

SELEKCJA I PRZETWARZANIE WZMOCNIONYCH PRZESTRZENNIE OBRAZÓW WIELOSPEKTRALNYCH LANDSAT TM – PORÓWNANIE WYNIKÓW OPARTYCH O DANE SCALONE I DANE ŹRÓDŁOWE

SELECTION AND PROCESSING OF THE SPATIAL ENHANCED MULTISPECTRAL LANDSAT TM IMAGES – COMPARISON BETWEEN THE RESULTS FROM MERGED AND SOURCE DATA

Tomasz Pirowski, Grzegorz Szczasiuk

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, AGH w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: integracja danych teledetekcyjnych, LANDSAT, IRS, przetwarzanie obrazowe, potencjał informacyjny kompozycji barwnych

STRESZCZENIE: W publikacji przedstawiono wyniki badań związanych z integracją danych spektralnych (Landsat) z obrazami panchromatycznymi o wyższej rozdzielczości przestrzennej (IRS). W pierwszym etapie porównano zgodność - przedstawionych we wcześniejszych publikacjach - rankingów metod integracji: formalnej (Pirowski, 2009) i wizualnej (Pirowski, 2010). Zestawienie wykazało duże różnice w ocenie stopnia zniekształcenia informacji spektralnej generowanej przez poszczególne metody integracji. Natomiast potwierdziła się zgodność rankingów w aspektach związanych z oceną stopnia wzmocnienia przestrzennego syntetycznych obrazów. Za najlepsze metody, uzyskujące w obu rankingach wysokie noty, uznano HPF i LCM.. Wybranych pięć metod integracji - HPF, LCM, IHS, PCA i WMK - poddano testom praktycznym: analizie potencjału informacyjnego kompozycji barwnych, progowaniu oraz wagowaniu międzykanałowemu. Wstępne badania wskazują, iż żaden z algorytmów scalania nie daje produktu uniwersalnego. W zależności od zastosowanej techniki przetwarzania danych optymalne wyniki uzyskuje się bazując na obrazach pochodzących z różnych metod integracji. Pośrednio oznacza to, że opracowane rankingi nie przekładają się na aspekty praktyczne – metody, wskazane w nich jako najlepsze, wypadają w niektórych testach relatywnie słabo, i odwrotnie. Jeśli ta wstępna konkluzja się potwierdzi, oznaczać to będzie konieczność zrewidowania metod oceny scalonych obrazów.

1. WPROWADZENIE

Dostępne obrazy satelitarne pozwalają uzyskać informację o różnej czasowej, spektralnej, przestrzennej czy radiometrycznej dokładności. Daje to możliwość ich komplementarnego wykorzystania poprzez integrację i uzupełnienie się wzajemne danych prowadzące do zwiększenia informacji znajdujących się na obrazie i/lub ich uwiarygodnienie. Chociaż historycznie zagadnienie integracji danych w teledetekcji sięga lat 70-tych, problematyka nadal jest aktywnie rozwijana, obecnie z uwzględnieniem nowych technik rejestracji danych (Zhang, 2010). Gens *et al.* (1998) definiują trzy poziomy

łączenia danych obrazowych: poziom decyzyjny (*decision based fusion*), poziom oparty na ekstrakcji obiektów (*feature-based fusion*) oraz poziom oparty na pikselu (*pixel-based fusion*). Fuzja na poziomie piksela oznacza łączenie na niskim poziomie przetwarzania. Tego typu podejście stosuje się dysponując obrazem panchromatycznym o wysokiej rozdzielczości przestrzennej i kanałami spektralnymi o relatywnie niskiej rozdzielczości przestrzennej. W wyniku uzyskuje się nowy zestaw syntetycznych danych multispektralnych, na którym jest prowadzona dalsza analiza informacji. W Polsce prace z zakresu tego typu integracji prezentują Lewiński (2001), Mróz *et al.* (2005), Mularz *et al.* (2006), Osińska-Skotak (2006, 2012); Pirowski (2006), Pirowski *et al.* (2007). W niniejszej publikacji przedstawiono wyniki badań związanych z integracją danych na tym poziomie – obrazów wielospektralnych o niższej rozdzielczości przestrzennej (Landsat, 30 m) z obrazami PAN o wyższej rozdzielczości przestrzennej (IRS, 5.8 m). Obszarem testowym był prostokąt 10 km x 20 km obejmujący aglomerację krakowską. Praca jest kontynuacją badań z lat poprzednich (Pirowski, 2009; 2010).

2. CEL, METODYKA BADAŃ, TESTOWANE FORMUŁY INTEGRACJI

Istotnym elementem wpływającym na jakość procesu integracji jest wybór odpowiedniego algorytmu łączenia obrazów. Musi on rozwiązywać główny problem, jakim jest wprowadzanie informacji panchromatycznej do kanałów podczerwonych, co powoduje zakłócenie – w większym bądź mniejszym stopniu - oryginalnej informacji spektralnej.

Aby ocenić, która z metod oferuje produkty scalania o niskich zniekształceniach, a przy tym o wysokim stopniu uszczegółowienia obrazów, w ramach badań przetestowano szeroki zakres podejść integrujących optyczne dane satelitarne. Szczegółowe wyniki oceny 30 metod integracji pod kątem formalnym i fotointerpretacyjnym prezentują odpowiednio prace Pirowskiego z 2009 i 2010 roku, gdzie analizowano następujące algorytmy łączenia: oparte o mnożenie międzykanałowe [IM1, IM2, IM3] (Cliché'a *et al.*, 1985), dzielenie międzykanałowe [CN] (Hallada *et al.*, 1983), [SVR] (Munehica *et al.*, 1993), [WMK] (Wiemker *et al.*, 1998), [NVSR] (Zhang, 1999); właściwości teksturalne obrazów [PRAD, PRAD05, PRAD07, PRAD17] (Pradines, 1986), [PRICE] (Price, 1987); analizę tablicy kolorów [LUT] (Price, 1987); transformacje liniowe [IHS, PCA, RVS] (Shettigara, 1992); filtracje [HPF5, HPF7, HPF9] (Chavez, 1986); lokalne statystyki obrazów [LMM21, LMM-INR05, LMM-INR11] (Béthune *et al.*, 1998), [LCM61] (Hill *et al.*, 1999); różnorodzielcze obrazy [DWT] (Ranchin *et al.*, 2000), [PL] (Aiazzi, 1999); kombinacje powyższych rozwiązań (IHS-HPF/LMVM, PCA-PRAD) (Mróz, 2001; Mularz *et al.*, 2006).

Uzyskane rankingi metod okazały się w wielu elementach rozbieżne. Celowe stało się udzielenie odpowiedzi na pytanie, jak interpretować uzyskane wyniki? Która z metod oceny jest poprawna? Czy można je komplementarnie wykorzystać w celu ostatecznej selekcji metod integracji? Wreszcie – i to wydaje się zasadnicze z punktu widzenia przeciętnego użytkownika – czy dokonana selekcja metod przekłada się na praktyczną przydatność produktów scalania? Inaczej ujmując: czy wyniki przetwarzania obrazowego, wykonywane na scalonych obrazach, cechuje jakość zgodna z opracowanymi rankingami metod? Aby odpowiedzieć na powyższe pytania, w pierwszej części publikacji zestawiono - przedstawiane dotychczas odrębnie - oba rankingi metod i poddano je krytycznej analizie.

W części drugiej wybrane produkty scalania poddano testom praktycznym, celem oceny możliwości stosowania na nich wybranych procedur wzmacniania informacji.

3. PORÓWNANIE RANKINGU FORMALNEGO I WIZUALNEGO

Ranking formalny metod oparto o analizę tzw. „diagramów wyników” (Pirowski, 2006). Do ich opracowania wykorzystano wskaźnik oceny zniekształcenia spektralnego $nQ\%$ zaproponowany przez Walda (2000), oraz – do oceny wzmocnienia przestrzennego - parametr $AIL\%$ (Pirowski, 2006). W wyniku uzyskano metody o najlepszych relacjach uczytelnienia do zniekształcenia spektralnego. Zestawienie w formie tabelarycznej, ze wskazaniem najlepszych algorytmów scalania dla poszczególnych kompozycji barwnych (KB), znaleźć można w pracy Pirowskiego (2009). Z kolei ranking walorów wizualnych przeprowadzono w oparciu o technikę punktacji kompozycji barwnych (Pirowski, 2010). W wyniku uzyskano dziewięć grup metod wg charakterystycznych cech wizualnych, z których najlepsze cztery zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawy najkorzystniejszych metod określone w oparciu o fotointerpretację

	Uczytelnienie wysokie, informacja spektralna wizualnie nie odbiega od wzorca sprzed fuzji (A)	Uczytelnienie wysokie, zdegradowana informacja tematyczna (spadek nasycenia barw) lub niewielkie jej zniekształcenie (B)	Podkreślenie konturów i wzbogacenie w szczegóły niepełne, inf. spektralna wizualnie nie odbiega od wzorca sprzed fuzji (C)	Podkreślenie konturów i wzbogacenie w szczegóły niepełne, zdegradowana informacja tematyczna (D)
6 kan.	HPF9, PL, IHS-HPF9, LCM61	DWT	PRAD, PRAD7, HPF5, IHS-PRAD, HPF7, PCA-HPF9	NSVR, LMM-INR11
KB 123	HPF9, IHS-HPF9, PCA-HPF9, LCM61	NSVR, PRAD17, DWT, PL, LMM21	PRICE, LUT, HPF7, IHS-PRAD, PRAD7, PCA-PRAD, PRAD,	HPF5, IHS-LMVM41, PCA-LMVM41, LMM-INR11
KB 134	HPF9, PL, IHS-HPF9, LCM61	WMK, NSVR, DWT, PRAD17, LMM21	PRAD, PRAD7, HPF7, IHS-PRAD	IM3, LMM-INR11
KB 174	HPF9, PL, IHS-HPF9, LCM61	DWT, PCA-HPF9	PRAD, PRAD7, PRICE, HPF5, HPF7, PCA-PRAD	LMM-INR11
KB 571	HPF9, IHS-HPF9, LCM61	DWT, PCA-HPF9	PRAD, PRAD7, PL, PRICE, HPF5, HPF7	NSVR, LMM-INR11, PCA-PRAD
KB 354	HPF9, PL	DWT	PRAD7, HPF7, IHS-PRAD, IHS-HPF9, LCM61	NSVR, HPF5, LMM-INR11
KB 457	HPF9, IHS-HPF9	DWT	HPF7, PL, PCA-HPF9, LCM61, LMM-INR11	NSVR

Głównym celem porównania obu rankingów była odpowiedź na dwa pytania istotne z punktu widzenia oceny przydatności metod scalania danych: 1) Czy selekcja metod i ich pogrupowanie według podobieństwa dokonane w oparciu o wskaźniki statystyczne są zgodne z przeprowadzonymi na podstawie walorów interpretacyjnych? Jeśli tak, to w jakim

stopniu i które metody integracji spełniają zarówno kryteria formalne jak i wizualne na poziomie pozwalającym uznać je za przydatne? 2) Czy istnieje współzależność pomiędzy procedurami formalnymi a walorami interpretacyjnymi metod pozwalająca na uproszczenie selekcji przez rezygnację ze żmudnej procedury oceny wizualnej? To znaczy, czy posługując się formalnymi metodami selekcji można w przybliżeniu mówić o ich przydatności do interpretacji?

Dla odpowiedzi na pierwsze pytanie skonstruowano tabelę 2 opartą o wyniki końcowe waloryzacji metod pod kątem formalnym oraz interpretacyjnym. Dla każdej KB ze zbioru metod o najlepszych relacjach parametrów $nQ\%$ i $AIL\%$ pozostawiono tylko te, które posiadały równocześnie akceptowalne walory wizualne. Przykładowo, z tak przygotowanego zestawienia można odczytać, że dla KB 134 nie istnieje rozwiązanie, które charakteryzuje się niskim zniekształceniem spektralnym ($nQ\% < 8$) i jednocześnie posiada akceptowalne walory wizualne. Natomiast dla tej kompozycji rozwiązanie LCM61 jest optymalne, gdyż charakteryzuje się dobrymi cechami interpretacyjnymi (grupa A), przy relatywnie dobrych zależnościach wskaźników statystycznych (środkowa kolumna tabeli).

Tabela 2. Optymalne zestawy metod określone wg parametrów formalnych (kolumny) oraz oceny wizualnej (oznaczenia literowe zgodne z oznaczeniem kolumn tabeli 1)

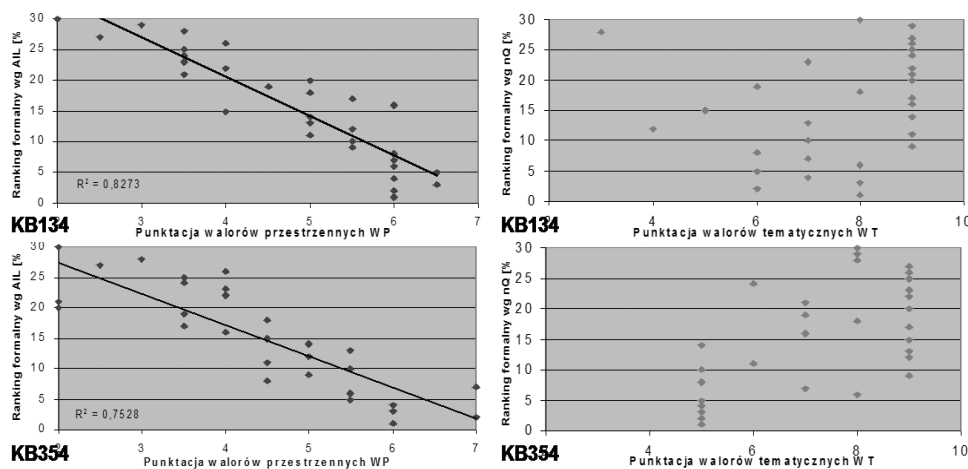
	Zastosowania wymagające błędów spektralnych $nQ\% < 8$	Zastosowania wszechstronne (metody uniwersalne)	Zastosowania wymagające wzmocnienia $AIL\% > 92,5$
6 kan.	HPF05 _C	PRAD7 _C , HPF7 _C	PL _A , HPF09 _A
KB 123	HPF05 _D	PRAD7 _C , LMM-INR11 _D , PL _B , LCM61 _A	PCA-HPF09 _A , HPF09 _A
KB 134		PRAD7 _C , HPF7 _C , LCM61 _A	PL _A , HPF09 _A
KB 174		HPF05 _C , PRAD7 _C , HPF7 _C	PL _A , HPF09 _A
KB 571		HPF05 _C , PRAD7 _C , HPF7 _C , PL _C	PCA-HPF09 _B , HPF09 _A
KB 354	HPF05 _D	HPF05 _D , PRAD7 _C , HPF7 _C	HPF7 _C , PL _A , HPF09 _A
KB 457		HPF7 _C	HPF7 _C , PL _C , HPF09 _A

Dla odpowiedzi na drugie pytanie zestawiono w formie diagramów wartości punktowe uzyskane na drodze oceny wizualnej z miejscami metod w rankingu opartym o średnie wartości $nQ\%$ i $AIL\%$. Analizując rysunek 1, zawierający dane dla KB 134 i KB 174, łatwo zauważyć, że zachodzi współzależność pomiędzy wynikami oceny walorów przestrzennych uzyskiwanymi na drodze formalnej ($AIL\%$) oraz interpretacyjnej (WP). Oznacza to, że wizualna ocena walorów uczytelnienia może być z pewnym przybliżeniem zastąpiona przez ranking formalny oparty o wskaźnik $AIL\%$ (i odwrotnie). Im wyższy jest parametr $AIL\%$, tym większa ilość szczegółów jest dostrzegalna w procesie wizualnej analizy obrazu. Zatem wartość $AIL\%$ można traktować jako indyktor przydatności interpretacyjnej metod pod kątem uczytelnienia.

Brak jest tego typu zależności pomiędzy ocenami formalnymi ($nQ\%$) a wizualnymi (WT) dotyczącymi stopnia zniekształcenia informacji spektralnej. Powodem jest to, że błędy tematyczne manifestują się różnorodnie, co utrudnia ich obiektywną ocenę. Dla przykładu scalone obrazy mogą posiadać systematyczny błąd kolorystyczny zmieniający tonację całej sceny lub tylko pewnych klas obiektów. Zmiana może też wystąpić w postaci rozproszonych, drobnych artefaktów. Z kolei dominacja informacji

przestrzennej nad spektralną ujawnia się poprzez degradację barw obrazu. Poszczególne wady z tak szerokiego spektrum są percepcyjnie stosunkowo łatwe do rozpoznania i zdefiniowania, ale już ich uszeregowanie wg wielkości wpływu na obniżenie jakości materiału obrazowego jest trudne. Tymczasem posługiwanie się wskaźnikami formalnymi sprowadza ocenę walorów tematycznych do jednego kryterium reprezentowanego przez wskaźnik $nQ_{\%}$ determinowany przez różnice jaskrawości pikseli na obrazach przed i po scaleniu. Dlatego różne – z wizualnego punktu widzenia - typy zniekształceń tematycznych są opisywane przez zbliżone wartości parametru. Liczba ta pozwala określić jedynie ogólny poziom zniekształcenia dla zestawu obrazów, ale nie precyzuje, czy ma to charakter globalny czy lokalny, ale o dużej intensywności. Nie określa, czy dotyczy wybranych elementów pokrycia terenu czy wszystkich jednocześnie, lecz w mniejszym stopniu. Występują przypadki, że obraz oceniony wizualnie wyżej od innego, posiada wyraźnie gorsze od niego parametry formalne.

Brak zgodności oceny tematycznej biegnie też w drugim kierunku. Wyniki scalania różnymi metodami, ocenione na drodze wizualnej jako dobre i wzajemnie do siebie podobne, mogą posiadać różną wartość formalnego stopnia zniekształcenia. Oznacza to, że sama akceptacja walorów interpretacyjnych produktu scalania nie wystarcza do dowolnego jego zastosowania. Jeśli użycie scalonych obrazów nie ogranicza się tylko do interpretacji, ale również do zastosowań wymagających niskiego zniekształcenia spektralnego, np. do dalszego przetwarzania obrazów czy klasyfikacji, konieczne jest uwzględnienie wyników formalnie charakteryzujących obraz.



Rys. 1. Zestawienie oceny wizualnej (oś x) z miejscami metod w rankingu opartym o wskaźniki formalne (oś y) na przykładzie KB 134 i KB 354

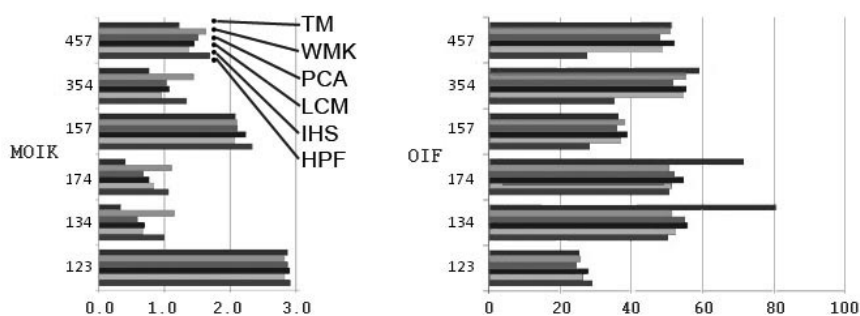
4. PRZETWARZANIE OBRAZOWE SCALONYCH DANYCH

Na podstawie uzyskanych wyników do testów praktycznych (przetwarzania obrazowego) wybrano: metody ocenione wysoko zarówno w ocenie formalnej jak i wizualnej tj. HPF09 (filtracji górnoprzepustowej w oknie 9x9) oraz LCM (lokalnej

korelacji w oknie 61x61); trzy metody o niskich ocenach, jednak charakteryzujące się wysokimi walorami interpretacyjnymi, tj. IHS (oparta o transformację do przestrzeni barwnej jasność-barwa-nasycenie), PCA (oparta o transformację składowych głównych) i WMK (opartą o wagowanie międzykanałowe).

4.1. Badanie potencjału informacyjnego kompozycji barwnych

Scalone obrazy poddano analizie potencjału informacyjnego kompozycji. Dla Beauchemina *et al.* (2001) odpowiednia selekcja kanałów polega na doborze tych zakresów spektralnych, które zawierają w sobie najwięcej informacji. W celu porównania zawartych w KB informacji posłużono się dwoma wskaźnikami statystycznymi - MOIK (będącym sumą modułów korelacji trzech kanałów wchodzących w skład danej KB) oraz OIF - (*Optimum Indeks Factor* - przedstawiający normalizację sumy odchyleń standardowych i współczynników korelacji kanałów spektralnych, z których powstaje KB) (rysunek 2).



Rys. 2. Wartości wskaźników MOIK i OIF dla danych TM i scalonych

Wykorzystując do oceny wskaźniki statystyczne należy uznać za najgorszą KB 123, za najlepsze – KB 134 i KB 174. Dotyczy to danych oryginalnych TM, jak i większości zintegrowanych KB z obrazem PAN. Najbardziej zbliżone do oryginału wartości MOIK uzyskuje metoda PCA, następnie IHS i LCM. Konsekwencją tego jest zachowanie kolejności kompozycji barwnych. Metoda HPF, chociaż również nie zmienia rankingu KB, cechuje się podwyższonymi wartościami parametru. Dla metody WMK notuje się zaburzenie wartości, powodujące zmianę w rankingu KB. Ogólną tendencją jest pogorszenie się parametru MOIK dla wszystkich metod integracji, w stosunku do danych oryginalnych. Jest to konsekwencja wprowadzenia identycznej informacji przestrzennej do wszystkich kanałów spektralnych (następuje redundancja informacji). Najkorzystniej pod tym względem wypadają metody PCA i IHS, najgorzej HPF i WMK.

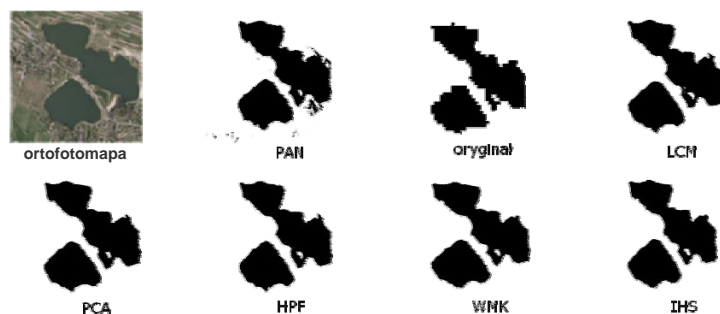
Ranking KB budowany w oparciu o OIF charakteryzuje się mniejszą stabilnością. Oryginalną kolejność zachowuje jedynie metoda PCA. Największe zmiany zauważyć można na danych uzyskanych metodą WMK i IHS - KB 354 przesuwa się aż o dwa miejsca do góry w zestawieniu, stając się najlepszą kompozycją. Notuje się duże, niekorzystne obniżenie wskaźnika dla wszystkich metod integracji dla KB 134 i KB 147. Dodatkowo dla metody HPF wartość OIF wyraźnie odbiega od innych, z wyjątkiem KB 123. Należy pamiętać, że wskaźnik ten jest mocno uzależniony od wariancji kanałów. Jej zwiększenie

w wyniku integracji danych wpływa więc teoretycznie na poprawę wartości parametru. Tymczasem niezachowanie oryginalnych charakterystyk kanałów spektralnych (np. podniesienie wyraźne wariacji) jest jednym z negatywnych konsekwencji integracji danych. Zatem w przypadku danych scalonych, do badania potencjału informacyjnego KB, należy rekomendować wskaźnik MOIK. Oparcie się na OIF może preferować algorytmy fuzji zniekształcające oryginalną informację tematyczną.

4.2. Progowanie

Duże znaczenie dla interpretacji zobrazowań teledetekcyjnych ma segmentacja obrazów pozwalająca wyodrębnić określony rodzaj pokrycia terenu. Do prostych technik tego typu należy progowanie - operacja, w której poprzez manipulację kontrastem obrazu o większej ilości poziomów jasności uzyskuje się obraz binarny. Analiza dokładności progowania na danych oryginalnych (30 m) i danych zintegrowanych (5 m) polegała na określeniu dla nich wartości progu, tak, aby dobrze wyodrębnić wody (jako indykatory wybrano 4 obiekty – 3 stawy i rzekę). Rezultaty zweryfikowano w oparciu o ortofotomapę ze zdjęć lotniczych. W tym celu wszystkie wyniki odniesiono do rozdzielczości piksela 5 m (obraz TM sztucznie polepszone poprzez multiplikację pikseli, wynik wektoryzacji ortofotomapy zrasteryzowano w rozdzielczości 5 m). Aby uzyskać informacje o zgodności wielkości powierzchni jak i położenia, wyniki nakładano na ortofotomapę, badając liczbę pikseli zgodnych, niedoszacowanych lub przeszacowanych (dla realizacji zadania użyto procedur krzyżowania map, poszukując kombinacji przynależności, bądź nie, obiektów).

Przyjęto dwa sposoby wyznaczenia progu na scalonych danych satelitarnych. Pierwszy, który powielał wartość wskazaną jako optymalną dla danych Landsat TM (w wyniku testów wybrano próg 28 na kanale 4, ze względu na dobre wyodrębnienie wód). Ideą takiego podejścia jest założenie, że dobre wyniki progowania uzyska się tylko dla tych metod integracji, które nie zaburzyły w istotny sposób oryginalnych charakterystyk kanałów. Przykładowe wyniki tego testu przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Wynik progowania jednego z testowanych obiektów (Zalew Kryspinów)

Drugie podejście to indywidualny dobór progowania dla każdego zestawu danych po integracji. W ten sposób zmiany jasności kanałów powstałe w wyniku integracji zostaną wyeliminowane, natomiast kluczowymi dla poprawnego wskazania progu będą walory

interpretacyjne syntetycznych danych. Wyniki dla obu sposobów progowania, w przekroju metod integracji, dla jednego z czterech testowanych obiektów, prezentuje tabela 3.

Jak widać, najbardziej zbliżone rezultaty do obszaru wzorcowego uzyskano na obrazie PAN (różnica 8.9%). W przypadku progowania o stałej wartości 28 nastąpiła poprawa geometryzacji (z 15,7% dla danych TM) w trzech przypadkach – dla metody PCA (11.8%), LCM (12.0%) oraz HPF (12.7%). Przy każdorazowym ustalaniu progu, bazując na interpretacji obrazów scalonych, uzyskano poprawę wyników dla wszystkich metod z wyjątkiem algorytmu LCM. Dla 3 metod (IHS, PCA, WMK) uzyskane pola powierzchni odbiegają o około 9-10% od wzorcowego, co jest minimalnie gorszym (o ok. 0.2%-1%) wynikiem niż uzyskano dla obrazu PAN. Podobne zależności uzyskano dla pozostałych pól testowych. Eksperyment ten wskazuje, iż lepszym rozwiązaniem jest każdorazowe interpretowanie obrazów scalonych w celu wyboru optymalnej wartości progowania. Potwierdzają to wyniki uzyskane dla metod WMK i IHS. Wyraźne zniekształcenie spektralne po mergingu skutkuje największymi błędami pola powierzchni obiektu przy zachowaniu progu z danych oryginalnych TM (rozbieżność dla IHS – 22.8%, dla WMK – 17.9%). Natomiast przesunięcie progu, aż o 17 (IHS) i 14 (WMK) jednostek jasności, powoduje wyraźną poprawę rezultatów (wyniki dla tych metod stają się najlepszymi z wszystkich testowanych metod integracji, obok PCA). Potwierdza to zanotowane w rankingach specyficzne działania obu metod – generowane duże zniekształcenie tematyczne, przy zachowaniu dobrych walorów wizualnych.

Tabela 3. Pola powierzchni zalewu Kryspinów wyznaczonego na drodze progowania

Metoda integracji (wart. progu)	Pole powierzchni [m ²]	Obszar zgodny [m ²]	Obszar niedoszacowany [m ²]	Obszar przeszacowany [m ²]	Śr. błąd kwadr. w % pola pow.*
ortofotomapa	198800	-	-	-	-
obraz PAN	197350	185575	13225	11775	8.91
dane TM (28)	169200	167600	31200	1600	15.71
LCM (28)	175350	174975	23825	375	11.99
LCM (28)	175350	174975	23825	375	11.99
IHS (28)	155450	155450	43350	0	21.81
IHS (45)	180600	179100	19700	1500	9.94
PCA (28)	175350	175275	23525	75	11.83
PCA (33)	179900	179525	19275	375	9.70
HPF (28)	173975	173575	25225	400	12.69
HPF (30)	175900	175350	23450	550	11.80
WMK (28)	163275	163275	35525	0	17.87
WMK (42)	182775	180875	17925	1900	9.07

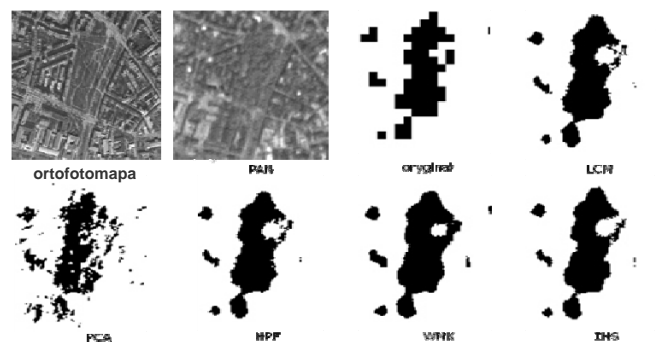
* pierwiastek z sumy kwadratów wartości pól powierzchni obszarów przeszacowanych i niedoszacowanych, odniesiony do wzorcowego pola pow. 198800 m², wyrażony w procentach

4.3. Wagowanie międzykanałowe

Proces wagowania można zastosować do wyznaczenia obszarów, gdzie wystąpiły zmiany pomiędzy obrazami tej samej sceny (Richards *et al.*, 2006). Z uwagi na operację dzielenia wartości jasności pikseli z różnych kanałów metodę tę należy uznać za wrażliwą

na potencjalne zmiany ich charakterystyk, czym mogą cechować się obrazy scalone. W testach zastosowano najpopularniejszy ze wskaźników wegetacji – NDVI, łatwy w wyznaczaniu, charakteryzujący się odpornością na zmiany atmosferyczne oraz na szum gleby. Eksponuje on kontrast pomiędzy niewielkim odbiciem roślinności w kanale czerwonym i wysokim odbiciem w bliskiej podczerwieni (Adamczyk *et al.*, 2007).

Analizę przeprowadzono poprzez obliczenie wskaźnika dla danych oryginalnych TM oraz dla pochodzących z integracji obrazów. Następnie powstałe w ten sposób obrazy poddano reklasyfikacji polegającej na wyodrębnieniu obszarów porośniętych roślinnością. W analizie za graniczną wartość pomiędzy terenami pozbawionymi roślinnością a porośniętymi przyjęto 0.2 (rys. 4.). Trafność przyjęcia takiej wartości potwierdziła analiza wizualna prowadzona na zdjęciach lotniczych. Testy wykonano na 5 obszarach zieleni miejskiej Krakowa (parki i cmentarze porośnięte wysokimi drzewami). Obszary te przyjęto ze względu na zwartość kompleksu oraz izolację przestrzenną od innych tego typu elementów. Założono, że informacja z kanału podczerwonego stanowi wiarygodną informację o zieleni i nieuzasadnione jest weryfikowanie jej poprzez wektoryzację ortofotomapy ze zdjęć lotniczych, wprawdzie o wyższej rozdzielczości przestrzennej, lecz pozbawionej informacji spektrostrefowej. W zamian przyjęto rozwiązanie o porównywaniu wyników do oryginalnych danych TM (tabela 4), zgodnie z zasadą krzyżowania map opisaną w rozdz. 4.1. Z założenia eksperymenty miały jedynie dowiedzieć, że możliwe jest uzyskanie wiarygodnych rezultatów NDVI na danych scalonych. Aby odpowiedzieć na pytanie, czy wyniki takie mogą przewyższyć dane oryginalne, konieczne byłoby posiadanie lepszych danych do weryfikacji, jak zdjęć spektrostrefowych czy wysokorozdzielczych satelitarnych obrazów wielospektralnych.



Rys. 4. Geometryzacja kształtu wyodrębnionego obiektu w oparciu o progowanie NDVI

Eksperyment wykazał, że najbardziej zbliżone do pierwotnych wyników są dane pochodzące z metod IHS (4.1%), LCM (4.2%) oraz HPP (4.4%). Największą rozbieżność zanotowano dla metody PCA (7.2%). Z kolei w analizie wizualnej rezultaty bazujące na tej metodzie wydają się dużo lepsze od pozostałych (następuje dobre odwzorowanie przebiegu granic zieleni). Potwierdzić tą obserwację można jedynie używając do kontroli lepszych przestrzennie danych. Zaskakujące jest, że dla metody IHS, notującej w rankingach metod duże zaburzenia informacji spektralnej (potwierdzone koniecznością dużej zmiany wartości progu, patrz rozdz. 4.2), uzyskano najlepsze wyniki wagowania międzykanałowego.

Tabela 4. Zieleń miejska wyznaczona na drodze NDVI (Park Krakowski)

Metoda integracji	Pole powierzchni [m ²]	Obszar zgodny [m ²]	Obszar niedoszacowany [m ²]	Obszar przeszacowany [m ²]	Średni błąd kwadr. w % pola pow.
dane TM	54000	-	-	-	-
LCM	53200	47700	6300	5500	4.21
IHS	53500	48025	5975	5475	4.08
PCA	41500	39850	14150	1650	7.17
HPF	53900	47750	6250	6150	4.41
WMK	61400	50975	3025	10425	5.46

5. PODSUMOWANIE

Zaprezentowane techniki pracy na obrazach scalonych należy traktować jako wstępny eksperyment mający na celu kontrolę, czy opracowywane do tej pory wskaźniki formalne bądź interpretacyjne, służące do oceny scalonych obrazów, przekładają się na aspekty praktyczne. Wyniki testów nie potwierdzają tego jednoznacznie. Preferowane metody HPF i LCM (patrz rozdz. 3, tabela 2) w testach progowania wypadają niekorzystnie na tle innych metod. Z kolei dla obliczeń NDVI obie metody uzyskują relatywnie dobre wyniki, jednak najlepszy rezultat uzyskuje nisko w rankingach oceniana metoda IHS. Podobnie metoda PCA, która w zestawieniach formalnych i interpretacyjnych w ogóle nie znalazła się wśród rekomendowanych metod, uzyskała zdecydowanie najlepsze noty przy analizie potencjału informacyjnego kompozycji barwnych. Najgorzej w tym eksperymencie wypadła preferowana metoda HPF.

Przeprowadzone testy praktyczne wydają się niewystarczające. Do pełnego obrazu należałoby wykonać analizy związane z kwantyzacją i filtracją obrazów, a także klasyfikacją różnego typu. Zaprezentowane wstępne badania wskazują, iż żadna z metod integracji nie daje produktu uniwersalnego – w zależności od stosowanej techniki przetwarzania danych optymalne wyniki uzyskuje różnymi metodami. Pośrednio oznacza to, że opracowane rankingi metod nie przekładają się na aspekty praktyczne (wskazane jako najlepsze metody wypadają w niektórych testach relatywnie słabo, i odwrotnie). Jeśli ta wstępna konkluzja się potwierdzi, oznaczać to będzie konieczność zrewidowania metod oceny scalonych obrazów.

6. LITERATURA

Adamczyk J., Będkowski K.: *Metody cyfrowe w teledetekcji*, Wyd. SGGW, Warszawa 2007.

Aiazzi B., Alparone L., Baronti S., Pippi I., 1999. Fusion of 18 m MOMS-2P and 30 m Landsat TM multispectral data by the generalized laplacian pyramid, *Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 32, s. 116-122.

Béthune S., Muller F., Donnay J. P., 1998: Fusion of multispectral and panchromatic images by local mean and variance matching filtering techniques, *Proceedings of Fusion of Earth Data, Sophia Antipolis, Nice, France*, s. 31-37. National Remote Sensing Agency, Hyderabad.

- Beauchemin M., Fung K. B., On Statistical Band Selection for Image Visualization, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 67, No. 5, May 2001, pp. 571-574.
- Chavez P. S., Jr., 1986. Digital Merging of Landsat TM and digitized NHAP data for 1:24,000-scale image mapping, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 52, No. 10, s. 1637-1646.
- Cliché G., F. Bonn, P. Teillet, 1985: Integration of the SPOT panchromatic channel into its multispectral mode for image sharpness enhancement. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 51, No. 3, s. 311-316.
- Cochrane R., Lasselin D., 1992. Production over urban environment of a rectified and enhanced natural color image : a simple methodology for processing SPOT panchromatic and multispectral data on microcomputer. *MULTISCOPE software in Remote sensing and insular environments in the Pacific: integrated approaches*, ORSTOM 1992, s. 425-447.
- Gens R., Verkedy Z., Pohl C., 1998. Image and data fusion – concept and implementation of a multimedia tutorial, *Proceedings of the Second International Conference on Fusion of Earth Data*, Sophia Antipolis, France.
- Hallada W. A., Cox S., 1983: Image sharpening for mixed spatial and spectral resolution satellite systems. *Proc. Of the 17th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 9-13 May, s. 1023-1032.
- Hill J., Diemer C., Stöver O., Udelhoven Th., 1999. A local correlation approach for the fusion of remote sensing data with different spatial resolutions in forestry applications. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32, Part 7-4-3 W6, Valladolid, Spain.
- Lewiński S., 2001. Zastosowanie transformacji RGB-HIS w przetwarzaniu zdjęć satelitarnych, *Teledetekcja Środowiska*, nr. 32, W-wa.
- Mrólz M., Szumiło M., 2005. Metody i podejścia stosowane w integrującym przetwarzaniu obrazów teledetekcyjnych pozyskanych za pomocą różnych sensorów, *Acta Scientiarum Polonorum* 4(1), s. 17-28, Geodezja i Kartografia, Wrocław.
- Mularz S., Pirowski T., 2006. Aspekty metodyczne integracji danych teledetekcyjnych w oparciu o metodę IHS i jej modyfikacje. *Zeszyty naukowe AGH, „Geodezja”*, T.12, z.2, cz.1, s. 330-332.
- Munehika C. K., Warwick J. S., Salvaggio C., Schott J. R., 1993. Resolution enhancement of multispectral image data to improve classification accuracy, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 59, No. 1, s. 67-72.
- Osińska-Skotak K., 2006, Potencjał interpretacyjny zdjęć wysokorozdzielczych – wpływ metody łączenia danych MS i PAN na wartość interpretacyjną zdjęć VHR, *Materiały Sesji Naukowej z okazji 85-lecia Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej*, 161-174, ISBN: 83-727-623-5.
- Osińska-Skotak K., 2012, Ocena przydatności różnych metod integracji obrazów panchromatycznych i wielospektralnych w odniesieniu do zobrazowań WorldView-2. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 24, s. 231-244; Warszawa.
- Pirowski T., 2006. Integracja danych teledetekcyjnych pochodzących z różnych sensorów - propozycja kompleksowej oceny scalonych obrazów. *Geoinformatica Polonica*, z. 8, s. 78-87, Kraków.
- Pirowski T., 2009: Ranking metod integracji obrazów teledetekcyjnych o różnej rozdzielczości – ocena formalna scalenia danych Landsat TM i IRS-PAN, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 20, s. 343-357.
- Pirowski T., 2010: Ranking metod integracji obrazów teledetekcyjnych o różnej rozdzielczości – ocena walorów fotointerpretacyjnych scalenia danych Landsat TM i IRS-PAN, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 21, s. 327-340.

- Pirowski T., Bobek G., 2007: Podwyższanie rozdzielczości przestrzennej obrazów wielospektralnych IKONOS – statystyczne i wizualne porównanie wyników otrzymanych różnymi formułami, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17b, s. 649-660.
- Pradines D., 1986. Improving SPOT images size and multispectral resolution, *Proceedings of the S.P.I.E. Earth Remote Sensing using Landsat Thematic Mapper and SPOT Systems*, Innsbruck, Austria, 15-17 April, Vol. 660, s. 98-102.
- Price J. C., 1987. Combining panchromatic and multispectral imagery from dual resolution satellite instruments, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 21, s. 119-128.
- Ranchin T., Wald L., 2000. Fusion of high spatial and spectral resolution images: the ARSIS concept and its implementation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 66., s. 49-61.
- Richards J. A., Jia X., *Remote Sensing Digital Image Analysis An Introduction*, Springer-Verlag 2006.
- Shettigara V. K., 1992. A generalized component substitution technique for spatial enhancement of multispectral images using a higher resolution data set, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 58, No. 5, s. 561-567.
- Wiemker R., Prinz B., Meister G., Franck R., Spitzer H., 1998. Accuracy assessment of vegetation monitoring with high spatial resolution satellite imagery. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 32, Part 7, s. 285-292.
- Zhang J., 2010; Multi-source remote sensing data fusion: status and trends; *International Journal of Image and Data Fusion*; s. 5-24.
- Zhang Y., 1999. A new merging method and its spectral and spatial effects, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 20, No. 10, s. 2003-2014.

SELECTION AND PROCESSING OF THE SPATIAL ENHANCED MULTISPECTRAL LANDSAT TM IMAGES – COMPARISON BETWEEN THE RESULTS FROM MERGED AND SOURCE DATA

KEY WORDS: fusion of remotely-sensed images, LANDSAT, IRS, image data processing, information content of color composites

Summary

The paper presents results of merging lower-resolution spectral data (Landsat, 30m) with panchromatic images of higher spatial resolution (IRS 5.8m).

During the first stage of the research, thirty methods of merging satellite data (including their variants) have been tested. The first assessment was based on statistical measures covering spectral distortion and spatial enhancement of pansharpened images. The second assessment was based on the color composite factors essential for photo interpretation. Comparing both obtained ranks of methods revealed substantial differences in their assessed spectral distortion. On the other hand, there appeared similarities in the obtained values for the spatial enhancement of pansharpened images. The reasons of such discrepancies were defined. The research allowed appointing the HPF (*High Pass Filter*) and LCM (*Local Correlation Modeling*) methods as the best according to the tested factors.

In the second part of the research, the applicability of the selected methods was tested. Information content of color composites was analyzed as well as thresholding and band ratioing. In the tests there were used images fused through five merging methods: HPF, LCM, IHS (*Intensity, Hue, Saturation*),

PCA (*Principal Components Analysis*) and WMK (based on band ratioing and having specific photo interpretation features).

The findings of the research suggest that none of the merging algorithms provide universal solution. Depending on the data processing technique used, the best results are based on images obtained from various integration methods. It means that the method ranks do not correspond with method applicability. Methods appointed as the best ones obtain poor results in some tests and methods which came low in the rank received high rank in some tests. If this conclusion becomes confirmed, it might be necessary to revise the assessment methods of merged images.

Dane autorów:

Dr inż. Tomasz Pirowski
e-mail: pirowski@agh.edu.pl
telefon: +48 12 617 22 88

Mgr inż. Grzegorz Szczasiuk
e-mail: grzesiekeko@wp.pl