

## WPLYW MACIERZY KWANTYZACJI SUBPASM NA EFEKTYWNOŚĆ KOMPRESJI SKALOWALNEGO KODERA WIZYJNEGO

**Streszczenie:** Artykuł przedstawia wyniki badań wpływu macierzy kwantyzacji subpasm w warstwie rozszerzającej na efektywność kompresji skalowalnego kodera wizyjnego. Badania miały odpowiedzieć na pytanie czy efektywność kompresji warstwy rozszerzającej można zwiększyć poprzez zastąpienie standardowej macierzy kwantyzacji MPEG-2 macierzami dopasowanymi do charakterystyki częstotliwościowej subpasm. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem autorskiej implementacji kodera skalowalnego.

### 1. WSTĘP

W ostatnich latach wiele prac dotyczyło poszukiwania efektywnej struktury kodera skalowalnego [1]. Koder, w którym powstający strumień binarny kodujący obrazy jest podzielony na: strumień warstwy podstawowej, który można niezależnie dekodować i który reprezentuje sekwencje obrazów o małej rozdzielczości lub niskiej jakości oraz strumień warstwy rozszerzającej reprezentujące dodatkową informację potrzebną do odtworzenia obrazów o pełnej rozdzielczości i pełnej jakości. Taka funkcjonalność kodera ma wiele zalet, które można wykorzystać w różnych praktycznych zastosowaniach.

Także autor uczestniczył w poszukiwaniu dobrego rozwiązania kodera skalowalnego. Przedmiotem badań, których wyniki przedstawione są w niniejszym artykule jest wpływ macierzy kwantyzacji subpasm w warstwie rozszerzającej na efektywność kompresji skalowalnego kodera wizyjnego. Badania miały odpowiedzieć na pytanie czy efektywność kompresji warstwy rozszerzającej można zwiększyć poprzez zastąpienie standardowej macierzy kwantyzacji MPEG-2 macierzami dopasowanymi do charakterystyki częstotliwościowej subpasm.

W trakcie prac nad efektywną strukturą kodera skalowalnego autor przebadł różne rozwiązania: system z trójwymiarowym zestawem filtrów użytym do analizy przestrzenno-czasowej, koncepcję dwuwymiarowego kodera subpasmowego opartą na podziale danych obrazów typu B między warstwy z kompensacją ruchu a także system ze skalowalnością przestrzenno-czasową nie wykorzystujący rozkładu subpasmowego [1,6]. Przedstawione badania dotyczą drugiego rozwiązania tj. dwuwymiarowego kodera subpasmowego w szczególności jego trybu pracy wewnątrzobrazowej [5,6].

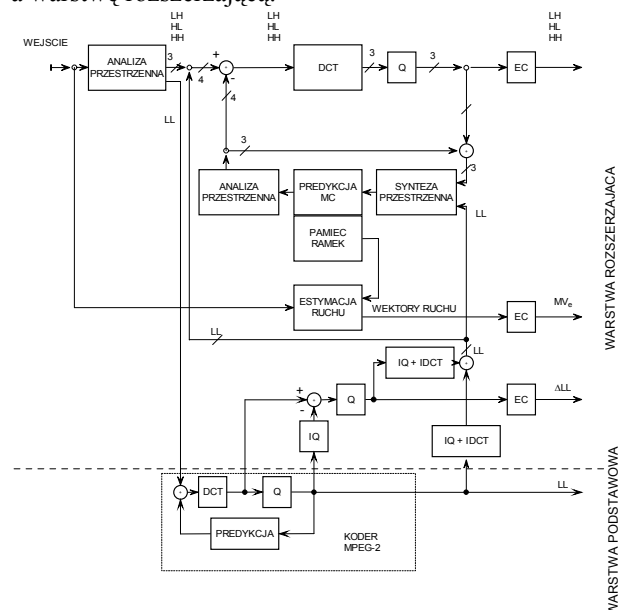
W rozwiązaniu tym subpasma w warstwie rozszerzającej są poddawane transformacji kosinusowej

a następnie dokonywana jest kwantyzacja współczynników transformaty. W pierwotnej wersji rozwiązania do kwantyzacji subpasm użyto standardowej macierzy kwantyzacji znanej ze standardu MPEG-2 [3,4]. Jednakże dalsze badania pokazały, że także poprzez zmianę macierzy kwantyzacji i dopasowanie ich do charakterystyk częstotliwościowych przetwarzanych subpasm można uzyskać znaczną poprawę efektywności kodowania.

### 2. STRUKTURA KODERA SKALOWALNEGO

Do badań wykorzystano koder skalowalny który generuje warstwę podstawową odpowiadającą strumieniowi obrazów o zredukowanej rozdzielczości zarówno czasowej jak i przestrzennej. Natomiast warstwa rozszerzająca jest używana do transmisji informacji potrzebnych do odtworzenia sekwencji wizyjnej o pełnej rozdzielczości czasowej i przestrzennej.

Obrazy typu INTRA kodowane są z wykorzystaniem dekompozycji subpasmowej. Pasma LL (pasmo zawierające współczynniki charakteryzujące niskie częstotliwości) jest transmitowane w warstwie podstawowej podczas gdy trzy pozostałe subpasma tworzą warstwę rozszerzającą (Rys.1). Redukcja rozdzielczości czasowej jest osiągana poprzez podział strumienia obrazów typu B między warstwę podstawową a warstwę rozszerzającą.



Rys.1. Schemat blokowy kodera skalowalnego

### 3. KWANTYZACJA WSPÓLCZYNNIKÓW DCT

W trybie kodowania wewnątrzobrazowego próbki transformaty kosinusowej są kwantowane zgodnie ze wzorem:

$$F'(n_1, n_2) = NINT\left(\frac{F(n_1, n_2) \cdot 16}{G(n_1, n_2) \cdot Q}\right) \quad (1)$$

Proces odwrotnej kwantyzacji współczynników DCT realizowany jest następująco:

$$F(n_1, n_2) = NINT\left(\frac{F'(n_1, n_2) \cdot G(n_1, n_2) \cdot Q}{16}\right) \quad (2)$$

gdzie:  $F(n_1, n_2)$  - współczynnik DCT,  
 $F'(n_1, n_2)$  - skwantowany współczynnik DCT,  
 $G(n_1, n_2)$  - wartość wagi współczynnika macierzy kwantyzacji,  
 $Q$  - parametr kwantyzacji,  
 $NINT$  - najbliższa wartość całkowita.

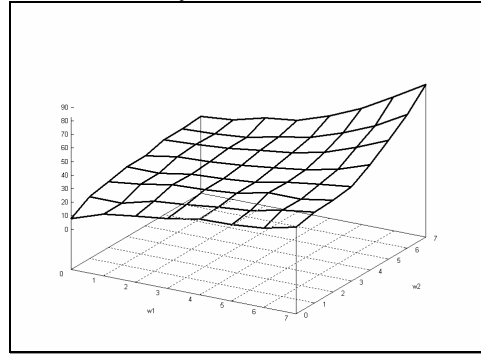
Standardowa macierz kwantyzacji MPEG-2 dla kodowania wewnątrzobrazowego zdefiniowana jest następująco:

$$G(n_1, n_2) = \begin{bmatrix} 8 & 16 & 19 & 22 & 26 & 27 & 29 & 34 \\ 16 & 16 & 22 & 24 & 27 & 29 & 34 & 37 \\ 19 & 22 & 26 & 27 & 29 & 34 & 34 & 38 \\ 22 & 22 & 26 & 27 & 29 & 34 & 37 & 40 \\ 22 & 26 & 27 & 29 & 32 & 35 & 40 & 48 \\ 26 & 27 & 29 & 32 & 35 & 40 & 48 & 58 \\ 26 & 27 & 29 & 34 & 38 & 46 & 56 & 69 \\ 27 & 29 & 35 & 38 & 46 & 56 & 69 & 83 \end{bmatrix}$$

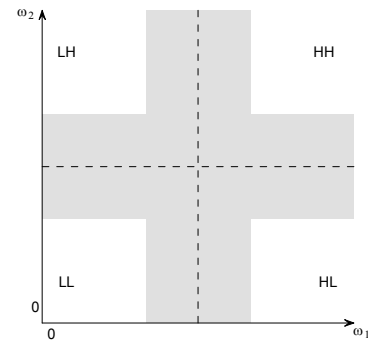
Macierz ta została określona dla sekwencji SDTV. Po wykonaniu dyskretnej transformacji kosinusowej bloku próbek  $8 \times 8$ , większa część energii skoncentrowana jest w kilku współczynnikach niskich częstotliwości. Dlatego współczynniki wyższych częstotliwości mogą być kwantowane zgrubiej niż współczynniki niskich częstotliwości. Graficzne przedstawienie macierzy wag współczynników kwantyzacji dla trybu INTRA zdefiniowanej w standardzie MPEG-2 przedstawione jest na rysunku 2. Niestety wyniki badań pokazują, że macierz ta jest nieodpowiednia do kwantyzacji współczynników transformaty DCT subpasm. Subpasma LH, HL i HH w przedstawianym koderze skalowalnym charakteryzują się inną rozdzielczością przestrzenną niż obrazy SDTV. Także charakterystyki rozkładu współczynników transformaty DCT tych subpasm są różne od charakterystyk rozkładu współczynników dla obrazów naturalnych. Macierz kwantyzacji MPEG-2 użyta do kwantyzacji współczynników DCT subpasm LH, HL i HH jest przyczyną powstawania aliasingu pomiędzy subpasmami (Rys. 3). Kronacher [2] zaproponował dwa różne rodzaje macierzy kwantyzacji subpasm:

- macierze powstałe poprzez liniową interpolację standardowych wartości wag współczynników macierzy kwantyzacji MPEG-2 dla trybu wewnątrzobrazowego;
- macierze, których wartości wyznaczono w procesie porównania charakterystyk częstotliwościowych. Macierze te nazwano macierzami o wartościach zmodyfikowanych.

Te macierze kwantyzacji zastosowano w procesie kwantyzacji próbek DCT subpasm LH, HL i HH w koderze skalowalnym.



Rys. 2. Graficzna ilustracja rozkładu wag współczynników macierzy kwantyzacji dla standardu MPEG-2 (tryb wewnątrzobrazowy).



Rys. 3. Schemat ilustrujący obszary powstawania aliasingu pomiędzy subpasmami.

Pierwszy rodzaj macierzy został stworzony w oparciu o liniową interpolację wartości standardowej macierzy kwantyzacji MPEG-2. Rozmiar macierzy został rozszerzony do rozmiaru  $16 \times 16$  a puste miejsca zostały uzupełnione wartościami interpolowanymi. Następnie macierz podzielono na cztery macierze o rozmiarach  $8 \times 8$  odpowiednio dla subpasm LL, LH, HL i HH  $G(n_1, n_2)_{LL}$ ,  $G(n_1, n_2)_{LH}$ ,  $G(n_1, n_2)_{HL}$  i  $G(n_1, n_2)_{HH}$ . Macierze te przedstawiono na rysunku 5.

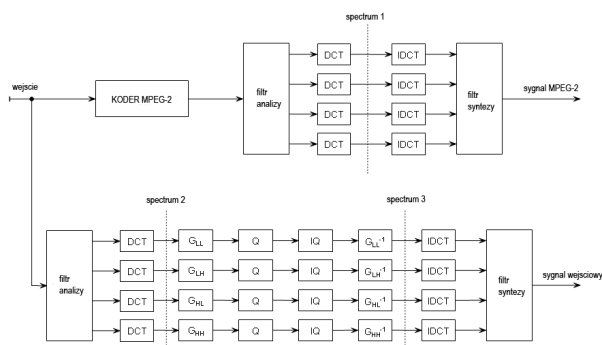
Macierze o wartościach zmodyfikowanych uzyskano w następujący sposób. Załóżmy, że kodowanie MPEG-2 jest kodowaniem odniesienia. Załóżmy również, że błąd w kodowaniu MPEG-2 jest określony następująco:

$$E_{MPEG}(n_1, n_2) = Spectrum1(n_1, n_2) - Spectrum2(n_1, n_2)$$

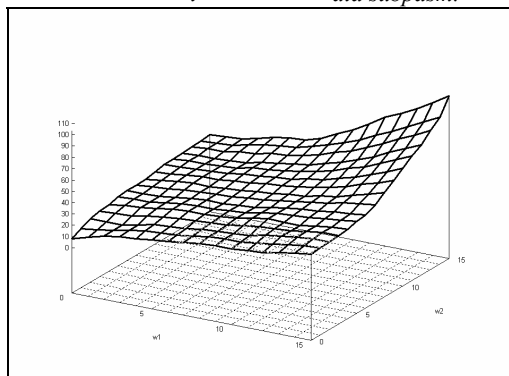
(Rys. 4). Błąd ten jest akceptowany w procesie kodowania. Natomiast błąd w kodowaniu subpasmowym jest określony następująco:

$$E_{subband}(n_1, n_2) = Spectrum1(n_1, n_2) - Spectrum3(n_1, n_2)$$

Następnie dokonywana jest zmiana wartości macierzy wag współczynników kwantyzacji  $G(n_1, n_2)_{LL}$ ,  $G(n_1, n_2)_{LH}$ ,  $G(n_1, n_2)_{HL}$  i  $G(n_1, n_2)_{HH}$ . Jeżeli błąd  $E_{subband}(n_1, n_2)$  jest taki sam lub podobny do błędu  $E_{MPEG}(n_1, n_2)$ , proces dopasowania macierzy kwantyzacji uważa się za zakończony. Macierze  $G(n_1, n_2)_{LL}$ ,  $G(n_1, n_2)_{LH}$ ,  $G(n_1, n_2)_{HL}$  i  $G(n_1, n_2)_{HH}$  przedstawione na Rys. 6 zostały uzyskane w ten sposób.



Rys. 4. Zasada tworzenia macierzy  $G(n_1, n_2)_{LL}$ ,  $G(n_1, n_2)_{LH}$ ,  $G(n_1, n_2)_{HL}$  i  $G(n_1, n_2)_{HH}$  dla subpasm.

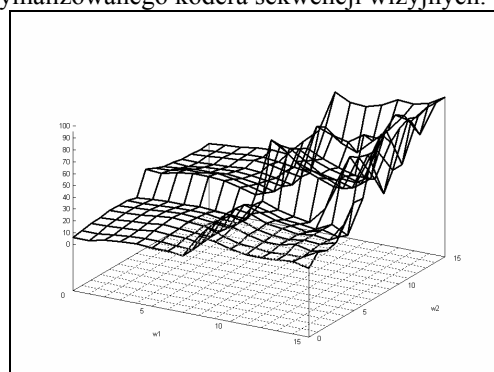


Rys. 5. Liniowo interpolowane wartości wag współczynników macierzy kwantyzacji dla subpasm (tryb INTRA).

#### 4. WYNIKI EKSPERYMENTALNE

Przedstawione macierze wag współczynników kwantyzacji zostały zastosowane w koderze skalownym działającym w trybie kodowania wewnątrz-obrazowego. Wykonano wiele symulacji z wykorzystaniem standardowych sekwencji testowych (sekwencje progresywne 4:2:0 o rozdzielczości

720 x 576 punktów i częstotliwości 50Hz). Symulacje przedstawione w tabeli 1 służą ilustracji badanego mechanizmu i nie przedstawiają wyników dla zoptymalizowanego koder sekwencji wizyjnych.

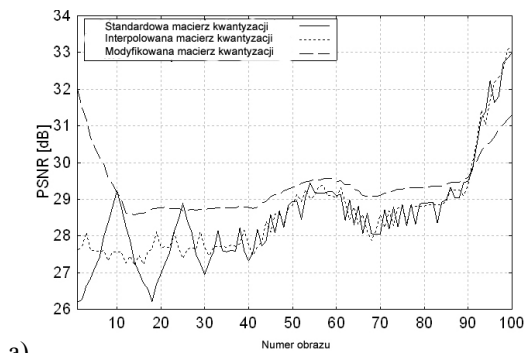


Rys. 6. Zmodyfikowane wartości wag współczynników macierzy kwantyzacji dla subpasm (tryb INTRA).

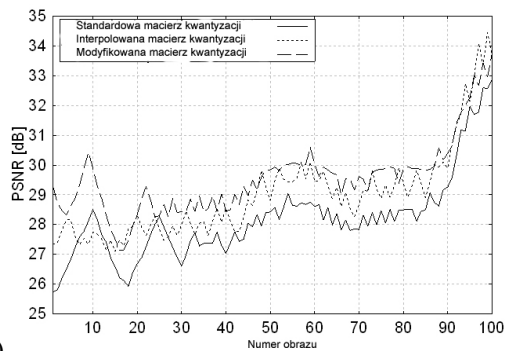
Tabela 1 przedstawia wyniki badań zastosowania zarówno macierzy o wartościach wag interpolowanych jak i macierzy o wartościach wag modyfikowanych w procesie kwantyzacji subpasm i wpływu tych wag na efektywność kodowania skalownego. We wszystkich trzech przypadkach zastosowano ten sam model koder skalownego różniące się jedynie zastosowaniem odpowiedniej macierzy. Jako odniesienie przyjęto koder skalowny ze standardową macierzą kwantyzacji MPEG-2. Tabela 1 przedstawia wyniki uzyskane dla sekwencji testowych *Basket* i *Cheer*. Wartości współczynników PSNR zostały uśrednione dla 100 kolejnych obrazów sekwencji. Rysunki 7 i 8 pokazują wykres zmian w czasie wartości współczynnika PSNR, liczby bitówna obraz dla kolejnych obrazów w sekwencji.

Tabela 1. Wyniki eksperymentalne dla trybu kodowania wewnątrzobrazowego (koder skalowny pracujący w trybie INTRA, wyniki uśrednione dla 100 obrazów).

		Sekwencja testowa	
		Basket	Cheer
Standardowe macierze wag kwantyzacji	Prędkość transmisji [Mb/s]	7,44	7,66
	Wartość uśredniona PSNR [dB] dla składowej luminancji – warstwa podstawowa	28,54	29,58
	Wartość uśredniona PSNR [dB] dla składowej luminancji – warstwa rozszerzająca	28,18	30,47
	Prędkość transmisji warstwy podstawowej [Mb/s]	2,50	2,50
	Prędkość transmisji warstwy podstawowej [%]	33,6	32,6
Interpolowane wartości wag macierzy kwantyzacji	Prędkość transmisji [Mb/s]	7,43	7,67
	Wartość uśredniona PSNR [dB] dla składowej luminancji – warstwa podstawowa	28,60	29,62
	Wartość uśredniona PSNR [dB] dla składowej luminancji – warstwa rozszerzająca	29,0	30,57
	Prędkość transmisji warstwy podstawowej [Mb/s]	2,50	2,50
	Prędkość transmisji warstwy podstawowej [%]	33,6	32,6
Modyfikowane wartości wag macierzy kwantyzacji	Prędkość transmisji [Mb/s]	8,01	7,87
	Wartość uśredniona PSNR [dB] dla składowej luminancji – warstwa podstawowa	29,37	30,12
	Wartość uśredniona PSNR [dB] dla składowej luminancji – warstwa rozszerzająca	29,54	30,95
	Prędkość transmisji warstwy podstawowej [Mb/s]	2,85	2,71
	Prędkość transmisji warstwy podstawowej [%]	35,6	34,4

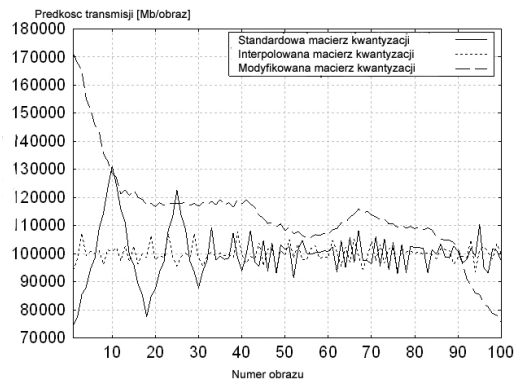


a)

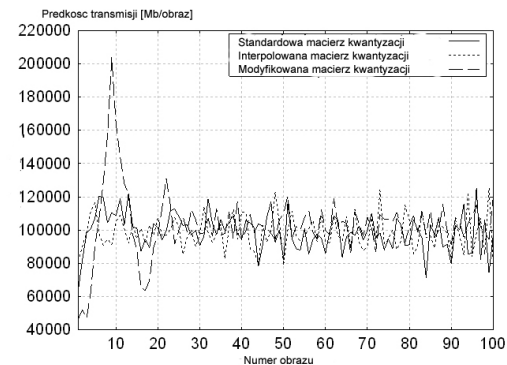


b)

Rys. 7. Wykres zmian wartości współczynnika PSNR uzyskanych w skalowalnym koderze wizyjnym dla trybu INTRA dla kolejnych obrazów sekwencji. Sekwencja testowa Basket, (a) warstwa podstawowa, (b) warstwa rozszerzająca.



a)



b)

Rys. 8. Wykres zmian wartości prędkości transmisji uzyskanych w skalowalnym koderze wizyjnym dla trybu INTRA dla kolejnych obrazów sekwencji. Sekwencja testowa Basket, (a) warstwa podstawowa, (b) warstwa rozszerzająca.

Wyniki eksperymentalne pokazują, że w przypadku interpolacji wartości wag ze standardowej macierzy kwantyzacji MPEG-2 efektywność kompresji się nie

zmieniła. Natomiast znaczną poprawę o +1,5dB uzyskano gdy zastosowano macierze o charakterystyce dopasowanej do rozkładu wartości próbek w subpasmach.

## 5. PODSUMOWANIE

Autor dokonał eksperymentalnego porównania macierzy wag współczynników kwantyzacji znanych z literatury i ich wpływu na efektywność kompresji w autorskim koderze skalowalnym wykorzystującym analizę i syntezę subpasm w kodowaniu wewnątrzobrazowym. Wyniki eksperymentalne (Tabela 1) pokazują, że efektywność kompresji kodera skalowalnego można zwiększyć poprzez odpowiedni dobór macierzy kwantyzacji. Interpolacja wartości wag standardowej macierzy kwantyzacji MPEG-2 pozwala na osiągnięcie takich samych rezultatów jak w przypadku zastosowania standardowej macierzy kwantyzacji MPEG-2 indywidualnie do każdego supasma. Badania pokazały, że wartości wag macierzy kwantyzacji powinny być dopasowane do natury subpasm. Koder skalowalny z odpowiednio dobranymi macierzami kwantyzacji ma szansę na dużą większą efektywność i jakość kodowania. Wyniki eksperymentalne pokazują, że standardowe macierze wag współczynników kwantyzacji nie mogą być efektywnie użyte do kodowania subpasm.

## LITERATURA

- [1] Domański M., Łuczak A., Maćkowiak S., *Spatio-Temporal Scalability for MPEG*, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 10, No. 7, October 2000, s. 1088-1093
- [2] Kronacher F., *Anpassung der Wichtungsmatrizen für DCT – Koeffizienten an eine hierarchische Quellencodierung mit Teilbandzerlegung*, Institut für Theoretische Nachrichtentechnik und Informationsverarbeitung, Universität Hannover, Studienarbeit, July 1996
- [3] ISO/IEC IS 13818-2 / ITU-T Rec. H.262, *Generic coding of moving pictures and associated audio, part 2: video*, November 1994
- [4] Haskell B.G., Puri A., Netravali A.N., *Digital video: an introduction to MPEG-2*, New York, Chapman & Hall, September 1996
- [5] Benzler U.: *Spatial scalable video coding using a combined subband-DCT approach*, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 10, pp. 1080-1087, October 2000
- [6] Maćkowiak S., *Scalable Coding of Digital Video*, Doctoral dissertation, Poznań University of Technology, Poznań 2002