

nych technik pozyskiwania danych o terenie i ich opracowania dla różnych dziedzin gospodarczych;

— system skanerowy zainstalowany na pokładzie samolotu, z rejestracją danych na taśmie magnetycznej w wąskich zakresach spektrum, pozwala na uzyskanie bogatej informacji o zjawiskach występujących na obrazowanym terenie. Tak otrzymaną informację można przetwarzać na urządzeniach analogowo-cyfrowych z wykorzystaniem komputerów, co w zasadniczy sposób skracza czas interpretacji i opracowania. Aby jednak w pełni wykorzystać zasób informacji zawartych w zobrazowaniu skanerowym, konieczne jest prowadzenie badań dotyczących charakterystyk spektralnych różnych obiektów. Wyniki tych badań można wykorzystać podczas interpretacji na urządzeniach znajdujących się w OPOLiS. Kartometryczna dokładność obrazów skanerowych pozwala wykorzystać je jako materiał podkładowy do map tematycznych;

— wielospektralne zdjęcia lotnicze wykonane kamerą MKF-6 umożliwiają wydzielenie sześciu klas użytkowania gruntów, a mianowicie: terenów zurbanizowanych, lasów i terenów zadrzewionych, wód, nieużytków i terenów rolniczych o gospodarce rozdrobionej, terenów rolniczych gospodarki wielkoobszarowej;

— strukturę upraw można częściowo określić ze zdjęć wykonanych kamerą MKF-6 w skali 1 : 50 000 z wykorzystaniem aparatury znajdującej się w OPOLiS, obejmuje ono sklasyfikowanie niektórych grup upraw oraz osobno — jęczmienia ozimego, buraków cukrowych i żyta z wiarygodnością interpretacji rzędu 90%. Porównanie możliwości interpretacyjnych zdjęć wykonanych kamerą MKF-6 i MB-470 NAC wykazuje, że zdjęcia wielospektralne o węższych pasmach widma (MKF-6) są bardziej przydatne do analizy struktury upraw niż zdjęcia wykonane kamerą z filtrami o szerszych pasmach;

— wykorzystanie lotniczych i satelitarnych zdjęć wielospektralnych do interpretacji zjawisk zachodzących na powierzchni Ziemi umożliwia znaczne skrócenie czasu i obniżenie kosztów w porównaniu do bezpośredniej interpretacji terenowej. Umożliwia również uchwycenie jakościowo nowych informacji, których nie można uzyskać z wykorzystaniem tradycyjnych technik badawczych.

Z dotychczasowych doświadczeń wynikają wnioski dotyczące dalszych badań, a mianowicie:

— konieczne jest kontynuowanie badań laboratoryjnych i na odpowiednich polach testowych w celu określenia optymalnych przedziałów spektrum do wydzielenia różnych barw na podstawie interpretacji zdjęć wielospektralnych różnymi metodami;

— konieczne jest powtarzanie badań określonego terenu przez kilka lat z uwzględnieniem faz rozwojowych poszczególnych gatunków roślin oraz określenie zakresów szerokości kanałów umożliwiających maksymalne zróżnicowanie charakterystyk spektralnych różnych typów upraw na zdjęciach wielospektralnych;

— przy zbieraniu danych naziemnych do określenia struktury upraw należy podać wszystkie możliwe parametry mające wpływ na wiarygodność interpretacji zdjęć wielospektralnych;

— w celu określenia struktury upraw na podstawie interpretacji lotniczych zdjęć wielospektralnych loty należy wykonywać w określonych terminach.

LITERATURA

- [1] Kaczyński R.: *Eksperyment „Telefoto-77”*. Biul. Inf. IGIK. T. XXIII: 1978 nr 5
- [2] Kaczyński R.: *Eksperyment „Ziemia — Telefoto-78”*. Prz. Geod. R. 51: 1979 nr 5
- [3] Kaczyński R.: *Addytywna przeglądarka MSP-4*. Prz. Geod. R. 50: 1978 nr 6
- [4] Linsenbarth A.: *Satelitarna kamera wielospektralna MKF-6*. Prz. Geod. R. 50: 1978 nr 6
- [5] Wykonanie i opracowanie wielospektralnych zdjęć lotniczych z samolotu AN-30 nad polskimi obszarami testowymi. Sprawozdanie IGIK — OPOLiS, Warszawa 1978
- [6] Wykonanie wielospektralnych zdjęć lotniczych podczas lotu polskiego kosmonauty nad polskimi obszarami testowymi oraz ich interpretacja „Telefoto-78”. Sprawozdanie IGIK — OPOLiS, Warszawa 1979
- [7] Kaczyński R.: *Mitrosław Hermaszewski z wizytą u geodetów*. Prz. Geod. R. 51: 1979 nr 4
- [8] Konieczny J., Kaczyński R.: *Rezultaty obróbki aerokosmicznych snímków wziętych z orbitalnego kompleksa Sojuz-27 — Salut-6 — Sojuz-30 pri uczęści polskiego kosmonawta. Referat na posiedzenie Grupy Roboczej Teledetekcji Interkosmos. Hawana 1979*

Mgr inż. JACEK DOMAŃSKI

Instytut Geodezji i Kartografii

Órodek Przetwarzania Obrazów Lotniczych i Satelitarnych

Metody analizy cyfrowej wielospektralnych danych teledetekcyjnych

Wstęp

Zadaniem teledetekcji jest pozyskiwanie informacji dotyczących zjawisk terenowych z wyeliminowaniem lub minimalizacją bezpośredniego kontaktu z nimi. Informacje takie mogą być przekazywane na Ziemię przez specjalne urządzenia służące do ich zbierania, zamontowane na pokładach samolotów lub sztucznych satelitów Ziemi. Urządzenia takie w większości wykorzystują wielkość promieniowania elektromagnetycznego odbitego lub emitowanego przez poszczególne obiekty znajdujące się na powierzchni Ziemi. Promieniowanie to może być rejestrowane w części dotyczącej tylko wybranej długości fali elektromagnetycznej, lub też jednocześnie kilku długości fal. Rejestracja promieniowania elektromagnetycznego pochodzącego od obiektu terenowego w kilku wybranych zakresach nosi nazwę rejestracji wielospektralnej, a dane pozyskane w ten sposób nazywa się danymi wielospektralnymi.

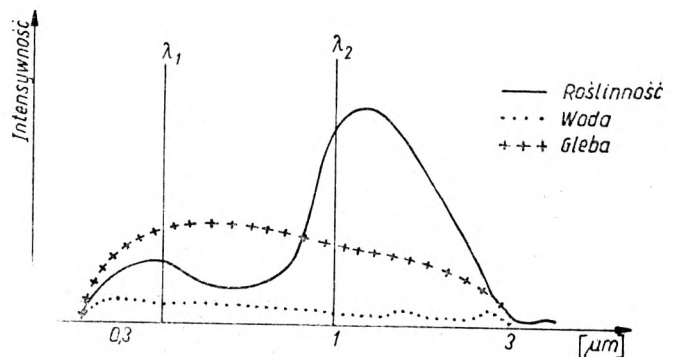
W zależności od sposobu rejestracji, informacje teledetekcyjne przekazywane są na Ziemię drogą telemetryczną, bądź też transportowane są na specjalnych nośnikach informacji (na przykład na filmach fotograficznych lub taśmach magnetycznych). W stacjach odbiorczych i w wyspecjalizowanych ośrodkach są one poddawane obróbce, której sposób zależy od celu jakiego ma służyć ich analiza oraz od wymagań użytkownika.

Charakterystyka danych wielospektralnych

Teledetekcyjne dane wielospektralne są pozyskiwane przez urządzenia rejestrujące jedynie wybrane fragmenty promieniowania elektromagnetycznego. Taki sposób rejestracji realizuje się poprzez uczulenie emulsji fotograficznej na odpowiednie długości fal, zastosowanie filtrów barwnych lub użycie specjalnych detektorów pracujących w wybranych pasmach widma.

Każdy obiekt terenowy odbija lub emituje promieniowanie elektromagnetyczne o określonej charakterystyce. Różnice promieniowania pochodzącego od różnych obiektów polegają na niejednakowej intensywności tego promieniowania w zakresie określonych długości fal. Uzależniając wielkość promieniowania od długości fali można określić tak zwane krzywe charakterystyczne dla różnych obiektów. Przykłady takich krzywych dla roślinności, gleby i wody są przedstawione na rysunku 1.

Jak wynika z tego rysunku, można wybrać takie długości fal elektromagnetycznych, dla których różne obiekty



Rys. 1. Krzywe charakterystyczne dla roślinności, wody i gleby

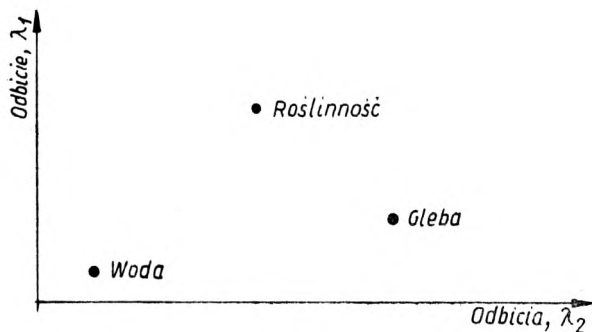
terenowe (różne typy pokrycia terenu) charakteryzują się różnymi wielkościami odbicia lub emisji. Przykładowe długości, dla których zachodzi to zjawisko oznaczono jako λ_1 i λ_2 . Opisane tu zjawisko wykorzystuje się w trakcie cyfrowej analizy danych wielospektralnych do automatycznego rozpoznawania obiektów terenowych.

Można utworzyć taki układ współrzędnych, którego osiami będą wielkości odbicia lub emisji w poszczególnych zakresach promieniowania (rys. 2). Punkty odpowiadające różnym typom pokrycia terenu leżą w różnych miejscach opisanej w ten sposób płaszczyzny, co umożliwi identyfikację tych typów. W teledetekcji liczba stosowanych zakresów wynosi zwykle 4, 6 lub 12. W artykule, dla uproszczenia przyjmować będziemy liczbę stosowanych zakresów $n = 2$.

Ogólnie można stwierdzić, że stosowanie do pozyskiwania informacji urządzenia n -kanałowego jest jednoznaczne z utworzeniem n -wymiarowej przestrzeni, zwanej przestrzenią pomiarową, która jest opisana przez wielkości odbicia w poszczególnych kanałach. Każdy punkt takiej przestrzeni, będący jednocześnie obrazem jakiegoś obiektu terenowego, jest traktowany jako koniec wektora pomiarowego o n -współrzędnych.

Wielospektralne dane teledetekcyjne uzyskuje się dwoma podstawowymi sposobami: drogą fotograficzną, przy użyciu specjalnych kamer wielospektralnych oraz metodami skanerowymi, wykorzystującymi urządzenia zwane skanerami wielospektralnymi. W wyniku rejestracji fotograficznej otrzymuje się zdjęcia czarno-białe, tak zwane wyciągi spektralne, zarejestrowane w różnych zakresach promieniowania widzialnego i podczerwieni fotograficznej. Wynikiem pracy skanera wielospektralnych są obrazy zarejestrowane metodą linia po linii na taśmach magnetycznych. Zakres pracy skanera zależy od rodzaju sensora, przy czym najpowszechniej stosuje się skanery pracujące w zakresach widzialnych, w podczerwieni fotograficznej i termalnej. Dwie podstawowe formy danych teledetekcyjnych są ściśle powiązane z dwoma podstawowymi typami konfiguracji systemów służących do ich analizy i interpretacji. Pierwszą grupę stanowią systemy zorientowane obrazowo, a do drugiej grupy należą systemy zorientowane numerycznie. Etapy przetwarzania zdjęć i obrazów realizowane przez te dwie grupy systemów różnią się znacznie między sobą, co wynika przede wszystkim z postaci wykorzystywanego sprzętu. Podstawowe etapy pracy systemów oraz czynności wykonane w nich zestawiono w tablicy.

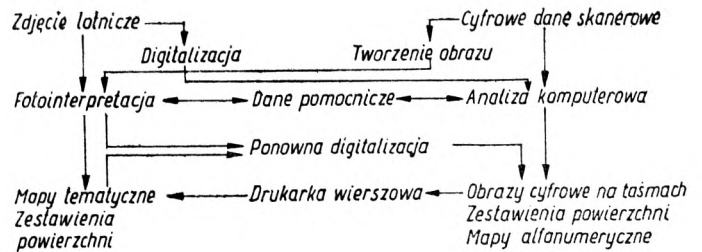
Praca obu typów systemów analizy danych teledetekcyjnych może być połączona ze sobą, dzięki czemu można wykorzystywać dane wejściowe w różnej postaci, jak również otrzymać wyniki analizy w najwygodniejszej postaci. Zależności poszczególnych etapów pracy obu typów systemów są przedstawione na schemacie (rys. 3).



Rys. 2. Położenie danych reprezentujących wodę, glebę i roślinność

Tablica. Etapy pracy systemów zorientowanych obrazowo i cyfrowo, służących do analizy danych teledetekcyjnych

Etap analizy	System zorientowany obrazowo	System zorientowany cyfrowo
Pozyskanie danych	wykonanie zdjęć lotniczych	zbiór cyfrowych danych skanerowych
Interpretacja	fotointerpretacja	analiza cyfrowa danych
Wynik analizy	opracowanie map tematycznych zestawienia powierzchni	opracowanie map alfanumerycznych, obrazy cyfrowe, zestawienia powierzchni

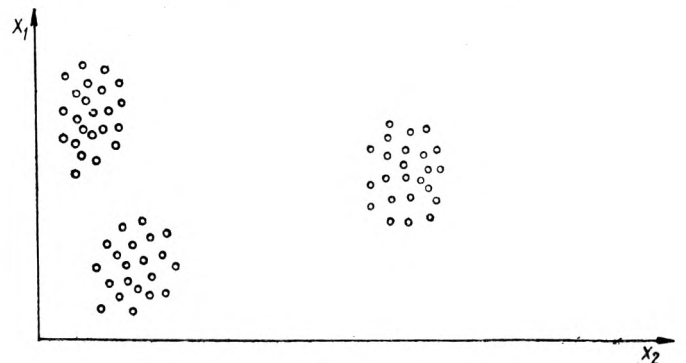


Rys. 3. Zależność etapów pracy systemów zorientowanych obrazowo i numerycznie.

W celu wprowadzenia zdjęcia lotniczego do systemu analizy cyfrowej należy je zdigitalizować, czyli przetworzyć do postaci cyfrowej. Do tego celu służą przetworniki graficzno-cyfrowe. Wynikiem pracy przetwornika jest obraz składający się z elementów zwanych pixelami, z których każdy odpowiada określonej części zdjęcia. Intensywności pixeli odpowiadają gęstościom optycznym fragmentów zdjęcia. Obrazy zdigitalizowane mogą być bezpośrednio wprowadzone do pamięci komputera, lub też są zarejestrowane na taśmie magnetycznej wykorzystywanej w dalszych etapach analizy. Postać obrazu otrzymana w wyniku pracy przetwornika jest podobna do postaci obrazu otrzymanego w wyniku pracy skanera. Zapisany w pamięci lub na taśmie magnetycznej obraz jest poddawany analizie i interpretacji w specjalnych procesorach. Procesor używany do tego celu umożliwia realizację różnych funkcji, takich, jak na przykład powiększanie i zmniejszanie obrazu, doprowadzenie go do żądanej skali, obracanie i translację, wybór fragmentów do przetwarzania, wyświetlanie obrazu na ekranie monitora interaktywnego itp. Cały przebieg analizy realizowanej przez procesor, a także wprowadzanie pewnych poprawek odbywa się za pośrednictwem monitora telewizyjnego, najczęściej barwnego, pracującego w sposób interaktywny. Dzięki pracy interaktywnej użytkownik może na bieżąco czuć nad prawidłowością przebiegu analizy cyfrowej. Wyniki analizy mogą być także zwizualizowane na ekranie monitora lub też wydrukowane na drukarce wierszowej lub mozaikowej oraz zarejestrowane na taśmie magnetycznej i w tej formie przechowywane w banku danych. Taśma magnetyczna może być zwizualizowana w przetworniku graficzno-cyfrowym, dzięki czemu jako wynik analizy cyfrowej można otrzymać czarno-białe lub barwne obrazy graficzne. Oprócz informacji graficznych w wyniku analizy cyfrowej danych teledetekcyjnych otrzymuje się także wszelkiego typu zestawienia statystyczne, histogramy, informacje o dokładności klasyfikacji, charakterystyki spektralne wydzielonych klas itp.

Analiza cyfrowa danych teledetekcyjnych

Jak już wspomniano, w przypadku danych teledetekcyjnych pozyskanych technikami wielospektralnymi, jednemu elementarnemu obiektowi terenowemu odpowiada kilka wielkości promieniowania elektromagnetycznego odbitego lub emitowanego przez ten obiekt i zarejestrowanego w kilku przedziałach widma. Wielkości te można traktować jako współrzędne wektorów pomiarowych w n -wymiarowej przestrzeni pomiarowej, gdzie liczba wymiarów jest równa liczbie stosowanych zakresów spektralnych. Każdy element obrazu (pixel) jest reprezentowany w tej przestrzeni przez koniec tak określonego wektora. Położenie punktu w prze-



Rys. 4. Grupy punktów odpowiadające podobnym obiektom terenowym: $n = 2$; x_1 , x_2 — wartości odbicia w dwu zakresach widma elektromagnetycznego

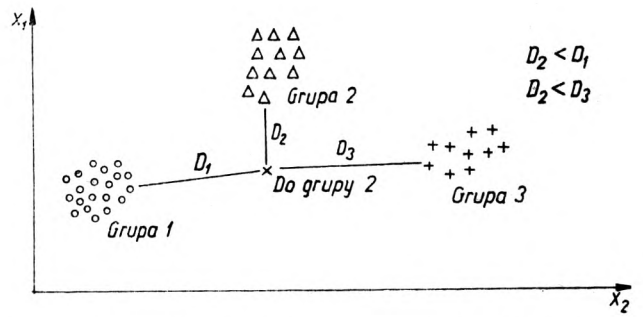
strzeni zależy od charakterystyki spektralnej obiektu, któremu dany punkt odpowiada. Punkty odpowiadające takim samym lub podobnym typom obiektów terenowych, na przykład takim samym rodzajom upraw czy obszarom o jednakowym pokryciu, są położone blisko siebie w przestrzeni pomiarowej. Wynika to ze zbliżonych charakterystyk spektralnych podobnych obiektów terenowych. Punkty takie tworzą w przestrzeni pomiarowej skupiska, tak zwane klastry. Przykładowe rozmieszczenie klastrów dla trzech typów obiektów terenowych i dwu zakresów spektralnych przedstawia rysunek 4. W zależności od różnic w odbiciach spektralnych dla różnych obiektów klastry leżą w różnej odległości od siebie, lub częściowo się pokrywają. Zadaniem analizy cyfrowej danych wielospektralnych jest możliwe jak najdokładniejsze wyodrębnienie klastrów oraz określenie, jakimu typowi pokrycia terenowego odpowiada każdy z nich. Obecnie stosuje się dwa podstawowe typy cyfrowej analizy danych teledetekcyjnych: analizę nie nadzorowaną i analizę nadzorowaną.

1. Analiza nie nadzorowana

Metoda klastrowania jest nazywana także metodą analizy nie nadzorowanej z tego powodu, że w trakcie jej realizacji interpretator może tylko w ograniczonym zakresie kontrolować jej przebieg. Analiza nie nadzorowana wykorzystuje tylko dane teledetekcyjne, nie uwzględnia natomiast żadnych danych pomocniczych. W trakcie analizy nie nadzorowanej wyodrębnia się tak zwane klasy spektralne, to znaczy klasy, które można rozróżnić, opierając się na spektralnych charakterystykach obiektów, którym odpowiadają.

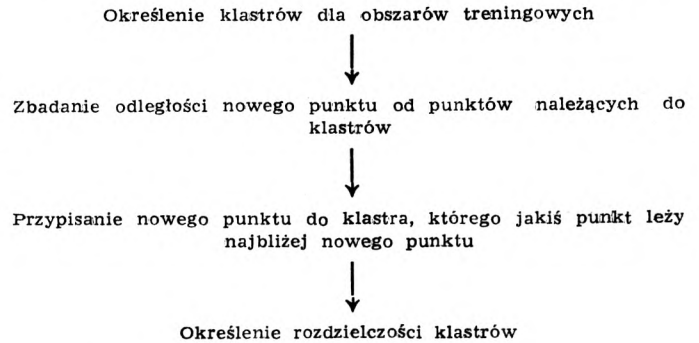
W pierwszym etapie analizy nie nadzorowanej na podstawie wybranych fragmentów badanego obszaru dokonuje się podziału przestrzeni pomiarowej na określoną liczbę części, tak zwane regiony decyzyjne. Liczba ta jest ustalana dowolnie, zależnie od zróżnicowania badanego terenu oraz od celu, jakiemu ma służyć analiza. Fragmenty obrazu wykorzystane w procesie tworzenia regionów decyzyjnych nazywają się obszarami treningowymi. Poszczególne części obszarów treningowych odpowiadające różnym typom pokrycia terenu są w efekcie tego procesu umieszczone w różnych częściach przestrzeni pomiarowej. W ten sposób powstają klastry, które są wykorzystywane w dalszych etapach analizy, w trakcie przypisywania pozostałych punktów do określonych regionów decyzyjnych.

Przypisanie do określonego klastra punktów nie należących do obszarów treningowych odbywa się według różnych kryteriów. Jednym z nich jest pomiar odległości danego

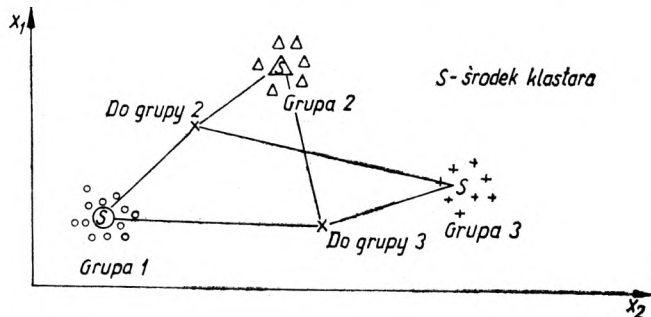


Rys. 7. Grupowanie według kryterium minimalnej odległości od najbliższego punktu należącego do klastra

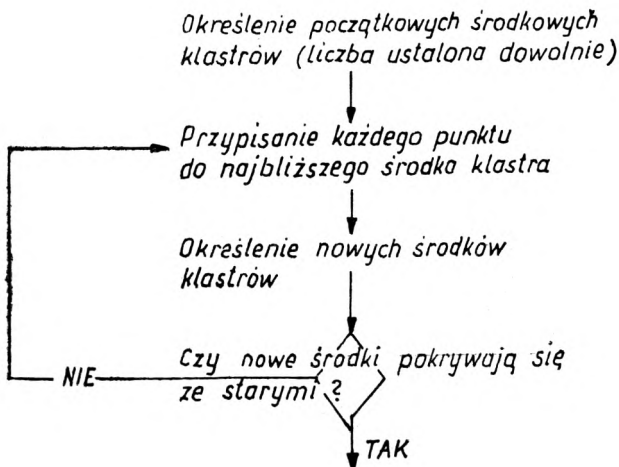
punktu od środków wszystkich klastrów i przypisanie tego punktu do klastra, od środka którego leży on najbliżej. Sytuacja odpowiadająca przyjęciu i realizacji tego kryterium jest przedstawiona na rysunku 5. Ilustruje on przypadek wyodrębnienia trzech klastrów i zaklasyfikowania do nich nowych punktów. Algorytm realizacji analizy danych, oparty na kryterium minimalnej odległości od środka klastra, przedstawia schemat (rys. 6). Jak wynika z tego schematu, realizuje się w tym przypadku postępowanie iteracyjne. Po przypisaniu nowych punktów do klastrów określa się nowe środki klastrów, które ulegają przesunięciu wraz ze wzrostem liczby punktów w klastrze. Można przyjąć pewną do-



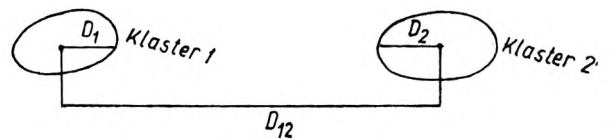
Rys. 8



Rys. 5. Zasada grupowania według minimalnej odległości od środka klastra



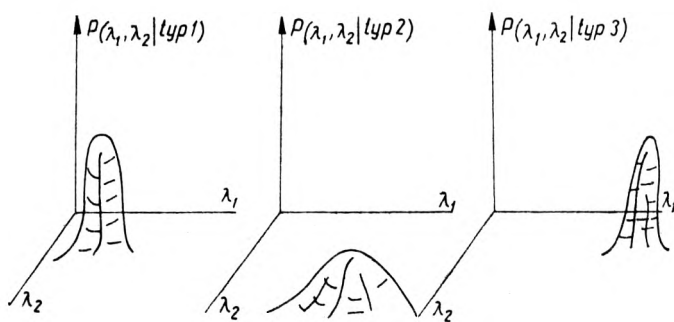
Rys. 6. Obliczenie rozdzielczości klastrów i charakterystyk statystycznych



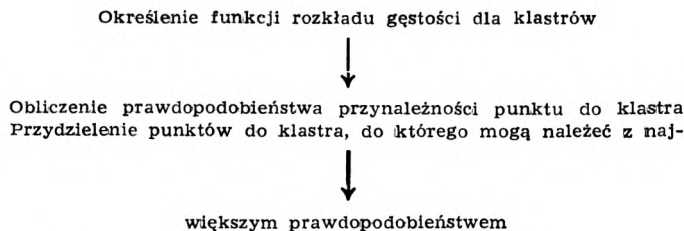
Rys. 9. Interpretacja geometryczna funkcji rozdzielczości: FR — funkcja rozdzielczości, $FR = \frac{D_{12}}{D_1 + D_2}$

kładność przypisania punktów do klastrów, wystarczającą określonemu celowi analizy. Wówczas, mimo że nowe środki klastrów mogą nie pokrywać się ze starymi, analiza może być zakończona i uważana za dokładną.

Innym kryterium przydziału nowego punktu do klastra jest minimalna odległość tego punktu od punktu należącego do wybranego klastra. Kryterium to jest przedstawione na rysunku 7. Algorytm postępowania w tym przypadku jest podany na rys. 8. Ostatnim krokiem analizy w obu przypadkach jest określenie rozdzielczości klastrów, a także charakterystyk statystycznych wyodrębnionych grup punktów. Zbadanie rozdzielczości klastrów jest niezbędne ze względu na konieczność określenia dokładności przeprowadzonej analizy. Może zdarzyć się taka sytuacja, szczególnie w przypadku dużej liczby klas, że odpowiadające im klastry częściowo pokrywają się ze sobą. Punkty znajdujące się w obszarze pokrywania się klastrów mogą należeć do każdego z pokrywających się klastrów. Taka niepewność co do przynależności punktów do określonego klastra powoduje spadek dokładności analizy. W związku z tym dla każdej pary klastrów oblicza się wielkość tak zwaną funkcji rozdzielczości. Interpretacja geometryczna takiej funkcji dla dwóch klastrów przedstawiona jest na rysunku 9. Z rysunku tego wynika, że jeżeli D_{12} jest większe niż $D_1 + D_2$, to dwa klastry są rozdzielne. W praktyce przypadki takie zdarzają się rzadko i dlatego zwykle pomija się pewien niewielki pro-



Rys. 10. Funkcje rozkładu gęstości dla trzech typów obiektów terenowych



Rys. 11

cent punktów leżących w obszarze pokrywania się klastrów, co nieznacznie obniża dokładność analizy, a jednocześnie podnosi jej jednoznaczność.

Omówione wyżej dwa sposoby analizy nie nadzorowanej dzielą przestrzeń pomiarową na regiony decyzyjne, opierając się na własnościach geometrycznych klastrów.

Innym sposobem podziału przestrzeni pomiarowej jest wykorzystanie własności statystycznych klastrów. Taka metoda wykorzystuje charakterystyki statystyczne klastrów do określenia wielozmiennych funkcji gęstości dla każdego klastra. Z kolei każda funkcja gęstości reprezentuje prawdopodobieństwo, że dany zbiór punktów zawiera się w określonej części przestrzeni pomiarowej. Sytuacja typowa dla takiej metody jest przedstawiona na rysunku 10. Uproszczony algorytm analizy przeprowadzonej metodą statystyczną przedstawiono na rysunku 11.

We wszystkich opisanych wyżej wypadkach powinien być spełniony warunek reprezentatywności obszarów treningowych. Pola treningowe powinny zawierać taką liczbę punktów dla każdego typu pokrycia terenowego, żeby na ich podstawie można było z dostateczną dokładnością ustalić regiony decyzyjne przestrzeni pomiarowej lub charakterystyki statystyczne klastrów. W wypadku analizy nie nadzorowanej obszary testowe dostarczają bowiem podstawowych danych, na podstawie których jest ona realizowana.

2. Analiza nadzorowana

Zasadniczym celem analizy cyfrowej danych teledetekcyjnych jest nie tylko podział przestrzeni pomiarowej na regiony decyzyjne i przydzielenie do nich punktów, lecz także rozpoznanie typów pokrycia terenowego, którym odpowiadają wyodrębnione klastry. W tym celu przeprowadza się analizę nadzorowaną danych teledetekcyjnych, w trakcie której istnieje całkowita kontrola nad jej przebiegiem. Analiza nadzorowana oprócz danych zarejestrowanych przez urządzenie pozyskujące informacje, wykorzystuje także wszelkiego typu dane pomocnicze, które dotyczą wybranych obszarów testowych i zawierają informacje o typach pokrycia terenu, gęstości szaty roślinnej, wilgotności gleby, spo-

sobach nawożenia, fazach rozwoju roślinności, typach gleb, temperatury powierzchni ziemi oraz o wszystkich innych elementach mających znaczenie w momencie pozyskiwania informacji. Wszystkie dane pomocnicze wprowadzane są do pamięci systemu komputerowego i wykorzystywane w trakcie analizy. Algorytm analizy nadzorowanej przedstawia schemat (rys. 12).

Pierwszym etapem analizy nadzorowanej jest wizualizacja danych źródłowych. Dane te są wizualizowane na drukarce wierszowej lub na ekranie monitora interaktywnego. Na wydruku lub na ekranie identyfikuje się pola testowe, objęte danymi pomocniczymi. Informacje o lokalizacji tych pól przekazuje się do komputera za pomocą pióra świetlnego lub przez podanie współrzędnych ich narożników. Następnie do systemu analizy cyfrowej wprowadza się dane pomocnicze odpowiadające polom testowym, na przykład nazwę typu pokrycia terenowego istniejącego na danym polu i jego charakterystykę spektralną. W ten sposób następuje niejako „wytrenowanie” systemu komputerowego, czyli „nauczenie” systemu rozpoznawania innych punktów, nie objętych danymi pomocniczymi. Po takim przygotowaniu następuje etap właściwej analizy danych. Jest on realizowany metodą linia po linii, pixel po pixelu. Każdy pixel rozpatrywany jest osobno i zaklasyfikowany do tego klastra (do określonego regionu decyzyjnego przestrzeni pomiarowej), do którego pasuje jego charakterystyka spektralna. W wypadku stwierdzenia niejednoznaczności w wynikach, analizy stosuje się także metodę największego prawdopodobieństwa oraz obliczenia statystyczne dające obraz każdego klastra. Oblicza się także rozdzielczości klastrów otrzymanych w wyniku analizy i na tej podstawie określa się dokładność zrealizowanej analizy. Dokładność przeprowadzonej analizy może być także określona na podstawie pól testowych. Mianowicie część pól testowych można wykorzystać do „wytrenowania” systemu analizy, a pozostałą część do jej sprawdzenia. W ten sposób, na podstawie znajomości liczby punktów wchodzących w skład pól testowych i ich przynależności do określonych klastrów, po przeprowadzeniu analizy można określić liczbę punktów przydzielonych do właściwych klastrów, a tym samym procentową dokładność całej analizy.

Wnioski

Przed przystąpieniem do wykonywania cyfrowej analizy danych teledetekcyjnych należy określić cel, jakiemu mają służyć jej wyniki, oraz środki dostępne w trakcie jej realizacji. Z celem analizy wiąże się prawie zawsze jej dokładność. Do niektórych zastosowań, na przykład do planowania przestrzennego, może ona być stosunkowo niska, natomiast inne dziedziny, jak na przykład rolnictwo, wymagają opracowań bardzo dokładnych. To z kolei ściśle wiąże się z kosztami i pracochłonnością realizowanej analizy.

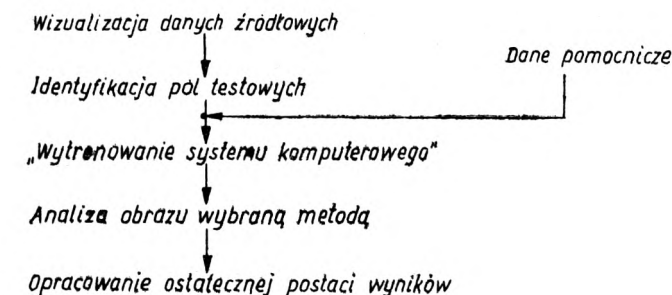
W artykule omówione zostały trzy metody analizy cyfrowej danych teledetekcyjnych, z których dwie pierwsze dotyczą klastrowania, a trzecia — wykorzystania własności statystycznych klastrów. Realizacja dwu pierwszych metod jest tańsza i szybsza niż analiza według metody trzeciej, która daje z kolei dużo dokładniejsze wyniki. Metody wykorzystujące technikę klastrowania mogą dać wyniki niejednoznaczne, jeżeli obszary treningowe nie będą dotyczyły wystarczającej liczby punktów.

Oprócz wyboru metody analizy cyfrowej danych teledetekcyjnych istotnym zagadnieniem jest opracowanie jej ostatecznych wyników. Wyniki te mogą być przedstawione w różnej formie: jako wydruki komputerowe, jako obliczenia statystyczne, zestawienia powierzchni, wykreślone mapy tematyczne, zdjęcia ekranu monitora czy wreszcie w formie cyfrowej zapisane na taśmie magnetycznej. Ta ostatnia forma jest najdogodniejsza dla dużej liczby opracowań. Na taśmie magnetycznej można bowiem zapisać informację kompleksową, a następnie w razie potrzeby przetwarzać jej fragmenty i doprowadzać je do różnej postaci, na przykład graficznej.

Wynika z tego, że analiza cyfrowa danych teledetekcyjnych jest zagadnieniem bardzo skomplikowanym i wymaga podejmowania wielu trudnych decyzji i przeprowadzenia wielu prac przygotowawczych, a same opracowania jej wyników powinny być poprzedzone wieloma doświadczeniami.

LITERATURA

- [1] Swain Ph. H., Davis S. M.: Remote Sensing, the Quantitative Approach. McGraw-Hill, 1978
- [2] Lindenlaub J., Russell J.: An Introduction to Quantitative Remote Sensing, LARS Information Note 110474, West Lafayette, Indiana, USA
- [3] Computer-Aided Analysis Techniques for Remote Sensing Data Interpretation, LARS Information Note 100675, West Lafayette, Indiana USA



Rys. 12