



Wykorzystanie transformacji falkowej do oceny spadku jakości radiometrycznej w procesie mozaikowania ortofotomapy

KRYSTIAN PYKA

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Katedra Geoinformacji,
Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska, 30-059 Kraków, Al. Mickiewicza 30
krisfoto@agh.edu.pl

Streszczenie. Przedmiotem pracy jest wykorzystanie transformacji falkowej do ilościowej oceny degradacji kontrastu, jaki ma miejsce podczas kompilowania ortofotomapy z ortoobrazów. Jest to problem rzadko podejmowany, a tymczasem w sytuacji masowego wykorzystywania ortofotomapy coraz większej wagi nabiera ocena jakości, także radiometrycznej. W pracy wyjaśniono przyczyny spadku kontrastu przy mozaikowaniu. Następnie pokrótce scharakteryzowano transformację falkową, przedstawiając istotę zachowania wariancji podczas dekompozycji. Dla kontrastu krytyczne znaczenie mają wariancje komponentów detalicznych. Badania polegały na obserwacji wariancji podczas dekompozycji ortofotomap i źródłowych ortoobrazów. Przebadano 26 przypadków. We wszystkich widoczny był spadek wariancji, ale tylko w czterech skutki rozmycia krawędzi były wykrywane przez obserwatora. Wyniki potwierdziły możliwość wnioskowania o jakości radiometrycznej na podstawie badania wariancji komponentów. W obecnym stadium badań wskaźniki falkowe mają głównie charakter porównawczy.

Słowa kluczowe: geodezja i kartografia, ortofotomapa, jakość radiometryczna, transformacja falkowa

1. Wprowadzenie

Ortofotomapa cyfrowa jest obecnie podstawowym produktem fotogrametrycznym, zarówno w ujęciu globalnym jak i krajowym. W Polsce ortofotomapy są zamawiane w ramach projektów inicjowanych przez instytucje publiczne centralne i samorządowe, jak również przez sektor prywatny. W geoportalach udostępnianie

ortofotomapy jest powszechne, a konkurencja powoduje wymianę materiałów na aktualniejsze i o lepszej rozdzielczości. Formalnym uznaniem znaczenia ortofotomapy jako wiodącego produktu geoinformatycznego jest wpisanie jej na listę tematów regulowanych przez Dyrektywę INSPIRE — ortoobrazy zostały wymienione jako jeden z czterech tematów w aneksie II (łącznie w trzech grupach Dyrektywa wymienia 34 tematy).

Termin jakość radiometryczna obrazów jest często używany w literaturze, pomimo że nie został do tej pory jednoznacznie zdefiniowany, a przez to musi być interpretowany kontekstowo. W teledetekcji jakość radiometryczna oznacza dokładność pomiaru luminancji energetycznej badanych obiektów. W fotogrametrii istotne jest zachowanie zróżnicowania promieniowania elektromagnetycznego odbijanego przez obiekty, a nie wartość bezwzględna promieniowania. Dlatego w fotogrametrii jakość radiometryczna jest rozumiana jako stopień spełnienia przez obraz (o określonej rozdzielczości geometrycznej) warunków kształtujących jego przydatność do interpretacji treści, takich jak: optymalne wykorzystanie rozdzielczości radiometrycznej, kontinuum jasności i tonacji obrazu, odpowiedni dla wyróżnienia detali kontrast lokalny, akceptowalny poziom szumów, brak efektów sztucznych (nieuzasadnionych treścią obrazu źródłowego), stałość barw w obrębie całego obrazu dla wszystkich obiektów, które powinny podobnie odbijać promieniowanie elektromagnetyczne rejestrowane przez sensor, zachowanie naturalnej tonacji obiektów rzeczywistych [12]. Dla ścisłości należy dodać, że powinno się w takim wypadku mówić o jakości fotometrycznej, jednakże w literaturze fotogrametrycznej powszechnie stosuje się ogólniejszy termin — jakość radiometryczna.

Jednym z trudniejszych do spełnienia warunków wysokiej jakości radiometrycznej jest zapewnienie jednolitości tonalnej i kontrastu dla obiektów tego samego rodzaju, ale położonych w różnych miejscach obrazu. Stopień trudności rośnie, gdy warunek rozszerzymy na blok zdjęć fotogrametrycznych. Wówczas konieczne są zabiegi ujednociające zespół zdjęć, zwane normalizacją radiometrii [2]. Ale koszt tych zabiegów może doprowadzić do spadku jakości ortomozaiki w stosunku do obrazów źródłowych. Zjawisko to jest znane, ale wobec braku możliwości jego zmierzenia jest po prostu ignorowane.

Praca prezentuje możliwość ilościowej oceny spadku jakości podczas mozaikowania przy wykorzystaniu transformacji falkowej. Choć transformacja ta jest stosowana w przetwarzaniu obrazów dopiero od kilkunastu lat, już posiada szerokie pola aplikacyjne, wśród których warto wymienić: kompresję obrazów [1, 6], integrację obrazów o różnych rozdzielczościach geometrycznych [7], mozaikowanie obrazów [15] oraz wykrywanie szumów obrazowych [8, 10, 11, 13]. Wykorzystanie transformacji falkowej dla potrzeb wnioskowania o zmianach jakości radiometrycznej podczas przetwarzania obrazów zostało zaproponowane w monografii [9], której kontynuację stanowi niniejsza praca.

2. Czy ortofotomapa może być jednolita tonalnie?

Technologia opracowania ortofotomapy systematycznie się udoskonala. Coraz powszechniejsze stosowanie lotniczych kamer cyfrowych podniosło jakość ortofotomapy, zarówno pod względem geometrycznym jak i radiometrycznym. Przełamywane są dotychczasowe bariery technologiczne, rośnie skuteczność automatyzacji. Aerotriangulacja pozostaje kluczowym etapem technologicznym, ale staje się coraz bardziej przewidywalna i szybciej dochodzi się do stabilnych wyników. Nowoczesne oprogramowanie oraz coraz lepsze parametry sprzętu komputerowego pozwalają na mozaikowanie kilkuset ortoobrazów w jednym procesie. Po wprowadzonej modyfikacji najpopularniejszy format georeferencyjnych plików obrazowych — GeoTIFF — pokonał dotychczasową granicę objętości obrazów wynoszącą 4 GB. W efekcie nowoczesne linie produkcyjne tworzą tak duże mozaiki, jak to jest możliwe ze względów technologicznych, a potem, wtórnie, następuje podział na arkusze ortofotomapy, zgodne z przyjętym krojem kartograficznym [3].

Naszkiecowane powyżej trendy rozwojowe w produkcji ortofotomapy niosą pewne niebezpieczeństwo. Łączenie wielu ortoobrazów w jedną mozaikę przy jednoczesnym dążeniu do uzyskania produktu jednolitego tonalnie powoduje nieuniknione straty jakości radiometrycznej. Objawiają się one niższym kontrastem detali w ortomozaice w stosunku do pojedynczych ortoobrazów.

Różnice tonalne tych samych obiektów odwzorowanych na fotogrametrycznych zdjęciach lotniczych są uzasadnione przez prawa fizyki. Niewiele jest obiektów odbijających promieniowanie słoneczne w sposób lambertowski. Nawet jeśli odbijane przez obiekt promieniowanie ma taką samą luminację energetyczną w każdym kierunku, to przecież pada ono na przemieszczający się sensor pod różnymi kątami [14]. Wymieniając przyczyny nieuniknionych różnic naświetlenia kolejnych zdjęć, nie sposób pominąć wpływu ukształtowania terenu. Obiekty tego samego typu odwzorowane w różnych miejscach zdjęcia mają prawo znacznie różnić się jasnością i nasyceniem barwy. Dodajmy jeszcze wpływ różnic oświetlenia wynikający ze zmiany położenia Słońca, zmieniający naświetlenie zdjęć w sąsiednich szeregach. Skoro tak jest, to dążenie do „idealnej” zgodności tonalnej ortoobrazów, z których kompilowana jest ortofotomapa, jest nieracjonalne. Świadomość tych faktów jest znacznie silniejsza u wykonawców ortofotomapy niż u jej odbiorców. Dlatego prawie wszyscy zamawiający ortofotomapę oczekują produktu jednolitego tonalnie. Tym samym wyżej stawiają walory czysto estetyczne nad użytecznymi. Co z tego, że ortofotomapy zestawione jedna obok drugiej wyglądają tak jakby były wykonane z jednego zdjęcia. Znacznie ważniejsze jest, czy potrafimy zidentyfikować drobne szczegóły, które są widoczne dopiero przy wyświetlaniu ortofotomapy w odpowiednio dużej skali. Mniejszym złem jest różnica tonalna w miejscu łączenia niż zatrącenie wyrazistości detali po obu stronach tej linii. Niestety środowisko fotogrametryczne zbyt mało uwagi przykładają do przekonania zamawiających

i odbiorców, że ortofotomapa nie jest plakatem, lecz mapą poglądową, która ma zapewnić najlepszą w danych warunkach czytelność treści.

Skoro jednolitość tonalna ortofotomapy i zachowanie jakości radiometrycznej poszczególnych ortoobrazów są w istocie warunkami sprzecznymi, to pozostaje dążenie do kompromisu. Ale aby kompromis miał charakter obiektywny, powinien opierać się na ilościowych miarach jakości radiometrycznej. Jak wykazano w [9], korzystną przestrzeń analizy jakości radiometrycznej tworzy transformacja falkowa.

3. Mozaikowanie jako powód spadku jakości radiometrycznej

Mozaikowanie ortofotomapy polega na łączeniu ortoobrazów uzyskanych z ortorektyfikacji sąsiednich zdjęć w większe segmenty obszarowe. W klasycznym rozumieniu celem mozaikowania jest wypełnienie powierzchni wyznaczonej przez arkuszowy podział map dla określonej skali. Mozaikowania można uniknąć tylko w przypadku prawidłowo wykonanych zdjęć celowanych. Jest to jednak w warunkach polskich przypadek teoretyczny, jako że zdjęcia są celowane względem jednego układu współrzędnych, a każde opracowanie w innym układzie wiąże się z mozaikowaniem.

Coraz popularniejsze wykorzystanie ortofotomapy jako mapy podkładowej w GIS, widoczne zwłaszcza w portalach internetowych, zmienia cel mozaikowania — jest nim uzyskanie „superortofotomapy” o możliwie jak największym zasięgu obszarowym. Wielkość takiej ortofotomapy, liczona w pikselach, często determinują wymagania o podłożu informatycznym, wynikające z podziału obrazu na segmenty o rozmiarach limitowanych całkowitą potęgą liczby 2 (np. 512×512). W takiej sytuacji traci na znaczeniu kartograficzny podział na arkusze. Ale nawet wtedy gdy bezpośrednim celem jest wykonanie ortofotomapy arkuszowej, w praktyce produkcyjnej wprawdzie wykonuje się „superortofotomapy”, a później dzieli się je na pliki odpowiadające arkuszom (wzmiankowano o tym w rozdz. 2).

Ograniczmy chwilowo rozważania do teoretycznego przypadku, gdy ortofotomapa tworzona jest sukcesywnie arkusz po arkuszu i nie ma wymogu zachowania jednolitości tonalnej pomiędzy sąsiednimi ortofotomapami. Załóżmy dla uproszczenia, że mozaikowaniu podlegają dwa ortoobrazy. Przyjmijmy także, że linie łączenia są wybierane zgodnie z najlepszymi praktykami. W takich okolicznościach mogą wystąpić dwa przypadki mozaikowania.

Pierwszy dotyczy sytuacji, gdy ortoobrazy są wystarczająco zbliżone tonalnie i zachowujemy ich histogramy jasności. Nigdy jednak piksele ortoobrazów stykające się na linii łączenia nie będą miały identycznej jasności. Różnice z reguły mają charakter systematyczny — np. jeden z ortoobrazów jest jaśniejszy albo ma barwy bardziej nasycone. Nawet drobna, ale systematyczna różnica radiometryczna jest z reguły widoczna dla oka ludzkiego, gdyż system wzrokowy człowieka jest bardzo wyczulony na nieciągłości tonalne. Aby zminimalizować wrażenie nieciągłości,

łagodzi się przejście od tonalności jednego ortoobrazu do drugiego. Zabieg ten, przypominający stosowane w kartografii uzgadnianie styków, dokonuje się w buforze wzdłuż linii łączenia. Tak uzyskana ortofotomapa będzie dla oka ludzkiego poprawna, aczkolwiek w strefie wokół linii łączenia występuje spadek kontrastu w stosunku do tego, jaki ma miejsce na poszczególnych ortoobrazach.

Omówmy drugi z możliwych, w opisanych wyżej okolicznościach, przypadków mozaikowania, czyli taki, w którym różnice tonalne pomiędzy ortoobrazami są zbyt duże i konieczny jest zabieg ujednolicenia. Wpierw należy podjąć decyzję o sposobie zniwelowania różnicy. Wybierzmy scenariusz, w którym jeden z ortoobrazów jest poprawny, a drugi ma podlegać korekcji radiometrycznej. Na podstawie zbioru porównywanych jasności w pobliżu planowanej linii łączenia (dla obrazu barwnego osobno w kanałach RGB) określane są współczynniki funkcji przejścia z jasności pierwotnej na skorygowaną. Jako model dopasowania radiometrycznego przyjmuje się funkcję liniową albo potęgową, co przedstawiają wzory (1)-(2).

$$g'(x, y) = Ag(x, y) + B, \quad (1)$$

$$g'(x, y) = Ag^\gamma(x, y) + B, \quad (2)$$

gdzie: $g(x, y)$, $g'(x, y)$ — jasności pikseli ortoobrazu oryginalne i po korekcji;
 A i B — współczynniki wyznaczone na podstawie zbioru dopasowywanych jasności (współczynnik γ jest z reguły zdeterminowany przez operatora, może być także wyznaczony z układu równań rozpisanego dla pikseli o porównywanych jasnościach).

Dopasowanie radiometryczne może powodować obniżenie jakości radiometrycznej korygowanego ortoobrazu. Wymieńmy kilka możliwych przyczyn obniżenia jakości. Jeśli dla modelu liniowego (1a) współczynnik A będzie mniejszy od jedności, wówczas następuje tzw. zawężenie histogramu, co musi skutkować zmniejszeniem kontrastu w detalach obrazu ($\Delta g' < \Delta g$). Jeśli $g'(x, y) > g(x, y)$, a w okolicach łączenia występują „światła”, wówczas może dojść do sytuacji, w której człowiek nie będzie widział detali, które były wyróżnialne na źródłowym ortoobrazie (skrajnym przypadkiem jest osiągnięcie przez piksele maksymalnej wartości jasności, co dla zapisu 8-bitowego wynosi 255). Sytuacja komplikuje się jeszcze bardziej dla obrazów barwnych. Aplikowanie korekcji według funkcji (1a, b) osobno dla komponentów R, G, B, a tak postępują narzędzia informatyczne używane do mozaikowania, powoduje zniekształcenie proporcji między nimi, a skutkiem tego jest tworzenie barw sztucznych, niewystępujących w obrazowanej scenie.

Wróćmy do sytuacji zachodzącej przy współczesnym mozaikowaniu o wymiarze produkcyjnym. Przypomnijmy, że do takiego mozaikowania wchodzi wiele — kilkanaście, kilkadziesiąt, a nawet więcej ortoobrazów. Wtedy szybko rośnie prawdopodobieństwo zawężania histogramów, nadmiernego rozjaśniania „światel”,

przyciemniania „cieni”, tworzenia nowego, często sztucznego układu składowych R, G, B. Są to właśnie powody obniżenia jakości radiometrycznej.

4. Wybrane właściwości transformacji falkowej

Transformacja falkowa wykazuje pewne cechy wspólne z ogólnie znaną transformacją Fouriera i dlatego jest często z nią porównywana. W transformacji Fouriera kombinacja liniowa funkcji sinus i kosinus tworzy reprezentację częstotliwościową sygnału, która jest z powodzeniem wykorzystywana do analiz globalnych sygnału (obraz można traktować jak sygnał dwuwymiarowy). Transformacja falkowa w odróżnieniu od Fouriera posiada dwa parametry: skalę i czas (w przypadku obrazów parametr czasu odpowiada miejscu w obrazie). Dlatego transformacja falkowa jest reprezentacją częstotliwościowo-czasową i nadaje się do analiz lokalnych [5, 9].

Bardzo ważną właściwością falek jest możliwość konstruowania reprezentacji falkowej w kolejnych skalach, o stopniowo zmieniającej się rozdzielczości. Taka rekurencyjna dekompozycja nazywana jest analizą wielorozdzielczą. Dzięki temu falki pozwalają odtwarzać sygnał przez różne sumy rozwinięć falkowych, a przez to uzyskiwać aproksymacje sygnału z różnymi dokładnościami.

Uogólnienie teorii falek na sygnały dwuwymiarowe podał Mallat w fundamentalnej dla zastosowań obrazowych pozycji *A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation* [4]. W rozwinięciu falkowym obrazu występują trzy typy detali, określane odpowiednio jako detal pionowy, poziomy i przekątny. Symboliczny zapis rozwinięcia falkowego obrazu przedstawionego według rozwinięcia Mallata ujmuje poniższa formuła, która została zapisana do drugiego poziomu rozdzielczości:

$$g(x, y) \Leftrightarrow \{g_{1,0}, g_{1,1}, g_{1,2}, g_{1,3}\} \Leftrightarrow \{g_{2,0}, g_{2,1}, g_{2,2}, g_{2,3}, g_{1,1}, g_{1,2}, g_{1,3}\} \Leftrightarrow \dots, \quad (3)$$

lub w postaci ogólnej:

$$g(x, y) \Leftrightarrow \{g_{R,0}, g_{r,d}\}_{r,d}, \quad \text{gdzie } r = 1, \dots, R; d = 1, 2, 3,$$

gdzie: $g(x, y)$ — sygnał oryginalny, umownie określany jako zerowy poziom rozdzielczości;

$g_{1,0}$ — komponent zgrubny dla poziomu rozdzielczości $r = 1$;

$g_{1,0}, g_{1,2}, g_{1,3}$ — detale: pionowy, poziomy i przekątniowy dla poziomu rozdzielczości $r = 1$;

$g_{2,0}$ — komponent zgrubny dla poziomu rozdzielczości $r = 2$;

$g_{2,1}$ — dodać detale... dla poziomu rozdzielczości $r = 2$;

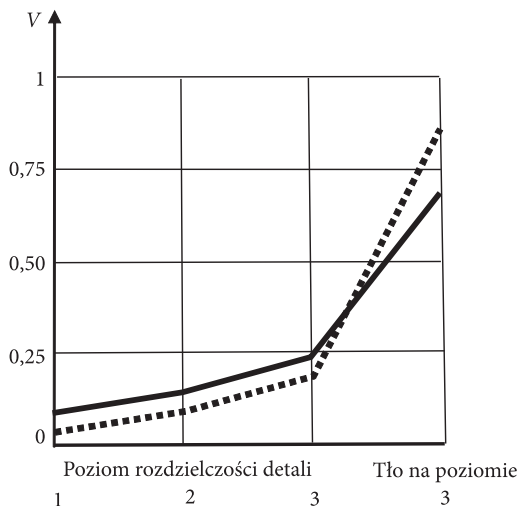
wyraża wzajemną równowagę podanych reprezentacji sygnału.

Transformacja falkowa, podobnie jak transformacja Fouriera, zachowuje energię obrazu [5]. Pozwala to sformułować równanie (4), pokazujące, że przy każdej dekompozycji jest zachowana wariancja znormalizowana [9, 11].

$$1 = \frac{V(g_{R,0})}{V(g)} + \sum_{r=1}^R \sum_{d=1}^3 \frac{V(g_{r,d})}{V(g)}. \quad (4)$$

Z równania (4) możemy odczytać, jaka część energii obrazu jest skupiona w poszczególnych komponentach falkowych. Komponent zgrubny (sygnalizowany we wzorach indeksem 0) można interpretować jako tło obrazu, a komponenty detaliczne — jako krawędzie obrazu. Jest to pewne uproszczenie, bo w komponentcie zgrubnym na pierwszym poziomie rozdzielczości tkwią jeszcze krawędzie obrazu, ale stopniowo zanikają z kolejnymi dekompozycjami. Jeśli dokonamy dekompozycji na kilku poziomach rozdzielczości, to dowiemy się, jaką rolę odgrywają krawędzie w obrazie, czy są silne, czy też szybko ulegają stłumieniu. Jeśli w obrazie jest dużo krawędzi o silnym kontraście lokalnym, wówczas przełoży się to na większą wartość wariancji komponentów detalicznych. Wariancje komponentów detalicznych można interpretować jako sumę kontrastów lokalnych i nazwać je kontrastami falkowymi. Ilustruje to rysunek 1, przedstawiający teoretyczny przebieg równania (4) dla dwóch obrazów tej samej sceny, z których jeden ma silniejszy kontrast od drugiego.

Równanie (4) wykorzystano do badania, jak zmieniła się relacja pomiędzy tłem obrazowym a krawędziami podczas przekształceń radiometrycznych prowadzonych dla potrzeb mozaikowania (istota tych przekształceń została opisana w rozdziale 3).



Rys. 1. Przebieg równania zachowania wariancji dla obrazu o mocniejszym kontraście falkowym (linia ciągła) i słabszym (linia przerywana)

5. Badania

W badaniach wykorzystano ortoobrazy i ortofotomapy wykonane przez firmę produkcyjną. Materiałem źródłowym były zdjęcia lotnicze z kamery cyfrowej DMC. Piksel ortoobrazów wynosił 10 cm, tyle samo co średni rozmiar terenowy pikseli zdjęć.

Badania zaplanowano tak, aby miały formę kontroli jakości radiometrycznej materiału opracowanego w cyklu produkcyjnym, z naciskiem na monitorowanie zmian kontrastu. Po przejrzaniu materiału złożonego z ortoobrazów i ortofotomap, do prac badawczych wskazano 20 ortofotomap „produkcyjnych”, wykonanych przy pomocy oprogramowania ImageStation Ortho Pro (firmy Intergraph) i OrthoVista (firmy Info). Dodatkowo, dla potrzeb badawczych, opracowano trzy ortofotomapy na stacji fotogrametrycznej SocetSet, ale korzystając z wykonanych produkcyjnie ortoobrazów. Każda z ortofotomap dodatkowych była opracowana w dwóch wariantach, co stworzyło sześć zestawów badawczych. W jednym wariantcie wykorzystywano mozaikowanie z równoczesną korekcją radiometryczną, a w drugim mozaikowanie było poprzedzone wcześniejszym wyrównaniem radiometrycznym ortoobrazów przy pomocy funkcji Image Balancing Dodger.

Bezpośrednio do badań posłużyły fragmenty ortoobrazów i ortofotomap wybierane w okolicy linii mozaikowania. Wpierw zaznaczano na tle ortofotomapy prostokąty o bokach nieco większych od 100 m, a następnie wycinano z ortoobrazów i ortofotomapy identyczne subobrazy badawcze. W ten sposób uzyskano próbki badawcze, które później przycinano do wielkości 1024^2 pikseli, gdyż transformacja falkowa wymaga, aby obrazy miały wielkość równą naturalnej potęgze liczby 2. Dla każdej próbki generowano transformację falkową na trzech poziomach rozdzielczości, tworząc dekompozycje o wielkości 512^2 , 256^2 , 128^2 . Na podstawie zbioru transformat liczono współczynniki równania zachowania wariancji (4), co uczyniono dla wszystkich 26 przypadków. Współczynniki uzyskane dla wybranych próbek przedstawiono w tabeli 1.

Zdecydowano podać tylko wyniki dla trzech próbek spośród wszystkich badanych, gdyż w sposób reprezentatywny demonstrują problem spadku jakości radiometrycznej. Wszystkie bez wyjątku wyniki wskazują na prawidłowość polegającą na tym, że ortofotomapa ma mniejsze wariancje dla detali, a większe dla komponentu zgrubnego (tła) w stosunku do obu ortoobrazów. Świadczy to jednoznacznie o spadku jakości radiometrycznej — energia obrazu przesuwana się w stronę tła kosztem krawędzi. Jednakże aż w dziewięciu przypadkach nie sposób wizualnie zauważyć spadku jakości nawet przy teoretycznie najkorzystniejszym powiększeniu zachodzącym, gdy 1 piksel obrazu jest wyświetlany na 2 plamkach monitora [9]. Skoro straty jakości nie są wykrywane przez oko ludzkie, to należy uznać je za zanedbywalne, czyli w konkluzji trzeba orzec, że jakość nie budzi zastrzeżeń. Natomiast w czterech przypadkach straty są widoczne dla oka, przy czym

TABELA 1

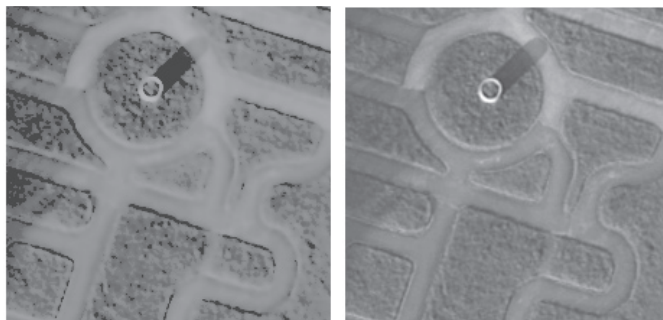
Zestawienie współczynników równania zachowania wariancji dla wybranych próbek badawczych

Lp.	Charakterystyka badanej próbki	Rodzaj produktu	Wariancje względne			
			detale			tło
			poziom rozdzielczości R			
			1	2	3	3
1	Typowy przypadek 1	ortofotomapa	0,038	0,090	0,091	0,781
		ortoobraz 1	0,048	0,095	0,103	0,754
		ortoobraz 2	0,046	0,098	0,105	0,751
2	Typowy przypadek 2	ortofotomapa	0,031	0,068	0,083	0,818
		ortoobraz 1	0,037	0,070	0,085	0,808
		ortoobraz 2	0,036	0,071	0,084	0,809
3	Największy wykryty spadek jakości	ortofotomapa	0,008	0,035	0,058	0,899
		ortoobraz 1	0,029	0,069	0,074	0,828
		ortoobraz 2	0,027	0,070	0,073	0,831

w jednym przypadku bardzo wyraźnie (co ilustruje rysunek 2), a w pozostałych dopiero przy opisanych powyżej najkorzystniejszych warunkach obserwacji. Jednakże wszystkie trzy przypadki mają to do siebie, że wariancje względne detali dla ortofotomapy są co najmniej dwukrotnie mniejsze od wariancji ortoobrazów na pierwszym poziomie rozdzielczości, potem różnica wariancji zmniejsza się wraz ze wzrostem poziomu rozdzielczości, osiągając dla poziomu trzeciego wielkość względną rzędu 10%. Podane wartości można uznać za wskaźniki istotnej straty jakości radiometrycznej z zastrzeżeniem, że wartości liczbowe dotyczą badanego materiału.

Spośród czterech przypadków nadmiernego spadku jakości na bliższe omówienie zasługuje przypadek skrajny, dla którego wyniki podano w tabeli 1 w pozycji 3. Po zbadaniu stwierdzono, że dotyczy sytuacji, w której zaistniała konieczność wykorzystania tzw. „dolotek”, czyli zdjęć wykonanych w innym terminie. W czasie wykonania zdjęć uzupełniających oświetlenie było wyraźnie słabsze, prawdopodobnie było pełne zachmurzenie wysokimi chmurami. Zdjęcia wykonane dodatkowo miały bardzo szeroki zakres jasności, prawie w pełni wykorzystujący przedział od 0 do 255. Tym samym bardzo różniły się od pozostałych zdjęć użytych w projekcie. Nie pasowały tonalnie do pozostałych i przy mozaikowaniu ortoobrazu z nalotu podstawowego i z „dolotki” dokonano silnej zmiany histogramów obu obrazów. W efekcie uzyskano rezultat pokazany na rysunku 2.

Przyczyny spadku jakości dla pozostałych próbek badawczych ocenionych negatywnie leżały w zbyt dużej różnicy tonalnej pomiędzy łączonymi ortoobrazami,



Rys. 2. Spadek kontrastu falkowego (obraz z lewej) wskutek konieczności dopasowania tonalnego

wśród których jeden miał tonację zanadto zaniebieszczoną, a drugi zbyt zazielenioną. Z pewnością działania na histogramach (rozciąganie, zawężanie, korekcja gamma, translacja) „ukryte” w narzędziach do wyrównania tonalnego doprowadziły do poprawnego dla oka ludzkiego efektu. Natomiast ubocznym skutkiem jest spadek wyrazistości detali (np. gorsza widoczność kraterów ściekowych na jezdni, zanikanie śladów orki na polach). Co ciekawe jednym z przypadków ocenionych negatywnie był wykonany w SocetSet z funkcją Image Balancing Dodger. Działanie tej funkcji jest w odbiorze obserwatorów bardzo pozytywne. Jednak w przypadku gdy ujednolicone zostały fragmenty o dużej różnicy tonalnej, ujawnił się uboczny efekt w postaci rozmycia krawędzi kształtujących rysunek takich obiektów jak: krawężniki, naziemna armatura techniczna, przyziemia budynków, warzywa na polach.

6. Podsumowanie

Wobec dużego znaczenia ortofotomapy dla systemów informacji przestrzennej, konieczna jest obiektywizacja oceny jakości radiometrycznej. Celem poznawczym pracy było sprawdzenie, w jakim stopniu analiza zmian wariancji obrazu podczas dekompozycji falkowej może być podstawą oceny straty jednego z ważniejszych elementów jakości radiometrycznej, jakim jest kontrast obrazu. Celem ubocznym było zwrócenie uwagi na nieracjonalność wymogu stawianego opracowaniom ortofotomapy w postaci oczekiwania produktu jednolitego tonalnie.

Analiza zachowania się wariancji podczas dekompozycji falkowych opisuje zmianę kontrastów w obrazach. Jeśli obrazy nie zawierają szumów przypadkowych, wówczas wariancje detali powinny rosnąć na kolejnych poziomach rozdzielczości. Taki efekt uzyskano dla przebadanego materiału testowego, co potwierdza opinie o bardzo dobrej jakości zdjęć wykonanych kamerami cyfrowymi. Wyniki analityczne potwierdzają osłabienie kontrastów ortofotomapy w stosunku do ortoobrazów, z których jest montowana. Nie zawsze jednak osłabienie kontrastu jest na tyle duże,

że powoduje utratę informacji pozyskiwaną na drodze fotointerpretacji. W wyjaśnieniu tego zjawiska pomocna jest analogia do idei kompresji stratnej. Polega ona na takim usunięciu detali z obrazu, aby człowiek nie był w stanie zauważyć różnicy. Zatem wskaźniki osłabienia oparte na falkach są bardzo czułe na niewielkie zmiany i konieczne jest ustalenie progów uznających zmiany za zbyt duże. W pracy dokonano takiej waloryzacji, ale tylko dla jednego materiału badawczego. Nie pozwala to na uogólnienie wyników. Konieczne są badania na znaczących statystycznie próbkach badawczych, pozyskanych różnymi kamerami i przetwarzanymi przez niezależne zespoły z wykorzystaniem różnego oprogramowania.

Artykuł wpłynął do redakcji 5.07.2010 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w czerwcu 2010 r.

LITERATURA

- [1] R. W. BUCCIGROSSI, E. P. SIMONCELLI, *Image compression via joint statistical characterization in the wavelet domain*, IEEE Trans. on Image Processing, 8, 1999, 1688-1701.
- [2] P. JUN, W. MI, L. DEREN, *Auto-detection of heterogeneous areas in radiometric normalization*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 37, Part B4, Beijing, 2008, 783-786.
- [3] M. MADANI, *Today's Orthophoto Production — The Business Model*, Photogrammetric Week, 2007.
- [4] S. MALLAT, *A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation*, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 11, 1989, 674-693.
- [5] S. MALLAT, *A Wavelet Tour of Signal Processing*. Academic Press, 1998.
- [6] C. MULCAHY, *Image Compression Using The Haar Wavelet Transform*, Spelman College Science & Mathematics Journal, 1, 1, April 1997, 22-31.
- [7] G. PAJARES, J. M. DE LA CRUZ, *A wavelet-based image fusion tutorial*, Pattern Recognition 37, 2004, 1855-1872.
- [8] J. PORTILLA, V. STRELA, M. J. WAINWRIGHT, E. P. SIMONCELLI, *Image Denoising using Scale Mixtures of Gaussians in the Wavelet Domain*, IEEE Transactions on Image Processing, 12, 111, November 2003, 1338-135.
- [9] K. PYKA, *Falkowe wskaźniki zmian radiometrycznych zachodzących w procesie opracowania ortofotomapy*, UWND AGH, Kraków, 2005.
- [10] K. PYKA, *Zastosowanie transformacji falkowej do detekcji i usuwania szumów z danych rastrowych i pseudo-rastrowych*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 17, 2007.
- [11] K. PYKA, J. SIEDLIK, *The Use of Wavelets for Noise Detection in the Images taken by the Analog and Digital Photogrammetric Camera*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 37, part B1, 2008.
- [12] K. PYKA, *Jak ocenić jakość fotometryczną ortofotomapy?*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 19, 2009.
- [13] E. P. SIMONCELLI, E. H. ADELSON, *Noise removal via Bayesian Wavelet Coring*, Proceedings of 3rd IEEE International Conference on Image Processing, IEEE Signal Processing Society, Lausanne, Switzerland, 16-19 September 1996, 1, 1996, 379-382.

- [14] M. W. SUN, J. Q. ZHANGA, *Dodging research for digital aerial images*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 37, Part B4, Beijing, 2008.
- [15] G. S. YANG, H. L. ZHANG, *Optimal Image Mosaic Wavelet Method Based on Fuzzy Integral*, Proceedings of the Fifth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Dalian, 2006.

K. PYKA

The use of wavelets for evaluation of loss in radiometric quality in the orthophoto mosaicking process

Abstract. In the paper, the use of wavelet transformation for evaluation of loss in radiometric quality during orthophoto mosaic process is proposed.

The automation of the production and relatively low costs of development imply that the orthophotomap is one of the more important and probably the most popular geo-information technology product. Due to the global application of the orthophotomap, as it is particularly evident in case of web geoportals, the quality assessment becomes more and more important.

During the end stage of orthophoto production, the individual rectified images are assembled to form seamless mosaic. The process is executed with the aim to achieve mosaics with good radiometric quality. Due to the different interpretation of the term: "radiometric quality", the question which image is good or better than other is difficult to rate. The human perception of the picture is very complex. At the first look on image, the slope of illumination and then the colour changes are detected. That is why during the mosaicking, feathering technique and radiometric balancing are applied. However, such techniques could result in loss of local contrast and small object could not be recognized from the background. This is why there is a need to look for the indicators of radiometric quality.

For some years, the discrete wavelet transformation has been used in the image processing. The wavelet transformation is regarded as the most effective method of lossy compression of multitoneal images [1, 6] and it is used in fusion of images [7], etc. The wavelet representation of the image can be also used for evaluation of the image radiometric quality, first of all the noise contents [8, 10, 11, 13]. In the paper, based on the studies, it has been proven that the analysis of the equation of preservation of image relative variance is a good indication of the local contrast preserving.

In the described research, the variance of wavelets components in 3D scale, for a set of orthophotomaps and orthoimages, was compared. The test material was taken from typical photogrammetric project in which the orthophotomaps from DMC images with GSD 10 cm was produced.

In all examined cases, loss of variance of orthophotomaps details' components in comparison to orthoimages has been noted. This result was expected: due to tonal balancing the edge contrast is reduced. The question is how significant the degradation for photointerpretation is? In 4 out of 26 cases, the degradation was significant for interpretation, for example some technical devices on the streets and some small plants were not recognizable.

The potential of wavelet transform applied for valuation of the part of radiometric quality has been proved in this study. In the current phase of researches, the results of wavelet indicators are mainly comparative — it is possible to estimate in which image there are better contrasts. Such researches should be carried out in the future, because unsatisfactory quality of the radiometric images reduces the interpretation value of the images, including orthophotomaps, so popular nowadays.

Keywords: geodesy and cartography, orthophotomap, radiometric quality, wavelets transform