



Jolanta PACAN, Jacek JAKUBOWSKI, Michał WIŚNIOŚ

ZASTOSOWANIE TRANSFORMACJI SIFT W IDENTYFIKACJI TOŻSAMOŚCI NA PODSTAWIE OBRAZÓW TERMALNYCH TWARZY

Streszczenie

W artykule przedstawione zostały wyniki badań, których celem była ocena możliwości zastosowania algorytmu SIFT w procedurze rozpoznania tożsamości na podstawie obrazów termalnych twarzy. Bazując na wynikach przeprowadzonych eksperymentów numerycznych wyznaczona została zależność funkcyjna opisująca wartość optymalnego progu decyzyjnego, który umożliwi odseparowanie klas osób znanych i nieznanymi. Ponadto zamieszczone wykresy przedstawiają poziom uzyskiwanych błędów, które są możliwe do popełnienia w procesie identyfikacji. Dodatkowo opisane zostały właściwości termalnego obrazu twarzy oraz działanie algorytmu SIFT w zastosowaniu do obrazów termalnych.

WSTĘP

Rozpoznawanie tożsamości na podstawie obrazu twarzy jest jedną z wielu biometrycznych metod uwierzytelniania. Ich ciągły rozwój oraz coraz szersze zastosowanie jest związane z rosnącymi wymaganiami dotyczącymi bezpieczeństwa, których nie spełniają tradycyjne metody rozpoznania i weryfikacji tożsamości oparte na wiedzy osoby badanej lub posiadanym przez nią identyfikatorze [2].

Z punktu widzenia możliwości zastosowania danej metody identyfikacji ważne jest, aby charakteryzowała się ona wysoką wiarygodnością jak również sprawnością działania całego systemu. Większość biometrycznych technik uwierzytelniania wymaga współpracy użytkownika, np. metody wykorzystujące odcisk palca, obraz tęczówki czy siatkówki oka itp. Rozpoznawanie twarzy jest metodą całkowicie bezinwazyjną, gdyż pozyskanie danych do analizy może odbyć się nawet bez wiedzy osoby identyfikowanej. Dodatkowo identyfikacja na podstawie widzialnego obrazu twarzy jest powszechnie uważana za najbardziej intuicyjną metodę rozpoznawania tożsamości. Dlatego też rozpoznawanie twarzy ma szerokie zastosowanie w obszarze automatycznego wykrywania podejrzanych osób znajdujących się w miejscach publicznych, takich jak dworce, lotniska czy stacje metra, z wykorzystaniem kamer systemu monitorującego [4].

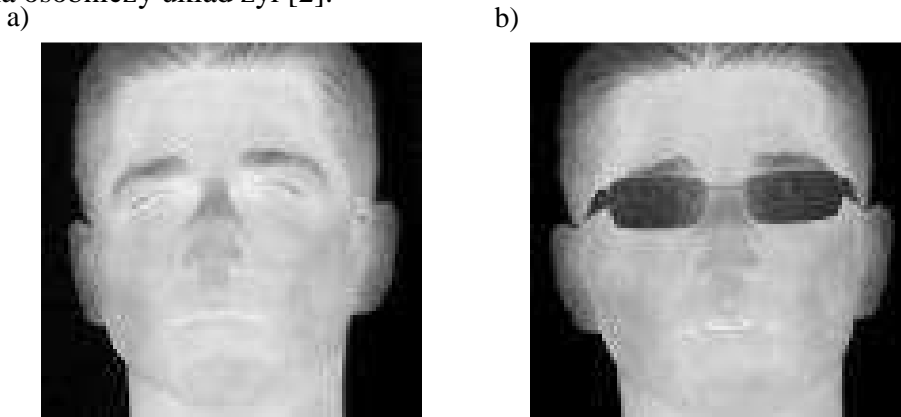
Jednak rozpoznawanie tożsamości na podstawie obrazu twarzy wiąże się z licznymi trudnościami w procesie identyfikacji. Należy pamiętać, że twarz jest obiektem trójwymiarowym, dlatego każda dwuwymiarowa projekcja jej obrazu jest zależna od kąta patrzenia urządzenia rejestrującego. Dodatkowo zmienna mimika, makijaż, częściowe

przesłonięcie twarzy oraz skala pozyskanego do analizy obrazu stanowią kolejne problemy w procesie uwierzytelniania. Poza tym widzialny obraz twarzy jest również w dużym stopniu uzależniony od oświetlenia, którego zmiany mają niekorzystny wpływ na wynik identyfikacji.

W ostatnich latach wśród technik rozpoznawania twarzy oprócz dobrze znanych metod holistycznych, bazujących na obrazie twarzy jako całości i analitycznych, wykorzystujących cechy strukturalne twarzy, popularne stały się techniki analizujące punkty charakterystyczne obrazu twarzy. Również nowatorskim podejściem jest wykorzystanie obrazu termalnego twarzy w procesie identyfikacji.

1. CHARAKTERYSTYKA OBRAZU TERMALNEGO

W odróżnieniu od obrazu, który powstaje na podstawie promieniowania w zakresie widzialnym odbitego od obiektu, obraz termalny jest wynikiem rejestracji promieniowania podczerwonego, emitowanego przez każde ciało o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego. Im wyższa temperatura danego obiektu, tym więcej promieniowania ciepłego on emituje. Termogram przedstawia rozkład temperatury na powierzchni badanego obiektu w postaci dwuwymiarowego obrazu (rys. 1a). W przypadku ciała ludzkiego rozkład temperatury zależy od układu naczyń krwionośnych pod skórą, który jest cechą charakterystyczną każdego człowieka. Zatem obraz termalny twarzy niesie informację anatomiczną. Zostało stwierdzone, że nawet w przypadku bliźniąt, których odróżnienie w świetle widzialnym jest praktycznie niemożliwe, ich termogramy twarzy są różne ze względu na osobniczy układ żył [2].



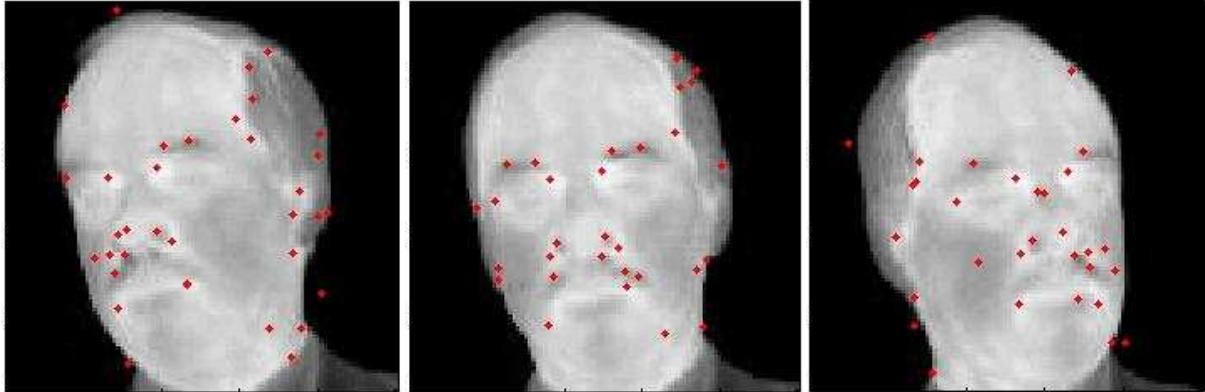
Rys. 1. Obraz termalny twarzy (a) oraz problem utraty części informacji w przypadku posiadania okularów przez identyfikowaną osobę (b)

Niewątpliwie zaletą obrazu termalnego jest fakt, że całkowicie nie zależy on od zewnętrznego oświetlenia a jego akwizycji można dokonać również nocą. Dodatkowo promieniowanie ciepłe emitowane przez badany obiekt może zostać zarejestrowane za pomocą kamery termowizyjnej w trudnych warunkach, takich jak zadymienie czy zamglenie, które stanowią poważne problemy w przypadku obrazów widzialnych. Makijaż również nie powoduje istotnych zmian w obrazie termalnym twarzy. Jednak problemem jest fakt, że szkło zatrzymuje znaczną część promieniowania podczerwonego [2], co utrudnia identyfikację osób noszących okulary ponieważ tracona jest informacja o obszarze twarzy wokół oczu (rys. 1b) oraz całkowicie uniemożliwia rozpoznanie tożsamości osoby odseparowanej szybą od urządzenia rejestrującego dane do analizy.

2. ALGORYTM SIFT

Algorytm SIFT (*ang. Scale Invariant Feature Transform*) został opracowany pod koniec lat 90. ubiegłego wieku. Wyznacza on punkty charakterystyczne obrazu oraz ich deskryptory,

będące 128-elementowymi wektorami. Sposób ich wyznaczenia, który został opisany w [3] powoduje, że są one nieczułe na zmianę skali, kąta obrotu obiektu na obrazie, jednorodną zmianę oświetlenia oraz w pewnym stopniu na zmiany perspektywy. Algorytm SIFT chroniony jest patentem, jednak jego procedura obliczeniowa do celów testowych jest dostępna w postaci pliku wykonywalnego na stronie internetowej twórcy algorytmu, Davida Lowe'a, pracownika Uniwersytetu Kolumbii Brytyjskiej w Vancouver.

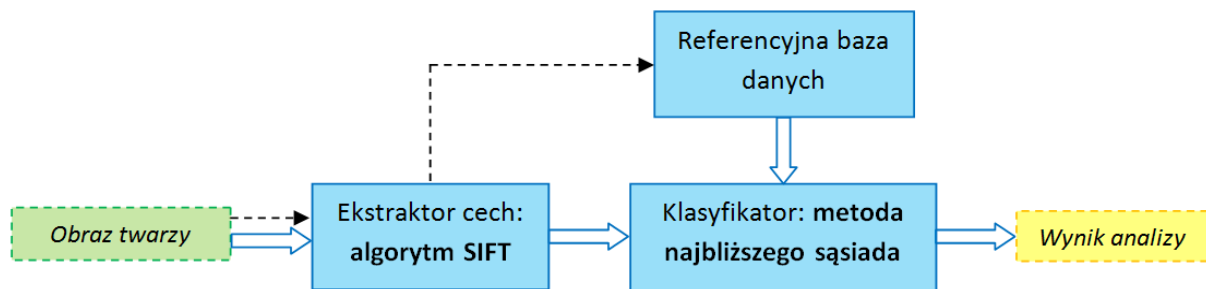


Rys. 2. Rozkład punktów kluczowych na termalnych obrazach różnych ujęć twarzy tej samej osoby

Na rys. 2. przedstawione zostały rozkłady punktów kluczowych termalnych obrazów twarzy jednej osoby, zarejestrowanych z różnej perspektywy. Można zauważyć, że ich zagęszczenie występuje w okolicach oczu, nosa i ust, czyli w charakterystycznych obszarach twarzy. Ponadto znaczna część wyznaczonych punktów ma podobne lokalizacje na obrazach przedstawiających różne ustawienia twarzy względem urządzenia rejestrującego, a więc ich deskryptory powinny mieć podobne wartości kolejnych elementów. Zatem można przypuszczać, że na podstawie klasyfikacji minimalno-odległościowej, która jest wykorzystywana w zastosowanej procedurze rozpoznawania twarzy, w procesie identyfikacji poszczególne punkty kluczowe zostaną trafnie przypisane do danej osoby pod warunkiem, że znajduje się ona w bazie danych. Niestety punkty, które są zlokalizowane w obszarach mało istotnych lub wręcz bezużytecznych z punktu widzenia identyfikacji, takich jak włosy czy elementy tła, mogą powodować błędy w procesie rozpoznania.

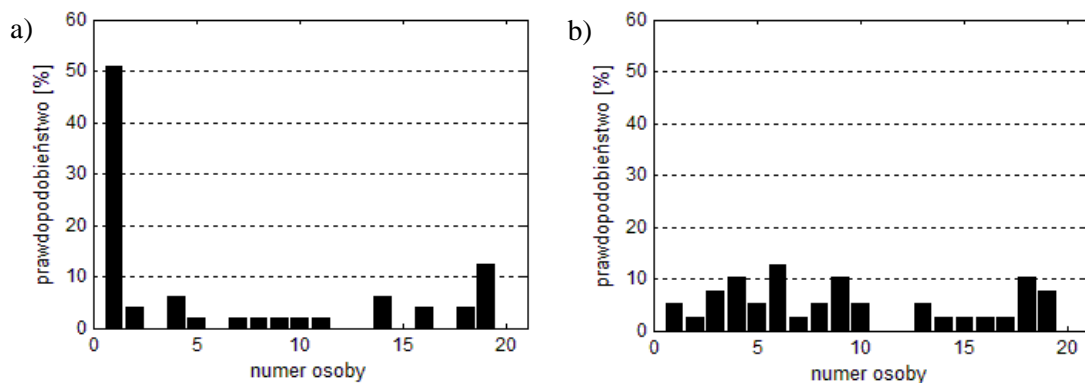
3. PROCEDURA ROZPOZNAWANIA TWARZY

Ogólny schemat funkcjonalny zastosowanej metody rozpoznawania twarzy został przedstawiony na rys. 3. W pierwszym etapie obraz twarzy osoby identyfikowanej poddawany jest działaniu ekstraktora cech, którym jest algorytm SIFT. Następnie poszczególne punkty kluczowe badanego obrazu na podstawie analizy ich deskryptorów zostają przypisane do osób z bazy danych za pomocą metody najbliższego sąsiada, wykorzystującej znormalizowaną odległość euklidesową. W rezultacie powyższych działań tworzony jest histogram przynależności punktów kluczowych do osób znajdujących się w bazie danych [1]. Jego analiza umożliwia podjęcie decyzji o tożsamości identyfikowanej osoby.



Rys. 3. Schemat funkcjonalny zastosowanej metody rozpoznawania twarzy

Można zauważyć, że w przypadku analizy osoby znanej otrzymany histogram ma wyraźne maksimum (rys. 4a), natomiast w przypadku, gdy badana osoba nie należy do bazy danych rozkład punktów kluczowych jest zbliżony do równomiernego (rys. 4b). W związku z powyższym wprowadzenie pewnej wartości progu decyzyjnego umożliwi wydzielenie klas osób znanych i nieznanymi [1]. Jeżeli wartość maksymalna histogramu jest większa od zadanego progu, osobie identyfikowanej przypisywana jest tożsamość osoby, dla której to ekstremum wystąpiło, w przeciwnym wypadku badana osoba zaklasyfikowana zostaje do grupy osób nieznanymi.



Rys. 4. Histogramy ilustrujące rozkład przynależności punktów kluczowych do poszczególnych osób z bazy w przypadku analizy termalnego obrazu twarzy osoby znanej (a) i nieznanymi (b)

4. BAZA DANYCH OBRAZOWYCH

Baza danych obrazowych wykorzystywana do badań składała się z obrazów termalnych twarzy 65 osób. Dla każdej z nich zarejestrowanych zostało 20 lub 25 różnych ujęć twarzy z odległości 1,5m przy użyciu kamery termowizyjnej z detektorem mikrobolometrycznym o rozdzielczości 384x288 pikseli. Zakres widmowy wykorzystywanej kamery wynosi od 8 do 14 μ m, natomiast jej rozdzielczość termiczna jest nie większa niż 0,08 $^{\circ}$ C dla 30 $^{\circ}$ C. Po edycji obrazy o wymiarach 100x100 pikseli i skali szarości zostały zapisane w plikach graficznych z rozszerzeniem *jpg*. Na rys. 5. przedstawione zostały przykładowe termalne obrazy twarzy jednej z osób znajdujących się w zebranej bazie danych obrazowych.



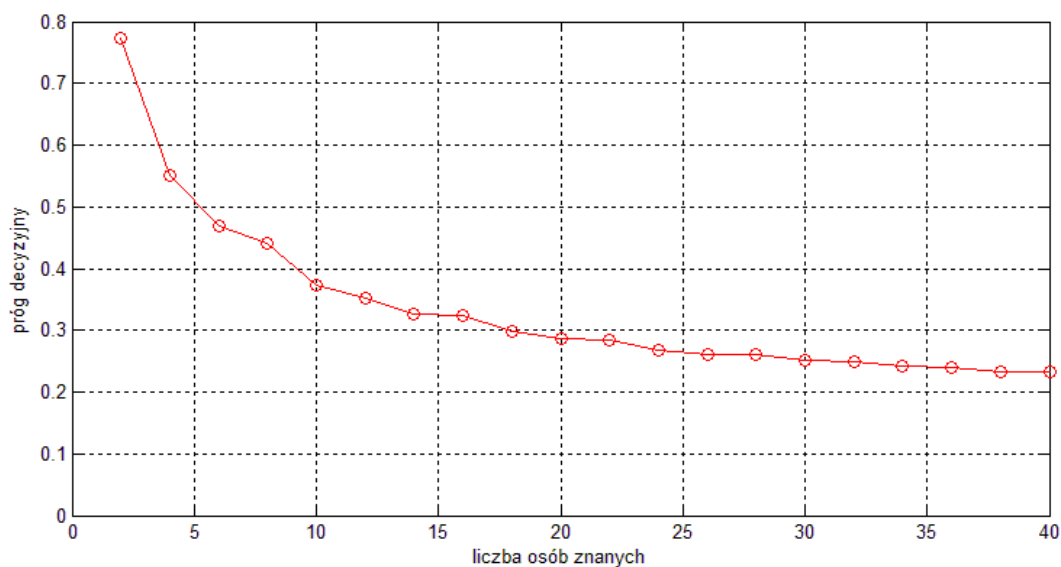
Rys. 5. Przykładowe obrazy twarzy jednej z osób tworzących bazę danych obrazowych wykorzystywaną do badań

5. OPIS I PREZENTACJA WYNIKÓW BADAŃ

Celem przeprowadzonych eksperymentów numerycznych było wyznaczenie zależności funkcyjnej na wartość progu decyzyjnego, która zapewnia równy poziom niepoprawnej klasyfikacji osoby nieznannej do grupy osób znanych – FP (*ang. false positive*) oraz błędu przeciwnego, czyli przypisania osoby znanej do klasy osób nieznanymi – FN (*ang. false negative*) jak również określenie poziomu błędów możliwych do popełnienia w procesie identyfikacji.

Badania zostały przeprowadzone poprzez wielokrotne powtarzanie cykli testowych w celu uniezależnienia uzyskanych wyników od wykorzystanego zestawu obrazów. W każdym cyklu losowano określoną liczbę osób znanych (n) i nieznanymi (m), przy czym dla $n < 33$, $m = n$, w przeciwnym wypadku $m = 65 - n$. Następnie spośród wszystkich obrazów twarzy każdej z osób znanych losowo wybierano 15, które trafiały do referencyjnej bazy danych, natomiast pozostałe służyły do przeprowadzenia procesu identyfikacji. W przypadku osób nieznanymi analizie poddawanych było po 10 obrazów twarzy. Po przeprowadzeniu 25 cykli zwiększana była liczba osób znanych i proces był powtarzany.

W kolejnym etapie na podstawie wartości maksymalnych histogramów, wyznaczanych dla każdego badanego obrazu, określona została wartość progu decyzyjnego zapewniająca jednakowe wartości błędów FP i FN dla poszczególnych liczb osób znanych. Uzyskane wyniki zostały przedstawione na rys. 6.



Rys. 6. Zależność wartości progu decyzyjnego zapewniającej jednakowe poziomy błędów FP i FN od liczby osób znanych

Następnie zależność optymalnej wartości progu decyzyjnego od liczby osób znajdujących się w referencyjnej bazie danych została aproksymowana funkcją w postaci:

$$f(n) = a \cdot \left(\frac{1}{n}\right)^p + b \quad (1)$$

gdzie: a, b, p – stałe współczynniki,
 n – liczba osób znanych.

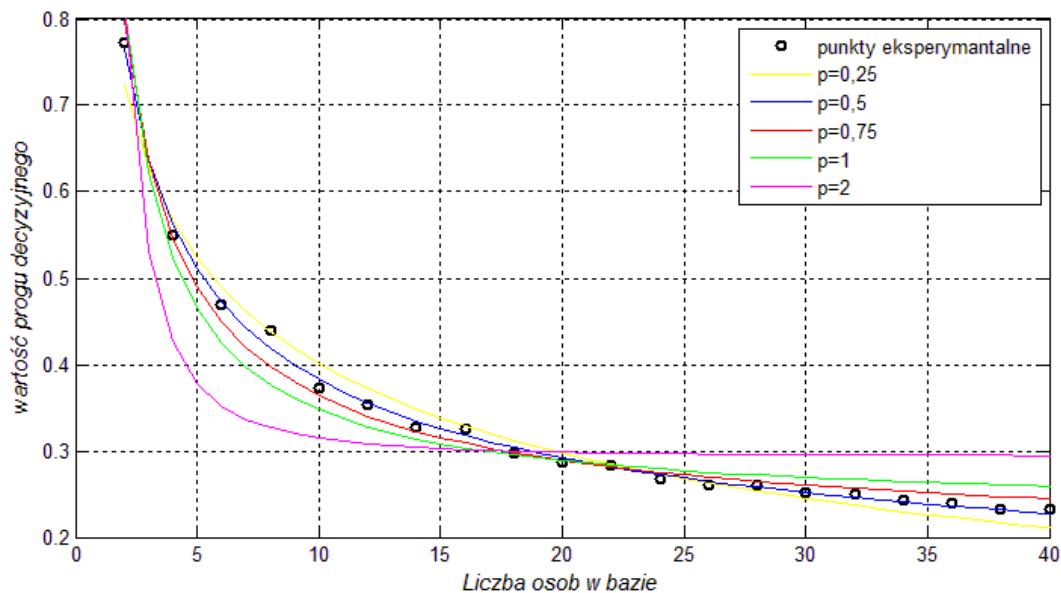
Powyższa zależność jest nieliniowa, jednak wprowadzając zmienną pomocniczą:

$$x(n) = \left(\frac{1}{n}\right)^p \quad (2)$$

otrzymujemy funkcję zlinearyzowaną:

$$f(x(n)) = a \cdot x(n) + b \quad (3)$$

Współczynniki a i b powyższej funkcji wyznaczone zostały metodą najmniejszych kwadratów, natomiast parametr p został dobrany empirycznie według kryterium minimalizacji błędu dopasowania krzywej aproksymującej do punktów pomiarowych. Wykres zamieszczony na rys. 7. ilustruje wpływ wartości parametru p na poprawność aproksymacji.

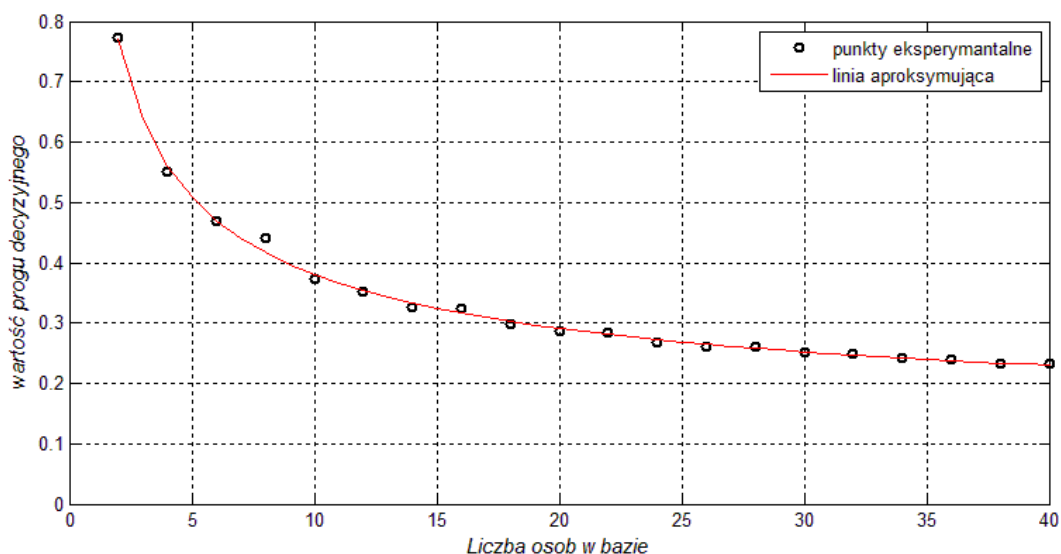


Rys. 7. Wykres ilustrujący wpływ wartości parametru p na błąd aproksymacji

Ostateczna postać wyznaczonej funkcji aproksymującej zależność optymalnego progu decyzyjnego od liczby osób znanych jest następująca:

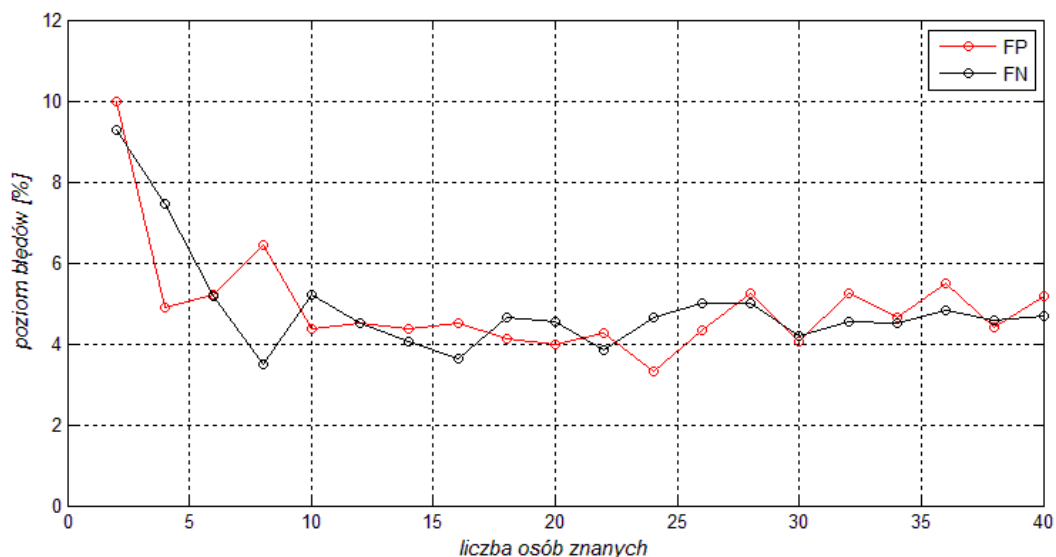
$$f(n) = 0,980 \cdot \left(\frac{1}{n}\right)^{0,530} + 0,091 \quad (4)$$

Krzywa aproksymująca opisana powyższą zależnością funkcyjną została przedstawiona na rys. 8. na tle punktów eksperymentalnych. Można zauważyć, że błąd dopasowania jest stosunkowo mały.

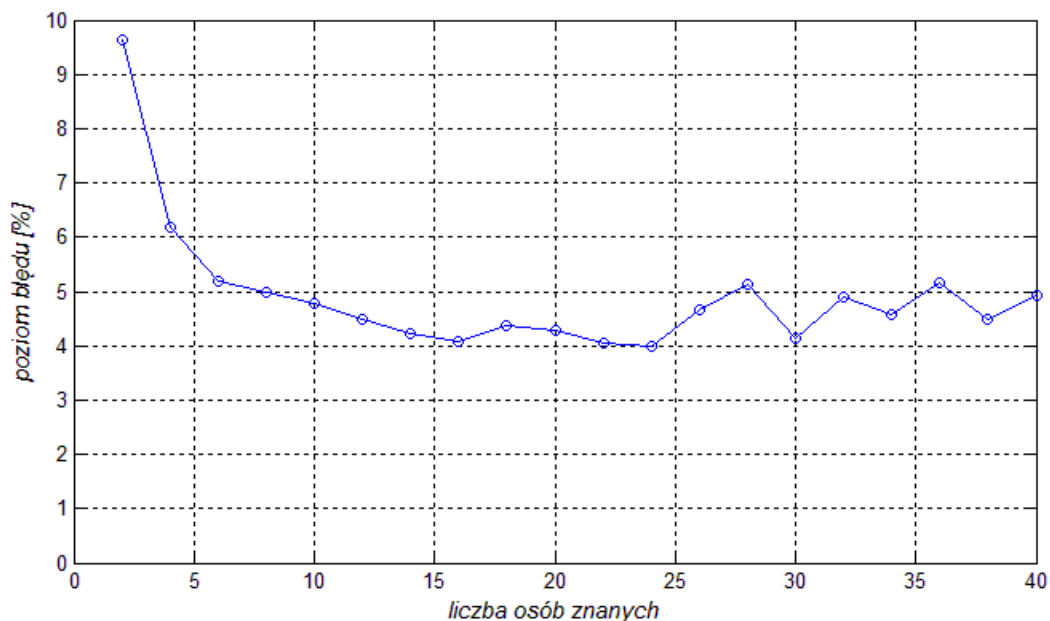


Rys. 8. Wykres ilustrujący dopasowanie krzywej aproksymującej do punktów pomiarowych

Nawet niewielka zmiana wartości progu decyzyjnego wywołuje zmiany poziomów błędów FP i FN. Jej zwiększenie powoduje spadek częstotliwości popełniania błędu FP a jednocześnie wzrost poziomu błędu FN i odwrotnie. Należy się spodziewać, że wyznaczona funkcja estymująca optymalną wartość progu decyzyjnego nie pozwoli na uzyskanie jednakowych poziomów tych błędów, co można zaobserwować analizując wykres zamieszczony na rys. 9. Ważne jest jednak, aby wartości tych błędów były zbliżone. Oczywiście za pomocą wartości progu decyzyjnego możliwe jest zmniejszanie poziomu wybranego błędu kosztem zwiększenia częstości występowania błędu przeciwnego jeżeli taka sytuacja jest korzystna z punktu widzenia zastosowania danego systemu identyfikacji tożsamości. Na rys. 10 przedstawiony jest wykres uśrednionego błędu przypisania do klas osób znanych lub nieznanymi. Poziom niepoprawnych klasyfikacji jest rzędu pojedynczych procentów. Biorąc pod uwagę fakt, że baza danych złożona była z 15 wzorców każdej z klas znanych, uzyskane wartości błędów są stosunkowo niewielkie. Zwiększenie liczby obrazów każdej znanej osoby z pewnością zmniejszyłoby poziom niepoprawnych klasyfikacji. Jednak należy się spodziewać, że dla dalszego wzrostu liczby klas częstość wystąpienia błędów FP i FN będzie rosła. Wiąże się to ze zmniejszaniem wartości progu decyzyjnego oraz spłaszczeniem rozkładu punktów kluczowych zarówno w przypadku analizy osoby nieznannej jak i znanej przy wzroście liczby osób w bazie danych.

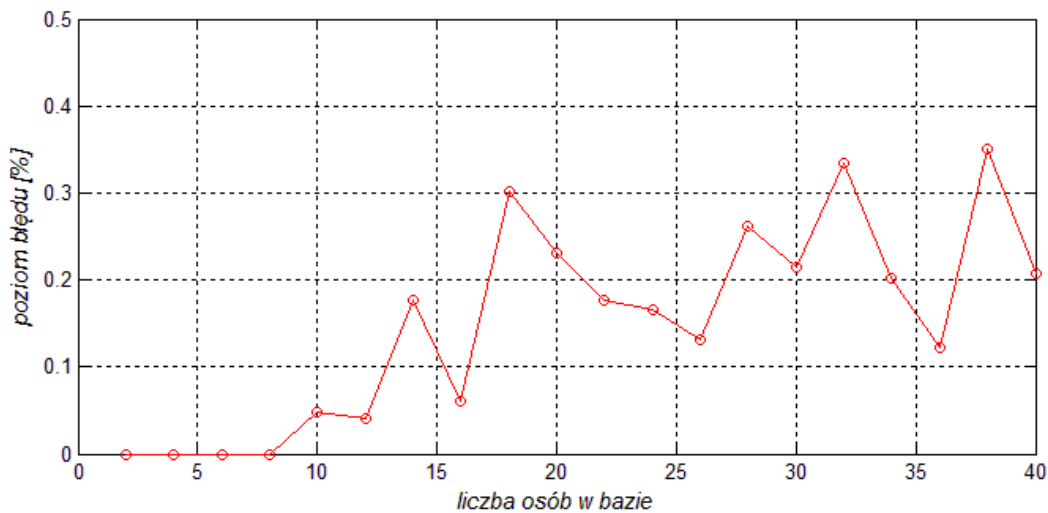


Rys. 9. Poziomy błędów FP i FN przy wartościach progów decyzyjnych obliczonych z wyznaczonej zależności funkcyjnej opisanej wzorem (4) w zależności od liczby osób znanych



Rys. 10. Zależność uśrednionego błędu klasyfikacji przy wartościach progów decyzyjnych obliczonych z wyznaczonej zależności funkcyjnej opisanej wzorem (4) od liczby osób w bazie danych

Oprócz błędów FN i FP w procesie identyfikacji możliwe jest przypisanie osobie znanej tożsamości innej osoby znajdującej się w bazie danych. Na rys. 11. zamieszczony został wykres przedstawiający poziom błędów wśród osób znanych. Można zauważyć, że są to bardzo małe wartości, rzędu ułamków procenta i wykazują nieznaczną tendencję wzrostową przy zwiększaniu liczby klas.



Rys. 11. Wykres przedstawiający poziom błędów przypisania niepoprawnej tożsamości osobie znanej

PODSUMOWANIE

Wyniki przeprowadzonych eksperymentów numerycznych wykazały, że procedura rozpoznawania tożsamości na podstawie obrazów termalnych twarzy wykorzystująca algorytm SIFT w funkcji ekstraktora cech charakteryzuje się wysoką poprawnością działania. Świadczą o tym poziomy uzyskanych błędów identyfikacji. W przypadku posiadania zaledwie 15 obrazów termalnych twarzy każdej osoby z bazy danych, błędy klasyfikacji do grup osób znanych lub nieznanymi są rzędu 4 – 6%, natomiast przypisanie niepoprawnej tożsamości osobie znanej jest na poziomie nie przekraczającym 0,5%. Niemniej jednak można przypuszczać, że poziom błędów identyfikacji jest zależny od posiadanej bazy danych obrazowych, a przede wszystkim od obrazów, na podstawie których przeprowadzana jest procedura rozpoznawania tożsamości. Jeżeli analizowany obraz będzie zawierał niekorzystne ustawienie twarzy, znacznie różniące się od tych będących wzorcami w bazie danych obrazowych, to należy się spodziewać błędnego wyniku identyfikacji.

Niewątpliwie zgromadzona baza danych obrazowych ma również wpływ na wartości poszczególnych współczynników funkcji opisującej optymalną wartość progu decyzyjnego. Poza tym w ogólnym przypadku wspomniana zależność funkcyjna powinna również uwzględniać liczbę wzorców poszczególnych klas w bazie danych. W przeprowadzonych badaniach liczba termalnych obrazów twarzy każdej osoby znanej była ustalona, co było związane z małą liczbą zarejestrowanych termogramów dla poszczególnych osób.

Zastosowanie kamer termowizyjnych jako urządzeń rejestrujących obraz do analizy wiąże się z większymi kosztami systemu, jednak posiada istotną przewagę nad wykorzystywaniem kamer rejestrujących obraz widzialny. Mianowicie eliminowany jest wpływ zmian oświetlenia, zwłaszcza tych niejednorodnych, które powstają nawet przy niewielkiej zmianie ustawienia twarzy w stosunku do źródła światła. Mogą one spowodować zmianę rozkładu punktów kluczowych obrazu lub wartości ich deskryptorów wyznaczonych przez algorytm SIFT, który jest odporny tylko na jednorodne zmiany oświetlenia. To z kolei może utrudnić a nawet uniemożliwić otrzymanie poprawnego wyniku w procesie identyfikacji.

THE APPLICATION OF THE SIFT ALGORITHM TO THE PROCEDURE OF IDENTIFICATION ON THE BASIS OF THERMAL FACE IMAGES

Abstract

This paper presents the results of the research conducted with the purpose of assessing the utilization of the Scale Invariant Feature Transform to the procedure of identification on the basis of thermal face images. Due to the establishment of the threshold value, which was estimated as a function of the number of classes collected in the database, it is possible to separate classes of known and unknown persons. The graphs inserted in this paper present the levels of errors, which can be made in the identification process. Moreover, the properties of thermal face images and the application of the SIFT algorithm to the processing of thermal images have been described briefly.

BIBLIOGRAFIA

1. Jakubowski J., *Ocena możliwości wykorzystania deskryptorów cech lokalnych obrazu twarzy w zadaniu automatycznej identyfikacji osób*, Przegląd Elektrotechniczny, R. 88 NR 9a/2012, ss. 217-221.
2. 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, ss. 103-135, 2005.
3. Lowe. D. G., *Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints*, University of British Columbia, Canada 2004.
4. Smiatacz M., Malina W., *Automatyczne rozpoznawanie twarzy – metody, problemy, zastosowania*, Techniki Komputerowe 1/2007.

Autorzy:

mgr inż. Jolanta PACAN – Wojskowa Akademia Techniczna
dr inż. Jacek JAKUBOWSKI – Wojskowa Akademia Techniczna
mgr inż. Michał WIŚNIOŚ – Wojskowa Akademia Techniczna

„Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010-2012 jako projekt rozwojowy”