

Metody ilościowej oceny rozpoznawania ludzi na podstawie termogramów

Quantitative methods of people recognition on the basis of thermograms

Grzegorz Owczarek¹, Robert Strąkowski², Maria Więcek²

¹ Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Ochron Osobistych, ul. Wierzbowa 48, 00-701 Warszawa, tel. +48 (42) 648 02 39, e-mail: growc@ciop.lodz.pl

² Instytut Elektroniki, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki, Politechnika Łódzka, ul. Wólczńska 211/215, 90-924 Łódź

Streszczenie

W artykule zaprezentowano algorytm pozwalający na ilościową ocenę ludzi znajdujących się na zarejestrowanym obrazie, wykonanym kamerą termowizyjną. Zadaniem opracowanych modułów programowych jest wyselekcjonowanie parametrów obrazu o właściwościach dyskryminacyjnych, pozwalających wykryć człowieka. Poddano analizie: parametry statystyczne I rzędu liczone na podstawie histogramu jasności, parametry statystyczne II rzędu wyznaczone na podstawie macierzy zdarzeń wyliczonej dla czterech kierunków i trzech wielkości sąsiedztwa, parametry wyznaczone na podstawie macierzy gradientu dla maski 3 x 3 i 5 x 5, macierzy długości ciągów (*run length*) oraz na podstawie transformacji falkowej. Za pomocą współczynnika Fishera dokonano wyboru najlepszych parametrów charakteryzujących analizowane obrazy (o największej zdolności dyskryminacyjnej). W ten sposób wybrane cechy zostały wykorzystane do klasyfikacji termogramów za pomocą sztucznej sieci neuronowej ANN (*artificial neural network*).

Słowa kluczowe: termografia, analiza obrazów

Abstract

The algorithm of quantitative evaluation of people recognition based on thermograms, is presented. The aim of the research was to select parameters of thermal image, characterized by discrimination properties, allowing the recognition of the person. The first-level static parameters obtained from luminance histogram, second-level static parameters derived from co-occurrence matrix parametrized by offset (4 directions and 3 neighborhoods), luminance

Key words: thermography, thermal images analysis

Wstęp

Obrazy uzyskiwane z wykorzystaniem kamery termowizyjnej stanowią cenne źródło informacji o obserwowanych obiektach, ze względu na możliwość wizualizacji rozkładu temperatury na całej obserwowanej powierzchni [1, 2]. Ma to szczególne znaczenie w przypadku obserwacji obiektów w miejscach o ograniczonej widoczności, a więc wszędzie tam, gdzie normalna obserwacja wzrokowa nie jest możliwa. Do obserwacji ludzi z wykorzystaniem kamery termowizyjnej stosowana jest emisja promieniowania cieplnego człowieka oraz charakterystyczny kształt sylwetki. Podczas obserwacji kamerą termowizyjną mogą pojawić się inne obiekty, których, tempe-

ratury powierzchni będą takie same lub zbliżone, jak temperatury zarejestrowane na powierzchni ciała człowieka.

Temperatury rejestrowane na powierzchni ludzkiego ciała zależą od warunków zewnętrznych, odzieży oraz stanu fizjologicznego. Biorąc pod uwagę również zmiany pozycji, które w zasadniczy sposób zmieniają kształt rejestrowanego obiektu, metody, mające na celu określenie liczby ludzi znajdujących się na zarejestrowanym obrazie termowizyjnym, powinny wykorzystywać algorytmy segmentacji obrazów, czyli podział obrazu na regiony pikseli. Kryterium homogeniczności wybranych regionów jest poziom luminancji na zarejestrowanym obrazie. Poziomy luminancji odpowiadają zarejestrowanym temperaturom.

Cel pracy

Celem pracy jest opracowanie algorytmu do wyselekcjonowania parametrów obrazu o cechach dyskryminacyjnych, pozwalającego na określenie liczby ludzi znajdujących się na zarejestrowanym termogramie.

Materiał i metody

Algorytm segmentacji obrazów termowizyjnych, wykorzystany do ilościowej metody rozpoznawania ludzi na podstawie termogramów, składał się z kilku etapów.

Najpierw odbyła się rejestracja obrazu termowizyjnego do dalszej analizy. Zarejestrowany obraz termowizyjny przedstawiono w skali szarości. Na rys. 1 przedstawiono przykładowy obraz do dalszej analizy.

W następnej kolejności (etap otwierania i zamykania obszarów przez rekonstrukcję) wykonywano operacje morfologiczne rekonstrukcji obrazu, poprzedzone erozją analizowanego obrazu monochromatycznego. Jest to operacja odpowiadająca działaniu filtra minimalnego [3, 4]. Przetwarzany jest obraz tzw. markera na podstawie drugiego obrazu określonego jako maska. Za punkt startowy procesu rekonstrukcji wybierane są lokalne maksima w obrazie. Następuje dylatacja obrazu markera do etapu, na którym kontury markera pokrywają się z obrazem maski. „Rozrost” wartości szczytowych w obrazie markera powoduje charakterystyczne rozmycie krawędzi obiektów. Przykładowy analizowany obraz termowizyjny po etapie otwierania i zamykania przez rekonstrukcję przedstawiono na rys. 2a i 2b.

Operacje morfologiczne otwierania i zamykania obszarów przez rekonstrukcję służą do wyodrębnienia i uśrednienia temperatury obiektów wyróżniających się z tła.

Następnie wybierane są lokalne maksima, których otoczenie mieści się z zadanym zakresie zmienności pikseli. Operacja ta powtarzana jest kilkanaście razy dla różnego zakresu wartości pikseli, a uzyskane obrazy są uśredniane. Wynikiem tej



Rys. 1 Przykładowy obraz termowizyjny do ilościowej analizy rozpoznawania ludzi z obrazu termalnego



Rys. 2 Przykładowe obrazy termowizyjne po otwieraniu (a) i zamykaniu (b) przez rekonstrukcję



operacji jest obraz monochromatyczny, który dla omawianego przykładu przedstawiono na rys. 3.

W dalszej kolejności przeprowadzono kolejne operacje morfologiczne na uzyskanym obrazie monochromatycznym (zamykanie, otwieranie, dylatacja), w celu uwypuklenia sylwetki człowieka w obrazie, co przedstawiono na rys. 4. Następnie określono próg binaryzacji określany za pomocą progowania metodą Otsu [5] (rys. 5).

Po zakończeniu procesu binaryzacji przeprowadzona została morfologiczna operacja otwarcia, mająca na celu rozłączenie obszarów połączonych niewielką liczbą pikseli. Zastosowano również operację dylatacji z pionowymi elementami struktującym, w celu uwypuklenia pionowej sylwetki człowieka (rys. 6).

Następnie odrzucano obszary, które nie przedstawiają wybranych cech morfologicznych (rys. 7).

W celu uchwycenia całej sylwetki człowieka wykonywane jest łączenie obszarów zainteresowania położonych blisko siebie na podstawie takich cech, jak: wielkość, środek oraz masy (rys. 8).

Następnie przeprowadzana jest ekstrakcja obszarów prostokątnych zawierających pozostałe regiony zainteresowania oraz obliczenie parametrów (I, II rzędu, I, II rzędu

– falkowych z filtrem rbio3.1 oraz haar, a także parametrów gradientowych i długości ciągu) wyselekcjonowanych regionów zainteresowania [6].

Wybór cech dyskryminacyjnych

Wybór cech dyskryminacyjnych przeprowadzono z wykorzystaniem współczynnika Fishera. Wybrano 6 parametrów o najwyższych wartościach współczynnika, które wykazywały ze sobą niewielką korelację. Były to następujące parametry [7, 8]:

- II rzędu z obrazu po transformacji falką Haar'a, z podobrazu V1 (*Vertical 1*), krok 1, kierunek *antidiagonal*, *Sum Of Entropy*;
- II rzędu z obrazu po transformacji falką *Reverse Biorthogonal 3.1*, z podobrazu A1 (*Aproximation1*), krok 2, kierunek *horizontal*, *SumOfAverages*;
- II rzędu z obrazu po transformacji falką *Reverse Biorthogonal 3.1*, z podobrazu A2 (*Aproximation2*), krok 1, kierunek *horizontal*, *Difference Entropy*;
- I rzędu z obrazu po transformacji falką Haar'a, z podobrazu A1 (*Aproximation 1*), wartość średnia;
- II rzędu z obrazu, krok 3, macierz *vertical*, *Difference Entropy*;



Rys. 3 Przykładowy obraz termowizyjny po wyszukaniu regionalnych maksimum



Rys. 4 Obraz monochromatyczny po operacjach morfologicznych pozwalających na uwypuklenie sylwetki człowieka



Rys. 5 Przykładowy obraz termowizyjny po binaryzacji metodą Otsu



Rys. 6 Przykładowy obraz termowizyjny po operacjach morfologicznych pozwalających na uwypuklenie pionowej sylwetki człowieka



Rys. 7 Przykładowy obraz termowizyjny po odrzuceniu wybranych regionów



Rys. 8 Łączenie obszarów zainteresowania

- II rzędu z obrazu po transformacji falką Haar'a, z podobrazu V1 (*Vertical 1*), krok 1, kierunek *vertical*, entropia.

Sieć neuronowa

W celu określenia liczby osób znajdujących się na zarejestrowanych termogramach wykorzystano trójwarstwową sieć neuronową z algorytmem nauki ze wsteczną propagacją błędów [9]. Pierwsza i druga warstwa – 6 neuronów. Warstwa trzecia – 1 neuron.

Program

Na podstawie opisanego algorytmu opracowano oryginalne oprogramowanie służące do wykrywania oraz liczenia osób na obrazie termowizyjnym. Składa się on z dwóch zasadniczych modułów. Pierwszy moduł (działa z poziomu programu MATLAB) ma następujące możliwości:

- generowanie nowych baz danych z wybranymi parametrami zdefiniowanymi sieciami neuronowymi,
- testowanie obrazów termowizyjnych.

Drugi moduł działa niezależnie, jako plik „.exe”. Służy do testowania obrazów termowizyjnych na podstawie baz stworzonych w module pierwszym. Oba moduły operują na obrazach zapisanych w formacie MAT. Opracowane oprogramowanie działa dwuetapowo. Pierwszy etap wykrywa regionalne maksima, a następnie segmentuje obraz, tworząc regiony zainteresowania. Uzyskane obszary są testowane przez sieć neuronową, w celu określenia przynależności danego regionu do jednej z dwóch klas. W kolejnym etapie łączone są odpowiednie obszary, w celu wyselekcjonowania sylwetki człowieka, a następnie ponownego przetestowania siecią neuronową. Wynikiem działania programu jest obraz z zaznaczonymi obszarami, których prawdopodobieństwo przynależności do klasy „ludzie” jest największe.

Badania z wykorzystaniem algorytmu do ilościowej oceny rozpoznawania ludzi na podstawie termogramów

Badania sprawdzające z wykorzystaniem opisanego powyżej algorytmu wykonano z wykorzystaniem kamery termowizyjnej ThermaCam P620 (obrazy w formacie *.jpg o rozdzielczości 640 x 480). Zarejestrowane obrazy utworzyły pięć baz, które następnie służyły do testowania obrazów termowizyjnych:

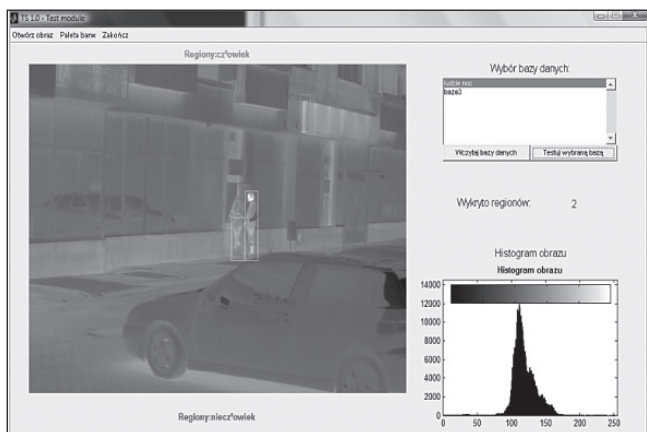
1. warunki nocne (temperatura otoczenia około 15 °C; 43 termogramy);
2. warunki dzienne (temperatura otoczenia około 20 °C; 43 termogramy);
3. warunki dzienne (temperatura otoczenia około 20 °C; 100 termogramów);
4. warunki dzienne (temperatura otoczenia około 6 °C; 100 termogramów);
5. warunki dzienne (200 termogramów zarejestrowanych przy temperaturach otoczenia 20 °C i 6 °C);

Łącznie zarejestrowano 286 termogramów. Na zarejestrowanych termogramach znajdowały się

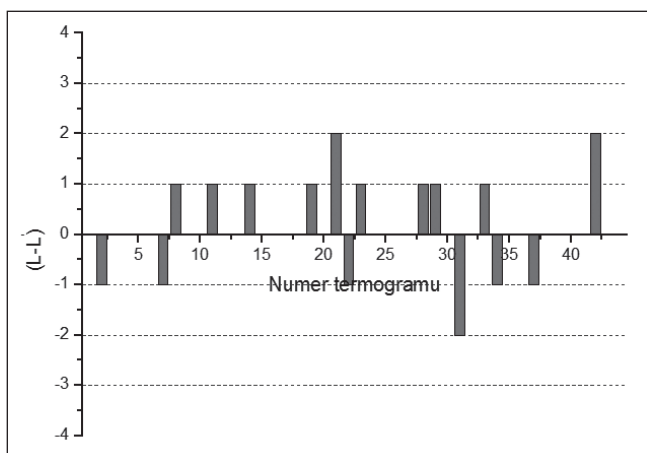
Tabela 1 Wyniki analizy wykonanej z wykorzystaniem algorytmu do ilościowej oceny rozpoznawania ludzi na podstawie termogramu

Numer termogramu*)	Warunki dzienne		Warunki nocne	
	Liczba osób na termogramie (L)	Liczba osób wykrytych przez algorytm (L')	Liczba osób na termogramie	Liczba osób wykrytych przez algorytm
1.	8	5	1	1
2.	2	2	3	4
3.	2	2	4	4
4.	3	2	1	1
5.	5	6	2	2
6.	1	1	4	4
7.	2	2	2	3
8.	3	4	3	2
9.	3	2	2	2
10.	1	1	3	3
11.	4	4	5	4
12.	2	2	4	4
13.	2	1	4	4
14.	2	5	2	1
15.	2	2	2	2
16.	2	2	2	2
17.	1	1	3	3
18.	1	1	2	2
19.	1	1	2	1
20.	6	6	1	1
21.	4	4	4	2
22.	4	2	2	3
23.	4	3	2	1
24.	3	2	3	3
25.	1	1	1	1
26.	8	5	1	1
27.	2	2	2	2
28.	1	1	2	1
29.	5	3	4	3
30.	4	4	4	4
31.	2	2	4	6
32.	4	2	2	2
33.	4	1	2	1
34.	2	1	2	3
35.	4	2	1	1
36.	3	2	2	2
37.	5	2	2	3
38.	4	3	2	2
39.	3	3	2	2
40.	1	3	3	3
41.	4	2	1	1
42.	4	2	3	1
43.	4	4	1	1
Razem	133	108 (81,2%)	105	100 (95,2%)

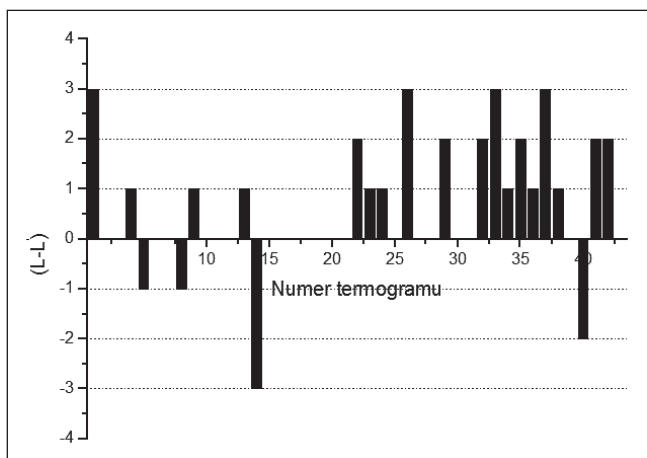
*) Przyporządkowana w tabeli liczba porządkowa dla termogramów wykonanych w warunkach dziennych i nocnych jest taka sama



Rys. 9 Zaznaczanie obszarów, których prawdopodobieństwo przynależności do klasy „ludzi” jest największe



Rys. 10 Diagram obrazujący różnicę w liczbie osób znajdujących się na termogramie i osób rozpoznanych przez algorytm w warunkach nocnych



Rys. 11 Diagram obrazujący różnicę w liczbie osób znajdujących się na termogramie i osób rozpoznanych przez algorytm w warunkach dziennych

elementy infrastruktury miejskiej (budynki mieszkalne). Pojawiały się również drzewa i samochody.

Następnie testowano obrazy termowizyjne. Wynikiem tych testów są obrazy z zaznaczonymi obszarami, których prawdopodobieństwo przynależności do klasy ludzie jest największe. Okno programu prezentujące etap zaznaczenia tych obszarów przedstawiono na rys. 9.

W pierwszej kolejności testowano obrazy termowizyjne, które należały do określonej bazy. Wyznaczono liczbę osób na

każdym zarejestrowanym termogramie. Wyniki analizy wykonanej z wykorzystaniem bazy warunki nocne (temperatura otoczenia około 15 °C; 43 termogramy) oraz warunki dzienne (temperatura otoczenia około 20 °C; 43 termogramy) przedstawiono w tabeli 1 oraz na rys. 10 i 11. Rysunki przedstawiają diagramy obrazujące różnicę w liczbie osób znajdujących się na termogramie (L) i osób rozpoznanych (I).

Z przedstawionych wyników badań sprawdzających działanie opracowanego algorytmu do ilościowej oceny rozpoznawania ludzi na podstawie termogramu wynika, że lepsze rezultaty otrzymano, analizując termogramy wykonane w warunkach nocnych. Z całkowitej liczby osób (suma liczby osób znajdujących się na wszystkich 43 zarejestrowanych termogramach) algorytm wykrył 81,2% osób w warunkach dziennych oraz 95,2% w warunkach nocnych.

Następnie testowano dowolny obraz (z 286 zarejestrowanych), z wykorzystaniem bazy utworzonej z obrazów, w których składzie nie było obrazu testowanego. Pozytywne wyniki (powyżej 80% prawidłowo zaznaczonych obszarów) otrzymano w przypadku analizy obrazów z bazy warunki dzienne (temperatura otoczenia około 20 °C; 100 termogramów). ■

Literatura

1. B. Więcek, C. Peczyński-Drewny, M. Wysocki, T. Jakubowska, R. Danych, S. Zwolenik: *Advanced methods of thermal image processing for medical and biological applications*, Thermography and Lasers in Medicine, Łódź 2003.
2. J. Bauer, J. Mazurkiewicz, H. Podbielska: *Thermovision in biometrics – face recognition based on thermal imaging*, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 12, 2006, s. 85-88.
3. *Image processing toolbox user's guide*, Version 5, Mathworks Software.
4. L. Vincent: *Morphological grayscale reconstruction in image analysis: applications and efficient algorithms*, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 2 (2), 1993, s. 176-201.
5. N. Otsu: *A threshold selection method from gray-level histograms*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 9(1), 1979, s. 62-66.
6. R. Tadeusiewicz: *Sieci neuronowe*, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1993.
7. M. Więcek, R. Strąkowski, T. Jakubowska, B. Więcek: *Zastosowanie termowizji w badaniach przesiewowych na przykładzie zmian nowotworowych piersi*, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 16, 2010, s. 49-55.
8. M. Więcek, R. Strąkowski, T. Jakubowska, B. Więcek: *Software for classification of thermal imaging for medical application*, 9th International Conference on QIRT 2008, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 14, 2008, s. 143.
9. *MaZda user's manual*, Technical University of Lodz, <http://www.eletel.p.lodz.pl/mazda/>.

otrzymano / received: 21.01.2010 r.
zaakceptowano / accepted: 16.06.2010 r.