

Barbara SZYMANIK
Lech NAPIERAŁA

ALGORYTMY PRZETWARZANIA OBRAZÓW W ZASTOSOWANIU DO ANALIZY TERMOGRAMÓW

STRESZCZENIE *Technika aktywnej termografii podczerwonej jest jedną z najpopularniejszych metod wykorzystywanych w badaniach nieniszczących. Proponowanym przez nas źródłem ciepła indukującym różnicę temperatur w badanym obiekcie jest generator mikrofal wysokiej mocy. Opracowany układ grzewczo – detekcyjny jest segmentem bazowym urządzenia do wykrywania niemetalicznych min lądowych.*

Niniejszy artykuł prezentuje rezultaty zastosowania metod przetwarzania obrazów do analizy otrzymanych termogramów. Przy użyciu metody wykorzystującej interpolację biliniową oraz metodę wirtualnego przesunięcia kamery z termogramów zostały usunięte zniekształcenia perspektywiczne.

Słowa kluczowe: *aktywna termografia podczerwona, analiza obrazów, podgrzewanie mikrofalowe*

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

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

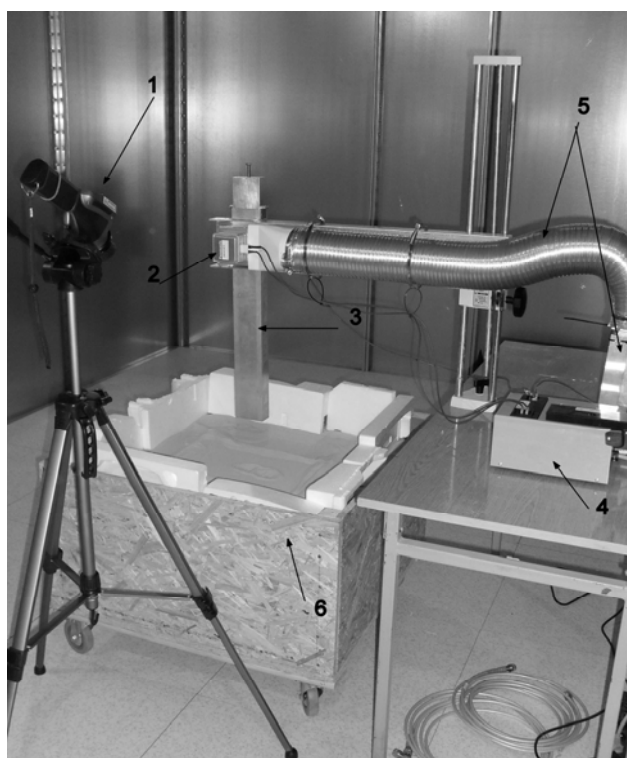
Katedra Elektrotechniki Teoretycznej i Informatyki,
Wydział Elektryczny,
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 248, 2010

1. WSTĘP

Aktywna termografia podczerwona z wymuszeniem mikrofalowym w zastosowaniu do wykrywania min lądowych, może być uznawana za komplementarną do wykrywacza metali [1]. Metoda umożliwi wykrywanie takich min, w których zawartość metalu jest niska, lub takich, które zbudowane zostały całkowicie bez użycia metalu – dlatego zastosowanie wykrywacza metali nie gwarantuje ich detekcji.

W proponowanej metodzie wiązka mikrofal dużej mocy (generowanych przy pomocy magnetronu Panasonic, działającego na częstotliwości 2,45 GHz) jest używana do objętościowego podgrzania obszaru położonego bezpośrednio pod falowodem (otrzymana ciepła plamka ma około 12 cm średnicy). Obszar podgrzewany to pojemnik napełniony piachem, w którym zakopywane są obiekty o parametrach dielektrycznych i cieplnych podobnych do tych, jakimi odznaczają się materiały wybuchowe kruszące, używane w konstrukcji nowoczesnych min lądowych. Z powodu różnic we wspomnianych parametrach między piaskiem i obiektem symulującym minę indukowana jest różnica temperatur. Po podgrzaniu dokonuje się akwizycji termogramów, obrazujących rozkład temperatury na powierzchni piasku, 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. Podstawy teoretyczne oddziaływania dielektryków z mikrofalami

Tematyce podgrzewania mikrofalowego zostało poświęconych wiele publikacji [3, 4]. Objętościowy charakter grzania mikrofalowego (podgrzewanie układu powoduje wzrost temperatury od razu w pewnej jego objętości, a nie tylko na powierzchni) jest jego główną zaletą. Cecha ta znacznie skraca czas samego podgrzewania oraz uniezależnia proces od przewodzenia ciepła.

W dielektrykach podgrzewanie mikrofalowe opiera się na dwóch zjawiskach: po pierwsze, zachodzi tutaj grzanie oporowe. Po drugie, w dielektrykach charakteryzujących się polarną budową molekularną cząsteczki dipolowe drgają, starając się ułożyć wzdłuż linii zmiennego pola elektrycznego. Ten mechanizm podgrzewania w dużym stopniu jest zależny od częstotliwości pola wymuszającego drgania. Jednym z ważniejszych parametrów materiałów rozważanych przy analizie podgrzewania mikrofalami jest współczynnik strat dielektrycznych ε'' . W praktyce do określania stratności dielektryków (a tym samym ich podatności na nagrzewanie mikrofalami) używa się następującej wielkości, nazywanej tangensem kąta stratności :

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

gdzie ε' jest przenikalnością dielektryczną. Tabela 1 przedstawia wartości tangensa kąta stratności dla niektórych materiałów [1, 2].

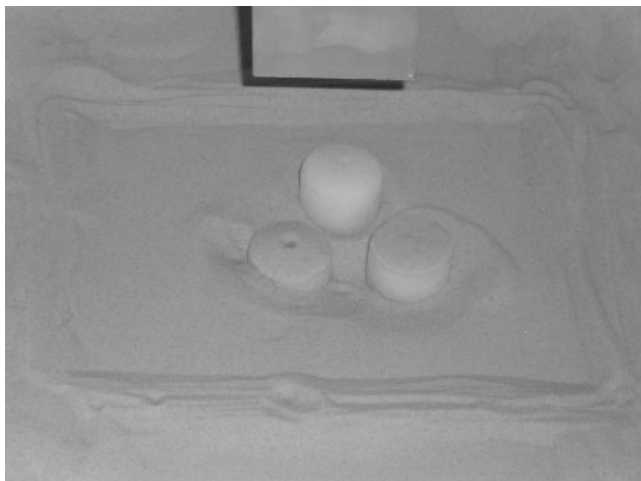
TABELA 1

| Material | 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 |
| Parafina | 2,45 GHz | 2,5 | 0,0004 |

1.2. Metodyka badań

Ze względu na podobne właściwości dielektryczne (podobne wartości tangensa kąta stratności), do symulacji materiału wybuchowego użyto kawałków

parafiny. W założeniu małe parafinowe obiekty mają być dobrymi symulantami min lądowych, przy których budowie nie użyto części metalowych. Do określenia stopnia i sposobu mikrofalowego podgrzewania wykonano również testy nagrzewania samego piasku. Przykład badanych obiektów i ich ustawienie względem falowodu przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Trzy walce parafinowe ułożone bezpośrednio pod aperturą falowodu

Badane obiekty zakopywane były na głębokość 2 cm pod powierzchnią piasku, a następnie nagrzewane mikrofalowo przez 20 minut. Po nagrzewaniu nastąpiła akwizycja obrazów termicznych, prezentujących rozkład temperatur na powierzchni piasku, przy pomocy kamery termowizyjnej. Późniejsza analiza obrazu miała na celu wskazanie miejsc chłodniejszych na termogramie – zgodnie z wcześniejszymi rozważaniami miejsca te wskazują położenia zakopanych obiektów.

2. ANALIZA TERMOGRAMÓW

Na rysunku 1 widać rzeczywiste położenie kamery termowizyjnej względem badanego obiektu. Wykorzystanie statywu zwiększa stabilność kamery ale jednocześnie wymusza jej nachylenie pod pewnym kątem, co powoduje znaczne deformację otrzymywanego obrazu termicznego. Obserwuje się zniekształcenie perspektywiczne związane bezpośrednio z nachyleniem kamery.

Z punktu widzenia przetwarzania obrazu i ekstrakcji cech, takie zniekształcenia są bardzo niekorzystne, gdyż znacząco utrudniają dalszą obróbkę i deformują ewentualne wykryte obiekty. W naszym przypadku jest to szczególnie

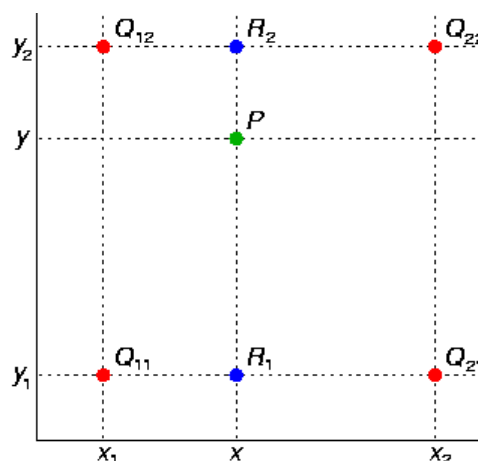
istotne ze względu na nikłą różnicę temperatur jaka po nagraniu obserwowana jest między zakopanymi obiektami a otaczającym je piaskiem. Kluczowym elementem jest więc przygotowanie obrazu do dalszej obróbki poprzez usunięcie zniekształceń spowodowanych nachyleniem kamery.

Problem zniekształceń perspektywicznych może być stosunkowo łatwo ominięty poprzez rozciągnięcie czworokątnego obszaru zainteresowania w prostokąt używając algorytmu pochodnego interpolacji biliniowej. Technika ta powoduje jednakże deformacje obrazu (nienaturalne rozciągnięcie). W celu usunięcia wymienionego zniekształcenia proponujemy wykorzystanie kalibracji kamery do określenia jej parametrów zewnętrznych i wewnętrznych, a następnie wykorzystanie ich do wykonania renderingu obrazu na przekształconą płaszczyznę. Operacja ta spowoduje wirtualne przemieszczenie kamery nad obserwowany obiekt.

2.1. Interpolacja biliniowa

Interpolacja biliniowa jest algorytmem bardzo popularnym w grafice komputerowej, w której ma liczne naturalne zastosowania. W ujęciu ogólnym pozwala na przemapowanie pikseli należących do jednego czworokąta na drugi czworokąt. Jeżeli punkt odpowiadający pewnemu pikselowi obrazu wynikowego nie trafia w piksel obrazu wejściowego, liczona jest dla niego nowa, aproksymowana wartość zgodnie z wzorem wyprowadzonym na bazie rysunku 3, jako średnia ważona wszystkich czterech sąsiadujących punktów obrazu oryginalnego:

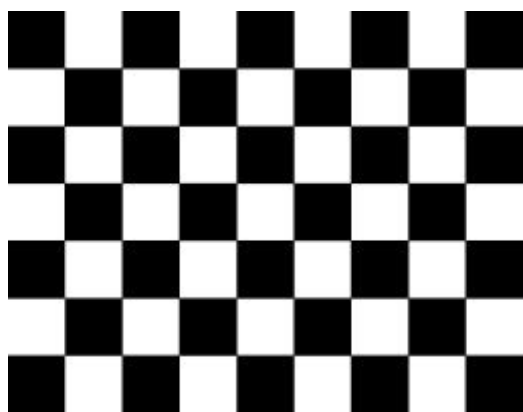
$$f(x, y) \approx \frac{f(Q_{11})}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}(x_2 - x)(y_2 - y) + \frac{f(Q_{21})}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}(x - x_1)(y_2 - y) + \frac{f(Q_{12})}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}(x_2 - x)(y - y_1) + \frac{f(Q_{22})}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}(x - x_1)(y - y_1) \quad (2)$$



Rys. 3. Idea interpolacji biliniowej

2.2. Wirtualne przemieszczenie kamery

Procedurę wirtualnego przesunięcia kamery nad obserwowany obiekt rozpoczyna się od dokonania kalibracji kamery. Do tego celu został wykorzystany gotowy pakiet: Camera Calibration Toolbox for Matlab® [5, 6]. Na podstawie obrazu kalibracyjnego (rys. 4) wyliczane są wewnętrzne, a następnie zewnętrzne parametry kamery. Do wyliczanych wewnętrznych parametrów należą: długość ogniskowej kamery, punkt główny (punkt, z którego odmierzana jest ogniskowa układu optycznego kamery) oraz współczynniki zniekształcenia obrazu. Wyznaczenie parametrów wewnętrznych kamery pozwala na wyznaczenie parametrów zewnętrznych kamery, przedstawiających względne położenie obiektu w odniesieniu do kamery.



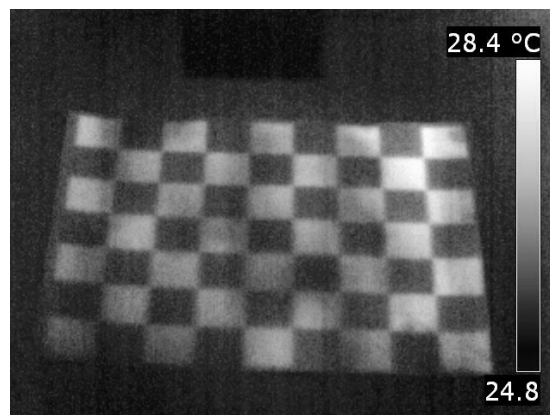
Rys. 4. Obraz kalibracyjny. Rzeczywiste rozmiary kratki to 30 mm x 30 mm

Dla wygody, przy użyciu parametrów zewnętrznych, obiekt (siatkę kalibracyjną) wyrysowuje się w oprogramowaniu Autocad – ułatwia to późniejszy rendering. Obrót siatki względem osi x , y , z , a następnie wykonanie na niej renderingu zniekształconego termogramu, powoduje usunięcie z obrazu termicznego zniekształceń perspektywicznych.

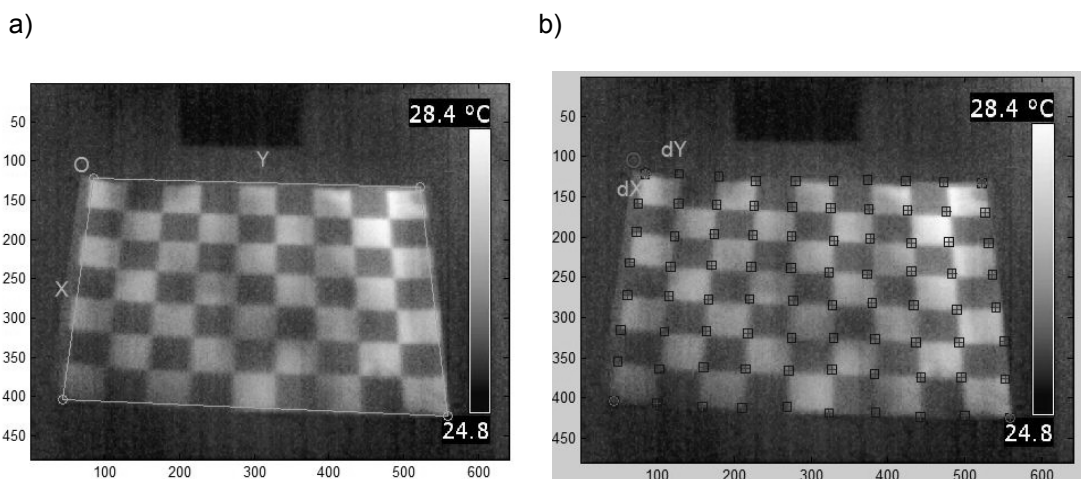
2.2.1. Zastosowanie wirtualnego przemieszczenia kamery

Pierwszym krokiem prezentowanej metody jest wykonanie termowizyjnego zdjęcia siatki kalibracyjnej. W tym celu nadruk na kartce papieru kładziemy na obiekcie badanym (na powierzchni piasku) i oświetlamy jasnym, punktowym źródłem. Różnice w emisyjnościach kratki czarnych i białych powodują, że są one widoczne dla kamery termowizyjnej (rys. 5).

Rys. 5. Termowizyjne zdjęcie obrazu kalibracyjnego, umieszczonego na powierzchni piasku



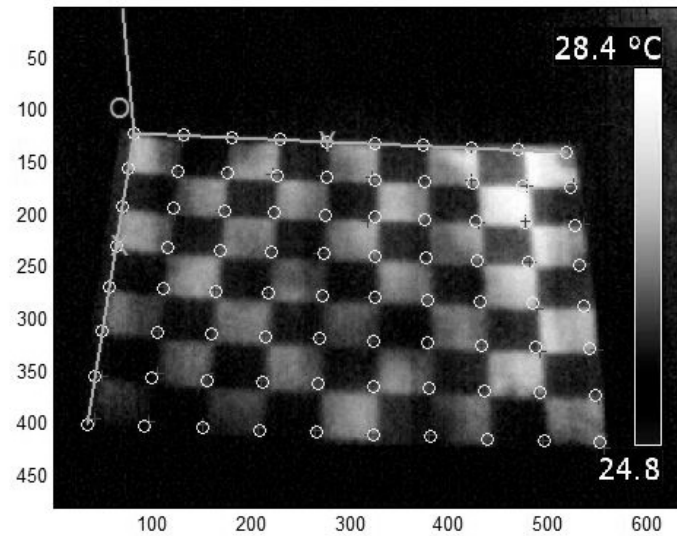
Otrzymany obraz przetwarzany jest następnie przy użyciu Camera Calibration Toolbox for Matlab®. Pierwszym etapem po załadowaniu obrazka do toolbox'a kalibracyjnego jest zaznaczenie obszaru zainteresowania. Następnie po podaniu przez użytkownika ilości krutek wzdłuż osi X i Y , pakiet wylicza położenia wierzchołków wszystkich krutek na obrazie kalibracyjnym. Etapy te prezentowane są na rysunkach 6 a i b.



Rys. 6. Etapy kalibracji:

a) zaznaczenie obszaru zainteresowania, b) ekstrakcja wierzchołków krutek w obrazie kalibracyjnym

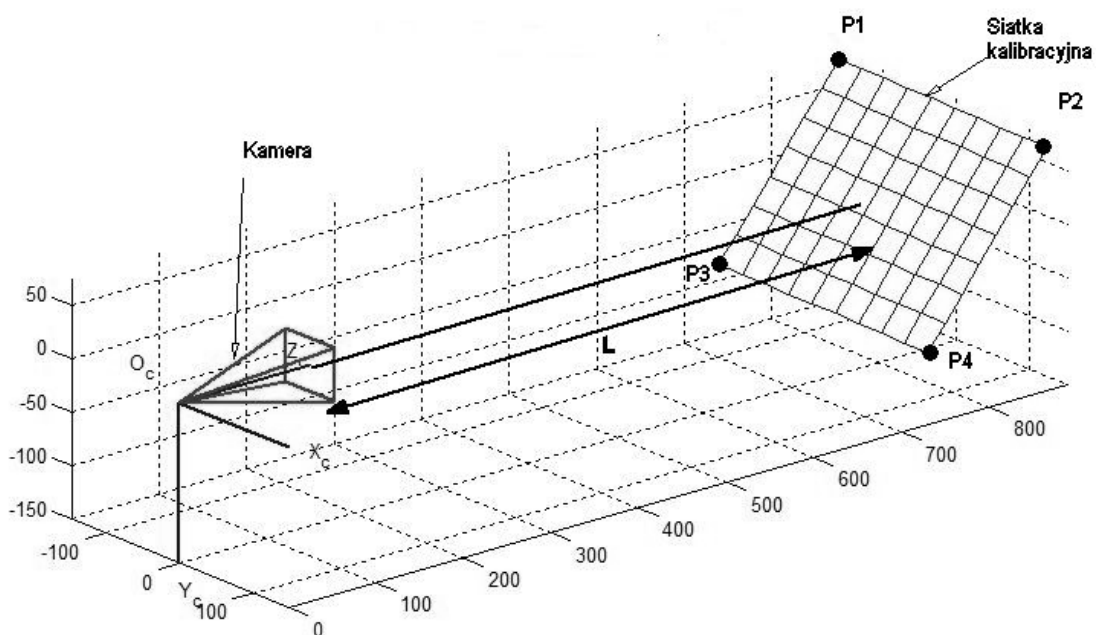
Po wyliczeniu parametrów wewnętrznych wyliczane są parametry zewnętrzne kamery. Rysunek 7 przedstawia wyznaczony układ odniesienia obiektu.



Rys. 7. Trójwymiarowy układ odniesienia obiektu.

Środek układu znajduje się w lewym górnym rogu siatki kalibracyjnej

Wyliczone parametry zewnętrzne prezentowane są na wykresie przedstawiającym położenie obiektu (siatki kalibracyjnej) względem kamery we współrzędnych obiektu (świata) – rysunek 8.

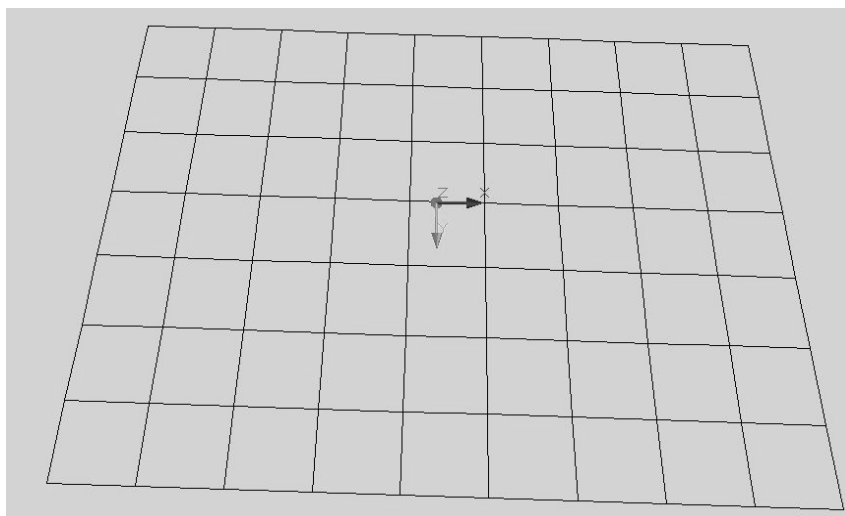


Rys. 8. Położenie obiektu względem kamery:

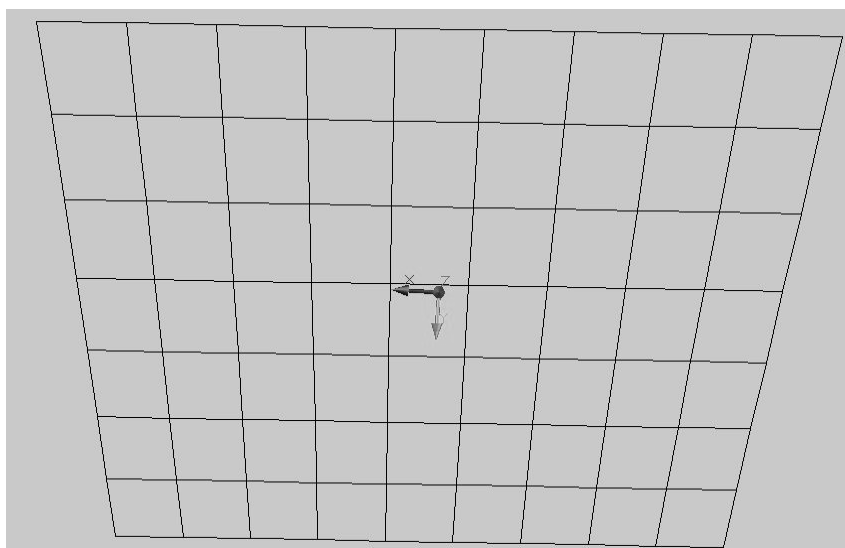
L oznacza odległość kamery od obrazu kalibracyjnego, punkty P1, P2, P3 i P4, wykorzystane zostaną do przeniesienia obiektu do środowiska AutoCAD.

Współrzędne rogów siatki kalibracyjnej, zachowane we współrzędnych P1, P2, P3 i P4 oraz odległość kamery od obrazu umożliwiają przeniesienie obiektu do środowiska AutoCAD. Środowisko to umożliwia odbicie lustrzane siatki względem osi X , Y , Z (rys. 9 a i b) oraz rendering wyciętego termogramu siatki na przygotowaną płaszczyznę (rys. 10 a, b i c) – procedura ta usuwa zniekształcenie perspektywiczne z termogramu.

a)

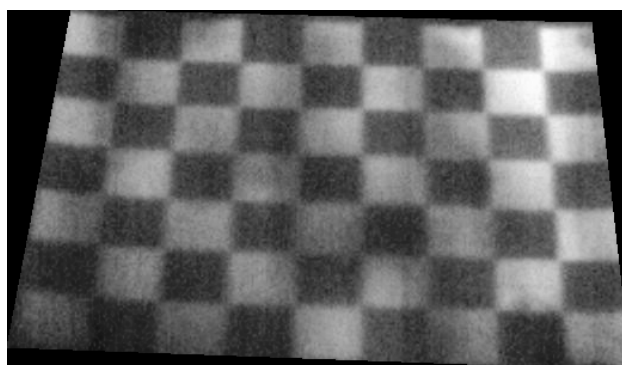


b)

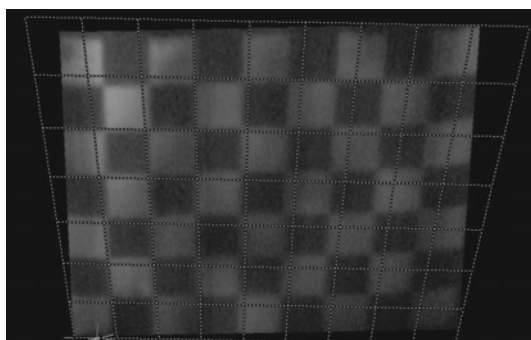


Rys. 9. Siatka kalibracyjna przeniesiona do środowiska AutoCAD:
a) oryginalny obraz, b) obraz przekształcony, przygotowany do renderingu

a)



b)



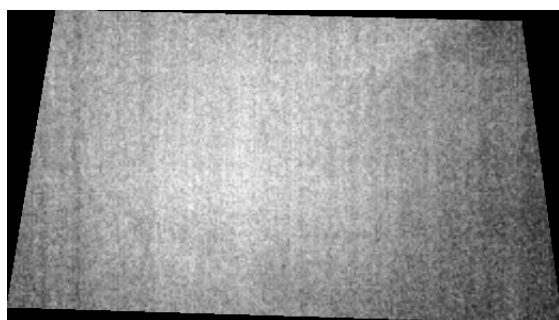
c)



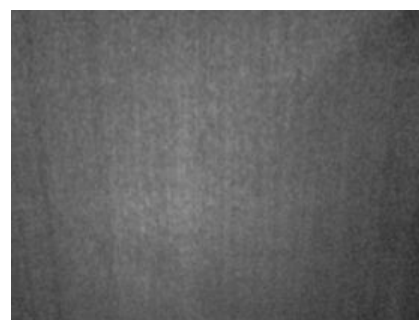
Rys. 10. Przykład renderingu termogramu siatki kalibracyjnej na przekształconą płaszczyznę w środowisku AutoCAD: a) wycięte zdjęcie siatki kalibracyjnej, b) rendering obrazu na płaszczyznę, c) gotowy obraz z usuniętym zniekształceniem perspektywnym

Wykorzystując parametry siatki otrzymane na podstawie analizy obrazu kalibracyjnego, podobnie usuwa się zniekształcenie perspektywiczne z termogramu obrazującego nagrzanie piasku w wyniku podgrzewania mikrofalami – rysunek 11 a, b.

a)



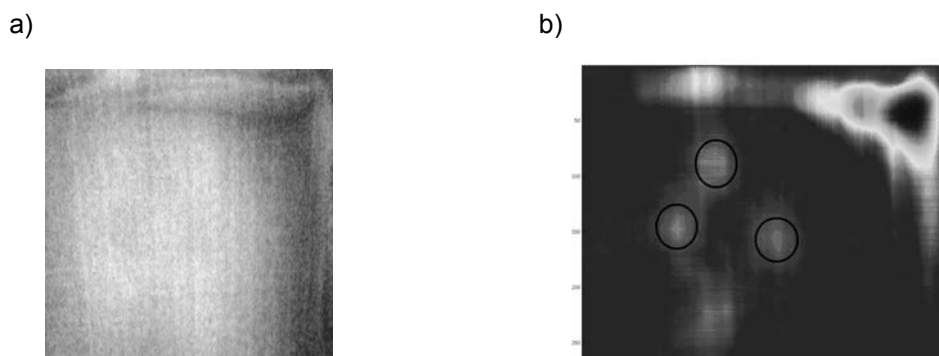
b)



Rys. 11. Usunięcie zniekształcenia perspektywnego z obrazu przedstawiającego rozkład temperatury na powierzchni podgrzanej mikrofalowo piasku

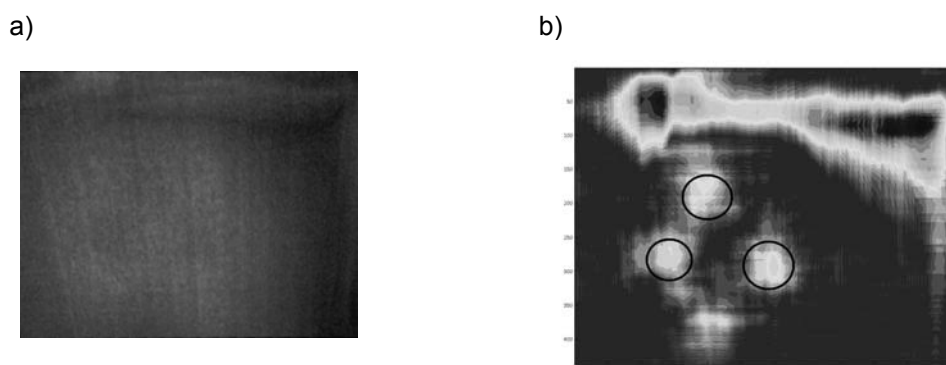
3. WYNIKI I WNIOSKI

W celu sprawdzenia działania obu algorytmów – rozciągania czworokąta oraz wirtualnego przemieszczenia kamery nad obraz – przeprowadzono eksperyment mający na celu wykrycie zakopanych walców parafinowych. Trzy takie walce zakopano na głębokość 2 cm po powierzchnię gruntu, a następnie podgrzewano przez 20 minut. Po akwizycji termogramów usunięto z nich zniekształcenie perspektywiczne, a następnie użyto autorskiego algorytmu detekcyjnego, opartego na odpowiednio zmodyfikowanym filtrze medianowym [7]. Wyniki przedstawiają rysunki 12 a, b oraz 13 a, b.



Rys. 12. Wykrycie zakopanych walców parafinowych:

a) usunięcie zniekształcenia perspektywicznego metodą rozciągania opartą na interpolacji biliniowej, b) zastosowanie algorytmu detekcji



Rys. 13. Wykrycie zakopanych walców parafinowych:

a) usunięcie zniekształcenia perspektywicznego metodą wirtualnego przesunięcia kamery nad obiekt, b) zastosowanie algorytmu detekcji

Najbardziej widocznym elementem (oprócz trzech plam obrazujących położenie walców parafinowych) jest zakłócenie w prawym górnym rogu termogramu.

Powstało ono w wyniku obecności w tym miejscu fałdy piasku (widocznej wyraźnie na rysunku 2, jak również na termogramach 12 i 13 a). Takie zniekształcenia powierzchni powodują jak widać znaczne aberracje temperaturowe, jednakże analiza ich kształtu i położenia pozwala na łatwe ich usunięcie. Wykryte walce parafinowe zaznaczono kółkami. Widać, że algorytm wirtualnego przesunięcia kamery pozwala na dokładniejszą detekcję zakopanych walców parafinowych, ze względu na fakt, iż informacja o kształcie obiektów nie jest tracona.

LITERATURA

1. Szymanik B., Lesiecki P.: Termografia podczerwona z wymuszeniem mikrofalowym w zastosowaniu do wykrywania niemetalicznych min lądowych. Prace Instytutu Elektrotechniki, str. 67-79, 2009.
2. Speight J.: Perry's Standard Tables and Formulae For Chemical Engineers, McGraw-Hill Professional, 2003.
3. Meredith R. J.: Engineers' Handbook of Industrial Microwave Heating, Short Run Press, 1998.
4. Metaxas A. C., Meredith R. J.: Industrial microwave heating, Peter Peregrinus Ltd., 1983.
5. http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/index.html
6. D.C. Brown: Close-Range Camera Calibration, Photogrammetric Engineering, pages 855-866, Vol. 37, No. 8, 1971.
7. Tadeusiewicz R., Korohoda P.: Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów, Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, 1997.

Rękopis dostarczono: 19.10.2010 r.

THEMOGRAMS ANALYSIS USING IMAGE PROCESSING ALGORITHMS

Barbara SZYMANIK, Lech NAPIERAŁA

ABSTRACT *Active infrared thermography is one of the most popular methods used in non destructive testing. In our system, the temperature difference is induced using microwave radiation. Developed setup is used to detection of the nonmetallic landmines.*

In this paper we present the results of thermograms analysis using image processing algorithms. The method using bilinear transformation and virtual camera shifting were used to remove the perspective distortions.

Mgr Barbara SZYMANIK – ukończyła Uniwersytet Szczeciński na kierunku 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.

