

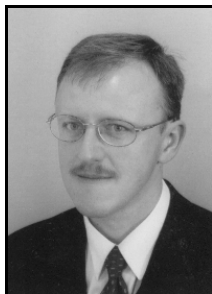
Wojciech ZAJĄC

UNIwersytet Zielonogórski, Instytut Informatyki i Elektroniki

Kodowanie danych wizyjnych z wykorzystaniem kaskady filtrów falkowych

Dr inż. Wojciech ZAJĄC

Autor ukończył studia na kierunku Informatyka i Metrologia na Wydziale Elektrycznym Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Zielonej Górze. W roku 2000 uzyskał stopień doktora nauk technicznych na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej, temat rozprawy dotyczył korekcji błędów transmisji danych obrazu stałego. Zainteresowania naukowe autora obejmują szereg zagadnień cyfrowego przetwarzania danych wizyjnych.



e-mail: W.Zajac@iie.uz.zgora.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań nad wykorzystaniem kaskadowego przetwarzania monochromatycznego obrazu stałego z wykorzystaniem hierarchii filtrów falkowych LeGalla. Badania obejmowały zaprojektowanie i zasymulowanie w środowisku MATLAB modelu uproszczonego systemu przetwarzania obrazu z wykorzystaniem w/w technik. Przedstawiono i przedyskutowano istotne różnice technik falkowych względem obecnie stosowanych technik opartych o transformatę kosinusową oraz przedstawiono wyniki badań symulacyjnych.

Słowa kluczowe: dyskretna transformata falkowa obrazu, DWT, filtry falkowe LeGalla, dyskretna transformata kosinusowa, DCT.

Visual data coding with use of wavelet filter bank cascade**Abstract**

The paper presents results of research on wavelet filter-bank cascade, modeled in MATLAB, with use of LeGall filters. Simplified model of transmission system is presented. Results of use of Discrete Wavelet Transform DWT are discussed and compared with those obtained by use of Discrete Cosine Transform DCT.

Keywords: discrete wavelet transform of picture data, DWT, LeGall wavelet filters, discrete cosine transform, DCT.

1. Wstęp

Cyfrowe przetwarzanie i transmisja obrazów cyfrowych jest przedmiotem wielu prac badawczych. Prace naukowców i inżynierów ukierunkowane są na optymalizację lub ulepszenie istniejących technik, standardów i urządzeń, jak również na poszukiwania nowych rozwiązań w dziedzinie kodowania cyfrowych danych graficznych. Dotychczas typowym narzędziem, wykorzystywanym w kodowaniu sygnałów była dyskretna transformata kosinusowa DCT. Zasadniczym powodem wykorzystania tej właśnie transformaty był bardzo korzystny stosunek kosztu numerycznego do efektywności dekorelacji danych (przy określonych założeniach). Od pewnego jednak czasu proponowane są alternatywne metody kodowania danych, jak na przykład dyskretna transformata falkowa DWT (ang. *Discrete Wavelet Transform*). W artykule przedstawiono ideę wykorzystania transformaty falkowej w procesie kodowania obrazu cyfrowego oraz omówiono korzyści, wynikające z jej stosowania, odniesione do wykorzystywanej obecnie transformaty DCT.

2. Standaryzacja

W procesie rozwoju technik przetwarzania i przesyłu cyfrowych danych wizyjnych konieczne było poczynienie pewnych działań w celu ujednolicenia technik i urządzeń przeznaczonych do pracy we wspólnych systemach. Powstał szereg zaleceń komitetów

międzynarodowych, później nazwanych standardami (słynne już dziś JPEG, MPEG, H.26x i inne). Poczynienie założeń co do sposobu przetwarzania danych przyspieszyło rozwój technik komunikacyjnych, umożliwiło też konstrukcję urządzeń oraz opracowanie programów komputerowych (koderów i dekoderów), których działanie nie jest już ograniczone do specyficznych zastosowań, lecz mogą one współpracować praktycznie bez ograniczeń.

W chwili obecnej standardy, które były potrzebne i użyteczne, stają się ograniczeniem. Fundamentem ich projektowania były możliwości obliczeniowe komputerów i urządzeń przesyłowo-przetwarzających, jakie w ówczesnych czasach były dostępne. Należy zaznaczyć, że standardy w wielu przypadkach miały charakter skalowalny, dzięki czemu do dziś znajdują one zastosowanie.

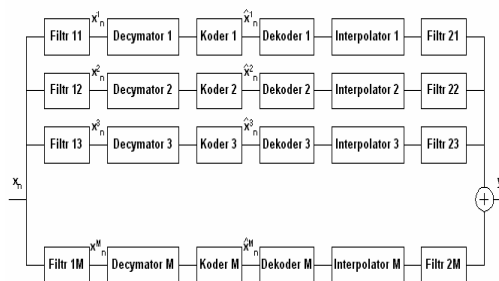
3. Kodowanie i kompresja

Prace nad rozwinięciem standardów, głównie w zakresie przesyłu obrazów ruchomych przez łącza o ograniczonej przepustowości, są prowadzone nieustannie. Mimo, że przepustowość łączy komunikacyjnych rośnie wraz z rozwojem technologii, jednak do głosu dochodzą tu względy ekonomiczne – mniej danych oznacza tańsze, a więc chętniej wykorzystywane i szerzej dostępne usługi.

Szczególnie istotne znaczenie mają prace nad zastąpieniem obecnie stosowanej dyskretny transformaty kosinusowej (wykorzystywanej jako stopień dekorelacji danych w koderach cyfrowych danych wizyjnych) kodowaniem przy użyciu transformaty falkowej.

4. Analiza falkowa sygnału jednowymiarowego

Idea analizy falkowej jest w znacznej części zbieżna z analizą subpasmową. W obu przypadkach sygnał przedstawia się w postaci częstotliwościowej, a uzyskane widmo dzieli się na części (przedziały) i analizuje w każdym z przedziałów odrębnie. Techniki falkowa i subpasmowa różni sposób podziału widma sygnału. Technika subpasmowa dzieli widmo na założoną liczbę jednakowych części, z których każda poddana jest odpowiednim operacjom w odrębnym zbiorze filtrów (rys. 1). Zespół operacji obejmuje: filtr wejściowy, dokonujący wydzielenia części widma sygnału analizowanego w danej gałęzi, decymator, eliminujący określoną ilość danych, para koder-dekoder (między nimi zachodzi proces transmisji), interpolator, uzupełniający dane usunięte przez decymator i wyjściowy filtr formujący.

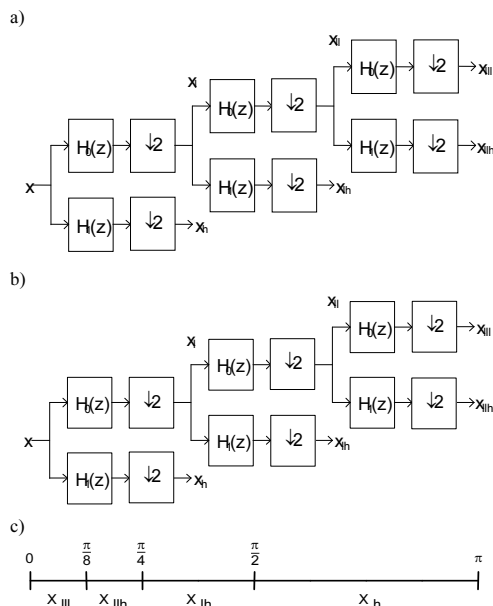


Rys. 1. Schemat przetwarzania sygnału w analizie subpasmowej
Fig. 1. Subband signal analysis scheme

Technika falkowa dzieli widmo sygnału według odmiennych zasad. W pojedynczym stopniu analizatora (zazwyczaj stosuje się trzy stopnie umieszczone kaskadowo – rys. 2a) dokonuje się podział widma sygnału na połowę [2]. Wyniki analizy górnej części widma poddane są decymacji i traktowane jako dane do zakodowania i transmisji (sygnał X_h na rys. 2a.). Wyniki analizy

części dolnej (sygnał X_l) poddane są decymacji i ponownej analizie na kolejnym stopniu kaskady. Wyniki analizy górnej części widma sygnału X_l (oznaczone X_{ll}) poddane są decymacji i po zakodowaniu – transmitowane. Analogiczna sytuacja powtarza się jeszcze raz, sygnał pochodzący z analizy dolnej części widma sygnału X_l (oznaczony X_{ll}) po decymacji poddany jest kolejnej analizie. Uzyskane sygnały X_{lll} i X_{llh} decymuje się i po przetworzeniu transmituje.

Odebrane dane poddaje się odpowiednim operacjom odwrotnym, zilustrowanym na rysunku 2b.



Rys. 2. Schemat przetwarzania sygnału w trzystopniowej analizie falkowej

a) trzystopniowy zespół filtrów analizujących
b) trzystopniowy zespół filtrów syntezujących
c) podział widma sygnału na pasma

Fig. 2. Tri-step wavelet signal processing scheme

a) triple cascade of analysis filters
b) triple cascade of synthesis filters
c) subband division of a signal

Podział widma sygnału jest jak widać niesymetryczny – najdokładniejsza analiza przeprowadzana jest w zakresie niskich częstotliwości (rys. 2c). Jest to cecha bardzo korzystna, gdyż odpowiada to rozkładowi energii w sygnałach dźwiękowych i wizyjnych, których dynamika (rozumiana jako względna zmiana poziomu sygnału w kolejnych chwilach czasu dt) jest niewielka.

5. Analiza falkowa sygnału obrazu

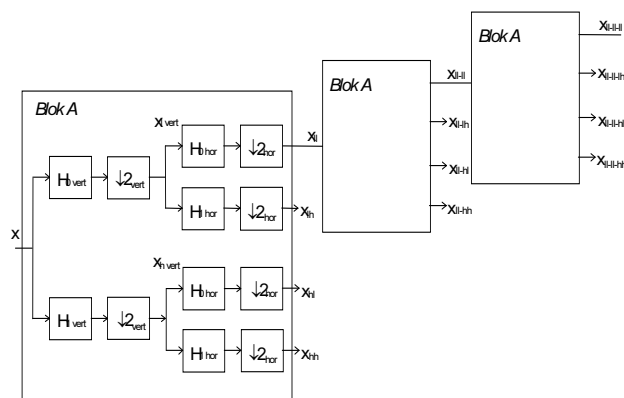
Analiza falkowa w odniesieniu do sygnału dwuwymiarowego, jakim jest obraz stały, z punktu widzenia idei jest niezmienna w odniesieniu do analizy jednowymiarowej, jednak tym przypadku konieczne jest prowadzenie analizy pionowej i poziomej.

Zespół filtrów analizujących i syntezujących przedstawiono na rys. 3. Filtry realizujące odpowiednie operacje oznaczone są symbolami *vert* i *hor*, od angielskich: *vertical* i *horizontal*. Pojedynczy blok kaskady zawiera sześć filtrów:

- filtr $H_{0 \text{ vert}}$, analizujący dolne pasmo sygnału X w kierunku pionowym; wynik jego działania (po decymacji) oznaczony jest $X_{l \text{ vert}}$,
- filtr $H_{1 \text{ vert}}$, analizujący górne pasmo sygnału X w kierunku pionowym; jego sygnał wyjściowy (po decymacji) oznaczony jest $X_{h \text{ vert}}$,
- filtr $H_{0 \text{ hor}}$, analizujący sygnał $X_{l \text{ vert}}$ w kierunku poziomym; jego sygnał wyjściowy po decymacji oznaczono X_{ll} ,
- filtr $H_{1 \text{ hor}}$, analizujący sygnał $X_{l \text{ vert}}$ w kierunku poziomym; jego sygnał wyjściowy po decymacji oznaczono X_{lh} ,
- filtr $H_{0 \text{ hor}}$, analizujący sygnał $X_{h \text{ vert}}$ w kierunku poziomym; jego sygnał wyjściowy po decymacji oznaczono X_{hl}

- filtr $H_{1 \text{ hor}}$, analizujący sygnał $X_{h \text{ vert}}$ w kierunku poziomym; jego sygnał wyjściowy po decymacji oznaczono X_{hh} .

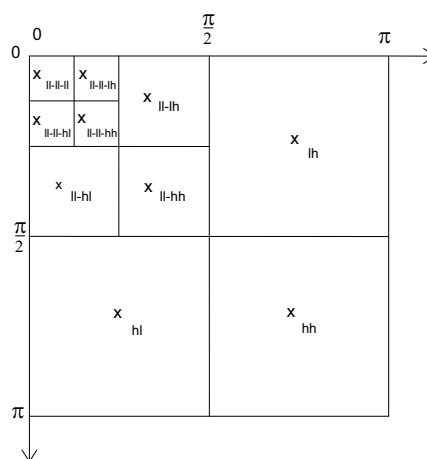
Sygnały wyjściowe trzech ostatnich spośród wymienionych wyżej filtrów (po decymacji) traktowane są jako dane do transmisji. Sygnał X_{ll} poddawany jest ponownej analizie w zespole sześciu filtrów, w wyniku której otrzymuje się sygnały X_{ll-ll} , X_{ll-lh} , X_{ll-hl} , X_{ll-hh} . Trzy ostatnie sygnały traktowane są jako dane do transmisji, zaś wynik dwukierunkowej analizy widma sygnału z najniższej części widma poddany jest filtrowaniu na ostatnim stopniu kaskady. Uzyskane z niego dane poddane są kompresji i transmisji.



Rys. 3. Schemat kaskady filtrów falkowych w analizie sygnału obrazu
Fig. 3. Wavelet filters cascade for analysis of two-dimensional signal

Zespół filtrów syntezujących sygnał dokonuje analogicznych operacji odwrotnych, przy czym odpowiednie filtry syntezujące oznaczona się G_0 i G_1 . Dla uproszczenia wywodu schemat kaskady filtrów syntezujących nie został tu zamieszczony.

Na rys. 4. przedstawiono podział widma sygnału dwuwymiarowego na pasma, jakiego dokonuje zespół kaskad filtrów falkowych z rys. 3. oraz opis sygnałów, niosących informację o poszczególnych fragmentach widma.



Rys. 4. Podział widma sygnału na pasma w analizie falkowej sygnału dwuwymiarowego

Fig. 4. 2D signal spectrum division by cascade of wavelet filters

6. Korzyści ze stosowania transformaty falkowej

Analiza obrazu z wykorzystaniem stosowanej powszechnie transformaty kosinusowej posiada, prócz niewątpliwych zalet, szereg wad. Jednym ze sposobów ich eliminacji może być stosowanie transformaty falkowej.

Do zasadniczych problemów, jakie może eliminować stosowanie transformaty falkowej należą: efekt blokowania i propagacja zakłóceń (wpływ uszkodzeń poszczególnych elementów sygnału na wartość elementów sąsiadnych).

Transformata kosinusowa należy do grupy transformat operujących na blokach sygnału (sygnał dzieli się na porcje i w takich fragmentach poddaje przetwarzaniu). Uzyskane w ten sposób dane poddaje się kwantowaniu. Połączenie tych elementów sprawia, że w pewnych sytuacjach widoczny staje się tak zwany efekt blokowania, przedstawiony na przykładzie na rysunku 5a. Powodem powstania tego efektu jest przede wszystkim mała rozdzielczość obrazu wziętego jako przykład (256×256 punktów) oraz poddanie go wysokiej kompresji (duże ziarno kwantowania). Wymienione warunki nie są typowe, jednak istnieje spora liczba aplikacji, wymuszających stosowanie tak surowych kryteriów przetwarzania obrazu, ze względu na wymagania czasu przetwarzania, dostępną ilość pamięci operacyjnej, nośnika lub pasma transmisji. Wykorzystanie przetwarzania z użyciem transformat falkowej nie prowadzi (ze względu na charakter przetwarzania oparty na splocie funkcji filtrów i danych przetwarzanych) do wystąpienia tego rodzaju niedokładności przetwarzania.



Rys. 5. Przetwarzanie z wykorzystaniem transformaty kosinusowej – rys. a) (widoczny tzw. efekt blokowania) i z wykorzystaniem transformaty falkowej – rys. b)
Fig. 5. Results of application of DCT – fig. a) (visible results of blocking effect) and wavelet transform – fig b)

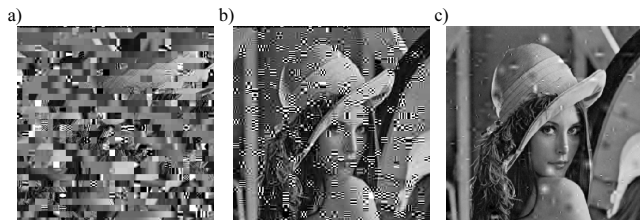
Drugą, niemniej ważną korzyścią ze stosowania transformaty falkowej jest istotne zwiększenie odporności sygnału na zakłócenia oraz wynikające z metody przetwarzania ograniczenie propagacji zakłóceń sygnału.

Jakość sygnału cyfrowego, m.in. obrazu mierzy się najczęściej różnicową miarą PSNR (ang. Peak Signal-to-Noise Ratio). Miara ta wyznacza odstęp sygnału użytecznego od szumu i zdefiniowana jest równaniem (1). Pod pojęciem odporności metody przetwarzania sygnału na zakłócenia należy rozumieć zdolność zachowania możliwie najwyższej jakości sygnału (największego odstepu sygnału od szumu).

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{x_{\max}^2 N^2}{\sum_{obrazu} (x - x')^2} \text{ dB} \quad (1)$$

gdzie: $x_{\max}$ – maksymalna wartość elementu obrazu, N^2 – liczba elementów obrazu, x – oryginalny element obrazu, x' – odtworzony element obrazu.

Rys. 6 ilustruje przykładowe wyniki wpływu zakłóceń transmisji sygnału na postać odebranego sygnału.



Rys. 6. Ilustracja wpływu zakłóceń na odebrany sygnał (BER=1%)
a) sygnał przetworzony transformatą kosinusową i nie chroniony – PSNR=9.43 dB
b) sygnał przetworzony transformatą kosinusową i chroniony przed utratą synchronizacji międzyblokowej – PSNR=18.94 dB
c) sygnał przetworzony transformatą falkową i nie chroniony – PSNR=34.02 dB
Fig. 6. Example of error influence on the signal transmitted with BER=1%
a) signal processed with cosine transform, unprotected – PSNR=9.43 dB
b) the same signal protected against loss of interblock synchronisation – PSNR=18.94 dB
c) signal processed with wavelet transform, unprotected – PSNR=34.02 dB

Rys. 6a przedstawia wynik symulacji transmisji obrazu testowego LENA w rozdzielczości 256×256 punktów, przetworzonego przez

koder wykorzystujący transformatę kosinusową, transmitowanego przy stopie błędów BER równej 1%, bez żadnej ochrony danych. Na rys. 6b zaprezentowano wynik symulacji transmisji analogicznego sygnału, chronionego przed zakłóceniami przez zastosowanie algorytmu podnoszącego jego odporność na zakłócenia EREC (Error Resilient Entropy Coding), opisanego przez Redmill-a [3]. Na rys. 6c przedstawiono wynik symulacji transmisji obrazu przy takiej samej stopie błędów i bez stosowania technik ochronnych, lecz przetworzonego przez koder oparty na transformacie falkowej, zrealizowanej z wykorzystaniem zespołu trzystopniowej kaskady filtrów LeGall-a, [4], opisanych równaniami (2) do (5). Zarówno subiektywna ocena jakości sygnału, jak i pomierzona z użyciem PSNR jakość obrazu ukazują wyższość techniki falkowej.

$$H_0(z) = \frac{1}{8}(-z^{-2} - 2z^{-1} + 6 - 2z - z^2) \quad (2)$$

$$H_1(z) = \frac{z}{2}(-z^{-1} + 2 - z) \quad (3)$$

$$G_0(z) = \frac{1}{2}(-z^{-1} + 2 - z) \quad (4)$$

$$G_1(z) = \frac{z^{-1}}{8}(-z^{-2} - 2z^{-1} + 6 - 2z - z^2) \quad (5)$$

7. Podsumowanie

Popularne standardy kodowania obrazów cyfrowych były dotychczas wykorzystywane w bardzo szerokim zakresie zastosowań. Intensywny rozwój technologii sprawił, że możliwości niegdyś leżące poza zasięgiem opłacalnej implementacji dziś są dostępne tanim kosztem. Konsekwencją tego faktu są prace nad rozszerzeniem standardów, uwzględniające m.in. stosowanie techniki kodowania falkowego. Zastosowanie tego rodzaju technik pozwala na zwiększenie wierności odwzorowania sygnału oraz uzyskanie lepszych współczynników dekompozycji i pośrednio - kompresji. Przedstawione w pracy wyniki badań symulacyjnych opierają się na stosunkowo starych propozycjach równań filtrów (pochodzą one z 1988 roku) i należy mieć świadomość, że nie są to z pewnością filtry, prowadzące do uzyskania najlepszych rezultatów [5]. W praktycznych zastosowaniach projektuje się filtry dedykowane i optymalizowane do potrzeb konkretnej aplikacji. Nie ma jednak wątpliwości, że technika kodowania falkowego jest mechanizmem, który wkrótce zdominuje cyfrowe przetwarzanie danych wizyjnych, wypierając kodowanie oparte o DCT [6].

8. Literatura

- [1] Young R.K.: Wavelet Theory and its Application. Kulwer Academic Press, Boston 1993
- [2] Zhu B.: Efficient Coding of Wavelet Trees and its Application in Image Coding. Proceedings of VCIP, vol. 2727, 1996
- [3] Redmill D. W., Kingsbury N. G.: The EREC: An Error-Resilient Tech-nique for Coding Variable-Length Blocks of Data. W IEEE Transactions on Image Processing, vol. 5, No. 4, April 1996
- [4] Le Gall A., Tabatabai A.: Sub-band Coding of Digital Images Using Symmetric Short Kernel Filters and Arithmetic Coding Techniques. Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1988
- [5] Zając W., Popławski A.: Transformaty falkowe w kodowaniu obrazów / Wojciech Zając, Andrzej Popławski. W: Zeszyty Naukowe Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2002.
- [6] Zając W.: Nieoptymalna technika dekompozycji w cyfrowym przetwarzaniu obrazu W: Informatyka - sztuka czy rzemiosło - KNWS' 05: II Konferencja Nukowa, Złotniki Lubańskie, Polska, 2005.- Zielona Góra, 2005