

**Sebastian BUDZAN**POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT AUTOMATYKI, ZAKŁAD POMIARÓW I SYSTEMÓW STEROWANIA,  
Akademicka 16, 44-100 Gliwice**Automatyczna lokalizacja twarzy oraz oczu w termogramach dla potrzeb pomiaru temperatury**

Dr inż. Sebastian BUDZAN

Ukończył studia magisterskie na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej, na kierunku Automatyka i Robotyka, specjalności Systemy Pomiarowe. W roku 2008, na tym samym wydziale uzyskał stopień doktora nauk technicznych, gdzie pracuje na stanowisku adiunkta w Zakładzie Pomiarów i Systemów Sterowania. Swoje zainteresowania naukowe koncentruje wokół metod przetwarzania obrazów 2D/3D w systemach pomiarowych oraz problematyki pomiarów termowizyjnych.

e-mail: [sebastian.budzan@polsl.pl](mailto:sebastian.budzan@polsl.pl)**Streszczenie**

W artykule omówiono opracowany w Instytucie Automatyki algorytm, który umożliwia automatyczny pomiar temperatury w kącikach ludzkich oczu. Pomiar termowizyjny temperatury wewnętrznej ludzkiego ciała stanowi alternatywę dla tradycyjnych-stykowych metod pomiaru temperatury na czole, czy też pod pachą. Zaprezentowany w pracy algorytm pozwala na dokładną lokalizację twarzy oraz oczu, a następnie wykorzystując metodę segmentacji i morfologii na określenie obszarów kącików oczu i pomiar temperatury.

**Słowa kluczowe:** lokalizacja twarzy, termogram, przetwarzanie obrazów.

**Automatic localization of face and eyes in thermal images for temperature measurement****Abstract**

The algorithm for detection of face and eyes in thermal images developed in the Automatic Control Institute is presented in this paper. There are also presented some major problems connected with face detection in thermal images. Face detection and recognition have been the active research area for more than thirty years. Many studies have proved that face recognition in the thermal spectrum offers a few distinct advantages over the visible spectrum. Thermal imagery is independent of ambient lightning, because IR sensors only measure the heat emitted by the object – human body. Thermovision measurement of the human body's internal temperature is an alternative to traditional methods of the temperature measurement on the forehead or underarm. The algorithm presented in the paper allows the exact localization of the face and eyes, and then using the segmentation method determination of the corners of the eye area and measurement of the temperature in their area. The face detection and recognition algorithms are based on a local feature representation. The proposed algorithm is based on the modified Randomized Hough Transform of the face and eyes verification procedure and, finally, on the segmentation growing with morphological operations for localization of the eyes corner area. Then in these two localized areas the temperature is measured. The paper also discusses experimental studies and the results which allowed evaluating the effectiveness of the developed algorithm.

**Keywords:** face localization, thermal images, image processing.

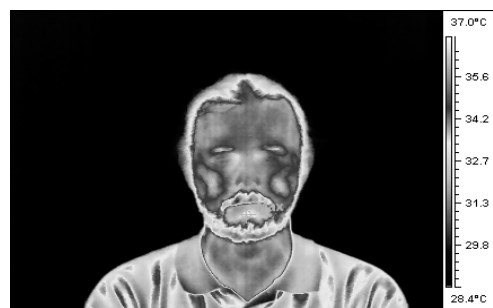
**1. Wprowadzenie**

Detekcja twarzy jest jedną z technik identyfikacji ludzi w systemach biometrycznych, które to mają na celu wykorzystanie indywidualnych cech fizycznych, bądź behawioralnych człowieka. Problematyka detekcji twarzy jest szeroko opisywana w literaturze [1, 2], jako wynik szeregu badań naukowych. Często stosowana jest również w rozwiązaniach komercyjnych, przede wszystkim w urządzeniach cyfrowego zapisu obrazu wizyjnego, detekcji stanów emocjonalnych osób. Te zastosowania oczywiście ukierunkowane są na wykorzystanie obrazów w uzyskanych w świetle widzialnym. Zastosowanie pomiaru termowizyjnego,

w wyniku którego otrzymuje się termogram w postaci macierzy wartości temperatur o przykładowym rozmiarze 384 x 288 punktów otwiera nowe możliwości projektowania algorytmów detekcji twarzy oraz jej elementów. Pomiar temperatury ludzkiego ciała w rozumieniu jego wewnętrznej temperatury umożliwia wczesne wykrycie stanu chorobowego. Pomiar ten może być realizowany klasyczną metodą poprzez pomiar stykowy na czole, bądź pod pachą, jak również metoda termowizyjną. Przewaga metody termowizyjnej uwidacznia się w sytuacjach, w których należy wykonać szereg pomiarów różnych osób w miejscach, które nie pozwalają na łatwe przeprowadzenie pomiaru temperatury, np.: lotniska, stacje metra, korytarze. Pomiar termowizyjny w takim razie staje się alternatywą dla pomiarów tradycyjnych-stykowych. Jego wykorzystanie wiąże się jednak z koniecznością m.in. interpretacji termogramów, w rozwiązaniu klasycznych dokonuje się punktowego pomiaru temperatury. Próbę zautomatyzowania procesu pomiaru temperatury z wykorzystaniem termogramów podejmuje się m.in. poprzez projektowanie algorytmów lokalizacji twarzy, elementów twarzy, w szczególności oczu, okolic zatok przynosowych, jak również kącików oczu. Ocenę wydaje się na podstawie wartości temperatur w zlokalizowanych obszarach, bądź na podstawie rozkładu temperatury w tych obszarach, co jest zadaniem trudniejszym. Dokładniejsza i szybsza lokalizacja pozwala oczywiście na bardziej precyzyjne określenie temperatury.



Rys. 1. Termogram twarzy o normalnej temperaturze wewnętrznej  
Fig. 1. The face thermal image of the normal internal temperature



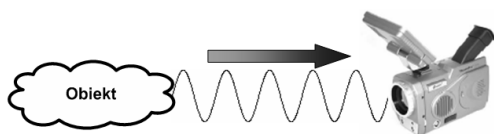
Rys. 2. Termogram twarzy o podwyższonej temperaturze wewnętrznej  
Fig. 2. The face thermal image of the increased internal temperature

Na rysunku 1 zaprezentowano przykładowy termogram, na którym pokazano naturalny rozkład temperatury twarzy człowieka zdrowego. Natomiast na rysunku 2 zamieszczono termogram twarzy człowieka o podwyższonej temperaturze – widoczne zmiany w okolicy przynosowej oraz wyższa temperatura kącików oczu spowodowana stanem gorączkowym. Już niewielka zmiana temperatury, rzędu 0,5 °C sugeruje zmianę chorobową, z tego względu istotna jest dokładna lokalizacja obszaru oczu i ich kącików.

## 2. Metody lokalizacji twarzy oraz oczu

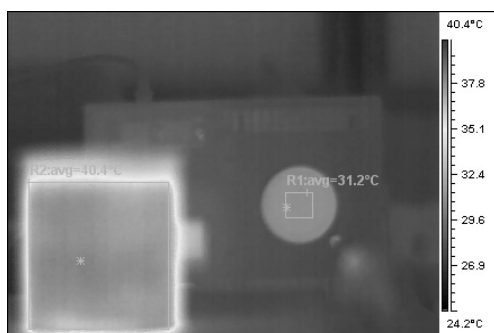
Metody wykorzystywane do detekcji twarzy w świetle widzialnym dzieli się na bazujące na wzorcach [3], bazujące na bazach wiedzy [4], bazujące na niezmienności cech twarzy [5] oraz statystyczne [6, 7]. W większości efektywnych rozwiązań wykorzystuje się kombinację tych metod dla uzyskania optymalnego rezultatu detekcji twarzy. Metody wykorzystujące wzorce skupiają się na porównaniu obrazu badanego z opisanym wzorcem. Stopień korelacji pozwala na stwierdzenie istnienia twarzy w obrazie. Metody bazujące na bazach wiedzy wykorzystują reguły do określenia lokalizacji twarzy. Reguły tworzone są na podstawie wzajemnych zależności pomiędzy elementami twarzy. Zależności pomiędzy tymi elementami budowane są na podstawie ich pozycji w obrazie oraz wzajemnej odległości. Podstawową wadą tych metod jest problem z określeniem reguł. Odmiernym podejściem jest metoda niezmiennych cech twarzy. Wykorzystuje ona fakt niezmienności niektórych cech twarzy niezależnie od zmiany warunków zewnętrznych. Wykorzystywanymi najczęściej cechami twarzy są jej tekstura oraz kolor skóry. Metody statystyczne wymagają tzw. uczenia algorytmu z wykorzystaniem obrazów testowych, zawierających tylko twarze, bądź nie zawierających twarzy. Wyróżnić należy w tej grupie metodę twarzy jednostkowych (ang. eigenfaces), która bazuje na transformacji Karhunen-Loeve, nazywanej w literaturze również analizą składowej głównej (ang. Principal Component Analysis), jak również metody wykorzystujące sieci neuronowe. Rezultat detekcji dla wymienionych metod uzależniony jest przede wszystkim od liczebności zbioru uczącego.

Pomiary termowizyjne [8, 9] wykorzystują fakt emisji promieniowania energii przez ludzkie ciało (rysunek 3). Energia jest następnie rejestrowana przez matrycę detektorów np. mikrobolometrycznych i w formie macierzy wartości temperatur wraz z danymi określającymi warunki pomiaru (współczynnik emisyjności, temperatura otoczenia, wilgotność, odległość od obiektu) jest dostępna dla użytkownika.



Rys. 3. Ogólna zasada pomiaru termowizyjnego  
Fig. 3. General principle of the thermovision measurement

Przetwarzanie termogramu niesie za sobą więcej niedogodności w porównaniu do przetwarzania obrazów w świetle widzialnym. Przede wszystkim znacznie większy wpływ mają czynniki zewnętrzne. Dla zakresu światła widzialnego „zakłócenia” mogą stanowić nieodpowiednie oświetlenie oraz obiekty w scenie, natomiast dla zakresu światła podczerwonego już niewielkie źródło energii cieplnej znajdujące się w otoczeniu obiektu pomiaru może w znaczący sposób wpływać na wynik pomiaru.



Rys. 4. Termogram z zakłóceniem w postaci obiektu w scenie  
Fig. 4. Thermal image disturbed with an object in the scene

Na rysunku 4 widoczny jest dodatkowy obiekt w scenie o temperaturze 40 °C. Temperatura wnętrza ciała czarnego ustawiona była na 30 °C. Temperaturę wnętrza przed i po wprowadzeniu obiektu w scenie wyznaczono jako średnią z obszaru 20x20 pikseli. Wpływ temperatury obiektu na wskazanie temperatury wynosił 1-1,5 °C. Wykonano kolejne eksperymenty w zakresie oceny stabilności wskazań kamery termowizyjnej, minimalnych rozmiarów geometrycznych. Powyższe pokazuje, jak wrażliwym na czynniki zewnętrzne jest pomiar termowizyjny.

Ludzkie ciało oraz twarz cechuje się specyficznym rozkładem temperatury, w którym wartość średnia temperatury dla twarzy wynosi ok. 30 °C. Tym samym staje się cechą ułatwiającą wykrycie i identyfikację ludzkiej twarzy. Natomiast w zakresie podczerwonym pojawia się problem niemożności pomiaru temperatury oczu, kącików oczu, gdy w termogramie pojawiają się okulary (rysunek 5). Problem ten dotyczy kamer pracujących w zakresie fal 8-14 μm. w przypadku tego typu termogramów stosuje się fuzję [10, 11] termogramu i obrazu widzialnego, jednakże pozwala ona tylko na lokalizację oczu, nie zmieniając sytuacji z pomiarem temperatury w tym obszarze.



Rys. 5. Termogram twarzy z okularami  
Fig. 5. The face thermal image with glasses

Ring [12] omówił problem pomiaru temperatury ludzkiego ciała z wykorzystaniem termogramów. Porównanie efektywności detekcji dla termogramów i obrazów w świetle widzialnym zaprezentował Wilder [13]. Zbudował bazę 101 twarzy bez okularów, ze zmiennymi stanami emocjonalnymi oraz niewielkimi zmianami oświetlenia. Spośród metod statystycznych, metoda twarzy własnych z sukcesem została zastosowana w analizie termogramów, zwiększając efektywność detekcji. Socolinsky [14] dokonał porównania jakości detekcji twarzy w obrazach wizyjnych oraz termogramach z wykorzystaniem dwóch podstawowych metod statystycznych – PCA oraz LDA (ang. Linear Discriminant Analysis). Fuzję obrazów na podstawie ważonego uśredniania obrazów zaproponował Heo [15]. Zaproponował również rozwiązanie problemu występowania okularów poprzez wykrycie okularów w termogramie i zastąpienie ich poprzez zdefiniowany wzorec. Innym podejściem jest wykorzystanie wzajemnych zależności geometrycznych pomiędzy elementami twarzy [16]. Opisana metoda wykorzystywana może być dla niewielkiej bazy termogramów twarzy ze względu na szereg powiązań elementów twarzy ze sobą.

Zapewnienie odpowiednich (znanych) warunków pomiaru termowizyjnego pozwala w dalszym etapie na korzystanie z takich samych metod lokalizacji twarzy, oczu, elementów twarzy, jak przy analizie i przetwarzaniu obrazów w świetle widzialnym.

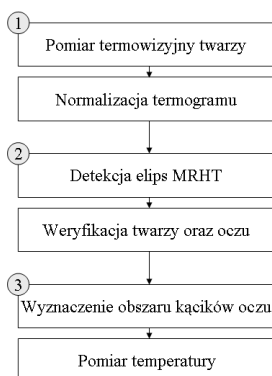
## 3. Opracowany algorytm

Głównymi zadaniami, które stały się założeniami dla projektowanego rozwiązania były: poprawna lokalizacja twarzy oraz oczu, wyznaczenie obszaru kącików oczu oraz pomiar temperatury (średniej, maksymalnej, minimalnej).

Doświadczenia autora [17, 18] sugerowały wykorzystanie rozwiązania opartego na wzorcach, które z powodzeniem zastosowano w procesie detekcji w obrazach wizyjnych, aczkolwiek po szeregu wprowadzonych modyfikacji. Jedną z metod pozwalającą

cych na dokładną lokalizację obiektów jest transformata Hougha, która została zaprojektowana jako metoda detekcji obiektów oraz kształtów w obrazach 2D, w szczególności detekcji linii [19], okręgów, jak również elips. W jej klasycznym ujęciu wielkościami wejściowymi jest model poszukiwanego obiektu oraz obraz 2D (mapa krawędzi). Transformata sprawdza każdy punkt w obrazie poszukując parametrów, które odpowiadają poszukiwanemu modelowi. Parametry są zapisywane w przestrzeni parametrów. Poprzez identyfikację maksimum tej przestrzeni określone są parametry poszukiwanego obiektu. W praktyce powoduje to sprowadzenie problemu poszukiwania obiektów w przestrzeni obrazu do poszukiwania maksimum w przestrzeni parametrów. Zaletą transformaty Hougha jest niewątpliwie odporność na wpływ zakłóceń, natomiast jej wadą są znaczne nakłady obliczeniowe, które powstają podczas wypełniania przestrzeni parametrów.

Klasyczna transformata wymaga wykonania przeglądu całego obrazu, co w konsekwencji znacznie zwiększa nakłady obliczeniowe, a tym samym całkowita efektywność algorytmu ulega pogorszeniu. Rozwiązaniem tego problemu jest wykorzystanie transformaty losowej (RHT) [20, 21]. Losowo wybierane są trzy punkty z obrazu, które należą do jednej elipsy, następnie wyznacza się styczne elipsy w trzech punktach metodą najmniejszych kwadratów, punkty przecięcia stycznych, dwusieczne kątów, których punkt przecięcia jest środkiem elipsy. Po wykonaniu weryfikacji dokonuje się obliczenia pozostałych parametrów elipsy – długość osi krótkiej i długiej oraz kąt nachylenia długiej osi. Tak wyznaczone parametry zostają zapisane w przestrzeni Hougha, a procedura ponownie jest powtarzana dla kolejnych trzech punktów.



Rys. 6. Schemat blokowy opracowanego algorytmu  
Fig. 6. Block diagram of the developed algorithm

W pierwszym etapie odbywa się pomiar termowizyjny oraz normalizacja termogramu. Pomiar termowizyjny poprzedzony był wykonaniem badania metrologicznego kamery opisanego w punkcie 2 artykułu. Normalizacja termogramu realizowana jest poprzez automatyczne ustalenie zakresu temperatur w granicach 30–40 °C.

Etap drugi stanowi główną część algorytmu. Realizowana jest detekcja elips w termogramie z wykorzystaniem zmodyfikowanej transformaty losowej Hougha. Modyfikacja polega na wykorzystaniu segmentacji, jako metody, która pozwala na zmniejszenie nakładów obliczeniowych. Zmodyfikowana procedura po wykryciu 5 punktów należących do jednej elipsy według transformaty Hougha, rozpoczyna proces segmentacji, w którym punktem startowym jest ostatni punkt zaliczony do elipsy, kolejne punkty termogramu po spełnieniu równań parametrycznych (1) zostają dołączone do aktualnej elipsy. Jednocześnie te punkty zostają usunięte z listy punktów, które należy jeszcze sprawdzić z wykorzystaniem transformaty Hougha. Po zakończeniu procesu sprawdzania wszystkich punktów termogramu należy z macierzy Hougha wybrać parametry, które charakteryzują największą elipsę w termogramie, jest nią elipsa dla której najwięcej punktów termogramu spełniło równanie 1. Uzyskuje się w ten sposób infor-

mację o osi dłuższej i krótszej twarzy oraz kącie nachylenia osi dłuższej.

$$\begin{aligned} a &= \sqrt{\frac{-2C}{(B+1) - \sqrt{(B-1)^2 + 4D^2}}} \\ b &= \sqrt{\frac{-2C}{(B+1) + \sqrt{(B-1)^2 + 4D^2}}} \\ \theta &= \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2D}{1-B}\right) \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:  $a$ ,  $b$  – osie elipsy,  $\theta$  – kąt nachylenia długiej osi,  $C$ ,  $B$ ,  $D$  – współczynniki równania elipsy.

Dysponując informacją o kącie nachylenia dłuższej osi twarzy wprowadzono procedurę lokalizacji i weryfikacji oczu. Mianowicie wykorzystuje się macierz Hougha, która zawiera informacje o lokalizacji wszystkich elips w termogramie. Wykonuje się detekcję elips o zbliżonych wymiarach, znajdujących się po przeciwnych stronach dłuższej osi twarzy i zawierających się wewnątrz elipsy twarzy.

Etap trzeci umożliwia dokładną lokalizację obszaru kąćków oczu. W obszarach oczu zlokalizowanych w etapie 2 wyszukuje się punkt o najwyższej temperaturze, następnie wykonuje się segmentację metodą rozrostu z krokiem homogeniczności obszaru równym 0,1 °C, dozwolone jest tutaj wyjście obszaru poza obszar oczu. Punktem startowym, tzw. ziarnem dla segmentacji jest punkt o najwyższej temperaturze w obszarze oka. Jakość wykrytego obszaru poprawiana jest poprzez operację morfologiczną otwarcia i zamknięcia w tej kolejności. Etap jest ten istotny głównie ze względu na niewielką liczbę punktów znajdujących się w obszarze kąćków oczu, w którym każdy punkt ma wpływ na temperaturę średnią obszaru. Zakończeniem etapu trzeciego jest pomiar-odczyt wartości temperatury średniej, maksymalnej i minimalnej w obszarze.

#### 4. Badania eksperymentalne

Badania eksperymentalne wykonano w laboratorium pomiarów termowizyjnych w Zakładzie Pomiarów i Systemów Sterowania w Instytucie Automatyki. Dla celów eksperymentu opracowano bazę zdjęć testowych 20 osób (pracowników i studentów w Instytucie Automatyki). Wykorzystana kamera termowizyjna charakteryzowała się następującymi parametrami: detektor mikrobolometryczny niechłodzony 384x288 pikseli, zakres długości fal 8–14 μm., rozdzielczość termiczna 0,08 °C (dla temperatury 30 °C), deklarowana niepewność pomiaru temperatury ±2 °C lub ±2 % wskazania.

Termogramy wykonywano w różnych warunkach temperatury w dwóch pomieszczeniach o znanej temperaturze oraz wilgotności. Odległość pomiędzy obiektywem, a obiektem była również zmieniana w zakresie 0,5–3 m dla zmiany proporcji twarzy do termogramu oraz zmniejszeniu rozdzielczości poszczególnych obszarów. Osoby poddane badaniu przed wykonaniem termogramu znajdowały się w pomieszczeniu minimum 15 minut. Osoby poddane badaniu nie posiadały okularów. Przyjmowały pozycję „na wprost” z dopuszczalnym pochyleniem głowy w osi pionowej ±15°. Proponując taki scenariusz zmniejszono wpływ czynników zewnętrznych na pomiar temperatury w obszarze twarzy.

Ocenę dokładności lokalizacji twarzy oraz oczu wykonano poprzez porównanie punktów ze zlokalizowanego obszaru metodą automatyczną z punktami z obszaru uzyskanego przez wskazanie manualne. Dla termogramów na których twarz zajmowała minimum 40% powierzchni (co wiąże się bezpośrednio z odległością z jakiej wykonywany był pomiar) dokładność lokalizacji była na wysokim poziomie sięgającym 97%. Problemem dla termogramów wykonanych z dalszej odległości jest rozdzielczość termogramu, termogram zawiera 110592 punkty, już dla termogramów wykonanych z bliższej odległości (ok. 1,5 metra) obszar

kąćków oczu zawiera ok. 100 punktów (rysunek 6), czyli stanowi 0,1%.

W tabeli 1 oraz 2 zawarto informacje z poszczególnych obszarów: T – twarzy, O1, O2 – oczu lewego i prawego oraz K1, K2 – kąćków oka lewego i prawego. Na rysunku 7 zaprezentowano termogram wykonany z odległości 0,5 m z zaznaczonymi zlokalizowanymi obszarami, natomiast na rysunku 8 widoczny jest termogram wykonany z odległości 2 m.

Tab. 1. Wartości temperatury badanych obszarów dla termogramu z rysunku 7  
Tab. 1. Temperature values for regions of the thermal image of Fig. 7

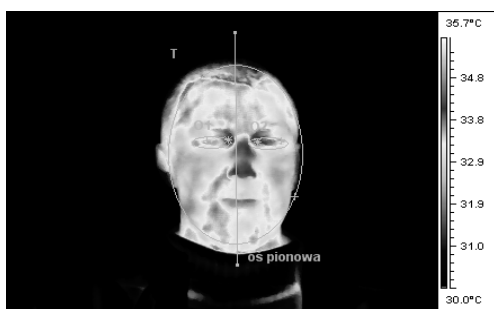
Obszar	Dokładność lokalizacji, %	Temperatura, °C		
		średnia	maksymalna	minimalna
termogram	-	33,4	36,9	26,3
T	97,3	36,7	36,9	28,2
O1	97,1	36,2	36,9	35,3
K1	97,5	36,9	36,9	36,6
O2	97,1	35,9	36,8	32,9
K2	97,5	36,8	36,8	36,7



Rys. 7. Przykład prawidłowej lokalizacji twarzy oraz oczu  
Fig. 7. Example of the correct face and eyes localization

Tab. 2. Wartości temperatury badanych obszarów dla termogramu z rysunku 8  
Tab. 2. Temperature values for regions of the thermal image of Fig. 8

Obszar	Dokładność lokalizacji, %	Temperatura, °C		
		średnia	maksymalna	minimalna
termogram	-	26,6	36,1	22,6
T	96,6	34,9	36,1	23,6
O1	95,4	35,3	36,1	32,8
K1	97,2	35,9	36,1	35,6
O2	95,2	34,9	36,1	32,3
K2	97,2	35,7	36,1	35,4



Rys. 8. Przykład termogramu twarzy z odległości 2 m  
Fig. 8. Example of the face thermal image from a distance of 2 m

## 5. Podsumowanie

W artykule omówiono istniejące rozwiązania zarówno w zakresie światła widzialnego, jak i podczerwieni. Zaprezentowano opracowane w Instytucie Automatyki rozwiązanie pozwalające na lokalizację twarzy oraz oczu w termogramach. Jest to algorytm hybrydowy łączący w sobie elementy metod parametrycznych, segmentacji oraz operacji morfologicznych. Algorytm pozwala na automatyzację procesu określenia temperatury w kąćkach oczu. Dalsze badania prowadzone będą w kierunku oceny dokładności pomiaru temperatury poprzez porównanie z pomiarami stykowymi. Natomiast w zakresie lokalizacji twarzy i oczu, algorytm zostanie poddany eksperymentom w warunkach naturalnych.

## 6. Literatura

- [1] Hsu R.L., Abdel-Mottaleb M., Jain A.K.: Face detection in color images. ICIP, 24, nr.5, 696-706, 2001.
- [2] Yang M.H., Kriegman D.J., Ahuja N.: Detecting faces in images: a survey, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24, nr. 1, 34-58, 2002.
- [3] Nixon M., Aguado A.: Feature Extraction & Image Processing, Newnes, 2006.
- [4] Kotropoulos C., Pitas I.: Rule-Based Face Detection in Frontal Views, Proc. Int'l Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing, 4, 2537-2540, 1997.
- [5] Sun Q.B., Huang W.M., Wu J.K.: Face Detection Based on Color and Local Symmetry Information, Proc. Third Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, 130-135, 1998.
- [6] Kohonen T.: Self-Organization and Associative Memory, Springer, 1989.
- [7] Loeve M.M.: Probability Theory, Princeton, N.J.: Van Nostrand, 1955.
- [8] Więcek B., De Mey G.: Termowizja w podczerwieni. Podstawy i zastosowania. PAK, Warszawa, 2011.
- [9] Praca zbiorowa: Pomiary termowizyjne w praktyce. PAK, Warszawa, 2004.
- [10] Wolf L., Socolinsky D., Eveland C.: Face Recognition in the Thermal Infrared, Technical Report, Equinox, 2002.
- [11] Socolinsky D., Wolf L., Neuheisel J., Eveland C.: Illumination invariant face recognition using thermal infrared imagery, Proceedings IEEE Workshop Comput. Vis. Beyond Vis. Spectrum: Method Appl., 1, 527-534, 2001.
- [12] E.F.J. Ring, A. Jung, J. Zuber, P. Rutowski, B. Kalicki, U. Bajwa: Detecting Fever in Polish Children by Infrared Thermograph, QIRT 2008 (9th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography), Krakow, Poland, July 2-5, 2008
- [13] Wilder J., Philips J., Jiang C., Wiener S.: Comparison of visible and infrared imagery for face recognition, Second International Conference on Automatic Face and gesture Recognition, 182-187, 1996.
- [14] Socolinsky D., Selinger A.: Thermal face recognition in an operational scenario, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004.
- [15] Kong S., Heo J., Abidi B, Paik J., Abidi M.: Recent Advances in Visual and Infrared Face Recognition – A Review, The Journal of Computer Vision and Image Understanding, 97, 103-135, 2005.
- [16] Prokoski F.: History, current status, and future of infrared identification, Proceedings IEEE Workshop Computing Vis. Beyond Vis, Spectrum: Methods Appl., 5-14, 2000.
- [17] Budzan S., Wykorzystanie informacji wizyjnej w systemach biometrycznych. Prace Komisji Naukowych. Polska Akademia Nauk, Oddział w Katowicach. Zeszyt nr 33, 101-104, 2009.
- [18] Budzan S., System detekcji twarzy i oczu w obrazach 2D z wykorzystaniem transformaty Hougha. Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), r.85, nr 2, 29-32, 2009.
- [19] Hough P.V.C., Method and means for recognizing complex patterns, U.S. Patent 3,069,654, 1962.
- [20] McLaughlin R.A., Randomized Hough Transform: Improved ellipse detection with comparison, Pattern Recognition Letters, 19, 299-305, 1998.
- [21] Xu L., Oja E., Randomized Hough Transform (RHT): Basic Mechanism, Algorithms, and Computational Complexities, CVGIP, 131-154, 1993.