

## Agnieszka DĄBROWSKA<sup>1,2</sup>, Kazimierz WIATR<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA

<sup>2</sup>ACK CYFRONET AGH

# Implementacja kodeka MPEG-2 w układach FPGA

Mgr inż. Agnieszka DĄBROWSKA

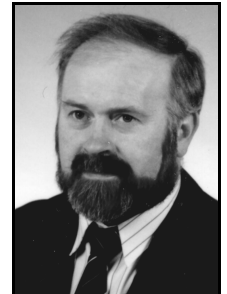
Ukończyła studia na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (2002). Jest asystentem w Katedrze Elektroniki AGH. Jej zainteresowania naukowe to kompresja obrazu, systemy czasu rzeczywistego, układy programowalne, rekonfigurowalne.



e-mail: adabrow@agh.edu.pl

Prof. dr hab. inż. Kazimierz WIATR

Studia AGH Kraków (1980), dr nauk technicznych (1987), dr habilitowany (1999) i profesor (2002). Profesor zwyczajny na Akademii Górniczo-Hutniczej oraz Dyrektor Akademickiego Centrum Komputerowego Cyfronet AGH. Prowadzone prace badawcze dotyczą komputerowego sterowania procesami, systemów wizyjnych, systemów wieloprocesorowych, układów programowalnych, rekonfigurowalnych systemów obliczeniowych i sprzętowych metod akceleracji obliczeń.



e-mail: wiatr@agh.edu.pl

### Streszczenie

Metoda kompresji zastosowana w standardzie MPEG-2 jest kombinacją innych standardów a mianowicie: JPEG oraz H.261. Ponieważ sygnał wizyjny jest w tym przypadku sekwencją nieruchomych obrazów, możliwe jest zastosowanie technik kompresji podobnych jak w przypadku standardu JPEG. W artykule zostały przedstawione wyniki implementacji toru przetwarzania sygnału wizyjnego zgodnego ze specyfikacją standardu ISO/IEC 13818 w układzie XC2VP100(-6)FF1704 firmy Xilinx.

**Słowa kluczowe:** MPEG-2, kodek, FPGA.

## Implementation of MPEG-2 codec in FPGA chips

### Abstract

The compression method applied in MPEG-2 standard is a combination of different standards, namely JPEG and H.261. There is possible to use similar compression techniques how in case of the JPEG standard, because the video signal is a sequence of still pictures. Paper presents implementation results of video signal processing path compatible with ISO/IEC 13818 standard specification in XC2VP100(-6)FF1704 Xilinx chip.

**Keywords:** MPEG-2, codec, FPGA.

## 1. Wstęp

Nazwa MPEG pochodzi od powołanego do życia przez ISO i IEC w 1988 roku komitet (*Moving Picture Experts Group*) w celu opracowania standardu kodowania ruchomych obrazów. Jednym z opracowanych standardów przez wspomniany komitet jest MPEG-2 zawarty w normie ISO/IEC 13818 [1]. Podjęto również próby stworzenia standardu MPEG-3 do zastosowania w HDTV, jednak do tego celu równie dobrze nadaje się MPEG-2. W związku z tym prace nad MPEG-3 zostały zawieszono.

Specyfikacja standardu MPEG-2 składa się z następujących części:

- systemy (13818-1),
- sygnały wizyjne (13818-2),
- sygnały audio (13818-3),
- testy zgodności (13818-4),
- oprogramowanie symulacyjne (13818-5),
- cyfrowe media zapisu - rozkazy i sterowanie - DSM-CC (13818-6),
- zaawansowane kodowanie sygnałów audio - AAC (13818-7),
- 10 bitowa reprezentacja obrazu (13818-8),
- interfejs czasu rzeczywistego (13818-9).

Standard MPEG-2, oznaczany czasem jako H.262, znajduje swoje zastosowanie przy przepływnościach bitowych powyżej 2 Mbitów/s. Górna granica przepływności bitowej osiągalnej przez ten standard wynosi aż 429 Gbitów/s.

Podstawowym wymaganiem postawionym przed standardem MPEG-2 jest osiągnięcie jak największego stopnia kompresji oraz możliwość osiągnięcia jak największej jakości dekodowanej sekwencji wizyjnej przy założonej szybkości transmisji. Dodatkowo aplikacje multimedialne powinny mieć zapewniony dostęp i możliwość zdekodowania pojedynczych obrazów ze strumienia bitowego. Również zdolność do wykonywania szybkich i bezpośrednich przeszukiwań strumienia bitowego, zarówno w przód jak i wstecz, jest niezmiernie wskazana, jeśli medium transmisyjne ma małe możliwości. Ponadto wymagana jest kompatybilność ze standardem MPEG-1, możliwość swobodnego dostępu do odpowiedniej sekwencji, skalowalność strumienia bitowego oraz małe opóźnienie dla komunikacji dwuleksowej. MPEG-2 nie standaryzuje kodowania strumienia wizyjnego, standaryzowana jest składnia strumienia wizyjnego oraz semantyka dekodowania.

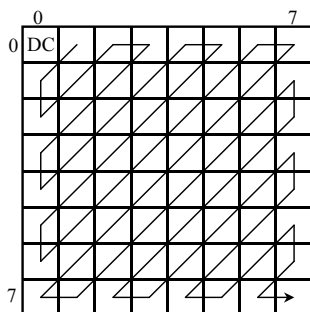
## 2. Kompresja obrazu w standardzie MPEG-2

W standardzie MPEG-2 [2-9] rozróżniane są dwa tryby kodowania: kodowanie wewnątrz-obrazowe oraz kodowanie między-obrazowe. Metody kodowania wewnątrzobrazowego wykorzystują przestrzenną redundancję istniejącą pomiędzy sąsiednimi pikselami w danym obrazie. Tak zakodowane obrazy są to tak zwane obrazy typu I (*Intraframe* lub *Intrapicture*). Obrazy tego typu zapewniają swobodny dostęp do sekwencji. Dodatkowo obrazy I można stosować przy zmianie sceny oraz przy innych przypadkach gdzie kompensacja obrazu jest nieefektywna. W ramach podobieństwa MPEG-2 do JPEG i H.261, algorytm kompresji bazuje na dwuwymiarowej dyskretnej transformacji kosinusowej. Zatem w pierwszej fazie przetwarzany obraz zostanie podzielony na rozłączne bloki o rozmiarze 8×8 pikseli a dwuwymiarowa DCT jest stosowana niezależnie dla każdego takiego bloku. Efektem takiego postępowania będzie powstanie bloków współczynników transformacji DCT również o rozmiarze 8×8, w których większość energii jest reprezentowana przez zaledwie kilka współczynników. Obecna w standardzie JPEG, podobnie jak w MPEG-1, metoda Zig-Zag (rys. 1) przestała być metodą optymalną, zatem w standardzie MPEG-2 zdefiniowano tak zwaną alternatywną metodę uporządkowania (rys. 2), chociaż jest stosowana również metoda Zig-Zag.

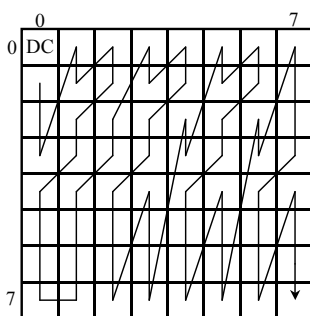
Dla trybu wewnątrzobrazowego proces kwantyzacji współczynników *AC* dyskretnej transformaty kosinusowej jest opisany wyrażeniem (1)

$$q_{ij} = \frac{32 \times y_{ij}}{2 \times \text{quantizer\_scale} \times \text{Intra}Q_{ij}} \quad \text{dla } i, j \neq 0 \quad (1)$$

gdzie: *Intra**Q*<sub>*ij*</sub> – elementy macierzy kwantyzacji trybu wewnątrz-obrazowego.



Rys. 1. Metoda Zig-Zag dla bloku o rozmiarze 8x8 pikseli  
 Fig. 1. The Zig-Zag method for block of 8x8 pixels



Rys. 2. Alternatywa metoda uporządkowania współczynników transformacji DCT w standardzie MPEG-2.  
 Fig. 2. The alternative method of DCT transformation coefficients ordering in MPEG-2 standard.

Podobnie jak w standardzie JPEG również w MPEG-2 są określone typowe macierze kwantyzacji (rys. 3) dla współczynników transformacji, uwzględniające własności systemu wizyjnego człowieka.

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

a) dla trybu wewnątrzobrazowego  
 a) intra-coded picture

16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16

b) dla trybu międzyobrazowego  
 b) inter-coding picture

Rys. 3. Typowe macierze kwantyzacji dla współczynników transformacji w standardzie MPEG-2  
 Fig. 3. Typical quantizer matrices for transformation coefficients in MPEG-2 standard

Macierze kwantyzacji można adaptacyjnie skalować za pomocą współczynnika  $q$  podawanego indywidualnie dla obrazu, warstwy lub makrobloku.

W wyniku kwantowania wiele z nich jest równe zero a kompresja jest osiągana poprzez transmisję tylko niezerowych współczynników i kodowanie entropowe ich amplitudy oraz zajmowanej pozycji.

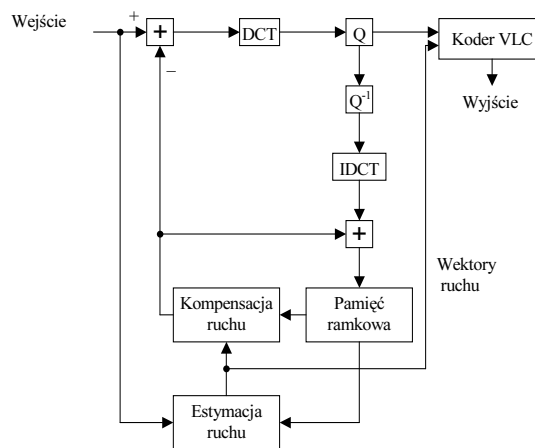
Aby umożliwić swobodny dostęp do dowolnego punktu sekwencji, obrazy I powinny pojawiać się stosunkowo często. Jednak w związku z tym, że obrazy tego typu nie wykorzystują korelacji czasowej ich stopień kompresji jest mały. Aby zwiększyć efektywność kompresji takiej sekwencji należy wstawić pomiędzy dwa kolejne obrazy typu I kilka obrazów innego typu. Zbyt duża liczba takich dodatkowych obrazów powoduje utratę swobodnego dostępu do dowolnego punktu sekwencji.

W standardzie MPEG-2 występują jeszcze dwa typy obrazów a mianowicie obrazy typu P zakodowane predykcyjnie (*Predictive coded pictures*) oraz obrazy typu B zakodowane predykcyjnie dwukierunkowo (*Bidirectionally-predictive coded pictures*).

Oprócz przestrzennej redundancji występuje również redundancja czasowa wynikająca z wysokiego stopnia korelacji pomiędzy kolejnymi obrazami. Algorytm standardu MPEG-2 wykorzystuje redundancję czasową do obliczenia błędu predykcji, czyli różnicy pomiędzy sąsiednimi obrazami.

### 3. Implementacja

Schemat blokowy kodera standardu MPEG-2 uwzględniającego proces estymacji ruchu przy tworzeniu obrazów typu P oraz B przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Schemat blokowy pełnego toru przetwarzania sygnału wizyjnego standardu MPEG-2  
 Fig. 4. The block diagram of full processing path of video signal in MPEG-2 standard

Standard MPEG-2 określa dwa sposoby tworzenia obrazów typu P i B: z wykorzystaniem procesu estymacji i kompensacji ruchu oraz przy użyciu predyktora. W proponowanych rozwiązaniach został wykorzystana metoda oparta na zwykłej predykcji.

Zaletą zaimplementowanych bloków: 2D-DCT, 2D-IDCT, procesu kwantyzacji i dekwantyzacji, jest możliwość jednoczesnego przetwarzania 8 wartości wejściowych. Na wyjściu wyniki pojawiają się po każdym cyklu zegara, zatem przetworzenie wszystkich 64 pikseli bloku o rozmiarach 8x8 zajmuje 8 cykli zegara od momentu pojawienia się na wyjściu pierwszych ośmiu wartości.

W przypadku bloków kodera i dekodera entropijnego dane na wyjściu kodera mogą pojawiać się co takt zegara jeśli nie zostaną wykryte współczynniki o wartości zerowej. Zaimplementowany w układzie XC2VP100(-6)FF1704 [10] koder entropijny zajmuje 717 bloków SLICE. Na takie wykorzystanie składa się 274 przerzutniki Flip-Flop oraz 1366 bloki LUT (1% wszystkich możliwych). Dodatkowo wykorzystane są 3 bloki BRAM. Zaimplementowany koder entropijny może przetwarzać 69 ramki o rozdzielczości 1920×1152 przy 8-bitowej reprezentacji pikseli w ciągu sekundy. Dekoder entropijny zaimplementowany w takim samym układzie może przetworzyć 107 ramek/sekundę obrazu o rozdzielczości 1920×1152 przy 8 bitach na piksel. Jego implementacja wykorzystuje 193 bloków SLICE, na co składa się 67 przerzutników Flip-Flop oraz 343 bloków LUT. Dodatkowo w układzie XC2VP100(-6)FF1704 wykorzystywane są 4 bloki pamięci BRAM.

Implementacja toru przetwarzania obrazu kodera standardu MPEG-2 wykorzystującego w procesie kompresji wyłącznie obrazy typu I w układzie XC2VP100(-6)FF1704 zajmuje 3946 bloków SLICE, co stanowi 8% układu. Na taką zajętość składa się 4448 bloków LUT (4137 wykorzystanych przez logikę, 305 przez routing, 6 przez rejestry przesuwne) oraz 4486 przerzutników Flip-Flop. Ponadto wykorzystanych jest 19 bloków pamięci BRAM oraz 80 wbudowanych w układzie XC2VP100(-6)FF1704 mnożarek. Koder może przetwarzać 79 ramek o rozdzielczości 1920×1152 przy 8-bitowej reprezentacji pikseli w ciągu sekundy.

Implementacja toru przetwarzania obrazu kodeka standardu MPEG-2 wykorzystującego w procesie kompresji wyłącznie obrazy typu I w układzie XC2VP100(-6)FF1704 zajmuje 7392 bloków SLICE (16%), na co składa się 8327 bloków LUT (6990 wykorzystanych przez logikę, 1329 przez routing, 8 przez rejestry przesuwne) oraz 8643 przerzutników Flip-Flop. Ponadto wykorzystanych jest 19 bloków pamięci BRAM oraz 140 wbudowanych w układzie XC2VP100(-6)FF1704 mnożarek. Kodek może przetwarzać 83 ramek o rozdzielczości 1920×1152 8-bitowych pikseli w ciągu sekundy.

Implementacja części odpowiadającej za kompresję obrazu kodera MPEG-2 wykorzystującego dodatkowo obrazy typu P otrzymane przy pomocy predyktora wykorzystuje 17% bloków SLICE (7851) układu XC2VP100(-6)FF1704. Na taką zajętość składa się 8876 bloków LUT (7347 wykorzystanych przez logikę, 1521 przez routing, 8 przez rejestry przesuwne) oraz 8886 przerzutników Flip-Flop. Dodatkowo wykorzystane zostaje 35 bloków BRAM oraz 156 wbudowanych mnożarek. Koder może przetworzyć 75 ramek/sekundę o rozdzielczości 1920×1152 pikseli.

Implementacja części odpowiadającej za kompresję obrazu kodeka MPEG-2 wykorzystującego dodatkowo obrazy typu P otrzymane przy pomocy predyktora wykorzystuje 12168 bloków SLICE (27%) układu XC2VP100(-6)FF1704, na co składa się 13763 bloków LUT (11016 wykorzystanych przez logikę, 2737 przez routing, 10 przez rejestry przesuwne) oraz 13670 przerzutników Flip-Flop. Dodatkowo wykorzystane zostaje 55 bloków BRAM oraz 232 wbudowanych mnożarek.

Kodek może jednocześnie pracować w trybie kodera jak i dekodera. Podobnie jak koder również kodek może przetworzyć 75 ramek/sekundę o rozdzielczości 1920×1152 pikseli.

#### 4. Podsumowanie

Zaimplementowany kodek standardu MPEG-2 z wykorzystaniem obrazów I oraz P jest w stanie przetwarzać 75 ramek na sekundę obrazu o rozdzielczości 1920×1152 (tab. 1).

Tab. 1. Parametry implementacji kodera i kodeka standardu MPEG-2 w układzie XC2VP100(-6)FF1704

Tab. 1. Parameters of MPEG-2 standard encoder and codec implementation in XC2VP100(-6)FF1704 chip

	obrazy IP	
	koder	kodek
SLICE	7851	12168
BRAM	35	55
mnożarki	156	232
1920×1152 fps	75	75

Rozdzielczość ta charakterystyczna dla profilu wysokiego MPEG-2. Osiągnięta wydajność oznacza, że koder spełnia wymogi pracy w czasie rzeczywistym. Dokładność rekonstrukcji pikseli skompresowanych przez koder wynosi  $\pm 3$ . Jest to różnica prawie niezauważalna dla oka ludzkiego. Dodatkową zaletą zaimplementowanego kodeka jest możliwość jednoczesnej pracy w trybie kompresji jak i dekompresji sygnału. Do poprawnej pracy kodeka wykorzystującego obrazy typu P wymagana jest zewnętrzna pamięć ramkowa przechowująca obraz referencyjny.

Dalsze plany związane z implementacją kodeka standardu MPEG-2 dotyczą zastosowania procesu estymacji ruchu przy tworzeniu obrazów typu P oraz uwzględnienia obrazów typu B w procesie kompresji sygnału wizyjnego.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2005-2007 jako projekt badawczy.

#### 5. Literatura

- [1] ISO/IEC 13818-2: 1995 MPEG video standard, ITU-T H.262 Recommendation
- [2] A. N. Netravali, B.G. Haskell: Digital Pictures. Representation, Compression and Standards, Plenum Press, New York 1995
- [3] M.Rabbani, P.W.Jones: Digital Image Compression Techniques, SPIE Optical Engineering Press, Bellingham 1991
- [4] Multimedia. Algorytmy i standardy kompresji pod redakcją W.Skarbka, Akademicka Oficyna Wydaw. PLJ, Warszawa 1998
- [5] K.Sayood: Kompresja danych - wprowadzenie, Wyd. RM, Warszawa 2002
- [6] M.Domański: Zaawansowane techniki kompresji obrazów i sekwencji wizyjnych, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 2000
- [7] K.Heim: Metody kompresji danych, Wyd. MIKOM, Warszawa 2000
- [8] V. Bhaskaran, K. Konstantinides: Image and Video Compression Standards. Algorithms and Architectures, Second Edition, Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London 1997
- [9] P.D.Symes: Video compression: Fundamental compression techniques and an overview of the JPEG and MPEG compression systems, McGraw-Hill, New York 1998
- [10] www.xilinx.com