

Multispektralne stanowisko akwizycji biometrycznych obrazów twarzy

Streszczenie. W związku z brakiem dostępnych na rynku multispektralnych baz twarzy, w artykule zaprezentowano autorską metodykę wykonywania akwizycji obrazu twarzy na potrzeby budowy bazy dla systemów identyfikacji biometrycznej. Multispektralność stanowiska zrealizowana została tu poprzez dostosowanie go do możliwości akwizycji obrazów w świetle widzialnym, bliskiej podczerwieni oraz średniej podczerwieni (tzw. termogram twarzy).

Abstract. Due to the lack of multispectral facial databases available on the market, the article presents the author's method of performing facial image acquisition for the purpose of building a database for bio-metric identification systems. Multispectrality of the station has been realized here by adjusting it to the possibility of images acquisition in visible light, near infrared and medium infrared (so-called face thermogram). (**Multispektral station for biometric face recognition**).

Słowa kluczowe: biometria twarzy, multispektralna akwizycja obrazu, identyfikacja biometryczna.

Keywords: facial biometric, multispectral image acquisition, biometric identification.

Wstęp

Istnieje szereg powszechnie dostępnych biometrycznych baz danych m.in. [1][2][3][4]. Bazy danych uwzględniające obrazy twarzy można ogólnie podzielić na dwie grupy: naukowe oraz komercyjne. Bazy naukowe najczęściej charakteryzują się możliwością odtworzenia wizerunku twarzy poszczególnych osób natomiast bazy stosowane komercyjnie powinny charakteryzować się brakiem takiej możliwości. Właściwość ta podyktowana jest uwarunkowaniami prawnymi, według których obraz twarzy jest jedną z danych osobowych. Zapisywanie w bazie danych wyłącznie cech dystyngtywnych ma za zadanie uniemożliwić osobie postronnej odwzorowanie/podrobienie poszczególnych rekordów takiej bazy danych. 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. pozycja [5]). Znormalizowane dane biometryczne, w tym przypadku, rozumiane są jako te, które charakteryzują się:

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

Z reguły pierwsze dwa warunki są w większości przypadków spełnione, jednak trzeci najczęściej nie jest brany pod uwagę. Sytuacja taka jest wytłumaczalna przy stosowaniu podejścia, 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 statycznych, niezmiennych warunkach (np. w systemie kontroli dostępu) powoduje rozbieżność wyników symulacyjnych ze stanem rzeczywistym. Dla takich baz danych rozróżnialność poszczególnych klas (osób) jest zadaniem zdecydowanie mniej skomplikowanym. Jest to związane z tzw. wyższym stopniem rozproszenia międzyklasowego w konfrontacji z bazami zawierającymi w pełni znormalizowane dane. Dodatkowo, w większości przypadków, bazy te zawierają wyłącznie rekordy biometryczne jednego typu (tylko obrazy twarzy, same termogramy, wyłącznie odciski palca [1] [6]). Niedostępne są również multispektralne bazy danych zawierające na przykład obrazy twarzy pobrane detektorami pracującymi na różnych długościach fali.

W związku z wymienionymi ograniczeniami, autorzy postawili - jako cel zadania badawczego - wykonanie autorskiego stanowiska akwizycji biometrycznych obrazów twarzy, umożliwiającego budowę takich (tj. w pełni znormalizowanych) baz danych. Decyzja ta wymusiła przeprowadzenie niezbędnych badań, w szczególności na potrzeby projektowania systemów identyfikacji i weryfikacji biometrycznej w dokładnie znanych i powtarzalnych warunkach. Dodatkowo, dostępne na rynku bazy danych poza obrazem twarzy zawierają najczęściej także zarejestrowane różne pasożytnicze elementy tła, fragmenty górnej części ciała, ubrań itp.[4]. Bazy takie są szczególnie użyteczne do badań systemów dedykowanych do pracy w zmiennych warunkach środowiskowych, jednak nie pozwalają na obiektywną ocenę pracy statycznego systemu wiarygodnej identyfikacji. Dodatkowym impulsem, który skłonił autorów do wykonania własnej bazy/stanowiska akwizycji danych był fakt, iż dystrybutorzy komercyjnych i naukowych baz danych nie udostępniają pełnej informacji o warunkach środowiskowych w jakich oferowana baza została wykonana, a co ważniejsze, nie udostępniają informacji o właściwościach stanowiska akwizycji (tj. o typie zastosowanego detektora, jakości elementów optycznych itp.).

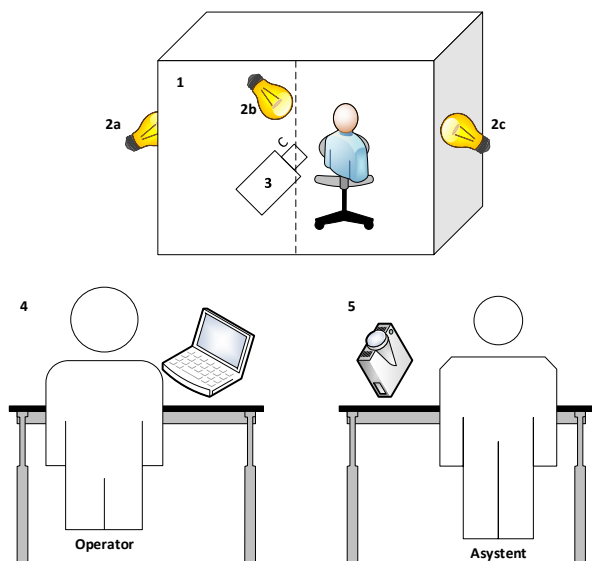
Projekt autorskiego stanowiska akwizycji obrazu twarzy

Jak wcześniej wspomniano, szczególnie istotne, z punktu widzenia budowy bazy danych, jest opracowanie i wykonanie stanowiska akwizycji danych. Autorzy opierając się na doświadczeniach zdobytych m.in. w związku z udziałem w projekcie [7] oraz rezultatów przedstawionych w [8][9][10][11][12][13][14][15] zdecydowali się na zbudowanie stanowiska akwizycji z wykorzystaniem specjalnej komory bezcieniowej. Rozwiązanie to umożliwiło uniknięcie tzw. efektu „ośnienienia”, co w znaczącym stopniu wpłynęło na komfort prowadzenia procesu akwizycji - w szczególności dla osób, od których pobierane były obrazy twarzy. Zbyt mocne natężenie oświetlenia powoduje naturalny efekt mrużenia lub nawet skrajnie zamykania oczu, przez co modyfikowany jest naturalny wyraz twarzy.

Schemat struktury stanowiska akwizycji biometrycznego obrazu twarzy zaprezentowany został na rysunku 1. Wyróżnione zostało tu pięć głównych podzespołów:

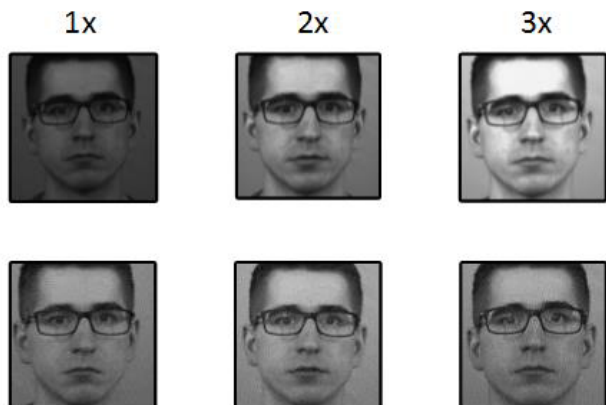
- komora bezcieniowa (1),
- 3 statyczne lampy światła ciągłego (2a, 2b, 2c),
- kamera HD z funkcją autofocus (3),
- stacja operatora systemu (4),

- stanowisko asystenta operatora, umożliwiające m.in. projekcję punktów pomiarowych (5).



Rys.1. Schemat multispektralnego stanowiska akwizycji obrazów twarzy

Ważnym zagadnieniem, z punktu widzenia projektu stanowiska akwizycji obrazu twarzy, jest zapewnienie odpowiednich warunków oświetleniowych. Finalna wersja stanowiska akwizycji wyposażona została w trzy lampy światła ciągłego zawierające po trzy źródła 28 watów (światłówki kompaktowe). Rozmieszczenie lamp oraz wybór odpowiednich świetlówek oparto na wynikach eksperymentów zaprezentowanych w [8]. Kwestia oświetlenia ma szczególne znaczenie w przypadku zastosowania kamery bez funkcji autofocus. Na rysunku 2 uwidocznione są wyniki akwizycji obrazu twarzy przy zmiennym natężeniu światła w przypadku kamery z funkcjami i bez funkcji autofocus i autoekspozycja.



Rys.2. Efekt działania funkcji autofocus i autoekspozycja, górny wiersz - obrazy uzyskane przy użyciu kamery bez tych funkcji, dolny wiersz obrazy pobrane w identycznych warunkach kamerą z wbudowanymi funkcjami (kolumny 1x, 2x i 3x oznaczają trzy główne, skokowo zmieniane poziomy natężenia oświetlenia)

Szczególnie uwypuklona na rysunku 2. jest kwestia niedoświetlenia twarzy (1x) oraz prześwietlenia obrazu twarzy (3x) w przypadku zastosowania kamery bez funkcji autofocus i autoekspozycja. Zjawiska te powodują nieodwracalną utratę części informacji biometrycznej. Finalna wersja stanowiska akwizycji wyposażona została w kamerę z wbudowanymi ww. funkcjami, umożliwiającą prowadzenie rejestracji w rozdzielczości do 1600x1200

pikseli z szybkością 30 klatek na sekundę. Dzięki temu stanowisko umożliwia rejestrację obrazów do bazy danych w wysokiej rozdzielczości - gdyby zaszła taka potrzeba.

W celu zapewnienia stałych warunków laboratoryjnych, z odtwarzalną regulacją natężenia oświetlenia, zdecydowano się na budowę bazy danych w oparciu o obrazy rejestrowane wyłączanie w warunkach sztucznego oświetlenia. Zaprezentowane na rysunku 1 stanowisko akwizycji umieszczone zostało w zaciemnionym pomieszczeniu z całkowicie wytłumionym światłem naturalnym (słonecznym). Zastosowanie komory bezcieniowej, poza wymienionymi aspektami - odpowiedniego doświetlenia twarzy oraz zapewnienia komfortu akwizycji, pozwoliło na wyeliminowanie ewentualnych cieni pojawiających się w tle pobieranego obrazu twarzy. Cienie te mogą mieć również charakter osobniczy i mogą powodować błędy w procesie identyfikacji - w szczególności w przypadku stosowania metod holistycznych. Jednolitość tła komory bezcieniowej powoduje skupienie wyników badań wyłącznie na dystynktywności cech twarzy.

Istotnym elementem zarządzającym całym procesem automatycznej akwizycji jest stacja robocza oprogramowana w środowisku MATLAB. Umożliwia ona kompleksowe prowadzenie procesu akwizycji obrazu twarzy wraz z przeprowadzeniem procesu jego wstępnego przetworzenia i normalizacji.

W celu wyznaczenia parametrów tzw. ciągłej detekcji twarzy, zaprojektowano dodatkowo stanowisko umożliwiające prowadzenie takich badań w oparciu o statyczny sterowalny model głowy 3D [8]. Stanowisko tego typu umożliwia sterowanie obrotem głowy w trzech osiach.

Na podstawie przeprowadzonych badań [8] wyznaczono średnie wartości maksymalnego kąta detekcji ciągłej. Maksymalny kąt detekcji ciągłej jest to kąt odchyłu twarzy od pozycji „en face” dla poszczególnych osi obrotu, w którym twarz jest zawsze wykrywana. Wyznaczone wartości ww. kątów wynoszą: dla osi X - 35° , dla osi Y - 25° natomiast dla osi Z - 180 . Pomimo, iż wartości te zdeterminowane zostały, w głównej mierze, w procesie uczenia algorytmu kaskadowego klasyfikatora cech Haar'a to potwierdzają one, że algorytm ten może być zastosowany w celu niezawodnej detekcji twarzy, w określonym zakresie kątowym. Poza zakresem tym również możliwa jest detekcja twarzy jednak proces ten jest obciążony znaczną niepewnością. Z doświadczeń autorów wynika, że w wyżej zadeklarowanym zakresie kątowym, mieści się również zakres zawierający największą część informacji biometrycznej.

Doboru źródeł oświetlenia twarzy dokonano w oparciu o wyznaczony wpływ współczynnika równomierności oświetlenia poszczególnych sztucznych źródeł światła.

Aby jakość budowanej bazy danych spełniła postawione wymagania, dodatkowym parametrem niezmiennym (oprócz ustalonej wartości natężenia oświetlenia) była również odległość kamery od twarzy. Działanie takie zapobiega powstawaniu błędów związanych z procesem przetwarzania wstępnego obrazu twarzy o różnej rozdzielczości wejściowej.

Istotnym parametrem w procesie identyfikacji na podstawie obrazu twarzy jest jego rozdzielczość. Aby rozdzielczość ta nie powodowała ograniczeń w procesie automatycznego rozpoznawania z powodu nadmiernej liczby obliczeń maszynowych, powinna być odpowiednio dobrana [16][17]. Z kolei, z punktu widzenia statystycznego, zbyt mała rozdzielczość obrazów twarzy powoduje wzrost liczby błędów identyfikacji. Niestety nie wiemy do końca jak działa ludzki mechanizm identyfikacji osób. Najprawdopodobniej oparty jest on zarówno na identyfikacji

samego obrazu twarzy jak i cech towarzyszących takich jak głos, czy cechy behawioralne, np. ruch [18] [19]. Wiemy jednak, że statyczna identyfikacja osób (np. archiwalnych z fotografii) przez biologiczny system identyfikacji człowieka, działa również na dużo wyższym poziomie wiarygodności niż systemy elektroniczne. Projektując metodę identyfikacji osób na podstawie obrazu twarzy, autorzy zdecydowali się na oparcie systemu o możliwie naturalne, najbliższe biologicznej identyfikacji, metody. Optymalną rozdzielczość obrazu twarzy do celów budowy wzorcowej bazy twarzy, wyznaczono na podstawie badania stopnia percepcji człowieka w zadaniu identyfikacji [8]. Eksperyment polegał na określeniu minimalnej oraz średniej rozdzielczości obrazu twarzy pozwalającej na jednoznaczną identyfikację osoby znanej uczestnikowi badania (ekspertowi) oraz jednoznaczne odrzucenie osoby nieznannej.

Dzięki zastosowaniu projektora multimedialnego do budowy przedmiotowego stanowiska akwizycji, uzyskano możliwość wykorzystania go również do przeprowadzenia ww. badań. Badanie to przeprowadzono, zgodnie z autorską metodyką ich prowadzenia, w grupie 30 ekspertów w następujących warunkach pomiarowych:

- identyczna grupa obrazów dla wszystkich badanych osób;
- ten sam ekran projekcyjny dla wszystkich badanych osób;
- jednakowa odległość oczu od ekranu projekcyjnego;
- jednakowy rozmiar projekcji poszczególnych, wyświetlanych obrazów twarzy (zmienna wyłącznie rozdzielczość);
- górna krawędź ekranu projekcji na wysokości linii oczu;
- eksperci bez wady wzroku;
- jednakowe warunki oświetleniowe.

Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu można sformułować wniosek, że przeciętny człowiek najprawdopodobniej nie identyfikuje innych osób wyłącznie dzięki analizie zarejestrowanych wysokorozdzielczych obrazów twarzy. Okazało się ponadto, że skuteczność identyfikacji prowadzonej na obrazach w skali szarości plasowała się na zbliżonym poziomie jak identyfikacja oparta na obrazach kolorowych.

Wykorzystując m.in. omówione wyniki należy przyjąć, 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 (np. w ciągu komunikacyjnym) o wymiarach 2x2 metry, zastosowana kamera powinna pracować z rozdzielczością nie mniejszą niż 1000x1000, czyli powyżej 1 megapiksela.

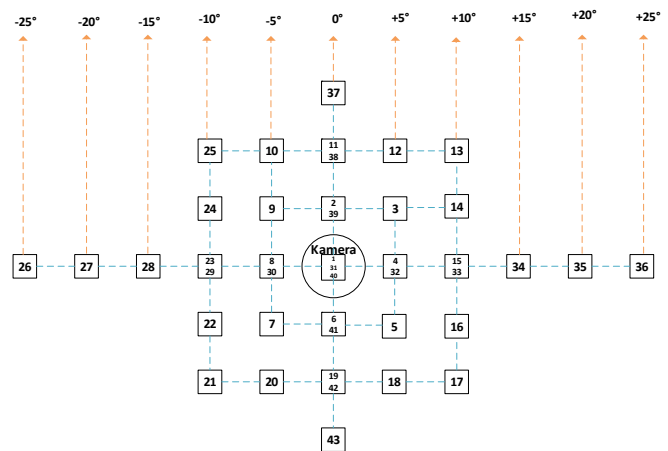
Budowa autorskiej bazy twarzy w oparciu o stanowisko multispektralne

Jak stwierdzono w powyższych fragmentach niniejszego opracowania, zasadniczym elementem w próbie rozwiązania problemu identyfikacji biometrycznej, jest budowa zestandaryzowanej autorskiej bazy danych. Baza taka powinna charakteryzować się m.in. odpowiednim zróżnicowaniem pod względem ustawienia twarzy względem kamery, zastosowanego oświetlenia oraz mimiki twarzy.

W celu zbadania wpływu oświetlenia na działanie algorytmów identyfikacji, konieczne było wykonanie akwizycji obrazów twarzy w różnych warunkach oświetleniowych. Do tego celu zastosowano trzy lampy z kompaktowymi świetlówkami światła ciągłego, które zapewniają trzy, skokowo zmieniane, poziomy oświetlenia.

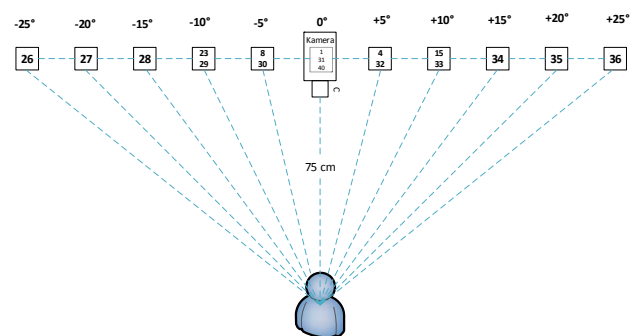
Kolejnym elementem projektu autorskiej bazy danych, która spełnia przyjęte właściwości badawcze, było ustalenie punktów pomiarowych (tj. ustawień twarzy względem

kamery). W tym celu zaprojektowano specjalną mapę, z nałożonymi numerami punktów pomiarowych, której istotę przedstawiono na rysunku 3. Dodatkowo, empirycznie wyznaczono górne i dolne progi detekcji twarzy w celu wyeliminowania różnic w źródłowej rozdzielczości obrazu twarzy spowodowanej wadami postawy. Przykładem mogą tu być osoby „zgarbione”, dla których, w analizowanym przypadku, różnica wzorcowej odległości twarzy od kamery, a co za tym idzie rozdzielczości, dla identycznych warunków konfiguracyjnych stanowiska akwizycji, może różnić się nawet o 20%. Opracowana metoda dodawania kolejnych obrazów twarzy do bazy polega na wyświetlaniu komunikatu optyczno-akustycznego o spełnieniu warunków akwizycji. Poza poprawą jednolitości budowanej bazy danych, zabieg taki ma korzystny wpływ również na komfort akwizycji, a co za tym idzie na skrócenie czasu jej trwania. Przykładowo: dodanie do bazy uczącej i testowej nowej osoby (po 46 obrazów dla 5 różnych scenariuszy pomiarowych), na zoptymalizowanym w opisany sposób stanowisku akwizycji, skrócono średnio z 19 do 9 minut.



Rys.3. Zestawienie punktów obrotu twarzy - widok z przodu

Jak widać na rysunku 3. mapa uwzględnia obrót twarzy względem kamery w poziomie o 25 stopni w lewo i prawo oraz w pionie o 15 stopni w górę i w dół. Widok z góry wnętrza komory bezcieniowej z uwzględnieniem punktów pomiarowych zaprezentowano na rysunku 4.



Rys.4. Zestawienie punktów obrotu twarzy - widok z góry

Dodatkowo dla każdej klasy dokonano akwizycji obrazów twarzy w 3 dodatkowych punktach pomiarowych:

- twarz skierowana na wprost kamery z uśmiechem,
- twarz skierowana na wprost kamery z otwartymi ustami (symulacja mowy),
- twarz skierowana na wprost kamery, z głową przechyloną w lewą oraz prawą stronę, aż do progu detekcji twarzy.

Końcowym efektem tworzonej bazy danych są trzy podbazy twarzy, przy różnym natężeniu oświetlenia oraz dwie podbazy dla zakresu bliskiej i średniej podczerwieni, zawierające łącznie ponad 10 000 różnych obrazów twarzy (45 osób x 49 obrazów dla w poszczególnej sytuacji oświetleniowej x 5 scenariuszy pomiarowych).

Na rysunku 5. zobrazowano fragment autorskiej bazy twarzy z zestawionymi obrazami uzyskanymi dla zakresu światła widzialnego i odpowiadającymi im obrazami dla zakresu bliskiej podczerwieni.



Rys.5. Zobrazowanie fragmentu autorskiej bazy twarzy

Podsumowanie i wnioski

Istotnym elementem w procesie budowy stanowiska akwizycji oraz tworzenia bazy danych biometrycznych jest zdefiniowanie celu, któremu ma służyć tworzona baza danych oraz wynikających z tego wymagań metrologicznych i technicznych.

Opisano tu strukturę autorskiego stanowiska akwizycji obrazów twarzy oraz jego możliwości badawcze. Podano zasadnicze walory autorskiej bazy danych biometrycznych. Wskazano na wartość użytkową i rozwojowo-badawczą zgromadzonych danych biometrycznych. Stanowisko to oraz utworzona multispektralna baza danych biometrycznych jest bardzo ważnym efektem niniejszej pracy. Baza ta ma uniwersalny charakter, ponieważ poza wymienioną użytecznością, umożliwi wykorzystanie jej do innych badań [20] - nie tylko w dziedzinie biometrii, ale również szeroko rozumianego cyfrowego przetwarzania obrazu. Przykładowo, pojedyncze rekordy zawierające obraz całej sceny mogą posłużyć jako źródło do opracowywania algorytmów detekcji ciała człowieka, w zależności od jego obrotu czy też poszczególnych jego elementów. Algorytmy tego typu są już spotykane w opracowaniach naukowych, jednak baza ta pozwala na rozwijanie i testowanie ich w systemach bazujących nie tylko na obrazie widzialnym, ale także w szerszym spektrum.

Istotnym wkładem autorów przy projektowaniu i zestawianiu stanowiska było opracowanie metody akwizycji obrazów twarzy w nietypowych warunkach oświetleniowych, w szczególności w zakresie bliskiej i średniej podczerwieni, gdy wymagane było prowadzenie

tego procesu bez użycia oświetlenia widzialnego. Opracowana metoda akwizycji danych umożliwiła automatyczną detekcję obrazów w określonych warunkach pomiarowych (m.in. przy określonym kącie obrotu twarzy), przy użyciu jednego detektora (np. kamery bliskiej podczerwieni lub kamery termowizyjnej). Zbudowane stanowisko, dzięki zastosowaniu optymalizacji audiowizualnej, pozwala na efektywne dodawanie kolejnych rekordów do bazy twarzy. W rezultacie uzyskano prawie dwukrotne zwiększenie szybkości akwizycji danych. Co więcej, dobór kątów obrotu głowy nie jest tu przypadkowy, ale wyznaczony został w oparciu o wyniki wielu przeprowadzonych eksperymentów m.in. na modelu 3D głowy. Jednym z problemów badawczych, na które natknęli się autorzy był brak dostępnych na rynku oświetlaczy podczerwieni dedykowanych do zastosowań biometrycznych. W związku z tym autorzy opracowali własne urządzenie pozwalające na pracę w dwóch trybach: manualnej regulacji natężenia oświetlenia IR, oraz pracy automatycznej dzięki zastosowanemu sterowaniu mikroprocesorowemu. Wykonane urządzenie pozwala na automatyczną detekcję obecności identyfikowanej osoby przed oświetlaczem/kamerą oraz dobór odpowiedniej wartości natężenia oświetlenia w stosunku do zmierzonej odległości osoby od oświetlacza. Urządzenie to zostało wykonane we współpracy ze studentem będącym członkiem Koła Naukowego Elektroników WAT. Dodatkowo zaprojektowany i wykonany został specjalny uchwyt pozwalający na symulację obrotu głowy w trzech osiach za pomocą statycznego modelu. Co więcej na podstawie przeprowadzonych eksperymentów, dotyczących stopnia percepcji człowieka w zadaniu identyfikacji, wyznaczono optymalną wartość rozdzielczości detekowanego obrazu twarzy przeznaczonego do dalszych badań.

Autorzy: dr inż. Michał Wiśnios, dr hab. inż. Tadeusz Dąbrowski, prof. WAT, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Systemów Elektronicznych, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa; E-mail: michal.wisnios@wat.edu, tdabrowski@wat.edu.pl

LITERATURA

- [1] Gao W., Cao B., Shan S., Chen X., Zhou D., Zhang X. Zhao D.: The CAS-PEAL Large-Scale Chinese Face Database and Baseline Evaluations, IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics—part A: Systems and humans, Vol. 38, No. 1 2008
- [2] H. Chang, H. Harishwaran, M. Yi, A. Koschan, B. Abidi, and M. Abidi : An Indoor and Outdoor, Multimodal, Multispectral and Multi-Illuminant Database for Face Recognition, Proceedings of the 2006 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop (CVPRW'06)
- [3] The Color FERET Database, źródło: <http://www.nist.gov/itl/iad/ig/face.cfm> - Baza udostępniona autorowi w 2014 roku dzięki uprzejmości National Institute of Standards and Technology
- [4] Wang H., Kang B., Kim D.: A Face Database in the Wild for Studying Face Identification and Verification in Uncontrolled Environment, Pattern Recognition (ACPR), 2013 2nd IAPR Asian Conference on, Naha 2013, pp. 356 – 360,
- [5] Mishra A., Kumar K., Rai S. N., Mittal V. K.: Multi-stage face recognition for biometric access, 2015 Annual IEEE India Conference (INDICON) ; Sri City India 2015, ss. 1-6
- [6] Maio D., Maltoni D., Cappelli R., Wayman J.L., Jain A.K.: Fingerprint verification competition, *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on* (Volume:24 , Issue: 3), 2002, ss. 402-412
- [7] Sprawozdanie merytoryczne z realizacji projektu rozwojowego PBR 574/2010 „Multibiometryczny system identyfikacji osób do przeciwdziałania zagrożeniom terrorystycznym”. WAT 2012
- [8] Wiśnios M., Dąbrowski T., Bednarek M., Wpływ czynników środowiskowych na proces identyfikacji osób w oparciu o obraz

- twarzy, *Pomiary Automatyka Kontrola (PAK)*, ss. 784-787, vol. 60, 9/2014
- [9] Wiśnios M., Dąbrowski T., Bednarek M., Badania weryfikacyjne metody rozpoznawania twarzy, *Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej*, nr 4/2013, 205-218
- [10] Pacan J., Jakubowski J., Wiśnios M., Zastosowanie transformacji SIFT w identyfikacji na podstawie obrazów termalnych twarzy, *Technika Transportu Szynowego*, nr 9/2012, s. 1899-1908
- [11] Wiśnios M., Dąbrowski T., Bednarek M.: Analiza wiarygodności identyfikacji multibiometrycznej typu „odciski palców”. *Problemy Eksploatacji (Credibility analysis of a multi-biometric identification system for fingerprints. Maintenance Problems)*, vol. 2/2013, ss. 105-115
- [12] Dąbrowski T., Wiśnios M.: Koncepcja pokładowego systemu monitoringu kierowcy, *Logistyka* 3/2015
- [13] Dobrowolski A. P., Jakubowski J., Majda E., Pacan J., Wiśnios M., Przetwarzanie wybranych danych biometrycznych na potrzeby identyfikacji tożsamości, w: *Badanie i wnioskowanie diagnostyczne - wybrane zagadnienia, pod redakcją naukową T. Dąbrowskiego, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2013*, s. 51-98
- [14] Wiśnios M., Dąbrowski T., Review of Selected Techniques and Measures Affecting the Reliability of Face Image Acquisition Systems, *Journal of KONBiN*. z. 1(29)/2014, 49-58,
- [15] Wiśnios M., Dąbrowski T., Bednarek M.: Review of selected techniques and measures affecting the reliability of face image acquisition systems, *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 91 no 10/2015, s. 229-232
- [16] Kwiatkowski W.: *Metody automatycznego rozpoznawania wzorców*, Warszawa 2007
- [17] Skomorowski M.: *Wybrane zagadnienia rozpoznawania obrazów* Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2013, ss. 7-70
- [18] Bolle R. M., Connell J. H., Pankanti S., Ratha N. K., Senior A. W.: *TAO Biometria*, WNT Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 2008
- [19] Burton M., Bruce V., Hancock P.J.B.: *From Pixels to People: A Model of Familiar Face Recognition*, *Cognitive Science* Volume 23, Issue 1, New York 1999, pp. 1-31,
- [20] Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A., Evaluation of safety of highway CCTV system's maintenance process, *Communications in Computer and Information Science* 2014, 471, pp. 69-79