

Krzysztof Wegner  
Damian Karwowski\*  
Jakub Stankowski  
Krzysztof Klimaszewski  
Olgięd Stankiewicz  
Tomasz Grajek  
Katedra Telekomunikacji Multimedialnej i Mikroelektroniki  
Wydział Elektroniki i Telekomunikacji  
Politechnika Poznańska  
ul. Polanka 3, 60-965 Poznań  
[\\*dkarwow@multimedia.edu.pl](mailto:*dkarwow@multimedia.edu.pl)



Kraków, 27-29 czerwca 2016

## NOWA TECHNIKA OPTYMALIZACJI DZIAŁANIA KODERA HEVC

### NEW OPTIMIZATION TECHNIQUE OF THE HEVC VIDEO ENCODER

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono nową metodą szybkiego wyboru trybu kodowania wewnątrzobrazowego INTRA w koderze standardu HEVC. Podstawą opracowanej metody jest szczegółowa wiedza o częstości wybierania przez koder poszczególnych trybów kodowania wewnątrzobrazowego, w zależności od żądanej prędkości bitowej, rozdzielczości obrazu oraz jakości zakodowanego obrazu. Realizacja programowa opracowanej metody pozwoliła na pokazanie, że można płynnie regulować stopień przyspieszenia kodera i efektywność kodowania za jego pomocą.

**Abstract:** The paper presents a new method of fast coding mode decision in the HEVC INTRA video encoder. The basis of the method is a detailed knowledge about frequency of using of individual coding modes in the encoder depending on the desired bitrate, spatial resolution of images, and the quality of coded images. Experiments showed a possibility of controlling the level of computations in the encoder at the cost of efficiency of video encoding.

**Słowa kluczowe:** HEVC, kompresja obrazu, optymalizacja kodera, szybki koder obrazu ruchomego.

**Keywords:** HEVC, video compression, video encoder optimization, fast video encoder.

#### 1. WSTĘP

Obecnie, ponad 60% wszystkich danych jakie są przesyłane w sieciach teleinformatycznych stanowią dane, które reprezentują obrazy ruchome. Co więcej, udział tych danych w ogólnym ruchu telekomunikacyjnym ciągle się zwiększa. Z tego powodu, od wielu lat podejmowane są bardzo intensywne prace, których celem jest opracowywanie coraz bardziej wydajnych sposobów reprezentacji ruchomego obrazu. Prowadzone w tym kierunku badania zaowocowały w ostatnich trzech latach opracowaniem nowej, wysokowydajnej techniki kompresji ruchomego obrazu, znanej jako HEVC (ang. High Efficiency Video Coding) [11]. Technika ta została w roku 2013 ujęta w międzynarodowych normach organizacji standaryzujących ISO/IEC oraz ITU-T i - w stosunku do powszechnie dzisiaj stosowanej technologii AVC (ang. Advanced Video Coding) [13] - umożliwia aż dwukrotną redukcję rozmiaru strumienia

zakodowanych danych, przy zapewnieniu niezmięnionej jakości dekodowanych obrazów [7]. Dlatego rynkowe wdrożenie nowej techniki HEVC i w niedalekiej perspektywie, wyparcie z użycia starszej, mniej efektywnej techniki AVC, wydaje się być tylko kwestią czasu.

Niespotykana w starszych koderach wysoka efektywność kompresji nowej techniki HEVC jest między innymi wynikiem zastosowania nowych rozmiarów bloków obrazu, w których koder dokonuje kompresji treści. Nie tylko pojawiły się bloki większe niż 16x16 punktów obrazu (maksymalny rozmiar bloku to 64x64), ale również w zakresie rozmiarów bloków od 4x4 do 16x16 liczba możliwych sposobów zakodowania obrazu jest w koderze HEVC dużo większa. Inaczej mówiąc, w nowej technice kodowania zwiększyła się zdolność adaptacji (rozmiaru bloku, sposobu predykcji, etc.) do charakteru kodowanej treści, co przekłada się na większą dokładność przewidywania tej treści i wyższą efektywność kompresji danych wizyjnych [7, 11].

Jednak dokładne sprawdzanie wszystkich dostępnych możliwości zakodowania fragmentu obrazu w koderze HEVC wiąże się z koniecznością przejrzania bardzo dużej liczby możliwych przypadków, co bezpośrednio przekłada się na ogromną wręcz złożoność kodowania sekwencji [3]. W kodowaniu wewnątrzobrazowym w HEVC zdefiniowano aż 35 predyktorów treści, przy czym mogą one być zastosowane w blokach o rozmiarze od 4x4 do 64x64. Dla porównania, w powszechnie dziś wykorzystywanych koderach AVC, predykcja treści może się odbywać jedynie w blokach o rozmiarach 4x4, 8x8 lub 16x16, za pomocą jedynie 9 lub - w przypadku bloku 16x16 - 4 predyktorów [13]. Jak zatem widać w przypadku nowej techniki HEVC istnieje nieporównywalnie większa niż wcześniej liczba możliwych sposobów zakodowania fragmentu obrazu. W przypadku obrazów o wysokiej (HD – High Definition) i bardzo wysokiej (UHD – Ultra-High Definition) rozdzielczości przestrzennej czas potrzebny na sprawdzenie wszystkich możliwości jest więc bardzo długi. Dlatego zastosowanie podejścia, w którym koder HEVC rzeczywiście sprawdza wszystkie dostępne tryby jest z praktycznego punktu widzenia niemożliwe. Tym samym, rynkowe wdrożenie nowej techniki HEVC musi być poprzedzone odpowied-

nimi pracami, ukierunkowanymi na optymalizację działania koderza. Chodzi o wypracowanie takich rozwiązań, które umożliwią redukcję zbioru przeszukiwanych trybów kodowania i szybszy wybór trybu odpowiedniego dla danego fragmentu obrazu w koderze HEVC, przy zachowaniu wysokiej efektywności kompresji danych.

Istotność tego zagadnienia dostrzeżono już na etapie opracowywania techniki HEVC. W trakcie opracowywania techniki HEVC zaproponowano szereg ulepszeń i uproszczeń, które pozwalają na znaczące zmniejszenie złożoności koderza HEVC. Udało się to osiągnąć dzięki zastosowaniu uproszczonych miar oceny wydajności trybów kodowania oraz dzięki wstępnej analizie złożoności treści w kodowanym bloku, co pozwoliło z góry wykluczyć określony podzbiór trybów kompresji [6,9]. Istotne znaczenie miał również fakt podobieństwa trybów wybieranych dla bloków sąsiednich [12,14,15]. Część z wymienionych rozwiązań została już włączona do modelowego oprogramowania HM kodeka wizyjnego HEVC [5], oprogramowania, które jest odniesieniem dla większości prac prowadzonych w tym zakresie. Oczywiście w literaturze prezentowane są także inne rozwiązania, które nie zostały ujęte w oprogramowaniu referencyjnym, a dotyczą szybkiego wyboru kierunków predykcji INTRA np. [4,8].

Niniejsza praca dotyczy również zagadnienia szybkiego wyboru trybów w koderze HEVC. W pracy przedstawiono ideę autorskiego sposobu przyspieszenia wewnątrzobrazowego koderza HEVC, która zasadniczo różni się od innych koncepcji opisanych w literaturze. W rozważanym rozwiązaniu pomija się w koderze rzadko stosowane tryby kompresji w oparciu o dane statystyczne, co jest źródłem istotnych przyspieszeń obliczeń w koderze. Najważniejsze elementy proponowanego rozwiązania, wybrane wyniki eksperymentów oraz komentarz do badań stanowią przedmiot rozważań kolejnych punktów pracy.

## 2. IDEA PROPONOWANEGO ROZWIĄZANIA

Nowa technika kodowania HEVC dysponuje ogromną wręcz liczbą trybów kodowania bloków. Przez tryby kodowania autorzy rozumieją rozmiar jednostki kodowania (CU - Coding Unit), rozmiar bloku, w którym dokonywana jest predykcja próbek obrazu (PU - Prediction Unit), rodzaj zastosowanego predyktora dla próbek obrazu oraz rozmiar bloku, w którym realizowane jest transformatowe kodowanie danych (TU - Transform Unit). Jednak wnikliwa obserwacja zakodowanych już obrazów pozwala stwierdzić, że nie wszystkie z tych trybów są przez koder wybierane równie często. Jak zaobserwowano, częstość wyboru poszczególnych trybów jest różna i zależy od parametrów takich, jak rozdzielczość obrazów, czy zadany stopień kompresji danych [10].

Aby przyspieszyć działanie koderza można wiedzę o częstości wyboru trybów wykorzystać i wykluczyć z procedury testowania tryby wybierane statystycznie rzadko. W ten sposób można ograniczać zbiór sprawdzanych trybów do stosowanych najczęściej, przyspie-

szając tym samym pracę koderza. Należy się jednak spodziewać, że eliminacja rzadko wybieranych trybów będzie wpływać na końcową efektywność kompresji danych.

Zaproponowana idea została wdrożona w oprogramowaniu modelowym HM (w wersji 15.0) koderza HEVC [5]. Statystyki częstości wyboru trybów, wyznaczone na dużym zbiorze sekwencji wizyjnych, zostały umieszczone w koderze. Użytkownik określa wartość progową częstości wyboru trybów i decyduje w ten sposób, czy dany tryb należy wykluczyć czy może uwzględnić w procedurze testowania trybów. Tryby kodowania, które statystycznie są stosowane rzadziej niż określona wartość progu są pomijane, a tryby stosowane częściej są uwzględniane w procedurze wyboru optymalnego trybu.

## 3. METODOLOGIA BADAŃ

Pierwszy krok podjętych prac miał na celu uzyskanie statystyk warunkowych częstości użycia poszczególnych trybów w koderze HEVC. Statystyki te zostały pozyskane w drodze analizy zbioru zakodowanych strumieni wizyjnych, które zostały wytworzone przy pomocy modelowego oprogramowania HM w pełnym zakresie wartości indeksów kwantyzacji QP. Co bardzo istotne, w koderze przeznaczonym do zbierania statystyk wyłączono wszystkie mechanizmy szybkiego wyboru trybów. Koder użyty do zbierania statystyk dokonywał zatem pełnego przeszukiwania, po wszystkich dostępnych do kodowania trybach, nie ograniczając się do pewnego ich zbioru, jak to ma miejsce w koderze referencyjnym w typowej konfiguracji. Dzięki temu uzyskiwane są pełne statystyki warunkowe wykorzystania trybów kodowania.

Żeby móc jednoznacznie ocenić wpływ zastosowania zaproponowanej metody na efektywność koderza HEVC, w kroku drugim przeprowadzono kodowanie zbioru sekwencji testowych (sekwencje o rozdzielczości 2560x1600: *Nebuta*, *PeopleOnStreet*, *SteamLocomotive*, *Traffic* oraz 1920x1080: *BasketballDrive*, *BQTerrace*, *Cactus*, *Kimono1*, *ParkScene*) z użyciem koderów:

1. Oprogramowania modelowego HM15.0, które powszechnie uznawane jest za punkt odniesienia dla badań naukowych. Jak już wcześniej wspomniano, oprogramowanie to zawiera już pewne rozwiązania dotyczące szybkiego wyboru trybów.
2. Oprogramowania HM15.0 uzupełnionego wcześniej o autorskie statystyki trybów i parametr sterujący, który determinuje zbiór sprawdzanych w koderze trybów. Parametr ten przekłada się bezpośrednio na przyspieszenie kodowania w zamian za obniżenie efektywności.

W przypadku każdego kodowania mierzono czas kodowania sekwencji, jak również efektywność kompresji danych wizyjnych (czyli wartość miary PSNR oraz rozmiar strumienia zakodowanych danych). W oparciu o wyniki cząstkowe, jakie otrzymano dla obu koderów, dla każdej sekwencji zostały wyznaczone następujące wskaźniki:

1. Względny czas kodowania sekwencji będący ilorazem czasu działania zmodyfikowanego kodera HM15.0 i kodera standardowego (modelowego).
2. Strata efektywności kompresji określona miarą Bjøntegaard'a BD-Rate [1]. Miara ta określa zmianę wymaganej prędkości bitowej potrzebnej do przesłania zakodowanego strumienia danych spowodowaną zastosowaniem nowej techniki, przy zachowaniu niezmięnionej jakości zakodowanych obrazów.

Powyższe wskaźniki zostały następnie uśrednione w ramach sekwencji dostępnych w danym zbiorze (1600p i 1080p) i są przedstawione w formie wykresu w kolejnym rozdziale. Zasadniczym celem omawianych badań było pokazanie, jakie w ramach zaproponowanej metody istnieją możliwości przyspieszenia kodera HEVC, jeśli strata efektywności kompresji (czyli miara BD-Rate) mieścić się będzie w zakresie 0-1%. Przyjęty zakres jest powszechnie uważany za niewielką (pomijalnie małą) utratę efektywności kodowania.

#### 4. WYNIKI EKSPERYMENTÓW

Wyniki uzyskane dla testowego zbioru sekwencji, po uśrednieniu w ramach dwóch odrębnych klas sekwencji, przedstawione są na rys. 1. Zakres prezentowanych danych ograniczony został do zakresu, dla którego strata jakości, mierzona powszechnie uznaną miarą BD-Rate, jest mniejsza niż 1%. Wynik taki uzyskuje się zmieniając wartości parametru sterującego w zakresie od 0 do 0,03. Innymi słowy pomijamy tryby wybierane rzadziej niż w trzech procentach przypadków.

Analiza wykresu z rys. 1. pokazuje, że dzięki zastosowaniu prezentowanej metody można uzyskać prawie dwukrotne przyspieszenie działania kodera, przy stracie jakości (mierzonej miarą BD-Rate) około 1%. Jest to bardzo dobry wynik, a w dodatku przyspieszenie daje się łatwo płynnie regulować w przedstawionym zakresie poprzez zmianę pojedynczego parametru kodera.

Wyraźnie widoczną cechą zaproponowanej metody jest również większe przyspieszenie dla sekwencji o mniejszej rozdzielczości. Wyjaśnieniem tego zjawiska może być fakt istnienia większej zależności trybów kodowania wybieranych przez koder dla sąsiednich bloków w przypadku, gdy bloki obejmują swoją powierzchnią większą część obrazu. W takim przypadku metoda lepiej przewiduje optymalne, z punktu widzenia kodowania, wybory trybów kodowania. Pozwala przez to na zaoszczędzenie przez koder znacznej ilości czasu bez utraty jakości kodowanej sekwencji. Zbiór sposobów kodowania bloków, przewidywanych przez proponowaną metodę, z większym prawdopodobieństwem zawiera wtedy sposób kodowania wybierany dla konkretnego bloku przez koder referencyjny, którego wybory mogą być uznane za punkt odniesienia dla badanej metody.

Zależność przyspieszenia od rozdzielczości sekwencji wizyjnych świadczy również o tym, że w przypadku obrazów o bardzo dużej rozdzielczości, tryby kodowania wybierane dla sąsiednich bloków charakteryzują się nieco większą losowością. Może to wynikać z faktu braku wystarczającej liczby szczegółów (na przykład

wyraźnych krawędzi) w obrębie grupy sąsiednich bloków, aby wpłynąć na większą spójność trybów wybieranych przez koder w trakcie kodowania. Może to być powodowane rozmyciem obrazu w przypadku sekwencji o większej rozdzielczości, wynikającego z ograniczeń sprzętowych bądź też sposobu filmowania sceny.

#### 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Uzyskane wyniki pokazują, że proponowana metoda może być z powodzeniem wykorzystywana w szybkich koderach HEVC. Doskonale nadaje się ona do wykorzystania w sytuacjach, w których wykorzystuje się transmisję na żywo, szczególnie wrażliwą na jakiegokolwiek opóźnienia związane z kodowaniem. W takich sytuacjach chętnie wykorzystywaną metodą kodowania jest kodowanie „*all intra*”, czyli z wykorzystaniem jedynie obrazów kodowanych wewnątrzobrazowo. Daje się w ten sposób łatwo uzyskać kompresję działającą w czasie rzeczywistym, dającą obrazy o bardzo wysokiej jakości. Predestynuje to przedstawioną metodę do zastosowania w powstających systemach telewizji bardzo wysokiej rozdzielczości (UHD), szczególnie w zastosowaniach studyjnych, gdzie często wykorzystuje się kompresję typu „*all intra*”.

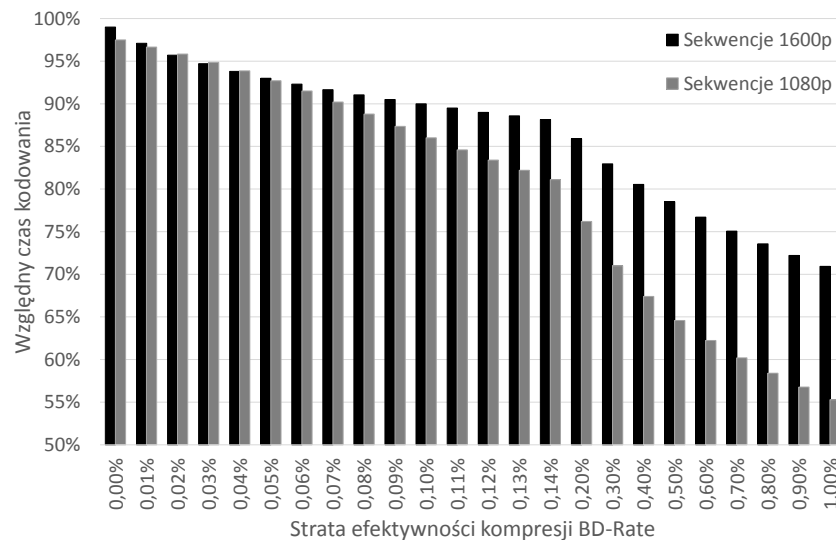
#### INFORMACJA

Przedstawione wyniki są rezultatem prac badawczych prowadzonych w ramach projektu LIDER Narodowego Centrum Badań i Rozwoju NCBiR. Numer projektu: LIDER/023/541/L-4/12/NCBR.

#### LITERATURA

- [1] Bjøntegaard G.. 2001. „Calculation of average PSNR differences between RD curves”. ITU-T SG16/Q6, Doc. VCEG-M33.
- [2] Bossen F.. 2012. „Common test conditions and software reference configurations”. Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC) of ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. JCTVC-J1100.
- [3] Bossen F., Bross B., Suhring K., Flynn D.. 2012. „HEVC Complexity and Implementation Analysis”. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 22 (12) : 1685–1696.
- [4] da Silva T.L., Agostini L.V., da Silva Cruz L.A.. 2014. „HEVC intra prediction acceleration based on texture direction and prediction unit modes reuse”. APSIPA Transactions on Signal and Information Processing, 3 : 1-13.
- [5] „HM 15.0 Reference Software”. 2014. Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC) of ITU-T SG 16 WP 3 and ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11, [https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn\\_HEVCSoftware/tags/HM-15.0](https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn_HEVCSoftware/tags/HM-15.0).
- [6] Min B., Cheung R.C.C.. 2015. „A Fast CU Size Decision Algorithm for the HEVC Intra Encoder”.

- IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 25 (5) : 892–896.
- [7] Ohm J.-R., Sullivan G. J., Schwarz H., Tan T.K., Wiegand T.. 2012. „Comparison of the coding efficiency of video coding standards - Including High Efficiency Video Coding (HEVC)”. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 22 (12) : 1669–1684.
- [8] Pastuszak G., Abramowski A.. 2016. „Algorithm and Architecture Design of the H.265/HEVC Intra Encoder”. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 26 (1) : 210–222.
- [9] Shen L., Zhang Z., Liu Z.. 2014. „Effective CU Size Decision for HEVC Intracoding”. IEEE Transactions on Image Processing, 23 (10) : 4232–4241.
- [10] Stankowski J., Grajek T., Karwowski D., Klimaszewski K., Stankiewicz O., Wegner K., Domański M.. 2014. „Analysis of frame partitioning in HEVC”. Lecture Notes in Computer Science, 8671 : 602–609.
- [11] Sullivan G.J., Ohm J.-R., Han W.-J., Wiegand T.. 2012. „Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard”. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 22 (12) : 1649–1668.
- [12] Tian G., Goto S.. 2012. „Content Adaptive Prediction Unit Size Decision Algorithm for HEVC Intra Coding”. Picture Coding Symposium, 405–408.
- [13] Wiegand T., Sullivan G.J., Bjontegaard G., Luthra A.. 2003. „Overview of the H.264/AVC video coding standard”. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 13 (7) : 560–576.
- [14] Zhang H., Liu Q., Ma Z.. 2013. „Priority Classification Based Fast Intra Mode Decision for High Efficiency Video Coding”. Picture Coding Symposium, 285–288.
- [15] Zhao L., Zhang L., Ma S., Zhao D.. 2011. „Fast mode decision algorithm for intra prediction in HEVC”. IEEE Visual Communications and Image Processing (VCIP), 1–4.



Rys. 1. Średni względny czas kodowania w zależności od straty efektywności kompresji wyrażonej miarą Bjontegaard'a. Uwaga! Na osi odciętych zastosowano zmienną skalę.