

Krzysztof Wegner
Damian Karwowski*
Tomasz Grajek
Krzysztof Klimaszewski
Jakub Stankowski
Olgiert Stankiewicz
Katedra Telekomunikacji Multimedialnej i Mikroelektroniki
Wydział Elektroniki i Telekomunikacji
Politechnika Poznańska
ul. Polanka 3, 60-965 Poznań
* dkarwow@multimedia.edu.pl



Poznań, 21-23 czerwca 2017

SZYBKIE TRANSKODOWANIE STRUMIENI HEVC POPRZEZ ELIMINACJĘ SKWANTOWANYCH WSPÓŁCZYNNIKÓW TRANSFORMATY O WARTOŚCI JEDEN

HEVC VIDEO TRANSCODING BY REMOVING QUANTIZED TRANSFORM COEFFICIENT OF VALUE ONE

Streszczenie: Przedmiotem tej pracy jest projekt autorskiego transkodera obrazów, które zostały zapisane w strumieniach bitowych zgodnych z nową normą MPEG-H HEVC. Podstawą działania prezentowanego transkodera jest eliminacja wybranych współczynników przekształcenia DCT ze strumienia danych, łatwej do realizacji zarówno na platformie programowej jak i sprzętowej. Opracowana technika daje możliwość uzyskania od kilku do 10% redukcji prędkości strumienia danych przy spadku jakości obrazów po transkodowaniu w zakresie 0,2-0,5dB.

Abstract: The paper describes a design of a video transcoder that is able to process video streams stored in MPEG-H HEVC compatible bitstreams. The principle of operation of the presented transcoder is the removal of selected quantized transform coefficients from the bitstream, giving the possibility of its ultra-fast software and hardware implementation. The developed technology enables the reduction of bitrate from a few to 10% reduction of bitrate with a decrease in image quality of 0.2-0.5dB.

Słowa kluczowe: kompresja obrazu, kodowanie HEVC, transkodowanie obrazu

Keywords: video compression, HEVC video encoding, video transcoding

1. WSTĘP

Transmisja obrazów w sieciach teleinformatycznych wymagać może zastosowania ściśle określonej wartości prędkości bitowej dla zakodowanego strumienia danych, który te obrazy reprezentuje. Poszczególne systemy transmisji obrazów (np. systemy mobilne, systemy telewizji cyfrowej, transmisja w internecie), stawiają jednak odmienne wymagania na prędkość bitową przesyłanych danych. Konceptyjnie najprostszym rozwiązaniem tego problemu jest wielokrotna kompresja obrazów dla różnej prędkości bitowej. Jednakże przechowywanie wszystkich strumieni bitowych wymaga ogromnych pamięci masowych, co jest istotnym problemem. Odminnym podejściem jest przechowywanie jednego tylko strumienia źródłowego, i późniejsze tran-

skodowania na żądanie (On-Demand Transcoding) tego strumienia do wymaganej przez widza prędkości bitowej. Takie podejście staje się coraz bardziej powszechne ze względu na małe wymagania na pamięć i wciąż rosnące zasoby obliczeniowe w chmurze. Rozwiązanie z transkodowaniem zakodowanych wcześniej obrazów wymaga jednak szybkich, i zapewniających wysoką jakość transkoderów obrazu.

2. ANALIZA TRANSKODOWANIA HEVC

Klasyyczny transkoder obrazów jest prostym, szeregowym zestawieniem dekodera obrazów, który dokonuje dekompresji zakodowanego wcześniej strumienia, oraz koderu obrazów, który realizuje ponowną kompresję obrazów uwzględniając wymagania nałożone na parametry zakodowanego strumienia danych (np. prędkość bitowa nowego strumienia). Jednak stosowane w klasycznym transkoderze pełne kodowanie obrazów jest głównym powodem jego bardzo wysokiej obliczeniowej złożoności. Z perspektywy określonych zastosowań, np. działające na baterii systemy mobilne, ta wysoka złożoność jest ogromnym problemem.

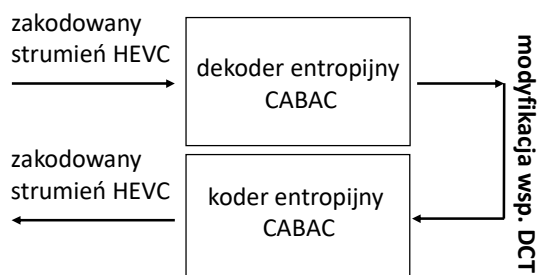
Z tego powodu powstają nowe projekty transkoderów, dzięki którym udaje się tę wysoką złożoność istotnie zmniejszyć. Cel ten osiąga się pomijając pewne kroki dekodowania zakodowanego strumienia lub upraszczając sam koder, który dokonuje ponownej kompresji obrazów. W literaturze naukowej znanych jest wiele szybkich rozwiązań transkodowania strumieni zgodnych z normą HEVC [2-7]. Źródłem przyspieszenia obliczeń w tych transkoderach jest ponowne wykorzystanie części danych, pozyskiwanych z dekodowanego strumienia. Popularne jest także wykorzystanie zależności statystycznych pomiędzy trybami kompresji zastosowanymi podczas kodowania pierwotnego i w trakcie transkodowania. Z reguły takimi danymi są: informacja o siatce podziału obrazu na bloki o danej wielkości (podział obrazów na jednostki kodowania CU, predykcji PU, transformacji TU), dane o ruchu w sekwencji (wektory

ruchu, indeks obrazu odniesienia), tryb kodowania (kodowanie wewnątrz- lub międzyobrazowe). Wtórne wykorzystanie danych jest również uzupełniane informacją o statystycznej zależności trybów kompresji – tych obecnych w pierwotnie zakodowanym strumieniu oraz tych będących wynikiem nowego kodowania w transkoderze. Wymienione mechanizmy prowadzą do istotnej redukcji palety trybów kodowania, które faktycznie sprawdza koder transkodera, przyspieszając tym samym proces transkodowania obrazów. Testy wydajności nowych konstrukcji transkoderów HEVC wskazują na możliwość uzyskania 70% redukcji czasu transkodowania obrazów, przy umiarkowanej, 3% stracie efektywności kompresji obrazów (w stosunku do klasycznego transkodera kaskadowego), liczonej według miary Bjontegaarda [8].

3. PROPONOWANY TRANSKODER HEVC

3.1. Główna idea

Wtórne wykorzystanie danych w nowych transkoderach obrazu pozwala co prawda wyraźnie skrócić czas obliczeń, jednak wciąż transkodery te realizują pełne dekodowanie obrazów połączone z ponowną (choć uproszczoną) ich kompresją. Przedmiotem tej pracy jest nowe podejście do transkodowania HEVC, w którym całkowicie pomija się etap dekodowania obrazów do postaci próbek oraz etap ponownej ich kompresji. Strukturę opracowanego transkodera prezentuje rysunek 1.



Rys. 1. Autorski transkoder obrazów – etapy obliczeniowe

W etapie pierwszym proponowany transkoder realizuje jedynie entropijne dekodowanie danych strumienia celem ekstrakcji danych reprezentujących wartości skwantowanych współczynników przekształcenia DCT. Wartości te będą następnie przedmiotem właściwej modyfikacji (patrz następny podpunkt). Etap drugi, końcowy, to ponowne uformowanie zakodowanego strumienia danych, którego głównym elementem jest entropijne kodowanie nowych danych. Biorąc pod uwagę etapy obliczeniowe, które występują w proponowanym transkoderze, jego realizacja programowa czy sprzętowa jest ekstremalnie szybka.

3.2. Modyfikacja współczynników DCT – podstawowe założenia

Każdy ze współczynników przekształcenia DCT resztkowych danych, które reprezentują w koderze składowe kosinusoidalne o danej częstotliwości, charakteryzuje się określonym wpływem na jakość obrazu oglądanego przez widza. Jednocześnie każdy z nich wpływa na

wielkość strumienia zakodowanych danych. Na podstawie przeprowadzonej analizy tych wpływów, celem minimalizacji strat jakości obrazu po transkodowaniu, proponuje się usunięcie z wejściowego strumienia HEVC tylko współczynników transformaty o wartości ± 1 . Usuwając współczynniki o małej wartości spowodujemy niewielką degradację jakości obrazów, pozostawiając sobie jednocześnie możliwość zmiany prędkości bitowej strumienia danych w pewnym zakresie.

W proponowanej metodzie, decyzja o usunięciu określonych współczynników transformaty jest poprzedzona analizą możliwych skutków wykonania tej operacji. Przykładowo, w technice HEVC, sposób i wynik przewidywania danych w bloku obrazu silnie zależy od wyników kodowania predykcyjnego danych w blokach, które sąsiadują z blokiem aktualnie kodowanym. Należy zatem zrezygnować z usunięcia współczynników DCT, jeśli taka operacja skutkowałaby kumulacją błędów i wystąpieniem niekorzystnego zjawiska jakim jest dryf kodowania. Istotne jest zatem sprawdzenie, czy usunięcie danego współczynnika transformaty nie spowoduje zmiany wartości sygnału, który będzie stanowił odniesienie dla późniejszej predykcji treści innego bloku.

Innym koniecznym do rozważenia przypadkiem jest próba usunięcia współczynnika transformaty, który jest jedynym niezerowym współczynnikiem w bloku transformaty. Przedstawiany w tym artykule transkoder rezygnuje z usunięcia jedyne, niezerowego współczynnika celem uniknięcia konieczności modyfikowania innych elementów składni strumienia danych.

Po każdej modyfikacji zawartości bloku transformaty (jednostki TU), konieczne jest przeprowadzenie na nowo operacji ukrycia znaku współczynnika transformaty (tak jak jest to określone w normie MPEG-H HEVC/H.265). W tym celu należy sprawdzić, czy w jednostce transformaty występują warunki do ukrycia znaku, i jeśli rzeczywiście są one spełnione to dokonuje się ukrycia znaku zgodnie z przyjętymi w normie HEVC regułami.

3.3. Strategia usuwania współczynników DCT

Celem przyjętej w transkoderze strategii usuwania współczynników transformaty jest minimalizacja strat jakości obrazów po transkodowaniu przy jednoczesnej możliwości redukcji strumienia bitowego zakodowanych danych. W opracowanym rozwiązaniu stopień redukcji strumienia bitowego jest kontrolowany na dwóch poziomach: na poziomie obrazu oraz na poziomie jednostki kodowania CTU.

Procedura usuwania współczynników jest poprzedzona etapem wyboru kandydatów do ewentualnego usunięcia. Wybór kandydatów jest realizowany w obrazie na poziomie jednostek kodowania CU (jednostki te zawierają się w jednostce CTU), przy czym w pierwszej kolejności przeglądane są współczynniki, które reprezentują składowe wysokoczęstotliwościowe. Uwzględniając zadany stopień redukcji wielkości strumienia bitowego, usuwana jest ściśle określona liczba współczynników DCT o wartości ± 1 . Usunięcie danego współczynnika jest poprzedzone opisaną wcześniej analizą skutków wykonania tej operacji.

4. OCENA WYDAJNOŚCI ORACOWANEGO ROZWIĄZANIA

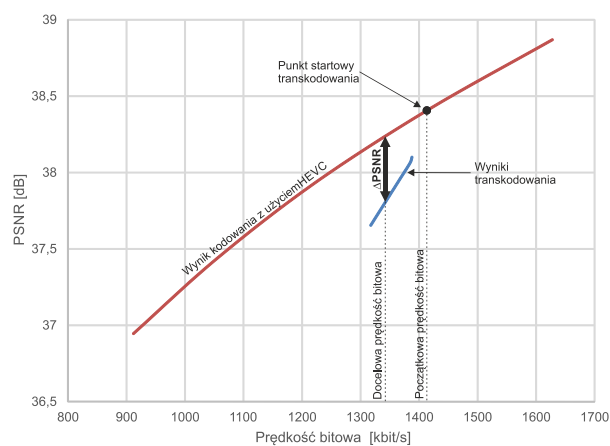
4.1. Metodologia badań

Implementacja szybkiego transkodera obrazów została przygotowana na bazie modelowego oprogramowania HM 13.0 kodeka HEVC [9]. Oprogramowanie transkodera realizuje kolejne etapy obliczeniowe, które zostały wymienione w punktach poprzednich. Z uwagi na bardzo wysoki stopień skomplikowania oprogramowania kodeka HEVC, prace nad opracowaniem programu autorskiego transkodera były bardzo trudne i czasochłonne.

W celu eksperymentalnej weryfikacji wydajności opracowanego rozwiązania jak i oceny jakości obrazów po transkodowaniu, przygotowano zbiór zakodowanych strumieni HEVC. Zakodowane strumienie HEVC zostały otrzymane w drodze kodowania zbioru sekwencji testowych oprogramowaniem HM koder HEVC. Ten etap badań został przeprowadzony zgodnie z rekomendacjami międzynarodowych organizacji ISO/IEC oraz ITU-T, które zostały szczegółowo określone w dokumencie „Common test conditions” [1]. Kompresja sekwencji testowych (klasy B i C) została przeprowadzona przy wielu różnych ustawieniach parametru kwantyzacji QP (20, 25, 30, 35, 40, 45, 50), celem oceny wydajności transkodera w szerokim zakresie punktów pracy koderów. Zakodowane strumienie były następnie przedmiotem transkodowania obrazów do zadanych prędkości bitowych nowego strumienia.

Zarówno w przypadku pierwszego kodowania oryginalnych sekwencji, jak również w przypadku transkodowania obrazów, gromadzono dane dotyczące prędkości bitowych zakodowanych strumieni, jak również jakości zakodowanych obrazów. Za każdym razem jakość zakodowanych obrazów była wyrażana miarą PSNR, liczoną pomiędzy obrazem oryginalnym i jego wersją odtwarzaną w dekoderyze.

Następnie wyznaczono wskaźnik Δ PSNR jako różnicę pomiędzy jakością obrazu po transkodowaniu i jakością obrazu, który zostałby otrzymany w drodze kodowania oryginalnej sekwencji do tej samej prędkości bitowej co obraz po transkodowaniu. Koncepcja wyznaczenia wskaźnika Δ PSNR została dodatkowo zilustrowana na poniższym rysunku.

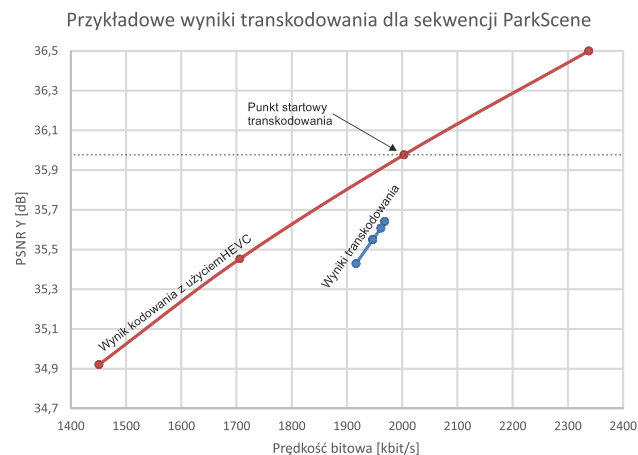


Rys. 2. Sposób wyznaczenia wskaźnika Δ PSNR w transkoderyze HEVC

4.2. Wyniki eksperymentów

Rysunek 3 przedstawia przykładowe wyniki działania transkodera, które zostały otrzymane dla sekwencji testowej „ParkScene”. Przedstawione wyniki eksperymentów pozwalają na sformułowanie następujących ogólnych wniosków.

Usunięcie maksymalnie jednego współczynnika DCT w każdym bloku transformaty prowadzi do około 1% redukcji prędkości bitowej strumienia danych. Taki stopień redukcji strumienia wiąże się z ze stratą jakości obrazów po transkodowaniu na poziomie 0.25-0.5dB. Żeby uzyskać większą redukcję strumienia należy usunąć większą liczbę współczynników transformaty w blokach, jednak będzie to skutkowało większą stratą jakości obrazów. I tak, usunięcie do dwóch współczynników w każdym bloku przyniesie już 2% redukcję strumienia przy stracie jakości o 0.25-0.5dB. Usunięcie do 16 współczynników transformaty w bloku pozwoli na 10% redukcję wielkości zakodowanego strumienia przy pogorszeniu jakości obrazów o około 0.5dB. Dokładny charakter danych (stopień redukcji strumienia, strata jakości obrazów) został przedstawiony na poniższym rysunku.



Rys. 3. Rezultaty transkodowania obrazów otrzymane dla sekwencji testowej ParkScene

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

W tej pracy przedstawiono nowatorską koncepcję transkodowania obrazów, która cechuje się ultra-szybką realizacją, z uwagi na redukcję do minimum liczby koniecznych do wykonania etapów obliczeniowych (patrz punkt 3). Proponowany transkoder działa bezpośrednio na składnikach strumienia danych, nie przeprowadza zatem pamięciochłonnych i złożonych obliczeniowo etapów rekonstrukcji obrazu ani ponownej kompresji zrekonstruowanego obrazu. Jedynymi operacjami koniecznymi do wykonania, poza właściwym procesem usuwania współczynników i ewentualnej ich korekcji, jest przeprowadzenie procesu dekodowania entropijnego współczynników transformaty oryginalnego strumienia, a następnie przeprowadzenie kodowania entropijnego współczynników transformaty o zredukowanej liczbie.

Generalnym wnioskiem z badań jest fakt możliwości szybkiej obliczeniowo redukcji wielkości strumienia HEVC o kilka do 10%. Redukcja prędkości bitowej danych w tym zakresie wiąże się z umiarkowanym spadkiem jakości obrazów po transkodowaniu (spadek jakości do około 0,5dB).

W niniejszej pracy przedstawione zostały wyniki transkodowania obrazów, w których usuwa się tylko współczynniki transformaty o amplitudzie 1. W prezentowanej strukturze transkodera można również rozważyć usunięcie współczynników przekształcenia DCT o wyższej niż 1 amplitudzie, jak również można zredukować wartość wybranych współczynników. W takich przypadkach autorzy przewidują możliwość redukcji prędkości bitowej strumienia w szerszym zakresie, jednak samo transkodowanie musi być prowadzone z jeszcze bardziej zaawansowaną kontrolą dryfu kodowania danych. Dlatego przywołane sposoby transkodowania mogą stanowić interesujący temat przyszłych badań.

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] 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.
- [2] L. P. Van, J. D. Cock, G. V. Wallendael, S. V. Leuven, R. Rodriguez-Sanchez, J. L. Martinez, P. Lambert, R. V. Walle, “Fast transrating for high efficiency video coding based on machine learning”, IEEE ICIP 2013, 2013.
- [3] Luong Pham Van, Johan De Praeter, Glenn Van Wallendael, Sebastian Van Leuven, Jan De Cock, Rik Van de Valle, Efficient Bitrate Transcoding for High Efficiency Video Coding, IEEE Transactions on Multimedia, Vol. 18, No. 3, March 2016.
- [4] L. P. Van, J. D. Cock, A. J. Diaz-Honrubia, G. V. Wallendael, S. V. Leuven, R. V. Walle, “Fast motion estimation for closed-loop HEVC transrating”, IEEE ICIP 2014, 2014.
- [5] Z. Lin, Q. Zhang, K. Chen, J. Sun and Z. Guo, "Efficient arbitrary ratio downscale transcoding for HEVC," *2016 Visual Communications and Image Processing (VCIP)*, Chengdu, 2016, pp. 1-4. doi: 10.1109/VCIP.2016.7805465.
- [6] V. A. Nguyen and M. N. Do, "Efficient coding unit size selection for HEVC downsizing transcoding," *2015 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, Lisbon, 2015, pp. 1286-1289. doi: 10.1109/ISCAS.2015.7168876
- [7] L. P. Van, J. De Praeter, G. Van Wallendael, J. De Cock and R. Van de Walle, "Performance analysis of machine learning for arbitrary downsizing of pre-encoded HEVC video," in *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 61, no. 4, pp. 507-515, November 2015. doi: 10.1109/TCE.2015.7389806
- [8] G. Bjøntegaard, Calculation of average PSNR differences between RD-curves, ITU-T SG16, Doc. VCEG-M33, Apr. 2001.
- [9] Oprogramowanie modelowe HEVC, dostępne online <https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/>