

Mirosław DĄBROWSKI  
Tomasz SOSNOWSKI  
Michał KRUPIŃSKI

## AUTOMATYCZNE ROZRÓŻNIANIE OBIEKTÓW LATAJĄCYCH W OBRAZIE TERMOWIZYJNYM

**STRESZCZENIE** *W artykule przedstawiono metodę pozwalającą wykryć w zakresie podczerwieni nisko lecące obiekty, na podstawie analizy sceny termalnej obserwowanej przestrzeni. Opracowany algorytm rozróżniania wykorzystuje charakterystyczne własności obrazu termowizyjnego. Prezentowana metoda została zrealizowana na przykładzie śmigłowca jako obiektu rozróżniania. Przedstawiona metoda automatycznego rozróżniania obiektów pozwala na znaczne ograniczenie liczby fałszywych alarmów, zwiększenie zasięgu rozpoznania i zmniejszenie czasu analizy obrazu.*

**Słowa kluczowe:** *promieniowanie podczerwone, obraz termowizyjny, cyfrowa analiza obrazu.*

---

**dr inż. Mirosław DĄBROWSKI**  
e-mail: mdabrowski@wat.edu.pl

**dr inż. Tomasz SOSNOWSKI**  
e-mail: tsosnowski@wat.edu.pl

**mgr inż. Michał KRUPIŃSKI**  
e-mail: mkrupinski@wat.edu.pl

Zakład Techniki Podczerwieni i Termowizji  
Instytut Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej

## 1. WSTĘP

---

Obserwowany w ostatnich latach szybki rozwój urządzeń umożliwiających wykrycie nisko lecących statków powietrznych w znacznym stopniu został spowodowany koniecznością skutecznej ochrony coraz większej ilości obiektów, zarówno militarnych, jak i cywilnych (lotniska, obiekty przemysłowe, budynki rządowe itp.). Rosnące możliwości środków do niszczenia potencjalnych celów atakujących z powietrza wymagają odpowiednio wczesnego wykrycia i podjęcia decyzji o przeciwdziałaniu pojawiającemu się zagrożeniu. Decydującym staje się rozróżnienie zbliżającego się obiektu, tak, aby skutecznie podjąć niezbędne przeciwdziałanie. Automatyczne systemy wykrywania, rozpoznania i identyfikacji obiektów latających w obrazie obserwowanej przestrzeni mają zdolność dokładnej i szybkiej realizacji tych zadań.

W dziedzinie automatycznego rozróżniania obiektów (ATR)<sup>1</sup>, metodą skutecznie konkurującą z klasycznymi metodami radiolokacyjnymi, jest termodetekcja, a więc metoda pasywna polegająca na detekcji promieniowania podczerwonego. Systemy wyposażone w jedną lub wiele kamer termowizyjnych z powodzeniem zastępują systemy radarowe w zakresie obserwacji i dozoru przestrzeni powietrznej.

Według najczęściej stosowanej klasyfikacji, pojęcie rozróżnienia obejmuje wykrycie, rozpoznanie oraz identyfikację obiektu. Zadanie wykrycia polega na stwierdzeniu, że w polu widzenia pojawił się obiekt mogący być potencjalnym celem. W zadaniu rozpoznania obserwator powinien określić klasę wyróżnianego obiektu, a więc zdecydować, czy jest to, na przykład, człowiek, czołg czy śmigłowiec. W odniesieniu do identyfikacji należy podać typ rozpoznanego obiektu.

Rozróżnianie obiektów może być realizowane w obrazie termowizyjnym obserwowanej scenerii uzyskanym za pomocą kamery termowizyjnej. Kamera termowizyjna jest urządzeniem pozwalającym na uzyskanie dwuwymiarowego obrazu scenerii w zakresie podczerwieni w określonym kącie pola widzenia. Kąt pola widzenia może być zwiększony do 360° – obserwacja dookólna – poprzez obracanie kamery lub poprzez zwielokrotnienie ilości kamer w systemie.

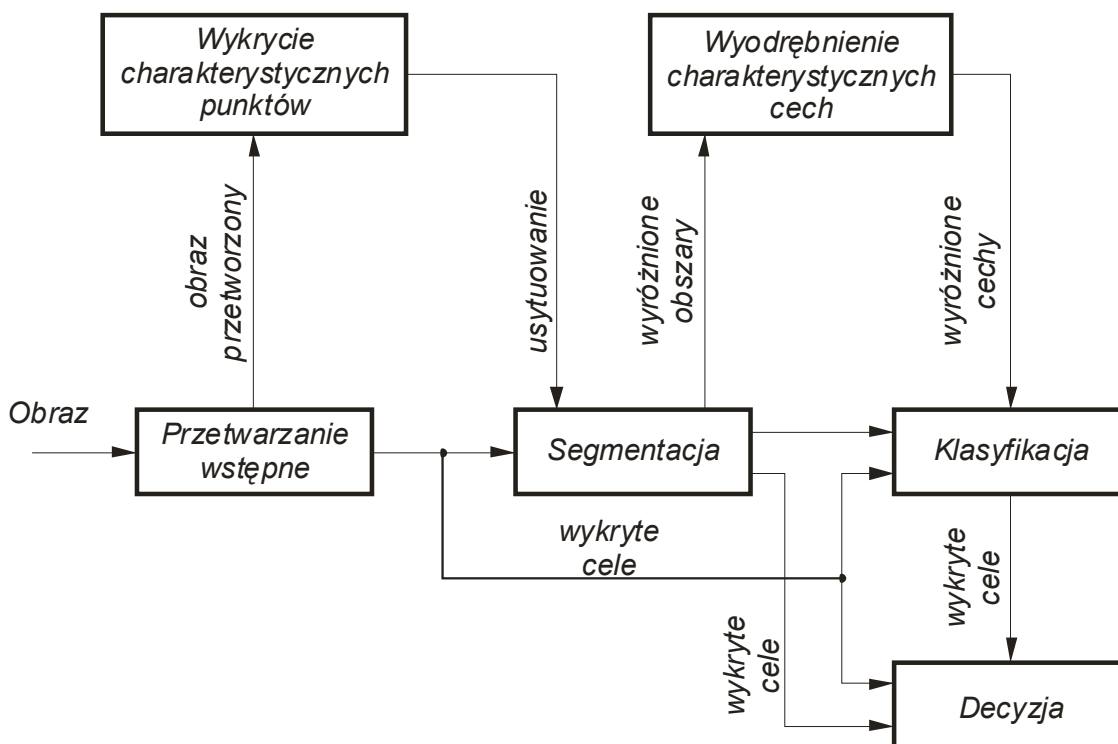
---

<sup>1</sup> ang. *Automatic Target Recognition*.

## 2. ANALIZA OBRAZU TERMOWIZYJNEGO

Pozyskany za pomocą kamery termowizyjnej obraz jest zbiorem pojedynczych punktów zróżnicowanych pod kątem ich jasności zależnej od mocy promieniowania podczerwonego z danego obszaru obserwowanej scenarii. Obraz taki może być poddany analizie pod kątem rozróżnienia zawartych w nim obiektów.

Zasadniczym elementem każdego systemu ATR, działającego na podstawie analizy pozyskanego obrazu, jest algorytm jego działania. Uogólniony algorytm działania takiego systemu z pominięciem metody pozyskania obrazu termowizyjnego za pomocą konkretnego urządzenia przedstawia rysunek 1.



**Rys. 1. Uogólniony algorytm systemu ATR**  
Źródło: opracowanie własne na podstawie [2, 3, 5]

Na każdym etapie działania powyższego algorytmu realizowane są określone operacje, początkowo na zarejestrowanym obrazie, a później na jego wyróżnionych obszarach. W dostępnej literaturze znajdują się opisy metod realizujących poszczególne etapy powyższego algorytmu. Jednakże należy

podkreślić, że metoda cyfrowej analizy obrazu, prowadząca do wykonania założonego zadania, jest bardzo ściśle powiązana z tym zadaniem oraz z rodzajem przetwarzanego obrazu. W przypadku urządzeń ATR nie ujawnia się metody analizy obrazu i klasyfikacji wykrytych obiektów zastosowanych w danym urządzeniu. Podstawą jest dokładne opisanie cech obiektu podlegającego rozróżnieniu na podstawie analizy obrazów uzyskanych na drodze testów poligonowych. Projektowany algorytm ATR musi zawierać optymalną metodę analizy obrazu sceny termalnej w czasie rzeczywistym, dopasowaną do konkretnego rodzaju sceny termalnej i obiektu rozróżnienia.

Kolejne etapy w proponowanej przez autorów analizie obrazu prowadzą do skutecznego rozróżnienia wybranego obiektu.

Pierwszym etapem, określonym jako przetwarzanie wstępne, jest określenie w pozyskanym obrazie elementów stałych obecnych w obserwowanej scenarii. Celem takiego działania jest analizowanie w dalszych etapach jedynie obrazów nowo pojawiających się obiektów. Istotnym elementem jest tu utworzenie obrazu odniesienia ( $O_{od}$ ), pozwalającego na uśrednienie fluktuacji termicznej tła. Fluktuacja ta jest efektem zmiany mocy promieniowania pochodzącego od stałych obiektów obserwowanej scenarii, na skutek zmieniających się warunków zewnętrznych, takich jak: stopień nasłonecznienia, wiatr lub pora dnia.

W kolejnym etapie następuje wykrycie w przetworzonym obrazie charakterystycznych punktów, spełniających warunek określony jako próg wykrycia ( $P_w$ ). Od prawidłowego wyznaczenia tego parametru, wyznaczanego poprzez analizę zmian temperatury promieniowania we wszystkich punktach obrazów termicznych, które zostały wykorzystane do utworzenia obrazu odniesienia, zależna jest wartość prawdopodobieństwa wykrycia celu oraz poziom fałszywych alarmów.

Celem uproszczenia dalszej analizy, obraz poddawany jest binaryzacji, a więc przekształceniu obrazu o wielu poziomach szarości na obraz „zero-jedynkowy”. W tak uzyskanym obrazie punkty przekraczające próg wykrycia uzyskują wartość jeden (punkt czarny), pozostałe wartość zero (punkt biały).

W procesie segmentacji zostają wyeliminowane pojedyncze punkty, a celem nadrzędnym jest uzyskanie dwuwymiarowego obrazu obiektu pozwalającego na analizę jego kształtu, a więc wyodrębnienie cech charakterystycznych. Analiza ta realizowana jest w oparciu o opracowany dla konkretnego obiektu parametr kształtu ( $PK$ ), pozwalający na zakwalifikowanie wyróżnionego obrazu obiektu do określonej klasy obrazów.

Ostatnim etapem analizy jest klasyfikacja obiektu, a więc etap jego identyfikacji. Dokonuje się to na podstawie opracowanego parametru identyfikacji ( $PI$ ), w którym zawarte jest połączenie charakterystycznych cech promiennych wyróżnianego obiektu.

### 3. REALIZACJA PRAKTYCZNA – ŚMIGŁOWIEC JAKO OBIEKT WYRÓŻNIANIA

Prezentowana metoda automatycznego rozróżniania obiektów w obrazie termowizyjnym została praktycznie wykorzystana do zbudowania systemu, służącego automatycznemu wykrywaniu nisko lecących śmigłowców. Podstawą działania systemu były dane uzyskane w wyniku analizy odpowiednio dużego zbioru termogramów obiektu i tła. Termogramy śmigłowca i tła zostały zarejestrowane w różnych warunkach pogodowych oraz w różnych porach roku, w warunkach poligonowych.

Pierwszym etapem realizacji opisywanego procesu jest rejestracja pewnej liczby obrazów otaczającej scenarii, niezbędnych do wyznaczenia obrazu odniesienia  $O_{od}$ . Zarejestrowane obrazy zostały przekształcone z zastosowaniem klasycznej funkcji normalizującej [7], zmodyfikowanej poprzez pozostawienie jedynie dolnego progu odcięcia oraz przesunięcie poziomu dolnego odcięcia [1]. Wylimitowano w ten sposób z dalszej analizy pojedyncze chmury, których obraz w podświetleniu mógłby być traktowany (w procesie automatycznego wyróżniania obiektów), jako obraz potencjalnego obiektu rozpoznania.

Bardzo istotnym parametrem, warunkującym skuteczne działanie metody, jest wyznaczenie wartości progu wykrycia  $P_w$ . Określenie wartości progu wykrycia jest oparte na analizie zmian temperatury promieniowania we wszystkich punktach obrazów termicznych, które zostały wykorzystane do wyznaczenia obrazu odniesienia. Dla każdego punktu obrazu odniesienia zostaje obliczona wartość odchylenia standardowego  $S_{od}(i,j)$  jego temperatury od średniej temperatury w tym punkcie  $O_{od}(i,j)$ , przy czym  $O'_k(i,j)$  jest temperaturą promieniowania w punkcie  $(i,j)$  zarejestrowanego k-tego obrazu termicznego po normalizacji:

$$S_{od}(i,j) = \sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{l=1}^p [O'_l(i,j) - O_{od}(i,j)]^2} \quad (1)$$

Przyjęto, że wartość progu wykrycia  $P_w$  jest wprost proporcjonalna do średniej wartości odchylenia standardowego obliczonego dla wszystkich punktów obrazu odniesienia:

$$P_w = z \cdot \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n S_{od}(i,j) \quad (2)$$

gdzie  $z$  jest współczynnikiem proporcjonalności wyznaczonym doświadczalnie na podstawie pomiarów poligonowych.

Kolejnym etapem jest wyznaczenie obrazu różnicowego  $O_R$ . Dla każdego punktu obrazu od wartości temperatury punktu  $O_k(i, j)$  odejmowana jest wartość temperatury odpowiadającego mu punktu  $O_{od}(i, j)$  zgodnie ze wzorem (3):

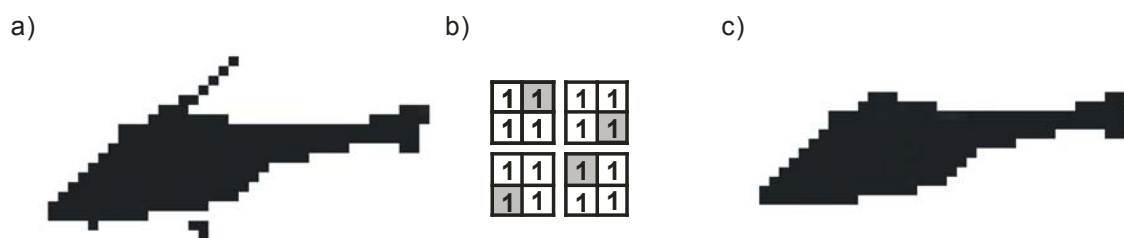
$$O_R(i, j) = | O'_k(i, j) - O_{od}(i, j) | \quad (3)$$

W wyniku tak przeprowadzonej operacji otrzymywany obraz różnicowy jest pozbawiony większości stałych elementów tła, pozostają natomiast punkty należące do obrazu celu oraz niektóre punkty obrazu tła różniące się od obrazu odniesienia z powodu niewielkich zmian temperatury promieniowania obiektów. Wszystkie punkty uzyskanego obrazu różnicowego podlegają sprawdzeniu poprzez porównanie wartości temperatury danego punktu z wartością progu wykrycia, a każdy punkt obrazu różnicowego zostaje poddany binaryzacji.

W proponowanej metodzie rozpoznawania śmigłowców zastosowano binaryzację z dolnym progiem [6], gdzie próg binaryzacji równy jest  $P_w$ , a  $O_B(i, j)$  jest punktem obrazu o wartości uzyskanej w wyniku binaryzacji zgodnie z zależnością:

$$O_B(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{dla } O_R(i, j) \leq P_w \\ 1 & \text{dla } O_R(i, j) > P_w \end{cases} \quad (4)$$

Uzyskany obraz binarny zostaje poddany procesowi segmentacji.



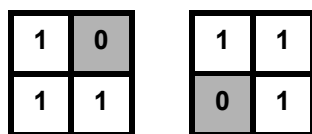
**Rys. 2. Segmentacja obrazu binarnego:**

a) obraz wejściowy, b) elementy strukturalne, c) obraz wynikowy

W prezentowanej metodzie zdecydowano połączyć czynność segmentacji z usunięciem z obrazu pojedynczych punktów lub niewielkich grup punktów niebędących obrazami wyróżnianego celu. Jednocześnie z działaniem polegającym na dołączaniu kolejnych punktów do selekcjonowanych obszarów, zostaje wykonana operacja sprawdzenia otoczenia kwalifikowanego piksela za pomocą odpowiednio dobranych elementów strukturalnych, składających się z czterech pikseli (rys. 2.b). Operacja przekształcenia obrazu wejściowego (rys. 2.a) polega na porównaniu wszystkich punktów tego obrazu z kolejnymi elementami strukturalnymi, w których czarny piksel jest analizowanym punktem

obrazu. Cyfra jeden w pikselu elementu strukturalnego oznacza punkt o wartości jeden w obrazie binarnym, wyznaczony zgodnie z zależnością (4). W przypadku, gdy zbiór czterech punktów w obrazie wejściowym spełnia warunek zgodności z elementem strukturalnym, analizowany punkt jest zaliczany do obrazu wynikowego (rys. 2.c).

Wszystkie elementy sąsiednie punktu, od którego rozpoczęto analizę, mające tę samą cechę zgodności, zostają zaliczone do tego samego obszaru, co pierwszy analizowany punkt i otrzymują ten sam identyfikator, będący numerem danego obszaru. Zrealizowane w powyższy sposób przekształcenie obrazu wejściowego nie zmienia wartości poszczególnych punktów. W obrazie wyjściowym pojawiają się wyodrębnione obszary, a dodatkowo z obrazu wejściowego zostają usunięte pojedyncze punkty i grupy punktów, niebędące obrazem wyróżnianego obiektu. Dodatkowa filtracja za pomocą elementu strukturalnego przedstawionego na rysunku 3 zapewnia uzupełnienie ewentualnych brakujących punktów w obrazie śmigłowca. „Dziury” tego typu powstawały w obrazie obiektu na skutek zbyt dużej wartości progu wykrycia oraz z powodu odbicia zimnego tła w elementach okien śmigłowca.



Rys. 3. Elementy strukturalne do uzupełniania „dziur” w obrazie obiektu

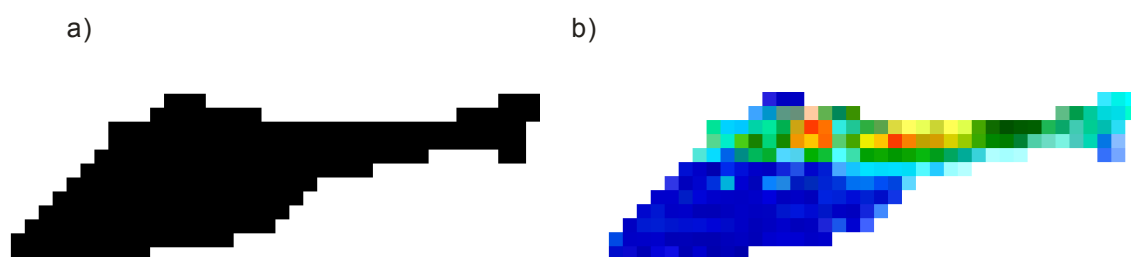
Należy podkreślić, że zaproponowana technika filtracji jest znacznie prostsza w realizacji i wymaga mniejszej ilości czasu obliczeniowego w stosunku do klasycznej techniki, należącej do grupy morfologicznych przekształceń obrazu, zwanej „zalewaniem otworów” [6].

W kolejnym etapie obraz wynikowy (rys. 2.c) jest analizowany jest w celu uzyskania charakterystycznych cech, co pozwala na wyznaczenie jego parametru kształtu ( $PK$ ). Kryterium liczby punktów ( $LP$ ) zapewnia usunięcie z dalszej analizy zbyt małych obiektów. Minimalna liczba pikseli  $LP_{min}$ , pozwalająca na rozpoznanie śmigłowca, została wyznaczona na podstawie obliczonego parametru identyfikacji ( $PI$ ) oraz kryterium Johnsona [4] i wynosi  $LP_{min} = 24$ .

Wyznaczany w następnej kolejności parametr kształtu obszaru  $PK$ , zdefiniowany jako stosunek liczby wierszy do liczby kolumn pikseli w obrazie obiektu, eliminuje z dalszej analizy wszystkie obiekty odbiegające swoim kształtem od kształtu śmigłowca. Aby uzyskać wartość tego parametru, dla danego obrazu celu wyznaczany jest najmniejszy prostokąt, w którym mieści się wyselekcjonowany obszar. Obliczony  $PK$  zostaje porównany z wartościami granicznymi określonymi dla wyróżnianego obiektu na podstawie jego geo-

metrycznych wymiarów. W przypadku wybranego śmigłowca, wartość  $PK$  musi zawierać się w przedziale od 0,28 do 2,20.

W kolejnym etapie wyznaczany jest parametr identyfikacji  $PI$  dla wyselekcjonowanych obszarów obrazu. W pierwszej kolejności każdemu punktowi, w wydzielonym w wyniku segmentacji obszarze, zostaje ponownie przyporządkowana wartość temperatury z odpowiadającego mu punktu w bieżącym obrazie termicznym (rys. 4). Następnie obliczana jest średnia wartość temperatury dla wybranych części obrazu obiektu. Iloraz wartości średnich temperatury tych obszarów określany jest jako wartość  $PI$ .



**Rys. 4. Obraz śmigłowca:**  
a) binarny, b) z wartościami temperatury

Jeśli obliczona wartość parametru rozpoznania dla danego obszaru spełnia warunek  $PI_{min} \leq PI_o \leq PI_{max}$ , wówczas analizowany obszar kwalifikowany jest jako rozpoznany śmigłowiec. Wartości graniczne obliczone dla rozpoznawanego śmigłowca wynoszą  $PI_{min} = 1,24$ ,  $PI_{max} = 1,54$ .

Na koniec informacja o rozpoznanych obiektach zostaje przesłana do wyznaczonego odbiorcy.

Wykrycie śmigłowca za pomocą zaprezentowanego algorytmu realizowane jest w czasie rzeczywistym.

## 4. WNIOSKI

---

Obraz termiczny obiektów latających charakteryzuje się specyficznymi cechami umożliwiającymi ich wykrycie w obserwowanej przestrzeni, przy czym informacje o tych cechach nie są udostępniane. Można je uzyskać na drodze badań poligonowych i symulacji komputerowych. Możliwe jest wyodrębnienie, poprzez numeryczną analizę, obrazu obiektu w obrazie termicznym obserwowanej przestrzeni, a więc jego wykrycie w obserwowanej przestrzeni.

Zaproponowana metoda ATR pozwala na znaczne ograniczenie liczby fałszywych alarmów, ponieważ uwzględnia wpływ zmiennych warunków atmo-



sferycznych powodujących zmiany w obrazie termowizyjnym. Dokładne określenie cech promiennych wyróżnianego obiektu umożliwi optymalny dobór procedur analizy obrazu, w celu zwiększenia zasięgu rozpoznania obiektu.

Opracowanie algorytmu wyróżniania obiektu jest zależne od konkretnego zadania, uwzględniającego właściwości celu i sposobu akwizycji obrazu. Nie można wobec tego posłużyć się standardową procedurą ATR w odniesieniu do projektowanego systemu i dlatego każdy tego typu system jest w pewnym stopniu unikalny.

## LITERATURA

1. Dąbrowski M.: Metoda wykrywania śmigłowców na podstawie analizy obrazu termicznego monitorowanej przestrzeni, rozprawa doktorska, Wojskowa Akademia Techniczna, 2007.
2. Ernisse B., Rogers S.K., DeSimo M.P., Raines R.A.: Complete automatic target cue/ /recognition system for tactical forward-looking infrared images, *Optical Engineering* 35(9), 2593-2603, September 1997.
3. Gerhart G.R.: Target acquisition methodology for visual and infrared imaging sensors, *Optical Engineering* 35 (10), 3026-3036, Oktober 1996.
4. Holst G.C.: *Elektro-optical imaging systems performance*, SPIE, Bellingham, 2003.
5. Kramer A.P. i in.: Relational template-matching algorithm for FLIR automatic target recognition, *Proc. SPIE Vol. 1957*, 29-37, Oktober 1993.
6. Tadeusiewicz R., Korohoda P.: *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*, WFPT, Kraków 1997.
7. Wojnar L., Majorek W.: *Komputerowa analiza obrazu*, Fotobit Design, Kraków 1994.

*Rękopis dostarczono dnia 18.04.2012 r.*

## AUTOMATIC RECOGNITION OF FLYING OBJECTS IN THERMOVISION PICTURE

Mirosław DĄBROWSKI, Tomasz SOSNOWSKI  
Michał KRUPIŃSKI

**ABSTRACT** *The paper presents the method for the detection of low-flying objects in infrared spectral range, which is based on the analysis of a thermal scene. The thermal image of a man-made aerial object has specific features that allow for object's detection. Proper*

*selection of such features leads to the development of an detection algorithm which performs the numerical analysis of the recorded thermal image. The presented method has been applied for helicopter detection. Automatic detection method takes into account variable weather conditions and their influence on resulting thermal image, thus reducing the false alarm rate. Detailed analysis of radiative properties of the object to be detected allows for optimal choice of image processing procedures in order to increase the detection range and shorten the required processing time.*

**Keywords:** *thermovision radiation, thermal image, numerical analysis of image*

**Dr inż. Mirosław DĄBROWSKI** – główny specjalista w Zakładzie Techniki Podczerwieni i Termowizji Instytutu Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej. Absolwent Wydziału Mechanicznego Wojskowej Akademii Technicznej (1984). Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w 2007 r. Realizuje zadania naukowo-badawcze dotyczące praktycznego wykorzystania kamer termowizyjnych. Zasadnicze obszary działalności naukowej to: zastosowania termowizji, modelowanie sceny termalnej oraz projektowanie zespołów mechanicznych do urządzeń podczerwieni.



**Dr inż. Tomasz SOSNOWSKI** – absolwent Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej (1993). Od 1996 roku jest pracownikiem Wojskowej Akademii Technicznej. Tytuł doktora nauk technicznych uzyskał w roku 2003. Zajmuje się problematyką związaną z projektowaniem i programowaniem systemów mikroprocesorowych, cyfrową analizą sygnału, analizą obrazu termograficznego, a także zastosowaniem układów mikroprocesorowych i programowalnych w technice podczerwieni i analizie sygnałów. Autor i współautor ponad 50 publikacji.

**Mgr inż. Michał KRUPIŃSKI** – absolwent Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej (2010). Od 2010 r. jest pracownikiem Wojskowej Akademii Technicznej. Zajmuje się problematyką związaną z projektowaniem i programowaniem systemów cyfrowych, cyfrową analizą i przetwarzaniem obrazu termograficznego, a także zastosowaniem układów programowanych w technice podczerwieni.

