

Lech NAPIERAŁA
Barbara SZYMANIK

ALGORYTM PROGOWANIA W ZASTOSOWANIACH NIENISZCZĄCYCH BADAŃ TERMOGRAFIK

STRESZCZENIE *Aktywna termografia podczerwona jest techniką często stosowaną przy nieniszczącym testowaniu różnorodnych struktur. Ze względu na wolumetryczny charakter podgrzewania mikrofalowego, proponujemy użycie mikrofal do indukowania różnic temperatur w badanych obiektach. Opracowany układ eksperymentalny jest prototypowym segmentem bazowym urządzenia do wykrywania niemetalicznych min lądowych.*

Niniejszy artykuł prezentuje rezultaty zastosowania algorytmów progowania do otrzymanych termogramów. Opracowana metoda pozwoliła na detekcję obiektów symulujących miny lądowe z obrazów prezentujących rozkład temperatur.

Słowa kluczowe: *aktywna termografia podczerwona, algorytmy progowania, podgrzewanie mikrofalowe.*

mgr Barbara SZYMANIK
e-mail: szymanik@zut.edu.pl

mgr inż. Lech NAPIERAŁA
e-mail: lech.napierala@gmail.com

Katedra Elektrotechniki Teoretycznej i Informatyki,
Wydział Elektryczny,
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

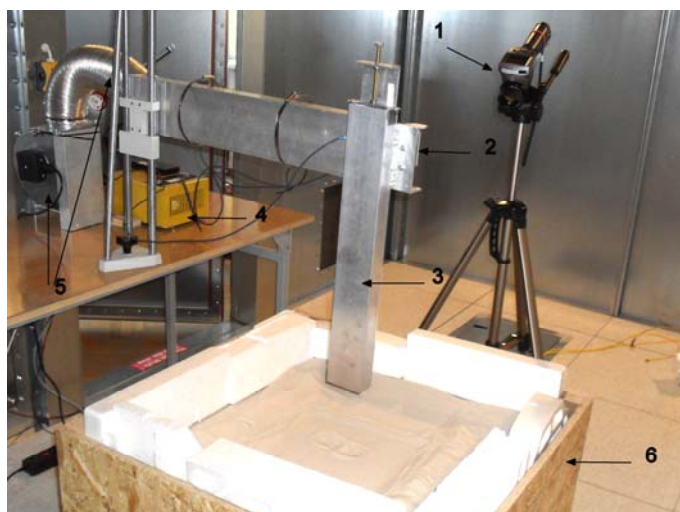
PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 249, 2011

1. WSTĘP

W ostatnich latach obserwuje się rozwój badań nad zastosowaniem termografii podczerwieni do wykrywania zmian strukturalnych w warstwie materiałów. Istotą tych badań jest analiza termicznej odpowiedzi materiału na stymulację zewnętrznym impulsem ciepła. Przy zastosowaniu konwencjonalnych źródeł ciepła, takich jak na przykład lampy halogenowe, dostarczona energia sprawia, że obserwowana po nagraniu temperatura powierzchni będzie raptownie się zmieniać. Dzięki dyfuzji cieplnej, front termiczny zacznie przesuwać się w głąb materiału. Inaczej jest, gdy do indukcji różnic temperatur wykorzystuje się promieniowanie mikrofalowe. Podgrzewanie mikrofalowe ma charakter wolumetryczny, dzięki czemu grzanie odbywa się równocześnie w całej objętości badanej struktury. Technika ta pozwala na znaczne skrócenie czasu nagrzewania, co zwiększa efektywność metody.

Opisana wyżej aktywna termografia podczerwona z wymuszeniem mikrofalowym może zostać zastosowana do wykrywania min lądowych [1]. Metoda umożliwia wykrywanie takich min, w których zawartość metalu jest niska, lub takich które zbudowane zostały całkowicie bez użycia metalu – dlatego zastosowanie tutaj wykrywacza metali nie gwarantuje ich detekcji.

W proponowanej metodzie, do generacji wiązki mikrofal dużej mocy używany jest magnetron Panasonic, działającego na częstotliwości 2,45 GHz. Obszar podgrzewany to pojemnik napęczniony piachem, w którym zakopywane są obiekty o parametrach dielektrycznych i cieplnych podobnych do tych, jakimi odznaczają się materiały wybuchowe kruszące, używane w konstrukcji min lądowych. Po podgrzaniu, akwizycji termogramów dokonuje się za pomocą czułej kamery termowizyjnej (ThermaCam E300). Rysunek 1 przedstawia opisany układ.



Rys. 1. Układ pomiarowy:
1) kamera termowizyjna ThermaCam E300, 2) magnetron, 3) falowód prostokątny, 4) zasilacz, 5) elementy układu chłodzącego 6) pojemnik z piaskiem

1.1. Teoria podgrzewania mikrofalowego

Dzięki wielu badaniom nad podgrzewaniem mikrofalowym [2, 3], udało się ustalić, że jego efektywność jest ściśle zależna od szeregu czynników. Szybkość wzrostu temperatury w materiale, przy określonej częstotliwości mikrofal (najczęściej jest to 2,45 GHz), zależna jest od jego rodzaju, temperatury, wilgotności itd. W naszych rozważaniach skupiać się będziemy na dielektrykach, do których zaliczają się plastiki, z których budowane są obudowy min niemetalicznych oraz piasek.

Ustalono, że za podgrzewanie mikrofalowe dielektryków odpowiedzialne są dwa mechanizmy: grzanie oporowe oraz oddziaływanie dipoli materiału ze zmiennym polem elektrycznym. W niektórych materiałach dielektrycznych obserwuje się polarną budowę molekularną. W obecności szybko zmieniającego się pola elektrycznego, cząsteczki polarne materiału drgają, starając się ułożyć wzdłuż linii pola zewnętrznego.

Podatność danego materiału na nagrzewanie mikrofalowe ilościowo określa się za pomocą wielkości tangensa kąta stratności:

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad (1)$$

gdzie wielkości ε' oraz ε'' oznaczają odpowiednio, część rzeczywistą i urojoną względnej zespolonej przenikalności dielektrycznej, przy czym ε'' nazywany jest współczynnikiem strat. Wartości tangensa kąta stratności dla niektórych materiałów zebrano w tabeli 1 [1].

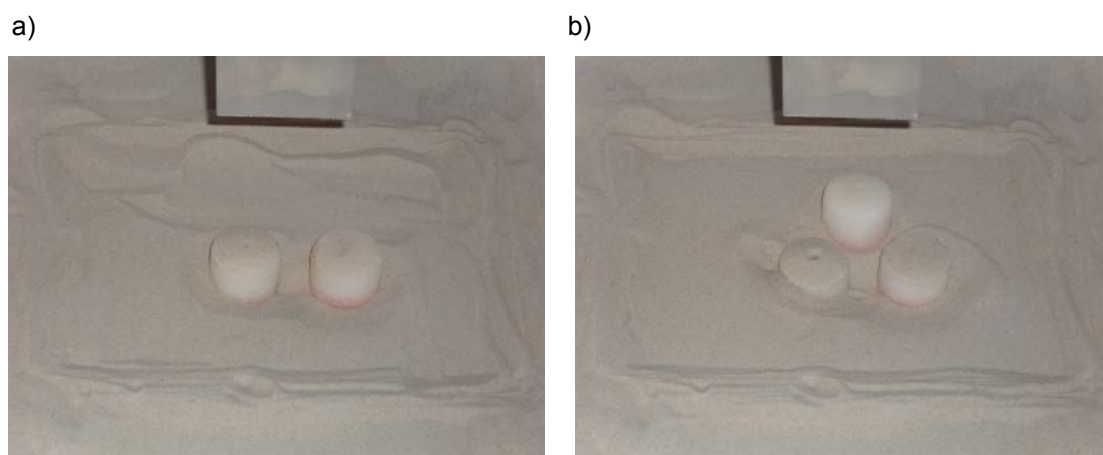
TABELA 1

Materiał	Częstotliwość	ε'	ε''
Piach (wilgotność 0%)	2,45 GHz	2,55	0,007
Piach (wilgotność 17%)	2,45 GHz	17	0,3
Bakelit	2,45 GHz	3,7	0,23
Trotyl	2,45 GHz	2,89	0,0006
Polietylen	2,45 GHz	2,25	0,0007

Jak widać dla piasku podatność na nagrzewanie mikrofalowe ściśle zależy od wilgotności. Widoczne są także różnice między tangensem kąta stratności dla plastików, materiału wybuchowego i piasku.

1.2. Badane obiekty

Ze względu na podobne wartości tangensa kąta stratności, użyto parafiny do symulacji materiału wybuchowego – w założeniu, małe parafinowe obiekty mają być dobrymi symulantami min lądowych, przy których budowie nie użyto części metalowych. Walce parafinowe (w konfiguracji: jeden, dwa i trzy walce położone blisko siebie) o średnicy około 4 cm zakopywano na dwa centymetry pod powierzchnię piasku. Po wyrównaniu powierzchni piasku nastąpiło dwudziestominutowe nagrzewanie mikrofalowe badanego układu. Akwizycja termogramów kamerą termowizyjną odbywała się po zakończeniu nagrzewania w fazie stygnięcia obiektów. Konfiguracja oraz ułożenie walców parafinowych względem apertury falowodu prezentuje rysunek 2.



Rys. 2. Walce parafinowe ułożone bezpośrednio pod aperturą falowodu:
a) dwa walce, b) trzy walce

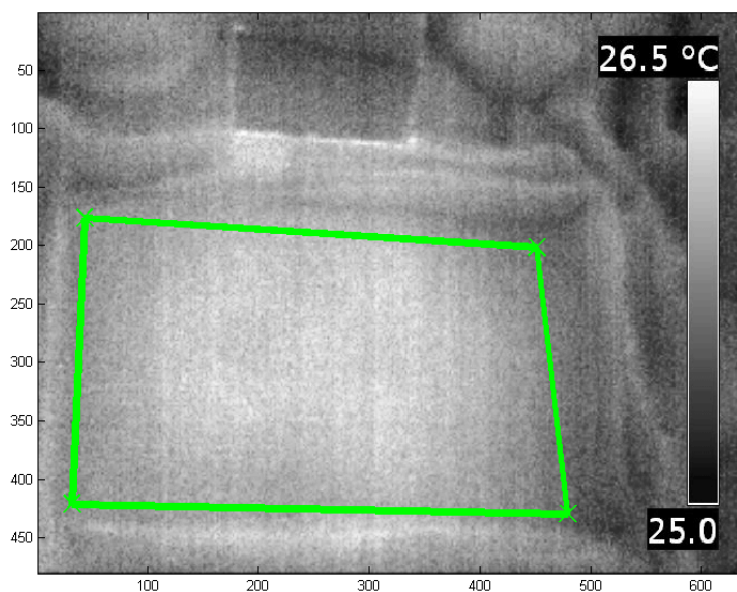
1.3. Opis problemu

Uzyskane z wykorzystaniem opisanego układu obrazy termograficzne (rys. 3) stawiają szereg problemów algorytmom rozpoznającym znajdujące się na nich obiekty. Stosunkowo duże zaszumienie i niska rozdzielczość (dla użytej w opisanym układzie pomiarowym kamery jest to 640 x 480) powodują znaczną utratę informacji o szczegółach. Obie te wady spotykane są praktycznie we wszystkich modelach kamer termowizyjnych za wyjątkiem drogich modeli naukowych. Ponadto ważnym czynnikiem utrudniającym rozpoznawanie jest obecność tzw. plamki grzejszej, wynikającej z nierównomierności nagrzewania piasku przez układ magnetronu. Falowód grzeje najsilniej obszar znajdujący się bezpośrednio pod nim, natomiast wraz ze wzrostem odległości od wylotu falowodu tempe-

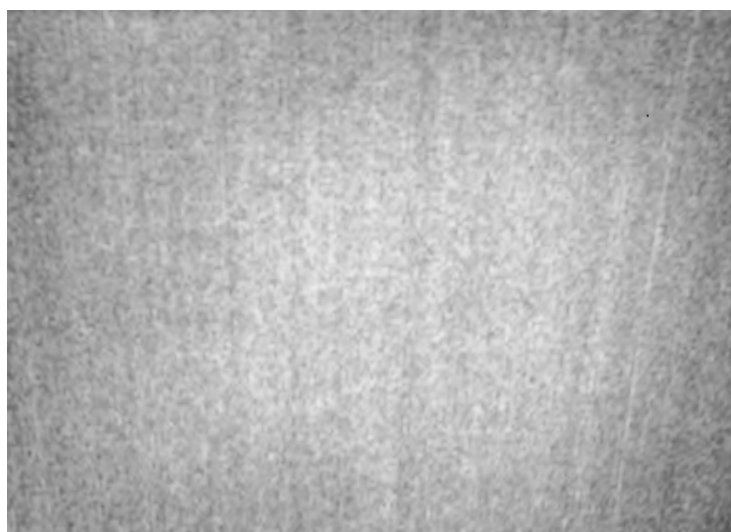
ratura maleje (rys. 4). Kolejnym czynnikiem jest zniekształcenie obrazu wynikające z faktu, że budowa układu nie pozwala na wykonanie zdjęć bezpośrednio znad obiektu.

W niniejszym artykule przedstawiony został algorytm rozwiązujący wzmiankowane problemy i umożliwiający skuteczne rozpoznanie obiektów symulujących miny lądowe na uzyskanych termogramach.

a)



b)

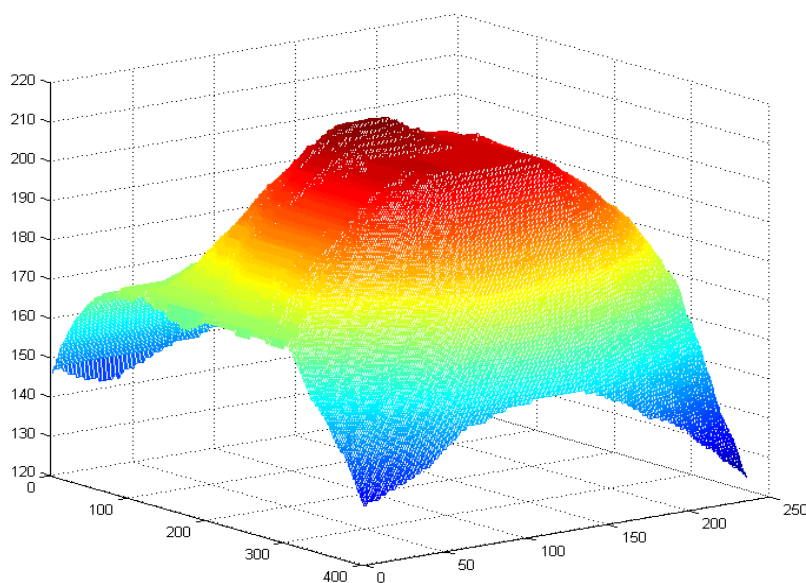


Rys. 3. Przykładowy termogram:

a) obraz z kamery termowizyjnej z zaznaczonym obszarem zainteresowania, b) obraz po wycięciu obszaru zainteresowania i rozciągnięciu z zastosowaniem interpolacji biliniowej

2. WSTĘPNA OBRÓBKA I USUNIĘCIE PLAMKI GRZEJNEJ

W ramach wstępnej obróbki z obrazu został manualnie wycięty obszar zainteresowania (rys. 3a), który następnie został rozciągnięty do pełnego prostokąta przy pomocy interpolacji biliniowej (rys. 3b) [4].



Rys. 4. Wyekstrahowany kształt plamki grzejnej

Ekstrakcja plamki grzejnej została wykonana z wykorzystaniem algorytmu opartego na filtracji medianowej. Z obrazu na rysunku 3b liczony jest obraz medianowy z wykorzystaniem dużej maski (ok. 50 x 50, rys. 5). Dzięki temu usuwane są szumy, ale obraz dopasowuje się zarówno do kształtu plamki grzejnej jak i obiektów. Gdyby obiekty były odpowiednio mniejsze od maski filtru również one zostałyby wycięte (i tym samym byłyby widoczne na obrazie różnicowym przedstawionym na rysunku 5b). W opisywanym jednak przypadku niska rozdzielczość obrazu nie pozwala na zastosowanie tak dużej maski ze względu na utratę krawędzi. Problem ten wyeliminowano poprzez wykorzystanie wiedzy *a priori* związanej z kształtem plamki grzejnej i badanymi obiektami.

Plamka grzejna w związku ze swą naturą fizyczną ma w przybliżeniu kształt figury obrotowej powstałej poprzez obrót krzywej Gaussa względem osi prostopadłej do osi x i przechodzącej przez punkt maksymalny krzywej. Jeśli więc wartości odcieni szarości dowolnego jednopikselowej szerokości paska obrazu idealnej plamki (niezależnie czy pionowego czy poziomego) potraktu-

jemy jako wartości pewnej funkcji, to funkcja ta powinna być niemalejąca aż do osiągnięcia swojej wartości maksymalnej i nierosnąca od jej osiągnięcia do końca obrazu. Obraz będący wynikiem filtracji medianowej zawiera kształt plamki grzejnej z nałożonymi na nią obiektami, nie spełnia więc tego założenia. Ponadto parafinowe obiekty symulujące miny przeciwpiechotnie nagrzewają się słabiej niż piasek, na termogramie mają więc mniejsze niż on wartości jasności. Zaproponowany algorytm wykorzystuje wszystkie te właściwości.

a)

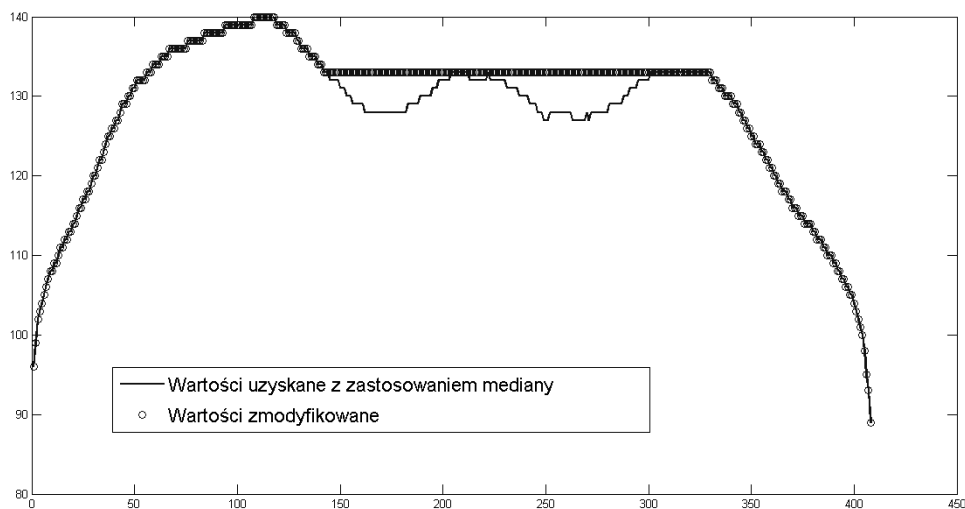


b)

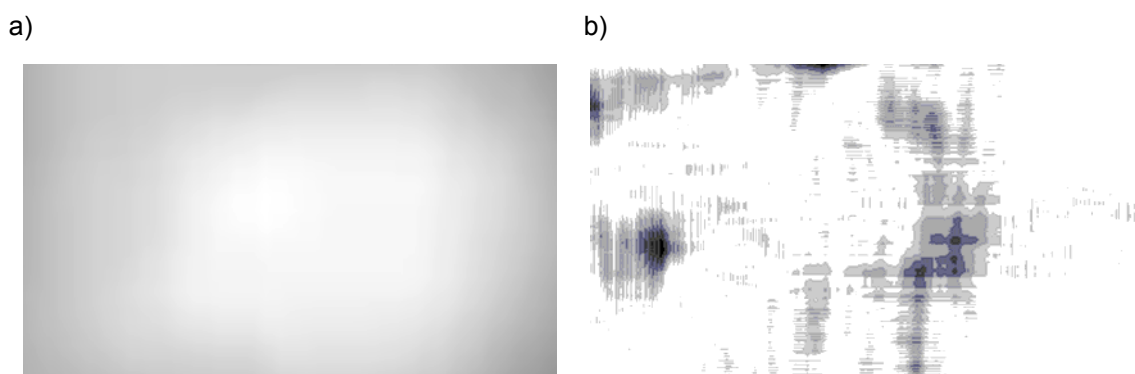
**Rys. 5. Efekt filtracji medianowej:**

a) obraz medianowy, b) różnica między obrazem wejściowym a medianowym

Dla każdej linii poziomej obrazu dokonywane jest zalewanie obszarów niezgodnych z opisaną cechą idealnej plamki. Dokonuje się tego poprzez nadpisanie przedziałów w których funkcja danej linii nie spełnia warunku mniejszą z wartości na brzegach danego przedziału (ideę prezentuje rys. 6).

**Rys. 6. Idea zastosowanej modyfikacji obrazu medianowego na przykładzie jednej linii**

Ta sama czynność wykonywana jest następnie na zmianę kolejno dla kolumn i wierszy obrazu tak długo, aż kolejna iteracja nie zmieni już obrazu. Obraz powstały przez zastosowanie tego algorytmu prezentuje rysunek. 7a. Obrazem wyjściowym tej części algorytmu jest obraz różnicy między efektem filtracji medianowej (rys. 5a) [5] a zmodyfikowanym obrazem medianowym (rys. 7a) pokazany na rysunku 7b.



Rys. 7. Efekt działania zmodyfikowanego medianowego:

a) obraz zmodyfikowanej mediany, b) różnica między obrazem medianowym a zmodyfikowanym medianowym

3. PROGOWANIE I DALSZY OBRÓBKA

W celu wyróżnienia na uzyskanym w poprzednim punkcie obrazie obiektów, zaproponowany został specjalnie dopasowany algorytm progowania. Dla każdego piksela decyzja czy należy on do obiektu czy też tła zależy od jego lokalnego otoczenia w następujący sposób: piksel jest pikselem obiektu, jeżeli więcej niż p procent pikseli znajdujących się w masce o wymiarze m jest większych niż $k * R$, gdzie:

k – współczynnik skalujący,

R – połowa zakresu dynamicznego obrazu (średnia największej i najmniejszej w nim wartości).

P , m i k są parametrami zewnętrznymi i można je dopasowywać do konkretnych przypadków. Prezentowane przykłady zostały uzyskane z następującymi wartościami parametrów:

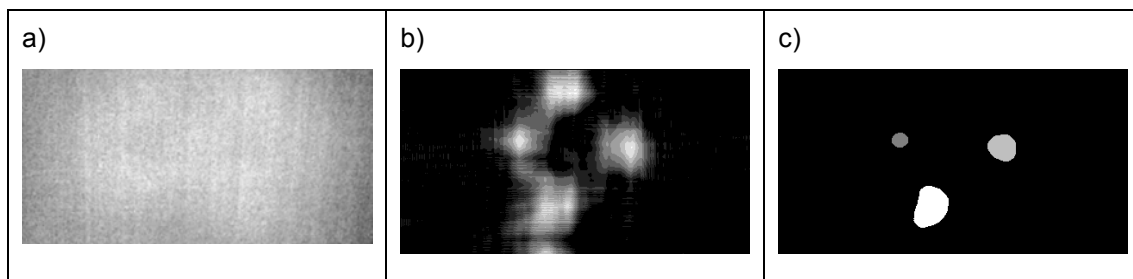
Rozmiar maski $m = 31$, procent pikseli które muszą być większe od zadanej wartości $p = 90\%$, współczynnik skalujący $k = 0.9$.

**Rys. 8.**

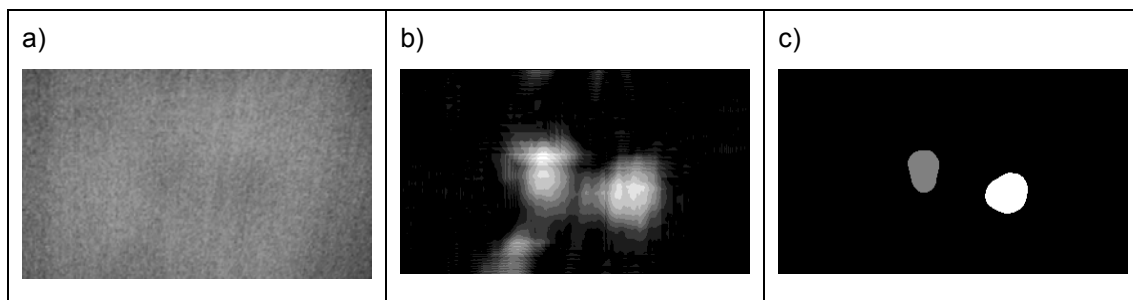
a) po progowaniu, b) końcowy efekt działania algorytmu – wyróżnione dwa odseparowane obiekty

W ramach dalszej obróbki z obrazu usunięte zostały obiekty zbyt drobne (gdyż z pewnością przy zastosowaniu takiej techniki nie mogły być obiektami fizycznymi) oraz takie które znajdowały się zbyt blisko krawędzi (jedno z założeń wykonywanych pomiarów). Na tak wyczyszczonym obrazie dokonano następnie segmentacji [5] w celu automatycznego zliczenia ilości znajdujących się na nim obiektów. Finalny efekt działania algorytmu dla dwóch walców parafinowych prezentuje rysunek 8b.

4. WYNIKI I WNIOSKI

**Rys. 9. Efekt działania algorytmu dla trzech walców:**

a) termogram przed obróbką, b) po ekstrakcji obiektów metodą zmodyfikowanej mediany, c) po progowaniu

**Rys. 10. Efekt działania algorytmu dla dwóch walców:**

a) termogram przed obróbką, b) po ekstrakcji obiektów metodą zmodyfikowanej mediany, c) po progowaniu

Dzięki usunięciu plamki grzejącej z zastosowaniem algorytmu wykorzystującego zmodyfikowaną medianę, a następnie poprzez zastosowanie zaprojektowanego algorytmu progowania, udało się skutecznie rozpoznać ilość i położenie obiektów symulujących miny przeciwpiechotne na zdjęciach termograficznych. Udowodniono też, że wykonanie zdjęć termograficznych pod kątem i użycie do ich wirtualnego wyprostowania aproksymacji biliniowej nie zniekształca obrazu w stopniu uniemożliwiającym rozpoznanie obiektów.

LITERATURA

1. Szymanik B., Lesiecki P.: Termografia podczerwona z wymuszeniem mikrofalowym w zastosowaniu do wykrywania niemetalicznych min lądowych. Prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt nr 241, str. 67-79, 2009.
2. Meredith R. J.: Engineers' Handbook of Industrial Microwave Heating, Short Run Press, 1998.
3. Metaxas A. C., Meredith R. J.: Industrial microwave heating, Peter Peregrinus Ltd., 1983.
4. Russ J.: The Image Processing Handbook Fifth Edition, Taylor & Francis Group 2007.
5. Tadeusiewicz R., Korohda P.: Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów, Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, 1997.

Rękopis dostarczono dnia 19.10 2010 r.

THRESHOLDING ALGORITHM FOR THERMOGRAPHIC NON DESTRUCTIVE TESTING

Lech NAPIERAŁA, Barbara SZYMANIK

ABSTRACT *Infrared thermography, using external excitation source, is one of the most popular methods used in non destructive testing. Due to volumetric character of microwave heating phenomena, in our system, the temperature difference is induced using microwave radiation. Developed setup is used to detect the nonmetallic landmines.*

In this paper results of thermogram analysis using thresholding algorithm is presented. Described method allowed to detect the landmines' simulants in termographic pictures.

Mgr Barbara SZYMANIK – ukończyła Uniwersytet Szczeciński na kierunkach Matematyka oraz Fizyka z zastosowaniem komputerów. Obecnie doktorantka na wydziale Eklektycznym Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Zajmuje się teorią oddziaływania mikrofal z materią.



Mgr inż Lech NAPIERAŁA – ukończył Politechnikę Szczecińską na kierunku Elektronika i Telekomunikacja. Obecnie doktorant na wydziale Eklektycznym Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Zajmuje się przetwarzaniem i analizą obrazów, ze szczególnym uwzględnieniem zastosowań w radiograficznych badaniach nieniszczących.

