

Wykrywanie obiektów sztucznych z tła naturalnego

UJRZEĆ NIEWIDOCZNE

Mimo szybkiego rozwoju technologii teledetekcyjnych, naukowcy przez długi czas nie byli w stanie wykrywać niektórych obiektów. Rewolucyjne w tej dziedzinie okazały się zobrazowania hiperspektralne. Choć badania nad ich wykorzystaniem mają stosunkowo krótką historię, już teraz dają bardzo obiecujące wyniki.

ŁUKASZ PALUCHOWSKI

Począwszy od 1972 r., kiedy wystrzelono pierwszą satelitarną platformę wielospektralną Landsat 1, zobrazowania takie są wykorzystywane do badań w wielu dziedzinach nauki. Sukces tej misji (a także innych sensorów wielospektralnych) wraz z rozwojem technik fotograficznych przyczynił się do stworzenia technologii hiperspektralnej (HSI – Hyper Spectral Imagery). Obydwie technologie są pasywne, a więc zależne od oświetlenia słonecznego lub innych źródeł światła. Jednak w przeciwieństwie do wielospektralnych, sensory hiperspektralne rejestrują informacje o dużo lepszej rozdzielczości spektralnej, w bardzo wąskich, często stycznych zakresach widma. Zwiększenie próbkowania spektrum elektromagnetycznego przez wzrost liczby kanałów rejestracji oraz podniesienia rozdzielczości spektralnej do 10-20 nm prowadzi do znacznego wzrostu szczegółowości danych. Dzięki temu wiele zadań

niemożliwych do rozwiązania przy użyciu techniki wielospektralnej realizuje się z wykorzystaniem zobrazowań hiperspektralnych (np. detekcja broni chemicznej lub biologicznej, kontrola zniszczeń i infrastruktury podziemnej, a także analiza tła w celu wykrycia obiektów sztucznych). Z względu na szeroki zakres zastosowań technologia ta staje się jednym z najpotężniejszych i najszybciej rozwijających się źródeł danych obrazowych.

Sensory hiperspektralne umieszczane są aktualnie na wszelkiego rodzaju platformach – powszechnie wykorzystywane są zobrazowania satelitarne oraz lotnicze. Natomiast naziemne systemy obrazujące nadal pozostają bardzo nowatorskim rozwiązaniem. Są one wciąż ulepszone i przewiduje się, że w przyszłości będą stanowiły konkurencję dla powszechnie stosowanych spektrometrów polowych.

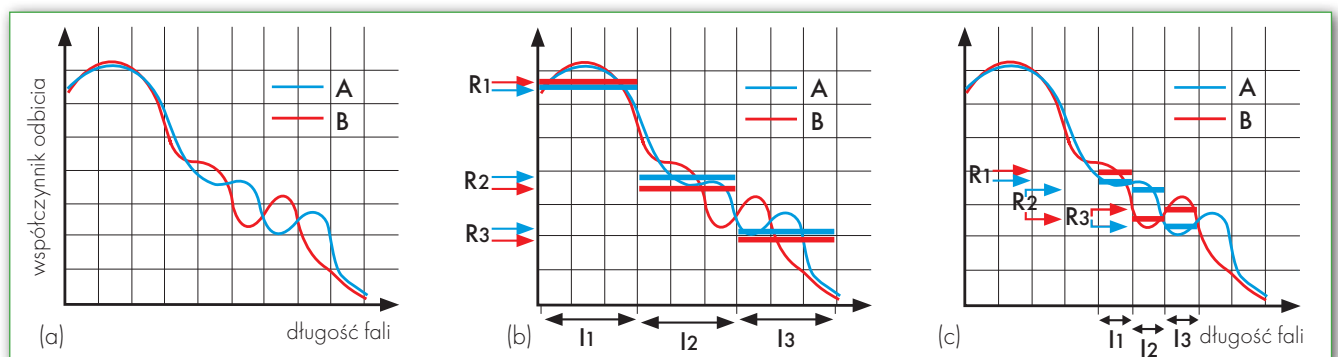
• Z SATELITY I Z SAMOLOTU...

Obrazowanie hiperspektralne z pulpapu satelitarnego rozpoczęto w 2000 r. Pierwszym tego typu rozwiązaniem był

wystrzelony przez NASA satelita EO-1 z zainstalowanym na pokładzie instrumentem HYPERION. Jest to spektrometr obrazujący typu push-broom rejestrujący promieniowanie w zakresie 0,4-2,5 μm w 220 stycznych kanałach z rozdzielczością spektralną 10 nm. Satelitę charakteryzuje rozdzielczość przestrzenna 30 m (podobnie jak w przypadku misji Landsat), choć w porównaniu do tylko kilku kanałów skanera ETM+ Landsata dostarcza on dużo bardziej szczegółowych informacji o właściwościach terenu.

Przełomem w rozwoju hiperspektralnych technik satelitarnych miał być program kosmiczny OrbView-4. Celem misji było dostarczanie zobrazowań hiperspektralnych w 200 stycznych kanałach w zakresie 0,4-2,5 μm przy rozdzielczości terenu 8 m, co było znaczącym postępem technologicznym. Niestety, satelita został utracony podczas wynoszenia na orbitę.

Najnowszym projektem jest niemiecki satelita EnMAP (Environmental Mapping and Analysis Program). Aparat ma zostać umieszczony na orbicie w 2012 roku i będzie monitorował powierzchnię Ziemi z rozdzielczością terenową 30 m. Średnia rozdzielczość spektralna dla zakresu widzialnego i bliskiej podczerwieni (VNIR) ma osiągnąć 6,5 nm, a w zakresie krótkiej podczerwieni (SWIR) – 10 nm.



Rys. 1. (a) Krzywe spektralne obiektów A i B; (b) sposób rejestracji różnic spektralnych metodą wielospektralną; (c) sposób rejestracji metodą hiperspektralną [Natural Resources Canada, Canada Centre for Remote Sensing]

Obok hiperspektralnych sensorów satelitarnych równolegle rozwijane są systemy lotnicze. Platformy tego typu charakteryzuje ta sama rozdzielczość spektralna i dużo lepsza rozdzielczość przestrzenna. Największym osiągnięciem lotniczej techniki hiperspektralnej jest system AAHIS (Advanced Airborne Hyperspectral Imaging System). Został on zaprojektowany głównie do monitorowania terenów morskich, ale z powodzeniem jest wykorzystywany także dla obszarów lądowych. Będący częścią systemu spektrometr rejestruje promieniowanie odbite od powierzchni Ziemi w zakresie 390-840 nm. Zobrazowania są pozyskiwane w 288 kanałach spektralnych o rozdzielczości spektralnej 5,5 nm. Rozdzielczość terenowa uwarunkowana jest wysokością lotu i osiąga maksymalnie 6,5 cm. AAHIS jest wykorzystywany głównie do celów wojskowych, takich jak detekcja i lokalizacja łodzi podwodnych oraz obiektów zamaskowanych.

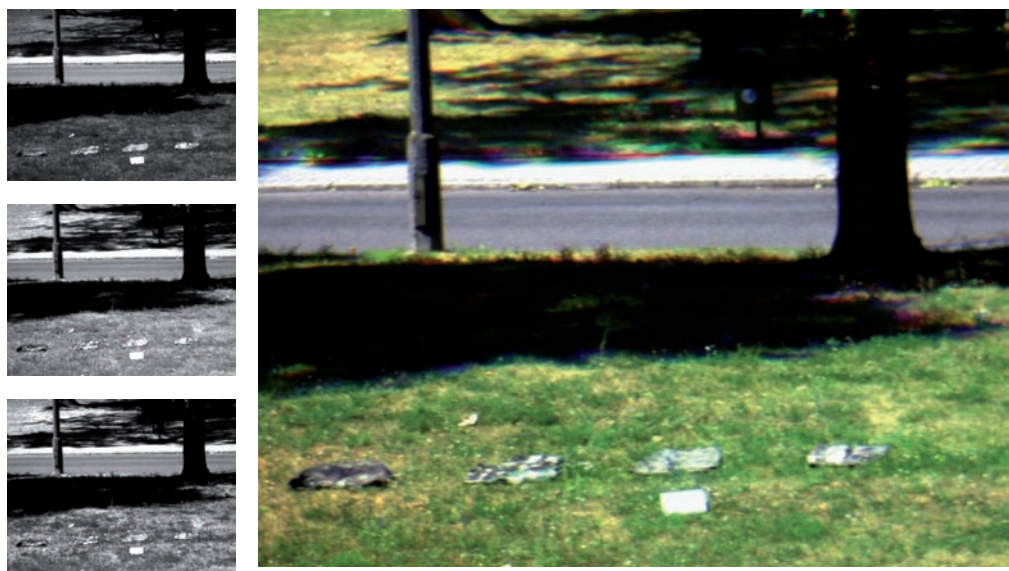
● PLATFORMY NAZIEMNE

O ile sensory lotnicze i satelitarne są w użyciu od dawna, to zastosowanie techniki hiperspektralnej na platformach naziemnych jest dość nowym rozwiązaniem. Systemy tego typu są w dalszym ciągu opracowywane i poddawane wielu badaniom, m.in. w Zakładzie Teledetekcji i Fotogrametrii Wojskowej Akademii Technicznej. Naziemne zobrazowania hiperspektralne stały się możliwe dzięki opracowaniu specjalnych filtrów. W technice wielospektralnej wykorzystywane były do tej pory filtry głównie optyczne. Stanowiska hiperspektralne rozwinęły się wraz z pojawieniem się na rynku filtrów optoelektronicznych (tj. ciekłokrystaliczne LCTF – Liquid Crystal Tunable Filters). Działają one na zasadzie interferencji fal, przepuszczając bardzo wąskie zakresy widma i blokując promieniowanie w innych zakresach spektralnych. Kontrolowanie zmiany zakresu przepuszczalności filtra odbywa się elektronicznie, dzięki czemu czas potrzebny na jego przestrojenie jest ograniczony do minimum.

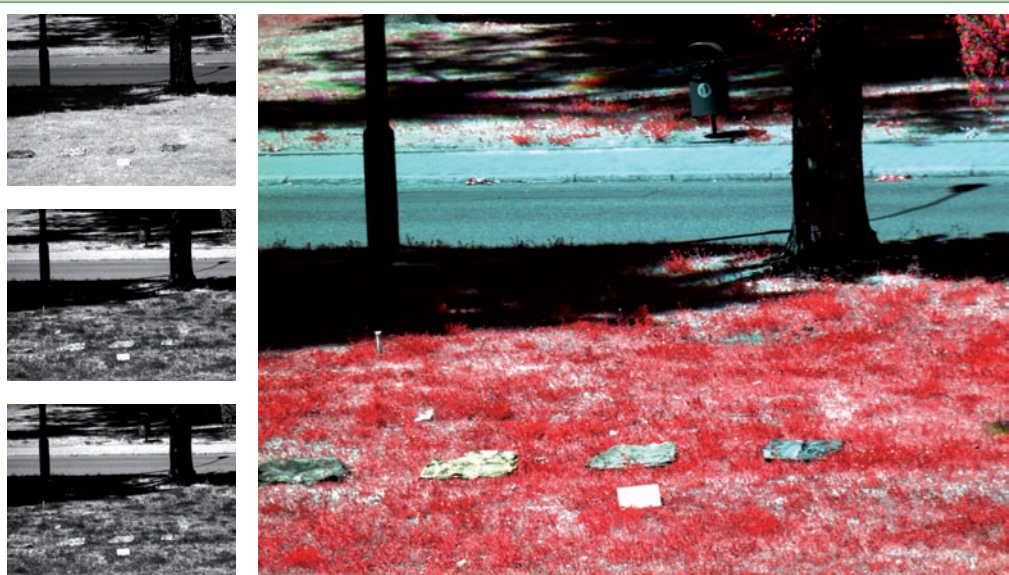
● JAK TO DZIAŁA?

Graficzną prezentacją spektralnego współczynnika odbicia dla poszczególnych długości fali jest krzywa odbicia spektralnego (zwana też charakterystyką spektralną obiektu). Charakterystyki te, gromadzone w specjalnych bazach danych (bibliotekach spektralnych), pozwalają na identyfikację zdecydowanej większości obiektów. Wzrost próbkowania spektrum oraz precyzyjne umiejscowienie zakresu pomiarowego obrazowania hiperspektralnego umożliwiają obliczenie wartości współczynnika odbicia w bardzo wąskich zakresach spektralnych. To z kolei pozwala na rozróżnianie obiektów podobnych spektralnie z większą precyzją niż w przypadku techniki wykorzystujących szersze zakresy pomiarowe. Na rysunku 1a przedstawiono krzywe spektralne obiektów A i B o podobnych charakterystykach odbicia. Pró-

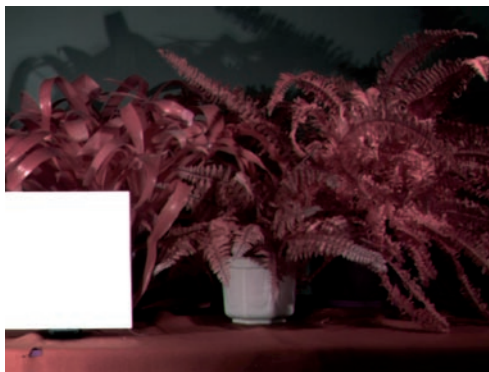
ba ich rozróżnienia z wykorzystaniem techniki wielospektralnej (rys. 1b) nie przynosi efektu. Mierząc wartości odbicia dwóch obiektów w trzech szerokich zakresach spektralnych (I1, I2, I3), otrzymujemy uśrednione wartości (odpowiednio: R1, R2, R3). Ze względu na małą rozdzielczość spektralną jednocześnie dla obiektów A i B zachodzi następująca zależność: $R1 > R2 > R3$. Proporcje są bardzo podobne, zatem nie ma możliwości rozróżnienia obiektów. Natomiast w technice hiperspektralnej zakresy pomiarowe I1, I2, I3 są małe (tj. przy dużej rozdzielczości spektralnej) i niewielkie różnice odbicia pomiędzy obiektami A i B stają się zauważalne. W tym przypadku zachodzi zależność $R1 > R3 > R2$ dla obiektu A oraz $R1 > R3 > R2$ dla obiektu B. Oznacza to, iż dla sensorów hiperspektralnych obiekty A i B są różne pod względem odbicia spektralnego.



Rys. 2. Kompozycja w barwach naturalnych, kanały: 620 nm - R, 560 nm - G, 440 nm - B



Rys. 3. Kompozycja automatycznie stworzona przez opracowany algorytm. Kompozycja kanałów 720 nm - R, 680 nm - G, 660 nm - B



Rys. 4. Kompozycje barwne utworzone ze zobrażeń pozyskanych w szerokich zakresach widma EM, z wykorzystaniem filtrów optycznych, (a) - RGB oraz (b) - RG NIR

Opisane właściwości techniki hiperspektralnej są wykorzystywane również w celu wykrywania, rozpoznania i identyfikacji materiałów oraz obiektów. Widmowe charakterystyki odbiciowe pozyskane ze zobrażeń hiperspektralnych są porównywane z danymi zapisanymi w bibliotekach spektralnych, co umożliwia klasyfikację zarejestrowanych obiektów.

• JAK ROZRÓŻNIĆ PAPROTKI?

Zagadnienie wykrywania obiektów sztucznych z tła naturalnego jest powszechnie znane. W procesie rozpoznania obrazowego opracowano i wdrożono wiele algorytmów przetwarzania zobrażeń. Większość z nich dotyczy metody wielospektralnej. Jednak w związku z ciągłym ulepszaniem technik oraz powłok maskujących kontrast spektralny pomiędzy takimi obiektami a tłem wciąż ulega zmniejszeniu. Sprawia to, że technologia wielospektralna, ze względu na pozyskiwanie informacji w szerokich zakresach, przestaje być użyteczna. Bardziej właściwe wydaje się więc wykorzystanie technologii hiperspektralnej.

Niestety, obiekty trudne do wykrycia, takie jak kamuflaż wojskowy, nadal są wyzwaniem dla inżynierów badających metody rozpoznania obrazowego. Prace na ten temat prowadzone są także w Wojskowej Akademii Technicznej, gdzie opracowano metodę automatycznego doboru kanałów spektralnych w celu tworzenia kompozycji barwnych użytecznych do wyróżniania obiektów sztucznych z tła roślinnego. Analiza pojedynczych kanałów spektralnych nie zawsze umożliwia wykrycie wszystkich obiektów. Kluczową kwestią było więc odpowiednie połączenie zobrażeń z różnych zakresów spektralnych.

Przykładami zastosowania stworzonego algorytmu do obrazów hiperspektralnych są kompozycje na rys. 2-6 (opracowanie własne autora). Choć obiekty nie są zamaskowane, istnieją trudności z ich wyróżnieniem, także na kompozycji w barwach rzeczywistych (rys. 2). Problem ten zostaje rozwiązany po-

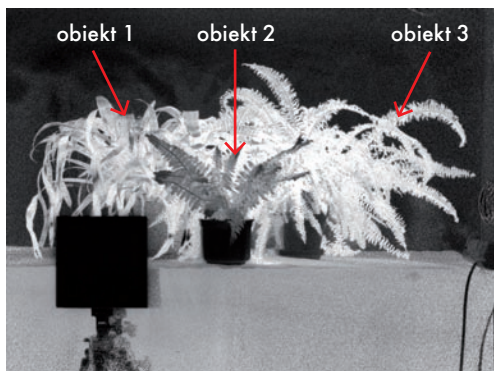
przez stworzenie kompozycji odpowiednich kanałów spektralnych (rys. 3). Charakteryzuje się ona podwyższonym kontrastem pomiędzy obiektami a tłem naturalnym, co bezpośrednio wpływa na możliwość ich wyróżnienia.

Dużo większych trudności można się spodziewać podczas analizy obiektów zamaskowanych bądź nierozróżnialnych dla ludzkiego oka. Obiekt taki (sztuczna paproć) został przedstawiony na rysunku 4.

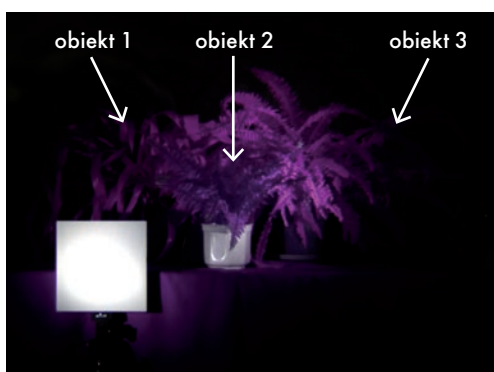
Zarówno na kompozycji wielospektralnej w barwach rzeczywistych, jak i spektrostrefowej z wykorzystaniem zakresu bliskiej podczerwieni obiekt ten wygląda jak roślinność naturalna. Rozróżnienie ich nie jest możliwe. Również w tym przypadku pomocne jest zastosowanie odpowiedniego algorytmu. Kompozycja na rysunku 5 przedstawia obraz wynikowy operacji NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) na odpowiednio wybranych kanałach spektralnych. Wyróżniona sztuczna paproć przedstawiona jest w barwach ciemnych. Efekt ten, choć nieco słabiej widoczny, udało się uzyskać również na automatycznie stworzonej kompozycji trzech zobrażeń hiperspektralnych (rys. 6). Interpretacja tego typu zobrażeń jest utrudniona. Niezbędne jest przyzwyczajenie się do obiektów przedstawionych w barwach innych niż naturalne.

Powyższe przykłady dowodzą, że wykorzystanie odpowiednio dobranych kanałów spektralnych powoduje potencjalny wzrost możliwości wykrywania obiektów. Opracowany algorytm umożliwia tworzenie kompozycji dwukanałowych z określonych przedziałów spektralnych oraz automatyczne tworzenie i wyświetlanie w barwach fałszywych kompozycji trzech kanałów spektralnych. Tego typu analizy, wraz z stworzonym naziemnym zestawem hiperspektralnym, będą stanowiły jedno z najnowocześniejszych narzędzi do analiz spektralnych dowolnych obiektów na zarejestrowanej scenie. Jednym z głównych zastosowań zestawu mogą być polowe pomiary spektralne, w tym analiza stresu roślin. Niezbędne są jednak dalsze prace związane z rozwijaniem metod selekcji oraz łączenia kanałów spektralnych.

LUKASZ PALUCHOWSKI
(Centrum Badań Kosmicznych PAN)



Rys. 5. Kompozycja będąca obrazem wynikowym operacji NDVI dla kanałów 715 nm oraz 690 nm



Rys. 6. Kompozycja automatycznie stworzona przez opracowany algorytm (kanały: 740 nm - R, 695 nm - G, 985 nm - B)