

Cyfrowe przetwarzanie obrazów w kartografii i teledetekcji, cz. II

NOWE ALGORYTMY

Główne wysiłki teledetekcji skierowane są obecnie na poszukiwanie nowych rozwiązań w dziedzinie algorytmizacji, co ma zastosowanie w coraz bardziej skomplikowanej analizie obrazów hiperspektralnych. Przedstawiamy tu podstawowe czynniki wpływające na zniekształcenia obrazów, a także metody ich cyfrowego przetwarzania.

GRZEGORZ STĘPIEŃ,
KONRAD MAJ, ROBERT GMAJ,
PAWEŁ PABISIAK,
ADAM WILAMOWSKI

● FUNKCJA PRZENOSZENIA MODULACJI

Jedną z metod wyznaczania charakterystyk częstotliwościowych systemów pozyskiwania i przetwarzania obrazów jest określenie funkcji przenoszenia modulacji (MTF). Wychodzi się przy tym z założenia, że podstawowym parametrem jakości obrazu jest jego zdolność rozdzielcza, na którą wpływają:

- warunki, w jakich został pozyskany (warunki ekspozycji),
- parametry układu pozyskiwania,
- parametry układu przetwarzania.

Oszacowanie jakości systemu pozyskiwania oraz przetwarzania obrazu wymaga ilościowego oszacowania ww. wpływów. Operacja taka jest możliwa na drodze wyznaczenia funkcji przenoszenia modulacji (MTF) całego systemu. Wyznaczenie jej odbywa się poprzez badanie odpowiedzi impulsowej systemu na sygnał wzorcowy. W przypadku obrazu sygnałem wzorcowym jest odpowiednio przygotowany test,

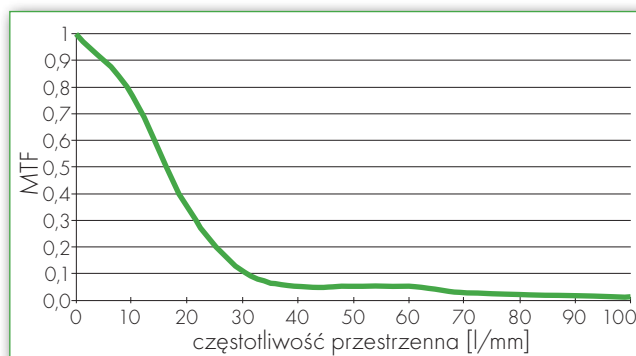
który podlega obserwacji, a następnie elektronicznemu przetworzeniu do postaci cyfrowej.

Z punktu widzenia teorii informacji wyjście układu przetwarzania obrazu, np. ekran luminescencyjny, można traktować jako wielokanałową optyczną linię łączności. Liczba kanałów (które mają przestrzenny charakter) odpowiada liczbie dyskretnie rozłożonych w polu ekranu elementarnych obszarów lokalnego uśrednienia funkcji rozkładu intensywności. Obszary te stanowią najmniejsze elementy obrazu zwane pikselami, ich rozmiary są zaś ograniczone przez fizyczne i techniczne uwarunkowania w procesie przetwarzania. Liczba pikseli oraz liczba możliwych dla piksela poziomów szarości, a także liczba kadrów przenoszonych w jednostce czasu przez układ stanowią miarę właściwości informacyjnych układu odnoszących się do informacji strukturalnej, metrycznej i czasowej reprezen-

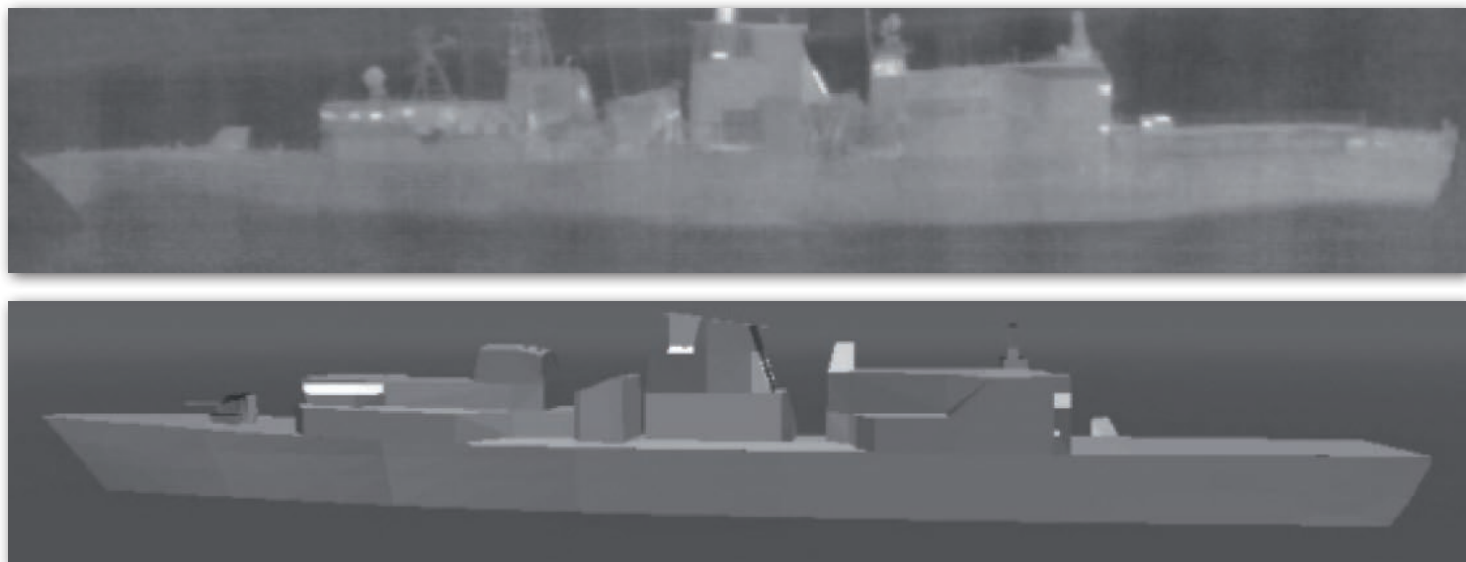
towanych w ogólności przez sygnał. Dla sygnału przenoszącego informacje wymienionych trzech rodzajów zniekształcenia przestrzenno-czasowe z gradacją intensywności mają postać zakłóceń:

- kontrastowych (informacja strukturalna);
- szumowych (informacja metryczna);
- bezwładnościowych (informacja czasowa).

W celu wyznaczenia funkcji przenoszenia modulacji niezbędne jest przebadanie pierwszych dwóch rodzajów. Poprzez wyznaczenie funkcji MTF dla cyfrowego systemu przetwarzania możliwy jest optymalny dobór parametrów wejściowych systemu (rozdzielczość



Rys. 1. Funkcja przenoszenia modulacji (MTF)



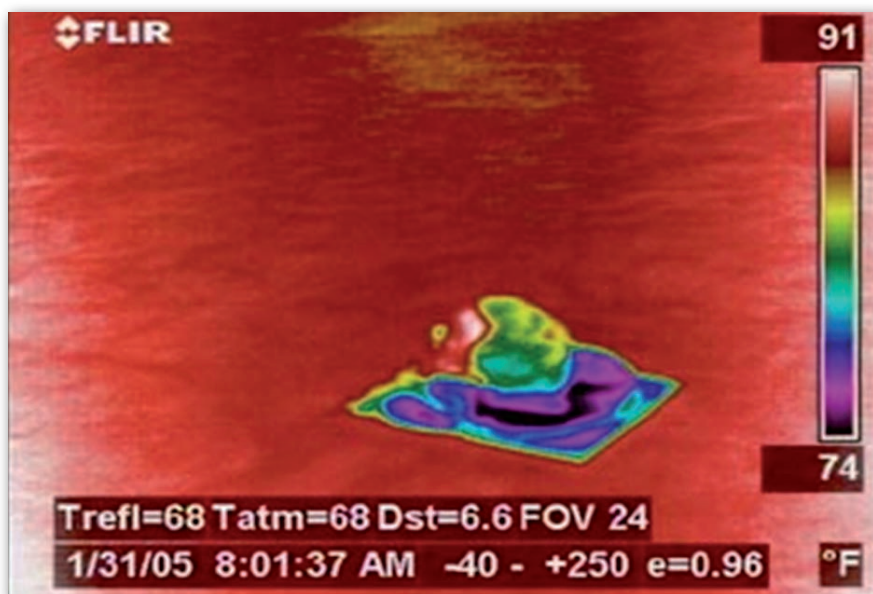
Rys. 2. Realna sygnatura termalna oraz model komputerowy promieniowania niszczyciela w zakresie podczerwieni termalnej

skanowania, częstotliwość próbkowania i kwantowania obrazu), które zapewnią minimalizację strat powodowanych przez zastosowane urządzenia. Natomiast w przypadku posiadania konkretnego systemu przetwarzania na podstawie wyznaczonej charakterystyki MTF można określić wymagane parametry pozyskiwania obrazów.

W ten sposób MTF jest uniwersalną funkcją opisującą ilościowo zniekształcenia metryczne, które mogą występować na obrazach cyfrowych. Ponieważ sposób wyznaczenia tej funkcji jest jednoznaczny, zapewnia ona obiektywizację oceny zdolności rozdzielczej obrazu przenoszonej przez dowolny układ pozyskiwania i przetwarzania. Zastosowanie jej pozwala także na znaczne obniżenie kosztów wykonywanych testów i angażowania skomplikowanego sprzętu oraz dużych grup ludzi do oceny rezultatów pomiarów.

Charakterystyka przedstawiona na rys. 1 stanowi przykładowe kryterium oceny przydatności systemu i jego wpływu na materiał obrazowy o określonych parametrach. Na jej podstawie można określić, jakie częstotliwości przestrzenne są w systemie przenoszone z określonym spadkiem kontrastu względem kontrastu obiektu. Z relacji tych można także wyznaczyć kontrast obiektów, które zostały zarejestrowane na materiale obrazowym po przejściu przez system.

Przedstawiona charakterystyka jednoznacznie określa, że przez wykorzystywany system bardzo dobrze są przenoszone częstotliwości około 15 linii/mm. Poprzez odczytanie współczynnika głębokości modulacji z wykresu można też



Rys. 3. Człowiek za burtą – obraz w zakresie widzialnym oraz podczerwieni termalnej

jednoznacznie określić, z jakim kontrastem będą przenoszone wszystkie częstotliwości przestrzenne.

● PRZETWARZANIE OBRAZÓW SPEKTRALNYCH

Przetwarzanie zobrażeń spektralnych wymaga uwzględnienia interakcji promieniowania elektromagnetycznego z badaną powierzchnią. Na powierzchni energia może zostać odbita, zaabsorbowana lub/i transmitowana, przy czym procentowy udział zależy od współczynników: odbicia, absorpcji, transmisji. Moc promieniowania, zgodnie z prawem Wiena, jest zależna od długości fali i od temperatury powierzchni. Maksimum mocy promieniowania przesuwają się w stronę fal krótszych. Ma to zasadnicze znaczenie przy analizie danych teledetekcyjnych. W przypadku fal krótszych (300-2500 nm) główny udział ma promieniowanie słoneczne, a w przypadku dalszego zakresu udział w promieniowaniu rejestrowanym przez detektor zaczyna mieć Ziemia. Dlatego kanały widzialne i bliska podczerwień mogą być traktowane klasycznie i takie zobrażenia można analizować za pomocą współczynnika odbicia. Przetwarzanie danych spektralnych polega na analizie współczynnika odbicia/emisyjności w zależności od długości fali. Oznacza to, że konieczne jest wstępne przetworzenie danych spektralnych do wartości współczynnika odbicia/emisyjności.

Obrazy hiperspektralne, podobnie jak wielospektralne, składają się z obrazów zarejestrowanych w różnych fragmentach spektrum. Różnica polega na tym, że w przypadku obrazu hiperspektralnego mamy do czynienia ze zdecydowanie większą liczbą kanałów (od kilkudziesięciu do kilkuset). Poszczególne kanały są znacznie gęściej rozmieszczone i obejmują niewielkie fragmen-

ty spektrum elektromagnetycznego (10-20 nm). Im więcej zarejestrujemy kanałów, tym więcej będziemy mieć możliwości wykrycia różnic w charakterze odbicia spektralnego badanych obiektów. Jednocześnie coraz bardziej zbliżać się będziemy do kształtu rzeczywistych krzywych spektralnych tych obiektów. Obrazy hiperspektralne dają możliwość wykrycia np. zamaskowanych obiektów wojskowych czy też szybkiej identyfikacji zanieczyszczeń środowiska (np. plam olejowych na powierzchni morza). Jeżeli byłibyśmy w stanie zarejestrować odpowiednio wiele wąskich fragmentów spektrum, to moglibyśmy rozpoznawać obiekty poprzez porównanie zarejestrowanych odpowiedzi spektralnych z krzywymi spektralnymi uzyskanymi z pomiarów spektrometrycznych. Krzywe takie publikowane są w formie tzw. bibliotek spektralnych. Dlatego technika spektrografowania jest podstawowym narzędziem służącym do klasyfikacji obiektów terenowych w metodach zdalnego badania terenu. Umożliwia scharakteryzowanie obiektu za pomocą widmowego współczynnika odbicia/emisyjności.

Na obrazach na poprzedniej stronie (rys. 2, 3) widoczne są sygnatury termalne okrętów oraz komputerowe symulacje emisyjności obiektów aktywnych termicznie (okręty Marynarki Wojennej, człowiek).

● SYSTEMY EKSPERCKIE

Praktycznie na każdej płaszczyźnie życia człowiek zobligowany jest do podejmowania decyzji. Nasz wybór opiera się na posiadanej wiedzy, doświadczeniu i możliwościach. Lekarz stawiający diagnozę, mechanik wykrywający usterkę czy interpretator zdjęć lotniczych – wszyscy oni stają przed niełatwym zadaniem, jakim jest wybranie, łączenie i interpretacja danych wejściowych. Roz-

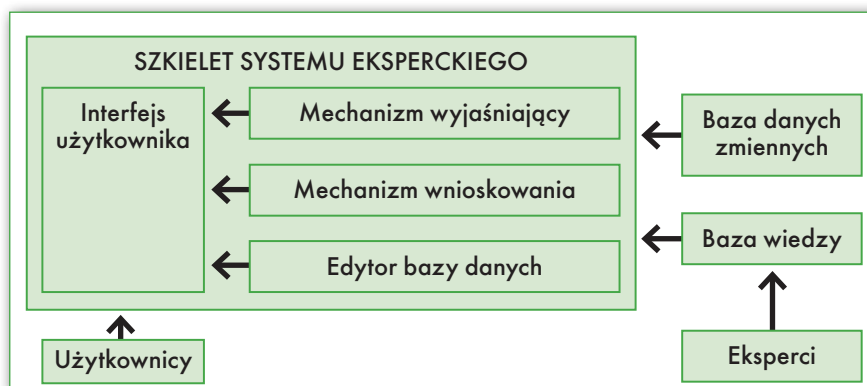
wiązania zadań tego typu stały się celem naukowców już w drugiej połowie zeszłego stulecia, a określono je mianem systemów eksperckich – jednego z kilku elementów opartych na sztucznej inteligencji (AI – *Artificial Intelligence*).

System ten to zbiór reguł, definicji i opisów faktów z określonej dziedziny, umożliwiający logiczny wywód wniosków lub podejmowanie decyzji w komputerowym systemie doradczym (eksperskim). Często systemy te porównywane są do sztucznej inteligencji – jako że są oparte na doświadczeniu specjalistów z danej dziedziny. Do tej pory znalazły one zastosowanie w diagnozowaniu chorób (system MYCIN), poszukiwaniu złóż (PROSPECTOR), identyfikacji struktur molekularnych, dokonywaniu wycen pojazdów, prognozowaniu pogody.

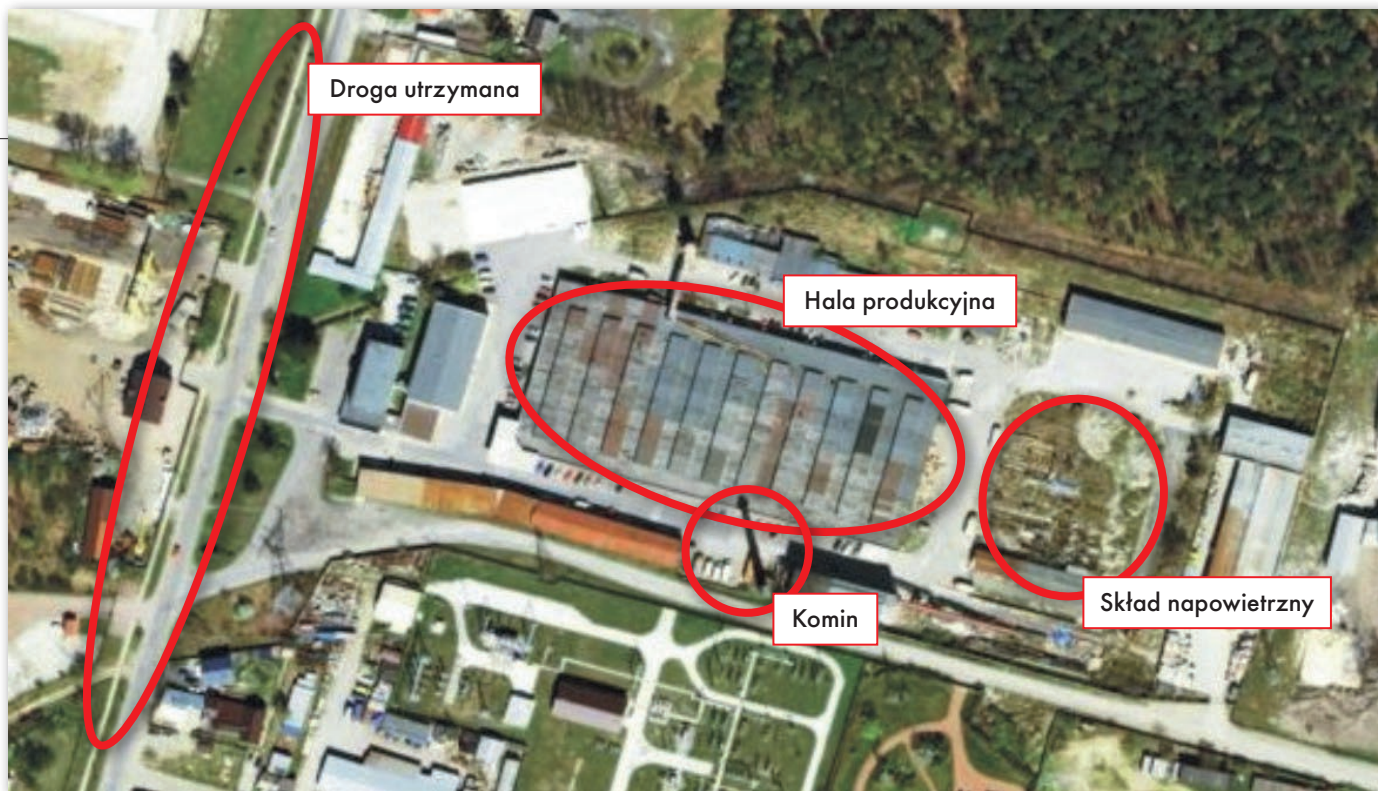
Systemy eksperckie opierają się na schemacie przedstawionym na rys. 4 – tak zwanym szkielecie systemu eksperckiego (nieposiadającego jeszcze bazy wiedzy). Może on być mniej lub bardziej złożony, tworząc wtedy zintegrowany pakiet sztucznej inteligencji (np. SPHINX).

Gdzie zatem możliwe jest zastosowanie systemów eksperckich w analizie zobrażeń? Otóż właśnie tam, gdzie potrzebna jest wiedza i doświadczenie ludzkie w zakresie określonej problematyki. Fotointerpretator zobrażeń rozpoznaje fabrykę po wysokich kominach, na pewno w pobliżu znajduje obszar magazynowy lub dużą halę, utrzymaną drogą będzie również sygnałem potwierdzającym trafność wyboru. System taki w przypadku dużej „niepewności” otrzymywanych wyników jest w stanie podjąć decyzję o wykorzystaniu choćby odpowiednio dobranych zobrażeń wielospektralnych w celu jednoznacznego określenia klasy badanych obiektów, podnosząc w ten sposób trafność wyniku. To właśnie te reguły i baza wiedzy pozwalają systemowi eksperckiemu na określenie położenia poszukiwanego obiektu, określenie wpływu otoczenia czy zjawisk zachodzących w badanym obszarze.

Wachlarz zastosowań systemu eksperckiego w analizie zobrażeń jest bardzo szeroki, może wiązać się zarówno z wyszukiwaniem, jak i analizą warunków środowiska naturalnego, które mogą mieć wpływ na działalność człowieka. Jest w stanie, podobnie jak człowiek, łączyć i analizować wszystko to, co zostało wprowadzone przez inżynierów do jego bazy wiedzy.



Rys. 4. Schemat systemu eksperckiego



Rys. 5. Analiza obrazu w systemie eksperckim

● ALGORYTMY PRZETWARZANIA OBRAZÓW

Współczesne algorytmy skupiają się przede wszystkim na poszukiwaniu nowych metod przetwarzania obrazów hiperspektralnych. Zobrazowania hiperspektralne dostarczają bardzo szczegółowych informacji o właściwościach fizyko-chemicznych obserwowanego obiektu czy obszaru, a przez to bardzo często pozwalają na jego identyfikację. Ilość danych obrazowych rodzi jednak określone problemy. Podczas gdy przy zobrazowaniach wielospektralnych mamy do czynienia z obrazami pozyskanymi w kilku zakresach widmowych, każdy o szerokości przynajmniej 100 nm, tak w przypadku zobrazowań hiperspektralnych mamy do czynienia z obrazami w liczbie 200, 300 lub więcej pozyskanych w zakresach widmowych o szerokości kilku lub kilkunastu nanometrów. Sensory, takie jak AVIRIS, HYDICE, TRW(HSI), mają rozdzielczość spektralną odpowiednio 224, 210 i 348 zakresów. Sensory ultraspektralne wykorzystujące widmo Fouriera generują jeszcze więcej zakresów spektralnych, a więc ich rozdzielczość spektralna jest jeszcze większa. Używanie tak ogromnej liczby danych komplikuje wszystkie procesy przetwarzania, wydłuża jego czas i powoduje, że algorytmy stosowane do tej pory są nieskuteczne.

Poszukiwane są obecnie nowe metody i algorytmy, które będą bardziej wydajne w stosunku do obrazów hiperspektralnych. Problemem tym zajmuje się

kilka ośrodków na świecie. W Polsce do tej pory wykorzystanie obrazów hiperspektralnych jest znikome, a badania nad ich obróbką bardzo słabo udokumentowane. Wstępne badania i obliczenia wykonane w Collegium Varsoviense wykazały, że znaczące przyspieszenie procedur związanych z klasyfikacją takich danych daje zastosowanie sieci neuronowych. Stanowią one potężne narzędzie głównie z powodu nieliniowych właściwości oraz faktu, że nie wymagają żadnych założeń co do rozkładu danych obrazowych. Ta cecha sieci neuronowych jest bardzo użyteczna, zwłaszcza w przypadku, gdy nie ma żadnego fenomenologicznego modelu opisującego fizyczne cechy obiektów, jakie chcemy wyróżniać na obrazach.

Samo zastosowanie sieci neuronowych nie spowoduje jeszcze jakościowej różnicy w przetwarzaniu, gdyż ograniczeniem są długotrwałe procesy uczenia. Analiza danych wykazała, że należy zastosować dodatkowe mechanizmy, takie jak np. metody gradientowe, dzięki czemu metoda ta jest znacznie szybsza niż algorytmy oparte na wielokrotnym powtarzaniu określonych schematów w procesie uczenia sieci.

Tradycyjne metody opracowania obrazów wielospektralnych bardzo często nie dają zadowalających rezultatów. Znaczna część informacji zostaje pominięta, a same procedury są długotrwałe i niewydajne. Dlatego poszukuje się nowych metod zarówno selekcji wybranych zakresów widmowych, jak i klasyfikacji tak dużej liczby obrazów. Wyko-

rzystanie nowych algorytmów analizy obrazów umożliwi szybsze i pełniejsze wykorzystanie danych hiperspektralnych, a co za tym idzie – ich aplikację np. do wykrywania obszarów zanieczyszczonych czy nowych złóż mineralnych.

KPT. DR INŻ. GRZEGORZ STĘPIEŃ
(Wojskowe Centrum Geograficzne, Warszawa)
DR INŻ. KONRAD MAJ
(Collegium Varsoviense, Warszawa)
ROBERT GMAJ
(Collegium Varsoviense, Warszawa)
KPT. PAWEŁ PABISIAK
(Wydział Topograficzny 2 KZ, Kraków)
PPOR. ADAM WILAMOWSKI
(Wojskowe Centrum Geograficzne, Warszawa)

Literatura:

1. Maj K., Stępień G. – The Method of Calculating of Frequency Characteristics of Image Gaining and Processing Systems – Progress in Electromagnetics Research Symposium, PIERS 2008 in Cambridge, Boston 2008;
2. Adamczyk J., Będkowski K. – Metody cyfrowe w teledetekcji – Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2007;
3. Tadeusiewicz R., Korohoda P. – Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów – Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków 1997;
4. Teledetekcja pozyskiwanie danych – praca zbiorowa pod red. J. Saneckiego – Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006;
5. Wojtaszczyk P. – Teoria Falek – Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000;
6. Encyklopedia PWN – online.
7. Everything you always wanted to know about JPEG 2000 – www.intopix.com.