

Józef Jachimski*, Sławomir Mikrut*

Wpływ kompresji JPEG na wykrywanie cech na obrazach cyfrowych**

1. Wprowadzenie

Opisywana w niniejszym artykule metoda analizy obrazów jest fragmentem szerszych badań prowadzonych w ramach grantu KBN 4 T12E 026 26 *Wpływ kompresji na dokładność określania użytków na podstawie obrazów wielospektralnych*.

Autorzy dokonali analizy wpływu kompresji JPEG na automatyczne wykrywanie cech na obrazach cyfrowych (*feature extraction*). Badano wykrywalność takich cech obrazu jak obiekty liniowe (krawędzie obiektów) oraz punkty definiowane jako przecięcie tych krawędzi. Oceny degradacji można dokonać wizualnie oraz analitycznie. Wizualna ocena dokonywana jest w przypadku, gdy mamy do czynienia z pracami, gdzie istotne znaczenie ma radiometria obrazu (np. cele interpretacyjne, publikacyjne itp.). Analityczna – gdy istotna jest geometria obrazu, jak to ma miejsce w przypadku prac fotogrametrycznych. W artykule skupiono się na miarach dostarczających informacji o geometrii obrazu. Na podstawie poprzednich badań (1, 2), wybrano miary analityczne oparte na statystyce. Wpływ kompresji badano na podstawie wybranych miar straty jakości takich jak średni błąd położenia punktu na obrazie po kompresji w stosunku do obrazu niekompresowanego oraz korelacja między tymi obrazami.

Badania były prowadzone na zobrazowaniach satelitarnych QuickBird. Analizowano obrazy poddane kompresji JPEG. Wykorzystano cztery kanały spektralne:

- 1) niebieski (B),
- 2) zielony (G),
- 3) czerwony (R),
- 4) podczerwony (IR).

Analizowano granice użytków rolnych oraz wpływ poszczególnych kanałów i kompresji na ich zmianę.

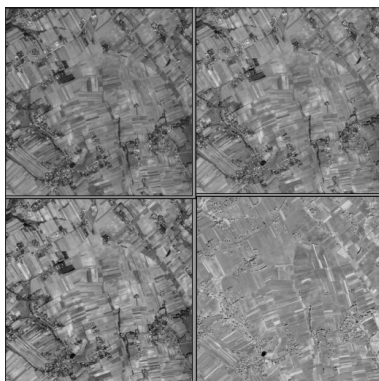
* Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

** Opracowano w ramach grantu KBN nr 4 T12E 026 26

2. Materiały i metody

2.1. Dane obrazowe

W badaniach wykorzystano jedną, reprezentatywną satelitarną scenę wielospektralną z rejonu Krakowa. Rozdzielczość przestrzenna piksela wynosi 2,4 metra (jeden piksel na obrazie odpowiada 2,4 m w terenie). Obraz satelitarny zarejestrowany 7 września 2003 roku zawiera cztery kanały spektralne. Do dalszych badań wybrano fragment sceny, gdzie znajdowały się obiekty podlegające analizie. Wielkość obrazu jest 1024 na 1024 piksele. Na rysunku 1 przedstawiono fragment sceny wybrany do badań w czterech zakresach spektralnych. Ponieważ oryginalne dane zapisane są na 12 bitach, po przeanalizowaniu histogramu zdecydowano na „obcięcie” danych do 8 bitów, ponieważ zakres ten w sposób wystarczający obejmuje badane obiekty (granice działek i użytków rolnych).



Rys. 1. Fragment obrazu QuickBird i analizowane cztery zakresy spektralne (lewy górny-niebieski, prawy górny-zielony, lewy dolny-czerwony, prawy dolny-podczerwony)

2.2. Charakter kompresji JPEG

Metoda kompresji JPEG jest znana od lat jako jedna ze skuteczniejszych. Jej cechą jest dobry współczynnik kompresji. Ma to znaczenie w takich dziedzinach jak fotogrametria, gdzie pojedyncze obrazy mają pojemność około 1 GB co dla średniego projektu zawierającego np. 2000 zdjęć stawia użytkownika przed problemem ogromnej przestrzeni dyskowej. Stąd od lat stosuje się kompresję JPEG pozwalającą na zmniejszenie objętości plików dzięki zastosowaniu kompresji stratnej, co jednak ma wpływ na jakość wykorzystanych obrazów.

Przyjęło się, że kompresja o stopniu nie większym niż 5:1 nie powinna wprowadzać dystorsji geometrycznych do obrazu. Rozróżniamy dwie techniki kompresji:

- 1) bezstratną,
- 2) stratną.

W kompresji stratnej, zwanej też nieodwracalną, dochodzi do bezpowrotnej utraty informacji. Powoduje to, że obraz zdekompresowany nie jest identyczny z oryginałem. Po-

nieważ w fotogrametrii mamy do czynienia głównie z obrazami tonalnymi, dla których kompresja bezstratna charakteryzuje się małą skutecznością, istnieje konieczność stosowania metod stratnych.

Istotą kompresji JPEG jest zapisywanie informacji radiometrycznych w przestrzeni częstotliwości. Obraz dzielony jest na bloki 8×8 pikseli. Następnie wykorzystywana jest dyskretna transformata cosinusowa DCT. Powstają wówczas nowe wartości w blokach, które dzielone są przez zdefiniowaną macierz kwantyzacji – tu następuje utrata informacji, ponieważ wartości otrzymane na wyjściu są zaokrąglane do liczb całkowitych i takie są zapisywane jako obraz po kompresji. Szczegóły działania algorytmu można znaleźć w literaturze [1, 4]. Obecnie oprócz klasycznej metody JPEG, powstała nowa oparta o funkcje falkowe i zwana JPEG2000.

2.3. Metody detekcji cech na obrazach cyfrowych

Spśród wielu metod detekcji cech na obrazach cyfrowych, wybrano metody oparte o analizy pozwalające na ekstrakcję z podpikselową dokładnością, z racji faktu, że celem autorów było określenie wpływu kompresji na geometrie obrazu (a dokładnie elementów obrazu mających wpływ na procedury automatycznego szukania krawędzi na obrazie). Przykłady metod detekcji cech można znaleźć w literaturze [1].

Feature Extraction Software

W badaniach wykorzystano autorskie oprogramowanie *Feature Extraction Software*, pozwalające na wykrywanie obiektów liniowych i punktowych z dokładnością podpikselową. Program pozwala na wykrycie zdefiniowanych krawędzi metodami podpikselowymi. Wykorzystuje do tego celu pierwszą i drugą pochodną obrazu cyfrowego.

Szczegółowy opis działania programu można znaleźć w literaturze [1].

Celem zastosowania metody drugiej pochodnej, obraz oryginalny poddano filtracji maską Gaussa. Jest to konieczne z racji faktu, że zobrazowania wykonywane z dużego pułapu satelitarnego charakteryzują się dość dużym zaszumieniem obrazu. Filtracja dolno-przepustowa pozwala „uśrednić” obraz, usuwając głównie pojedyncze „zakłócające” piksele, a mające duży wpływ na późniejszą podpikselową ekstrakcję.

Obrazy oryginalne i po kompresji JPEG, poddano więc filtracji wygładzającej (w programie Adobe Photoshop – opcja „Gaussian Blur”), a następnie w programie FES dokonano ekstrakcji krawędzi. Wyniki zaprezentowano w rozdziale 3.

2.4. Wskaźniki oceny straty jakości

Badaniem oceny straty jakości obrazów po kompresji zajmowało się już wielu autorów. Doświadczenia opublikowane w [1, 2, 3] pozwoliły zastosować miary, które dobrze oddają właściwości obrazu po kompresji w odniesieniu do detekcji wybranych cech obrazu (w naszym wypadku krawędzi użytków rolnych na obrazach fotogrametrycznych). Taką miarą przyjęto współczynnik korelacji dwóch obrazów oraz średni błąd położenia dobrze zdefiniowanego punktu na obrazie po kompresji w odniesieniu do obrazu oryginalnego (przed kompresją).

3. Wyniki badań

3.1. Kompresja obrazów metodą JPEG

Obrazy oryginalne poddano kompresji JPEG w programie Adobe Photoshop ver 6.0. Zakres stopnia kompresji mieści się w podawanym współczynniku z przedziału $0 \div 12$. Obrazy skompresowano współczynnikami 0, 4, 8, 10, 12. Wielkości plików po kompresji zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Zestawienie wielkości plików obrazu oryginalnego i po kompresji JPEG dla poszczególnych współczynników Q (0, 4, 8, 10, 12) oraz stopień kompresji obrazu liczony jako iloraz wielkości pliku oryginalnego i pliku po kompresji (dla kanału pierwszego)

Obraz	Wielkość pliku w [KB]	Stopień kompresji
Oryginalny	1025	1
$Q = 12$	562	1,8
$Q = 10$	321	3,2
$Q = 8$	193	5,3
$Q = 4$	111	9,2
$Q = 0$	44	23,3

Jak widać z powyżej tabeli, obraz o maksymalnym współczynniku kompresji $Q = 12$ wykazujący bardzo duże podobieństwo do obrazu oryginalnego jest już 1,8 razy mniejszy. Maksymalna kompresja dla $Q = 0$ daje w wyniku obraz 23,2 razy mniejszy od oryginalnego (bez kompresji)

3.2. Współczynnik korelacji

Jednym z parametrów wskazujących na wzajemne podobieństwo obrazów cyfrowych jest współczynnik korelacji. Jest to bardzo dobra miara straty jakości, mówiąca o ogólnym podobieństwie obrazu. W przypadku dużego współczynnika (bliskiego 1) mówimy, że obrazy wykazują się bardzo dużym podobieństwem.

Tabela 2

Zestawienie współczynników korelacji dla czterech kanałów spektralnych dla badanego obrazu

Kanał \ Kanał	Kanał 1 (B)	Kanał 2 (G)	Kanał 3 (R)	Kanał 4 (IR)
Kanał 1 (B)	x	0,9758	0,9631	0,0547
Kanał 2 (G)	0,9758	x	0,9711	0,1567
Kanał 3 (R)	0,9631	0,9711	x	-0,0124
Kanał 4 (IR)	0,0547	0,1567	-0,0124	x

W pierwszym etapie badań sprawdzono podobieństwo poszczególnych kanałów spektralnych (wszystkich czterech). Współczynnik korelacji dla badanych obrazów zestawiono w tabeli 2. Tabela zawiera wartość współczynników korelacji dla obrazu QuickBird dla czterech wybranych kanałów.

Jak widać z tabeli 2, kanały 1 i 2 charakteryzują się największą korelacją. Również zauważyć można, że kanał 2 wykazuje największe podobieństwo w relacji z innym kanałem (0,9758 z kanałem pierwszym, 0,9631 z trzecim i 0,1567 z czwartym). Najmniej ze sobą skorelowane są kanały 3 i 4.

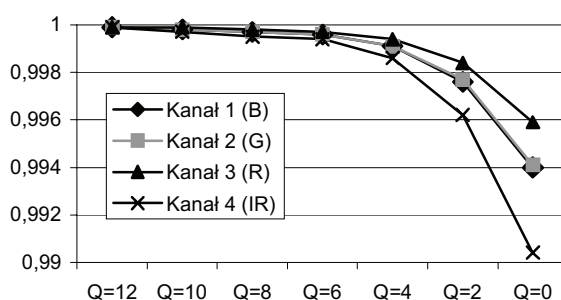
W tabeli 3 zestawiono natomiast współczynniki korelacji liczone dla poszczególnych kanałów i wybranych obrazów kompresowanych metodą JPEG.

Tabela 3

Zestawienie współczynników korelacji pomiędzy obrazem oryginalnym a obrazem kompresowanym dla czterech kanałów spektralnych dla badanego obrazu QuickBird

Współ. kompresji \ Kanał	Kanał 1 (B)	Kanał 2 (G)	Kanał 3 (R)	Kanał 4 (IR)
$Q = 12$	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
$Q = 10$	0,9998	0,9998	0,9999	0,9997
$Q = 8$	0,9997	0,9997	0,9998	0,9995
$Q = 6$	0,9996	0,9996	0,9997	0,9994
$Q = 4$	0,9991	0,9991	0,9994	0,9986
$Q = 2$	0,9976	0,9977	0,9984	0,9962
$Q = 0$	0,9940	0,9941	0,9959	0,9904

Z tabeli 3 wynika, że współczynnik korelacji jest dobrą miarą globalną opisującą wpływ kompresji. Obrazy kompresowane z coraz to większym stopniem kompresji odznaczają się większymi rozbieżnościami w podobieństwie w stosunku do obrazu oryginalnego.



Rys. 2. Zależność współczynnika korelacji od stopnia kompresji

Z tabeli tej wynika, że w kanale trzecim (R), współczynniki korelacji są najwyższe dla poszczególnych wartości Q , w porównaniu z innymi kanałami. Świadczy to o tym, że dla danego współczynnika kompresji Q straty jakości są mniejsze w stosunku do kanałów sąsiednich. Największe natomiast występują dla kanału 4 (IR), co dobrze oddaje rysunek 2.

3.3. Detekcja cech

Algorytmy subpikselowe pozwalają na lokalizację krawędzi z błędem mniejszym niż wymiar piksela. W badaniach wybrano przykładowe granice działek i użytków i dla nich wyliczono położenie przecięcia krawędzi. Pomiar i obliczenia wykonano w programie *Feature Extraction Software*. W tabeli 4 zestawiono przykładowe wyniki.

Tabela 4
Przykładowe wyniki błędu średniego położenia punktu na obrazie po kompresjach ze współczynnikiem $Q = 10, 4$ i 0

Obraz	Średni błąd położenia punktu [w pikselach]
$Q = 10$	0,337
$Q = 4$	0,433
$Q = 0$	0,734

Jak wynika z tabeli 4, średni błąd położenia punktu na obrazie po kompresji w stosunku do obrazu oryginalnego (przed kompresją), rośnie wraz ze wzrostem stopnia kompresji. Reasumując, im kompresja większa, tym błąd jest większy, a co za tym idzie, geometria obrazu zmienia się.



Rys. 3. Przykładowe granice działek i użytków wykorzystane w badaniach

Innym kryterium przy analizie może być też liczba wykrytych punktów na danej krawędzi (przykładowe granice działek i użytków wykorzystane w badaniach pokazano na rys. 3). W przypadku krawędzi pierwszej o długości 95 pikseli liczba wykrytych punktów była odpowiednio (dla $Q = 10$, $Q = 4$ i $Q = 0$): 56, 53 i 36. Dla drugiej krawędzi o długości 17: 10, 8 i 8. Jak widać, zwiększanie współczynnika kompresji powoduje zmniejszanie się liczby wykrytych z subpikselową dokładnością punktów.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że ocena kompresji JPEG pod kątem wykrywania elementów liniowych i punktowych jest złożona ze względu na specyficzne właściwości kompresji. W czasie kompresji następuje degradacja obrazu, która pogarsza cechy geometryczne obrazu. Zwiększając stopień kompresji, powodujemy generalnie większą degradację na obrazie cyfrowym. Potwierdzają to miary wykorzystane w badaniach, tj. współczynnik korelacji oraz średni błąd położenia punktu na obrazie po kompresji w stosunku do obrazu przed kompresją.

W trakcie badań obrazów kompresowanych algorytmem JPEG wykryto również efekt segmentyzacji krawędzi pojawiający się przy dużym stopniu kompresji, co dla współczynnika kompresji $Q = 6$ staje się już dość znacznie widoczne.

Efekt ten polega na zróżnicowaniu rozkładów przestrzennych punktów w zależności od tego, w którym znajdują się bloki (8×8 pikseli). Aproksymacja przebiegu krawędzi na podstawie punktów zlokalizowanych w poszczególnych blokach prowadzi do uzyskania odcinków nietworzących krawędzi prostoliniowej, a przybliżających ją schodkowo.

Można uznać, że przy kompresji obrazów cyfrowych o stopniu kompresji na poziomie 10:1 średni błąd położenia punktu na obrazie po kompresji w stosunku do obrazu pierwotnego (przed kompresją) wyznaczanego z subpikselową dokładnością nie przekracza wartości 0,5 piksela.

Badano również wpływ kanałów spektralnych na detekcje cech geometrycznych. Kanałami dającymi najlepsze rezultaty okazały się kanał 2 (zielony) oraz kanał 3 (czerwony), dla których odpowiednio najlepsze wyniki dawał: średni błąd położenia punktu oraz współczynnik korelacji.

Literatura

- [1] Mikrut S.W.: *Wpływ skanowania i kompresji według metody JPEG na wykrywanie obiektów liniowych i punktowych na obrazach cyfrowych*. Kraków, AGH, 2002 (Rozprawa doktorska)
- [2] Pyka K., Mikrut S.: *Poszukiwanie miar oceny straty jakości obrazów po kompresji JPEG*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 10, Kraków, 2000
- [3] Skarbek W., Krupiczka A., Przelaskowski A., Rakowski W.: *Multimedia – Algorytmy i standardy kompresji*. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa, 1998
- [4] Wallace G.K.: *The JPEG Still Picture Compression Standard*. Communications of the ACM, 34(4), Washington, 1991

