

Edward PÓLROLNICZAK

ZACHODNIOPIOMORSKI UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNY W SZCZECINIE, WYDZIAŁ INFORMATYKI,
ul. Żołnierska 49, Szczecin

Metoda aktywnych konturów w segmentacji znaków na tablicach rejestracyjnych

Dr inż. Edward PÓLROLNICZAK

Adiunkt w Katedrze Systemów Multimedialnych na Wydziale Informatyki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Zajmuje się głównie tematyką związaną z przetwarzaniem i rozpoznawaniem obrazów. Algorytmy przetwarzania obrazów stosował m.in. w dziedzinie biometrii (w szczególności na polu rozpoznawania odcisków palców).



e-mail: epolrolniczak@wi.zut.edu.pl

Streszczenie

Rozpoznawanie tablic rejestracyjnych jest w obecnych czasach jednym z bardziej aktualnych zagadnień. Cały proces przebiega od pozyskania zdjęcia pojazdu z tablicą rejestracyjną, poprzez ekstrakcję samej tablicy, do wydzielenia kolejnych znaków alfanumerycznych tablicy i ich rozpoznawania. W niniejszym artykule zaproponowano skuteczne rozwiązanie zagadnienia wchodzącego w proces wyodrębniania znaków z tablic rejestracyjnych. W szczególności chodzi o etap segmentacji znaków alfanumerycznych dla potrzeb systemu rozpoznawania. Proponuje się tutaj metodę aktywnych konturów, która, jak pokazano, daje doskonałe rezultaty.

Słowa kluczowe: segmentacja, tablice rejestracyjne, aktywne kontury.

Application of active contour method to segmentation of characters on license plates

Abstract

Recognition of license plates is one of the topical issues nowadays. The whole process proceeds from acquisition of a vehicle picture with the number plate, through extraction of the license plate region, to separation of consecutive alphanumerical characters of the number plate and their recognition. In the paper an efficient solution of the issue being part of the process of signs isolation from number plates is proposed. This particularly concerns the stage of segmentation of alphanumerical signs for needs of a recognition system. The method of active contours giving excellent results is proposed. Segmentation of licence plates has been chosen as an example of real life application of the presented algorithm. It seems that the license plate images contain much more noise than images of written texts. The algorithm performance was influenced by weather, air clarity, time of day, and other factors. The method was compared with the less complex SRM method and showed better performance on the same database.

Keywords: segmentation, license plate, active contours.

1. Wprowadzenie

Współczesny świat podlega ciągłemu rozwojowi. Przejawia się to między innymi w stale zwiększającej się liczbie pojazdów w ruchu drogowym. Ogromna liczba zarejestrowanych pojazdów wymaga nowoczesnych metod nadzoru. Metody wykorzystujące automatyczne rozpoznawanie tablic rejestracyjnych znajdują zastosowanie w przypadku służb mundurowych, instytucji ubezpieczeniowych, czy w badaniach statystycznych. Za pomocą automatycznego rozpoznawania tablic rejestracyjnych możliwe jest odnajdywanie poszukiwanych pojazdów, nadzór nad ich przemieszczaniem się czy zarządzanie kontrolą dostępu np. do parkingów podziemnych (system automatycznie wpuści na parking tylko samochód z zarejestrowaną tablicą). Automatyczne metody pozwalają przetwarzać zwiększoną liczbę informacji i poddawać je analizie. W naszym otoczeniu wzrasta nieustannie liczba kamer nadzorujących ruch drogowy. Ich zastosowania są różne, ale nic nie stoi na przeszkodzie, aby mogły one służyć

również automatycznemu rozpoznawaniu tablic rejestracyjnych. Systemy rozpoznawania tablic rejestracyjnych, jak każde systemy rozpoznawania i analizy obrazów mogą być wrażliwe na zakłócenia powodujące, że obraz odbiega od optymalnej oczekiwanej formy jakościowej. Dobrze jest przy projektowaniu systemów automatycznego rozpoznawania tablic rejestracyjnych stosować metody odporne na odchylenia jakościowe, bo jak pokazują badania systemy rozpoznawania nie są jeszcze doskonałe [1]. Jest to motyw do poszukiwania nowych, skutecznych metod na każdym etapie całego procesu rozpoznawania.

2. Dynamiczny a statyczny system rozpoznawania tablic rejestracyjnych

Rozpoznawanie tablic rejestracyjnych może przebiegać w dwóch tytułowych trybach – dynamicznym i statycznym. System pracujący w trybie statycznym to taki, który ma zapewnione stałe warunki pozyskiwania obrazu. Dla tego systemu charakterystyczne jest dobre, dedykowane, oświetlenie „sceny”. Tablice rejestracyjne są wtedy dobrze widoczne a oświetlenie przyczynia się do zmniejszenia szumu w ujęciu. Dodatkowo, jeśli weźmie się pod uwagę fakt, że czasem system ten wymaga, aby pojazd się zatrzymał w ustalonym miejscu (brama, szlaban) to będzie widać różnicę tego systemu (stycznego) w stosunku do dynamicznego. System dynamiczny pracuje na otwartej przestrzeni, w różnych warunkach pogodowych, a pojazdy znajdują się często w ruchu. W tym przypadku jakość rejestrowanego obrazu może być znacząco gorsza od tego uzyskanego w systemie statycznym. Z tego powodu poszukiwanie metod odpornych na zakłócenia, występujące szczególnie na obrazach z systemów z grupy dynamicznych, jest zasadne.

3. Przebieg procesu rozpoznawania tablic rejestracyjnych

Proces rozpoznawania tablic rejestracyjnych zawiera w ogólności kilka etapów: akwizycja obrazu, lokalizacja tablicy rejestracyjnej w scenie, wyodrębnienie tablicy rejestracyjnej, wyodrębnienie elementów tablicy rejestracyjnej, rozpoznawanie znaków tablicy rejestracyjnej.

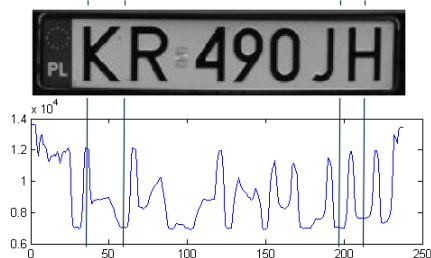
W pierwszym etapie dochodzi do pozyskania obrazu, na którym powinna znajdować się również tablica rejestracyjna. Jest to zazwyczaj fragment pojazdu z poszukiwanym elementem będącym tablicą. Czasem na obrazie znajdują się poboczne elementy jak np. fragmenty budynków, drogi itp.

Kolejny etap to określenie miejsca gdzie znajduje się tablica rejestracyjna. Zazwyczaj systemy rejestrują obraz w pewnej stałej odległości. Umożliwia to poczynienie założeń na wielkość poszukiwanego obszaru. Cechy charakterystyczne tego obszaru zdefiniowane są przepisami o ruchu drogowym. W procesie wykrywania i lokalizacji tablic rejestracyjnych literatura wymienia często metody wykrywania krawędzi [6] i transformacji Hough'a [7]. Stosuje się też sposoby wyszukiwania sygnatur tablic rejestracyjnych metodą PCA [8], i inne.

Kolejny etap to wyodrębnienie fragmentu zawierającego tablicę rejestracyjną. W tym celu można tablicę rejestracyjną lokalizować za pomocą metod rzutowania poziomego i pionowego wartości pikseli na obrazie poddanym obróbce filtrem krawędziowym Sobela [10]. Proces powinien doprowadzić do zorientowania tablicy rejestracyjnej w poziomie.

Do wyodrębnienia znaków tablicy rejestracyjnej często w literaturze ma zastosowanie rzutowanie pionowe wartości pikseli

obrazu tablicy rejestracyjnej i wykrywania maksimum i minimum w wyniku rzutu [8] powinno dawać dobre rezultaty (rysunek 1).



Rys. 1. Rzut pionowy wartości pikseli dla tablicy rejestracyjnej (wynik dla negatywu w odcieniach szarości) [12]

Fig. 1. Vertical projection of pixels value for licence plate [12]

Właśnie ten etap i taki sposób jego realizacji jest powodem poszukiwania skuteczniejszych rozwiązań. Metoda pokazana w powyższym przykładzie ma wady spowodowane tym, że niektóre litery lub cyfry posiadają budowę powodującą w ich rzucie pionowym uwidocznienie minimum lokalnych. Minima takie nie byłyby niebezpieczne gdyby wyodrębnienie tablicy było doskonałe, tzn. tło białe bez ramki i same znaki tablicy. W rzeczywistości tablica nie jest idealnie biała – zależy to od warunków oświetleniowych. Podejmowane w literaturze stosowanie logiki rozmytej i sieci neuronowych [11], przy wysokich kosztach obliczeniowych jest nieadekwatne w stosunku do celu, jaki ma być osiągnięty a metody te nie są jednocześnie niezawodne.

Ostatnim etapem całego procesu jest rozpoznawanie znaków alfanumerycznych, których ciąg tworzy numer rejestracyjny w dalszej kolejności często poszukiwany w bazie danych. Dobrze wyodrębnione znaki są łatwe do rozpoznawania z uwagi na ich ustandaryzowany format. Można do tego celu wykorzystać metrykę L0, gdzie suma różnic między obrazem wzorcowym a rozpoznawanym może być kryterium rozpoznania danego znaku [9].

4. Metoda aktywnych konturów

W niniejszej publikacji badane jest zastosowanie metody aktywnych konturów [2] do segmentacji znaków alfanumerycznych tablicy rejestracyjnej. W ogólności metody z tej grupy stosuje się do określania kształtów obiektów nieregularnych. Aktywny kontur jest opisany za pomocą krzywej parametrycznej. Metoda polega na iteracyjnym przybliżeniu optymalnego konturu począwszy od konturu inicjalnego. Kolejne iteracje „dążą” do osiągnięcia „stanu równowagi” między tzw. siłami wewnętrznymi i zewnętrznymi zależnymi od funkcji gradientu obrazu. Siła wewnętrzna zależy od aktualnego kształtu konturu, siła zewnętrzna wynika z własności obrazu (w tym np. od interpretacji tychże własności na wyższym poziomie). Siła wewnętrzna jest obliczana jako ważona suma siły elastyczności (powiązanej z pojęciem ciągłości krzywej) i sztywności (kontroluje „zginność” krzywej). Siła wewnętrzna przyciąga punkty kontrolne krzywej (krzywych) do lokalnych maksimum energii obrazu.

Należy zwrócić uwagę na zagadnienie konturu inicjalnego. Jest to kontur, od którego zaczyna się cały proces iteracyjny. W zastosowaniu do opisywanego w tym artykule zadania wystarczy, aby kontur inicjalny znajdował się wewnątrz obszaru, które będzie interpretowane jako tło. W przypadku współczesnych, unijnych tablic rejestracyjnych jest to tło białe. Znaki nie muszą znajdować się dokładnie wewnątrz konturu inicjalnego, ale większa ich powierzchnia powinna znajdować się w jego wnętrzu. Białe tło tablicy powinno być zawsze otoczone czarną prostokątną ramką, aby zachować stabilne warunki funkcjonowania algorytmu. Jest ona dodawana sztucznie niezależnie od istnienia rzeczywistej ramki pochodzącej ze zdjęcia tablicy rejestracyjnej. Wydzielone obrazy tablic rejestracyjnych miały rozmiar 240x55 pikseli. Do takiego obrazu była dodawana czarna ramka o wielkości 3 pikseli. Kontur inicjalny był zadany jako prostokąt mniejszy o 15 pikseli

z każdego boku od wielkości obrazu wydzielonej tablicy z dodaną ramką.

W publikacji [12] opisującej zastosowanie metody SRM [5] do tego samego zadania określono pożądane cechy metody stosowanej do segmentacji. Metoda użyta do ekstrakcji znaków z tablicy rejestracyjnej powinna:

- być odporna na warunki oświetlenia,
- być odporna na zakłócenia obrazu,
- zachować kontekst – nie zmieniać znaczenia percepcyjnego obrazu.

Ostatnia z wymienionych cech określa, że po segmentacji powinny zostać zachowane elementy pożądane znaczeniowo – w tym przypadku chodzi o znaki alfanumeryczne tablicy rejestracyjnej. Każdy znak powinien być wyodrębniony jako osobna całość.

Metody aktywnych konturów są dobrze opisane w literaturze [2, 3, 4]. Znaleźć można rozwiązania, które pozwalają zmniejszyć złożoność obliczeniową postępowania. Metoda radzi sobie w warunkach okluzji. Ważne, że radzi sobie dobrze niezależnie od skali. Najważniejsze, że jest wysoce skuteczna w przypadkach słabego kontrastu lokalnego bądź globalnego i przy znacznym szumie. W niniejszej publikacji wykorzystywana jest metoda Chan-Vese [2].

5. Metoda aktywnych konturów w procesie segmentacji znaków tablicy rejestracyjnej

Metoda aktywnych konturów została tutaj wykorzystana do segmentacji tablicy rejestracyjnej na znaki. Wyodrębnienie konturów poszczególnych elementów tablicy miało tu ostatecznie na celu wydzielenie obszarów, w których znajdowały się kontury (wewnętrzne i zewnętrzne) elementów (w tym znaków alfanumerycznych) tablicy rejestracyjnej. Metoda aktywnych konturów dobrze radzi sobie z opisywaniem konturów wewnętrznych i zewnętrznych obszarów o jednolitym charakterze (zgodnie z kryteriami jednolitości) i kształt elementów opisywanych konturami nie ma tu znaczenia.

Jak wykazały doświadczenia przeprowadzonej na liczbie 100 tablic rejestracyjnych wyodrębnionych z obrazów rzeczywistych skuteczność jest bardzo wysoka. Zakładając, że uznajemy za powodzenie sytuację gdzie wszystkie znaki alfanumeryczne tablicy zostały wyodrębnione a jednocześnie nie wyodrębniono żadnych znaków przypadkowych (np. fragmentów ramki tablicy rejestracyjnej) to skuteczność wynosiła 96%. Te wymagania są bardzo restrykcyjne. W pozostałych 4% z tablic nie zostały wyodrębnione 1-3 znaków. Powodem niewyodrębnienia znaków w tych kilku procentach tablic były śruby mocujące tablice, które rdzewiejąc przybrały bardzo ciemny kolor bliski koloru znaków a jednocześnie znajdowały się między znakiem a ramką tablicy powodując połączenie czarnego wnętrza znaku w jeden obszar z czarną ramką tablicy. Prawdopodobnie można sobie z tym problemem poradzić w prosty sposób wprowadzając etap erozji. Przykład niepowodzenia ze wskazaniem przyczyny widoczny jest na rysunku 2.



Rys. 2. Przykład przyczyny błędnej segmentacji

Fig. 2. Example of the cause of incorrect segmentation

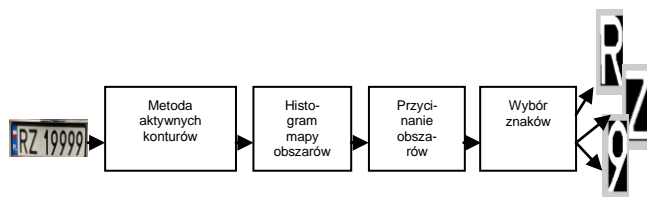
Dzięki zastosowaniu metody aktywnych konturów skrócił się łańcuch procesu wyodrębniania znaków alfanumerycznych w stosunku do tego prezentowanego we wcześniejszej publikacji [12]. Stosowanie do segmentacji metody SRM wymagało w praktyce zastosowania etapów wydajnie normalizujących i dostosowujących jakość obrazu do możliwości metody SRM. Metody obróbki wstępnej były wybierane pod kątem uzyskania jak najlepszych rezultatów na bazie obrazów testowych. Przy wykorzystaniu

metody aktywnych konturów nie były praktycznie wykorzystane inne metody normalizacji niż rozciąganie histogramu.

W przyjętym w opracowaniu algorytmie segmentacji na obszary zawierające znaki alfanumeryczne stosowano kryteria filtrujące obszary spośród wszystkich wskazanych przez metodę aktywnych konturów. Po uwagę brano stosunek wysokości do szerokości potencjalnego obszaru alfanumerycznego oraz stosunek pola powierzchni obszaru do pola powierzchni znaku ograniczonego konturem. Stosunek pól powierzchni ustalono na mniejszy od 4.0, a stosunek wysokości do szerokości leżał w przedziale $<1.0, 4.0>$ dla znaków szerokich i w przedziale $<5.0, 8.0>$ dla litery „I” (jako szczególnie wąskiej).

Elementy zawierające mniej niż ustalona liczba pikseli są odrzucane. Podobnie odrzucane są elementy niespełniające minimalnych założonych proporcji. W procesie tym odrzucane zostają więc np. elementy tablicy rejestracyjnej takie jak: ramka, pole z symbolem kraju, ewentualne śruby mocujące.

Zbiór wynikowy jest podawany na wejście systemu rozpoznawania znaków alfanumerycznych. Sposób postępowania pokazuje schemat na rysunku 3.



Rys. 3. Segmentacja tablicy rejestracyjnej z użyciem aktywnych konturów
Fig. 3. Segmentation of a license plate using the active contour methods

Dla demonstracji osiągniętego wyniku zostanie użyta tablica rejestracyjna z rysunku 4.



Rys. 4. Przykładowy obraz tablicy rejestracyjnej do badania proponowanej metody segmentacji
Fig. 4. Example of image of license plate used in the study of proposed method of segmentation

Tablica została poddana procesowi z użyciem metody aktywnych konturów opisanemu wcześniej a wyniki zebrane zostały w tabeli 1. Przykład prezentuje obraz tablicy rejestracyjnej pozyskany w trudnych warunkach oświetleniowych.

Tab. 1. Zestawienie elementów tablicy uzyskanych w procesie segmentacji
Tab. 1. Set of elements of a license plate obtained in segmentation process

Lp.	Wydzielony znak	Opis
1	Z	Z
2	S	S
3	4	4
4	1	1
5	4	4
6	6	6
7	L	L
	Całość numeru na tablicy	ZS 4146L

W tabeli 1 zebrano elementy, które przeszły etap selekcji. Tak jak opisano wcześniej wyodrębnione elementy musiały spełniać określone kryteria co do minimalnej liczby pikseli i proporcji.

Tabela zawiera wszystkie niezbędne znaki alfanumeryczne wyodrębnione z tablicy rejestracyjnej

Zdjęcia pojazdów z bazy, nazwanej tu bazą nr 1, zawierające w kadrze tablice rejestracyjne (100 obrazów) zostały wykonane w większości jednym urządzeniem rejestrującym (90 obrazów) a pozostałe pochodziły z różnych źródeł.

Zróżnicowanie obrazów było następujące:

- zdjęcia wykonane były w różnych porach dnia: ok 50% w południe i reszta wieczorem (różny był zatem kąt oświetlenia) i nie wykorzystywano sztucznego doświetlenia,
- niektóre pojazdy (25% tablic) znajdowały się w cieniu, stąd uzyskano zróżnicowany kontrast, który jak się okazało nie był żadną przeszkodą,
- tablice rejestracyjne były obrócone w granicach 0-15 stopni,
- wielkość obrazów była normalizowana do tej samej wysokości, a ponieważ niektóre tablice były obrócone w kadrze to wysokość samych tablic różniła się o około 15%,
- niektóre tablice były zgięte zgodnie z łukiem zderzaka.

Celem uwidocznienia różnorodności obrazów podlegających segmentacji zebrano ich przykłady pokazano na rysunku 5. Nie wszystkie obrazy można było tutaj przedstawić.



Rys. 5. Zróżnicowanie tablic rejestracyjnych używanych do testów
Fig. 5. Differentiation of license plates used in tests

Porównano metodę aktywnych konturów do metody SRM [5] wykorzystywanej w publikacji [12]. Na tym samym zbiorze 100 tablic rejestracyjnych metoda SRM precyzyjnie segmentowała 86% tablic. W zestawieniu z metodą aktywnych konturów, która dała 96% poprawnej segmentacji (a popełnione błędy były mniej poważne) można wnioskować o większej skuteczności metody aktywnych konturów w prezentowanym zastosowaniu.

Uzupełniając wiedzę o skuteczności przyjętego algorytmu w rzeczywistych warunkach mglistego jesiennego dnia stworzono bazę nr 2. Zawiera ona 50 obrazów rzeczywistych tablic rejestracyjnych pozyskanych właśnie podczas jesiennego mglistego dnia już po zachodzie słońca. Rysunek 6. pokazuje przykładowe obrazy z tej bazy.



Rys. 6. Zróżnicowanie tablic rejestracyjnych w testowej bazie nr 2
Fig. 6. Differentiation of license plates in test database no. 2

W przypadku 5 obrazów z bazy nr 2 nie uzyskano pełnej segmentacji znaków - 1 lub 2 znaki zostały powiązane z czarną ramką i nie zostały wydzielone jako osobna część. Można stwierdzić, że sama mgła nie powodowała dużych trudności w segmentacji. Problemem była raczej pora dnia, ale w rzeczywistych warunkach o tej porze dnia używane byłoby sztuczne doświetlenie, które całkowicie zmieniłoby wynik.

6. Podsumowanie

W niniejszym artykule zaproponowano zastosowanie metody aktywnych konturów do segmentacji znaków alfanumerycznych z tablic rejestracyjnych. Metoda aktywnych konturów w kolejnych iteracjach przybliża się do rozwiązania. Ilość iteracji sięga kilkuset, ale czas ich trwania nie jest długi, gdyż operacje są wykonywane na wyodrębnionej uprzednio tablicy rejestracyjnej. W sumie czas działania jest niewielki – w symulacjach w systemie Matlab

na procesorze P8400 2,26 GHz zajmuje kilka sekund. Pozwala to wysnuć przypuszczenie, że w przypadku implementacji w językach programowania niższego poziomu można oczekiwać działania w czasie rzeczywistym. Złożoność obliczeniowa przekłada się pozytywnie na skuteczność działania – w 96% tablic wszystkie znaki alfanumeryczne zostały bezbłędnie wyodrębnione. W porównaniu z prostszą obliczeniową metodą SRM, gdzie uzyskano 86% skuteczności widać zysk z nadłożonej ilości obliczeń. Jakość procesu dostarcza bardzo dobre dane wejściowe dla systemu rozpoznawania opartego chociażby o metody PCA/KLT/LDA [11]. Z uwagi na odporność algorytmu na zakłócenia i precyzję segmentacji metoda przytoczona w tej publikacji wydaje się cennym elementem, wieloetapowych, złożonych procesów, np. rozpoznawania.

7. Literatura

- [1] El-Adawi M., Abd el Moneim Keshk H., Mahmoud Haragi M.: Automatic license plate recognition, Helwan Faculty of Engineering.
- [2] Chan T. F. & Vese L. A.: Active contours without edges. IEEE Transactions on Image Processing, 10(2), 266-277, 2001.
- [3] Chan T.F. & Sandberg Y. B.: Active contours without edges for Vector-valued Image. Journal of Visual Communication and Image Representation 11, 130-141, 2000.
- [4] Chan T. F. & Vese L. A.: A Multiphase level set framework for image segmentation using the Mumford and Shah model. International Journal of Computer Vision 50(3), 271-293, 2002.
- [5] Nock R., Nielsen F.: Statistical Region Merging. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 26, 1452-1458, November 2004.
- [6] Anagnostopoulos C., Psoroulas I., Loumos V.: License Plate Recognition From Still Images and Video Sequences: A Survey, IEEE Transactions on Intelligent Transporting System, Vol. 9, No. 3, September 2008.
- [7] Duc D., Du Le H., Vinh P., Viet H.: Building an Automatic Vehicle License-Plate Recognition System, Intl. Conf. in Computer Science, Can Tho (Vietnam) 2005.
- [8] Kwaśnicka H., Wawrzyniak B.: License plate localization and recognition in camera pictures, Artificial Intelligence Methods, Gliwice 2002.
- [9] Skarbek W. (red.), Multimedia: Algorytmy i Standardy Kompresji, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1998.
- [10] Martinsky O.: Recognition of vehicle number plates, ICEIS 2008, Barcelona (Spain), pp 136-140, Brno (Czech Republic), 2007.
- [11] Kukharev G., Kuźmiński A.: Techniki Biometryczne. Część 1: Metody Rozpoznawania Twarzy, Pracownia poligraficzna, Wydział Informatyki, Politechnika Szczecińska, Szczecin 2002.
- [12] Półrolniczak Edward: Segmentacja elementów znaków tablic rejestracyjnych z wykorzystaniem statystycznego łączenia regionów, Metody Informatyki Stosowanej, nr 2/2009 (19), s. 3-17, ISSN 1898-5297, Polska Akademia Nauk Oddział w Gdańsku.

otrzymano / received: 06.12.2011

przyjęto do druku / accepted: 03.01.2012

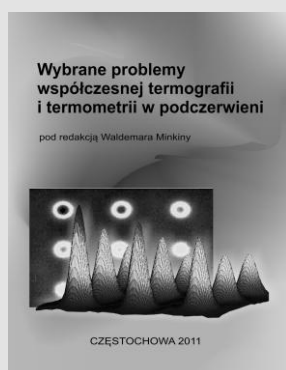
artykuł recenzowany / revised paper

RECENZJE

Wybrane problemy współczesnej termografii i termometrii w podczerwieni

Waldemar Minkina (red.)

Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2011,
ISBN 978-83-7193-512-1, ISSN 0860-5017, 149 str.



Monografia pt. „Wybrane problemy współczesnej termografii i termometrii w podczerwieni” jest pracą zbiorową, wydaną pod redakcją prof. Waldemara Minkiny, która przedstawia ciekawe zastosowania termowizji w podczerwieni. Praca wykorzystuje oryginalne osiągnięcia autorów, w tym wyniki prac promocyjnych oraz realizowanych w ramach projektów badawczych i współpracy z przemysłem. Praca dotyczy aktualnych zagadnień metrologicznych w termografii, jest

interesująca i może być przydatna w procesie kształcenia z zakresu zaawansowanych technik termowizyjnych.

Na szczególną uwagę zasługują rozdziały dotyczące analizy dokładności pomiarów termowizyjnych. Prof. Waldemar Minkina wraz z zespołem współpracowników jest wybitnym specjalistą w tym zakresie i autorem wydanych wcześniej monografii. Należy do nich zaliczyć książkę pt. „Pomiary termowizyjne – przyrządy i metody”, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2004, ISBN 83-7193-237-5, 243 str. oraz monografię w języku angielskim autorstwa Waldemara Minkiny i Sebastiana Dudzika pt. „Infrared thermography – errors and uncertainties”, John Wiley & Sons Ltd, Chichester 2009 r., ISBN 978-0-470-74718-6, 192 str. Te i inne prace zespołu prof. Minkiny cieszą się bardzo dużym zainteresowaniem w kraju i na świecie. Informacje

o tych monografiach ukazały się także w miesięczniku PAK, odpowiednio w numerach PAK 50 (2004) Nr 10, str. 28 oraz PAK 55 (2009) Nr 11, str. 977.

W monografii pt. „Wybrane problemy współczesnej termografii i termometrii w podczerwieni”, prócz informacji wstępnych o podstawach termowizji w podczerwieni, zawarto wiele przykładów obliczania błędów i niepewności występujących w typowych pomiarach termowizyjnych. Oryginalny i interesujący jest rozdział pracy dotyczący metod przetwarzania obrazów, w którym wykorzystano przekształcenia morfologiczne do wykrywania defektów podpowierzchniowych za pomocą aktywnej termografii dynamicznej. Przedstawiono wyniki symulacji komputerowych zmiennych w czasie procesów cieplnych oraz rezultaty pomiarów termowizyjnych, uzyskanych przy użyciu opracowanych stanowisk pomiarowych.

Ciekawe spostrzeżenia zawarto w rozdziale nt. badań nieniszczących. Porównano wyniki analizy fourierowskiej i falkowej sekwencji termogramów. Choć są to bardzo specjalistyczne rozważania, to mogą one być przydatne dla studentów i naukowców zajmujących się termowizją w podczerwieni w badaniach naukowych.

Monografia może być służyć wszystkim, którzy wykorzystują termowizję w praktyce oraz chcą rozszerzyć swoją wiedzę z zakresu pomiarów w podczerwieni – studentom, doktorantom, inżynierom, uczestnikom studiów doktoranckich, naukowcom i operatorom kamer termowizyjnych.

Dr hab. inż. Bogusław WIĘCEK, prof. PŁ