



Wstępna selekcja kanałów spektralnych w procesie rozpoznania obrazowego

PIOTR WALCZYKOWSKI, AGATA ORYCH, ŁUKASZ PALUCHOWSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

Streszczenie. Ciągłe ulepszanie metod kamuflażu przyczynia się do poszukiwania malejących różnic w odbiciu spektralnym pomiędzy obiektami a tłem naturalnym. Główne problemy wynikające z natury tła i materiałów wykorzystywanych do kamuflażu to sposób prowadzenia rozpoznania, wybór kanałów spektralnych, dobór algorytmów umożliwiających przetworzenie zdjęć i poprawę kontrastu oraz metody wizualizacji wyników. W przeprowadzonych badaniach zastosowano algorytm do sprawdzania kontrastu na zobrazowaniach hiperspektralnych. Poddano analizie porównawczej metody wykrywania obiektów oparte na pojedynczych zobrazowaniach, dwóch kanałach spektralnych oraz metodę automatycznego tworzenia kompozycji hiperspektralnej. Dodatkowo sklasyfikowano metody pod kątem wyróżnienia obiektów o znanej i nieznannej charakterystyce odbiciowej. Zastosowana metodyka badań jest oparta na „odległości Mahalanobisa” i wskazuje na potrzebę prowadzenia rozpoznania wielokanałowego w celu sprawnego wykrycia obiektów.

Słowa kluczowe: teledetekcja, technika hiperspektralna, odległość Mahalanobisa

Symbole UKD: 528.7

1. Wstęp

Prowadzenie skutecznej walki z wrogiem polega na pozyskaniu szczegółowej wiedzy na temat jego możliwości oraz na nieustannym monitorowaniu jego działań w celu rozpoznania jego intencji. Obecne operacje wojskowe są prowadzone w wielu miejscach na świecie. Wystawiają one ludzi i wyposażenie na działanie różnych czynników klimatycznych i środowiskowych. W konsekwencji nieustannie zmienia się kontrast obiekt–tło. Głównym założeniem nowoczesnych systemów rozpoznawczych jest zdolność wykrywania bardzo małych różnic spektralnych pomiędzy obiektami

a tłem, pozostają one jednocześnie możliwie jak najdalej od wykrywanych obiektów. Przewiduje się, że w przyszłych konfliktach jednostki rozpoznania będą miały do czynienia nie tylko z zagrożeniami ilościowymi, ale także z rosnącą ilością zagrożeń jakościowych. By temu sprostać, należy prowadzić rozpoznanie na wielu poziomach jakościowych: szybkiej detekcji, bezbłędnej wstępnej identyfikacji, precyzyjnej identyfikacji, szczegółowego opisu oraz analizy technicznej.

Projektując system rozpoznawczy, należy zapewnić możliwość prowadzenia rozpoznania na wszystkich poziomach, aczkolwiek to detekcja i wstępna identyfikacja pozwalają na stwierdzenie, czy mamy do czynienia z obiektem prawdziwym, czy makietą. Z tego powodu są one niezmiernie ważnym elementem rozpoznania i powinny być wykonane możliwie najszybciej i najdokładniej.

Pojęcia detekcja i identyfikacja są bardzo często mylone i zamieniane. W wielu publikacjach próbuje się przedstawić proces wykrywania za pomocą metod, które powinny być wykorzystywane do identyfikacji i odwrotnie. Niektóre powszechnie stosowane algorytmy nie są w stanie sprostać wysokim wymaganiom stawianym przez maskowane obiekty wojskowe. Większość metod opiera się na ogromnej ilości obrazowań lub zewnętrznych bibliotekach spektralnych, przez co ich zastosowanie jest ograniczone. Metody polegające na wykrywaniu różnic spektralnych pomiędzy obiektem i tłem na pojedynczych obrazowaniach często powodują błędy „false alarms”. Z tych powodów wciąż aktualna jest potrzeba zastosowania nowych algorytmów w celu wykrywania i identyfikacji obiektów. Niezbędne jest też sklasyfikowanie metod pod kątem wykrywania obiektów nieznanymi — detekcja — i poszukiwania na obrazowaniu konkretnych znanych obiektów — weryfikacja.

1.1. Opis technik rozpoznawczych

Wykrywanie obiektów może być realizowane za pomocą techniki wielospektralnej poprzez dobór odpowiednich zakresów akwizycji. Na proces detekcji mają wpływ następujące czynniki: (i) kontrast obiekt–tło, (ii) warunki atmosferyczne oraz (iii) wydajność sensorów. Ponieważ kontrolowanie dwóch ostatnich czynników jest bardzo trudne, niezbędne jest skupienie uwagi na kontraście spektralnym. Ciągłe ulepszanie metod kamuflażu powoduje potrzebę poszukiwania coraz mniejszych różnic spektralnych. Mała rozdzielczość spektralna obrazowań wielospektralnych powoduje, że technika ta staje się niewystarczająca. Bardziej właściwa wydaje się w tym przypadku technika hiperspektralna. Sensory tego typu pozyskują informacje w bardzo wąskich i stycznych zakresach spektrum, dostarczając szczegółowe dane spektralne i przestrzenne o obiekcie. Dodatkową zaletą techniki hiperspektralnej jest możliwość detekcji obiektów podpikselowych (mniejszych niż rozdzielczość przestrzenna reprezentowana przez pojedynczy piksel na obrazowaniu).

Rosnąca rola rozpoznania obrazowego wymusza prowadzenie obserwacji w czasie rzeczywistym. System pozyskujący informacje w czasie, w którym byłaby

ona wciąż aktualna, powinien zapewniać szybką akwizycję oraz możliwość cyfrowej wizualizacji obrazu. Ze względu na szybki dostęp do danych, wysoką rozdzielczość oraz możliwość przetwarzania danych, technika video jest dużo wydajniejsza od tradycyjnych technik fotograficznych.

W sytuacjach, w których nie posiadamy żadnych informacji o wykrywanym obiekcie, niezbędne jest skupienie uwagi na tle. Występowanie roślinności jako tła naturalnego w europejskim teatrze działań jest bardzo popularne. Z tego powodu zastosowanie indeksów wegetacyjnych do wyróżniania nieznanymi obiektów wydaje się być odpowiednie. Wskaźniki wegetacyjne posiadają kilka innych zalet. Przetwarzanie zobrażeń z wykorzystaniem operacji NDVI czy RATIO jest bardzo proste i szybkie. Dodatkowo większość tego typu operacji wymaga niewielkiej ilości zobrażeń, co sprawia, że możliwe jest przetwarzanie obrazu w czasie rzeczywistym.

Połączenie odpowiednich kanałów rejestracji i algorytmów eliminujących tło naturalne daje możliwość łatwego wykrycia obiektów. Niezbędne jest opracowanie metody automatycznego wyboru zakresów spektralnych zapewniających największy kontrast między obiektem i tłem, a także automatyczne tworzenie kompozycji barwnych w celu wizualizacji wyników.

Artykuł ten można uznać za ocenę przydatności zobrażeń hiperspektralnych w procesie wykrywania trudnych obiektów oraz możliwości wspomaganie tego procesu poprzez zastosowanie odpowiednich algorytmów w zależności od oczekiwanego efektu. Metoda oceny kontrastu oraz wyboru najlepszej kombinacji kanałów opiera się na metodzie obliczania odległości Mahalanobisa. W rozdziale 2 przedstawiono metodykę badań. Opisano także zastosowany algorytm do oceny kontrastu spektralnego pomiędzy obiektem a tłem naturalnym na: (i) pojedynczych zobrazeniach, (ii) kompozycji dwukanałowej oraz (iii) hiperspektralnej kompozycji w barwach fałszywych. W rozdziale 3 opisano zestawy wykorzystanych danych. Rozdział 4 przedstawia wyniki analizy porównawczej. Wnioski znajdują się w rozdziale 5.

2. Metodyka oceny danych

Wyższość technologii hiperspektralnej nad wielospektralną została potwierdzona w wielu opracowaniach. Niestety wykorzystywana technologia nie zawsze pozwala na uzyskanie zamierzonego efektu. Pozyskanie informacji o obiekcie zamaskowanym jest bardzo trudne, nawet gdy wykorzystujemy do tego celu zaawansowane sensory hiperspektralne. Podczas gdy stosunek odbicia spektralnego obiektu zamaskowanego do tła naturalnego (TCR — *Target to Clutter Ratio*) na pojedynczych zobrazeniach może pozostać bardzo niski, to analiza dwóch lub trzech kanałów jednocześnie może znacząco go podnieść.

Głównym założeniem przeprowadzonych analiz jest stwierdzenie, jakiego rodzaju operacje na kanałach spektralnych przyczyniają się do zwiększenia kon-

trastu spektralnego pomiędzy obiektem a tłem i tym samym usprawniają proces detekcji. Wszystkie przeanalizowane przypadki dotyczą sytuacji, w których obiekty są większe niż rozdzielczość terenowa jednego piksela. W badaniach nie uwzględniono wpływu warunków atmosferycznych. Obiekty oraz tło znajdowały się w tych samych warunkach oświetleniowych i nie jest to czynnik mający wpływ na kontrast spektralny.

2.1. Analiza pojedynczych kanałów spektralnych

Podstawowa metoda przetwarzania sygnatur hiperspektralnych (wartości radiancji) opiera się na analizie pojedynczych zobrazowań hiperspektralnych. Chcąc wyznaczyć współczynnik TCR dla danego obiektu, należy pamiętać, że do sensora często dociera wymieszana informacja o odbiciu spektralnym tła i obiektu. Jeżeli jednak znamy położenie obiektu i tła oraz wyeliminujemy inne ograniczające czynniki, takie jak np. wpływ atmosfery, to współczynnik TCR może posłużyć jako narzędzie do oceny kontrastu i rozumiane jest jako:

$$TCR^2 = \frac{(\Delta L^S)^2}{(\sigma_T^2 + \sigma_B^2)}, \quad (2.1)$$

gdzie ΔL^S jest różnicą wartości średnich radiancji obiektu i tła, a σ_T oraz σ_B są odpowiednio średnimi odchyleniami standardowymi radiancji obiektu (*Target*) i tła (*Background*). Współczynnik TCR może być wykorzystany do wstępnej analizy danych. Zapewnia on szybką ocenę obszarów pod kątem wykrywania, a także maskowania obiektów. W tym przypadku został zastosowany do wspomagania procesu poszukiwania kanałów rejestracji o największym kontraście spektralnym pomiędzy tłem a obiektem.

2.2. Analiza dwukanałowa

Opisany wcześniej parametr TCR został zastosowany także do oceny wyników operacji wskaźnikowych wykorzystujących dwa kanały spektralne. Analiza ta pozwala dopasować konkretny indeks wegetacyjny oraz zakresy rejestracji obrazów do wyróżniania obiektów z tła roślinnego. Na potrzeby badań analizie poddano cztery indeksy wegetacyjne:

- Simple Ratio Index (*SRI*)

Indeks ten jest stosowany głównie do odróżniania terenów pokrytych roślinnością od obszarów pozbawionych pokrywy. Indeks ten podkreśla kontrast pomiędzy wysokim odbiciem w zakresie podczerwieni (*NIR*) i niskim poziomem odbicia w zakresie czerwieni (*RED*). Jest on obliczany jako stosunek tych dwóch wartości odbicia:

$$SRI = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{RED}}. \quad (2.2)$$

Indeks przyjmuje wartości od 0 do ponad 30, jednak zakres charakteryzujący roślinność naturalną to 2-8.

- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Charakteryzuje się podobnym zastosowaniem co SRI, chociaż jest mniej wrażliwy na błędy spowodowane wartością zerową w mianowniku (całkowite pochłonięcie promieniowania w zakresie czerwieni). Przyjmuje wartości z zakresu (od -1 do 1), gdzie wartości ujemne oraz zero oznaczają brak pokrywy roślinnej. Obszary roślinne przyjmują głównie wartości w zakresie (od 0,2 do 0,8). Indeks jest obliczany zgodnie z poniższym wzorem:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}. \quad (2.3)$$

- Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)

Indeks ten został wprowadzony w celu wyeliminowania wpływu zmienności barwy oraz jasności gleby na wyniki:

$$SAVI = (1 + L) \left(\frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED} + 1} \right). \quad (2.4)$$

- Two bands Enhanced Vegetation Index (EVI2)

Indeks ten bazuje na indeksie EVI (*Enhanced Vegetation Index*), który został opracowany w celu eliminacji wpływu gleby oraz warunków atmosferycznych poprzez zastosowanie kanału niebieskiego. EVI2 bazuje jednak na dwóch kanałach spektralnych, a kanał niebieski zastąpiono wartościami liczbowymi najbardziej odzwierciedlającymi faktyczne wartości odbicia w tym kanale:

$$\begin{aligned} EVI &= 2,5 \left(\frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + 6\rho_{RED} - 7,5\rho_{BLUE} + 1} \right) \Rightarrow EVI2 = \\ &= 2,5 \left(\frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + 2,4\rho_{RED} + 1} \right). \end{aligned} \quad (2.5)$$

Ze względu na fakt, iż współczynnik TCR charakteryzuje pojedynczy obiekt wraz z otaczającym go obszarem, niezbędne było wprowadzenie dodatkowego współczynnika, który charakteryzowałby cały kanał spektralny. Współczynnik ten pozwala na wybranie kanału spektralnego o najlepszym kontraście dla wszystkich

występujących na zobrażowaniu obiektów. Wartość współczynnika jest obliczana na podstawie wartości TCR dla wszystkich obiektów zgodnie ze wzorem:

$$NormTCR = \left[TCR_1^2 + \dots + TCR_n^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2.6)$$

gdzie n — ilość obiektów poddanych analizie.

2.3. Analiza wielokanałowa — tworzenie kompozycji barwnej

Wykorzystanie wielu kanałów spektralnych w procesie detekcji powoduje potencjalny wzrost możliwości wykrywania obiektów. Prowadzi jednak do wydłużenia czasu akwizycji i przetwarzania zobrażeń. W sytuacji, w której nie są znane odpowiednie kanały rejestracji, rozpoznanie tego typu nie jest efektywne. Niezbędne jest więc opracowanie metody automatycznego wyboru zakresów rejestracji w celu stworzenia odpowiedniej kompozycji spektralnej ułatwiającej detekcję i interpretację wyników. Opisana metoda bazująca na odległości Mahalanobisa może zostać zastosowana do oceny bardzo dużej ilości zobrażeń. Ze względu na łatwy sposób wizualizacji, metoda ta została zastosowana do kombinacji trzech kanałów spektralnych.

Kontrast spektralny pomiędzy obiektem a tłem może być rozumiany jako abstrakcyjna odległość pomiędzy wartościami radiancji (DN) obiektu oraz tła. Dystans ten może być obliczany za pomocą różnych metod. Jednym z użytecznych algorytmów jest ten realizujący odległość Mahalanobisa. Określa on dystans od wartości średniej danego zbioru danych. Algorytm ten jest opisany jako:

$$d_i = (x - \mu_i)^T \Sigma_i^{-1} (x - \mu_i). \quad (2.7)$$

Uwzględnia on kowariancję wśród zmiennych podczas obliczania odległości, nie jest podatny na błędy wynikające ze skali oraz korelacji danych. Jednym z zastosowań tego algorytmu jest wyszukiwanie pomiarów odstających od zbioru danych. W sytuacji w której traktujemy radiancję obiektu jako odstępstwo od radiancji tła, możemy obliczyć odległość spektralną pomiędzy tymi zmiennymi (rys. 1). Powyższe równanie może być przekształcone i rozumiane jako odległość między obiektem i tłem oraz odwrotnie, pomiędzy tłem a obiektem:

$$\begin{aligned} d_{BT} &= (\mu_B - \mu_T)^T \Sigma_T^{-1} (\mu_B - \mu_T) = \frac{(\mu_B - \mu_T)^2}{\sigma_T^2} \\ d_{TB} &= (\mu_T - \mu_B)^T \Sigma_B^{-1} (\mu_T - \mu_B) = \frac{(\mu_T - \mu_B)^2}{\sigma_B^2}. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Po przekształceniu równania te umożliwiają obliczenie dystansu Mahalanobisa pomiędzy obiektem a tłem naturalnym:

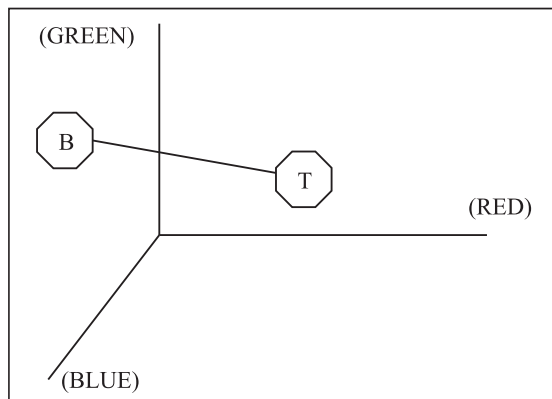
$$d_i = (\mu_B - \mu_T)^T (\Sigma_B + \Sigma_T)^{-1} (\mu_B - \mu_T), \quad (2.9)$$

gdzie μ_T i μ_B są odpowiednio wektorami średnich wartości radiancji obiektu i tła, a Σ_T i Σ_B to macierze kowariancji obliczone zgodnie z poniższymi wzorami:

$$X = [X^1 X^2 X^3], \quad \mu_T = \begin{bmatrix} \mu_{X^1} \\ \mu_{X^2} \\ \mu_{X^3} \end{bmatrix}, \quad \Sigma_T = \text{cov}(X). \quad (2.10, 2.11, 2.12)$$

Zaprojektowany na potrzeby badań program w środowisku MATLAB umożliwia automatyczne stworzenie wszystkich możliwych kombinacji trzech kanałów spektralnych, obliczenie odległości Mahalanobisa pomiędzy obiektami a tłem w przestrzeni 3D (trzy kanały rejestracji) oraz automatyczny wybór kombinacji o największym kontraście spektralnym. Wybrane trzy zakresy spektralne służą do automatycznego stworzenia kompozycji barwnej.

Opisane metody zastosowano do dwóch zestawów danych. Dokonano wstępnej analizy i sklasyfikowano metody pod kątem wyróżniania obiektów nieznanymi oraz poszukiwania obiektów o znanej charakterystyce spektralnej. Wyniki wstępnej analizy wskazały obszar kolejnych badań oraz określiły założenia i wymagania dla zestawu danych do analizy docelowej.



Rys. 1. Abstrakcyjna odległość pomiędzy radiancją tła i obiektu w układzie współrzędnych przestrzennych RGB

3. Charakterystyka zestawów danych

Na potrzeby badań wykorzystano dwa zestawy danych. Zobrazowania hiperspektralne zostały pozyskane naziemnym hiperspektralnym zestawem video, składającym się z kamery video oraz filtrów optoelektronicznych VIS i NIR. Zestaw danych nr 1 obejmował dwie sekwencje obrazowe pozyskane w zakresach 44-620 nm oraz 660-1100 nm. Zobrazowania zostały zarejestrowane z rozdzielczością spektralną 10 nm i krokiem 20 nm co dało łączną liczbę 11 zobrazowań w zakresie widzialnym oraz 23 zobrazowania w zakresie bliskiej podczerwieni. Umundurowania przedstawione na obrazowaniach zostały dobrane tak, aby były widoczne na kompozycji kanałów RGB, gdyż tylko w ten sposób można dokonać analizy porównawczej kontrastu oraz metod prowadzenia rozpoznania.

Zestaw nr 2 obejmował jedną sekwencję obrazową pozyskaną w zakresie bliskiej podczerwieni 650-1100 nm z krokiem 5 nm co dało łączną ilość 91 zobrazowań. Pozyskane zobrazowania przedstawiają kompozycję roślinną składającą się z dwóch roślin żywych oraz jednej sztucznej. Roślina sztuczna nie jest rozróżnialna na kompozycji RGB.

4. Wyniki analizy

Wykorzystanie zobrazowań hiperspektralnych pozwala na wykrycie maksymalnych różnic spektralnych pomiędzy obiektem a tłem, niewidocznych dla ludzkiego oka, a także nierozróżnialnych przez sensory multispektralne. O ile możliwe było stworzenie powłok maskujących, które imitowały roślinność naturalną w zakresie widzialnym, to stworzenie maskowania w zakresie podczerwieni stwarzało dużo trudności. Przedstawione poniżej wyniki analiz wskazują, że główny obszar badań obejmuje zakres bliskiej podczerwieni. Z tego też względu z analizy docelowej wyeliminowano zobrazowania pozyskane w zakresie widzialnym.

4.1. Analiza pojedynczych kanałów hiperspektralnych

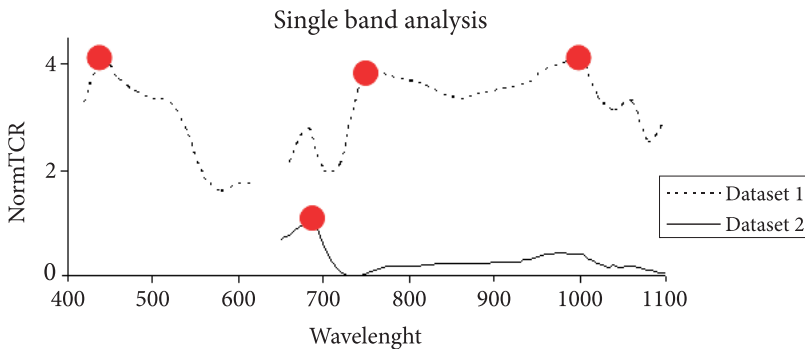
Opisany w rozdziale 2 współczynnik TCR został wykorzystany do oceny pojedynczych kanałów spektralnych w dwóch zestawach danych. Pomimo wykorzystania obiektów jawnych (widocznych) wskaźnik $NormTCR$ jest niski i osiąga wartości bliskie 4,00 w trzech kanałach spektralnych.

Analiza docelowa potwierdziła, iż w przypadku obiektów zamaskowanych wartości TCR są jeszcze niższe (1,03 w kanale 685 nm). Brak informacji o obiekcie maskowanym powoduje, że stosowanie tego typu rozpoznania jest nieefektywne. Uniemożliwiona jest rejestracja w jednym z góry ustalonym zakresie spektralnym i sprowadza się do poszukiwania nieznannej ilości kanałów rejestracji o maksy-

malnym kontraście. Wydłuża to znacznie czas rozpoznania, przez co staje się ono nieopłacalne. Poniżej znajdują się wykresy przedstawiające wartości TCR w każdym kanale spektralnym.

4.2. Analiza operacji wskaźnikowych

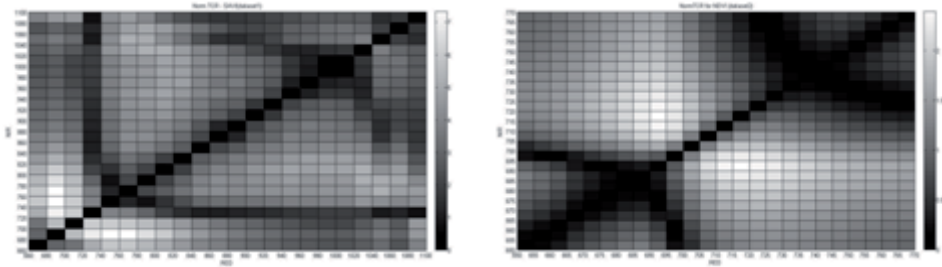
Analiza ta polegała na znalezieniu takiej kombinacji dwóch kanałów spektralnych, której przetworzenie z wykorzystaniem operacji wskaźnikowych spowodowałoby największy kontrast na obrazie wynikowym. Wstępna analiza obejmowała stworzenie wszystkich możliwych kombinacji dwóch kanałów spektralnych oraz



Rys. 2. Wykresy wartości NormTCR w pojedynczych kanałach spektralnych dla dwóch zestawów danych. Na czerwono zaznaczono maksima w poszczególnych kanałach spektralnych

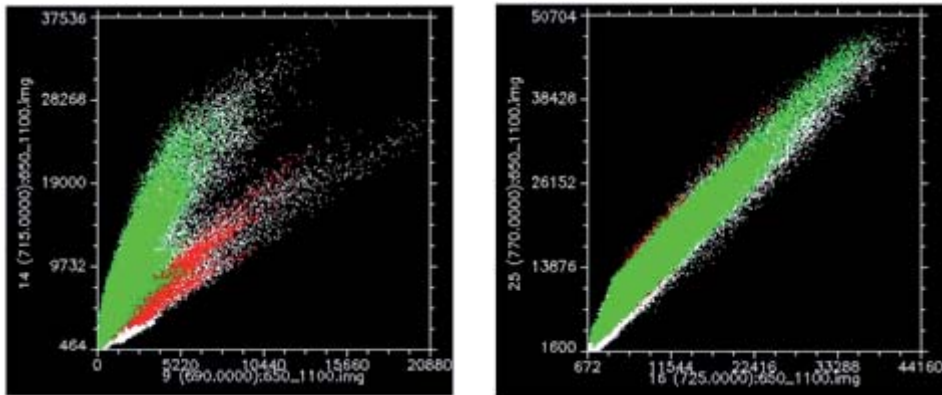
analizę obrazów wynikowych z wszystkich czterech indeksów wegetacyjnych. Wyniki wykazały, iż dla wszystkich analizowanych indeksów istnieje pewna grupa tych samych kombinacji kanałów o najwyższych wartościach *NormTCR*. Najwyższe wartości zaobserwowano dla indeksu *SAVI* — 7,32 (kombinacja kanałów 680 i 760 — rys. 3a) oraz indeksu *NDVI* — 6,02 (kombinacja kanałów 680 i 740).

Analiza docelowa została przeprowadzona z zastosowaniem indeksu *NDVI*. Badania jednoznacznie wykazały istnienie tej samej grupy kombinacji dwóch kanałów. Wykorzystane dane pozwoliły jednak na wybór kanałów spektralnych z większą precyzją. Najwyższa wartość parametru *NormTCR* — 2,39 została zaobserwowana dla kombinacji 690 i 715 (rys. 3a). Jednocześnie wartość ta jest wyższa niż te wynikające z analizy pojedynczych zobrażeń hiperspektralnych. Na tej podstawie można wnioskować, iż precyzyjne określenie tylko dwóch kanałów rejestracji i odpowiednie przetworzenie zobrażeń powoduje widoczny wzrost możliwości wyróżnienia obiektów z tła naturalnego. Potwierdzeniem tej teorii są wykresy rozrzutu wartości piksela w dwóch kanałach spektralnych dla wybranych obiektów i tła. Rysunek 4a przedstawia wykres dla kombinacji 690 i 715. Widoczna



Rys. 3. Wartości współczynnika NormTCR dla wszystkich możliwych kombinacji kanałów spektralnych: a) dla zestawu danych nr 1 oraz b) dla zestawu danych nr 2. Obszary najjaśniejsze oznaczają najwyższe wartości parametru NormTCR oraz najlepszą kombinację dwóch kanałów spektralnych

jest granica między pikselami tła obiektu, co świadczy o możliwości wyróżnienia obiektu z tła. W przypadku kombinacji 725 i 770, dla której współczynnik *NormTCR* osiągnął wartość znacznie niższą — 0,16 różnica ta zanika. Piksele należące do obiektu i tła przenikają się wzajemnie co znacznie utrudnia wyróżnienie obiektu (rys. 4b).



Rys. 4. Scatter plot dla wybranych kombinacji z zestawu danych nr 2: a) 690 i 715 oraz b) 725 i 770. Kolory odpowiadają przynależności pikseli do danej grupy: zielony — tło naturalne, czerwony — obiekt sztuczny

4.3. Analiza automatycznego tworzenia kompozycji barwnych

Opisana metoda bazująca na odległości Mahalanobisa została zastosowana do wyboru kombinacji trzech kanałów spektralnych spośród wszystkich możliwych kombinacji. Najwyższa wartość odległości Mahalanobisa charakteryzuje kombinację o największym kontraście spektralnym. Analiza ta jest przeprowadzana automatycznie łącznie z wyborem i stworzeniem kompozycji. Jedynym ograniczeniem

jest czas przetwarzania danych. Jest on uzależniony od ilości kanałów spektralnych użytych w analizie. Wyniki zostały porównane z poprzednimi metodami. Rezultat przeprowadzonej analizy świadczy o dużym wpływie połączenia odpowiednich kanałów spektralnych na proces wykrywania obiektów. Wartość współczynnika NormTCR dla zestawu danych nr 1 wzrosła do 10,60 dla kompozycji kanałów 720, 680 i 660 nm. Gdy porównamy otrzymane wyniki z wcześniejszymi analizami, widoczny jest znaczny wzrost możliwości wykrywania obiektów na zobrazowaniach hiperspektralnych. W przypadku zestawu nr 2 współczynnik NormTCR osiągnął wartość 8,16 dla kompozycji 740, 650 i 690 oraz 23,54 dla kompozycji 740, 695 i 985, co także jest potwierdzeniem, że analiza wielokanałowa dostarcza większych możliwości w procesie detekcji obiektów.



Rys. 5. Kompozycja kanałów 720, 680, 660 — NormTCR = 10,60



Rys. 6. Kompozycja kanałów 740, 650, 690
— NormTCR = 8,16



Rys. 7. Kompozycja kanałów 740, 695, 985
— NormTCR = 23,54

4.4. Klasyfikacja metod

Przeprowadzone analizy oraz porównanie metod wykrywania obiektów pozwalają na dokonanie klasyfikacji tych metod. O ile wybór pojedynczych zobrażeń i ich interpretacja nie przynosi pożądanego efektu, to analiza dwóch lub

trzech zobrażeń charakteryzuje się znaczną poprawą możliwości wykrywania obiektów. Odpowiedni wybór dwóch zakresów rejestracji oraz przetworzenie zobrażeń z wykorzystaniem operacji wskaźnikowych potwierdziło możliwość wykorzystania indeksów wegetacyjnych do wyróżniania obiektów sztucznych z tła naturalnego. W obu przeanalizowanych przypadkach została wskazana ta sama grupa kombinacji charakteryzująca się największym kontrastem spektralnym na obrazie wynikowym. Na tej podstawie można wnioskować, iż indeksy wegetacyjne takie jak NDVI są użyteczne w wyróżnianiu obiektów nieznanych z roślinności naturalnej. Niezbędne jest jednak odpowiednie dobranie kanałów spektralnych. W przypadku stosowania indeksów wegetacyjnych do wyróżniania obiektów z tła roślinnego zakresy te powinny pokrywać się z zakresami maksymalnego pochłaniania oraz maksymalnego odbicia energii od roślin. Zastosowany algorytm wyboru trzech kanałów spektralnych ze względu na sposób realizacji nie jest przydatny do detekcji obiektów o nieznanej charakterystyce odbiciowej.

Tego typu procedura z powodzeniem może zostać zastosowana do wyboru kombinacji takich kanałów spektralnych, których połączenie ułatwi wizualizację i interpretację znanych obiektów. Metoda ta wymaga wskazania na zobrażowaniu obiektów i tła bądź dostarczenia informacji o odbiciu spektralnym z innych źródeł. Dodatkowym atutem tej metody jest możliwość rejestracji obiektów i tła na oddzielnych zobrażowaniach. Stwarza to możliwość oceny aktualnych istniejących pokryć maskujących bez konieczności fizycznego ustawiania sprzętu na tle naturalnym.

5. Wnioski

Praca ta obejmowała analizę dwóch zestawów danych z obiektami widocznymi oraz zamaskowanymi na tle naturalnym. Porównane zostały metody wyróżniania obiektów sztucznych z tła oparte na pojedynczych zobrażowaniach, dwóch kanałach rejestracji oraz metoda automatycznego wyboru trzech zakresów rejestracji z sekwencji hiperspektralnej. Wyniki przedstawiają obraz prowadzenia skutecznej detekcji z wykorzystaniem hiperspektralnej techniki video. Detekcja obiektów sztucznych jest dużo łatwiejsza, jeżeli jest prowadzona na obrazach hiperspektralnych. Nie oznacza to jednak, że zawsze jest ona niezawodna. Odpowiednie przetworzenie zobrażeń oraz połączenie odpowiednich kanałów spektralnych stwarza możliwości dotąd nieosiągalne przez inne techniki i sensory. Niezbędna jest jednak znajomość algorytmów umożliwiających takie operacje na obrazach, aby kontrast pomiędzy obiektem a tłem uległ wzmocnieniu, w skutek czego interpretacja będzie łatwiejsza. Wyniki pokazują, iż kontrast na pojedynczych zobrażowaniach jest często niski, a analiza dwóch lub trzech zobrażeń może znacząco go podnieść. Opracowane algorytmy automatycznego wyboru zakresów wraz z połączeniem potencjału hiperspektralnego zestawu video stwarzają możliwości oceny istniejących

pokryć maskujących. Umożliwia to wskazanie zakresów spektralnych, w których istnieją wady pokryć maskujących, lub opracowanie nowych powłok maskujących dla dowolnego rodzaju terenu i tła.

Artykuł wpłynął do redakcji 1.07.2009 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w sierpniu 2009 r.

LITERATURA

- [1] J. B. ADAMS, A. R. GILLESPIE, *Remote Sensing of Landscapes with Spectral Images*, A Physical Modeling Approach, Cambridge University Press, 2006.
- [2] Z. KURCZYŃSKI, *Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2006.
- [3] J. ADAMCZYK, K. BĘDKOWSKI, *Metody cyfrowe w teledetekcji*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2005.
- [4] R. C. GONZALEZ, R. E. WOODS, *Digital Image Processing*, Second Edition, Prentice-Hall, 2002.

P. WALCZYKOWSKI, A. ORYCH, Ł. PALUCHOWSKI

Initial selection of spectral bands used in a process of image reconnaissance

Abstract. Constant advances in methods of camouflage are responsible for the progress in image reconnaissance and the distinguishing between objects and their natural background. The main problems attributable to the nature of the background and materials used to camouflage the object are: the way in which image reconnaissance should be conducted, the choice of spectral bands used, the choice of algorithms used to process the images and methods of visualizing the results. In our studies we have applied an algorithm to evaluate the contrast of the acquired hyperspectral images. We carried out a comparative analysis of methods used to recognize objects based on single images, on two spectral bands and using an automated method of creating hyperspectral compositions. Additionally, the methods had been classified in terms of their ability to recognize objects with a known and unknown spectral curve. This methodology is based on the "Mahalanobis distance". It proves that there is a need to acquire multiband imagery information in order to make the process of object recognition more efficient.

Keywords: remote sensing, hyperspectral techniques, Mahalanobis distance

Universal Decimal Classification: 528.7

