

TRANSFORMACJA FALKOWA JAKO EFEKTYWNA METODA KOMPRESJI INTERNETOWYCH PUBLIKACJI KARTOGRAFICZNYCH

THE WAVELET TRANSFORMATION AS A EFFICIENT METHOD FOR COMPRESSION CARTOGRAPHIC PRODUCTS FOR INTERNET

Krystian Pyka

Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie

Słowa kluczowe: kompresja, transformata falkowa, obraz wielotonalny, mapa
Keywords: compression, wavelet transform, multitone image, map

Wprowadzenie

Po okresie poszukiwań optymalnej formy prezentacji danych przestrzennych w internecie stabilizuje się podział na dwa zasadnicze podejścia. Pierwsze koncentruje się na aspekcie ilustracyjnym, drugie – bazodanowym. Pomiędzy nimi jest jeszcze rozwiązanie pośrednie, publikacje kartograficzne o charakterze ilustracyjnym ale posiadające dodatkowo elementy interaktywności.

Coraz częściej geosewisy oferują równocześnie dwie a nawet wszystkie trzy z wymienionych form prezentacji. Jest to efekt docenienia różnorodnych potrzeb odbiorców, jednym wystarczy oglądanie ładnej mapy na ekranie, inni chcą wizualizować dane z bazy lub wyniki analiz przeprowadzonych na tych danych i nie zwracają uwagi na niedostatki edycyjne powstałego obrazu. Populacja potrzebujących bazy danych jest wyraźnie mniej liczna od grupy osiągającej satysfakcję z oglądania ładnej mapy. Z drugiej strony ta mniej liczna grupa to aktywni użytkownicy danych przestrzennych, często wręcz twórcy nowych informacji przestrzennych. Internet z natury rzeczy jest otwarty na każdą publiczność, i przeglądających dane zredagowane pod kątem określonego przekazu informacyjnego, i tworzących nowe dane przestrzenne. Dlatego niezależnie od rozwoju internetowych baz danych szeroko oferowane są publikacje opracowane z zastosowaniem najlepszych praktyk kartograficznych.

Internetowa prezentacja uprzednio zredagowanych map wymaga wspomaganie przez techniki kompresji obrazów (Pyka, 2003). Właśnie jesteśmy świadkami udanych implementacji kilku nowych rozwiązań w dziedzinie kompresji obrazów, z których za najciekawsze

należy uznać kompresję falkową. O przydatności tej metody do kompresji obrazów świadczy fakt, że dotychczasowy standard JPEG (Joint Photographic Experts Group) bazujący na transformacji kosinusowej jest wypierany przez nowy – JPEG2000, stosujący transformację falkową (Sayood, 2002).

Niniejsza praca analizuje przydatność kompresji falkowej w odniesieniu do map jako szczególnego przypadku obrazów. Mapa ilustracyjna z punktu widzenia internetu ma postać obrazu rastrowego ale o niewielkiej – w stosunku do obrazów wielotonalnych – liczbie poziomów jasności lub barw. Właśnie ta różnica stanowi punkt krytyczny opisanego w pracy eksperymentu badawczego.

Powszechność kompresji stratnej

Z teoretycznego punktu widzenia należy dążyć do stosowania kompresji bezstratnej, czyli takiej która pozwala odtworzyć postać danych identyczną z oryginałem. Dla obrazów wielotonalnych, zwłaszcza powstałych na drodze rejestracji scen naturalnych, kompresja bezstratna jest mało skuteczna a w niektórych przypadkach algorytmy prowadzą nawet do zwiększenia objętości obrazów. Dlatego powstały rozwiązania stratne dedykowane właśnie obrazom wielotonalnym. Zapewniają one duży stopień redukcji objętości obrazu przy niewielkim spadku jakości.

Zadziwiające zjawisko można zaobserwować w internecie, metody stratne stosuje się nie tylko do typowych obrazów wielotonalnych ale także do obrazów mało i średniotonalnych. Większość publikacji ilustracyjnych udostępnianych w internecie jest kompresowanych metodą JPEG. Sytuacja taka powstała z kilku powodów. Po pierwsze standard JPEG jest powszechnie dostępny, dzięki opublikowaniu algorytmu został on zaimplementowany w prawie wszystkich programach graficznych. Po drugie bezstratna kompresja LZW (Sayood, 2002), uchodząca za najskuteczniejszą w zastosowaniach graficznych, zwłaszcza w zakresie obrazów o barwach indeksowanych (pseudokolorowych), została opatentowana przez firmę UNISYS co ograniczyło jej rozwój a na pewno zatrzymało na pewien okres. Kolejny powód to możliwość publikowania w Internecie map o bogatej kolorystyce uwolnionej od ograniczeń narzucanych przez poligrafię. Należy jeszcze przypomnieć, że kompresja JPEG uwzględnia sposób percepcji obrazu przez człowieka, to co traci obraz jest relatywnie słabo rozpoznawalne. Zasadniczą wadą kompresji JPEG jest strategia działania w autonomicznych blokach 8x8 pikseli, skutkiem czego w obrazie pojawia się sztuczna tekstura, widoczna przy dużym powiększeniu. Wady tej nie posiada kompresja falkowa, która podobnie jak JPEG, wywodzi się z korzenia fourierowskiego, czyli ma charakter analizy częstotliwościowej (Jachimski, 2004).

Kompresja falkowa

Istotą przekształcenia falkowego jest dekompozycja sygnału w ciąg sygnałów o stopniowo zmniejszającej się rozdzielczości. Algorytm Mallata (Mallat, 1989) dekomponuje obraz na cztery obrazy składowe, przy czym każda składowa ma rozmiar równy jednej czwartej obrazu pierwotnego (czyli ma rozdzielczość liniowo dwa razy mniejszą niż dekomponowany obraz). Każda składowa może być następnie dekomponowana w ten sam sposób przez co

powstaje reprezentacja na wielu poziomach rozdzielczości. Realizacja dekompozycji polega na sekwencyjnym filtrowaniu górno i dolnoprzepustowym, osobno wzdłuż kolumn a osobno wzdłuż wierszy obrazu, przy jednoczesnym zmniejszaniu rozdzielczości z interwałem dwa. W zależności od rodzaju i kolejności aplikowanych filtrów powstają następujące obrazy składowe: LL – filtracja dolnoprzepustowa dla wierszy i kolumn, LH- filtracja dolnoprzepustowa dla wierszy a potem górnoprzepustowa dla kolumn, HL – odwrotnie niż LH, HH –filtracja górnoprzepustowa dla wierszy i kolumn. Podobnie jak w metodzie JPEG kompresja następuje na etapie kwantyzacji, kiedy rekonstruując obraz dokonuje się pewnych uproszczeń polegających na usunięciu wybranych wysokich częstotliwości (Vetterli, 1995).

Efektywność kompresji falkowej jest prawie dwukrotnie wyższa niż standardowej kompresji JPEG. Dla potrzeb wizualizacji ekranowej dopuszcza się kompresowanie obrazów wielotonalnych chromatycznych nawet w stosunku 50:1.

W odróżnieniu do metody JPEG, falki analizują nie tylko sygnał w aspekcie częstotliwościowym ale dodatkowo lokalizują przestrzennie poszczególne częstotliwości (Jachimski, 2004). Dlatego lepiej niż JPEG nadają się do przekształcania sygnałów charakteryzujących się ostrymi impulsami. Stąd pomysł stanowiący genezę niniejszej pracy aby zbadać rzeczywiste przypadki stosowania kompresji falkowej dla obrazów gdzie występują częste ostre impulsy a takimi są mapy – typowe opracowania kartograficzne.

Mapa jako obraz tonalny

Mapy topograficzne drukowane w technice offsetowej zawierają zwykle 4-6 barw i kilka odcieni dla każdej barwy, osiągniętych dzięki technice rastrowania. Większą liczbę barw można uzyskać przy zastosowaniu modelu CMYK, coraz częściej ostatnio używanym w poligrafii. Wizualizacja komputerowa stosuje odpowiedniki obu tych technik drukarskich. Są to modele barw indeksowanych i RGB. W technice komputerowej na wybór modelu nie wpływają jakość maszyny drukarskiej a jedynie optymalizacja objętości pliku. Jeśli liczba barw jest mniejsza od 256 optymalny jest model barw indeksowanych.

Uznajmy za typowy przypadek mapę, która zawiera kilkanaście kolorów – nazywając ją obrazem średniotonalnym. W modelu barw indeksowanych wartość piksela jest indeksem łączącym go z paletą barw. Problemem nie jest sama paleta, jako że jej wielkość jest pomijalna a jedynie obraz o określonej rozdzielczości. Obraz mapy w modelu indeksowanym można przyrównać do obrazu w skali szarości o niewielkiej liczbie poziomów jasności. Oczywistym jest, że im większa jest liczba tych poziomów, tym bliżej do problematyki obrazów wielotonalnych.

Kompresja falkowa działa jak filtr górnoprzepustowy, usuwa z obrazu tzw. nieistotne detale (Sayood, 2002). Spektrum częstotliwościowe obrazu wielotonalnego ma charakter ciągły, zawiera wysokie, średnie i niskie częstotliwości. Subtelne usunięcie pewnego pasma częstotliwości może być niezauważalne przez oko ludzkie (co jest skutecznie wykorzystywane w technice kompresji stratnej). Sytuacja jest nieco inna w przypadku map. Widmo częstotliwościowe nie ma już charakteru ciągłego lecz skokowy. Trudno jest określić wyraźną granicę przy której stosowanie kompresji stratnej dla map jest uzasadnione merytorycznie. W dalszej części pracy opisano eksperyment badawczy pokazujący jak zachowuje się stratna kompresja falkowa dla typowej mapy topograficznej.

Eksperyment badawczy

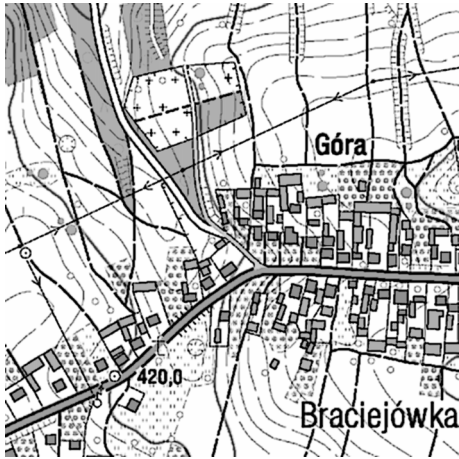
Celem eksperymentu była analiza zjawisk zachodzących przy kompresji falkowej obrazu średnio-tonalnego. Badaniu poddano fragment standardowej mapy topograficznej w reprezentacji rastrowej. Obraz przekształcono do skali szarości z wykorzystaniem metody „RGB to IHS” (Red, Green, Blue – Intensity, Hue, Saturation), dalej wykorzystując tylko składową I intensywności. Uporządkowanie indeksów według kryterium intensywności barw na mapie jest konieczne w celu symulowania efektu wielotonowości. Problem mapy barwnej zamieniono na adekwatny problem obrazu w skali szarości.

Za najważniejszy element eksperymentu uznano obserwację w jaki sposób zmieniają się wartości pikseli w procesie obejmującym: transformację falkową, filtrację transformaty i rekonstrukcję obrazu. Badany fragment mapy pokazany jest na rysunku 1. Na analizowanym wycinku mapy występowało łącznie osiem kolorów. Z mapy barwnej wygenerowano obraz intensywności który następnie zapisano w dwóch wariantach. Pierwszy obraz zawiera osiem wartości z interwałem jeden (np. 124,125,...,132) a drugi te same intensywności opisuje wartościami z interwałem dziesięć (np. 80,90,...,150).

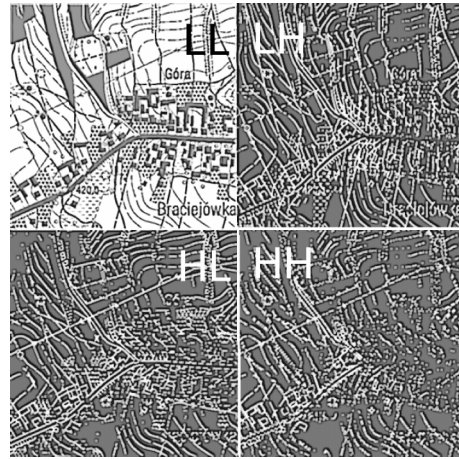
Badane obrazy poddano transformacji falkowej z wykorzystaniem przekształcenia Haara (Sayood, 2002). Jest to najprostsza transformacja falkowa a jednocześnie najbardziej przystająca do problematyki pseudowielotonowości. W stosunku do bardziej złożonych transformacji falkowych współczynniki transformaty Haara są obliczane na najmniejszej grupie pikseli co ułatwia wybór wartości stanowiącej kryterium dla filtrowania górnoprzepustowego.

Wynik przekształcenia obrazu do ekwiwalentnej postaci czterech subobrazów (LL,LH,HL,HH) pokazano na rysunku 2. Jest to transformata Haara na pierwszym poziomie rozdzielczości. Dalszy przebieg eksperymentu polegał na wyzerowaniu współczynników trzech komponentów „szczegółowych” (LH,HL,HH) co osiągnięto na drodze filtracji górnoprzepustowej. Dla obrazu pierwszego zostały odfiltrowane wszystkie wartości należące do zbioru $[-4,4]$. Natomiast dla obrazu drugiego filtracja dotyczyła współczynników o zakresie $[-40,40]$. Transformata Haara po filtracji powodującej całkowite wyzerowanie współczynników trzech obrazów składowych widoczna jest na rys. 3 (optycznie wygląda identycznie dla obu analizowanych wariantów).

Przefiltrowane w opisany sposób transformaty obu obrazów zostały poddane odwrotnej transformacji Haara. Zrekonstruowane obrazy są dość podobne gdy pokazuje się je w skali szarości. Między obrazami jest jednak zasadnicza różnica. Polega ona na tym, że w obrazie pierwszym po rekonstrukcji mamy osiem wartości a w obrazie drugim aż 29. Powstaje zatem problem jak przyporządkować oryginalną, ośmiopozycyjną paletę kolorów do obrazu o znacznie większej liczbie wartości. Możliwa jest reklasyfikacja do skali ośmiopozycyjnej jednakże brak jest jednoznacznych przesłanek co do zasad jej przeprowadzenia. Na rysunku 4 porównano w dużym powiększeniu mapę oryginalną (a) z wynikiem rekonstrukcji wersji pierwszej (b) i wersji drugiej (c). Degradacja mapy jest dość znaczna, ale była ona oczekiwana, gdyż rekonstrukcja nastąpiła po znaczącym odfiltrowaniu zawartości transformaty. W przypadku mapy w wersji drugiej (c) dokonano redukcji 29 uzyskanych wartości do ośmiu. Widoczne są skutki uboczne tego działania w postaci zaniku treści w niektórych fragmentach. Innym rozwiązaniem jest pozostawienie nowego zakresu wartości co spowoduje, że końcowy obraz barwny będzie zawierał 21 nowych kolorów. Taki efekt obserwujemy często w internecie przy korzystaniu z obrazów kompresowanych. Na niekorzyść obrazu z szeroką skalą działa też fakt, że podczas filtrowania („zerowania” subobrazów szczegółowych) należało usunąć większą o 15% liczbę współczynników w stosunku do obrazu z wąską skalą.



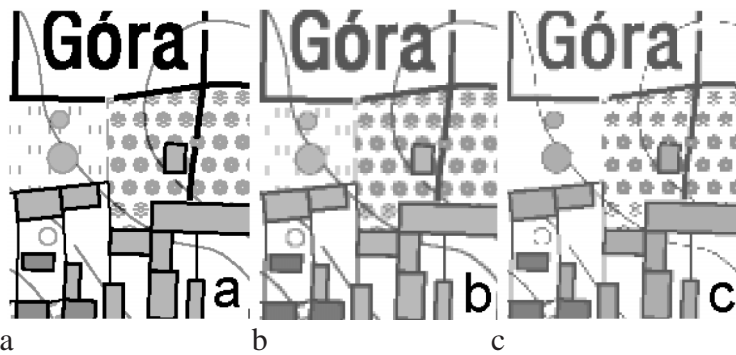
Rys. 1. Fragment mapy topograficznej wykorzystywany w eksperymencie badawczym



Rys. 2. Transformata falkowa badanego fragmentu mapy



Rys. 3. Transformacja Haara badanego fragmentu mapy



Rysunek 4. Porównanie mapy oryginalnej z dwoma wynikami rekonstrukcji (opis w tekście)

Zwykle w czasie kompresji nie usuwa się całej treści subobrazów „szczegółowych” a jedynie ich część – współczynniki najmniejsze. Pełne wyzerowanie treści trzech subobrazów miało wykazać, jakie mogą być konsekwencje w przypadku radykalnej kompresji. Eksperyment wskazał jednocześnie na konsekwencje wynikające ze sposobu rozmieszczenia kilkunastoelementowego zbioru wartości (indeksów) w przedziale 0–255, jaki z reguły proponują programy graficzne (8 bit/piksel).

Podsumowanie

Podstawowym problemem udostępniania publikacji kartograficznych w internecie jest znalezienie kompromisu pomiędzy aspektem merytorycznym – jakością i szczegółowością informacji, pragmatyką przekazu – stopień zrozumienia informacji, estetyką - wysoką jakością grafiki oraz aspektem technicznym – krótki czas dostępu. Na dwa ostatnie zagadnienia ma wpływ kompresja obrazu stanowiąca, w rozwiązaniu falkowym, kanwę niniejszej pracy.

Kompresja falkowa jest obecnie najefektywniejszą techniką o charakterze stratnym. Najlepsze rezultaty przynosi dla obrazów wielotonalnych rejestrowanych technikami fotograficznymi lub cyfrowymi. Skuteczność techniki maleje wraz ze zmniejszeniem ilości tonów (kolorów) w obrazie i zwiększeniem skokowych różnic kontrastu. Mapy o niewielkiej liczbie kolorów a z dużymi kontrastami kompresują się mniej efektywnie aniżeli fotomapy, kompresji towarzyszą zniekształcenia psujące i estetykę, i czytelność mapy.

W pracy udowodniono, że właściwe przygotowanie mapy przed kompresją może zminimalizować niekorzystne efekty straty lub zaburzenia informacji przy zachowaniu tego samego potencjału efektywności kompresji. W tym celu należy zastąpić postać barwną obrazem intensywności i dalej postępować tak jak z obrazem w skali szarości. Ważne jest, aby wartości reprezentujące intensywność barw były rozłożone równomiernie w całym dostępnym przedziale, czyli 0–255 dla indeksowanego modelu barw. Zachowanie pomiędzy indeksami interwału o wielkości jeden jest korzystne gdyż nie powoduje wystąpienia nowych kolorów w obrazie, co ma miejsce przy większych interwałach.

Stosowanie kompresji falkowej do grafiki typowej dla map musi być prowadzone roztropnie, tak aby kontrolować stopień degradacji obrazu po rekonstrukcji.

Literatura

- Mallat S., 1989: *Multiresolution approximations and wavelet orthonormal bases of $L_2(R)$* , Trans. Amer. Math. Society vol.38.
- Jachimski J., Mikrut S., Pyka K., 2004: *The Influence of Multispectral Image Compression on Linear and Point Feature Extraction*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing vol.XXXV PartB3 Istambuł.
- Pyka K., 2003: *Rola kompresji obrazów w internetowych publikacjach kartograficznych*, Roczniki Geomatyki tom I zeszyt 1.
- Sayood K., 2002: *Introduction to Data Compression*. Second edition, tłumaczenie polskie: *Kompresja danych – wprowadzenie*, Wydawnictwo RM. Warszawa .
- Vetterli M., Kovacevic J., 1995: *Wavelets and Subband Coding*, Prentice Hall Signal Processing Series, Englewood Cliffs, NJ.

Summary

The paper provides an evaluation of the usefulness of wavelet image compression for Internet GIS viewers. The most popular method of lossy image compression is called JPEG. This method is very often used in Internet both for images of natural scenes and for other types of graphics like maps. The latest research has proved that wavelet compression is a much better solution than JPEG method.

Wavelet transformation comes from the Fourier family, but it describes a frequency function-like Fourier transform as well as a spatial function. Thanks to this we do not have to divide the image into small parts in order to realize local transformation as in JPEG. Like the JPEG the wavelet compression is most efficient for multitoneal images. Results of application of the wavelet compression to images such as maps were presented in this study.

The Mallat solution to wavelets representation of images was used. The image is decomposed into sets of four images with two times smaller resolution. This task is solved by means of simple lowpass and highpass filters. Lowpass filtering first along rows and then along columns of the image with a double reduction of size creates a medium image – LL (low-low). The next two images are the results of lowpass and highpass filtration LH (low-high). The last component is a result of highpass filtration applied in rows and columns – HH (high-high).

A part of typical topographic map was used in the research. The map showed on fig. 1 has included eight colors. First the map was transformed from RGB color model into IHS model. The next actions were executed only for intensity channel, the map was treated as a gray scale image. For the research needs there were two versions prepared from the original map. The first version of map contains eight intensity values as follow: 124,125,....,131. The second map's version contains eight intensity values 80,90,....,150.

Both images were transformed by using Haar method, which is the most simple wavelet transformation. Fig 2 shows four subimages (LL, LH,HL,HH) which look like both variants of map. The difference lies only in another range of value. Then, the Haar transform for both variants of maps was filtered. As the filtration results all values in the three detail subimages (LH,HL,HH) were reset to null. The result of the filtration is shown on fig. 3. Now each of these transforms of two map's versions was reconstructed by using reverse Haar transformation. The result of reconstruction of both versions can be seen on fig.4 in comparison with the original map. The empirical research proves that the scaling of intensity value influences the reconstruction result.

To recapitulate, the wavelets compression for images with a few tones should be preceded by data preparing in order to localize the index-data in a small sub-range within full available range (usually 0-255 i.e. one byte per pixel).

Present users of internet expect that GIS-viewers will show high quality maps with high speed. The wavelets compression is a good tool for this purpose but must be used deliberately.

Krystian Pyka
krisfoto@interia.pl