

WPLYW KOREKCJI ATMOSFERYCZNEJ ZDJĘĆ SATELITARNYCH NA WYNIKI CYFROWEJ KLASYFIKACJI WIELOSPEKTRALNEJ

Katarzyna Osińska-Skotak

Politechnika Warszawska

Streszczenie. Na promieniowanie dochodzące do sensora satelitarnego wpływa przede wszystkim atmosfera, znajdująca się na drodze od obiektu do detektora. Korekcja atmosferyczna jest jednak na ogół pomijana w procesie przetwarzania zdjęć satelitarnych. Wynika to m.in. z faktu, iż aby wpływ atmosfery oszacować w sposób poprawny, wymagana jest duża liczba danych pomiarowych i skomplikowany model atmosfery. W przypadku analizy zdjęć archiwalnych uzyskanie tego rodzaju danych często jest utrudnione, a czasami wręcz niemożliwe. Stosuje się więc na ogół tzw. średnie atmosfery klimatyczne, które charakteryzują średnie warunki atmosferyczne panujące na danym terenie.

Wymóg wykonywania korekcji atmosferycznej zdjęć satelitarnych nie zawsze występuje (np. analizy jakościowe, interpretacja wizualna), ale w przypadku przeprowadzania analiz ilościowych lub wieloczasowych uwzględnienie wpływu atmosfery jest czynnikiem istotnym dla uzyskania prawidłowych wyników. Niniejsze opracowanie prezentuje wyniki badań nad wpływem uwzględnienia korekcji atmosferycznej w procesie klasyfikacji wielospektralnej. Okazuje się, że klasyfikacja obrazów skorygowanych ze względu na wpływ atmosfery pozwala na uzyskanie lepszej delimitacji klas, niż to jest w przypadku klasyfikacji zdjęć źródłowych.

Słowa kluczowe: korekcja atmosferyczna, klasyfikacja wielospektralna, zdjęcia wielospektralne

WPROWADZENIE

W przypadku obrazów satelitarnych, rejestrowanych z wysokości rzędu tysiąca kilometrów, ogromny wpływ na prawidłowe oddanie obrazu powierzchni terenu ma atmosfera. Zachodzi w niej wiele zjawisk i procesów, które wpływają w dużym stopniu na rejestrowane przez detektory promieniowanie elektromagnetyczne. Wpływ atmosfery

Adres do korespondencji – Corresponding author: Katarzyna Osińska-Skotak, Instytut Fotogrametrii i Kartografii, Politechnika Warszawska, 00-661 Warszawa, pl. Politechniki 1, e-mail: K.Osinska-Skotak@gik.pw.edu.pl

ry w różny sposób ujawnia się w różnych zakresach spektralnych. Generalnie, oddziaływanie atmosfery jest tym silniejsze, im krótsze są fale rejestrowane w danym zakresie spektralnym. Najsilniej się ono uwidacznia w zakresie ultrafioletu i promieniowania widzialnego.

Wykonanie korekcji atmosferycznej jednak nie zawsze jest wymagane przy zastosowaniu teledetekcyjnych i na ogół, ze względu na brak danych do jej wykonania, jest ona pomijana w procesie przetwarzania danych satelitarnych. Pominięcie jej w analizach jakościowych lub ilościowych względnych na ogół nie powoduje błędów, ale w analizach ilościowych bezwzględnych czy też w przypadku analiz czasowych sytuacja wygląda inaczej.

Prowadząc badania nad określeniem wskaźnika emisyjności na podstawie danych satelitarnych, okazało się, że wpływ atmosfery na poprawność określenia odbicia promieniowania w poszczególnych zakresach spektralnych oraz na wartości wskaźnika roślinności NDVI jest znaczny i zróżnicowany w zależności od pokrycia terenu [Osińska-Skotak, 2001]. Oznacza to również, iż klasyfikacja wykonywana na podstawie danych skorygowanych ze względu na wpływ atmosfery prawdopodobnie będzie dawała nieco odmienne wyniki niż klasyfikacja na podstawie danych pierwotnych (źródłowych).

W praktyce spotyka się dwa odmienne podejścia do kwestii korekcji atmosferycznej obrazów wielospektralnych przed wykonywaniem ich klasyfikacji. W pierwszym naukowcy uważają, że metody wprowadzania korekcji atmosferycznej są ciągle niedoskonałe, że nigdy nie mamy pewności, czy następuje poprawa jakości danych, czy też wprowadzany zostaje w sposób sztuczny dodatkowy błąd. Zwolennicy tego podejścia uważają, że klasyfikacja na danych źródłowych jest znacznie bardziej poprawna, gdyż nie mając danych referencyjnych (pomiarowych) nie mamy również pewności co do jakości danych po korekcji atmosferycznej. W drugim podejściu mówi się, że jakakolwiek, nawet najprostsza, korekcja wpływu atmosfery zawsze eliminuje część niekorzystnego oddziaływania atmosfery i efekty klasyfikacji dla obrazów skorygowanych są lepsze i bardziej prawidłowe niż obrazów nie skorygowanych [Kaufman, 1984, 1985, Richter 1996a, 1998b]. Oba te podejścia mają swoich zwolenników i przeciwników. Niemniej jednak, waga problemu korekcji atmosferycznej obrazów wielospektralnych nie podlega dyskusji i na całym świecie nieustannie prowadzone są badania pogłębiające wiedzę na ten temat.

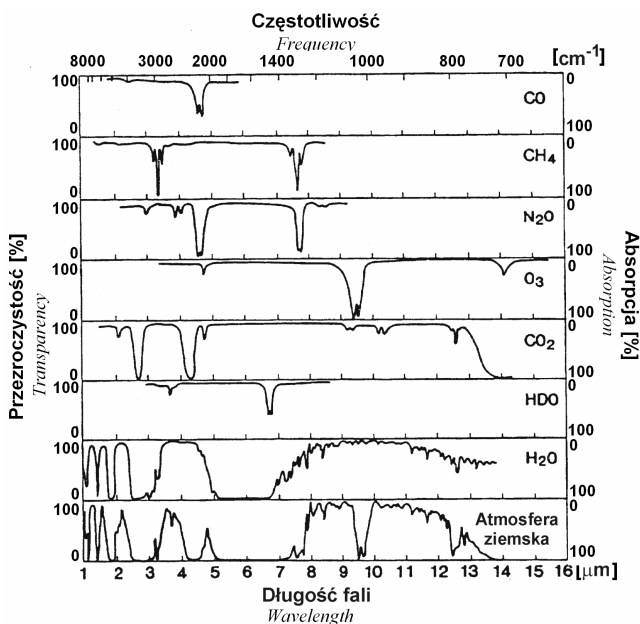
Celem pracy było stwierdzenie, czy korekcja atmosferyczna obrazów wielospektralnych wykonana przed procesem klasyfikacji daje wymierne efekty poprawy jakości uzyskiwanych wyników, czy też utrudnia ona poprawne przeprowadzenie procesu klasyfikacji.

WPLYW ATMOSFERY ZIEMSKIEJ NA REJESTRACJĘ ZDJĘĆ SATELITARNYCH

Atmosfera jest powłoką gazową o bardzo zróżnicowanej budowie i składzie chemicznym. Można w niej wyodrębnić warstwy o wyraźnie różnych własnościach, w których zachodzą różnorodne zjawiska i procesy fizyczne oraz chemiczne. Skład chemiczny tych warstw także jest zróżnicowany. Grubość warstw, jak również aktywność chemiczna składników, zależy od szerokości geograficznej (wpływ energii słonecznej). Wszystko to powoduje pewne modyfikacje sygnału odbieranego przez detektory umieszczone na satelitarnej platformie teledetekcyjnej.

Promieniowanie elektromagnetyczne odbite od obiektu naziemnego, w zależności od długości fali, jest w różnym stopniu pochłaniane przez atmosferę, co pokazane jest w sposób szczegółowy na rysunku 1. Rysunek ten prezentuje charakterystyki pochłaniania różnych długości fal przez poszczególne składniki atmosfery ziemskiej.

Analizując widma pochłaniania głównych absorbentów można stwierdzić, że atmosfera jest przezroczysta przede wszystkim w następujących przedziałach promieniowania elektromagnetycznego: 0,4-0,76 μm , 0,76-1,5 μm , 2,0-2,5 μm , 3,5-4,2 μm , 4,5-5,2 μm oraz 8,0-12,5 μm i to właśnie w tych zakresach dokonywana jest rejestracja zdjęć satelitarnych w tzw. teledetekcji optycznej.



Rys. 1. Typowa charakterystyka widmowej absorpcji gazów i cząstek zawartych w atmosferze oraz łącznej absorpcji atmosfery (opracowano na podstawie Prata i in., 1995 za Valley, 1965)

Fig. 1. Atmospheric absorption of the electromagnetic spectrum by gases, other aerosol particles and the total atmospheric absorption (created based on Prata and other 1995, Valley, 1965).

Największy wpływ na pochłanianie promieniowania podczerwonego ma para wodna. Podstawowe pasma absorpcji pary wodnej przypadają na fale o długości (środek strefy pochłaniania) 0,81; 0,94; 1,10; 1,38; 1,87; 2,70; 3,20 μm [Madany, 1995]. Dodatkowo para wodna silnie pochłania fale w przedziale 5,5-7,0 μm i dłuższe od 17 μm . Inny składnik atmosfery – dwutlenek węgla – absorbuje natomiast w zakresie fal o długościach: 1,44; 1,60; 2,02; 2,70 i 4,31 μm oraz w przedziale 13,5-17,0 μm . Ozon silnie absorbuje głównie w zakresie ultrafioletu (0,22-0,29 μm), natomiast w podczerwieni strefami pochłaniania są: 4,75; 9,60 i 14,1 μm [Madany, 1995]. Najsilniej

są rozpraszane fale krótkie: ultrafiolet, promieniowanie niebieskie i zielone. Im fala krótsza, tym silniej ulega rozproszeniu. Fale dłuższe są mniej narażone na uleganie tzw. rozpraszaniu Rayleigh'a, ale za to ulegają rozpraszaniu Mie.

Analiza ilościowa współczynników odbicia w poszczególnych zakresach spektralnych, czy też określenie albedo obiektów położonych na badanym obszarze, wymaga uwzględnienia wielu czynników oddziałujących na odbierany sygnał. Urządzenia rejestrujące obrazy satelitarne odbierają jednoznacznie to promieniowanie, które pada na detektor, a które jest pewną wypadkową promieniowania odbitego bądź emitowanego przez ciało i jego otoczenie oraz promieniowania odbitego od gruntu, chmur i innych elementów środowiska, jak również promieniowania rozpraszanego i reemitowanego przez atmosferę.

Wpływ na promieniowanie dochodzące do detektora można ująć w trzech blokach:

- właściwości obiektu oraz jego otoczenia (właściwości spektralne obiektu, struktura i wymiary obiektu, kąt obserwowania obiektu, otoczenie obiektu, itp.);
- oddziaływanie atmosfery na drodze obiekt-detektor (pochłanianie, odbijanie i rozpraszanie promieniowania, odbitego bądź emitowanego przez obiekty naziemne, przez cząsteczki atmosfery, mgłę, aerozole, parę wodną, itp.);
- wpływ elementów związanych z samym detektorem i jego właściwościami (wielkość pola widzenia skanera, charakterystyka funkcji przenoszenia sygnału, itp.).

Poprawne uwzględnienie tych elementów ma szczególne znaczenie przy szczegółowych analizach ilościowych. Uważa się, że w przypadku analiz jakościowych czy też przy wykonywaniu klasyfikacji pokrycia terenu wpływ atmosfery ma zdecydowanie mniej istotny wpływ na uzyskane wyniki, ale nie opublikowano do tej pory żadnych konkretnych wyników badań w tym zakresie. Czasami spotyka się w literaturze naukowej jedynie stwierdzenia, że korygowanie obrazów satelitarnych ze względu na wpływ atmosfery poprawia wyniki klasyfikacji wielospektralnej [Kaufman, 1984, 1985; Richter, 1996b].

OBSZAR BADAŃ

Badany obszar (45×45 km) położony jest na wysokości około 100-140 m n.p.m. na Nizinie Mazowieckiej. Charakteryzuje się urozmaiconym pokryciem terenu. W centrum obszaru znajduje się miasto Warszawa o bardzo zróżnicowanej zabudowie oraz licznych miejskich terenach zielonych, a także gruntach o charakterze rolniczym. Samo miasto leży na powierzchni ok. 495 km² [Rocznik Statystyczny Warszawy, 1995]. W granicach miasta leży 31,9% terenów rolniczych, 13,6% terenów zalesionych i zadrzewionych oraz 3,9% obszarów zieleni osiedlowej. Zaskakujące jest, że jedynie 24,5% stanowi zabudowa, a 13,5% drogi i koleje. Wokół Warszawy rozciągają się obszary leśne Mazowieckiego Parku Krajobrazowego i Puszczy Kampinoskiej. Przeważają w nich drzewostany iglaste lub mieszane. Mazowiecki Park Krajobrazowy znajduje się we wschodniej części obszaru badań. Ponad 64% jego powierzchni zajmują lasy. Są to bory suche i świeże, rzadziej bory wilgotne i bagienne oraz olsy, łągi i grądy. Prawie 12% powierzchni zajmują bagna i łąki. W pozostałej części obszaru badań lasy o drzewostanach liściastych znajdują się praktycznie jedynie w pobliżu rzek lub w rejonach torfowisk i terenów podmokłych. Wzdłuż głównych rzek: Wisły oraz Narwi położone są

spore obszary łąk o dużej różnorodności gatunkowej roślinności (w szczególności w rejonie Narwi). Pozostały teren to grunty rolne. W kilku miejscach widoczne są większe pola dawnych PGR-ów (Babice, Obory, Pęcice), ale zdecydowaną większość stanowią rozdrobnione indywidualne gospodarstwa rolne o bardzo różnorodnych uprawach.

OPIS BADAŃ

Dane satelitarne

Prace eksperymentalne zostały przeprowadzone dla czterech zdjęć satelitarnych zarejestrowanych przez system LANDSAT TM w różnych okresach roku, obejmujących obszar Warszawy i okolic. Ponieważ w zależności od pory roku atmosfera ma inne własności i jej wpływ na promieniowanie zarejestrowane przez skaner jest inny, starano się wybrać zdjęcia zarejestrowane w różnych porach roku.

Są to sceny zarejestrowane w różnych latach i różnych miesiącach. Jedną z nich wykonano wczesną wiosną, a drugą latem. Są to sceny satelitarne, zarejestrowane w dniach 2 kwietnia 1990 r., 25 maja 1992 r., 15 lipca 1987 r. oraz 16 sierpnia 1993 r. około godziny 9.00 lokalnego czasu słonecznego. Wszystkie analizowane sceny są całkowicie bezchmurne.

Korekcja atmosferyczna w module ATCOR

Korekcję atmosferyczną zdjęć satelitarnych wykonano w module ATCOR (A Spatially-Adaptive Fast Atmospheric Correction Algorithm), który jest pakietem programów służącym do korekcji atmosferycznej obrazów uzyskanych za pomocą sensorów o wysokiej rozdzielczości przestrzennej, takich jak: LANDSAT TM, SPOT czy IRS. Oblicza on współczynniki odbicia oraz temperaturę rzeczywistą powierzchni na podstawie danych z różnych kanałów spektralnych zarejestrowanych w różnych systemach satelitarnych dla różnych warunków atmosferycznych (różne profile wilgotności, ciśnienia, temperatury powietrza). Moduł ATCOR2 można stosować dla danych satelitarnych zarejestrowanych na względnie płaskim terenie [Richter, 1996a; 1998a], natomiast w wersji ATCOR3 można wykonać korekcję topograficzną i atmosferyczną. Głównym twórcą modułu jest dr Rudolf Richter z Instytutu Optoelektroniki Niemieckiego Centrum Kosmicznego (1990). Przy jego opracowaniu wykorzystał on doświadczenia z wcześniej powstałych i stosowanych programów LOWTRAN 7 [Kneizys i in., 1996], MODTRAN 2 oraz SENSAT 5 [Richter, 1990; 1996a; 1998a]. Moduł ten bazuje na modelu albedo planetarnego układu Ziemia – Słońce. Przy jego zastosowaniu możliwe jest określenie w sposób dość dokładny wielkości rozpraszania Rayleigh'a. Poza tym elementem ATCOR2 uwzględnia m.in.: pozaziemską radiację elektromagnetyczną, promieniowanie odbite od obiektu i jego sąsiedztwa, kąt zenitalny Słońca, wysokość rejestracji obrazu, wysokość badanego terenu nad poziomem morza, różne typy średnich atmosfer klimatycznych i różne typy aerozoli oraz widzialność. Wprowadzenie poprawki z tytułu rodzaju aerozolu jest bardzo trudne, gdyż na jego właściwości wpływają różne czynniki atmosferyczne, jak i cywilizacyjne oraz przemysłowe. Modele atmosfer standardowych, znajdujących się w bibliotece modelu ATCOR2, zostały skompilowane za pomocą kodów MODTRAN 2 oraz SENSAT 5.

Algorytm korekcji atmosferycznej dla obrazów satelitarnych w module ATCOR2 składa się z części interaktywnej oraz automatycznej. Interaktywnymi fazami mogą być:

definiowanie obiektu odniesienia (ciemnozielona, gęsta roślinność lub powierzchnia wody) oraz definiowanie obszarów zamglonych lub zachmurzonych. W tej fazie możliwy jest również wybór jednego z dostępnych w katalogu modeli atmosfer (zdefiniowany przez profil wysokościowy ciśnienia, temperatury powietrza i wilgotności), jak również zdefiniowanie typu aerozolu.

Do wykonania korekcji atmosferycznej obrazów satelitarnych można zastosować metodę korekcji atmosferycznej: 1) dla stałych warunków atmosferycznych, 2) dla zmiennych przestrzennie zróżnicowanych warunków atmosferycznych na obszarze sceny satelitarnej oraz 3) przy zastosowaniu określonego wcześniej dla danej sceny współczynnika widzialności.

Wybierając pierwsze podejście proponowane w module ATCOR2, czyli założenie stałych warunków atmosferycznych na obszarze analizowanych fragmentów scen satelitarnych, wykonano obliczenia przy zastosowaniu opcji braku usuwania mgły. Decyzja taka spowodowana była tym, że poddane analizie sceny satelitarne charakteryzowały się dobrą jakością. Podczas rejestracji obrazów panowały bardzo dobre warunki meteorologiczne (bardzo dobra widzialność, niebo bezchmurne). Przy takich warunkach można założyć, że na obszarze sceny warstwa atmosfery jest dobrze wymieszana i panują stałe warunki atmosferyczne.

Klasyfikacja obrazów satelitarnych

W ramach prac badawczych przeanalizowano dwa podejścia klasyfikacyjne: metodę klasyfikacji nienadzorowanej oraz nadzorowanej [Osińska-Skotak, 2002]. Sam proces klasyfikacyjny został przeprowadzony w systemie ERDAS Imagine. Klasyfikacja nienadzorowana została wykonana przy wykorzystaniu algorytmu klasyfikacyjnego ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique). Przetestowano tutaj również kilka ustawień parametrów, jakie możliwe są do zdefiniowania w tym algorytmie systemu ERDAS Imagine (m.in. liczba iteracji, współczynnik zbieżności). Wyodrębnionych zostało 20 klastrów, które następnie zostały zinterpretowane wizualnie przy wykorzystaniu zarówno kompozycji barwnych, jak i innych materiałów referencyjnych, takich jak: zdjęcia lotnicze, mapy topograficzne i tematyczne, informatory turystyczne itp. oraz w wyniku wywiadu terenowego. W niniejszym opracowaniu zaprezentowano jedynie rezultaty badań dla klasyfikacji nadzorowanej.

Klasyfikacja pokrycia terenu w podejściu nadzorowanym została opracowana w sposób klasyczny, na podstawie zdefiniowanych przez użytkownika pól treningowych. Pola treningowe, służące do treningu algorytmu klasyfikacyjnego, zostały tak wybrane, aby spełniały wszystkie stawiane tego rodzaju wzorcom wymagania. Na podstawie pól treningowych zostały zdefiniowane następnie sygnatury, czyli zestawy parametrów statystycznych, charakteryzujących pola treningowe w każdym z zakresów spektralnych. Zdefiniowano 17 klas, które wyczerpują całą gamę typów pokrycia terenu występujących na badanym obszarze. Następnie wykonano klasyfikację przy zastosowaniu algorytmu największego prawdopodobieństwa (z ang. maximum likelihood method).

W celu porównania, jak korekcja atmosferyczna zmienia sygnatury pól treningowych, przeprowadzono odpowiednie porównanie dla obu obrazów wejściowych (źródłowego i poddanego korekcji atmosferycznej). Te same poligony, definiujące pola treningowe, posłużyły do stworzenia sygnatur do klasyfikacji nadzorowanej obrazów źródłowych oraz obrazów skorygowanych ze względu na wpływ atmosfery. W ten

sposób możliwe było również przeanalizowanie zmian, jakie zaszły w wyniku korekcji atmosferycznej na obszarach służących do wytrenowania algorytmu klasyfikacyjnego.

Aby nie obarczać wyniku klasyfikacji dodatkowymi błędami, które możliwe są do wprowadzenia podczas procesu ponownego próbkowania (z ang. resampling) obrazu, towarzyszącemu zawsze transformacji geometrycznej obrazów rastrowych, nie wykonywano korekcji geometrycznej obrazów źródłowych.

OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

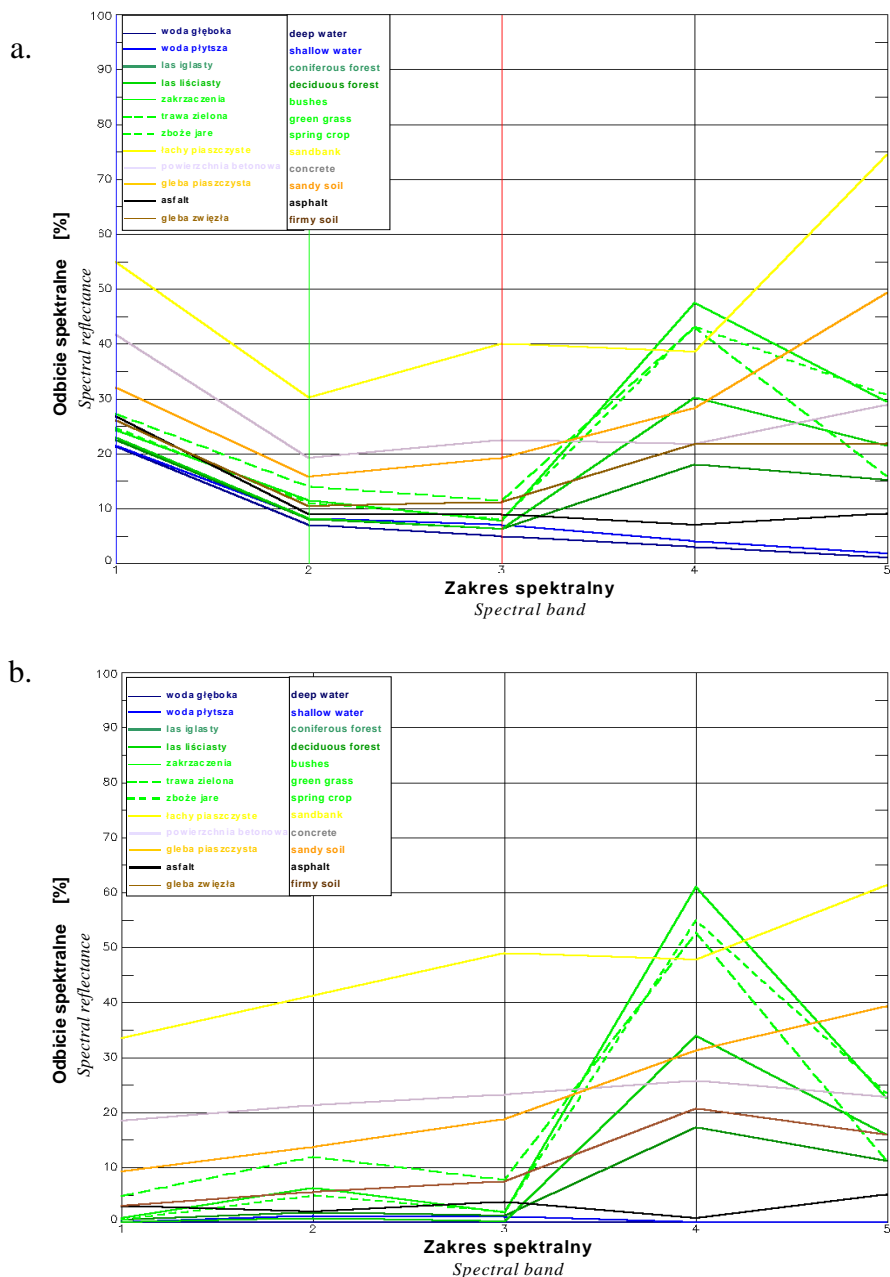
Wpływ atmosfery ujawnia się w różny sposób w każdym z rejestrowanych zakresów spektralnych. Analizując charakterystykę transmisji atmosfery (rys. 1) można zauważyć znacznie większy wpływ atmosfery w zakresach widzialnych (TM1, TM2, TM3), zaś mniejszy w bliskiej (TM4) i średniej podczerwieni (TM5).

Wpływ atmosfery na zakres widzialny rejestrowanych scen satelitarnych doskonale można zaobserwować na kompozycjach barwnych, utworzonych dla zdjęcia oryginalnego i zdjęcia poddanego korekcji atmosferycznej. Kompozycja barwna utworzona dla danych źródłowych jest „zaniebieszczona”, co jest właśnie spowodowane tak silnym rozpraszaniem promieniowania niebieskiego przez atmosferę ziemską. Po wykonaniu korekcji atmosferycznej kompozycja barwna utworzona z już skorygowanych danych satelitarnych rzeczywiście daje efekt barw naturalnych.

Porównanie charakterystyk spektralnych

Charakterystyki spektralne utworzone na podstawie danych oryginalnych (rys. 2a) odbiegają od teoretycznych krzywych odbicia spektralnego. Szczególnie uwidacznia się to w zakresie promieniowania niebieskiego (TM1). Po wykonaniu korekcji atmosferycznej, ograniczającej wpływ atmosfery na rejestrowane przez skaner promieniowanie, nowo utworzone charakterystyki spektralne (ryc. 2b), utworzone dokładnie dla tych samych obszarów, co przy tworzeniu krzywych na podstawie danych źródłowych, mają kształt zgodny z przebiegiem charakterystyk teoretycznych znanych z literatury [Cracknell, Haye, 1991; Jensen, 1996; Lillesand, Kiefer, 1993]. Znacznemu obniżeniu ulega odbicie spektralne w zakresie fal krótkich (promieniowanie niebieskie), które na danych oryginalnych było podwyższone w stosunku do wyników po korekcji atmosferycznej. Ten zakres promieniowania, jak wspomniano wcześniej, jest silnie rozpraszany przez atmosferę ziemską, na skutek czego sygnał docierający do sensora satelitarnego jest w tym zakresie silniejszy. Podobny efekt zaobserwowano w pozostałych analizowanych terminach.

W przypadku obrazu z 15 lipca 1987 r. największy wpływ atmosfery zauważa się dla obszaru samego miasta Warszawy i jego najbliższej okolicy, czego już nie można zaobserwować dla pozostałych danych. Prawdopodobnie jest to również efekt wynikający ze stanu pogody w rozważanych terminach (inny udział rozpraszania Rayleigh'a do rozpraszania Mie).



Rys. 2. Charakterystyki spektralne wybranych obiektów terenowych opracowane na podstawie danych satelitarnych LANDSAT TM z dnia 15 lipca 1987 r.: a. – nie poddanych korekcji atmosferycznej, b. – poddanych korekcji atmosferycznej w module ATCOR

Fig. 2. The spectral reflectance characteristics creating based on LANDSAT TM satellite image from 15 July 1987 for different terrestrial objects: a. – for original data, b. – for atmospheric corrected data using ATCOR2 model

We wszystkich analizowanych terminach większa różnica wpływu korekcji atmosferycznej zauważalna jest dla terenów pokrytych roślinnością. W zakresie promieniowania zielonego (TM2) i czerwonego (TM3) obiekty pokryte roślinnością na obrazie skorygowanym ze względu na wpływ atmosfery mają niższe odbicie spektralne (do ok. 10%), co należy tłumaczyć silniejszym rozpraszaniem tych zakresów przez atmosferę. Jedynie bardzo jasne gleby i piaski mają wyższe odbicie spektralne na obrazach skorygowanych nawet o 10-15%. W zakresie bliskiej podczerwieni (TM4) tereny pokryte roślinnością oraz gleby lekkie, piaszczyste, jasne wykazują wyższe odbicie spektralne (2-20%) po skorygowaniu wpływu atmosfery. Nieznacznemu obniżeniu ulega natomiast odbicie dla gleb ciężkich oraz wód powierzchniowych (do ok. 5%). Dla podczerwieni średniej (TM5) wpływ atmosfery zależy od terminu rejestracji danych. W przypadku danych uzyskanych 15 lipca 1987 r. po dokonaniu korekcji atmosferycznej okazuje się, że odbicie w tym zakresie jest niższe dla wszystkich obiektów w stosunku do odbicia spektralnego uzyskanego na podstawie danych oryginalnych. Dla większości obiektów jest ono niższe o ok. 5%, a dla piasków i gleb lekkich suchych nawet o 15%. Natomiast, przykładowo, dla sceny z 2 kwietnia 1990 r. odbicie dla średniej podczerwieni jest nieco wyższe (dla gleb o 1-4%) lub pozostaje na tym samym poziomie dla większości typów pokrycia terenu. Zakres ten jest przydatny w określaniu wilgotności gleb oraz zawartości wody w liściach. Niewielkie zmiany sugerują więc, że wilgotność na badanym obszarze była niska, co potwierdzają obserwacje meteorologiczne.

Porównanie klasyfikacji nadzorowanej

Oceniając wpływ korekcji atmosferycznej na wyniki klasyfikacji wielospektralnej dokonano również analizy porównawczej sygnatur, opisujących pola treningowe. Pola te definiują klasy pokrycia terenu uzyskane na podstawie danych oryginalnych oraz danych poddanych korekcji atmosferycznej. Sygnatury dla tych samych pól treningowych zostały zestawione w tabeli 1.

Analizując parametry statystyczne charakteryzujące poszczególne wzorce klas można zauważyć, że wartości minimalna, maksymalna i średnia w każdej z klas uległa zmianie po wykonaniu korekcji atmosferycznej. Najbardziej interesującymi charakterystykami statystycznymi, z punktu widzenia wykonania klasyfikacji nadzorowanej, są odchylenie standardowe oraz macierz wariancyjno-kowariancyjna.

Praktycznie dla każdego wzorca klasy w każdym z zakresów spektralnych zauważyć można zmianę odchylenia standardowego po dokonaniu korekcji atmosferycznej danych. W przypadku zakresu promieniowania niebieskiego (TM1) najmniej ulega zmianie wartość odchylenia standardowego dla obszarów pokrytych roślinnością. Wzrost odchylenia standardowego obserwuje się zaś dla terenów antropogenicznych oraz powierzchni gleb odkrytych, natomiast spadek tej wartości jest widoczny dla wód powierzchniowych i lasu iglastego. Zakres zielony (TM2) również wykazuje duże zmiany wywołane korekcją atmosferyczną. Dla wszystkich typów pokrycia obserwuje się wzrost odchylenia standardowego o około 1,5 raza, ale szczególnie duży wzrost uwiadcza się dla gleb odkrytych (2-2,5 raza większe wartości odchyleń standardowych uzyskano w przypadku danych poddanych korekcji atmosferycznej).

Tabela 1. Porównanie parametrów statystycznych dla pól treningowych uzyskanych na podstawie danych źródłowych oraz danych poddanych korekcji atmosferycznej dla tych samych pól treningowych

Table 1. The comparison of the statistic parameters for training classes obtained for the original data and the atmospheric corrected data

Table with 10 columns: 'wzrost bez korekcji atmosferycznej', 'wzrost', 'ciężar ciała bez korekcji atmosferycznej', 'ciężar ciała', 'ciężar ciała bez korekcji atmosferycznej', 'ciężar ciała', 'ciężar ciała bez korekcji atmosferycznej', 'ciężar ciała', 'ciężar ciała bez korekcji atmosferycznej', 'ciężar ciała'. Each column contains statistical data for 5 layers across 5 different variables.

Również w pozostałych zakresach występują zmiany w wartościach odchyłeń standardowych wzorców klas pokrycia terenu. W szczególności duże zmiany są dla terenów pokrytych różnymi rodzajami roślinności i gleb. W zakresie czerwonym (TM3) i bliskiej podczerwieni (TM4) wartości odchyłeń standardowych tych klas wzrastają, nawet w niektórych przypadkach dwukrotnie. Jedynie w zakresie średniej podczerwieni (TM5) obserwuje się spadek wartości odchylenia standardowego dla poszczególnych sygnatur klas. Najmniejsze zmiany wartości odchyłeń standardowych występują dla lasu iglastego oraz lasu mieszanego z przewagą drzewostanów iglastych.

W przypadku klasyfikacji nadzorowanej metodą maksymalnego prawdopodobieństwa największą zgodność klasyfikacji wykonanej dla danych źródłowych i klasyfikacji uzyskanej dla danych skorygowanych otrzymano dla klas definiujących gleby odkryte. Wyniosła ona ponad 90 %. Pozostałe klasy wykazują już znacznie mniejszą zgodność. Powyżej 80% pikseli zostało sklasyfikowanych w ten sam sposób w przypadku klas: powierzchnie betonowe, tereny zabudowane, zabudowa zwarta i przemysłowa, tereny pokryte bardzo gęstą roślinnością. Pozostałe klasy mają słabszą zgodność przy porównaniu wyników obu klasyfikacji. Oznacza to, że korekcja atmosferyczna spowodowała większe zróżnicowanie w pozostałych klasach, co jest również widoczne podczas interpretacji wizualnej kompozycji barwnych. Dotyczy to w szczególności klas związanych z roślinnością, choć w niektórych terminach ujawnia się również dla gleb odkrytych.

WNIOSKI

W ramach przeprowadzonych prac badawczych nad wpływem wykonywania korekcji atmosferycznej wielospektralnych zdjęć satelitarnych na wyniki uzyskiwanej klasyfikacji pokrycia terenu stwierdzono, że wpływ ten istnieje. Przy wykonywaniu klasyfikacji pokrycia terenu metodą nadzorowaną okazało się, że korekcja atmosferyczna zmienia charakterystykę statystyczną pól treningowych. Poddanie danych źródłowych korekcji atmosferycznej prowadzi w efekcie do uzyskania większego zróżnicowania odpowiedzi spektralnych poszczególnych obiektów. Duże znaczenie ma korekcja atmosferyczna w zakresie bliskiej podczerwieni, w której to silniej uwypukla się rozróżnienie różnych typów roślinności. W przypadku wykonywania korekcji atmosferycznej przed opracowaniem klasyfikacji nadzorowanej należy szczególną uwagę zwrócić na dbałość przy wyborze pól treningowych, służących jako wzorce dla treningu algorytmu klasyfikacyjnego. Korekcja atmosferyczna wymusza w praktyce zwiększenie liczby definiowanych klas, co z kolei umożliwia uzyskanie większej szczegółowości przy klasyfikacji.

Można stwierdzić z całą pewnością, że korekcja atmosferyczna poprawia możliwość rozróżniania terenów pokrytych roślinnością o różnego rodzaju biomasie, zawartości chlorofilu itp. Wynika to przede wszystkim z wykonania korekcji atmosferycznej w zakresie bliskiej podczerwieni, ale nie tylko. Zauważono również większą łatwość w klasyfikowaniu gleb odkrytych i rozróżnianiu niektórych typów pokrycia terenu od siebie (np. wody powierzchniowe, las iglasty, zabudowa przemysłowa), które w niektórych terminach trudno od siebie odseparować.

PIŚMIENNICTWO

- Cracknell A.P., Hayes L.W.B., 1991. Introduction to Remote Sensing, Taylor&Francise
- Jensen J.R., 1996. Introductory Digital Image Processing - A Remote Sensing Perspective, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, second edition.
- Kaufman Y.J., Fraser R.S., 1984. Atmospheric effect on classification of finite fields. Remote Sensing of Environment, vol. 15, 95-118.
- Kaufman Y.J., 1985. The atmospheric effect on separability of field classes measured from satellites. Remote Sensing of Environment, vol. 18, 21-34.
- Kneizys F.X., Abreu L.W., Anderson G.P., Chetwynd J.H., Shettle E.P., Berk A., Bernstein L.S., Robertson D.C., Acharya P., Rothman L.S., Selby J.E.A., Gallery W.O., Clough S.A., 1996. The MODTRAN 2/3 Report and LOWTRAN 7 Model. Contract F19628-91-C-0132, prepared by Ontar Corporation for Phillips Laboratory, Geophysics Directorate, Hanscom AFB, USA.
- Lillesand T.M., Kiefer R.W., 1993. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons.
- Madany A., 1995. Fizyka atmosfery. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej.
- Osińska-Skotak K., 2001. Analiza wybranych metod przetwarzania satelitarnych zdjęć termalnych LANDSAT TM. Rozprawa doktorska, Wydział Geodezji i Kartografii PW.
- Osińska-Skotak K., 2002. Badanie wpływu korekcji atmosferycznej satelitarnych zdjęć wielospektralnych na wyniki klasyfikacji pokrycia terenu. Raport z grantu dziekańskiego, Politechnika Warszawska, Warszawa, 1-41.
- Prata F., Caselles V., Colland C., Sobrino J.A., Otle C., 1995. Thermal remote sensing of land surface temperature from satellites: current status and future prospects. Remote Sensing Rev., 12, 174-224.
- Richter R., 1990. A fast atmospheric correction algorithm applied to Landsat TM images, International Journal of Remote Sensing, vol. 11, no. 1, 159-166.
- Richter R., 1996a. A spatially-adaptive fast atmospheric correction algorithm. International Journal of Remote Sensing, vol.17, no.6, 1201-1214.
- Richter R., 1996b. Atmospheric correction of DAIS hyperspectral image data. Computers & Geosciences, vol. 22, no. 7, Elsevier Science Ltd., 785-793.
- Richter R., 1998a. Atmospheric correction algorithm for flat terrain: Model ATCOR2 (User Manual) ver. 3.0. October 1998, DLR-IB 552-04/98, DLR Institute for Optoelectronics, Germany.
- Richter R., 1998b. Correction of satellite imagery over mountainous terrain. Applied Optics, vol. 37, No. 18, 20 June 1998. 4004-4015.

THE INFLUENCE OF ATMOSPHERIC CORRECTION OF SATELLITE IMAGES ON RESULTS OF MULTISPECTRAL CLASSIFICATION

Abstract. Atmosphere between an object and a satellite detector is the most important element, which decided about the radiation registered by satellite sensor. However, atmospheric correction is mostly neglected during satellite image processing. It's implicated by fact that to estimate the influence of atmospheric conditions, a lot of different meteorological parameters and model of atmosphere are needed. In case of archived images gathering this kind of data is often difficult or even impossible. Therefore standard atmosphere models which described average atmospheric conditions on different areas are used.

In some application atmospheric correction is not needed (i.e. qualitative analyses, visual interpretation) but for quantitative analyses or multitemporal analyses this correction is very important to obtain correct results. This article presents results of researches on influence of atmospheric correction on the process of multispectral classification. It was found that classification of atmospheric corrected images make better classes delimitation possible.

Key words: atmospheric correction, supervised classification, multispectral classification

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 28.10.2005