

Tomasz Grajek¹
Krzysztof Wegner¹
Jakub Stankowski¹
Luís Lucas²

¹Politechnika Poznańska
Katedra Telekomunikacji Multimedialnej i Mikroelektroniki
ul. Polanka 3, 60-965 Poznań

²Inst. de Telecomunicações,
PEE/COPPE/DEL/Polí, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brazylia
e-mail: {tgrajak,jstankowski,kwegner}@multimedia.edu.pl

BADANIA NAD TECHNIKAMI PRZETWARZANIA OBRAZU TRÓJWYMIAROWEGO REALIZOWANE W EUROPEJSKIM PROGRAMIE WSPÓLPRACY NAUKOWO-TECHNICZNEJ

Streszczenie: W niniejszej pracy przedstawiono badania zespołu profesora Domańskiego, prowadzone w ramach Akcji Europejskiego Programu Współpracy Naukowo-Technicznej (COST) - IC1105 3D-ConTourNet. Zaprezentowano również nową, wewnątrzobrazową technikę kompresji map głębi. Opracowana technika pozwala na średnio 4,9% redukcję wymaganej prędkości bitowej dla reprezentacji trzech, wysokiej rozdzielczości map głębi, przy zachowaniu niezmięnionej jakości widoków wirtualnych.

1. AKCJA COST IC1105 3D-CONTOURNET

COST, czyli Europejski Program Współpracy Naukowo-Technicznej (ang. *European Cooperation in Scientific and Technology*), to najstarszy i największy europejski program ramowy, dotyczący współpracy naukowo-technicznej. Program COST jest współtworzony przez 35 państw europejskich i Izrael (jako państwo współpracujące). Jego najważniejszym zadaniem jest organizowanie multilateralnej współpracy naukowo-technicznej krajów członkowskich.

Program COST, działając poprzez tzw. Akcje COST, umożliwia koordynację, na szczeblu europejskim, projektów badawczych o określonej tematyce, prowadzonych w różnych krajach. Akcje COST, można określić mianem parasola, pod osłoną którego realizowanych jest wiele pojedynczych projektów, mających wspólny cel ogólny. Co istotne, program COST nie finansuje bezpośrednio samych badań, natomiast w ramach poszczególnych Akcji wspierane są działania takie jak: spotkania, warsztaty, szkolenia, konferencje, krótkoterminowe wymiany (staże) naukowe oraz budowanie sieci kontaktów zewnętrznych.

W programie COST obowiązują cztery podstawowe zasady:

- otwartość – nowa Akcja może zostać zainicjowana przez każdy kraj członkowski COST oraz przez Komisję Europejską,
- elastyczność - przystąpienie kraju do udziału w konkretnej Akcji jest dobrowolne i zależy jedynie od narodowych priorytetów badawczych,
- zdecentralizowane finansowanie - prace badawcze finansowane są bezpośrednio przez kraje prowadzące badania,

- wspólna koordynacja - realizacja krajowych projektów badawczych jest koordynowana wspólnie na szczeblu europejskim.

Warto podkreślić, że zasięg Akcji COST nie ogranicza się tylko do współpracy naukowo-technicznej europejskich państw członkowskich. Mogą w nich uczestniczyć, na tzw. „zasadzie wzajemnych korzyści”, także państwa z bliskiego sąsiedztwa państw członkowskich COST, tzw. Near Neighbour Countries (np. Albania, Algieria, Egipt, Mołdawia, Rosja, Ukraina) oraz pozostałe kraje określone mianem International Partner Countries (np. Brazylia, Chiny, Japonia, Korea, Stany Zjednoczone).

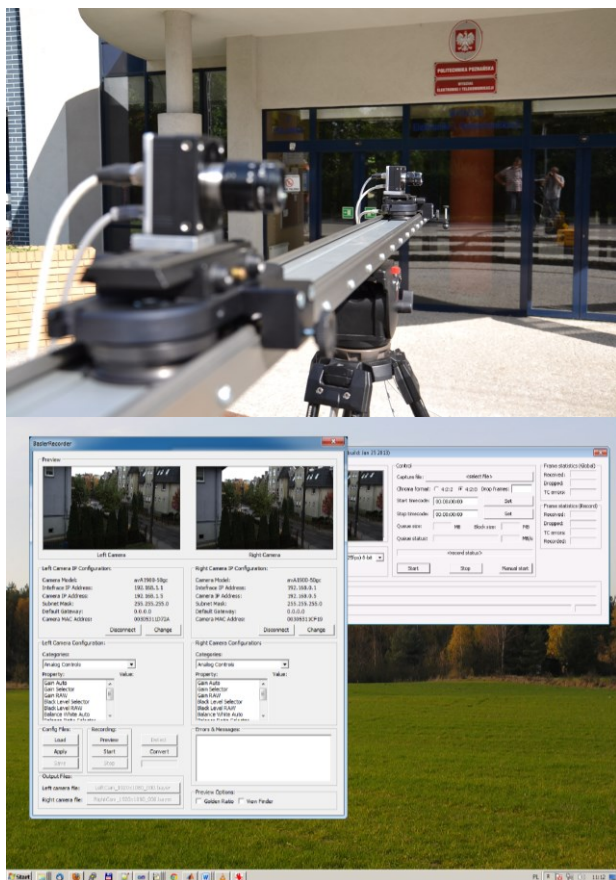
Szczegółowe informacje o programie COST, można znaleźć na stronie internetowej: <http://www.cost.eu>.

Akcje COST podzielone są na 10 grup (9 tematycznych i 1 interdyscyplinarną). Politechnika Poznańska, a w szczególności zespół profesora Marka Domańskiego z Katedry Telekomunikacji Multimedialnej i Mikroelektroniki, począwszy od maja 2012, aktywnie uczestniczy w Akcji IC1105 - 3D-ConTourNet: 3D Content Creation, Coding and Transmission over Future Media Networks [1]. Akcja 3D-ConTourNet dotyczy koordynacji współpracy badawczej na poziomie europejskim w tworzeniu, kodowaniu, dostarczaniu i odbieraniu trójwymiarowych usług i aplikacji multimedialnych w przyszłych sieciach telekomunikacyjnych. Ramy naukowe Akcji opracowano w celu integracji głównych elementów całego łańcucha dostaw trójwymiarowych usług multimedialnych. W szczególności są to takie zagadnienia, jak akwizycja i tworzenie treści multimedialnych, ich kompresja oraz transmisja w sieciach heterogenicznych, a także ich odbiór przez użytkownika końcowego, przy założeniu, że głównym czynnikiem oceny systemu jest jakość postrzegana przez odbiorcę końcowego. Akcja wspiera współpracę między naukowcami i ekspertami z branży, promując tworzenie technicznych oraz naukowych opracowań dla szerokiej grupy odbiorców, opracowując nowe modele biznesowe dla dostawców treści i usług multimedialnych oraz rozpowszechniając wiedzę o technologii 3D w społeczeństwie międzynarodowym. Akcja 3D-conTourNet jest realizowana w okresie od maja 2012 do maja 2016r.

2. BADANIA REALIZOWANE W RAMACH 3D-CONTOURNET

Spotkania w ramach Akcji COST są bardzo dobrym sposobem, nie tylko na promowanie wyników własnych badań, czy też posiadanej infrastruktury badawczej, ale również na zapoznanie się z wynikami badań, prowadzonymi w tej samej dziedzinie w innych europejskich ośrodkach naukowych. Pozwalają na nawiązanie bezpośrednich kontaktów z innymi ośrodkami, koordynację prowadzonych badań naukowych, a przede wszystkim dają możliwość zaplanowania wspólnej realizacji nowych badań.

W trakcie spotkań Akcji 3D-ConTourNet zespół prof. Domańskiego zaprezentował, unikalny w skali światowej, stereoskopowy system automatycznego pomiaru gabarytów pojazdów [2, 3] (rys. 1).



Rys. 1. Stereoskopowy system automatycznego pomiaru gabarytów pojazdów

System ten umożliwia optyczny pomiar gabarytów poruszających się pojazdów (długość, szerokość, wysokość), z błędem pomiaru ok. 5%. Pomiar dokonywany jest zdalnie, za pomocą stereoskopowego zestawu kamer wysokiej rozdzielczości, umieszczonego na poboczu drogi lub na wiadukcie. Ruchome obrazy stereoskopowe są analizowane za pomocą specjalnie opracowanych algorytmów, które wyznaczają żądane rozmiary obserwowanych pojazdów. Na podstawie wyników oraz innych cech wyznaczonych z obrazów, pojazdy są kategoryzowane, dzięki czemu możliwa jest realizacja automatycznego pomiaru ruchu różnych typów pojazdów. Rozwiązanie to może znaleźć zastosowanie szczególnie

w miejscach, w których konieczna jest kontrola rozmiarów pojazdów, na przykład w obszarach o ograniczonym ruchu długich pojazdów. System umożliwi pomiar bez ingerencji w infrastrukturę drogową lub ruch pojazdów. Ze względu na potencjalne zastosowania, szczególny nacisk, przy opracowywaniu systemu, położony został na pomiar wymiarów samochodów ciężarowych i ich zespołów, jednak opracowana metoda pomiaru jest na tyle uniwersalna, że może być stosowana do wyznaczania gabarytów pojazdów dowolnego typu.

W ramach wymiany doświadczeń przedstawiono także system telewizji swobodnego punktu widzenia (ang. *Free Viewpoint Television - FTV*) z łukowym ustawieniem kamer [4] (rys. 2). Opracowany system składa się z 10 bezprzewodowych modułów kamerowych. Każdy moduł składa się z kamery HD (Canon XH-G1) oraz podsystemów, zapewniających realizację następujących funkcji:

- zdalna synchronizacja z wykorzystaniem sygnału synchronizującego, transmitowanego w paśmie 869MHz – źródłem sygnału może być jedna z kamer lub niezależny, zewnętrzny generator,
- rejestracja nieskompresowanego sygnału wizyjnego – każdy z modułów wyposażony jest w odbiornik z interfejsem HD-SDI i umożliwia zarejestrowanie nieskompresowanego sygnału na dysku twardym,
- zdalna kontrola i sterowanie – każda z kamer może zostać podłączona do sieci WiFi, a specjalne oprogramowanie pozwala na precyzyjne sterowanie każdą z kamer oraz sterowanie procesem nagrywania, a także na bieżące wyświetlanie parametrów każdego z modułów,
- zasilanie kamery oraz pozostałych komponentów systemu.

Wszystkie podsystemy zostały zaprojektowane i wykonane w Katedrze Telekomunikacji Multimedialnej i Mikroelektroniki Politechniki Poznańskiej.



Rys. 2. System kamerowy telewizji swobodnego punktu widzenia (FTV) rozstawiony w studiu

Każdy z modułów kamerowych jest autonomiczny i może działać jako urządzenie całkowicie bezprzewodowe, niewymagające zewnętrznego zasilania i stosowania kabli sygnałowych. Cechy te pozwalają na rejestrację sekwencji FTV w różnych warunkach, w tym również w plenerze.

Przykładowy kadr, z sekwencji zarejestrowanej opracowanym systemem, z odpowiadającą mu mapą głębi, został przedstawiony na rysunku 3. Zarejestrowana sekwencja została udostępniona środowisku naukowemu i jest obecnie wykorzystywana w badaniach nad

rozwojem systemów telewizji swobodnego punktu widzenia, w innych ośrodkach naukowych.

Z uczestnikami Akcji podzielono się również, opracowaną w Katedrze, metodologią oceny subiektywnej sekwencji trójwymiarowych [5], rozszerzoną o szczegółowe procedury konstrukcji i prowadzenia tego typu badań.



Rys. 3. Kadr pochodzący z zarejestrowanej w studio sekwencji FTV wraz z odpowiadającą mu mapą głębi (Kamera 7)

Szczególne zainteresowanie uczestników Akcji wzbudziła, zaproponowana przez zespół Katedry, nowa technika kodowania sekwencji wielowidokowych i trójwymiarowych HEVC-3D [6, 7]. Opracowana technologia kodowania została oceniona jako najbardziej efektywna (wraz z propozycjami Instytutu Fraunhofera – Instytutu Telekomunikacji H. Hertza z Berlina - HHI) w konkursie na nową technologię kodowania 3D, zapewniającą wydajną kompresję materiału wizyjnego oraz wysokiej jakości rekonstrukcję dowolnej liczby gęsto rozmieszczonych widoków wirtualnych, ogłoszonym przez Moving Picture Experts Group (MPEG), w imieniu Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej (ISO) i Międzynarodowej Komisji Elektrotechnicznej (IEC). Zaproponowana przez zespół profesora Domańskiego technologia została wybrana jako punkt wyjścia do rozwoju międzynarodowego standardu kompresji wielowidokowych obrazów ruchomych (3D-HEVC)[7].

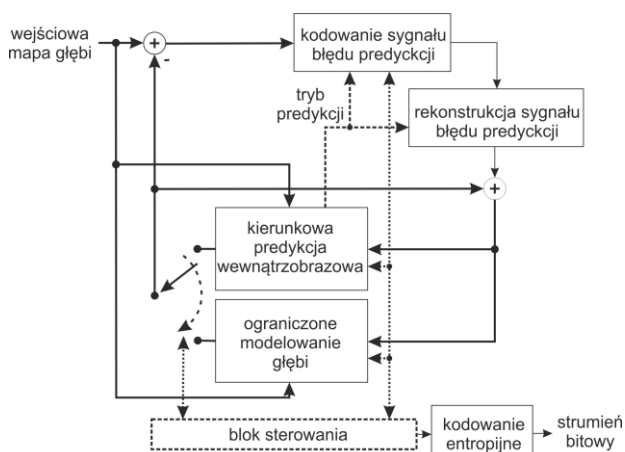
3. NOWA TECHNIKA KODOWANIA GŁĘBI

Program COST, oprócz organizacji spotkań i promocji wyników, finansuje także staże naukowe tzw. STSM (ang. *Short Term Scientific Mission*). Staże te są okazją do wspólnego, bezpośredniego prowadzenia badań naukowych przez uczestników akcji z różnych krajów.

Obecnie dużo międzynarodowego wysiłku badawczego poświęca się opracowaniu wydajnych technik kodowania obrazu trójwymiarowego, reprezentowanego w formacie MVD (ang. *Multiview Video + Depth*) – wiele widoków sceny wraz z odpowiadającymi im mapami głębi [8].

Badania te mają swoje odzwierciedlenie w pracach normalizacyjnych Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej (ISO), która finalizuje obecnie prace nad techniką Bardzo Wydajnego Kodowania Obrazu Trójwymiarowego (3D-HEVC)[7], będąca owocem współpracy wielu ośrodków badawczych z całego świata. Wspomniana technika jest rozszerzeniem techniki HEVC (MPEG H część 2 oraz H.265) [10, 11], która dodatkowo wykorzystuje podobieństwo między wieloma widokami tej samej sceny oraz zależności pomiędzy obrazem a mapami głębi.

Wsparcie uzyskane w ramach STSM, pozwoliło na opracowanie wewnątrzobrazowej techniki kompresji map głębi PDC (ang. *Predictive Depth Coding*), wykorzystującej elastyczny podział obrazu na bloki o rozmiarach z zakresu od 64×64 aż do 1×1 , uproszczoną wewnątrzobrazową predykcję kierunkową, nowe tryby ograniczonego modelowania głębi oraz uproszczone kodowanie sygnału błędu predykcji (resztkowego). Schemat blokowy opracowanej techniki przedstawiono na rysunku 4.



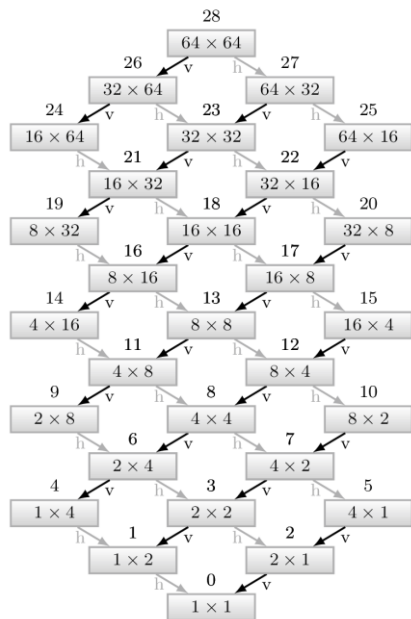
Rys. 4. Schemat zaproponowanego algorytmu

3.1. Elastyczny podział obrazu

Podczas kodowania, mapa głębi dzielona jest na nienakładające się bloki o rozmiarze 64×64 . Każdy taki blok może zostać następnie podzielony na:

- 4 równe podbloki (w schemacie 4-drzewa) lub
- 2 podbloki poziomo albo pionowo (w schemacie 2-drzewa).

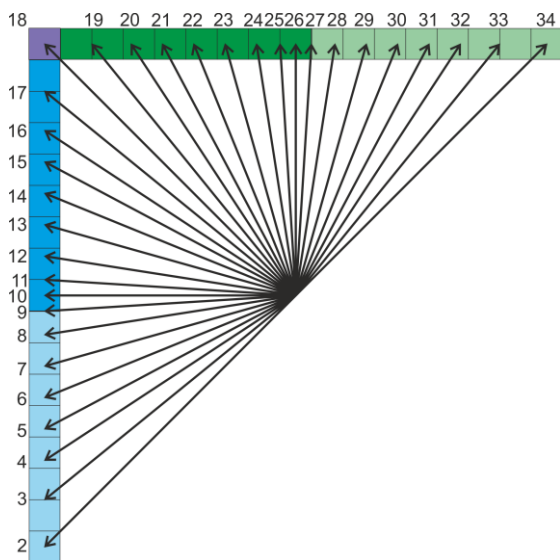
Proces podziału bloku, z kilkoma wyjątkami, następuje rekurencyjnie aż do rozmiaru 1×1 . Blok raz podzielony w schemacie 2-drzewa nie może być dalej dzielony w schemacie 4-drzewa. Bloki nie są dzielone na podbloki o dużej asymetrii rozmiarów np. 64×1 . Pełne drzewo możliwych rozmiarów bloków przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Możliwe do zastosowania rozmiary bloków

3.2. Uproszczona wewnątrzobrazowa predykcja kierunkowa

Predykcja wewnątrzobrazowa wykorzystana w opracowanym algorytmie bazuje na technice HEVC. Na podstawie próbek z sąsiadujących bloków przewidywana jest treść aktualnie kodowanego bloku. Ogólnie możliwe są 33 kierunki predykcji wewnątrzobrazowej (rys. 6), predykcja DC (nr 1) i predykcja planarna (nr 35) [11].



Rys. 6. Kierunki predykcji wewnątrzobrazowej w HEVC

Opracowany algorytm PDC wykorzystuje bloki o bardzo różnym rozmiarze. Niektóre z nich są tak małe lub wąskie (np. 1×1 , 4×1), że część ze zdefiniowanych w HEVC kierunków predykcji jest nadmiarowa, np. dla bloku o rozmiarze 4×1 , 8 pionowych kierunków predykcji prowadzi do niemalże identycznego sygnału predykcji. Aby uniknąć niepotrzebnych obliczeń i zaoszczędzić na sygnalizacji, kierunki takie, jak przedstawione powyżej, zostały wyłączone. W rezultacie, dla każdego roz-

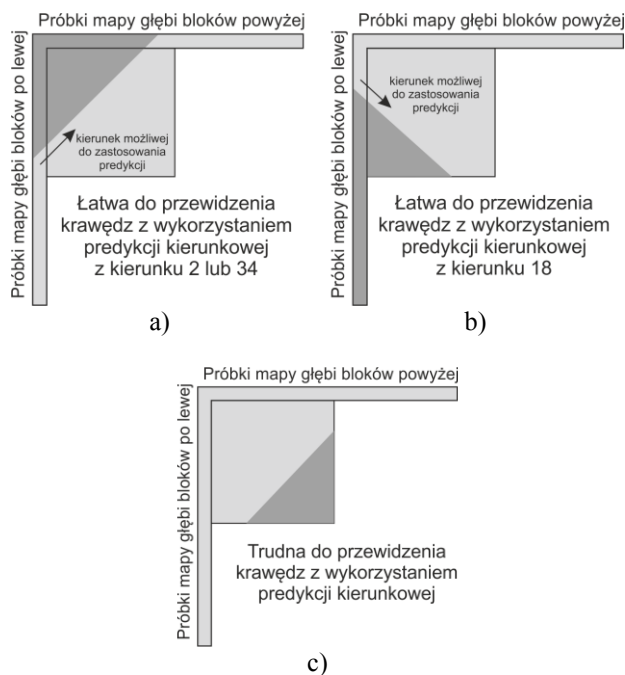
miaru bloku, zdefiniowany jest odrębny zbiór dostępnych kierunków predykcji wewnątrzobrazowej.

W opracowanym algorytmie zaproponowano także adaptacyjne wyłączanie kierunków predykcji, na podstawie analizy treści kodowanej mapy głębi. Ponieważ mapy głębi przeważnie zawierają duże, płaskie obszary o prawie jednolitej treści (wartości), wiele kierunków predykcji także prowadzi do jednakowych sygnałów predykcji. Podobnie jak wcześniej, redundantne kierunki predykcji są wyłączane. W szczególności wytypowano trzy przypadki:

- wszystkie próbki w bloku powyżej aktualnie kodowanego bloku są identyczne, kierunki pionowe (19-34) są wyłączone;
- wszystkie próbki w bloku po lewej stronie aktualnie kodowanego bloku są identyczne, kierunki poziome (2-17) są wyłączone;
- wszystkie próbki we wszystkich sąsiadujących blokach są identyczne, wtedy prawie wszystkie kierunki predykcji (2-34) są wyłączone.

3.3. Ograniczone modelowanie głębi

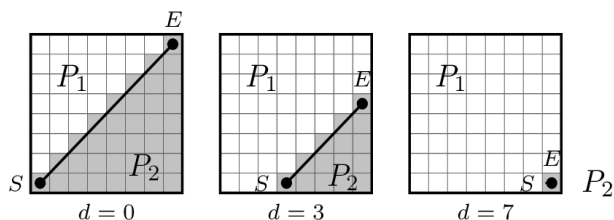
Ze względu na specyficzną charakterystykę kodowanych map głębi (płaskie obszary rozdzielone wyraźnymi ostrymi krawędziami), opracowano nowy tryb predykcji bloku, pozwalający na bezpośrednią sygnalizację krawędzi w aktualnie kodowanym bloku głębi. Nazwa "ograniczone modelowanie głębi", ma na celu uwypuklenie faktu, iż nie wszystkie krawędzie w bloku mogą zostać zasygnalizowane. Opracowany tryb skupia się na krawędziach map głębi, które trudno przewidzieć za pomocą predykcji kierunkowej. Krawędzie takie znajdują się w dolnej, prawej części bloku poniżej antydiagonali bloku (rys. 7).



Rys. 7. Przykład łatwych do przewidzenia krawędzi (a, b) oraz trudnej do przewidzenia krawędzi (c)

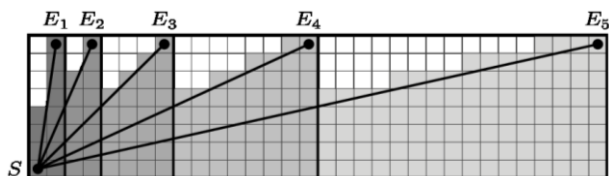
W zaproponowanym trybie, blok modelowany jest za pomocą odległości pozycji krawędzi od antydiagonali

bloku (rys. 8) oraz dwóch średnich wartości głębi (P_1, P_2) w dwóch powstałych częściach. Sygnalizowana krawędź musi być zawsze równoległa do antydiagonali bloku.



Rys. 8. Sposób modelowania bloku

Opracowany tryb wpisuje się w zaproponowany schemat elastycznego podziału bloku, pozwalając na wydajne sygnalizowanie krawędzi o różnym nachyleniu, dzięki zastosowaniu bloków o różnych rozmiarach (rys. 9).

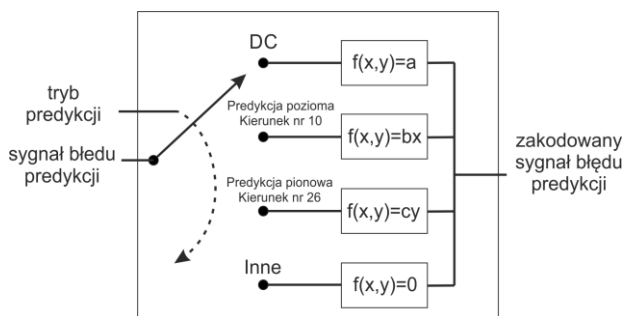


Rys. 9. Wydajne reprezentowanie krawędzi

3.4. Kodowanie sygnału błędu predykcji

Zaproponowane rozwiązanie nie wykorzystuje przekształcenia DCT do reprezentacji sygnału błędu predykcji. W zamian zastosowano prostą technikę liniowej aproksymacji sygnału błędu predykcji. W większości przypadków sygnał błędu predykcji nie jest w ogóle przesyłany. W nielicznych przypadkach, zależnych od wybranego trybu predykcji, możliwe jest przesłanie błędu predykcji jako (rys. 10):

- wartości stałej a dla trybu predykcji DC,
 - wartości określonej równaniem bx dla trybu predykcji poziomej (nr 10),
 - wartości określonej równaniem cy dla trybu predykcji pionowej (nr 26),
 - wartości 0 dla innych trybów predykcji,
- gdzie x oraz y oznaczają współrzędne położenia danego punktu w kodowanym bloku.



Rys. 10. Wysyłanie błędów predykcji

3.5. Wyniki

Weryfikację eksperymentalną przeprowadzono na zbiorze czterech, wysokiej rozdzielczości, wielowidokowych sekwencji wizyjnych z mapami głębi, rekomen-

dowanych przez komitet MPEG Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej. Eksperymenty przeprowadzono zgodnie z wytycznymi, zawartymi w dokumencie Common Test Condition CTC [12], który określa warunki prowadzenia eksperymentów z zakresu kodowania obrazów wielowidokowych. Kodowane były jedynie trzy mapy głębi, podczas gdy obrazy nie były kompresowane. Testowe mapy głębi zostały zakodowane zarówno kodem referencyjnym 3D-HTM [9], jak i opracowaną techniką. Następnie, na podstawie zakodowanych map głębi i oryginalnych niekodowanych obrazów, zsyntezowano sześć widoków wirtualnych w pozycjach pośrednich pomiędzy pozycjami przestrzennymi kodowanych map głębi. Zgodnie z zaleceniami zawartymi w CTC przyjęto, iż średnia wartość miary PSNR luminancji widoków syntezowanych wyraża jakość kodowanych map głębi. Do oceny efektywności kompresji wykorzystano, powszechnie stosowaną w środowisku naukowym, miarę Bjøntegaarda [13]. Miara ta określa średnią redukcję prędkości bitowej, wynikającą z zastosowania nowej techniki kompresji, przy zachowaniu tej samej jakości kodowanego materiału wizyjnego.

Wyniki kodowania, zarówno techniką odniesienia, jak i opracowaną techniką, przedstawiono w Tabeli 1. Opracowana technika pozwala na średnio 4,9% redukcję wymaganej prędkości bitowej, niezbędnej do przesłania trzech, wysokiej rozdzielczości map głębi, przy zachowaniu takiej samej jakości obrazów wirtualnych, jak w przypadku techniki odniesienia.

Tab. 1. Wyniki eksperymentalne

Sekwencja	Proponowany algorytm		3D-HEVC		Stopień redukcji wymaganej prędkości bitowej
	Prędkość bitowa trzech kodowanych map głębi [kbps]	Średnia jakość widoków wirtualnych PSNR [dB]	Prędkość bitowa trzech kodowanych map głębi [kbps]	Średnia jakość widoków wirtualnych PSNR [dB]	
Undo Dancer	393,16	37,60	426,74	37,31	1,69%
	541,14	38,80	555,15	38,48	
	697,54	39,90	704,69	39,95	
	1077,78	41,96	1003,55	42,12	
GT Fly	543,66	41,40	605,48	41,33	10,81%
	843,53	42,64	840,43	42,32	
	1210,91	43,84	1195,86	43,47	
	2211,44	46,19	2108,34	45,52	
Poznan Street	443,89	43,23	454,99	43,06	1,46%
	678,13	44,34	652,06	44,19	
	986,16	45,16	940,07	45,05	
	1979,48	46,64	1763,47	46,41	
Poznan Hall2	204,67	46,27	204,33	46,24	5,69%
	273,79	47,85	262,88	47,44	
	354,1	49,12	339,34	48,64	
	571,05	51,48	541,03	50,66	
				Średnia	4,9%

Przedstawione rezultaty są jedynie wstępnymi wynikami badań. Obecnie trwają dalsze prace nad rozwojem przedstawionej techniki kodowania głębi.

4. PODSUMOWANIE

Europejski Program Współpracy Naukowo-Technicznej COST, realizowany poprzez Akcje, tworzy międzynarodowe forum wymiany wiedzy w konkretnych obszarach naukowych. Co więcej, program COST organizuje spotkania naukowców, finansuje warsztaty oraz szkolenia, dzięki czemu umożliwia nawiązanie współpracy między badaczami oraz przedstawicielami przemysłu. Program COST pokrywa także koszty staży naukowych, przez co finansuje nowe badania naukowe. W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki prac zespołu profesora Domańskiego, zaprezentowane na spotkaniach Akcji IC1105 3D-ConTourNet oraz opracowaną, w ramach staży naukowego, finansowanego przez COST, nową technikę wewnątrzobrazowego kodowania map głębi. Technika ta pozwala na 4,9% redukcję wymaganej prędkości bitowej dla reprezentacji trzech, wysokiej rozdzielczości map głębi, przy zachowaniu takiej samej jakości widoków wirtualnych/pośrednich.

SPIS LITERATURY

- [1] Strona domowa Akcji 3D-ConTourNet
<http://www.3d-contournet.eu>
- [2] T. Grajek, R. Ratajczak, K. Wegner, M. Domański, "Limitations of Vehicle Length Estimation Using Stereoscopic Video Analysis", *20th International Conference on Systems, Signals and Image Processing IWSSIP 2013*, str. 401-404, Bukareszt, Rumunia, 2013
- [3] R. Ratajczak, T. Grajek, K. Wegner, K. Klimaszewski, M. Kurc, M. Domański, "Vehicle Size Estimation Scheme Using AAM on Stereoscopic Video", *10th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal-Based Surveillance AVSS*, str. 478-482, Kraków, 2013
- [4] M. Domański, A. Łuczak, K. Klimaszewski, „Telewizja swobodnego punktu widzenia”, *Przegląd Telekomunikacyjny*, nr 2-3/2013, vol. LXXXII, str. 84-86, 2013
- [5] F. Lewandowski, M. Paluszkiwicz, T. Grajek, K. Wegner, "Methodology for 3D video subjective quality evaluation", *International Journal of Electronics and Telecommunications*, vol. 59(1), str. 25-32, 2013
- [6] M. Domanski, O. Stankiewicz, K. Wegner, M. Kurc, J. Konieczny, J. Siast, J. Stankowski, R. Ratajczak, T. Grajek, "High efficiency 3D video coding using new tools based on view synthesis", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 22, str. 3517-3527, 2013
- [7] M. Domański, T. Grajek, D. Karwowski, K. Klimaszewski, J. Konieczny, M. Kurc, A. Łuczak, R. Ratajczak, J. Siast, O. Stankiewicz, J. Stankowski, K. Wegner, „Poznański kodek obrazów trójwymiarowych”, *Przegląd Telekomunikacyjny*, nr 2-3/2013, vol. LXXXII, str. 81-83, 2013
- [8] P. Merkle, A. Smolic, K. Muller, T. Wiegand, "Multi-View Video Plus Depth Representation and Coding", *IEEE International Conference on Image Processing, ICIP*, str. 201-204, San Antonio, USA, 2007
- [9] L. Zhang, G. Tech, K. Wegner, S. Yea, "Test Model 8 of 3D-HEVC and MV-HEVC", *Joint Collaborative Team on 3D Video Coding Extension Development of ITU-T SG 16 WP 3 and ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11 Doc. JTC3V-H1005*, Walencia, Hiszpania, 2014
- [10] ISO/IEC 23008-2 (MPEG-H Part 2) / ITU-T Rec. H.265: High Efficiency Video Coding (HEVC), 2013
- [11] G.J. Sullivan, J.-R. Ohm, W.-J. Han, T. Wiegand, "Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 22(12), str. 1649-1668, 2012
- [12] K. Müller, A. Vetro, "Common Test Conditions of 3DV Core Experiments", *Joint Collaborative Team on 3D Video Coding Extension Development of ITU-T SG 16 WP 3 and ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11 Doc. JCT3V-G1100*, San José, USA, 2011
- [13] G. Bjøntegaard, "Calculation of average PSNR differences between RDcurves (VCEG-M33)", *VCEG Meeting (ITU-T SG16 Q.6)*, Austin, USA, 2001