

Beata Hejmanowska

METODY KLASYFIKACJI OBRAZU, MAPY POKRYCIA/UŻYTKOWANIA TERENU, POMIARY WŁAŚCIWOŚCI SPEKTRALNYCH OBIEKTU*

W niniejszym referacie opisano w zarysie problematykę poruszaną w ramach Komisji VII w zakresie:

- klasyfikacji obrazu
- monitoringu czy inwentaryzacji stanu środowiska geograficznego lub jego zmian zarówno w obszarach zabudowanych jak i pokrytych naturalną roślinnością,
- opracowania map pokrycia terenu (LANDCOVER),
- pomiaru właściwości spektralnych obiektów.

Najliczniejszą grupę stanowiły metody klasyfikacji obrazu.

Artykuł *Diogenesa i in. [VII]* dotyczył badania dynamiki zmian pokrycia terenu okolic Amazonki na podstawie obrazów multitemporalnych, wykorzystując techniki segmentacji. Do klasyfikacji wykorzystano obrazy satelitarne Landsat TM wykonane w latach 1985-1995. Celem klasyfikacji było stworzenie mapy pokrycia terenu ze szczególnym uwzględnieniem następstw związanych z intensywnym wycinaniem lasów. Interesującą z punktu widzenia klasyfikacji była metoda wcześniejszej automatycznej segmentacji obrazu (do 120 m). Stwierdzono, że poprawia to późniejszy efekt klasyfikacji, gdyż usuwa się w ten sposób wpływ reliefu terenu, tekstury obrazu i innych.

Inną grupę, ostatnio popularną, stanowią techniki klasyfikacji wykorzystujące zjawisko „uczenia się” występujące w sieciach neuronowych. Przykładem może być artykuł *Bock'a [VII]*, w którym zostało opisane wykorzystanie sieci neuronowych w klasyfikacji obrazu Landsat TM okolic miasta Santos w Brazylii dla potrzeb tworzenia mapy użytkowania terenu. Według autora wykorzystanie do tego celu nadzorowanej klasyfikacji metodą największego prawdopodobieństwa ma dwie podstawowe wady:

- użytkowanie ziemi w porównaniu z naturalnym pokryciem terenu charakteryzuje się dużą zmiennością, co uwidacznia się znacznymi fluktuacjami odpowiedzi spektralnej sąsiednich pikseli i powoduje, że metoda klasyfikacji nadzorowanej piksel po pikselu daje duże błędy,
- klasyfikacja nadzorowana prowadzona klasycznie piksel po pikselu nie uwzględnia sąsiednich pikseli i ich wzajemnego związku.

Sieci neuronowe wydają się być pewnym rozwiązaniem ww. problemów. Autor uzyskał dokładność o 14% lepszą wykorzystując sieci neuronowe w porównaniu z klasyczną

* Publikację opracowano na podstawie referatów prezentowanych na XVIII Kongresie ISPRS w ramach Komisji Nr VII „Monitorowanie zasobów i środowiska”

metodą klasyfikacji nadzorowanej wykorzystującą maksymalne prawdopodobieństwo, dla której dokładność wyniosła: 74,6 %.

Klasyfikację obrazów Landsata TM z wykorzystaniem metody sieci uczących się neuronów przeprowadził również *Wu [VII]*. W zastosowaniach teledetekcyjnych dla celów klasyfikacji obrazów satelitarnych został z powodzeniem wykorzystany paradygmat sieci uczącej się w sposób nadzorowany, tzw. Back Propagation (BP) - wsteczne rozpraszanie. Metoda ta ma dwie wady: czas zbieżności jest bardzo długi, a poza tym wymaga ona odpowiednich danych treningowych. W artykule autor przedstawił założenia metody BP. Dokładność klasyfikacji powinna wynosić 85%, a uzyskana tą metodą była mniejsza.

W artykule *Bosdogianni'ego i in. [VII]* zaprezentowano technikę liniowego „miksowania” pikseli (odpowiedzi spektralnej w różnych kanałach dla każdego piksela), a następnie klasyfikacji metodą *robust*. Do klasyfikacji wykorzystano zobrazowanie Landsata TM regionu Morza Śródziemnego. Celem było badanie postępów naturalnego odtwarzania się lasów po pożarach.

Artykuł *Droesen'a i van Deventer'a [VII]* dotyczył klasyfikacji „rozmytej” ortofotografii cyfrowych dla potrzeb czasoprzestrzennego modelowania krajobrazu. Przedmiotem opracowania były lotnicze zdjęcia o rozdzielczości ok. 1m. Klasyfikacja została przeprowadzona hierarchicznie, tzn. w pierwszej kolejności wydzielono obszary pokryte roślinnością i inne. W dalszej kolejności rozróżniano w obrębie obszarów pokrytych roślinnością obszary leśne i inne itd.. Tak przeprowadzona klasyfikacja pozwoliła na uzyskanie dokładności 90-95%.

W publikacji *Kim'a [VII]* zamieszczono analizę wyniku klasyfikacji danych wielospektralnych, zarejestrowanych w przedziale widzialnym i bliskiej podczerwieni, za pomocą JERS-1 OPS (Japanese Earth Resource Satellite-1 Optical Sensor). Przeanalizowano możliwość wykorzystania indeksu roślinności dla potrzeb usuwania zakłócającego efektu ukształtowania terenu. Z analizy wynika, że indeks roślinności jedynie częściowo pozwala usunąć ten efekt. Lepsze rezultaty uzyskano za pomocą własnej metody empirycznej opartej na „maksymalnym zenitalnym kącie” oświetlenia (Spectral Angle Mapper).

Artykuł *Noori-Bushehri'ego i Khorsandian'a [VII]* dotyczył badania możliwości polepszenia efektów klasyfikacji wielospektralnych obrazów SPOT'a za pomocą Cyfrowego Modelu Terenu i ortofotografii.

W pracach *Canesi'ego i in. [VII]* badano problem odwrotny do wcześniej wymienionego segmentowego sposobu klasyfikacji, mianowicie klasyfikację na poziomie podpikselowym (Linear Mixing Model). W pierwszym etapie przeprowadzano tradycyjnie klasyfikację obrazu wydzielając główne klasy, a następnie wykorzystując metodę LMM dokonywano szczegółowych wydzieleni.

Następna grupa zagadnień dotyczyła wykorzystania technik teledetekcyjnych dla rozwiązywania problemów występujących na terenach zabudowanych.

Przykładem tego rodzaju zastosowań jest publikacja *Koizumi'ego i Fatayamy [VII]*, którzy prowadzili badania w ramach projektu dotyczącego zapobiegania katastrofom ze szczególnym uwzględnieniem obszarów zabudowanych. Analizowanym obszarem były okolice Kobe w Japonii, gdzie w 1995 r. w wyniku trzęsienia ziemi zginęło 5500 ludzi. Głównym problemem były pożary budynków. 300 000 ludzi znalazło się bez dachu nad głową. W ww. projekcie włączono techniki teledetekcyjne (wykorzystując obrazy Landsata TM i SPOT'a) dla inwentaryzacji powstałych szkód i wydzielenia stref niebezpiecznych, tzn. takich, do których ogień w tym przypadku nie przedostał się, ale które

są specjalnie podatne, uprzywilejowane dla rozprzestrzenienia ognia w przypadku wystąpienia trzęsień ziemi.

Detekcja zmian w obszarze zabudowanym była przedmiotem zainteresowania *Kressler'a i Steinnocher'a [VII]*. Badali oni możliwość wykorzystania do tego celu metody SMA - Spectral Mixture Analysis. Jest to technika statystyczna, w wyniku której otrzymuje się kategorie użytkowania terenu podobnie jak podczas klasyfikacji. Ilość kategorii zależy w tej metodzie od ilości niezależnych (nie skorelowanych ze sobą) kanałów spektralnych. W badanym przypadku było ich 3 (wegetacja, zabudowa i woda). Analiza dotyczyła okolic Wiednia. Wykorzystanie tej metody w połączeniu z wysokorozdzielczym Landsatem w sensie spektralnym i MOMS'em panchromatycznym w sensie przestrzennym wydaje się obiecujące.

Detekcja zmian w elektryfikacji, wodociągach, zabudowaniach, ilości rowerów, motocykli, ciężarówek czy występowania chorób była przedmiotem badań prowadzonych w Północnej Tajlandii [*Nagata, VII*]. Analizy prowadzono za pomocą miejskiego systemu bazy danych NETVISC (Northeast Thailand Village Information System). Artykuł ma charakter aplikacyjny.

Przedmiotem zainteresowania badaczy jest oprócz inwentaryzacji stanu obszarów zabudowanych lub jego zmian badanie tych zjawisk dla terenów pokrytych roślinnością.

Wykorzystanie danych z Landsata TM w celu detekcji i kartowania zmian stanu wegetacji było przedmiotem badań *Kwarteng'a i Al-Aimi'ego [VII]*. W analizach porównawczych obszarów multitemporalnych konieczne jest przeprowadzenie wstępnej korekcji radiometrycznej danych wejściowych. Korekcję wstępną przeprowadzono w celu usunięcia wpływu tłumienia atmosfery oraz uwzględnienia wpływu parametrów oświetlenia. Podstawą interpretacji był znormalizowany indeks wegetacji (NDVI). Ponadto zastosowano w ciekawy sposób metodę składowych głównych, nazwaną tutaj *selective principal component*. Danymi wejściowymi w metodzie składowych głównych były dwa obrazy: indeks wegetacji obliczony na podstawie obrazów Landsat TM z lutego 1987 i z lutego 1993. Druga składowa główna została zinterpretowana jako obraz zmian (wzrost biomasy wyniósł 19,82 % pomiędzy rokiem 1987 i 93). Związane to było z pewnością z 3 razy większą ilością opadów w roku 1993 w porównaniu z danymi zaobserwowanymi w roku 1987. Wzrost wegetacji obserwowano w obszarach kultywowanych rolniczo, czyli nawadnianych i miejskich Kuwejtu. Obszary pustynne lub pustniejące nie wykazują żadnych zmian w wegetacji.

Monitorowanie zmian środowiska przy wykorzystaniu danych pozyskanych w paśmie widzialnym, podczerwonym i radarowym było przedmiotem badań w ramach projektu „Panamazonia” [*Martini, VII*]. W tym artykule zaprezentowano wstępne wyniki wspólnego projektu krajów Ameryki Południowej. W ramach tego projektu rozesłano do różnych krajów dane multitemporalne (88-90) z Landsata TM i SAR-ERSI. Pierwsze wyniki otrzymano z Boliwii i Gujany Francuskiej. Przedmiotem analizy było zjawisko wycinania lasów tropikalnych. Na podstawie otrzymanych wyników sformułowano wniosek, że zjawisko to jest 3-krotnie mniejsze niż podaje się to w literaturze.

Następną grupę tematyczną stanowią prace, których celem było opracowanie mapy pokrycia terenu (LANDCOVER).

Do tej grupy można zaliczyć publikację *Santos'a i in. [VII]*, dotyczącą interaktywnej analizy danych radarowych SIR-C i Landsata TM w celu określenia charakterystyki spektralnej i tekstury pokrycia terenu w południowo-zachodniej Amazonii, Brazylii. Dla wydzielenia 6 kategorii użytkowania / pokrycia terenu (LANDUSE/LANDCOVER)

wykorzystano technikę segmentacji danych z LANDSAT TM i form teksturalnych uzyskanych z SIR-C.

Próbie wykorzystania danych teledetekcyjnych dla szacowania multitemporalnych zmian pokrycia / użytkowania terenu przeprowadzono dla obszaru testowego: Tuzla w Istambule [Sunar i in., VIII]. Pokrycie (użytkowanie) terenu zmienia się pod wpływem naturalnych czynników, katastrof czy działalności człowieka. Przedmiotem badań były zmiany pokrycia terenu spowodowane niekontrolowanym i nielegalnym rozwojem zabudowy. Wykorzystano techniki „nakładkowania”, różnicowania i składowych głównych dla analizy obrazów z Landsata TM zarejestrowanych w latach 1984, 90, 92. W latach tych zaobserwowano możliwe do przewidzenia zjawisko zmniejszania się terenów zielonych i wzrost obszarów zajętych przez zabudowę.

Monitorowanie stanu pokrycia terenu obszarów upraw ryżu za pomocą multitemporalnych danych radarowych SAR opisano w [Takeuchi i in., VII]. Dane radarowe mają tę zaletę w monitorowaniu obszarów tropikalnych, że ich wykorzystanie nie jest uzależnione od pogody. Autorzy swoje analizy prowadzili w oparciu o 3 zobrażenia radarowe z 1993 (marzec - pora sucha, kwiecień - koniec pory suchej i wrzesień - pora deszczowa). Zmiany tłumienia wstecznego SAR były przedstawione poprzez Normalized Radar Cross Section (NRCS) proponowany przez NASDA. W celu zbadania fizycznego znaczenia NRCS przeprowadzono analizę regresji pomiędzy NRCS a Soil Wetness Index (SWI) i Perpendicular Vegetation Index (PVI) obliczony na podstawie IERS-1 SAR i Landsat TM z tego samego dnia 29.04.1993. Analiza regresji sugeruje, że zmiany wstecznego tłumienia radarowego SAR - band L są związane ze zmianą wilgotności gleby i stanem wegetacji (przy czym jest to korelacja dodatnia). Wyniki przeprowadzonych badań studyjnych wykazały efektywność wykorzystania kanału L SAR pozyskiwanego przez JERS-1 dla monitorowania zmian pokrycia terenu w regionach tropikalnych, gdzie istnieje konieczność pozyskiwania danych podczas złej pogody.

Wykorzystanie technik teledetekcyjnych w projekcie CNPQ dla potrzeb kartowania pokrycia/użytkowania terenu w Paraíba było przedmiotem badań Teotia i in. [VIII]. W analizach wykorzystano fotografie czarno białe i kolorowe, a także cyfrowe obrazy z satelity SPOT'a. Analizy wykonywano za pomocą zwykłego zestawu komputerowego oraz systemu przetwarzania obrazów ERDAS. Obrazy interpretowano wizualnie i ze wspomaganiami komputerowymi na następujące kategorie: woda, lasy, tereny rolnicze, zabudowa, pastwiska, lasy, obszary bagniste, słabo drenowane, gleby odkryte, obszary aluwialne. Obie techniki interpretacyjne (wizualna i cyfrowa) zostały uznane za bardzo użyteczne dla tworzenia mapy użytkowanie / pokrycie terenu

Następna grupa zagadnień stanowiły wyniki prac związanych z pomiarem właściwości spektralnych obiektów przy wykorzystaniu do tego celu wysokorozdzielczych skanerów czy spektroradiometrów.

Przykładem takiego zastosowania jest publikacja Eibl i in. [VII]. Dotyczyła ona klasyfikacji obrazów Landsata TM z wykorzystaniem tzw. „wsparcia naziemnego” - naziemnych pomiarów spektrometrem polowym. Przedmiotem badań były wydzielenia litologiczne na obszarze Pustyni Libijskiej.

Meinel i in. [VII] przeprowadził analizę lotniczych danych skanerowych DAEDALUS - ATM obszaru miejskiego Drezna w celu zidentyfikowania zjawiska wysychania gruntów w terenie zabudowanym. Obniżenie się poziomu wód gruntowych w obszarach zabudowanych jest zjawiskiem niekorzystnym z uwagi na ekologię tych obszarów, ich klimat, hydrologię czy biotopy. Istnieje więc potrzeba monitorowania tego zjawiska w skali mikro i makro. Pomiary

bezpośrednie są drogie i długo trwają, w związku z tym metody teledetekcyjne wydają się być bardziej odpowiednie. Prace badawcze prowadzone były trzema metodami. W pierwszej metodzie jako wskaźnik wysychania gleb użyto znormalizowanego indeksu wegetacji NDVI. Po drugie wykorzystano dane zarejestrowane w termalnej podczerwieni, które rejestrowano dwukrotnie w ciągu doby: tuż po zachodzie słońca i tuż przed wschodem. Po trzecie dokonano hierarchicznej klasyfikacji 15 kanałów DAEDALUS'a. Kombinacja tych metod pozwoliła na sporządzenie mapy stopnia „wysuszenia” gruntu.

Dane pozyskane za pomocą hyperspektralnego skanera obrazującego CASI zostały przez *Yamagata i Yasuoka [VII]* poddane procedurze „odmiksowania” w celu wydzielenia typów wegetacji w terenie wilgotnym. Autorzy wykorzystali do tego celu metodę podprzestrzeni (subspace) alternatywnie do klasycznej metody LMM (Linear Mixel Model). Metoda „odmiksowania” polega na „wyciągnięciu”, rozłożeniu wypadkowej odpowiedzi spektralnej zarejestrowanej w obrębie pojedynczego piksela (miksela) na jednostkowe składowe klas. Klasyczna metoda odmiksowania ma wadę polegającą na wysokiej autokorelacji pomiędzy kanałami i wymaga, w celu prawidłowego rozwiązania, zredukowania ilości kanałów. Odmiksowanie metodą podprzestrzeni jest zupełnie odmienne niż metoda klasyczna. W tej metodzie zakłada się różne podprzestrzenie dla każdej z klas wegetacji zamiast wpasowania w metodzie LMM we wcześniej zdefiniowaną liczbą spektralnych wymiarów. Zaproponowana przez autorów metoda podprzestrzeni jest numerycznie stabilna i szybka. Nadaje się szczególnie dla przetwarzania wielokanałowych danych spektralnych.

Analiza porównawcza danych wysokorozdzielczego spektralnie systemu sensorów z wieloetapowymi danymi dla ekstrakcji cech w terenie górzystym została przedstawiona przez *Hugh'iego i in. [VII]*. Przedmiotem badań było określenie optymalnej rozdzielczości przestrzennej i spektralnej. Zasymlowano dane wielospektralne na podstawie wykonanych w 1993 i 1995 barwnych fotografii w podczerwieni 550 μm - 850 μm z rozdzielczością 0,1 m i 11,0 m (1:2000 i 1:6000). Zdjęcia były skanowane z różną rozdzielczością z różnymi filtrami w celu „rozwarstwienia” spektralnego. Autorzy w konkluzji stwierdzają, że nowa generacja sensorów wykorzystywanych z pułapu lotniczego czy przestrzeni kosmicznej, powinna mieć znacznie wyższą rozdzielczość radiometryczną i spektralną, żeby mogły być one wykorzystywane do monitorowania stanu i zmian roślinności w terenach górskich.

Integracja obrazów satelitarnych i baz danych GIS dla monitorowania użytkowania ziemi w terenach górskich została opisana przez *Husueh-Cheng'a i Tien-Yin'a [VII]*. Z powodu większej rozdzielczości przestrzennej autorzy preferowali obrazy SPOT'a w porównaniu z obrazem Landsata. W pierwszym etapie wykonywali oni klasyfikację nienadzorowaną w celu wydzielenia obszarów zaciemnionych i nie. W celu usunięcia wpływu morfologii terenu wykorzystano indeks wegetacji VI i NDVI. Z powodu bardzo dużej korelacji pomiędzy kanałem zielonym i czerwonym do klasyfikacji nie wykorzystano kanału zięionego. W stworzonej bazie danych znalazły się dane mierzone bezpośrednio, dane katastralne i pozyskane teledetekcyjnie. Autorzy prezentują ponadto zestawienie ilościowych zmian powierzchni wegetacji pomiędzy 1993 a 1995. Znacznie wzrosły obszary upraw herbaty 300% i rolnicze 140% (2 ha - 8 ha).

Uwaga

Odsyłacze bibliograficzne z liczbą rzymską odnoszą się do spisu opracowań prezentowanych w czasie Kongresu, który zamieszczony jest na końcu niniejszego zeszytu. Rzymska liczba podana po nazwisku autora określa numer komisji do której należy cytowany tytuł.

Recenzował: dr inż. Stanisław Mularz