

Mariusz MARZEC¹, Robert KOPROWSKI², Zygmunt WRÓBEL²

¹ INSTYTUT INFORMATYKI, POLITECHNIKA ŚLĄSKA, ul. Akademicka 16, 44-101 Gliwice

² ZAKŁAD KOMPUTEROWYCH SYSTEMÓW BIOMEDYCZNYCH, INSTYTUT INFORMATYKI, UNIwersYTET ŚLĄSKI W KATOWICACH, ul. Będzińska 39, 41-200 Sosnowiec

Lokalizacja charakterystycznych cech twarzy na termogramach w powiązaniu z obrazami w świetle widzialnym

Mgr Mariusz MARZEC

Student Studium Doktoranckiego Informatyki na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej. Zainteresowania związane z analizą i przetwarzaniem obrazów, bazami danych oraz programowaniem. Autor i współautor kilku artykułów i publikacji.



e-mail: m.mariusz2@vp.pl

Prof. dr hab. inż. Zygmunt WRÓBEL

Kierownik Zakładu Komputerowych Systemów Biomedycznych, Instytutu Informatyki, Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. Zainteresowania naukowe: komputerowa analiza i przetwarzanie sygnałów i obrazów biomedycznych oraz techniki informatyczne w medycynie i biotechnologii. Jest autorem i współautorem kilkudziesięciu prac naukowych. Współautor monografii: "Automatyczne metody analizy orientacji mikrotubul", "Praktyka przetwarzania obrazów z zadaniami w programie Matlab".



e-mail: zygmunt.wrobel@us.edu.pl

Dr inż. Robert KOPROWSKI

Adiunkt w Zakładzie Komputerowych Systemów Biomedycznych, Instytutu Informatyki Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. Zainteresowania naukowe: komputerowa analiza i przetwarzanie sygnałów i obrazów biomedycznych oraz techniki informatyczne w medycynie i biotechnologii. Jest autorem i współautorem kilkudziesięciu prac naukowych. Współautor monografii: "Automatyczne metody analizy orientacji mikrotubul", "Praktyka przetwarzania obrazów z zadaniami w programie Matlab".



e-mail: robert.koprowski@us.edu.pl

1. Łączenie analizy termogramów z analizą w świetle widzialnym

Celem opisanego w artykule rozwiązania jest lokalizacja wybranych cech twarzy na termogramie zawierającym głowę w projekcji przedniej. W literaturze zwraca się uwagę na trudności występujące w analizie tej klasy obrazów takie jak słaba ostrość, niska rozdzielczość, rozmyte krawędzie, brak możliwości analizy kolorów [1, 2, 3]. Dlatego też podejmowane są próby eliminacji tych problemów poprzez łączenie przetwarzania obrazu z kamery termowizyjnej i światła widzialnego. Próby wykorzystania obrazów z dwóch kamer zaprezentowano w pozycji [4]. Autorzy proponują wykorzystanie obrazów ze specjalnie rozmieszczonych kamer tak, aby możliwa była prawidłowa akwizycja obu obrazów. Istotnym elementem jest, zatem kalibracja położenia obu urządzeń. Na wstępie jest przeprowadzana analiza obrazu w świetle widzialnym wraz z detekcją narożników ust, oczu i określeniem orientacji głowy. W drugim etapie autorzy wyznaczają punkty charakterystyczne na obrazie termowizyjnym, dzięki zastosowaniu specjalnie przygotowanego trójwymiarowego modelu twarzy w powiązaniu z informacjami uzyskanymi z obrazu termowizyjnego. Pozwala to uniknąć problemów związanych ze słabym kontrastem na obrazach termowizyjnych. W artykule [5] zaproponowano metodę rozpoznawania twarzy bazującą na analizie obrazów uzyskiwanych z dwóch typów kamer. Autorzy zwracają uwagę, że rozpoznawanie twarzy w świetle widzialnym jest skuteczniejsze niż w termowizji. Ale już połączenie obu metod daje lepsze rezultaty niż stosowanie każdej z nich z osobna. Proces rozpoznawania jest przeprowadzany w oparciu o analizę składowych głównych (PCA). Faza wstępnego przetwarzania jest jednak wykonywana manualnie. Operator zaznacza środki oczu, co wpływa pozytywnie na skuteczność rozpoznawania, która z pewnością byłaby mniejsza gdyby faza lokalizacji charakterystycznych cech twarzy była przeprowadzana automatycznie.

W artykule [6] ponownie zaproponowano połączenie metod w rozpoznawaniu twarzy. Na obrazie w świetle widzialnym zaznaczane są charakterystyczne punkty takie jak środki oczu i usta. Na termogramie zaznaczane są prostokątne obszary obejmujące otoczenie tych punktów. Następnie wykonywane jest porównanie obu uzyskanych obrazów ze zbiorem obrazów wzorcowych. Określenie stopnia podobieństwa jest określone poprzez ważoną sumę podobieństw uzyskanych w świetle widzialnym i termowizji. Zdaniem autorów skuteczność łączna jest większa niż uzyskana osobno jedną lub drugą metodą, dodatkowo pozwala na rozpoznawanie twarzy z okularami. Kolejne przykłady zaprezentowano w pozycjach [7, 8] gdzie zastosowano fuzję obu typów obrazów. W tym przypadku każdy piksel obrazu z kamery termowizyjnej jest łączony z odpowiadającym mu pikselem obrazu z kamery standardowej, według ustalonej zależności. Zdaniem autora po-

Streszczenie

W artykule przedstawiono algorytm analizy twarzy na termogramach z możliwością wsparcia obrazami w świetle widzialnym. Zaproponowane rozwiązanie bazuje na analizie termogramu a obraz widzialny służy do weryfikacji uzyskanych wyników i do wyznaczania elementów twarzy bardzo trudnych do lokalizacji w termowizji. Dzięki połączeniu obu technik osiągnięto wysoką skuteczność bez względu na orientację, położenie głowy w obrazie czy wpływ tła. Precyzyjne wyniki lokalizacji na termogramie umożliwiły zastosowanie prostych technik lokalizacji oczu i linii ust, w świetle widzialnym. Wyznaczone cechy twarzy były następnie zaznaczane na termogramie.

Słowa kluczowe: termogramy twarzy, algorytm, analiza obrazów, lokalizacja cech twarzy.

Localization of characteristic facial features on thermograms in connection with images in the visible spectrum

Abstract

In this paper there is introduced an algorithm of face analysis on thermograms with possibility of support by images in the visible spectrum. The proposed solution is based on thermograms and a visible image is used to verify the obtained results and to detect the faces elements very difficult to be localized in thermovision. The first part of this process is an analysis of thermograms. Its main purpose is localization and computing orientation of a head. Next, the algorithm uses special template to precise localize the lines of eyebrows and the face symmetry. According to these results, in the next steps the regions of eyes, nose and forehead are detected. The second part is an analysis in the visible spectrum. Here the algorithm localizes the eyes and line of the mouth. Thanks to the results of thermogram segmentation, the position and orientation of the head are normalized and only selected areas are analyzed. These face features are next marked on the thermogram. Thanks to connection of both techniques, the high efficiency was achieved in spite of orientation and localization of the head in the image and influence of the background. The precise results of localization on the thermogram allowed using a simple technique of the eyes and line of the mouth localization in the visible spectrum.

Keywords: face thermograms, algorithm, image analysis, faces feature localisation.

zwala to wydobyc z obu obrazów dodatkowe informacje pozwalające na zwiększenie skuteczności lokalizacji twarzy i oczu.

W prezentowanym rozwiązaniu zastosowano inne podejście oraz rozszerzono możliwości algorytmu o analizę obrazów o nieznanym położeniu i orientacji głowy. Algorytm automatycznie lokalizuje na termogramie głowę, wyznacza położenie oczodołów, linii brwi, zarysu nosa, zatok przynosowych i obszaru czoła. Z uwagi na dużą trudność w lokalizacji kolejnych cech twarzy takich jak na przykład linia ust (na którą zwracają uwagę autorzy podobnych rozwiązań [9]) zaproponowano możliwość połączenia wyników uzyskanych przy analizie termogramu z analizą obrazu widzialnego. Poglądowy schemat działania zaprezentowano na rys. 1.

Wydzielenie sylwetki człowieka i eliminacja tła	Termogram
Określenie konturu głowy, wielkości i wstępnej orientacji	
Precyzyjna lokalizacja linii brwi, osi symetrii nosa.	
Normalizacja położenia i orientacji głowy.	
Lokalizacja oczodołów i brwi	
Lokalizacja punktów charakterystycznych nosa	
Zaznaczenie obszaru czoła z eliminacją wpływu fryzury	
Lokalizacja oczu (tęczówek)	Obraz widzialny
Lokalizacja linii ust	
Przeniesienie informacji z obrazu widzialnego na termogram	

Rys. 1. Proces analizy obrazów
Fig. 1. Process of image analysis

Jako pierwszy element całego procesu przetwarzania zastosowano algorytm analizy twarzy na termogramach opisany w publikacjach [11, 12, 13] bazujący na metodach segmentacji takich jak erozja warunkowa, aktywny kontur, dopasowanie szablonów, transformata Hougha.

Opracowana metoda pozwala na łatwą eliminację tła i wydzielenie głowy również w przypadkach o nieokreślonym położeniu i orientacji na scenie.

Drugi etap to analiza obrazu widzialnego. Blok ten wykorzystuje dane uzyskane w przetwarzaniu termogramu do określenia położenia interesujących obszarów (oczy, usta) oraz do przeprowadzenia normalizacji głowy w obrazie widzialnym. Ostatecznie uzyskane rejony są zaznaczone na badanym termogramie.

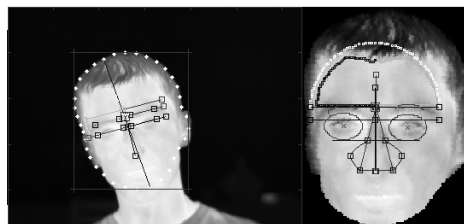
Do badań wykorzystano zbiór 78 par obrazów w postaci termogramu i obrazu widzialnego, które zostały wykonane za pomocą kamery T335 firmy FLIR. Urządzenie wyposażone jest w dwa obiektywy. Obrazy wykonano w trybie „fuzji”, czyli jednocześnie wykonywania zdjęcia kamerą termowizyjną i światła widzialnego. Rozdzielczość optyczna obrazów uzyskanych w tym trybie to 320x240 pikseli. Obrazy zapisywane są w specjalnym zmodyfikowanym pliku .jpg. Za pomocą oprogramowania narzędziowego producenta kamery (aplikacje ThermaCamResearcher i FLIR Quick Report) przeprowadzany został eksport obrazu widzialnego do pliku .bmp a termogramu do pliku .mat. Cały proces analizy został zaimplementowany w pakiecie Matlab.

2. Lokalizacja cech twarzy na termogramie

Poniżej został omówiony skrótowo proces przetwarzania termogramu (dokładnie opisany w pozycjach [10, 11, 12, 13]). Na wstępie jest przeprowadzone wydzielenie sylwetki człowieka i eliminacja tła, dobór progu temperatury przebiega automatycznie. Następnie wyznaczany jest obszar głowy i jej zarys z zastosowaniem erozji warunkowej i aktywnego konturu. W tym kroku jest również ustalana przybliżona orientacja głowy na podstawie jej kształtu. Wartości te służą jako parametry pracy detektora zwanego T-Szablonem [10, 11, 12], którego zadaniem jest precyzyjne określenie kąta rotacji względem osi OY oraz położenia punktu przecięcia linii brwi i osi symetrii nosa na podstawie rozkładu jasności (temperatury) w centralnym obszarze twarzy.

Po normalizacji położenia i orientacji głowy przeprowadzany jest proces lokalizacji oczodołów. Zastosowanie transformaty Hougha pozwala na wyznaczenie ich środków oraz zarysu.

Istotnym elementem jest automatyczne określenie zakresów wielkości wyszukiwanych elips (aproxymujących oczodoły) w oparciu o zależności antropometryczne i wielkości głowy. Na podstawie położenia środków oczodołów określany jest przybliżony obszar lokalizacji elementów nosa. Na tym etapie, specjalnie przygotowany detektor nozdrzy [10, 11, 12] pozwala określić punkty krańcowe nosa. Ostatnim etapem jest weryfikacja osi symetrii twarzy na bazie wyników detekcji nosa oraz segmentacja obszaru czoła z eliminacją wpływu fryzury i zróżnicowanego rozkładu temperatury.

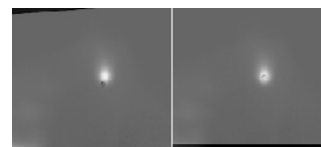


Rys. 2. Wyniki analizy termogramu
Fig. 2. Results of thermogram analysis

Na rys. 2 zaprezentowano wyniki uzyskane przez algorytm lokalizacji cech twarzy na termogramie. Przedstawiono przypadek gdzie głowa nie jest ustawiona w pionie. Zaprezentowano również wynik segmentacji termogramu po normalizacji i wyznaczeniu obszaru głowy. Obserwujemy, że algorytm prawidłowo określa jej orientację, położenie i zarys. Analiza rejonu głowy wspomnianym T-Szablonem pozwala na precyzyjne określenie linii brwi i osi symetrii nosa oraz ich punktu przecięcia. Algorytm pozwala na eliminację typowych problemów występujących przy segmentacji termogramów: ubiór, zakłócenia spowodowane tłem i fryzurą [12] Należy zwrócić uwagę, że badany zbiór obejmował także termogramy gdzie głowa była pochylona w prawo lub lewo. Przykłady takich rozwiązań w przypadku termogramów są nieliczne [1, 14].

3. Lokalizacja cech twarzy w świetle widzialnym

Drugi etap to segmentacja twarzy w świetle widzialnym. Aby połączyć wyniki analizy konieczne było wstępne dopasowanie obrazów, które zostało przeprowadzone na podstawie określenia wzajemnego przesunięcia obrazów ze specjalnie przygotowanym markerem.



Rys. 3. Obraz markera przed i po kalibracji
Fig. 3. Marker before and after calibration

W odległości 1 metra od kamery umieszczono arkusz z przytoczonym metalowym elementem (reprezentującym marker) pomalowanym na czarno o temperaturze około 37 °C. Dzięki temu możliwe było zaobserwowanie tego samego punktu na termogramie i obrazie widzialnym i określenie przesunięcia obrazów wynikającego z położenia obiektywów kamery względem siebie.

Przesunięcie osi obiektywów kamer o około 4 w osi X i 2 centymetry w osi Y, dla odległości badanego obiektu umieszczonego w odległości 1 metra wprowadzało nieznaczne przesunięcie, odpowiednio w osi X 0-2 pikseli, w osi Y 5-7 pikseli pomiędzy termogramem i obrazem widzialnym.

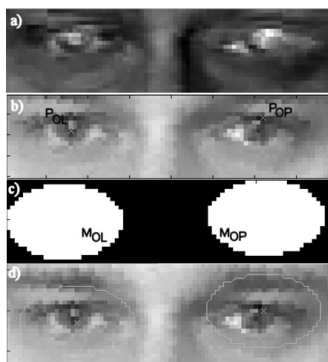
Dzięki precyzyjnej lokalizacji twarzy, jej cech oraz normalizacji położenia i orientacji przeprowadzonej na termogramie, potencjalne rejony analizy oczu i ust znacznie ograniczają zakresy

przeszukiwania, co wpływa pozytywnie na skuteczność i szybkość działania. W wyniku przetwarzania termogramu uzyskiwane są informacje o położeniu rejonów takich jak:

- obszar głowy, położenie i orientacja
- rejon oczodołów i ich środki
- punkt przecięcia linii brwi i osi symetrii nosa
- punkty krańcowe nosa i obszar zatok
- obszar czoła z eliminacją wpływu fryzury

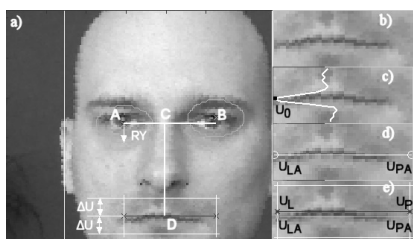
Na podstawie tych danych określone są odpowiadające im elementy na obrazie w świetle widzialnym. Obraz widzialny w razie konieczności jest również poddawany rotacji i translacji tak, aby uzyskać położenie i orientację głowy zgodną z termogramem.

Pierwszy etap to lokalizacja tęczy, czyli weryfikacja położenia środków oczodołów wyznaczonych na termogramie. Zastosowano tu proste metody znane z literatury [15, 16, 17, 18] bazujące na charakterystycznym rozkładzie kolorów w okolicy oczu i analizie morfologicznej – rys. 4a. Pozwoliło to na skuteczną detekcję tęczy we wszystkich badanych obrazach bez względu na położenie, orientację czy tło na obrazie widzialnym – rys. 4b. Z uwagi na precyzyjne określenie obszaru wyszukiwania (maska M_{OL}, M_{OP}) – rys. 4c nie było konieczne stosowanie skomplikowanych metod klasyfikacji wyznaczonych tęczy. Algorytm przeprowadza binaryzację obszaru oczu (rys. 4a) ze zmiennym progami. Proces przebiega do momentu, aż zostaną znalezione dwa skupiska punktów, ze środkami w punktach P_{OL} i P_{OP} , z których jeden zawiera się w masce lewego (M_{OL}) a drugi prawego oczodołu (M_{OP}), ustalonych przy analizie termogramu – rys. 4c. Zastosowano metodę k-means z zadaną wartością liczby skupień równą 2.



Rys. 4. Lokalizacja tęczy i maski binarne z przetwarzania termogramu
Fig. 4. Iris localization and binary mask after thermogram processing

W przypadku lokalizacji linii ust do wstępnego określenia zakresu wyszukiwania zastosowano metody oparte na antropometrii [19, 20]. Wstępne położenie rejonu zawierającego usta zostało określone na podstawie długości i położenia odcinka $AB=CD$ będącego odległością punktów P_{OL} i P_{OP} (rys. 4b - dla lewego i prawego oka – rys. 5a).



Rys. 5. Lokalizacja linii ust na obrazie z rys. 6
Fig. 5. Mouth line localization on image of Fig. 6

Jako szerokość obszaru przyjęto odległość pomiędzy tęczykami – AB , jako wysokość określono $2 \cdot \Delta U$ gdzie $\Delta U = RY$ (promień elipsy, w osi OY , oczodołu wyznaczonego przez algorytm analizy termogramu). Do ostatecznego określenia położenia linii ust zastosowano metodę projekcyjną dla obrazu w skali szarości

podobną do rozwiązań znanych z literatury [20, 21, 22]. Możliwe to było dzięki precyzyjnej normalizacji orientacji głowy oraz określenie jej wielkości i położenia środków oczu.

Proces lokalizacji linii ust polegał na wyznaczeniu minimalnej wartości funkcji projekcji na oś Y wycinka obrazu (zaznaczonego na rys. 5a) zawierającego usta. Na rys. 5b przedstawiono analizowany fragment obrazu (w skali szarości I_{UGray}) zawierający usta a następnie na rys. 5c funkcję projekcji na oś Y (odpowiednio wyskalowaną, aby można było zaprezentować ją na obrazie) z zaznaczoną minimalną wartością U_0 . Wartościami funkcji są sumy jasności pikseli dla każdego wiersza obrazu I_{UGray} .

Na kolejnym rysunku rys. 5d zaprezentowano wynikową lokalizację linii ust. Długość odcinka linii ust określona jest, podobnie jak w artykule [23], jako odległość pomiędzy wyznaczonymi środkami oczu – odcinek AB . Na rys. 5e widać dwa odcinki $U_L U_P$ – położenie wstępne i $U_{LA} U_{PA}$ – lokalizacja linii ust po analizie wycinka obrazu I_{UGray} .

W celu określenia skuteczności działania algorytmu ustalono założenia określające poprawną i niepoprawną lokalizację. W przypadku lokalizacji oczu za poprawne przyjęto przypadki, gdy wyznaczone punkty (P_{OL}, P_{OP}) – rys. 4b, pokrywają się z pikselami obrazu należącym do obszaru tęczy.

Dla linii ust jest to sytuacja, gdy odcinek (U_{LA}, U_{PA}) – rys. 5e reprezentujący wyznaczoną linię ust pokrywa się z faktycznym obszarem ust. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że we wszystkich przypadkach gdzie analiza termogramu przebiegała prawidłowo, otrzymane informacje pozwoliły na skuteczną lokalizację środków oczu i linii ust na obrazie w świetle widzialnym. Skłania to do wniosku, że można zastosować nawet proste metody analizy obrazu widzialnego, gdy uzyskano precyzyjnie wyznaczone obszary na podstawie analizy termogramu.

4. Połączenie efektów przetwarzania obrazów

Na rys. 6 zaprezentowano efekty działania algorytmu z zaznaczeniem lokalizacji rejonów, w świetle widzialnym, na wydzielonym z termogramu wycinku twarzy i na termogramie.



Rys. 6. Cechy twarzy zaznaczone na termogramie i obrazie widzialnym
Fig. 6. Face features marked on the thermogram and visible image

Obserwujemy, że przy właściwym dopasowaniu obrazów używano bardzo dużą precyzję przy lokalizacji oczu i linii ust dzięki połączeniu obu metod. Przedstawiono zróżnicowane przypadki zarówno pod względem koloru skóry, oświetlenia, tła, położenia czy orientacji. Wszystkie elementy twarzy z wyjątkiem tęczy i linii ust są wyznaczane na etapie analizy termogramu.

W rozwiązaniach stosowanych w literaturze obszar ust na termogramach najczęściej jest zaznaczony za pomocą prostokątnego rejonu [2, 9]. Autorowi nie udało się znaleźć w literaturze przykładów podobnej precyzji lokalizacji linii ust z wykorzystaniem jedynie analizy termogramu, co uzasadniało zastosowanie dodatkowej analizy w świetle widzialnym.

5. Wnioski

Otrzymane wyniki potwierdziły skuteczność połączenia metod przetwarzania obu klas obrazów, a rozbudowa algorytmu o analizę w świetle widzialnym pozwoliła na lokalizację kolejnych cech twarzy na termogramie. Zastosowano odmienne podejście od przykładów spotykanych w literaturze, jako blok podstawowy zastosowano analizę obrazu z kamery termowizyjnej. Problematyczna była jedynie prawidłowa kalibracja (czyli dopasowanie) obrazów pozyskanych z kamery termowizyjnej i światła widzialnego. W prezentowanym rozwiązaniu uzyskano ją poprzez zastosowanie urządzenia wyposażonego w dwa położone blisko siebie obiektywy, pozwalające na wykonanie jednocześnie dwóch rodzajów zdjęć. W sytuacji, gdy celem procesu byłaby lokalizacja oczu i linii ust na zdjęciu widzialnym (przy wsparciu analizą termogramu) są to wartości wystarczające do określenia właściwej pozycji tych elementów twarzy. W przypadku, gdy cechy twarzy wyznaczone w świetle widzialnym mają być dodatkowo przeniesione na termogram, może być konieczna ręczne dopasowanie obrazów w zakresie kilku pikseli. W badanym zbiorze dla przyjętych wartości dopasowania obrazów wyznaczone elementy pokrywały się z faktycznym położeniem elementów twarzy na obrazie. Potwierdziła się przyjęta teza, że wstępna analiza obrazów przeprowadzona na termogramie ma pozytywny wpływ analizę w świetle widzialnym i dodatkowo pozwala na zastosowanie prostych metod o niewielkim nakładzie obliczeniowym i czasowym. Zaobserwowano również, że pomimo wspomnianej kalibracji obrazów trudno jest uzyskać idealnie to samo położenie obiektów na obrazach względem siebie dla wszystkich badanych przypadków. Nasuwającym się rozwiązaniem tego problemu mogłoby być zastosowanie sztucznych markerów umiejscowionych na twarzy (jednak ograniczałoby to w pewnym stopniu swobodę wykonywania zdjęć) lub zastosowanie urządzenia, w którym nie występowałyby przesunięcia obiektywów względem siebie. W opisanym przypadku, gdzie celem była lokalizacja wspomnianych elementów twarzy na termogramie, przyjęte rozwiązania pozwoliły na niedokładność rzędu kilku pikseli (w przypadku linii ust) czyli precyzję większą niż we wspomnianych publikacjach [2, 9]. Uzyskane wyniki segmentacji mogą posłużyć w kilku dziedzinach do usprawnienia analizy z wykorzystaniem komputera. Propozycje zastosowania analizy termogramów spotykamy w medycynie [24], rozpoznawaniu osób w biometrii [3, 6, 7, 8], określeniu emocji na podstawie rysów twarzy [2] lub temperatury czoła [25] czy automatycznym sterowaniu urządzeniami [26].

6. Literatura

- [1] Wua S., Jianga L., Xiea S., Yeo A.C.B.: A robust method for detecting facial orientation in infrared images. *Pattern Recognition Volume 39, Issue 2, Part Special Issue: Complexity Reduction*. pp. 303-309, 2006.
- [2] Trujillo L., Olague G., Hammoud R., Hernandez B.: Automatic feature localization in thermal images for facial expression recognition *Computer Vision and Pattern Recognition – Workshops, IEEE Computer Society Conference*, s.14-21, 2005.
- [3] Kong S.G., Heo J., Abidi B.R., Paik J., Abidi M.A.: Recent advances in visual and infrared face recognition – a review, the *Journal of Computer Vision and Image Understanding*, vol. 97, s. 103-135, 2005.
- [4] Wang J., Sung E.: Facial feature extraction in an infrared image by proxy with a visible face image. *IEEE, Instrumentation and Measurement*, vol. 56, s. 2057-2066, 2007.
- [5] Chen X., Flynn P.J., Bowyer K.: IR and visible light face recognition. *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 99, Issue 3, pp. 332-358, September 2005.
- [6] Arandjelovic O., Hammoud R., Cipolla R.: On Person Authentication by Fusing Visual and Thermal Face Biometrics. *Video and Signal Based Surveillance. IEEE International Conference*, pp. 50-50, 2006.
- [7] Hanif M., Ali U.: Optimized Visual and Thermal Image Fusion for Efficient Face Recognition. In *Proceedings of 9-th International Conference on Information Fusion, Florence, Italy*, pp.1-6, 2006.
- [8] Heo J.: Fusion of Visual and Thermal Face Recognition Techniques: A Comparative Study. The University of Tennessee, Knoxville, October, <http://imaging.utk.edu/publications/papers/dissertation>, 2003.
- [9] Martinez B., Binefa X., Pantic M.: Facial Component Detection in Thermal Imagery. *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2010 IEEE Computer Society Conference on*, pp. 48 – 54, San Francisco, 2010.
- [10] Marzec M., Koprowski R., Wróbel Z.: Wyznaczanie charakterystycznych obszarów twarzy na zdjęciach termowizyjnych. *Inżynieria Biomedyczna*. vol.15, 2/2009, s. 149-152, 2009.
- [11] Marzec M., Koprowski R., Wróbel Z.: Badanie właściwości algorytmu detekcji cech twarzy na obrazach termowizyjnych. *Informatyzacja ochrony zdrowia. Wybrane zagadnienia* Wyd. Polskie Tow. Informatyczne, s.135-151, Katowice 2008.
- [12] Marzec M., Koprowski R., Wróbel Z.: Detection of selected face areas on thermograms with elimination of typical problems. *Journal of Medical Informatics & Technologies* Vol. 16/2010, pp.151-159, 2010.
- [13] Marzec M., Koprowski R., Wróbel Z.: Automatyczny pomiar temperatury na termogramach w diagnostyce bólów głowy. *Pomiary Automatyka Kontrola*, nr 2009, vol. 55, nr 11, ss. 923-926, 2009.
- [14] Wua S., Linb W., Xiea S.: Skin heat transfer model of facial thermograms and its application in face recognition. *Pattern Recognition Volume 41, Issue 8*, pp. 2718-2729, August 2008.
- [15] Hsu R.L., Abdel-Mottaleb M., Jain A.K.: Face detection in color images. *IEEE, Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.24, s. 696-706, 2002.
- [16] Nasiri J.A., Amir Moulavi M., Deldari H., Sadoghi Yazdi H., Soltani A.: An efficient parallel eye detection algorithm on facial color images - (SNPD'08), 9th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing, pp.1-4, 2008.
- [17] Shafi M., Chung P.W. H.: A Hybrid Method for Eyes Detection in Facial Images. *International Journal of Electrical, Computer, and Systems Engineering* 3:4, pp.231-236, 2009.
- [18] Huang W., Mariani R.: Face Detection and Precise Eyes Location. In *Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, pp. 722-727, 2000.
- [19] Sohail A.S.M., Bhattacharya P.: Detection of Facial Feature Points Using Anthropometric Face Model. *IEEE International Conference on Signal-Image Technology and Internet-Based Systems, Tunisia, December, 2006*, pp. 656-665. Springer Lecture Note Series in Computer Science (LNCS), 2006.
- [20] Berbar M.A.: Faces and facial feature detection in color images, *Geometric Modeling and Imaging-New Trends*, pp.209-214, 2006.
- [21] Gu H., Su G., Du C.: Feature Points Extraction from Faces. *Image and Vision. Computing NZ*, pp.154-158, 2003.
- [22] He L.W., Chia T.L., Yang C.K.: A geometric invariant approach to human face verification. *Journal of information science and engineering*, vol. 22; part 3, pp. 511-534, 2006.
- [23] Shih F.Y., Chuang Ch.Fa.: Automatic extraction of head and face boundaries and facial features. *Information Sciences-Informatics and Computer Science: An International Journal*, v.158 n.1, pp.117-130, January 2004.
- [24] Koprowski R., Wojaczyńska-Stanek K., Wróbel Z.: Diagnostyka bólów głowy na podstawie sekwencji obrazów termowizyjnych. *XIV konferencja pt. Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna, Komitet Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN, KBIB-2005, Wyd. Pol. Częstochowska*, s.279-284, 2005.
- [25] Zhu Z., Tsiamyrtis P., Pavlidis I.: Forehead thermal signature extraction in lie detection. *Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE*, Lyon, pp.243-246, 2007.
- [26] Krotosky S.J., Cheng S.Y., Trivedi M.M.: Face Detection and Head Tracking using Stereo and Thermal Infrared Cameras for "Smart" Airbags: A Comparative Analysis. *Intelligent Transportation Systems. Proceedings. The 7th International IEEE Conference on*, pp.17-22, 2004.