

# Długość filtrów analizy i syntezy w kontekście opóźnienia kodowania w falkowych koderach sekwencji wizyjnych

dr inż. Andrzej POPŁAWSKI

Tytuł doktora otrzymał na Politechnice Poznańskiej w roku 2006, autor lub współautor prac z zakresu kompresji sekwencji wizyjnych. Pracuje na stanowisku adiunkta w Instytucie Informatyki i Elektroniki Uniwersytetu Zielonogórskiego. Głównie zainteresowania naukowe dotyczą zagadnień trójwymiarowej falkowej kompresji sekwencji wizyjnych dla małych opóźnień kodowania.

e-mail: A.Poplawski@iie.uz.zgora.pl



## Streszczenie

Analiza falkowa z kompensacją ruchu nabrała w ostatnich latach dużego znaczenia ze względu na liczne zastosowania, między innymi w koderach skalowalnych. Skalowalność jest ważną cechą wykorzystywaną podczas transmisji obrazów ruchomych poprzez sieci telekomunikacyjne o niejednorodnej strukturze. Analiza falkowa w dziedzinie czasu wprowadza opóźnienie kodowania, które wyklucza kodery falkowe z wielu zastosowań. W pracy zostały zaprezentowane wyniki badań efektywności kompresji ze względu na długość wykorzystanych filtrów analizy/syntezy w dziedzinie czasu przy jednakowym opóźnieniu kodowania, uzyskanym poprzez regulację liczby poziomów dekompozycji w dziedzinie czasu.

## Abstract

The significance of the wavelet analysis with motion compensation, due to numerous applications in the area of scalable video coders, has grown significantly in importance in the recent years. The scalability of the coders is a fundamental feature while deploying within the heterogeneous networks. Unfortunately the time domain wavelet processing is coupled with the delay, which efficiently eliminates its use in many applications. The paper presents results of coding efficiency with a view to analysis and synthesis filter length in time domain at the same value of coding delay achieved by setup number of temporal decomposition level.

**Słowa kluczowe:** analiza falkowa, kompresja sekwencji wizyjnych z małym opóźnieniem kodowania, falkowa filtracja w dziedzinie czasu, drabinkowe struktury filtracji.

**Keywords:** wavelet analysis, low delay video coding, wavelet temporal filtering, lifting.

## 1. Wprowadzenie

Opracowane w ostatnich latach standardy kompresji sekwencji wizyjnych, np.: MPEG-2, MPEG-4, H.263, H.264, wykorzystują techniki kodowania hybrydowego. W procesie kodowania hybrydowego wykorzystywana jest dyskretna transformacja kosinusowa (DCT – *discrete cosine transform*) [1]. W ostatnich latach zainteresowanie wielu badaczy zostało skierowane na kodery wykorzystujące dyskretną transformację falkową (DWT – *discrete wavelet transform*) [18], [19], [20]. O ile jednak analiza falkowa w dziedzinie przestrzennej posiada długą historię, o tyle analiza falkowa w dziedzinie czasu dopiero za sprawą Ohma [11], który zaproponował efektywną analizę falkową z kompensacją ruchu stała się przedmiotem szerokiego zainteresowania. Późniejsze prace [3], [4], [13], [16], [21], [22] dotyczyły wykorzystania drabinkowych struktur filtracji czasowej (*lifting*), zwiększenia dokładności kodowania wektorów ruchu z 1 do 1/16 odstępu próbkowania oraz zastąpienie krótkich filtrów Haara dłuższymi filtrami LeGalla 5/3.

Współczesne kodery falkowe to przede wszystkim kodery trójwymiarowe, wykorzystujące analizę falkową (*wavelet analysis*) w trzech wymiarach (dwóch przestrzennych i jednym czasowym). Kodery falkowe stanowią interesującą alternatywę w stosunku do klasycznych koderów hybrydowych, gdyż umożliwiają w naturalny sposób uzyskanie pełnej skalowalności (czasowej, przestrzennej oraz typu SNR), dzięki czemu możliwa jest regulacja prędkości transmisji [2]. Ponadto efektywność kodowania trójwymiaro-

wych kodeków falkowych jest zbliżona do efektywności kodowania kodeków hybrydowych [4], [15].

Skalowalność jest istotna w wielu zastosowaniach np. w systemach bezprzewodowych o zmieniającej się w czasie przepustowości kanału transmisyjnego, w transmisji sekwencji wizyjnych poprzez sieci komunikacyjne o niejednorodnej strukturze [17], [21]. Niestety poważną wadą koderów falkowych jest powstawanie dużego opóźnienia kodowania spowodowanego wykonywaniem analizy falkowej w dziedzinie czasu.

Opóźnienie kodowania związane z wykonywaniem analizy falkowej w dziedzinie czasu jest tym większe, im większy jest rząd wykorzystywanych filtrów, zwiększa się również znacznie wraz ze wzrostem liczby poziomów analizy czasowej. Opóźnienie powstaje w wyniku konieczności przetwarzania jednocześnie pewnej liczby obrazów sekwencji wizyjnej, zwanej grupą obrazów (GOP – *Group Of Pictures*). Ta grupa obrazów może obejmować np. szesnaście obrazów. W celu przetworzenia tych obrazów, koder musi zgromadzić wszystkie obrazy grupy, co powoduje powstanie istotnego opóźnienia.

W wielu zastosowaniach jak np.: wideotelefony, systemy wideokonferencyjne, systemy zdalnej obserwacji i nadzoru wizyjnego, wymagane jest niewielkie opóźnienie kodowania. Przykładowo zalecenie IUT-T H.261 [8] określa wartość opóźnienia kodowania dla usługi wideokonferencji na poziomie nie większym niż 150 ms. To ograniczenie wymusza stosowanie bądź to innych technik kompresji sekwencji wizyjnych, bądź też modyfikacje istniejących algorytmów falkowej analizy w dziedzinie czasu.

Opisane w najnowszej literaturze techniki filtracji z kompensacją ruchu, poprawiając efektywność kompresji, przyczyniają się do zwiększenia opóźnienia kodowania związanego z wykorzystaniem dłuższych filtrów oraz z wykonywaniem wielu (zazwyczaj pięciu) poziomów analizy falkowej w czasie.

Artykuł przedstawia wyniki badań eksperymentalnych zawierające porównanie efektywności kompresji koderów falkowych dla dwóch powszechnie stosowanych filtrów LeGalla 5/3 i Haara, przy założonym jednakowym poziomie opóźnienia kodowania.

## 2. Analiza falkowa w dziedzinie czasu

W celu uzyskania efektywnej kompresji w falkowych koderach sekwencji wizyjnych, obrazy wejściowe w pierwszej kolejności są grupowane a następnie wspólnie przetwarzane. Rozmiar grupy obrazów (GOP) ustalany jest na podstawie założonej liczby poziomów analizy falkowej w dziedzinie czasu i wpływa bezpośrednio na wielkość opóźnienia kodowania. Wielkość grupy obrazów wynosi  $2^K$ , gdzie  $K$  jest liczbą poziomów analizy falkowej w czasie. Korzystając z drabinkowych układów filtracji [13], które są obecnie powszechnie wykorzystywane w koderach falkowych, równania analizy dla filtrów LeGalla 5/3 [9] można zapisać w postaci (patrz rys. 1):

$$\begin{aligned} h_t &= x_{2t+1} - \frac{1}{2}(MC_t(x_{2t}) + MC_t(x_{2t+2})), \\ l_t &= x_{2t} + \frac{1}{4}(MC_{t-1}^{-1}(x_{2t+2}) + MC_t^{-1}(x_{2t})), \end{aligned} \quad (1)$$

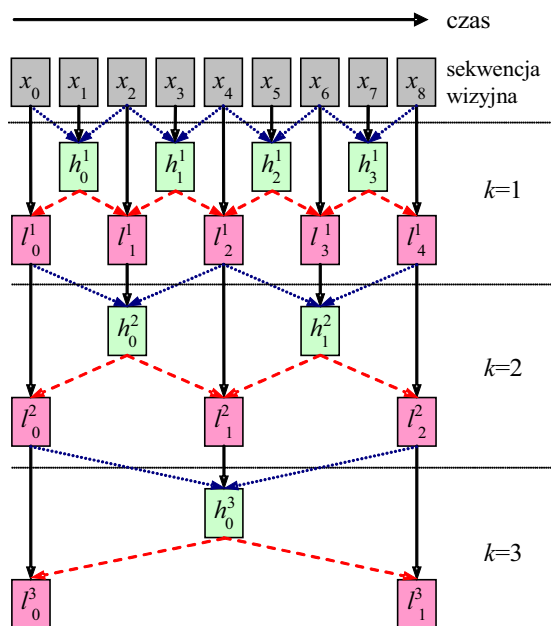
zaś dla filtrów Haara [11] w postaci (patrz rys. 2):

$$\begin{aligned} h_t &= x_{2t+1} - MC_t(x_{2t}), \\ l_t &= x_{2t} + \frac{1}{2}MC_t^{-1}(x_{2t}), \end{aligned} \quad (2)$$

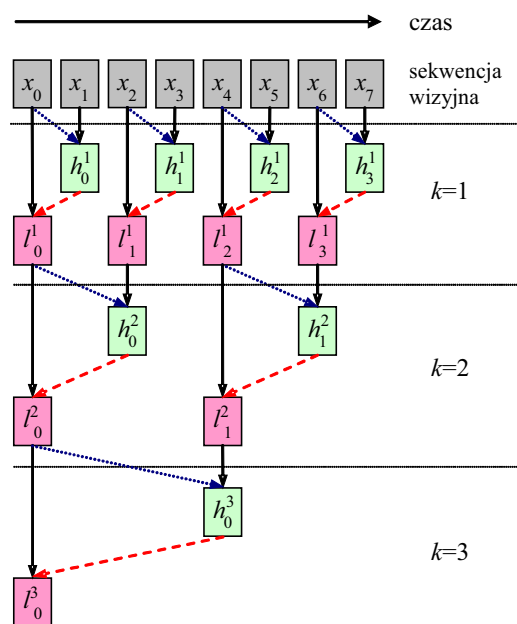
gdzie:

- $x_t$  – obraz wejściowy w czasie  $t$ ,
- $h_t$  – próbka sygnału subpasma wysokich częstotliwości w czasie  $t$ ,

- $l_t$  – próbka sygnału subpasma wysokich częstotliwości w czasie  $t$ ,
- $MC_t(x_{2t})$  – operator kompensacji ruchu między obrazami  $x_{2t+1}$  i  $x_{2t}$ ,
- $MC_t(x_{2t+2})$  – operator kompensacji ruchu między obrazami  $x_{2t+1}$  i  $x_{2t+2}$ .



Rys. 1. Trzy poziomy analizy falkowej w czasie w oparciu o filtry LeGalla 5/3  
Fig. 1. Three levels of temporal wavelet analysis based on LeGall 5/3 filters



Rys. 2. Trzy poziomy analizy falkowej w czasie w oparciu o filtry Haara  
Fig. 2. Three levels of temporal wavelet analysis based on Haar filters

Syntezę wykonuje się poprzez odwrócenie kolejności wykonywanych operacji oraz zmianie na przeciwnie znaków tych operacji. Drabinkowe struktury filtracji zapewniają idealną rekonstrukcję (niezależnie od stosowanych filtrów analizy), mniejszą złożoność obliczeniową oraz mniejsze zapotrzebowanie na pamięć w porównaniu z rozwiązaniem klasycznym.

Dla filtrów LeGalla 5/3 opóźnienie kodowania  $D$ , wyrażone w liczbie obrazów (odstępów próbkowania w dziedzinie czasu) dane jest równaniem:

$$D = 3 \cdot (2^K - 1), \quad (3)$$

zaś dla filtrów Haara równaniem:

$$D = \sum_{i=1}^K 2^{i-1}, \quad (4)$$

gdzie  $K$  oznacza liczbę poziomów analizy falkowej w dziedzinie czasu [10].

Tab. 1. Wartości opóźnienia kodowania w zależności od rozmiaru grupy obrazów  
Tab. 1. Coding delay values depending on size of group of pictures

| Liczba poziomów falkowej analizy w dziedzinie czasu ( $K$ ) | 1 | 2 | 3  | 4  | 5  |
|-------------------------------------------------------------|---|---|----|----|----|
| Rozmiar grupy obrazów (GOP)                                 | 2 | 4 | 8  | 16 | 32 |
| Opóźnienie $D$ dla filtrów LeGalla 5/3 [liczba obrazów]     | 3 | 9 | 21 | 45 | 93 |
| Opóźnienie $D$ dla filtrów Haara [liczba obrazów]           | 1 | 3 | 7  | 15 | 31 |

W tab. 1 przedstawiono wartości opóźnienia kodowania w zależności od liczby poziomów falkowej analizy w dziedzinie czasu dla filtrów LeGalla 5/3 i Haara.

W pracy nie uwzględnia się opóźnień kodowania wynikającego z czasu potrzebnego na przetworzenie danych przez jednostkę przetwarzającą oraz wynikające z czasu potrzebnego na przesłanie danych do odbiorcy. Skupiono się na dominujących opóźnieniach powstających w zespołach filtrów analizy/syntezy.

Jak ogólnie wiadomo, stosowanie dłuższych filtrów LeGalla 5/3 w falkowej analizie w dziedzinie czasu jest korzystniejsze pod względem efektywności kodowania w stosunku do krótkich filtrów Haara [12]. Okupione to jednak jest znacznym wzrostem wartości opóźnienia kodowania. Przykładowo dla pięciu poziomów dekompozycji w czasie i tym samym GOP równym 32, opóźnienie wzrasta z 31 do 93 obrazów (tab. 1).

Opisane w literaturze porównania filtrów LeGalla 5/3 i Haara uwzględniają sytuację, w której stosuje się taki sam rozmiar grupy obrazów. Porównanie takie nie jest w pełni miarodajne, ponieważ co prawda filtry LeGalla 5/3 zapewniają większą efektywność kompresji (dla przyjętej wartości GOP), ale powodują trzykrotny wzrost wartości opóźnienia kodowania. Warto pamiętać, że stosowanie dużego rozmiaru grupy obrazów (16, 32 obrazy) jest korzystne dla sekwencji wizyjnych o małej dynamice ruchów. W przypadku sekwencji dynamicznych, grupa obrazów składająca się z czterech lub ośmiu obrazów jest najkorzystniejsza ze względu na wartość współczynnika PSNR [14].

### 3. Opis badań eksperymentalnych

W pracy przedstawione zostaną wyniki badań eksperymentalnych, porównujących filtry LeGalla 5/3 i Haara przy takiej samej wartości opóźnienia kodowania. Jak wynika z tab. 1, jedynie dla GOP równego cztery dla filtrów Haara oraz GOP równego dwa dla filtrów LeGalla 5/3 można uzyskać takie same wartości opóźnienia kodowania sekwencji wizyjnych.

Do badań wykorzystano zestaw dziewięciu sekwencji wizyjnych (*City*, *Crew*, *Harbour*, *Ice*, *Soccer*, *Football*, *Silent*, *Mobile*, *Foreman*) o rozdzielczości przestrzennej CIF (352x288) i częstotliwości występowania obrazów równej 30Hz. Sekwencje te są szeroko akceptowane i stosowane przez innych badaczy do oceny efektywności kompresji sekwencji wizyjnych, charakteryzując się zróżnicowaną dynamiką, zarówno na pierwszym jak i na drugim planie.

Eksperyment polegał na zakodowaniu a następnie zdekodowaniu testowych sekwencji dla założonych wielkości grupy obrazów (a tym samym wartości opóźnienia kodowania), przy ustalonych dziesięciu wartościach prędkości transmisji a następnie ocenie jakości tak zdekodowanych sekwencji. Wykorzystano sekwencje testowe zapisane w formacie YUV, reprezentującym składową luminancji (Y) oraz dwie składowe chrominancji (UV) w schemacie próbkowania 4:2:0 [5]. Jako miarę jakości wykorzystano impulsowy współczynnik sygnału do szumu PSNR (*Peak Signal-to-Noise Ratio*) [2].

Przeprowadzenie oceny jakości sekwencji wizyjnych metodami subiektywnymi [6] jest żmudne i czasochłonne, dlatego też zrezygnowano z tej metody pomiarowej. Zalecenie [7] dopuszcza stosowanie współczynnika PSNR do porównywania kodeków o zbliżonych metodach kompresji, co ma tutaj miejsce. Pomiaru dokonano dla składowej luminancji, wyznaczając średnią arytmetyczną współczynnika PSNR wszystkich obrazów sekwencji. Taka metoda oceny efektywności kodowania sekwencji wizyjnych jest powszechnie stosowana przez wielu badaczy.

Tab. 2. Wartości współczynnika PSNR dla różnych wartości prędkości transmisji dla filtrów LeGalla 5/3,  $D=3$

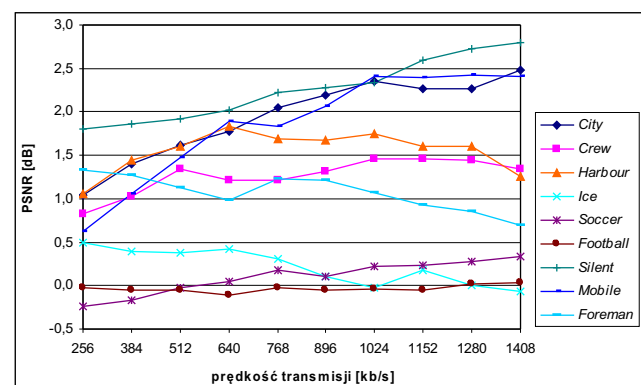
Tab. 2. PSNR values for various bitrate, LeGall 5/3 filters,  $D=3$

| Sekwencja | Wartości współczynnika PSNR[dB]<br>dla różnych wartości prędkości transmisji |             |             |             |             |             |              |              |              |              |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|           | 256<br>kb/s                                                                  | 384<br>kb/s | 512<br>kb/s | 640<br>kb/s | 768<br>kb/s | 896<br>kb/s | 1024<br>kb/s | 1152<br>kb/s | 1280<br>kb/s | 1408<br>kb/s |
| City      | 27,24                                                                        | 28,48       | 29,55       | 30,46       | 31,24       | 31,98       | 32,70        | 33,50        | 34,15        | 34,70        |
| Crew      | 29,18                                                                        | 30,37       | 31,28       | 32,29       | 33,02       | 33,64       | 34,23        | 34,79        | 35,39        | 35,95        |
| Harbour   | 23,33                                                                        | 24,75       | 25,88       | 26,80       | 27,85       | 28,73       | 29,39        | 30,12        | 30,71        | 31,46        |
| Ice       | 32,44                                                                        | 34,94       | 36,72       | 38,27       | 39,59       | 40,74       | 41,74        | 42,58        | 43,42        | 44,20        |
| Soccer    | 29,48                                                                        | 30,79       | 31,88       | 32,75       | 33,53       | 34,35       | 35,06        | 35,63        | 36,21        | 36,75        |
| Football  | 27,41                                                                        | 29,24       | 30,34       | 31,24       | 32,09       | 32,83       | 33,47        | 34,08        | 34,63        | 35,28        |
| Silent    | 29,08                                                                        | 30,62       | 31,82       | 32,72       | 33,50       | 34,19       | 34,88        | 35,44        | 36,04        | 36,51        |
| Mobile    | 19,61                                                                        | 20,78       | 21,72       | 22,55       | 23,51       | 24,15       | 24,75        | 25,39        | 26,03        | 26,67        |
| Foreman   | 29,72                                                                        | 31,77       | 33,29       | 34,41       | 35,28       | 36,14       | 36,92        | 37,63        | 38,21        | 38,74        |

Tab. 3. Wartości współczynnika PSNR dla różnych wartości prędkości transmisji dla filtrów Haara,  $D=3$

Tab. 3. PSNR values for various bitrate, Haar filters,  $D=3$

| Sekwencja | Wartości współczynnika PSNR[dB]<br>dla różnych wartości prędkości transmisji |             |             |             |             |             |              |              |              |              |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|           | 256<br>kb/s                                                                  | 384<br>kb/s | 512<br>kb/s | 640<br>kb/s | 768<br>kb/s | 896<br>kb/s | 1024<br>kb/s | 1152<br>kb/s | 1280<br>kb/s | 1408<br>kb/s |
| City      | 28,28                                                                        | 29,88       | 31,17       | 32,23       | 33,29       | 34,18       | 35,05        | 35,76        | 36,42        | 37,18        |
| Crew      | 30,00                                                                        | 31,39       | 32,63       | 33,51       | 34,23       | 34,96       | 35,69        | 36,25        | 36,83        | 37,30        |
| Harbour   | 24,38                                                                        | 26,20       | 27,48       | 28,63       | 29,54       | 30,41       | 31,14        | 31,73        | 32,31        | 32,72        |
| Ice       | 32,94                                                                        | 35,33       | 37,10       | 38,69       | 39,89       | 40,85       | 41,72        | 42,76        | 43,42        | 44,13        |
| Soccer    | 29,24                                                                        | 30,62       | 31,86       | 32,80       | 33,70       | 34,46       | 35,28        | 35,86        | 36,49        | 37,09        |
| Football  | 27,38                                                                        | 29,19       | 30,28       | 31,13       | 32,06       | 32,77       | 33,43        | 34,03        | 34,65        | 35,31        |
| Silent    | 30,88                                                                        | 32,48       | 33,74       | 34,74       | 35,72       | 36,47       | 37,22        | 38,03        | 38,76        | 39,31        |
| Mobile    | 20,23                                                                        | 21,84       | 23,19       | 24,44       | 25,34       | 26,22       | 27,16        | 27,78        | 28,45        | 29,08        |
| Foreman   | 31,05                                                                        | 33,04       | 34,42       | 35,39       | 36,51       | 37,35       | 37,99        | 38,56        | 39,06        | 39,44        |



Rys. 3. Przyrost wartości współczynnika PSNR przy zastosowaniu filtrów Haara w stosunku do filtrów LeGalla 5/3 dla  $D=3$

Fig. 3. Increase of PSNR with usage of Haar filters in relation to LeGall 5/3 filters for  $D=3$

Ponieważ jak dotąd nie opracowano standardu dla kodeków falukowych, dlatego istotnym zagadnieniem jest wybór odpowiedniego kodeka do przeprowadzenia badań. W pracy wykorzystano kodek MC-EZBC (*Motion Compensation Embedded Zero Block Coding*) [4], [15]. Kodek ten jest powszechnie uznany i wykorzystywany w wielu pracach jako falukowy koder referencyjny.

W tab. 2 zaprezentowano wyniki przeprowadzonych badań eksperymentalnych dla dziewięciu testowych sekwencji wizyjnych

dla filtrów LeGall 5/3. Wyniki analogicznych badań dla filtrów Haara zostały zamieszczone w tab. 3.

Na rys. 3 przedstawiono przyrost wartości współczynnika PSNR dla filtrów Haara w stosunku do filtrów LeGalla 5/3. Dla większości przypadków odnotowano istotny wzrost wartości PSNR dla krótszych filtrów, średnio od 0,1dB dla sekwencji *Ice* do 2,26dB dla sekwencji *Mobile*. Jedynie w przypadku sekwencji *Ice*, *Soccer* oraz *Football* dla pewnych prędkości transmisji zaobserwowano niewielkie spadki PSNR.

## 4. Podsumowanie

Wyniki badań porównawczych filtrów LeGalla 5/3 i Haara wyraźnie wskazują na istotną przewagę tych pierwszych, o ile przyjąć się taki sam rozmiar grupy obrazów. Z drugiej jednak strony wyniki badań przedstawione w artykule ukazały, że jeżeli jako kryterium oceny przyjmie się wartość opóźnienia kodowania, to dla filtrów LeGalla 5/3 w większości przypadków uzyskano mniejszą wartość współczynnika PSNR. W wielu zastosowaniach, gdzie wymagana jest niska wartość opóźnienia kodowania korzystniejsze jest więc stosowanie krótszych filtrów analizy/syntezy. Dotyczy to zwłaszcza sekwencji o dużej dynamice, dla których stosowanie małej grupy obrazów jest korzystniejsze.

## 5. Literatura

- [1] Ahmed N., Natarajan T., Rao K.R.: Discrete cosine transform. – IEEE Trans. on Computer, str. 90–93, 1974
- [2] Domański M.: Zaawansowane techniki kompresji obrazów i sekwencji wizyjnych, Poznań, WPP, 1998.
- [3] Hsiang S.-T., Woods J. W.: Embedded image coding using zeroblocks of subband/wavelet coefficients and contest modelling. – IEEE Int. Symp. on Circuits and Systems, Vol. 3, str. 662–665, 2000.
- [4] Hsiang S.-T., Woods J. W.: Embedded video coding using invertible motion compensated 3-D subband/wavelet filter bank. – Signal Processing: Image Communication, Vol. 16, str. 705–724, 2001.
- [5] ITU-R Rec. BT.470-3, Television systems, 1994.
- [6] ITU-R Rec. BT.500-6, Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures, 1994.
- [7] ITU-R Rec. BT.813, Methods for objective picture quality assessment in relation to impairments from digital coding of television signal, 1992.
- [8] ITU-T Rec. H.261, Video codec for audiovisual services at p×64 kbit/s.
- [9] LeGall D., Tabatabai A.: Subband coding of digital images using symmetric short kernel filters and arithmetic coding techniques. – Proc. Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE, str. 761–765, 1988.
- [10] Ohm J.-R.: Complexity and delay analysis of MCTF interframe wavelet structures, doc. m8520, Klagenfurt MPEG meeting, July 2002.
- [11] Ohm J.-R.: Three-dimensional subband coding with motion compensation, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 3, 559–589, 1994.
- [12] Pau G., Tillier C., Pesquet-Popescu B., Heijmans H.: Iterative predict optimization in MCTF video, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M9929, MPEG 2003.
- [13] Pesquet-Popescu B., Bottreau V.: Three-dimensional lifting schemes for motion compensated video compression, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal, 2001.
- [14] Popławski A.: Trójwymiarowa falukowa kompresja sekwencji wizyjnych z małym opóźnieniem kodowania. – Rozprawa doktorska, Wydział Elektryczny, Politechnika Poznańska, Poznań, 2006.
- [15] Rusert T., Hanke K., Wien M.: Optimization for locally adaptive MCTF based on 5/3 lifting. – Proc. Picture Coding Symposium, San Francisco, CA, USA, str. 210–220, 2004.
- [16] Secker A., Taubman D.: Motion-compensated highly scalable video compression using an adaptive 3D wavelet transform based on lifting, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing, 1029–1032, 2001.
- [17] Sheldon T.: Wielka encyklopedia sieci komputerowych, Robomatic, Wrocław, 1999.
- [18] Vaidyanathan P.P.: Multirate Systems and Filter Banks, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1993.
- [19] Vetterli M., Kovacević J.: Wavelets and Subband Coding, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1995.
- [20] Woods J. W.: Subband Image Coding. – Kluwer Academic Publisher, 1991.
- [21] Wu D., Hou Y., Zhang Y.: Scalable video coding and transport over broadband wireless networks, Proc. of the IEEE, vol. 89, 6–20, 2001.
- [22] Zhan Y., Picard M., Pesquet-Popescu B., Heijmans H.: Long temporal filters in lifting schemes for scalable video coding, doc. m8680, Klagenfurt MPEG meeting, July 2002.

**Title:** Analysis and synthesis filters length in the context of coding delay in wavelet video coders.