jest dalsze poszukiwanie niezawodnego algorytmu identyfikacji osób w oparciu o obraz twarzy [11].

2. Charakterystyka problemu badawczego

Proces działania systemu rozpoznawania twarzy można podzielić na cztery podstawowe etapy przedstawione na rys. 1.



Rys. 1. Schemat systemu identyfikacji biometrycznej
Fig. 1. Schema of a biometric identification system

W trakcie procesu pozyskiwania obrazu z urządzenia wejściowego dokonywana jest akwizycja obrazów twarzy. Akwizycji tej można dokonywać w zakresie widzialnym i w podczerwieni [2]. Następnie realizowana jest analiza i przetworzenie pozyskanego obrazu. Do zadań wykonywanych przez system zalicza się w tym przypadku m.in. wykrywanie twarzy na obrazie i jego normalizację m.in. pod względem rozdzielczości, koloru czy obrotu.

Następnie dokonywana jest ekstrakcja cech i przeprowadzany jest proces rozpoznania oraz często dodatkowa weryfikacja poprawności [6].

Prezentowany w artykule problem badawczy skoncentrowany został na ocenie wpływu warunków środowiskowych na proces identyfikacji twarzy. Badania skupione zostały na czynnikach mających największy wpływ na ten problem: na oświetleniu twarzy, na rozdzielczości obrazu twarzy oraz na kącie obrotu twarzy.

3. Badanie wpływu kąta obrotu twarzy na proces detekcji i identyfikacji twarzy

Znacząca większość opracowań naukowych poruszających tematykę identyfikacji osób na podstawie obrazu twarzy opiera wyniki przeprowadzonych badań na bazach danych nie zawierających w pełni znormalizowanych danych, np. pozycje [8, 9]. Znormalizowane dane biometryczne, w tym przypadku, charakteryzują się:

- identyczną rozdzielczością wszystkich obrazów twarzy w bazie danych;
- równolicznością zdjęć przypisanych do jednej klasy,
- pobraniem zdjęć twarzy kolejnych osób w analogicznych warunkach (oznaczających m.in. natężenie oświetlenia, kąt obrotu twarzy, odległość od kamery).

O ile pierwsze dwa warunki są w większości przypadków spełnione, to trzeci, z reguły, nie jest brany pod uwagę. Sytuacja taka jest w pełni wytłumaczalna przy podejściu, w którym metoda dedykowana jest do identyfikacji osób w zmiennych warunkach środowiskowych. Jednak bazowanie na wynikach działania systemu wykorzystującego metodę identyfikacji osób dedykowaną do zastosowania w niezmiennych, określonych warunkach (np. w systemie kontroli dostępu) powoduje rozbieżność wyników symulacyjnych z sytuacją rzeczywistą. Dla takich baz danych rozróżnialność poszczególnych klas (osób) jest zadaniem zdecydowanie mniej skomplikowanym. Jest to związane z tzw. wyższym stopniem rozproszenia międzyklasowego w porównaniu do baz zawierających w pełni znormalizowane dane. W związku z powyższym wyniki badań prezentowanych w artykule oparte zostały na autorskiej bazie danych zawierającej znormalizowane dane.

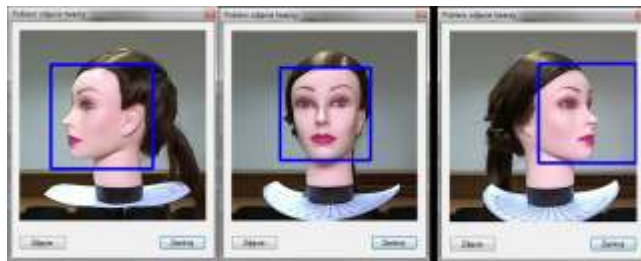
W celu dostosowania budowanej bazy do zastosowań praktycznych, w pierwszym etapie, badania ukierunkowane zostały na określenie kątów detekcji ciągłej dla algorytmu opartego na kaskadowym klasyfikatorze cech typu Haara. Model obrazu twarzy wraz z zaznaczonymi osiami obrotu w trzech kierunkach został przedstawiony na rys. 2. Dodatkowo zamieszczono tu reprezentatywne obrazy twarzy uzyskane na wyjściu ww. klasyfikatora. Na pierwszy rzut oka można zauważyć, iż skrajne przypadki detekcji twarzy np. dla osi X mogą powodować problem w zidentyfikowaniu osoby nawet przez eksperta. W związku z powyższym neuralgiczne jest opracowanie algorytmu przekazującego do systemu wyłącznie obrazy twarzy umożliwiające jednoznaczny identyfikację.



Rys. 2. Model twarzy biometrycznej
Fig. 2. Biometric face model

Na podstawie przeprowadzonych badań wyznaczono średnie wartości maksymalnego kąta detekcji ciągłej. Maksymalny kąt detekcji ciągłej jest to kąt odchyłu twarzy od pozycji „en face” dla poszczególnych osi obrotu. Wyznaczone wartości ww. kątów wynoszą dla osi X - 350, dla osi Y - 250 natomiast dla osi Z - 180

stopni. Wartości te mają jedynie charakter szacunkowy i zależne są od odległości twarzy od detektora oraz rozdzielczości pobranego obrazu. Badanie to przeprowadzone zostało na statycznym modelu twarzy zaprezentowanym na rys. 3, a następnie zweryfikowane w warunkach rzeczywistych.



Rys. 3. Model twarzy wykorzystany do badań (skrajne przypadki detekcji twarzy w płaszczyźnie poziomej- lewy i prawy półprofil)

Fig. 3. Face model used in the study (extreme cases of face detection in horizontal plane- left and right semi-profile)

Kolejnym z przeprowadzonych eksperymentów było badanie stopnia percepcji człowieka w zadaniu identyfikacji, a następnie porównanie tych wyników z wynikami działania algorytmu identyfikacji osób. Badanie percepcji polegało na sprawdzeniu średniej rozdzielczości obrazu twarzy pozwalającej na identyfikację osoby przez człowieka. Uzyskane wyniki pokazują, że średnia rozdzielczość pozwalająca człowiekowi na jednoznaczne rozpoznanie twarzy prezentowanej na zdjęciu osoby jest wartość około 70 x 70 pikseli. Najmniejsza uzyskana rozdzielczość pozwalająca na identyfikację wyniosła 40 x 40 pikseli. We wszystkich badanych przypadkach miała ona miejsce dla wartości 80 x 80 pikseli. Przykładowa prezentacja zmiany rozdzielczości obrazu twarzy została zaprezentowana na rys. 4. Wykorzystując m.in. ww. wyniki przyjęto, że w procesie identyfikacji twarzy praktycznie wymaganą liczbą pikseli na metr jest wartość bliska 500. Oznacza to na przykład, że w celu dokładnej identyfikacji osób przechodzących przez powierzchnię detekcji (ciąg komunikacyjny) o wymiarach 2 x 2 metry, zastosowana kamera powinna pracować z rozdzielczością nie mniejszą niż 1000 x 1000, czyli powyżej 1 megapiksela.



Rys. 4. Prezentacja wpływu zmiany rozdzielczości obrazu twarzy na percepcję człowieka (kolejne rozdzielczości obrazów: 20x20, 40x40, 60x60, 80x80, 100x100)

Fig. 4. Presentation of the impact of changes in facial image resolution on human perception (image resolution: 20x20, 40x40, 60x60, 80x80, and 100x100)

Przeprowadzono badania poprawności detekcji twarzy w oparciu o kaskadowy klasyfikator cech typu Haara. Na podstawie wyników eksperymentów można stwierdzić, iż kaskadowy klasyfikator cech typu Haara, przy poprawnej konfiguracji, pozwala na detekcję twarzy w dużej grupie osób (ok 50 osób na obrazie - przykład na rys. 5) z następującym poziomem wartości średniej błędów: TA (ang. True Accept - poprawna akceptacja) - 97%; FR (ang. False Reject - fałszywe odrzucenie) - 3%; FA (ang. False Accept - fałszywa akceptacja) - 0%.

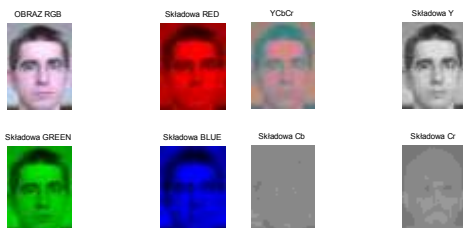
Eksperymenty zostały przeprowadzone również na obrazach zawierających znaczącą liczbę twarzy (nawet 150), co skutkowało nie tylko zwiększeniem liczby generowanych błędów, ale również znaczącym wydłużeniem procesu detekcji do około 60 sekund. Wyniki na poziomie TA=79%, FR=21%, FA=0% nie są satysfakcjonujące. W praktyce detekcja i identyfikacja twarzy on-line „w tłumie” jest problemem nierozwiązanym (podjęto próby opisane w [10]) i może zostać przeprowadzona wyłącznie w trybie offline, czyli np. na dostarczonych zdjęciach lub nagraniach, w systemach niekrytycznych czasowo.



Rys. 5. Prezentacja działania zastosowanego kaskadowego klasyfikatora cech typu Haara [źródło oryginału zdjęcia-archiwum własne]

Fig. 5. Presentation of the action of the Haar feature cascade classifier [source of the original photo-own archive]

W procesie definiowania podstawowych parametrów systemu identyfikacji osób niewłaściwym zadaniem jest optymalizacja pozyskanego obrazu pod kątem uzyskania najkrótszego czasu przetwarzania danych. Efekt ten uzyskano dzięki transformacji obrazu kolorowego (RGB) do skali szarości (Gray Scale). Na rys. 6 jest zaprezentowany stopień przenoszenia informacji biometrycznej przez poszczególne składowe kolorów w systemie RGB i YCbCr. Można zaobserwować, iż najlepszy wynik daje składowa Y, czyli składowa luminancji. Potwierdza to zasadność przetwarzania obrazu kolorowego na obraz w skali szarości w procesie identyfikacji tożsamości. Efektem takiego działania jest znaczące skrócenie czasu przetwarzania obszernej bazy danych obrazowych. Przykładowo, dla skali RGB, z trzech wartości poszczególnych składowych dla każdego piksela informacja transponowana jest tylko do jednej wartości - stopnia jego szarości. Dodatkowo w znacznym stopniu eliminowany jest wpływ niewłaściwego ustawienia balansu bieli dla pobieranego obrazu twarzy.



Rys. 6. Prezentacja przenoszenia informacji biometrycznej przez poszczególne składowe w systemach RGB i YCbCr

Fig. 6. Presentation of biometric information transfer by individual components in RGB and YCbCr systems

4. Badanie wpływu sztucznych źródeł światła na proces identyfikacji twarzy

W celu określenia wpływu sztucznych źródeł światła na proces identyfikacji biometrycznej bazującej na obrazie twarzy, zostały przebadane podstawowe, powszechnie dostępne na rynku źródła światła. Najczęściej stosowanymi do oświetlenia pomieszczeń (ciągów komunikacyjnych) sztucznymi źródłami światła są następujące ich typy: świetlówki kompaktowe, żarówki halogenowe, tradycyjne żarówki wolframowe oraz lampy LED.

Źródła te charakteryzują się szeregiem parametrów technicznych takich jak: strumień świetlny, światłość, luminancja, skuteczność świetlna, natężenie oświetlenia. Producenci oświetlenia do porównania źródeł świetlnych, poza mocą elektryczną, wymieniają najczęściej strumień świetlny, który określa całkowitą moc światła emitowanego z danego źródła mogącego wywołać określone wrażenie wzrokowe. Stanowi on miarę wrażenia wzrokowego i jest iloczynem strumienia wypromieniowanego o pełnej długości fali i względnej czułości oka dla danej długości fali. Gęstość kątowna strumienia świetlnego wysyłanego przez źródło w danym kierunku definiowana jest, jako światłość (1):

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}, \quad (1)$$

gdzie: $d\Phi$ - strumień świetlny emitowany w nieskończenie mały kąt bryłowy $d\omega$.

Wielkość ta nie może jednak być wykorzystana do bezpośredniego porównania wpływu sztucznych źródeł światła na proces identyfikacji biometrycznej. Jest to spowodowane faktem, iż twarz ludzka stanowi pewnego rodzaju powierzchnię, na którą pada wyłącznie część wypromieniowanego przez dane źródło światła. W związku z powyższym zdecydowano, iż parametrem niezmienniczym będzie tu wartość natężenia oświetlenia na powierzchni twarzy. Natężenie oświetlenia E , definiowane jako gęstość strumienia świetlnego padającego na daną powierzchnię, równe granicy ilorazu strumienia świetlnego Φ padającego na powierzchnię S , przy S dążącym do 0 (2):

$$E = \frac{d\Phi}{dS}, \quad (2)$$

Na podstawie przeprowadzonych badań zauważono, iż oświetlenie, a w szczególności jego równomierność, ma kluczowy wpływ na proces identyfikacji osobniczej [3, 4]. W związku z tym, celem pierwszego etapu prowadzonych badań było określenie współczynnika równomierności oświetlenia d dla poszczególnych źródeł. Współczynnik ten definiowany jest jako iloraz najmniejszej wartości natężenia oświetlenia, zmierzonego na danej płaszczyźnie, do średniego natężenia oświetlenia na tej płaszczyźnie (3):

$$d = \frac{E_{\min}}{E_{sr}}, \quad (3)$$

gdzie: E_{sr} wyznaczone jest z wyrażenia: $E_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n}$.

Wyniki przeprowadzonych pomiarów zostały zaprezentowane w tabeli 1.

Tab. 1. Zestawienie wyznaczonych wartości współczynników równomierności poszczególnych źródeł światła

Tab. 1. Values of uniformity coefficients of various light sources

Lp.	Typ źródła oświetlenia	d
1	Świetlówka kompaktowa 18W (nowa)	0,60
2	Świetlówka kompaktowa 18W (po 2-letnim okresie eksploatacji)	0,51
3	Świetlówka kompaktowa 16W	0,63
4	Żarówka wolframowa z odbłyśnikiem 100W	0,41
5	Żarówka wolframowa 100W	0,59
6	Żarówka wolframowa 75W	0,56
7	Żarówka wolframowa 60W- mała bańka szklana	0,68
8	Żarówka halogenowa 50W	0,17
9	Wolframowa żarówka mleczna 40W	0,51
10	Kulista żarówka halogenowa 20W	0,79
11	LED- 48 diod w bezbarwnych obudowach 3,2W	0,05
12	LED- 16 diod SMD 5W	0,53
13	LED- 36 diod SMD 4W	0,53
14	LED technologia COB 4,3W	0,10

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono również, iż dla wiarygodności identyfikacji cech biometrycznych twarzy odległość elektrycznego źródła światła od twarzy osoby identyfikowanej nie powinna przekraczać 2 metrów. Dla wszystkich wymienionych w tabeli 1 źródeł, powyżej tej odległości zaobserwowano znaczący spadek natężenia oświetlenia oraz niezadawalającą wartość współczynnika równomierności oświetlenia. Należy zauważyć, że zbyt duża moc świetlna źródła powoduje występowanie zjawiska tzw. „oślnienia bezpośredniego”. Problem ten może zostać rozwiązany np. poprzez zastosowanie odpowiednich

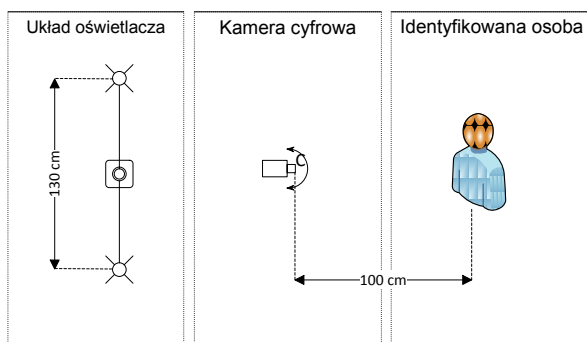
opraw oświetleniowych z prawidłowo ukształtowaną bryłą fotometryczną (np. oprawa ze szkła mlecznego).

Według normy PN-EN 12 464-1: 2004 [7] zalecane natężenie oświetlenia dla rozpoznania rysów twarzy wynosi co najmniej 20lx. Wartość ta nie jest jednak wystarczająca dla bezpośredniej implementacji w elektronicznych systemach automatycznej identyfikacji bazujących na typowych kamerach światła widzialnego. Uwarunkowane jest to rodzajem wykorzystanego detektora, dla którego niski poziom natężenia oświetlenia powoduje spadek wartości współczynnika SNR (ang. *Signal-to-Noise Ratio*), a co za tym idzie pogorszenie jakości obrazu. W prezentowanych badaniach wartość natężenia oświetlenia, jakiej użyto do oświetlenia twarzy określono na poziomie 150lx, co odpowiada średniemu normatywnemu natężeniu oświetlenia w ciągach komunikacyjnych.

Badania przeprowadzone zostały na autorskiej bazie danych (dla 20 osób i czterech typów oświetlenia) zawierającej:

- po 25 obrazów twarzy przeznaczonych do procesu uczenia wykonanych przy danym typie oświetlenia (25 obrazów x 4 typy oświetlenia);
- po 5 obrazów twarzy przeznaczonych do testowania (5x4).

Dało to grupę 80 profili osobniczych (dla każdego typu oświetlenia) - łącznie 2400 obrazów twarzy. Przykładowe zdjęcia z bazy danych zostały przedstawione na rys 2. Ideowy schemat stanowiska pomiarowego przedstawia rysunek 7. Dodatkowym parametrem niezmienniczym (oprócz ustalonej wartości natężenia oświetlenia) była, w tym przypadku, również odległość kamery od twarzy. Działanie takie zapobiegło powstawaniu błędów związanych z procesem przetwarzania wstępnego obrazu twarzy o różnej rozdzielczości wejściowej.



Rys. 7. Ideowy schemat stanowiska pomiarowego
Fig. 7. Schematic diagram of the measuring position

Tab. 2. Zestawienie wyników wpływu zastosowanego źródła światła na wiarygodność procesu identyfikacji w oparciu o obraz twarzy
Tab. 2. Impact of the used light source on the reliability of facial based identification

Typ oświetlenia, dla którego zostały wykonane zdjęcia uczące	Prawidłowość identyfikacji dla testowanego typu oświetlenia podana w [%]				
	Żarówki wolframowe	LED SMD	Żarówki halogenowe	LED COB	Średnia
Żarówki tzw. wolframowe	99	93	52	36	70
LED SMD	91	98	67	77	83
Żarówki halogenowe	52	71	99	97	80
LED COB	32	80	96	99	77

Końcowe, uśrednione wyniki przeprowadzonych badań zostały zaprezentowane w tabeli 2. Na podstawie analizy przeprowadzonych badań można stwierdzić, iż wyniki o największej liczbie poprawnych identyfikacji otrzymano dla obrazów pobieranych przy oświetleniu LED SMD, gdzie średnia wartość poprawnych

identyfikacji wyniosła 83%. Przeprowadzone badania potwierdzają również, iż znaczące zwiększenie stopnia poprawności identyfikacji osobniczej, do wartości bliskiej 100%, uzyskiwane jest przy zastosowaniu identycznego źródła światła zastosowanego w procesie uczenia i testowania (identyfikacji).

5. Wnioski

W opracowaniu przedstawiono niektóre aspekty związane z systemami akwizycji obrazu twarzy, a w szczególności z czynnikami wpływającymi na jakość identyfikacji biometrycznej takich systemów. Zaprezentowane wyniki badań wyraźnie pokazują, iż kluczową rolę w procesie identyfikacji twarzy odgrywają warunki oświetleniowe. Wykazano między innymi, iż kluczowymi parametrami oświetlenia wpływającymi na wiarygodność procesu identyfikacji są natężenie oświetlenia oraz współczynnik jego równomierności. Potwierdzono zasadność korzystania z obrazu twarzy przekształcanego do skali szarości oraz określono podstawowe parametry akwizycji takiego obrazu. Wykonane badania pozwoliły na odpowiednie ukierunkowanie dalszych prac, mających na celu opracowanie systemu wiarygodnej identyfikacji osób w oparciu m.in. o obraz twarzy.

6. Literatura

- [1] Nowak J., Kowalski M.: Przyrząd wirtualny do pomiaru rezystancyjnych wskaźników stanu. PAK, vol. 58, s. 001-004, 2012.
- [2] Sinha P., Balas B., Ostrowsky Y., Russell R.: Face Recognition by Humans: 19 Results All Computer Vision Researchers Should Know About, Proceedings of the IEEE, Vol.94, No.11, 2006.
- [3] Pacan J., Jakubowski J., Wiśnios M.: Zastosowanie transformacji SIFT w identyfikacji na podstawie obrazów termalnych twarzy, Technika Transportu Szynowego, nr 9/2012.
- [4] Wiśnios M., Dąbrowski T., Bednarek M.: Badania weryfikacyjne metody rozpoznawania twarzy, Biuletyn WAT, Vol.LXII, Nr4, 2013.
- [5] Dobrowolski A. P., Jakubowski J., Majda E., Pacan J., Wiśnios M.: Przetwarzanie wybranych danych biometrycznych na potrzeby identyfikacji tożsamości, Rozdział 3 w monografii pod red. T. Dąbrowskiego pt. „Badanie i wnioskowanie diagnostyczne. Wybrane zagadnienia”, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2013.
- [6] Xiangxin Zhu, Ramanan D.: Face detection, pose estimation, and landmark localization in the wild, Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2012 IEEE Conference on Biometrics Compendium, IEEE.
- [7] Dąbrowski T., Bednarek M., Wiśnios M.: Credibility analysis of a multi-biometric identification system for fingerprints, Maintenance Problems, 2/2013.
- [8] Wymagania oświetleniowe pomieszczeń. Norma PN-EN 12 464-1: 2004.
- [9] Agarwal M., Agrawal H., Jain N., Kumar M.: Face Recognition using Principle Component Analysis, Eigenface and Neural Network, International Conference on Signal Acquisition and Processing, ICSAP '10, 2010.
- [10] Shan An, Xin Ma, Rui Song, Yibin Li: Face detection and recognition with SURF for human-robot interaction, IEEE International Conference on Automation and Logistics, ICAL '09, 2009.
- [11] Aggarwal G., Chowdhury A.K.R., Chellappa R.: A System Identification Approach for Video-based Face Recognition, Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition ICPR, 2004.
- [12] Stasiak L., Pacut A., Vincente-Garcia R.: Face tracking and recognition in low quality video sequences with the use of particle filtering 43rd Annual 2009 International Carnahan Conference on Security Technology, 2009.

otrzymano / received: 12.06.2014

przyjęto do druku / accepted: 01.08.2014

artykuł recenzowany / revised paper