

Sławomir Mikrut
Krystian Pyka

POSZUKIWANIE MIAR OCENY DEGRADACJI OBRAZÓW WSKUTEK KOMPRESJI METODĄ JPEG*

1. Wstęp

Pomimo zadziwiającego rozwoju sprzętu komputerowego, w tym pamięci masowych szybkiego dostępu, fotogrametria cyfrowa wciąż boryka się z problemem olbrzymiej objętości obrazów. Problem ten osiąga kulminację w przypadku wykonywania aerotriangulacji dużych bloków, wtedy bowiem konieczny jest dostęp do kilkudziesięciu czy nawet kilkuset zdjęć. Jeśli stosuje się zdjęcia kolorowe, a dzieje się tak coraz częściej, to już przy rozdzielczości skanowania 1000 dpi sumaryczna objętość stu obrazów sięga kilkudziesięciu gigabajtów! Dlatego wciąż trwają poszukiwania skutecznych metod kompresji obrazów cyfrowych. Póki co jedyną sprawdzoną w praktyce produkcyjnej metodą kompresji obrazów półtonalnych jest metoda JPEG. Skuteczność tej kompresji potwierdza Internet, bez kompresji JPEG oglądalibyśmy na stronach WWW jedynie teksty i proste rysunki. Ale stosowanie kompresji stratnej w fotogrametrii budzi wciąż żywe dyskusje. Pojawiają się nawet głosy o konieczności wprowadzenia formalnego zakazu stosowania kompresji JPEG w procesach fotogrametrycznych. W USA nie wolno stosować kompresji stratnej w obrazach medycznych ale dopuszcza się ją jako standard zapisu ortofotomap cyfrowych. Dlatego warto ustosunkować się obiektywnie do problemu degradacji jakości obrazów jaka następuje wskutek kompresji.

Aczkolwiek standard JPEG wydany został przez ISO dość dawno, bo w 1993 roku, to technologia ta jest w dalszym ciągu rozwijana. Wykorzystują ją producenci aparatów cyfrowych, zaimplementowano ją w formacie TIFF, a ostatnio pojawiła się wersja określana jako JPEG 2000. Rokuje to pomyślnie w aspekcie przyszłości tej metody.

Celem artykułu jest próba znalezienia obiektywnej miary pozwalającej ocenić stopień degradacji czyli straty jakości kompresowanych obrazów. Pomimo wieloletnich doświadczeń w stosowaniu tej kompresji, brak jest jednoznacznych zaleceń które pozwalałyby optymalnie wykorzystywać kompresję dla potrzeb fotogrametrii cyfrowej.

2. Wersja standardowa JPEG (baseline)

Nazwa JPEG (skrót od **Joint Photographic Experts Group** - *Wspólna Grupa Ekspertów Fotografii*) jest synonimem normy ISO numer 10918 z roku 1991 o oryginalnej

* Praca została wykonana w ramach Grantu Promotorskiego KBN nr 9T12E 03018

nazwie **Digital Compression and Coding of Continuous-Tone Still Images**. Dokument ten określa format skompresowanych danych, specyfikuje procesy kompresji obrazu i jego rekonstrukcji oraz podaje zalecenia co do realizacji tych procesów. Standard JPEG definiuje koder i dekoder opisując strukturę danych wejściowych i wyjściowych, a także sposoby transformowania jednych danych na drugie. Specyfikuje również strukturę i zalecaną zawartość pomocniczych tablic używanych w procesie kodowania i kwantyzacji. Kodowanie obrazu cyfrowego metodą JPEG można podzielić na 4 główne etapy: kodowanie koloru, transformacja DCT, kwantyzacja, kodowanie Huffmana [Wallace G., 1991].

a) kodowanie koloru

Najpowszechniejszy układ kodowania koloru znany jest jako $Y C_b C_r$, gdzie Y oznacza luminancję piksela, natomiast C_b , C_r to chrominancje, które można traktować jako stopień „niebieskości” i „czerwonoci” piksela. Kodowanie przebiega wg wzorów (jest to zmiana bezstratna, gdyż wartości RGB mogą być odtworzone przez odwrócenie arytmetyki):

$$Y = 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B$$

$$C_b = -0.1687 R - 0.3313 G + 0.5 B$$

$$C_r = 0.5 R - 0.4187 G - 0.0813 B$$

b) transformacja DCT

Następnym etapem jest dyskretna transformata kosinusowa (DCT – ang. *Discrete Cosine Transform*). Pobiera ona blok 8 na 8 pikseli i wykonuje transformację, której wynikiem jest tablica tzw. „przestrzennych częstotliwości”. Jest to w dalszym ciągu etap bezstratny metody JPEG, mogą powstawać jedynie nieznaczne błędy zaokrągleń.

c) kwantyzacja

Kwantyzacja jest głównym etapem stratnym podczas kodowania JPEG. W fazie kwantyzacji każdy współczynnik bloku jest dzielony przez odpowiadający mu element z tablicy kwantyzacji Q , zaokrąglany do najbliższej wartości całkowitej. Macierz Q może być dostarczona przez użytkownika lub może być jedną z macierzy kwantyzacji zalecanych przez JPEG jako wynik psychowizualnych eksperymentów.

d) kodowanie Huffmana lub arytmetyczne

Kolejny krok to proces kodowania bloku według porządku zygzag metodą, która jest połączeniem techniki kodowania długości sekwencji RLE z kodowaniem Huffmana lub kodowaniem arytmetycznym [Skarbek W., 1993]. Proces kodowania jest wspierany odpowiednimi tablicami kodowymi.

Podczas dekodowania, dekoder odtwarza i rekonstruuje dokładnie każdy blok 8 na 8 pikseli.

3. JPEG a procesy fotogrametryczne - dotychczasowe badania

W literaturze opisywane są zasadniczo dwa proste współczynniki, identyfikowane jako parametry jakości kompresji:

- współczynnik skalowania macierzy kwantyzacji Q;
- stosunek wielkości pliku po kompresji do wielkości pliku przed kompresją lub jego odwrotność (współczynnik redukcji objętości – *compression ratio*, określane dalej jako R).

Jedne z pierwszych badań, dotyczących prób oceny wpływu kompresji JPEG na zmianę położenia obiektów na obrazach cyfrowych, były prowadzone przez *Mikhail [1984]* i obejmowały próbę oceny „degradacji geometrycznej” kompresowanych obrazów. Autor udowodnił, że dyskretna transformata kosinusowa - DCT zmienia położenia obiektów (znaczków będących przecięciem się linii) w zakresie 0.5 piksela przy współczynniku redukcji objętości R wynoszącym 1:16 na 8-bitowym obrazie. Błąd oczywiście powiększał się wraz ze wzrostem redukcji objętości..

Testowanie aspektu geometrycznego wykonali również J. Lammi i T. Sarjakoski. Autorzy próbując ocenić wpływ kompresji na jakość obrazów podają, że degradacja może przebiegać dwoma drogami [*Lammi J., Sarjakoski T., 1995*]. Pierwsza to degradacja radiometrycznej jakości obrazu, druga to degradacja geometryczna cechująca się przesunięciem obiektów liniowych w wierszach i kolumnach. Testowi poddano 4 obrazy odpowiednio o nazwach: Oryginal, Excellent, High, Fair o współczynnikach redukcji objętości R odpowiednio: 1:7; 1:15; 1:66.

Na tych obrazach pomierzono manualnie położenie obiektów liniowych a następnie porównano różnice w położeniu danego obiektu. Wyciągnięto następujące wnioski: metoda kompresji obrazów „baseline JPEG” nie pogarsza geometrii obiektów, gdy redukcja objętości nie przekracza 1:10. Badania wykonano na zdjęciach kolorowych.

Badania prowadzone w Instytucie Geodezji i Kartografii w Warszawie zmierzały w kierunku oceny wpływu stopnia kompresji obrazu cyfrowego oraz apertury skanowania na dokładność pomiarów fotogrametrycznych [*Ziobro J., Kaczyński R., 1998*].

Dobór odpowiednich parametrów odbywał się między innymi na podstawie automatycznego pomiaru znaczków tłowych na wielowariantowo skompresowanych obrazach.

Badania wykonano na zdjęciach monochromatycznych.

Wysunięto wnioski:

- przy jednokrotnej kompresji dla piksela skanowania 15 i 22,5 μm można stosować maksymalny współczynnik redukcji objętości 1:7, a dla piksela 30 μm 1:5;
- przy stosowaniu powtórnej kompresji, przy stosowaniu obrazów epipolarnych, współczynnik nie powinien przekraczać 1:3,5 dla piksela 15 μm i 1:3 dla piksela 30 μm .

Również twórcy powstałego w ostatnich latach australijsko-chińskiego fotogrametrycznego produktu „VirtuoZo Systems” uwzględnili możliwość pracy z obrazami JPEG. W systemie tym były prowadzone badania porównawcze dotyczące generowania NMT na trzech różnych platformach sprzętowych: na autografie analitycznym Planicom, fotogrametrycznej stacji roboczej HELAVA oraz właśnie we wspomnianym VirtuoZo Systems. Badania wykazały, że wpływ kompresji JPEG jest zaniedbywalny przy współczynniku redukcji objętości R w granicach do 1:20 [*Friend M., Reeves R., 1999*].

4. Eksperyment badawczy

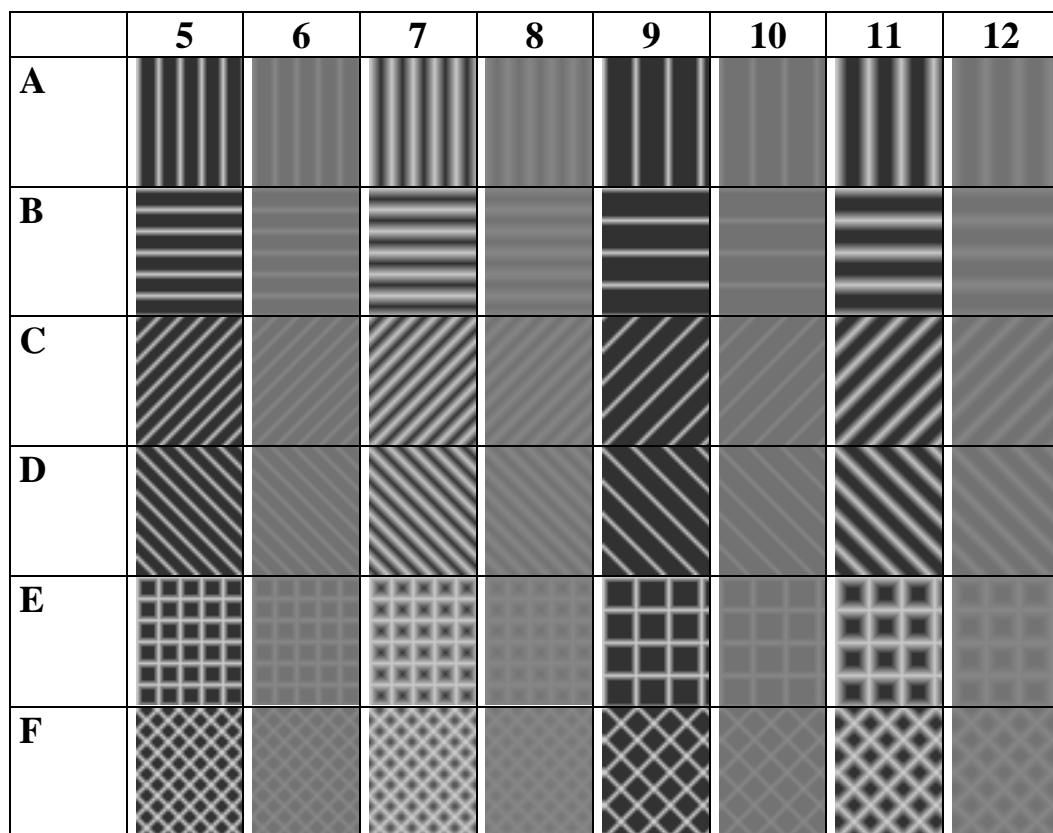
Przyczyny braku jednoznacznych zaleceń w zakresie stosowania kompresji w procesach fotogrametrycznych są dość złożone. Niewątpliwie należy do nich trudny do zdefiniowania wpływ tekstury obrazu na wynik kompresji. Aby maksymalnie ograniczyć liczbę elementów nie poddających się jednoznacznej parametryzacji a takim jest tekstura obrazu, zdecydowano się przeprowadzić eksperymenty na obrazach symulowanych. Ponadto, w opisywanej fazie badań, ograniczono się do testowania obrazów czarno-białych, także z powodu dążenia do ograniczenia liczby zmiennych parametrów.

Dla potrzeb eksperymentu badawczego wygenerowano serię obrazów (rys.1), o zróżnicowanej teksturze. Przyjęto następujące zasady generowania obrazów:

- elementarnymi modułami z których powstawały obrazy były bloki o wielkości 8 na 8 (obrazy o nr 5,6,7,8) oraz 12 na 12 pikseli (obrazy o nr 9,10,11,12);
- moduły zawierały określony układ elementów liniowych: A-linie poziome, B- linie pionowe, C - ukośne o pochyleniu w prawo, D - ukośne o pochyleniu w lewo, E – linie poziome i pionowe razem (A + B), F – linie ukośne razem (C + D);
- zastosowano kilka układów jasności pikseli rozumianych jako podzbiory klasycznego zakresu [0 - 255] co precyzuje poniższe zestawienie:

Tabela 1.

	Obrazy nr 5,9	Obrazy nr 6,10	Obrazy nr 7,11	Obrazy nr 8,12
Maksymalna różnica jasności wewnątrz modułu	150	20	150	20
Maksymalna różnica jasności pomiędzy sąsiednimi pikselami	75	10	38	5



Rys. 1 Obrazy testowe użyte w badaniach

Obrazy testowe poddano kompresji JPEG przy następujących współczynnikach skalowania tablicy kwantyzacji (pkt. 2): $Q=10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100$. Należy podkreślić, że stosowano kompresję JPEG zgodną ze standardem (ang. *Baseline*). Jest to o tyle istotne, że implementacje niestandardowe operują współczynnikiem Q o różnych zakresach, np. 0-700.

Dla wszystkich obrazów za pomocą własnego oprogramowania wyliczono trzy miary straty jakości:

$$AAD = \sum \sum | f(x,y) - f'(x,y) | / M*N$$

$$SWZ = \sum \sum | f'(x,y) - f(x,y) | / f(x,y)$$

$$MSE = \sum \sum [f(x,y) - f'(x,y)]^2 / M*N$$

gdzie:

$f(x,y)$ - wartość jasności piksela w punkcie x,y dla obrazu wejściowego;

$f'(x,y)$ - wartość jasności piksela w punkcie x,y dla obrazu wyjściowego (po kompresji);

M, N - ilości wierszy i kolumn dla danego obrazu;

AAD –wartość bezwzględna średnich różnic (*Absolute Average Difference*);

SWZ - Suma **W**zględných **Z**mian;

MSE – średni błąd kwadratowy (*Mean Square Error*).

W literaturze możemy spotkać trzy zasadnicze metody określania straty jakości wskutek kompresji [*Skarbek W. 1998*]:

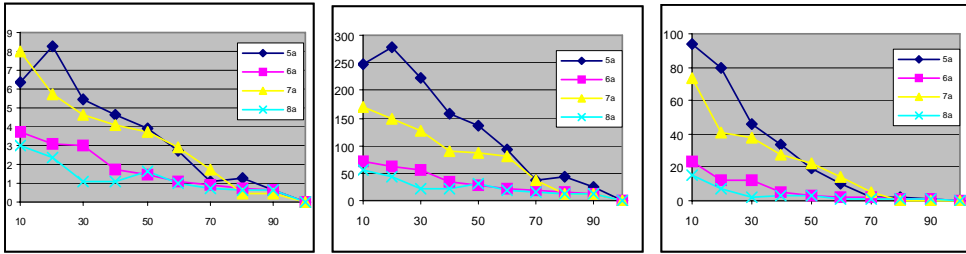
- obliczeniowo obiektywne miary zniekształceń (miary automatyczne) – wielkości skalarnie bądź wektorowe wyznaczane automatycznie;
- subiektywne miary jakości (miary obserwacyjne) – psychowizualne testy porównawcze wskazywaniem obrazów o wyższej jakości lub też klasyfikacja w pewnej skali ocen;
- miary oparte na symulacji i analizie statystycznej (miary symulacyjne), najbardziej złożone, dotyczą konkretnej aplikacji – możliwie wierna symulacja rzeczywistych warunków analizy obrazów i wnikliwa analiza statystyczna odpowiednio opracowanych wyników psychowizualnych testów klasyfikacyjnych.

Obok wymienionych miar parametrycznych dokonywano wizualnej obserwacji wyników kompresji, stosując skalę ocen od 2 (niedostateczna) do 5 (bardzo dobra). Oparcie eksperymentu o obrazy sztucznie generowane ułatwiło proces oceny, gdyż odniesienie stopnia degradacji w stosunku do obrazów wzorcowych było zadaniem względnie łatwym.

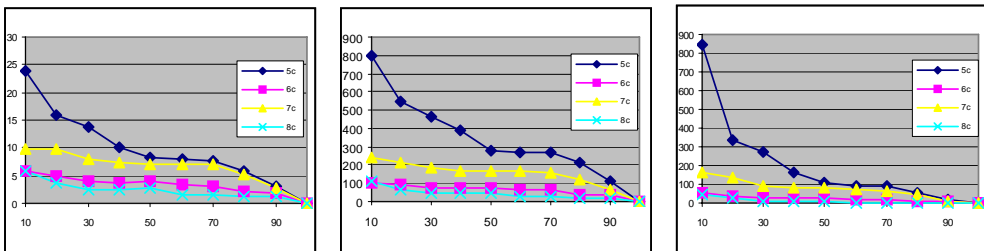
5. Dyskusja wyników

Uszeregowanie obrazów w kolejności 5,7,6,8 oraz 9,11,10,12 odpowiada gradacji od obrazów kontrastowych do coraz bardziej półtonalnych. Taka kolejność znalazła odbicie praktycznie dla wszystkich badanych miar jakości, tzn. tej kolejności odpowiada spadek wartości liczonych miar.

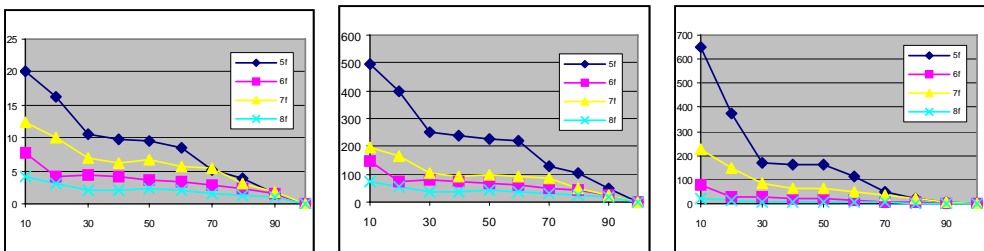
Demonstrują to wybrane przykładowo wykresy (rys. 2 - 4):



Rys. 2 Wykresy przedstawiają zależności pomiędzy miarami AAD, SWZ, MSE a współczynnikiem Q dla obrazów 5a, 6a, 7a, 8a



Rys. 3 Wykresy przedstawiają zależności pomiędzy miarami AAD, SWZ, MSE a współczynnikiem Q dla obrazów 5c, 6c, 7c, 8c

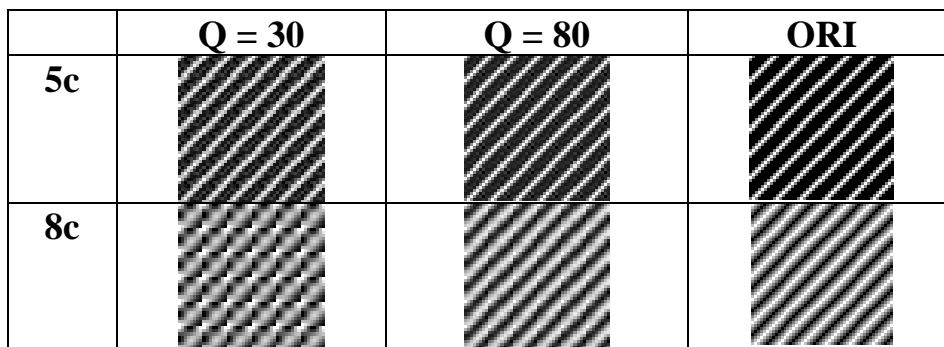


Rys. 4 Wykresy przedstawiają zależności pomiędzy miarami AAD, SWZ, MSE a współczynnikiem Q dla obrazów 5f, 6f, 7f, 8f

Wszystkie miary klasyfikują najwyżej pod względem jakości (najmniejsza degradacja) obrazy nr 8, potem nr 6, następnie nr 7 a na końcu (najwyższa degradacja) obrazy nr 5.

Taka sama kolejność wynika z miar obliczonych dla obrazów serii 9-12, tzn. najmniejsza degradacja wskazywana jest dla obrazu nr 12, kolejno większa dla obrazów 10, 11, 9.

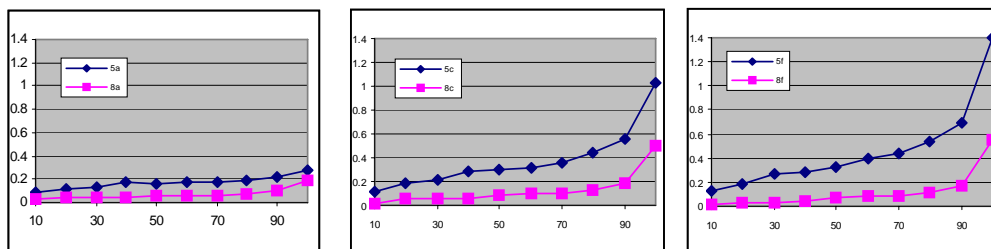
Taka klasyfikacja jest sprzeczna z oceną wizualną! Ocena wykonana niezależnie przez trzech obserwatorów, jednoznacznie wskazuje na znacznie szybsze tempo spadku jakości obrazów w relacji do współczynnika Q dla obrazów półtonalnych aniżeli dla obrazów o większym kontraście. Syntetyczna ocena wizualna klasyfikuje jako najlepsze obrazy nr 5 (9) a jako najgorsze obrazy nr 8 (12). Przykładowo już przy wsp. $Q=80$ obrazy nr 8 (12) uzyskiwały ocenę 3 podczas gdy obrazy nr 5 dostawały taką ocenę dopiero przy wsp. $Q=30$. Obserwacje te ilustruje rys. 5.



Rys. 5 Rzeczywista degradacja spadku jakości obrazów

Zatem żadna z zastosowanych miar nie dostarczała wyników w pełni zgodnych z wizualną oceną degradacji obrazu!

Natomiast pod względem redukcji objętości klasyfikacja jest następująca: najszybciej spada objętość obrazów półtonalnych a najwolniej obrazów kontrastowych (kolejność obrazów 8, 6, 7, 5 i odpowiednio 12, 10, 11, 9). Ilustrują to przykładowe wykresy zebrane na rys. 6



Rys. 6 Porównanie współczynnika redukcji objętości R dla wybranych obrazów nr 5 i 8

Zaobserwowano, iż korzystnie wpływa na zmniejszenie degradacji rozciągnięcie histogramu obrazu (szerszy zakres jasności pikseli). Z kolei im szerszy zakres jasności tym mniejszy zysk objętości (zmniejszenie), obraz nr 8 po kompresji jest zawsze mniejszy niż obraz nr 5.

Podsumowanie

Jedynie publikowane zalecenia co do kontroli procesu spadku jakości, jaka następuje wskutek kompresji JPEG, dotyczą współczynnika obrazującego stopień zmniejszenia wielkości plików przed i po kompresji. Jest to jednak parametr mało obiektywny, objętościowy zysk kompresji jest bowiem integralnie związany z treścią zdjęcia: zupełnie inaczej kompresują się obrazy nasycone obszarami względnie homogenicznymi a inaczej obrazy o skomplikowanej teksturze. W rzeczywistości bowiem każdy obraz to niepowtarzalny

układ strukturalno-teksturalny. Jak wykazały przedstawione w niniejszym artykule badania, istotny wpływ i na redukcję objętości, i na rzeczywistą (ocenianą wizualnie) jakość obrazu po kompresji, ma stopień kontrastowości obrazu i zakres jasności. Zaobserwowano, że ze wzrostem zakresu jasności spada redukcja objętości ale jednocześnie, dla wybranego współczynnika Q, degradacja jakości jest mniejsza.

Literatura

1. Friend M., Reeves R., 1999, *Mapping Accuracy of Compressed Digital Aerial Image - VirtuoZo System*;
2. Lammi J., Sarjakoski L., 1995, *Image Compression by the JPEG Algorithm*, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing;
3. Skarbek W., 1993, *Metody reprezentacji obrazów cyfrowych*, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ Warszawa;
4. Skarbek W., 1998, *Multimedia – Algorytmy i standardy kompresji*, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ Warszawa;
5. Wallace G. K., 1991, *The JPEG Still Picture Compression Standard*, IEEE Transactions on Consumer Electronics;
6. Ziobro J., Kaczyński R., 1998, *Analiza wpływu stopnia kompresji obrazu cyfrowego oraz apertury skanowania na późniejszy automatyczny pomiar*, Prace Instytutu Geodezji i Kartografii;

Recenzował: prof. dr hab. inż. Józef Jachimski