

## Podwyższanie rozdzielczości przestrzennej obrazów wielospektralnych Landsat 7 ETM+ przy wykorzystaniu właściwości teksturalnych i radiometrycznych kanału panchromatycznego.<sup>1</sup>

Marek Mróz

Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji  
Uniwersytet Warmiński – Mazurski w Olsztynie  
ul. Oczapowskiego 1 10-718 Olsztyn  
e\_mail: marek.mroz@kosmos.uni.olsztyn.pl

### Abstract

*The methods of geometric resolution enhancement of multispectral Landsat 7 ETM+ bands are presented. All referred to ordinary RGB-IHS transform carried out using panchromatic band and histogram matching technique. The proposed solutions consist in texture coefficient application on Intensity component. The properties of ETM+ multiresolution bands coregistration are shown.*

### Wprowadzenie

Jednym z istotnych zagadnień w zakresie przetwarzania obrazów satelitarnych jest opracowanie metod i algorytmów podwyższania rozdzielczości przestrzennej (geometrycznej) obrazów wielospektralnych przy wykorzystaniu obrazów panchromatycznych lub zdjęć lotniczych. Określona rozdzielczość geometryczna obrazów wielospektralnych wynika z podstaw fizycznych obrazowania. Jednym z czynników ją limitujących jest wysoka rozdzielczość spektralna (wąskie kanały rejestracji) oraz z góry określona rozdzielczość radiometryczna skanera. Wymiar terenowy chwilowego pola widzenia (IFOV), reprezentowany na obrazie cyfrowym przez piksel<sup>2</sup>, musi być na tyle duży, aby zapewnić wymagany poziom luminancji rejestrowanej przez sensor przy minimalnie wymaganym stosunku sygnału do szumu SNR (Signal to Noise Ratio).

Próbą pogodzenia dwu stanowisk żądających, z jednej strony, wysokiej rozdzielczości przestrzennej (do rozróżniania szczegółów) oraz z drugiej, wysokiej rozdzielczości spektralnej (do rozróżniania „niuansów” w zakresie rodzajów i właściwości obrazowanych obiektów) są systemy dostarczające zarówno obrazy wielospektralne w pasmach wąskich jak też w szerokim zakresie spektrum (panchromatyczne), ale o wyższej rozdzielczości geometrycznej. Przykładami takich systemów są SPOT, IKONOS czy LANDSAT 7. Z reguły rozdzielczości obrazów panchromatycznych są dwukrotnie wyższe niż wielospektralnych (ze względów technologiczno - konstrukcyjnych), jeżeli system umożliwia równoczesną rejestrację w obu trybach.

W tym miejscu wyłania się problem „data fusion” tj. poszukiwania metod łączenia (integracji, fuzji, „kombinacji”, ...) informacji pochodzących z obrazów o różnej rozdzielczości, czasami nawet z różnych dat i sensorów, w sposób bezstratny, tj. przy zachowaniu charakterystyk spektralnych „odwzorowanych” w zestawie kanałów wąskich,

ale z dokładnością lokalizacji obiektów w skali i stopniu szczegółowości kanału wysokorozdzielczego. W propozycjach rozwiązań tego zadania przyjmuje się różne założenia co do wymogu istnienia wysokiej korelacji spektralnej i koherencji czasowej integrowanych obrazów o różnej rozdzielczości.

W szeroko stosowanej i sprawdzonej metodzie integracji jaką jest metoda transformacji barw z systemu RGB do IHS stosuje się substytucję kanału panchromatycznego w miejsce składowej *Intensity*, przy transformacji powrotnej IHS-RGB, zakładając, że składowa ta reprezentuje zróżnicowanie wypadkowej (sumarycznej) jasności spektralnej obrazowanej sceny i jest wysoce skorelowana z poziomem luminancji w kanale panchromatycznym.

### Cel pracy.

Celem prezentowanej pracy było poszukiwanie metody wykorzystania kanału panchromatycznego do dwukrotnego (liniowego) podwyższenia rozdzielczości kanałów wielospektralnych satelity Landsat 7 ETM+ przy zachowaniu ich pierwotnych właściwości spektralnych. Pomyślnie zrealizowanie tego zadania przynosi takie korzyści jak:

- lepsza rozróżnialność obiektów co ułatwia pracę na obrazie barwnym i/lub mapie satelitarnej,
- łatwiejszy i dokładniejszy wybór fotopunktów i punktów kontrolnych,
- podwyższenie precyzji rysowania granic konturów (np. działek rolniczych),
- wykonywanie klasyfikacji nadzorowanych lub nienadzorowanych, których wyniki nie zostają zafalszowane poprzez zmiany histogramów (rozkładów statystycznych populacji pikseli) jakie zdarzają się w procesie integracji danych wysoko- i niskorozdzielczych, jeżeli zastosowane metody integracji takie sytuacje dopuszczają.

Wykonane i prezentowane przetworzenia, z zastosowaniem prostych wskaźników tekstury, obliczonych na podstawie kanału panchromatycznego są odniesione do wyników integracji wybranych podzbiorów kanałów ETM 2,3,4,5,7 z kanałem panchromatycznym podstawową metodą RGB-IHS.

### Materiały.

Wykorzystano następujące dane satelitarne. Obraz Landsat 7 ETM+ , zarejestrowany 10 września 1999 roku (*Path* 188 *Frame* 023 ) dla północno- wschodniej Polski. Rozdzielczość kanałów :

- niebieskiego (1), zielonego (2), czerwonego (3), podczerwieni bliskiej (4), podczerwieni średniej (5 i 7): 30 x 30m (wymiar piksela),
- panchromatycznego (8) : 15 x 15 m (wymiar piksela).

Zakresy rejestracji poszczególnych kanałów są następujące:

1 niebieski	0.45-0.52	mikrometrów
2 zielony	0.53-0.61	
3 czerwony	0.63-0.69	
4 podczerwień bliska	0.78-0.90	
5 podczerwień średnia	1.55-1.75	
7 -//-	2.09-2.35	
8 Panchromatyczny	0.52-0.90	mikrometrów

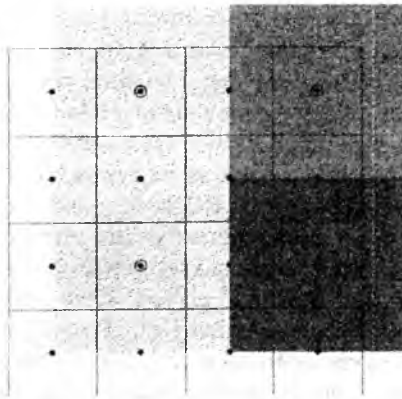
Obraz został przetworzony przez stację w Neustrelitz do poziomu IG (*system corrected*) opisanego w (Irish 2001), tj. wg. standardów ESA do poziomu „*Level 4*” ( *Path Oriented, resampling: Nearest Neighbour,* ) przy użyciu procesora w wersji TMFR-VR1.4.0.

Spójność geometryczna kanałów jest bardzo wysoka, wynosi około 0.17 piksela panchromatycznego, tj. 2.5m w mierze terenowej. Jak można stwierdzić analizując powyższe liczby, zakres czułości kanału panchromatycznego rozciąga się w przypadku tego systemu na trzy niskorozdzielcze zakresy spektralne: zielony, czerwony i podczerwień. Ściśle biorąc wykracza to poza dotychczasowe definiowanie pojęcia „panchromatyczny”. System charakteryzują więc trzy bardzo ważne właściwości:

- spójność czasowa rejestracji wielospektralnych i panchromatycznej,
- pokrywanie się czułości spektralnej zakresu panchromatycznego z kilkoma kanałami (2, 3 i 4),

- bardzo wysoka spójność geometryczna obrazów o różnej rozdzielczości

Pewnym problemem w integracji tych danych jest sposób próbkowania luminancji przez skaner satelitalny. Próbkowanie to dokonuje się dwukrotnie częściej dla kanału panchromatycznego niż pozostałych - ale w taki sposób, że wartości cyfrowe pikseli są pochodną średniej wartości luminancji, z analizowanej powierzchni elementarnej, odniesionej do „środku piksela”. Oznacza to, że np. współrzędne geodezyjne B, L środka sceny określone na elipsoidzie WGS\_84 są współrzędnymi środka zarówno piksela „piętnastometrowego” jak i „trzydziestometrowego”. Ten system „kodowania lokalizacji” pikseli stosowany przez stacje ESA, określany akronimem ACS jest kompatybilny ze standardem amerykańskim LPGS zdefiniowanym przez NASA (Irish 2001), w odróżnieniu od standardu NLAPS zdefiniowanego przez USGS, w którym współrzędne B,L są podawane dla górnego, lewego narożnika piksela. Sposób „ko-rejestracji” pikseli ACS/LPGS ilustruje rysunek 1.



Rys.1 Układ pikseli obrazu panchromatycznego (linie czarne) w stosunku do pikseli obrazów wielospektralnych (barwne kwadraty) wraz z zaznaczeniem środków pikseli

W opisywanej pracy analizowano dwa podzbiory danych:

1. kanały 2,3,4 oraz panchromatyczny,
2. kanały 4,5,7 oraz panchromatyczny.

Pierwszym zadaniem jakie należało rozwiązać było zadanie dopasowania siatek w ten sposób, aby możliwe było wyświetlanie na ekranie w postaci kompozycji barwnych, obrazów o różnych pierwotnych wielkościach piksela jednocześnie. I to obrazów przesuniętych względem siebie o  $\frac{1}{2}$  wymiaru liniowego piksela panchromatycznego, czyli  $\frac{1}{4}$  piksela obrazu wielospektralnego, tj. 7.5m. Dopiero uzyskanie maksymalnej, możliwej do uzyskania dla tego systemu, spójności geometrycznej obu typów obrazów upoważnia

do poprawnego łączenia informacji spektralnych. Jak podano wyżej precyzja „korejstracji” na poziomie „resamplingu” sygnału jest około 3 razy wyższa więc zaniedbanie tego przesunięcia może wpływać negatywnie na ostateczny rezultat „data fusion”.

### Metody przetwarzania.

Poniżej przedstawiono macierz korelacyjną, z której widać, że obraz panchromatyczny jest mocno skorelowany z kanałem etm4, co wynika z charakterystyk spektralnych obiektów ale również z jego czułości spektralnej. Równocześnie zauważa się wysoką korelację między kanałami etm2 i 3 oraz odpowiednio etm5 i 7 ( $0.80 < r < 0.92$ ) co wynika tylko z charakterystyk spektralnych obiektów. Z powyższych względów podzielono zestaw kanałów na dwa ww. podzbiory do dalszych przetworzeń.

	etm2	etm3	etm4	etm5	etm7	PANchro
etm2	1.000000	0.953514	0.405680	0.805732	0.876107	0.675866
etm3	0.953514	1.000000	0.303750	0.804231	0.922397	0.604915
etm4	0.405680	0.303750	1.000000	0.672702	0.424672	0.863387
etm5	0.805732	0.804231	0.672702	1.000000	0.916170	0.817790
etm7	0.876107	0.922397	0.424672	0.916170	1.000000	0.670862
PANchro	0.675866	0.604915	0.863387	0.817790	0.670862	1.000000

Tab. I Macierz korelacyjna.

#### Podzbiór 1. (Kanały 2,3,4 oraz panchromatyczny) – przetworzenia:

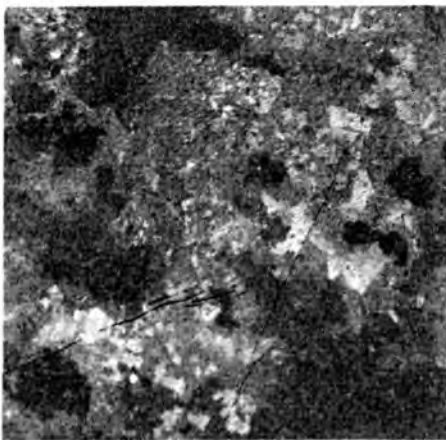
Utworzono kompozycję barwną standardową RGB (24 bity) na podstawie kanałów 4,3,2 po uprzednim liniowym rozciągnięciu ich kontrastu przy obcięciu 0% z „lewej” i odpowiednio 0.22%, 0.22% oraz 0.11% dla poszczególnych kanałów, z „prawej” strony histogramu. Pozwala to na uzyskanie poprawnej wizualnie kompozycji bez nadmiernego zniekształcenia pierwotnych histogramów co ma niebagatelne znaczenie dla późniejszych wyników klasyfikacji wykonywanej na podstawie tych kanałów. Wynik ilustruje rys. 2a. Histogramy składowych RGB reprezentowane są na rys.3a,b,c. Następnym etapem było wykonanie transformacji tych składowych RGB do „układu współrzędnych” IHS. Poprzedza tę operację dopasowanie „siatek” obrazów różnorodzielczych, które polega na „namnożeniu” (powieleniu, replikacji,) liczby pikseli o współczynnik 2, ale równocześnie na znalezieniu wartości DN dla „mniejszych” pikseli, które pojawiają się w węzłach i na granicach pierwotnej siatki pikseli 30-to metrowych. Poszukiwanie tych wartości jest zadaniem interpolacyjnym, które nie będzie tu szczegółowo analizowane. Na potrzeby tej pracy zastosowano najprostszy, liniowy model interpolacji. Dopasowanie siatek jest zabiegiem koniecznym do substytucji kanału panchromatycznego w miejsce składowej *Intensity*. Obliczenia składowych IHS dokonano na podstawie następujących wzorów:

$$\begin{bmatrix} x_y \\ y_y \\ z_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{3} \\ 1/\sqrt{6} & 1/\sqrt{6} & -2/\sqrt{6} \\ 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R_y \\ G_y \\ B_y \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} I_y &= x_y \\ H_y &= \arctan(z_y / x_y) \\ S_y &= \sqrt{y_y^2 + z_y^2} \end{aligned} \quad (1 \text{ i } 2)$$

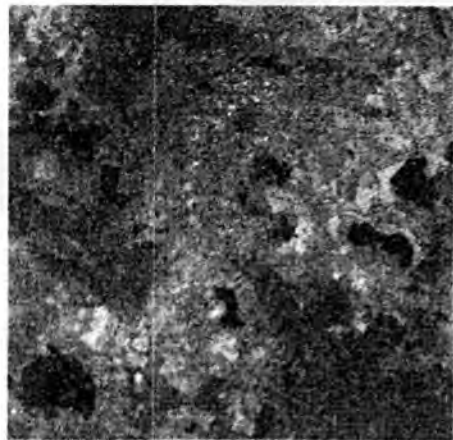
Podstawienie „surowych” wartości pikseli z kanału panchromatycznego w miejsce wartości *Intensity* przy wykonywaniu transformacji powrotnej IHS-RGB powoduje drastyczne zniekształcenie histogramów nowych składowych RGB i oczywiście zmiany barw nowej kompozycji o podwyższonej rozdzielczości, w stosunku do kompozycji pierwotnej. Powrót do niezmiennych barw byłby możliwy jedynie w szczególnym

przypadku gdyby histogramy obrazu panchromatycznego i *Intensity* były identyczne. Praktykowanym zabiegiem zbliżającym kształty histogramów do siebie jest tzw. „*histogram matching*”, czyli dopasowanie histogramów wykonywane na podstawie histogramów skumulowanych. Różnice między kształtem histogramów ilustruje rys. 4., a wynik tej transformacji rys.2b. Rys. 2c przedstawia wynik tej samej transformacji z zastosowaniem skalowania liniowego wartości pikseli do zakresu 0-255 (bez obcinania wartości mniejszych od zera i większych niż 255, jak to miało miejsce w przypadku 2b).

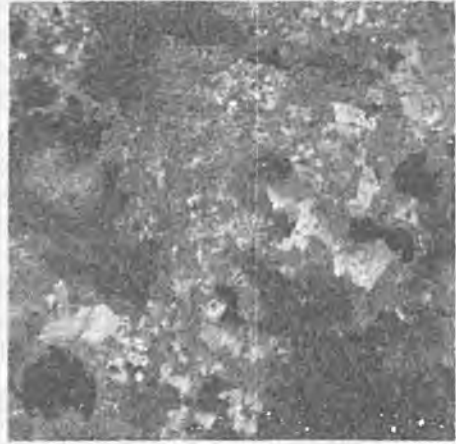
W pracy zaproponowano rozwiązanie polegające na odejściu od wykorzystywania cech radiometrycznych kanału panchromatycznego (wartości pikseli) na rzecz jego cech teksturalnych, tj. zmienności wartości pikseli „panchro” na obszarze obejmowanym przez czterokrotnie większą powierzchnię „piksela wielospektralnego” reprezentowaną przez jedną wartość DN. Zastosowano prosty wskaźnik tekstury obliczony jako iloraz wartości „piksela panchro” i średniej arytmetycznej tych wartości z sąsiedztwa 2x2 piksele. Wskaźnik taki ma tę zaletę, że jego zastosowanie polegające na przemnożeniu „obrazu wskaźnika tekstury” przez obraz przekształcany nie zmienia wartości średniej przekształcanego obrazu globalnie i lokalnie w „masce przekształcenia”. Pod warunkiem, że wskaźnik tekstury będzie „aplikowany” tylko dla jednej wartości piksela 30 -to metrowego. Oznacza to, że powinien zostać zachowany pierwotny kształt histogramu. Na obecnym etapie prac przyjęto założenie, że wskaźniki tekstury mogą być stosowane dla obrazów *Intensity* w miejsce procedury dopasowania histogramów. Problem stanowi poprawne określenie obszaru, który byłby optymalny dla wyliczenia wskaźników tekstury. Przy systemie formowania obrazu ACS, bez zastosowania odpowiednio sprawnego algorytmu interpolacyjnego, nawet sąsiedztwo 2x2 wykracza poza obszar zdefiniowany przez wartość i położenie piksela 30- to metrowego na obrazach o mniejszej rozdzielczości. Wynik zastosowania opisanego wskaźnika tekstury przedstawia rys. 2d.



a)



b)



c)

d)

Rys. 2. a, b, c, d. Przetworzenia podzbioru 1.



Rys.3. a) histogram składowej R, b) histogram składowej G, c) histogram składowej B (pierwotne).

Rys.4. Histogramy: „panchro” pierwotny (R), „panchro dopasowany” (G) i *Intensity* (B).

Rys.5 a) histogram składowej R, b) histogram składowej G, c) histogram składowej B (do rys 2d).

Podzbiór 2 (Kanały 4,5,7 oraz panchromatyczny) – przetworzenia jak w podzbiorze 1

Rysunki 6a, b, c przedstawiają kompozycję 30-to metrową, opracowaną wg autorskiego algorytmu (a) oraz wyniki podnoszenia jej rozdzielczości metodą RGB-IHS (b) i przy zastosowaniu wskaźnika tekstury (c).



Rys. 6a, b,c – Przetworzenia podzbioru 2.

### Podsumowanie.

Uzyskane wyniki potwierdzają znaczącą różnicę wizualną między obrazem opracowanym metodą tradycyjną a zmodyfikowaną. Ostatecznym sprawdzeniem skuteczności proponowanych rozwiązań będą wyniki klasyfikacji obrazów. Prace będą kontynuowane, szczególnie w zakresie stosowania innych metod interpolacji przy poszukiwaniu najlepszych wartości DN w poszczególnych zakresach spektralnych dla nowo generowanych pikseli 15-to metrowych przy dopasowywaniu siatek. Prezentowane wyniki odnoszą się do jednego typu obrazu (*resampling* NN) i wersji procesora TMFR-VR1.4.0, która obecnie została poprawiona i funkcjonuje w wersji TMFR-VR1.5.3. Zmiany te zostały dokonane przez ESA ze względu na problemy z „ko-rejestracją” kanałów. W opisanych przykładach autor dokonał własnej korekty tych nieścisłości nie opisując tego w tekście.

### Literatura

- Irish R. 2001 „Landsat 7 Science Data Users Handbook”. NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland
- Sreenivas K., R.S. Dwivedi, 1998 Evaluation of image data fusion techniques for thematic mapping.
- Wald L. Et al. 1997. Fusion of satellite images of different spatial resolutions: assesing the quality of resulting images. PE&RS vol.63, No.6, June 1997, pp.691-699
- Raptis Vassilis S et al. 1998. Assessment of different data fusion methods for the classification of an urban environment. *Fusion of Earth Data*, Sophia Antipolis, France, 28-30 January 1998.

Recenzował: dr inż. Stanisław Mularz

<sup>1</sup> Praca została wykonana w ramach tematu „Badanie i optymalizacja metod integracji wielosensorowych danych teledetekcyjnych (temat własny UWM).”

<sup>2</sup> Autor pomija szczegóły „samplingu” sygnału prowadzącego do wygenerowania wartości DN pikseli oraz związków między wielkością piksela a IFOV.

Oryginalne ilustracje barwne znajdują się na stronie internetowej Katedry Fotogrametrii i Teledetekcji UWM (<http://kft.uni.lodz.pl/> publikacje). Osoby zainteresowane mogą je wykorzystywać wyłącznie po uprzednim uzyskaniu zgody autora.

