

Spis treści

1. Teledetekcja

- 1.1. Cyfrowa reprezentacja obrazów
- 1.2. Charakterystyka zdjęć satelitarnych
- 1.3. System Landsat
- 1.4. System SPOT

2. Proste operacje na obrazie

- 2.1. Operacje punktowe
 - 2.1.1. Pseudokolorowanie
 - 2.1.2. Modele barw
 - 2.1.3. Zmiana kontrastu
- 2.2. Filtry lokalne

3. Teledetekcja roślinności

- 3.1. Wiadomości ogólne
- 3.2. Wskaźniki wegetacji
- 3.3. Najważniejsze wskaźniki oparte na ilorazie
 - 3.3.1. Wskaźnik RVI
 - 3.3.2. Wskaźnik NDVI
- 3.4. Problemy związane ze stosowaniem wskaźników wegetacji
 - 3.4.1. Szum gleby
 - 3.4.2. Szum atmosfery
- 3.5. Uwagi końcowe

4. Klasyfikacja

- 4.1. Wstęp
 - 4.2. Przestrzeń spektralna i klasy
 - 4.3. Klasyfikacja bez nadzoru. Algorytm ISOCLASS
 - 4.4. Klasyfikacja z nadzorem
-
-

1. Teledetekcja

1.1. Cyfrowa reprezentacja obrazów

Istnieją dwa podstawowe, wzajemnie komplementarne, sposoby cyfrowej reprezentacji obrazów: **rastrowy** oraz **wektorowy**.

Obraz **rastrowy** składa się z określonej liczby regularnie ułożonych dyskretnych elementów, zwanych pikselami (punktami obrazu). Każdy piksel charakteryzowany jest przez zbiór atrybutów (np. intensywność koloru białego dla obrazów szaroodcieniowych albo intensywność (natężenie) 3 barw podstawowych: czerwieni, zieleni i niebieskiego dla obrazów kolorowych). Z kolei, każdy z tych atrybutów może przyjmować jedynie dyskretne wartości z pewnego zakresu (np. przy 8-bitowej reprezentacji, intensywność może być określona jako liczba z przedziału 0-255). Obrazy rastrowe nadają się dobrze do reprezentacji informacji punktowej, z jaką mamy do czynienia w przypadku zdjęć wielospektralnych, pomiarów magnetycznych, grawitacyjnych i radiometrycznych, wielkości opadów, czy danych geochemicznych.

Dane, dla których opis parametryczny, to jest przy pomocy linii prostych, łuków, krzywych gładkich czy regularnych obszarów jest bardziej naturalny, mogą być reprezentowane w postaci **wektorowej**. Przykładowo, reprezentacja wektorowa nadaje się do opisu przebiegu i rodzaju dróg, planu sieci energetycznej lub wodociągowej, własności gruntów, planów miast,

map geologicznych itp. Znajomość powyższych informacji może stanowić znaczną pomoc przy analizowaniu zdjęcia satelitarnego danego obszaru. Zalety zapisu wektorowego to skalowalność, łatwość przetwarzania informacji, oszczędny zapis. Konwersja z reprezentacji wektorowej do rastrowej nie przedstawia problemu, natomiast wektoryzacja obrazu rastrowego, na przykład w celu znalezienia przebiegu dróg na zdjęciu rastrowym, może być poważnym zadaniem.

1.2. Charakterystyka zdjęć satelitarnych

Obrazy rejestrowane przez instrumenty detekcyjne satelity lub samolotu udostępniane są zazwyczaj w postaci rastrowej. Instrumenty detekcyjne satelity rejestrują, w zależności od ich typu i czułości spektralnej, promieniowanie słoneczne odbite od powierzchni Ziemi, chmur, a także samej atmosfery, promieniowanie termiczne Ziemi lub generowane przez źródło umieszczone na samym satelicie promieniowanie mikrofalowe odbite od powierzchni Ziemi. Detekcji mogą podlegać niezależnie różne obszary widma promieniowania elektromagnetycznego.

Podstawowe parametry, charakteryzujące zdjęcie satelitarne to: **liczba pasm spektralnych**, w których dokonano zapisu, **zakres i rozdzielczość widmowa** oraz **zakres dynamiczny** każdego z pasm, a także **rozdzielczość przestrzenna** zdjęcia, czyli rozmiar terenu odpowiadający jednemu pikselowi na zdjęciu.

Przykładowo, obraz rejestrowany przez satelitę Landsat TM zawiera siedem pasm spektralnych o różnej szerokości widmowej, obejmujących promieniowanie od obszaru odpowiadającego barwie niebieskiej światła widzialnego do dalekiej podczerwieni odpowiadającej promieniowaniu termicznemu Ziemi. W sześciu pasmach rozdzielczość przestrzenna zdjęcia to 30 m x 30 m, a w jednym (najdłuższym) 120 m x 120 m.

Na każdy punkt pasma spektralnego zdjęcia przypada 8 bitów. Oznacza to, że zakres dynamiczny natężenia rejestrowanego w każdym paśmie to 256 poziomów kwantowania. Łatwo policzyć, że pełna scena Landsat TM obejmująca obszar 185 km na 185 km ma 2.37 milionów pikseli w paśmie termicznym oraz po 38 milionów w pozostałych i zajmuje 231 MB.

1.3. System Landsat

System teledetekcji o nazwie **Landsat** został zaprojektowany w celu dostarczenia możliwie wszechstronnej i globalnej informacji o powierzchni Ziemi. Obecnie jest on punktem odniesienia przy ocenie wszystkich nowszych systemów. Do tej pory w ramach projektu Landsat wyniesiono na orbitę 5 satelitów. Ich orbita jest **orbitą blisko polarną, synchroniczną do słońca** (*near polar, sun synchronous*). Oznacza to, że płaszczyzna orbity satelity "podąża" za linią rozdzielającą dzień i noc. W efekcie wszystkie zdjęcia są rejestrowane o tej samej godzinie czasu lokalnego. Obecnie na orbicie znajdują się satelity Landsat 4 i 5. W ciągu doby wykonują one 14.56 okrążeń wokół Ziemi na wysokości 705 km. Okres ruchu wynosi 16 dni (tzn. wybrany fragment Ziemi jest fotografowany raz na 16 dni). Maksymalna szerokość geograficzna rejestrowanego obszaru wynosi 81 stopni (północna i południowa). Zdjęcia przesyłane są bezpośrednio do stacji naziemnych, bądź, gdy satelita znajduje się poza ich polem widzenia, przez geosynchronicznego satelitę komunikacyjnego systemu TDRS (*Tracking and Data Relay Satellite*) do stacji naziemnej White Sands w New Mexico.

Thematic Mapper (TM) jest detektorem skanującym umieszczonym na satelitach Landsat 4 i 5. Obszar o rozmiarze 185 km x 185 km jest skanowany w kierunku normalnym do kierunku lotu satelity.

Landsat TM

Lp.	Pasma (μm)	Środek (μm)	Obszar widma	rozdzielczość przestrzenna (m)	Zakres dynamiczny (bit)
1	0.45 - 0.52	0.485	Niebieski	30	8
2	0.52 - 0.60	0.56	Zielony	30	8
3	0.63 - 0.69	0.66	Czerwony	30	8
4	0.76 - 0.90	0.83	bliska podczerwień	30	8
5	1.55 - 1.75	1.65	średnia podczerwień	30	8
7	2.08 - 2.35	2.215	średnia podczerwień	30	8
6	10.4 - 12.5	11	Termiczne	120	8

Pasma 7 i 6 są zamienione kolejnością ponieważ pasmo 7 zostało dodane po ustanowieniu pasm 1-6, na żądanie geologów, dla których rejon wokół 2 μm jest szczególnie istotny ze względu na szacowanie zmian hydrotermicznych.

1.4. System SPOT

System teledetekcji **SPOT** (*Systeme pour l'observation de la terre*) to komercyjny system zbierania informacji, na który składa się, oprócz samych satelitów, globalna sieć stacji odbiorczych i kontrolnych, centrów przetwarzania informacji i centrów dystrybucji zdjęć. Satelity serii SPOT wykorzystują detektory typu HRV (*High Resolution Visible Sensor*). Mogą one pracować w dwóch trybach: wielospektralnym (XS) oraz panchromatycznym (P). Maksymalna szerokość geograficzna rejestrowanego obszaru wynosi 87 stopni (północna i południowa). Satelity SPOT wykonują w ciągu doby ok. 14 okrążeń na wysokości 832 km. Orbita, na której są umieszczone jest orbitą blisko polarną i synchroniczną do słońca. Satelity SPOT fotografują ten sam obszar co 26 dni. Pierwszy satelita tego systemu - SPOT 1 został umieszczony na orbicie w 1986 roku. Obecnie pracują satelity SPOT 2, 3 i 4 (24.03.1998). W planach jest jeszcze wystrzelenie kolejnego satelity - SPOT 5 (2001 rok).

SPOT XS

Lp.	Pasma (μm)	Środek (μm)	Obszar widma	rozdzielczość przestrzenna (m)	Zakres dynamiczny (bit)
1	0.50-0.59	0.545	zielony	20	8
2	0.61-0.68	0.645	czerwony	20	8
3	0.79-0.89	0.84	Bliska podczerwień	20	8

SPOT Pan

Lp.	Pasma (μm)	Środek (μm)	Obszar widma	rozdzielczość przestrzenna (m)	Zakres dynamiczny (bit)
1	0.51-0.73	62	n/d	10	8

2. Proste operacje na obrazie

2.1. Operacje punktowe

Operacje punktowe to takie, dla których wynik operacji w każdym pikselu obrazu zależy tylko od wartości natężenia przypisanej temu pikselowi. Operacje punktowe nie uwzględniają więc przestrzennych zależności między elementami obrazu. Typowe operacje punktowe, takie jak zmiana kontrastu i pseudokolorowanie mają na celu ułatwienie wizualnej analizy zdjęcia.

Operacje punktowe wyraża się przy pomocy dwukolumnowych macierzy zwanych LUT (*Look Up Tables*). W pierwszej kolumnie macierzy opisującej LUT znajdują się wartości natężeń występujące w obrazie. Dla obrazu 8 bitowego będą to liczby od 0 do 255. W drugiej kolumnie znajdują się wartości natężeń odpowiadające według zadanego przekształcenia wartościom pierwotnym. W ten sposób wyrażenie opisujące przekształcenie punktowe oblicza się dla każdej możliwej wartości natężenia wejściowego tylko raz, a wynik transformacji dla całego obrazu otrzymywany jest przez podstawienie w miejsce oryginalnych wartości natężeń, które wynikają z LUT. Macierze LUT, jeśli to możliwe, są często opisywane równaniem funkcji dla uproszczenia.

2.1.1. Pseudokolorowanie

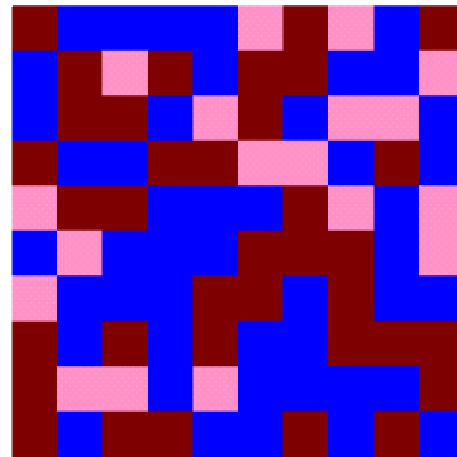
Ponieważ oko ludzkie jest bez porównania bardziej czułe na zmiany koloru niż zmiany natężenia światła, odwzorowanie informacji o intensywnościach pikseli w umowną mapę kolorów pozwala na wydobywanie ze zdjęcia większej ilości informacji. Technika ta nosi nazwę **pseudokolorowania** i stosuje się ją, gdy bardziej interesuje nas rozróżnienie pikseli o odmiennych natężeniach niż globalny rozkład natężenia w obrazie. Przy pseudokolorowaniu także wykorzystuje się tablice LUT, które w drugiej kolumnie zawierają informacje o kolorze zastępującym oryginalną wartość natężenia.

31	135	144	194	101	202	97	219	171	77
190	67	237	67	101	70	26	159	129	247
187	19	22	149	219	5	152	242	238	154
76	161	106	71	90	252	227	165	44	124
233	36	25	132	155	175	74	221	193	216
200	215	155	191	113	25	48	61	142	216
201	162	103	166	96	76	137	23	181	103
45	111	31	157	35	107	193	95	6	12
8	235	242	118	208	180	164	168	125	52
85	190	86	88	126	102	45	169	91	108

Obraz w formie cyfrowe, mapy natężeń

0	ciemnoczerwony
1	ciemnoczerwony
:	ciemnoczerwony
100	ciemnoczerwony
101	niebieski
:	niebieski
200	niebieski
201	różowy
:	różowy
255	różowy

LUT



Reprezentacja obrazu po pseudokolorowaniu

Przykład pseudokolorowania obrazu rastrowego.

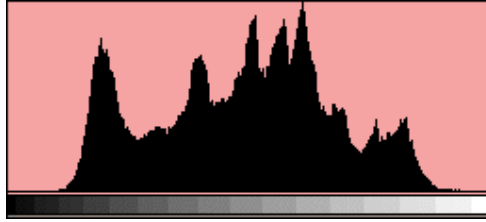
2.1.2. Modele barw i *color mapping*.

Możliwa jest także jednoczesna wizualizacja danych z kilku (maksymalnie z trzech) pasm spektralnych. Każdemu pasmu przyporządkowuje się jedną z trzech barw podstawowych (mapowanie na kolory - *color mapping*). Złożenie tych pasm daje wtedy w wyniku obraz wielokolorowy. Dominacja w jakimś obszarze jednej z barw sugeruje wtedy większe wartości natężeń z jednego z pasm spektralnych. Najczęściej stosowane są dwa modele barw: RGB (Red Green Blue), z kolorami podstawowymi czerwonym, zielonym i niebieskim oraz HLS (Hue Lightness Saturation), gdzie parametr Hue (barwa) definiuje barwę na podstawie koła barw, Lightness określa jasność, a Saturation - nasycenie.

2.1.3. Zmiana kontrastu

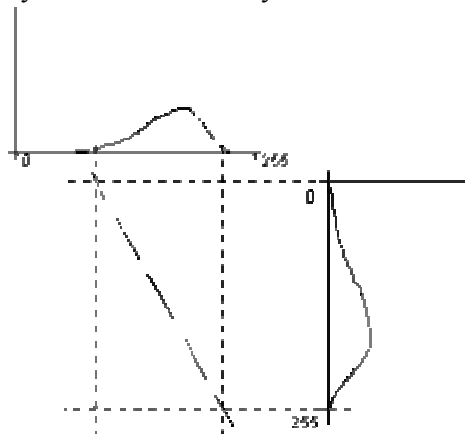
Obrazy otrzymywane w wyniku teledetekcji cechuje na ogół słaby kontrast. Jest tak dlatego, że detektory rejestrujące te obrazy muszą działać bez nasycenia w warunkach bardzo jasnego oświetlenia, a jednocześnie być zdolne do rejestracji bardzo słabych natężeń. Zaś obszary, w których tak skrajnie różne warunki oświetlenia występują jednocześnie, spotyka się bardzo rzadko. W celu poprawy kontrastu dokonuje się operacji punktowej na obrazie, w oparciu o histogram obrazu.

Histogram obrazu cyfrowego jest dyskretną funkcją przypisującą wartościom natężenia z całego zakresu dynamicznego wartość wynikającą ze zliczenia w obrazie pikseli o danym natężeniu. Histogram zawiera więc użyteczną informację o tym, jak jest wykorzystany zakres dynamiki natężeń. Jeśli pewna liczba skrajnych wartości nie jest wykorzystana to znaczy, że kontrast obrazu można zwiększyć. Z kolei jeśli jest wyraźnie dużo wartości odpowiadających maksymalnemu bądź minimalnemu natężeniu, to obraz jest przesycony (gubimy część szczegółów w jasnych lub ciemnych partiach obrazu). "Wyraźnie dużo" należy rozumieć w ten sposób, że na histogram nie da się spojrzeć jak na rozkład prawdopodobieństwa o charakterze gaussowskim lub poissonowskim.



Przykład histogramu. Na osi poziomej widać skalę natężenia (np. od 0 do 255), zaś na osi pionowej znajdują się względne liczby pikseli o danym natężeniu. Zwykle nie interesują nas dokładne liczby pikseli, a jedynie ich rozkład.

Najpowszechniej stosowaną w zdalnej detekcji metodą automatycznego wzmacniania kontrastu jest **liniowe rozciągnięcie z nasyceniem** (*linear stretch with saturation* - patrz rysunek). Polega ono na odrzuceniu z histogramu obrazu skrajnych wartości i obliczeniu dla pozostałej części liniowego przekształcenia "rozszerzającego" histogram na cały dostępny przedział dynamiczny. Wartości, w których odcina się "ogony" histogramu przyjmuje się najczęściej jako odległe o trzy standardowe odchylenia od wartości średniej.



Liniowe rozciągnięcie z nasyceniem

Uważa się, że oko ludzkie najlepiej interpretuje histogram o rozkładzie zbliżonym do rozkładu normalnego.

Dla zobrazowania zależności między natężeniami w obrazie stosuje się również **histogram skumulowany**. Jest to dyskretna funkcja przypisująca wartościom natężenia z całego zakresu dynamicznego wartość wynikającą ze zliczenia w obrazie pikseli o danym lub mniejszym natężeniu.

2.2. Filtry lokalne

Jeżeli chcemy przekształcić obraz tak, aby zachować wybrane przestrzenne zależności między wartościami natężeń, to oprócz wartości natężenia przypisanej danemu pikselowi musimy także uwzględnić wartości natężeń dla pikseli znajdujących się w pewnym jego sąsiedztwie. Przekształcenia takie nazywamy **filtrami lokalnymi**.

Najczęściej stosowane są filtry lokalne należące do dwóch rodzin: **wzmacniające szczegóły obrazu** oraz **"wygładzające" obraz**. Istnieje ogromna liczba tego typu przekształceń, opartych zarówno na pewnych *a priori* przyjętych założeniach, jak i będących wynikiem systematycznej geometrycznej lub statystycznej analizy własności obrazów.

Filtry wzmacniające szczegóły umożliwiają np. wyodrębnienie krawędzi, linii, czy też poprawę kontrastu słabo widocznych szczegółów. Należą do nich m.in. gradienty (pochodne kierunkowe obrazu), nieliniowe filtry porządkujące (na przykład mediana, maksimum, minimum), a także nieliniowe filtry morfologiczne.

Filtry należące do drugiej rodziny są pożyteczne np. przy klasyfikacji z nadzorem, gdyż pozwalają usunąć zbędne szczegóły (także szum) utrudniające wybór granic regionów wzorcowych. Najpowszechniej stosowany jest filtr medialny, z wykorzystaniem sąsiedztwa o różnym kształcie i wielkości. Jego działanie polega na tym, że dla danego piksela wartości natężeń z wybranego sąsiedztwa zawierającego nieparzystą ilość pikseli porządkujemy w szereg rosnący, a następnie wybieramy z tego szeregu wartość medialną i podstawiamy ją jako natężenie analizowanego piksela. Analizowany piksel należy do swojego sąsiedztwa, czyli jego natężenie jest również brane pod uwagę przy wyborze wartości medialnej. Wartość medialna to wartość stojąca pośrodku uporządkowanego szeregu liczb. Nie należy mylić jej z wartością średnią, której używamy w przypadku filtru uśredniającego. Różnica w działaniu między filtrem medialnym i uśredniającym polega m.in. na tym, że ten pierwszy zachowuje w obrazie położenie krawędzi. Nie obserwuje się wtedy efektu rozmycia granic między obszarami.

1	1	2	3	3	7	8	10	25
---	---	---	---	---	---	---	----	----

^ to jest mediana

średnia z powyższego = 6,66

Przykład wyboru (a) mediany i (b) wartości średniej.

Niektóre filtry lokalne można opisać podając odpowiadającą im macierz. Macierz taką "przykładowo" się w każdym punkcie obrazu i oblicza wynik w tym punkcie według poniższego schematu. Macierz może mieć dowolną wielkość.

<table border="1"> <tr><td>7</td><td>3</td><td>8</td><td>8</td><td>6</td><td>8</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>9</td><td>6</td><td>8</td><td>0</td><td>2</td><td>7</td></tr> <tr><td>5</td><td>3</td><td>1</td><td>8</td><td>5</td><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>8</td><td>5</td><td>1</td><td>9</td><td>9</td><td>9</td><td>1</td></tr> <tr><td>8</td><td>10</td><td>0</td><td>6</td><td>6</td><td>9</td><td>0</td></tr> <tr><td>9</td><td>8</td><td>1</td><td>10</td><td>5</td><td>1</td><td>6</td></tr> <tr><td>5</td><td>4</td><td>1</td><td>0</td><td>9</td><td>0</td><td>5</td></tr> </table>	7	3	8	8	6	8	1	4	9	6	8	0	2	7	5	3	1	8	5	4	4	8	5	1	9	9	9	1	8	10	0	6	6	9	0	9	8	1	10	5	1	6	5	4	1	0	9	0	5	x	<table border="1"> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	-1	-1	1	-1	2	1	-1	1	1	=	$ \begin{aligned} & 1^* (-1) + 8^* (-1) + 5^* (-1) + \\ & 1^* (-1) + 9^* 2 + 9^* 1 + \\ & 0^* (-1) + 6^* 1 + 6^* 1 \end{aligned} $	=	24/c
7	3	8	8	6	8	1																																																										
4	9	6	8	0	2	7																																																										
5	3	1	8	5	4	4																																																										
8	5	1	9	9	9	1																																																										
8	10	0	6	6	9	0																																																										
9	8	1	10	5	1	6																																																										
5	4	1	0	9	0	5																																																										
-1	-1	1																																																														
-1	2	1																																																														
-1	1	1																																																														

Obraz (rozpatrujemy piksel zaznaczony kolorem)

Okno filtru

Schemat obliczenia

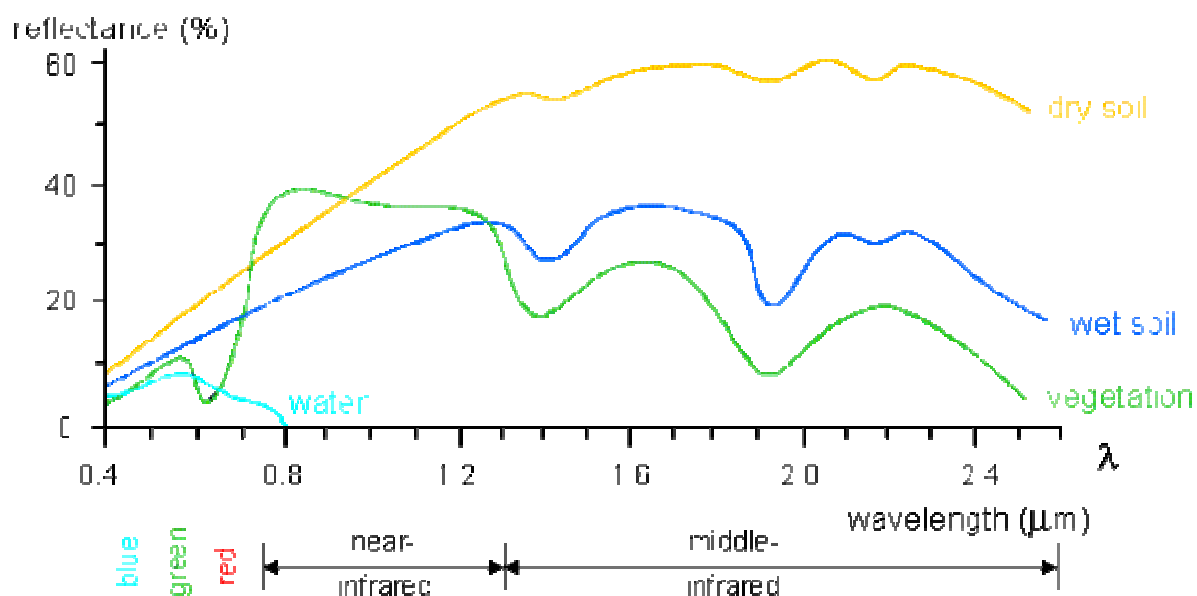
Wynik

Stała *c* pełni funkcję normalizującą i jest zadawana z góry.

3. Teledetekcja roślinności

3.1. Wiadomości ogólne

Wiele informacji na temat powierzchni Ziemi obejmowanej przez analizowaną scenę satelitarną można otrzymać przez proste porównanie odbicia w kilku różnych obszarach widma. Na poniższym rysunku przedstawione są **charakterystyki odbiciowe** w pasmach widzialnym oraz bliskim i średnim podczerwonym trzech rodzajów powierzchni: wody, roślinności oraz suchej i wilgotnej gleby.



Z wykresu widać, że dla sceny zarejestrowanej w przynajmniej dwóch pasmach (np. jednym widzialnym i jednym podczerwonym), możemy, porównując wzajemne natężenia w tych pasmach, dokonać rozróżnienia między pikselami odpowiadającymi wodzie, roślinności i glebie.

Komórki w liściach i łodygach roślin są bardzo efektywnymi rozpraszaczami. Jest to spowodowane dużą różnicą współczynników załamania między bogatymi w wodę komórkami i pustymi przestrzeniami międzykomórkowymi. W paśmie widzialnym (400-700 nm) roślinność jest na zdjęciach satelitarnych bardzo ciemna z powodu silnej absorpcji światła przez pigmenty występujące w liściach (chlorofil, protochlorofil, xantofil, etc.) W zakresie spektralnym 700-1300 nm rośliny są bardzo jasne, gdyż jest to zakres między energiami przejść elektronowych odpowiedzialnych za absorpcję w paśmie widzialnym i energiami drgań molekularnych odpowiadających za absorpcję w dłuższych rejonach widma. Od 1300 do około 2500 nm roślinność jest stosunkowo ciemna z powodu absorpcji przez wodę zawartą w liściach.

Mamy więc następującą charakterystykę roślinności ze względu na odbicie światła w różnych przedziałach spektralnych:

400-700 nm --- ciemna,

700-1300 nm -- jasna,

1300-2500 nm -- ciemna (ale jaśniejsza niż między 400 a 700 nm).

Z powyższej charakterystyki wynika, że najlepsze do detekcji wegetacji są zdjęcia pokrywające przedział spektralny 700-1300 nm (w tym przypadku roślinność będzie jasna na ciemnym tle). Odpowiada to pasmom TM4 lub TM5 dla Landsat TM. Aby uniknąć efektu albedo należy użyć **ilorazu** dwóch przedziałów spektralnych. Najlepsze okazało się wykorzystanie pasm 700-1300 nm (bliska podczerwień) i około 650 nm (czerwień - tutaj pochłanianie jest najsilniejsze). Dla Landsat TM tradycyjnie używa się pasm TM4/TM3. Iloraz TM5/TM7 również daje pożądaną efekt, jednak przy tej kombinacji w obrazie stają się widoczne chmury.

3.2. Wskaźniki wegetacji

Wskaźnik wegetacji jest współczynnikiem zdefiniowanym jako pewna funkcja intensywności danego piksela w różnych pasmach spektralnych obrazu. Wskaźnik wegetacji ma pewien związek z wielkością wegetacji na wybranej powierzchni Ziemi odpowiadającej temu pikselowi. Tak więc, jeśli dysponujemy np. cyfrowym obrazem z satelity Landsat TM, wskaźnik wegetacji obliczony w danej komórce macierzy obrazu będzie liczbą związaną ze stanem roślinności na obszarze 30m x 30m odpowiadającym tej komórce. Powszechnie używane wskaźniki wegetacji nie odzwierciedlają jednak żadnego ścisłego kryterium na oznaczenie stanu wegetacji, gdyż zostały skonstruowane na podstawie obserwacji empirycznych a nie w wyniku badań biologicznych, chemicznych lub fizycznych.

3.3. Najważniejsze wskaźniki oparte na ilorazie

3.3.1. Wskaźnik RVI

Definicja: $B4/B3$ (dla: Landsat TM)

Skrót RVI pochodzi od słów *Ratio Vegetation Index*. Wskaźnik został po raz pierwszy opisany przez Jordana (1969). W teledetekcji na ogół jest używany do usuwania efektów albedo. Zakres wartości tego wskaźnika wynosi **od zera do nieskończoności**.

3.3.2. Wskaźnik NDVI

Definicja: $(B4-B3)/(B4+B3)$ (dla: Landsat TM)

Skrót NDVI pochodzi od słów *Normalized Difference Vegetation Index*. Wskaźnik jest przypisywany jest Rousemu i współpracownikom (1973), jednak wcześniej opisany został przez Krieglera i innych (1969). NDVI jest najpowszechniej używanym wskaźnikiem wegetacji. NDVI jest bardzo wygodny w użyciu, m.in. dzięki temu, że jego zakres wartości wynosi **od -1 do +1**.

3.4. Problemy związane ze stosowaniem wskaźników wegetacji

3.4.1. Szum gleby

Przy tworzeniu wskaźników wegetacji założono, że w obrazie można znaleźć jeden rodzaj powierzchni, odpowiadający spektralnej refleksyjności gleby. Jednak w obrazie mogą współistnieć różne rodzaje gleb. Zmiany w wilgotności gleby powodują zafałszowanie obliczonego wskaźnika wegetacji. Szum gleby ma szczególne znaczenie przy niskim poziomie wegetacji.

3.4.2. Szum atmosfery

Instrumenty używane w teledetekcji dokonują pomiaru poprzez warstwę atmosfery, która zarówno osłabia światło, jak i rozprasza je na aerozolu. Atmosfera może zmieniać się bardzo silnie nawet w obrębie jednego zdjęcia, szczególnie na obszarach o głębokiej rzeźbie terenu. Ilość odbitego od tej samej roślinności światła rejestrowana przez instrumenty detekcyjne może więc zmieniać się znacznie zarówno w obrębie jednego zdjęcia, jak i dla zdjęć tego samego terenu zrobionych w różnych momentach. Istnieją wskaźniki wegetacji próbujące rozwiązać ten problem. Praktyczniejszym podejściem jest jednak skorzystanie z metod atmosferycznej korekcji zdjęć przed poddaniem ich obróbce za pomocą tradycyjnych wskaźników.

3.5. Uwagi końcowe

Opracowano wiele różnych wskaźników wegetacji, różniących się między sobą m.in. odpornością na szum gleby lub szum atmosfery, mających rozmaite zakresy wartości i zawierających różne teoretyczne założenia, dotyczące spektralnych cech obszarów gleby i wegetacji. Wszystkie z nich bazują jednak na tym samym mechanizmie: porównaniu natężenia promieniowania rejestrowanego w pasmach: bliskiej podczerwieni oraz czerwieni.

Najpopularniejszy wskaźnik wegetacji to NDVI. Jest on prosty do policzenia, ma dużą dynamikę, jest stosunkowo odporny na szum gleby i zmiany atmosferyczne (z wyjątkiem przypadków niskiego poziomu wegetacji). Dla dokonania szybkiej jakościowej oceny stanu wegetacji NDVI jest niezastąpiony.

4. Klasyfikacja

4.1. Wstęp

Celem **klasyfikacji**, z nadzorem lub bez nadzoru (*supervised, unsupervised classification*), jest pogrupowanie pikseli obrazu w klasy o podobnych własnościach statystycznych. Rezultatem klasyfikacji jest nowy obraz, w którym wartości przypisane punktom odpowiadają przynależności do klas. Klasy mogą określać rośliny uprawne, parki, łąki, obszary zabudowy miejskiej bądź wiejskiej, wodę, pokłady mineralne, i wszystko inne, co ma wyróżnioną charakterystykę widmową. Tak więc piksel o wartości 1 może oznaczać np. wodę, 2 - obszar zabudowany, zaś piksel o wartości 5 - park.

Różnica między klasyfikacją z nadzorem i bez nadzoru polega na tym, że w **klasyfikacji z nadzorem określamy regiony wzorcowe (treningowe) (*training regions*)** odpowiadające klasom, którymi jesteśmy zainteresowani, zaś automatyczny algorytm przyporządkowuje pozostałe piksele obrazu odpowiednim klasom. Z kolei, w **klasyfikacji bez nadzoru możemy wyznaczyć początkowe klasy, bądź pozostawić ich wybór do decyzji algorytmu**. Jednocześnie algorytm nie musi zachowywać początkowej ilości klas i może niektóre z nich kasować lub tworzyć nowe.

Klasyfikacją z nadzorem posługujemy się, gdy wiemy co znajduje się w zadanym obszarze zdjęcia i chcemy odnaleźć podobne obszary na całym zdjęciu. Klasyfikację bez nadzoru stosuje się, gdy chcemy dokonać rozróżnienia między różnymi obszarami zdjęcia, nie precyzując czego szukamy.

Rezultat klasyfikacji bez nadzoru może być punktem startowym klasyfikacji z nadzorem, i na odwrót. Można, więc tworzyć sekwencje klasyfikacji. Można np. wykonać klasyfikację bez nadzoru, a następnie klasyfikację z nadzorem w celu zredukowania liczby klas, mając jednocześnie pewność, że żadna klasa nie została przeoczona.

4.2. Przestrzeń spektralna i klasy

Przestrzeń spektralna jest to **wielowymiarowa przestrzeń euklidesowa**, której poszczególne wymiary odpowiadają rejestrowanym przez detektor pasmom spektralnym. **Przestrzeń spektralna ma tyle wymiarów, ile pasm spektralnych w obrazie jest do dyspozycji**. Wartości, które przyjmują punkty w tej przestrzeni są ograniczone. Na przykład, rozważając zdjęcie satelitarne z satelity Landsat TM, dostajemy w wyniku 7-miowymiarową przestrzeń o wartościach w każdym wymiarze z przedziału [0-255]. Jeżeli pasma w zdjęciu są dobrane tak, że zapewniają dobrą dyskryminację, piksele odpowiadające różnym typom powierzchni będą miały tendencję do zbierania się w grupy, tak jak pokazano to na rysunku przedstawionym w części "Klasyfikacja bez nadzoru".

Grupy te nazywane są klasami informacji (**information classes**). W praktyce najczęściej zdarza się, że w przestrzeni spektralnej znaleźć można skupiska grup pikseli. Są bowiem różne rodzaje wegetacji, różne rodzaje wód, różne rodzaje gleby, itd. Ilustruje to rysunek.

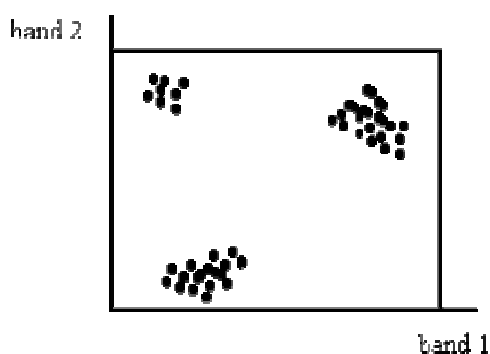
Poszczególne grupy pikseli tworzą **klasy spektralne (*spectral classes*)**.

W klasyfikacji przyjmuje się, że poszczególne klasy spektralne można opisać przy pomocy **rozkładów prawdopodobieństwa** w przestrzeni spektralnej. Rozkład taki wyznacza prawdopodobieństwo znalezienia piksela należącego do danej klasy w dowolnym punkcie przestrzeni spektralnej. Zwykle przyjmuje się, że klasy opisane są przez rozkłady normalne. Na rysunku pokazana jest dwuwymiarowa przestrzeń spektralna z tak zamodelowanymi klasami.

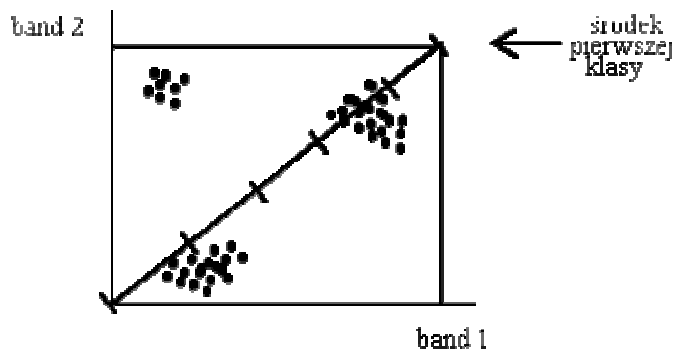
Granice przynależności (*decision boundaries*) pokazane na rysunku reprezentują punkty, które mają równe prawdopodobieństwo przynależności do dwu klas.

4.3. Klasyfikacja bez nadzoru. Algorytm ISOCCLASS

Przyjmijmy, że obraz ma dwa pasma spektralne, i że w przestrzeni spektralnej istnieją trzy klasy informacji.



Po zadaniu *a priori* wyjściowej liczby klas ich środki zostaną równomiernie rozłożone wzdłuż przekątnej, jak na rysunku poniżej.



Następnie policzone zostaną odległości każdego z pikseli do środka każdej z wyjściowych klas i piksele zostaną przyporządkowane klasom o najbliższych środkach. W dalszych krokach środki klas zostają obliczone ponownie (jako średnia arytmetyczna współrzędnych wszystkich punktów w klasie w każdym kierunku). W zależności od liczby pikseli w klasie, odchylenia standardowego dla pikseli w klasie oraz odległości między średnimi z różnych klas, następuje łączenie oraz dzielenie klas. Procedura ta jest powtarzana tak długo, aż osiągnięty zostanie jeden z warunków: liczba pikseli, które zmieniły klasę w ostatniej iteracji jest mniejsza od zadanej, albo algorytm przekroczy maksymalną dopuszczalną liczbę iteracji nie osiągając zbieżności.

Parametry wymagane przez algorytm ISOCLASS klasyfikacji bez nadzoru:

<i>Maximum iterations:</i>	Maksymalna liczba iteracji jaką może wykonać algorytm.
<i>Desired percent unchanged</i>	Procent komórek obrazu, które nie mogą zmienić klasy pomiędzy iteracjami, aby zakończyć proces klasyfikacji. Domyślną wartością jest 98 %.
<i>Maximum number of classes</i>	Maksymalna dopuszczalna liczba klas.
<i>Minimum mebers in a class (%)</i>	Procentowo wyrażona liczba pikseli, które mogą stworzyć klasę. Jeśli od klasy zostanie odłączonych tyle pikseli, że jej liczebność spadnie poniżej minimum, jest ona przyłączana do najbliższego sąsiada.
<i>Maximum standard deviation</i>	Jeśli odchylenie standardowe w klasie jest większe niż zadana wartość, a liczba pikseli do niej należących jest dwa razy większa niż wynosi minimum, to klasa jest dzielona na dwie.
<i>Minimum distance between class means</i>	Jeśli środki klas są odległe o mniej niż minimum, klasy są łączone.

4.4. Klasyfikacja z nadzorem

W klasyfikacji tej zakłada się, że każda klasa spektralna może być modelowana rozkładem normalnym (Gausa) parametryzowanym wektorem środka klasy oraz macierzą kowariancji. Przed jej wykonaniem wymagane jest określenie regionów wzorcowych (treningowych) odpowiadających znanym powierzchniom, np. różnym typom lasów, obszarom akwenów wodnych, obszarom zabudowanym itp. Dla każdego regionu wzorcowego liczone są estymaty parametrów rozkładu normalnego. W dalszym kroku pozostałe piksele obrazu są zaliczane do odpowiednich klas. Jak widać z rysunku, możliwe jest że pewne piksele nie zostaną zaliczone do żadnej z klas.

Probability of pixels belonging to each class

Each class modelled by a normal distribution specified by a mean vector and a covariance matrix

