

POLITECHNIKA POZNAŃSKA
WYDZIAŁ ELEKTRONIKI I TELEKOMUNIKACJI
KATEDRA TELEKOMUNIKACJI MULTIMEDIALNEJ I MIKROELEKTRONIKI

Autoreferat pracy doktorskiej
Depth Estimation in Free-Viewpoint Television

Dawid Mieloch

Promotor: prof. dr hab. inż. Marek Domański

Promotor pomocniczy: dr inż. Olgierd Stankiewicz

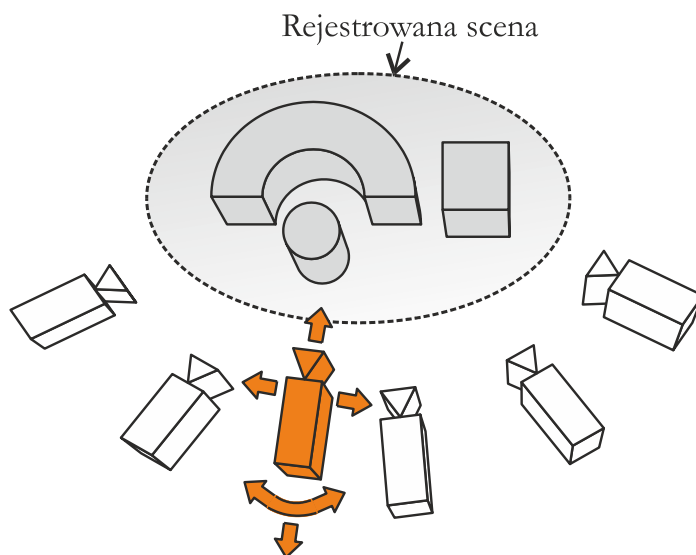
SPIS TREŚCI

1	WPROWADZENIE.....	2
1.1	Zakres rozprawy.....	2
1.2	Cele i teza rozprawy.....	4
2	ZAPROPONOWANA METODA ESTYMACJI MAP GŁĘBI.....	5
2.1	Metoda estymacji głębi bazująca na segmentacji obrazu.....	5
2.2	Metoda poprawy spójności czasowej map głębi.....	9
2.3	Metoda zrównoleglenia obliczeń w estymacji map głębi.....	10
3	WYNIKI EKSPERYMENTALNE.....	11
3.1	Porównanie z metodą estymacji map głębi DERS.....	11
3.2	Wpływ poprawy spójności czasowej map głębi na jakość map głębi i czas przetwarzania.....	12
3.3	Wpływ metody zrównoleglenia obliczeń na jakość map głębi i czas przetwarzania.....	14
4	PODSUMOWANIE.....	16
4.1	Główne osiągnięcia rozprawy.....	16
4.2	Przeprowadzane prace badawcze.....	17
4.3	Wnioski.....	18
	WYBRANE POZYCJE SPISU LITERATURY.....	20
	DOROBEK PUBLIKACYJNY AUTORA.....	23

1 WPROWADZENIE

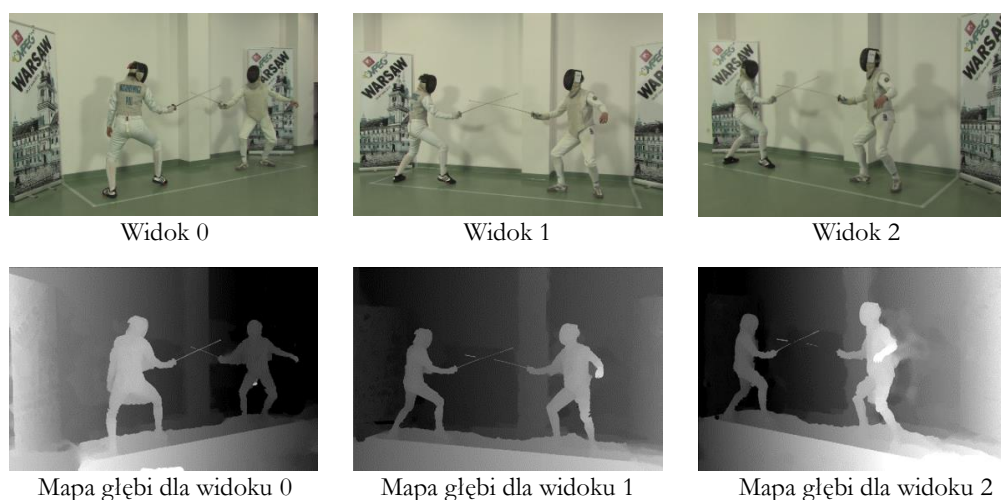
1.1 Zakres rozprawy

Telewizja swobodnego punktu widzenia (ang. free-viewpoint television – FTV) [11], [12], [30], [32], [33], [37] umożliwia swobodną navigację poprzez naturalną trójwymiarową scenę. Użytkownik systemu FTV może oglądać nie tylko widoki zarejestrowane przez rzeczywiste kamery – **idea swobodnej nawigacji zakłada możliwość oglądania sceny z dowolnego miejsca i kierunku obserwacji. Tak zwane widoki wirtualne mogą być umieszczone nawet między lub przed rzeczywistymi kamerami systemu** (rys. 1.1).



Rys. 1.1. Swobodna nawigacja dookoła zarejestrowanej sceny. Stałe pozycje rzeczywistych kamer są przedstawione za pomocą białych kamer, widok wirtualny, który może być przemieszczany przez użytkownika, jest przedstawiony pomarańczową kamerą.

Po pierwsze, wiele widoków sceny jest rejestrowanych synchronicznie przez kamery systemu FTV. Następnie, trójwymiarowa reprezentacja sceny jest estymowana i używana, razem z rzeczywistymi widokami, do syntezy widoków wirtualnych [1], [3], [7], [14], [29]. Najczęściej wykorzystywaną reprezentacją sceny w systemach FTV jest MVD (ang. multiview plus depth [22]), w której scena jest reprezentowana jako zbiór widoków i odpowiadających im map głębi. Przykład takiej reprezentacji dla jednej z testowych sekwencji został przedstawiony na rys. 1.2. Mapa głębi to sekwencja macierzy próbek głębi dla każdego punktu danego widoku. Dla uproszczenia, macierze te są zazwyczaj wizualizowane jako obrazy w skali szarości.



Rys. 1.2. Przykład reprezentacji MVD dla sekwencji testowej „Poznań Fencing2” [4].

Mapy głębi mogą być estymowane algorytmicznie z użyciem wielu widoków zarejestrowanej sceny. Głębina punktu jest wyliczana na podstawie poszukiwania punktu odpowiadającego, czyli punktu, który reprezentuje tę samą część sceny w innym widoku. **Estymacja głębi na podstawie widoków zarejestrowanych przez kamery systemu telewizji swobodnego punktu widzenia jest głównym problemem rozpatrywanym przez autora w rozprawie.**

Jakość map głębi ma bezpośredni wpływ na jakość syntezowanych widoków wirtualnych [23], a zatem również na jakość końcowego wrażenia nawigowania przez scenę. **Stworzenie nowej oryginalnej metody estymacji map głębi, która zapewnia wysoką jakość widoków wirtualnych, jest głównym celem badań prezentowanych w rozprawie.**

W celu uniknięcia błędów widocznych w widokach wirtualnych, które mogą pogorszyć jakość swobodnej nawigacji dla końcowego użytkownika systemu FTV, metoda estymacji map głębi musi spełnić określony zbiór wymagań. Wymagania te wynikają ze struktury systemów FTV i sposobu działania syntezy widoków wirtualnych. Metoda estymacji głębi powinna charakteryzować się:

- wysoką jakością estymowanej głębi, ze szczególnym uwzględnieniem międzywidokowej i czasowej spójności map głębi oraz poprawnej reprezentacji krawędzi obiektów,
- możliwością jednoczesnego estymowania map głębi dla wszystkich widoków,
- wszechstronnością, na którą składa się brak założeń co do liczby i rozmieszczenia kamer systemu oraz możliwość użycia metody dla różnych scen bez żadnych modyfikacji,
- skróconym czasem przetwarzania w porównaniu do metod spełniających powyższe wymagania.

Konieczność spełnienia wszystkich zaprezentowanych wymagań czyni bardzo trudnym stworzenie wszechstronnej metody estymacji map głębi, którą można by z powodzeniem użyć dla wszystkich systemów FTV. Z tego powodu, **badania przeprowadzone na użytek przedstawionej rozprawy znacząco wpływają na dalszy rozwój systemów FTV**. Istotność prezentowanych badań można zauważyć w mnogości i różnorodności innych uznanych metod estymacji głębi zaprezentowanych w ciągu ostatnich dwóch lat [8], [15], [16], [25], [26], [36].

1.2 Cele i teza rozprawy

Głównym celem tej rozprawy jest poprawa jakości map głębi estymowanych w celu syntezy widoków wirtualnych dla systemów telewizji swobodnego punktu widzenia. Nacisk położono również na zmniejszenie złożoności estymacji głębi.

Teza rozprawy została sformułowana następująco:

Jest możliwe zmniejszenie czasu przetwarzania w estymacji map głębi i zwiększenie jakości widoków wirtualnych w systemach telewizji swobodnego punktu widzenia w porównaniu do uznanych metod estymacji głębi poprzez użycie segmentacji obrazu i poprawy spójności czasowej.

W celu udowodnienia tezy przedstawionej powyżej, autor zaproponował oryginalną metodę estymacji map głębi opartą na segmentacji obrazu. Niektóre z zaproponowanych rozwiązań zawartych w opracowanej metodzie estymacji zostały już opisane przez autora w [5], [17], [19]. Uproszczoną wersję opracowanej metody poprawy spójności map głębi opisano w [18] i [21].

2 ZAPROPONOWANA METODA ESTYMACJI MAP GŁĘBI

Oryginalność zaproponowanej metody estymacji głębi, oraz jej szczególna użyteczność dla systemów telewizji swobodnego punktu widzenia, są rezultatem łącznego wykorzystania następujących rozwiązań:

- 1) Estymacja głębi jest przeprowadzana dla segmentów, a nie dla indywidualnych punktów widoków wejściowych, przez co czas estymacji może być zmniejszony bez konieczności zmniejszania rozdzielczości estymowanych map głębi.
- 2) Przedstawienie oryginalnej funkcji kosztu, dedykowanej dla estymacji głębi bazującej na segmentacji – estymacja jest przeprowadzana dla wszystkich widoków i umożliwia estymację map głębi spójnych międzywidokowo, bez założeń dotyczących rozmieszczenia kamer systemu.
- 3) Estymacja map głębi jest przeprowadzana dla segmentów otrzymywanych niezależnie dla wszystkich widoków.
- 4) Proponowana oryginalna metoda poprawy spójności czasowej map głębi wykorzystuje głębie wyestymowane dla poprzednich ramek podczas estymacji nowej ramki mapy głębi. Zaproponowane narzędzie zwiększa spójność czasową map głębi i jednocześnie zmniejsza czas estymacji.
- 5) Proponowana metoda estymacji map głębi wykorzystuje oryginalną metodę zrównoleglenia obliczeń przeznaczoną dla estymacji głębi bazującej na optymalizowaniu funkcji kosztu z użyciem grafów.

2.1 Metoda estymacji głębi bazująca na segmentacji obrazu

Estymacja głębi w proponowanej metodzie bazuje na minimalizacji funkcji kosztu, na którą składają się dwa elementy: wewnątrzwidokowy koszt nieciągłości głębi $V_{s,t}$ i międzywidokowy koszt pasowania $M_{s,s'}$ odpowiedzialny za międzywidokową spójność map głębi:

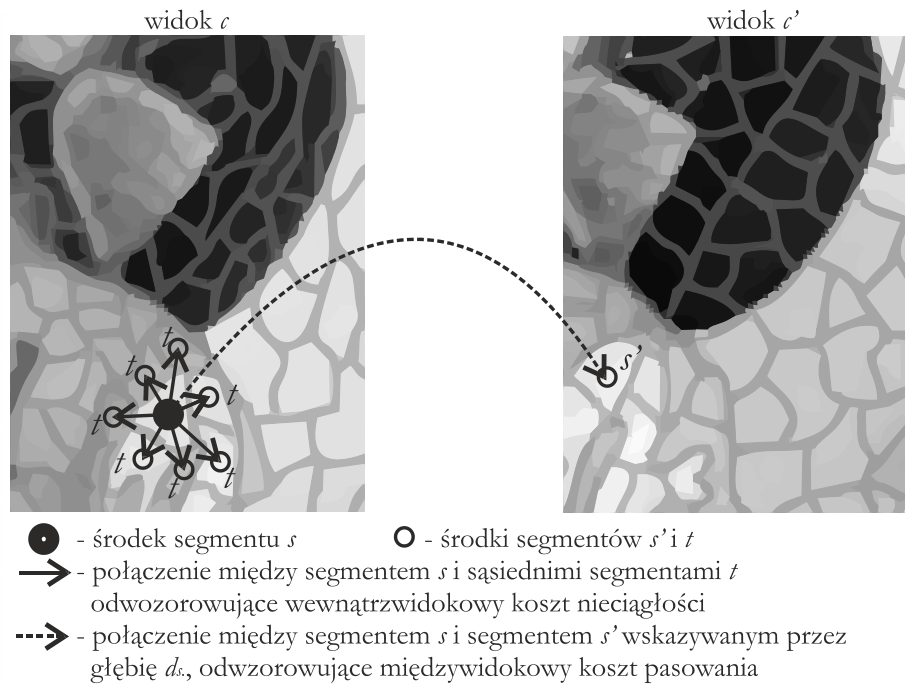
$$E(\underline{d}) = \sum_{c \in C} \left\{ \sum_{c' \in D} \sum_{s \in S} M_{s,s'}(d_s) + \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} V_{s,t}(d_s, d_t) \right\}, \quad (2.1)$$

gdzie:

- \underline{d} – wektor zawierający wartości głębi dla każdego segmentu wszystkich widoków,
- C – zbiór widoków,

- c – widok,
 D – zbiór widoków sąsiadujących z widokiem c ,
 c' – widok sąsiadujący z widokiem c ,
 S – zbiór segmentów widoku c ,
 s – segment widoku c ,
 d_s – aktualnie rozpatrywana głębokość segmentu s ,
 s' – segment w widoku c' , który odpowiada segmentowi s w widoku c dla głębokości d_s ,
 $M_{s,s'}$ – międzywidokowy koszt pasowania między segmentami s i s' ,
 T – zbiór segmentów sąsiadujących z segmentem s ,
 t – segment sąsiadujący z segmentem s ,
 $V_{s,t}$ – wewnątrzwidokowy koszt nieciągłości głębokości między segmentami s i t ,
 d_t – aktualnie rozpatrywana głębokość segmentu t .

Lokalne minimum zaproponowanej funkcji kosztu (2.1) jest wyznaczane poprzez użycie algorytmu graph cut [9]. Inaczej niż w znanych metodach estymacji map głębi opartych na wykorzystaniu grafów, w których wierzchołki grafu reprezentują każdy punkt widoków wejściowych, w proponowanej metodzie każdy wierzchołek odpowiada jednemu segmentowi (rys. 2.1). Wierzchołki są łączone dwoma typami połączeń, które reprezentują międzywidokowy koszt pasowania i wewnątrzwidokowy koszt nieciągłości.



Rys. 2.1. Wizualizacja wewnątrzwidokowego kosztu nieciągłości głębokości i międzywidokowego kosztu pasowania dla segmentu s przy estymacji przeprowadzanej dla dwóch widoków.

Zaproponowana metoda oparta na segmentach zmniejsza zatem liczbę wierzchołków w grafie w porównaniu do estymacji opartej na punktach. Złożoność optymalizacji jest zależna od liczby wierzchołków i połączeń między nimi. Umożliwia to zmniejszenie czasu wyznaczania mapy głębi. Ponadto, mapy głębi są nadal estymowane w tej samej rozdzielczości co wejściowe widoki, a z uwagi na własności segmentów, krawędzie obiektów w mapach głębi odpowiadają krawędziom widocznym w widokach wejściowych.

Użycie segmentacji obrazu w estymacji map głębi jest spotykane również w innych znanych metodach. Co różni metodę zaprezentowaną przez autora, to estymacja głębi w całości oparta na segmentacji obrazu. W innych metodach na jednym z etapów estymacji konieczna jest optymalizacja przeprowadzana dla poszczególnych punktów obrazu (np. [15], [25]). Brak konieczności przeprowadzania takiej optymalizacji daje znaczące zmniejszenie złożoności proponowanej metody względem innych metod bazujących na segmentacji obrazu.

W celu uzyskania międzywidokowej spójności estymowanych map głębi, koszt pasowania potencjalnie odpowiadających sobie punktów w sąsiednich widokach nie jest obliczany niezależnie dla każdego widoku. Konwencjonalny koszt pasowania został zastąpiony międzywidokowym kosztem pasowania $M_{s,s'}(d_s)$, który jest zdefiniowany pomiędzy parą segmentów s i s' odpowiadających sobie dla aktualnie rozpatrywanej głębi d_s . Koszt ten jest obliczany w następujący sposób:

$$M_{s,s'}(d_s) = \frac{1}{|W|} \sum_{w \in W} \|[Y C_b C_r]_{\mu_s+w} - [Y C_b C_r]_{T[\mu_s]+w}\|_1, \quad (2.2)$$

gdzie:

- W – zbiór punktów w oknie o rozmiarze zdefiniowanym przez użytkownika,
- w – wektor współrzędnych o początku układu współrzędnych w μ_s dla punktu okna W ,
- $\|\cdot\|_1$ – norma L1,
- μ_s – wektor współrzędnych środka segmentu s ,
- $T[\cdot]$ – trójwymiarowa projekcja punktu za pomocą macierzy projekcji kamer,
- $[Y C_b C_r]_{\mu_s+w}$ – wektor składowych Y, C_b, C_r środka μ_s segmentu s ,
- $[Y C_b C_r]_{T[\mu_s]+w}$ – wektor składowych Y, C_b, C_r punktu w widoku c' , który odpowiada środkowi μ_s segmentu s w widoku c .

Spójność międzywidokowa głębi zapewniana jest nie poprzez dodatkowe przetwarzanie map głębi, ale od razu przy estymacji głębi. Zaproponowany międzywidokowy koszt pasowania nie wymaga, by segmentacja była międzywidokowo spójna dla wejściowych widoków,

dlatego segmentacja jest dokonywana niezależnie dla każdego widoku, co dodatkowo zmniejsza całkowitą złożoność zaprezentowanej metody estymacji map głębi.

Wewnątrzwidokowy koszt nieciągłości głębi jest obliczany między wszystkimi sąsiadującymi ze sobą segmentami wewnątrz tego samego widoku, w następujący sposób:

$$V_{s,t}(d_s, d_t) = \beta \cdot |d_s - d_t|, \quad (2.3)$$

gdzie:

$V_{s,t}$ – wewnątrzwidokowy koszt nieciągłości głębi między segmentami s i t ,

s – segment w widoku c ,

t – segment sąsiadujący z segmentem s ,

d_s – aktualnie rozpatrywana głębina segmentu s ,

d_t – aktualnie rozpatrywana głębina segmentu t ,

β – współczynnik gładkości.

Współczynnik gładkości jest obliczany z użyciem podobieństwa sąsiadujących segmentów oraz β_0 , czyli początkowego współczynnika gładkości:

$$\beta = \beta_0 / \|[\hat{Y} \hat{C}_b \hat{C}_r]_s - [\hat{Y} \hat{C}_b \hat{C}_r]_t \|_1, \quad (2.4)$$

gdzie:

β – współczynnik gładkości,

β_0 – początkowy współczynnik gładkości,

$\|\cdot\|_1$ – norma L1,

s – segment w widoku c ,

t – segment sąsiadujący z segmentem s ,

$[\hat{Y} \hat{C}_b \hat{C}_r]_s$ – wektor uśrednionych składowych Y , C_b , C_r segmentu s ,

$[\hat{Y} \hat{C}_b \hat{C}_r]_t$ – wektor uśrednionych składowych Y , C_b , C_r segmentu t .

Jak autor zaprezentował w [20], użycie zmiennego współczynnika gładkości obliczanego na podstawie podobieństwa sąsiednich segmentów jednocześnie powoduje zwiększenie jakości estymowanych map głębi oraz zmniejsza czas estymacji.

2.2 Metoda poprawy spójności czasowej map głębi

W praktycznych systemach telewizji swobodnego punktu widzenia pozycje kamer nie zmieniają się w trakcie akwizycji sekwencji. Z tego powodu, w takiej sekwencji jedynie mała część obrazu znacząco zmienia się w kolejnych ramkach obrazu. **W proponowanej metodzie poprawy spójności czasowej map głębi nowa wartość głębi jest estymowana tylko dla segmentów reprezentujących fragmenty sceny, które znacząco zmieniły się (kolorystycznie) w porównaniu z poprzednią lub pierwszą ramką zarejestrowanej sekwencji.**

Proponowana metoda umożliwia oznaczenie segmentu jako niezmienionego względem poprzednich ramek. Taki segment jest ciągle wykorzystywany w obliczaniu minimalizowanej funkcji celu (2.1), jednak nie jest reprezentowany przez żaden wierzchołek w strukturze optymalizowanego grafu. Zmniejsza to liczbę wierzchołków grafu, zmniejszając czas estymacji, oraz jednocześnie zwiększając spójność czasową estymowanych map głębi.

Dla pierwszej ramki mapy głębi, określanej jako ramka głębi „typu I” (poprzez analogię do terminologii kompresji sekwencji wizyjnych, w której ramka I jest kompresowana bez użycia predykcji na podstawie poprzednich ramek sekwencji), estymacja jest przeprowadzana dla wszystkich segmentów. Dalsze ramki (oznaczane jako ramki głębi „typu P”) wykorzystują głębię wyestymowaną dla poprzednich ramek głębi typu P i ramki głębi typu I.

Wprowadzenie dwóch ramek odniesienia ma korzystny wpływ na jakość wirtualnej nawigacji. Po pierwsze, użycie głębi z ramki głębi typu P pozwala na użycie wcześniej wyestymowanej głębi dla obiektów, które zmieniły swoją pozycję w trakcie trwania sekwencji (np. dla obiektów, które pojawiły się w sekwencji w pewnym momencie, a następnie nie zmieniały swojej pozycji). Po drugie, użycie głębi z ramki głębi typu I minimalizuje migotanie głębi obiektów tła.

Spójność czasowa w innych metodach może być uzyskana poprzez dodatkowe przetwarzanie map głębi [13], [35]. Metody te bazują najczęściej na segmentacji tła, przez co nie zwiększają spójności czasowej obiektów usytuowanych blisko kamer. Inne metody bazują na odsumianiu wejściowych sekwencji [27], [31]. Zaletą takiego podejścia jest uniezależnienie od wybranej później metody estymacji głębi, jednakże, dodatkowy krok (odsumianie) zwiększa całkowity czas przetwarzania sekwencji. Metoda poprawy spójności czasowej map głębi zaproponowana przez autora, w przeciwieństwie do przedstawionych powyżej metod, zmniejsza złożoność całego procesu estymacji.

2.3 Metoda zrównoleglenia obliczeń w estymacji map głębi

W zaproponowanej metodzie zrównoleglenia obliczeń w estymacji map głębi każdy z n stworzonych wątków estymuje głębię o n razy mniejszej liczbie poziomów głębi (poprzez poziom głębi rozumie się odległość od płaszczyzny równoległej do płaszczyzny przetwornika kamery, reprezentującą wartości głębi możliwe to wyznaczenia).

Pojedynczy proces estymacji przeprowadza optymalizację funkcji kosztu dla różnych zbiorów poziomów głębi. Z tego powodu, jeżeli obliczenia są przeprowadzane na komputerze z wielordzeniowym procesorem, to całkowity czas przetwarzania dla estymacji głębi może zostać zmniejszony. **Dzięki zaproponowanemu podziałowi obliczeń zostają zachowane zarówno spójność międzywidokowa map głębi i ich spójność czasowa, które są kluczowe dla jakości synteżowanych widoków wirtualnych.**

Mapy głębi o zredukowanej liczbie poziomów głębi wyznaczone przez różne procesy estymacji muszą być połączone w jedną końcową mapę głębi. Proces łączenia jest przeprowadzany poprzez optymalizację funkcji kosztu (2.1), jednak dla każdego segmentu podczas jednego cyklu łączenia rozpatrywane są tylko dwa poziomy głębi – wyznaczone przez wątki t oraz $t + 1$. Zatem, podczas jednego cyklu łączenia, łączone są ze sobą dwie mapy głębi. Aby uzyskać końcową mapę głębi dla zrównoleglenia na n wątków, wymagane jest cykli łączenia $\lceil \log_2(n) \rceil$.

Inne uznane metody zrównoleglenia estymacji map głębi bazujące na optymalizacji grafu skupiają się na zrównolegleniu algorytmu rozwiązywania grafu. Przedstawiane metody często opisują implementację algorytmu graph cut na procesorach graficznych, np. w [24], [34]. Czas obliczeń jest zmniejszony wtedy nawet na 40-krotne, jednakże, takie implementacje wprowadzają ograniczenia w liczbie widoków możliwych do użycia podczas estymacji (w związku z relatywnie małym rozmiarem pamięci przeznaczanej dla procesorów graficznych) i zakładają regularną siatkę wierzchołków, niemożliwą do wykorzystania w estymacji opartej na segmentacji.

Proponowana przez autora metoda nie wprowadza żadnych ograniczeń dotyczących optymalizowanego grafu, przez co zrównoleglenie międzywidokowo spójnej estymacji głębi opartej na segmentach jest możliwe.

3 WYNIKI EKSPERYMENTALNE

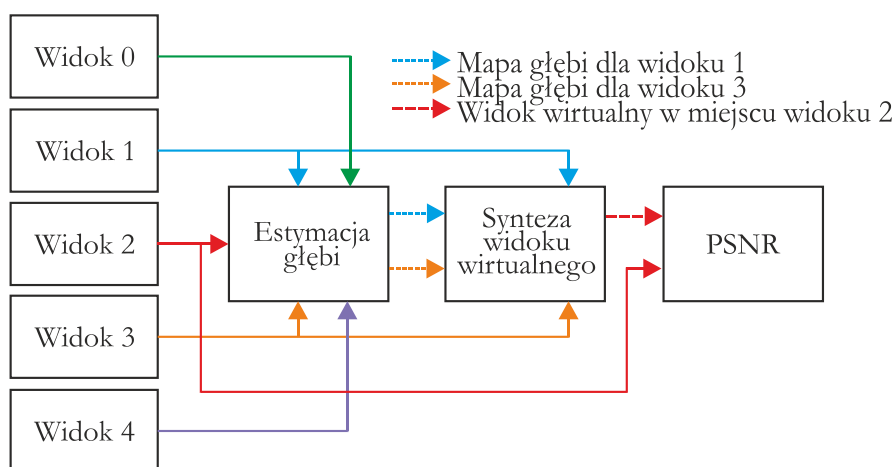
3.1 Porównanie z metodą estymacji map głębi DERS

Zaproponowana przez autora metoda estymacji głębi została porównana z metodą zaimplementowaną w oprogramowaniu Depth Estimation Reference Software przygotowywanym i rozwijanym przez grono ekspertów MPEG ISO/IEC [10], [28]. Oprogramowanie DERS wykorzystuje punktową metodę estymacji opartą na optymalizacji grafu powszechnie używaną w środowisku naukowym w badaniach dotyczących telewizji swobodnego punktu widzenia.

Metoda zaimplementowana w DERS, tak jak metoda autora, również wykorzystuje algorytm graph cut [9], ale jest oparta na optymalizacji przeprowadzanej dla punktów a nie segmentów widoków. Stanowi ona odpowiednie odniesienie dla proponowanej przez autora metody, ponieważ aby udowodnić tezę rozprawy, autor musiał wykazać poprawę jakości estymacji używającej segmenty widoków.

Jakość map głębi w badaniach przeprowadzonych w prezentowanej rozprawie jest mierzona pośrednio, poprzez jakość widoków wirtualnych syntezowanych z użyciem estymowanych map głębi. Dla końcowego użytkownika systemu telewizji swobodnego punktu widzenia to właśnie jakość widoku wirtualnego określa całościową jakość systemu.

Proces wyznaczania jakości map głębi poprzez syntezę widoków wirtualnych zaprezentowano na rys. 3.1. Dla celów syntezy użyto oprogramowanie VSRS (View Synthesis Reference Software [29]).



Rys. 3.1. Wyznaczanie jakości map głębi poprzez syntezę widoków wirtualnych.

Porównanie jakości map głębi estymowanych przy użyciu proponowanej metody oraz DERS zaprezentowano w tabeli 3.1., razem z porównaniem czasu estymacji dla obu metod. **Dla wszystkich sekwencji testowych proponowana metoda estymuje mapy głębi o lepszej jakości niż metoda odniesienia.** Wzrost jakości wyrażonej przez PSNR lummy wynosi ponad 2.5 dB. Jednocześnie, **czas trwania estymacji dla proponowanej metody jest zawsze krótszy** – średnio czterokrotnie względem metody odniesienia.

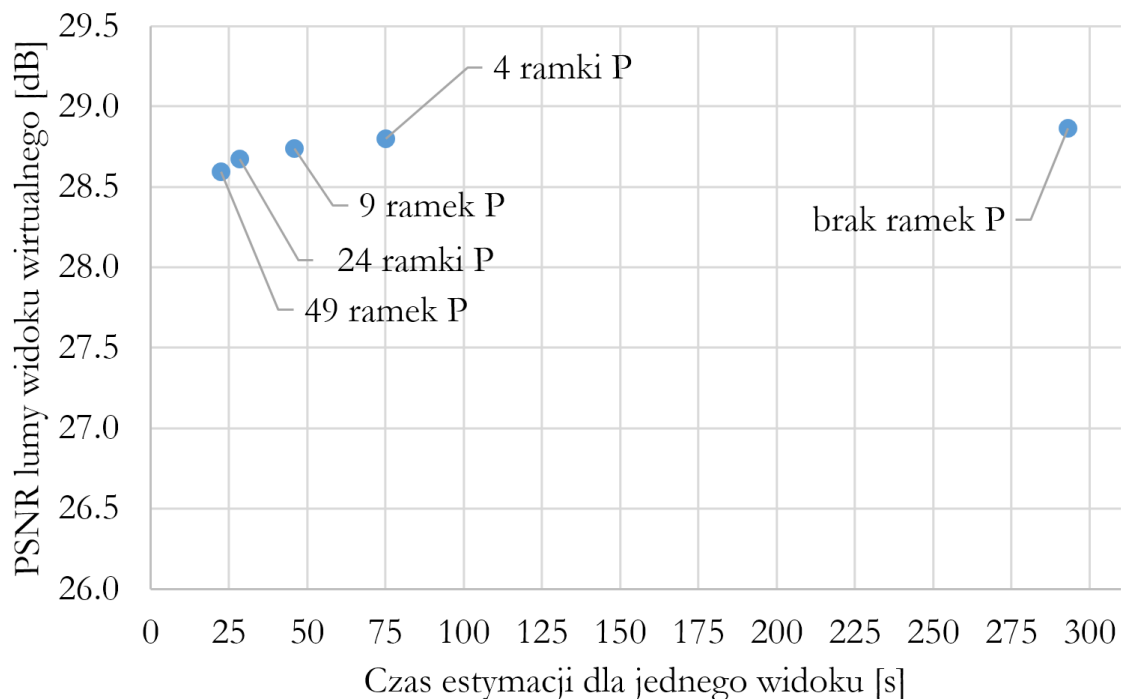
TABELA 3.1. PORÓWNANIE JAKOŚCI WIDOKÓW WIRTUALNYCH ZSYNTEZOWANYCH UŻYWAJĄC MAP GŁĘBI DLA PROPONOWANEJ METODY I OPROGRAMOWANIA DERS

Sekwencja testowa	PSNR lummy widoku wirtualnego [dB]			Czas estymacji głębi dla jednej ramki mapy głębi [s]		
	DERS	Metoda autora	Zysk	DERS	Metoda autora	Stosunek
Ballet	27.93	28.69	0.76	882	499	57%
Breakdancers	31.13	32.19	1.06	949	255	27%
BBB Butterfly	29.97	33.20	3.23	593	279	47%
BBB Rabbit	22.59	27.21	4.62	744	92	12%
Poznań Blocks	21.97	27.20	5.23	1445	313	22%
Poznań Blocks2	25.67	28.12	2.45	1060	210	20%
Poznań Fencing2	26.74	28.60	1.86	2254	391	17%
Poznań Service2	23.69	25.51	1.82	2780	305	11%
		Średnia:	2.63		Średnia:	27%

3.2 Wpływ poprawy spójności czasowej map głębi na jakość map głębi i czas przetwarzania

Zbadano wpływ proponowanej metody poprawy spójności map głębi na ich jakość oraz czas trwania estymacji. Estymacja map głębi dla sekwencji testowych została powtórzona dla różnej liczby ramek głębi typu P pomiędzy ramkami głębi typu I. Jakość głębi wyrażoną poprzez jakość widoków wirtualnych zaprezentowano na rys. 3.2.

Użycie ramek głębi typu P w pomijalnym stopniu zmniejszyło jakość map głębi (niecałe 0.25 dB). Jednakże, **czas trwania estymacji został znacząco zmniejszony (prawie 15-krotnie).**



Rys. 3.2. Średnia jakość widoku wirtualnego zsyntezowanego z użyciem map głębi estymowanych dla różnych liczb ramek głębi typu P między ramkami głębi typu I i czas estymacji.

W celu określenia poprawy spójności czasowej map głębi, zsyntezowane widoki wirtualne zostały zakodowane za pomocą kodera HEVC [38]. Poprawa spójności czasowej jest mierzona za pomocą zmniejszenia rozmiaru strumienia bitowego zakodowanych widoków wirtualnych w porównaniu do widoków wirtualnych zsyntezowanych z użyciem głębi wyestymowanych bez użycia proponowanej metody poprawy spójności. Średnie zmniejszenie rozmiaru zostało wyrażone za pomocą miary Bjøntegaarda. Wyniki zaprezentowano w tabeli 3.2.

Użycie proponowanej metody poprawy spójności map głębi powoduje znaczące zmniejszenie rozmiaru strumienia bitowego zadokowanych widoków wirtualnych, średnio o prawie 32%. Takie zmniejszenie rozmiaru oznacza zwiększenie wydajności predykcji czasowej kodera, co oznacza, że kolejne ramki kodowanej sekwencji były do siebie bardziej podobne. Potwierdza to **znaczące zwiększenie spójności czasowej widoków wirtualnych, a więc również estymowanych map głębi.**

TABELA 3.2. ŚREDNIE ZMNIĘSIENIE PRĘDKOŚCI BITOWEJ LUMINANCJI DLA ZAKODOWANEGO WIDOKU WIRTUALNEGO ZSYNTEZOWANEGO Z UŻYCIEM MAP GŁĘBI ESTYMOWANYCH DLA RÓŻNEJ LICZBY RAMEK GŁĘBI TYPU P MIĘDZY RAMKAMI GŁĘBI TYPU I

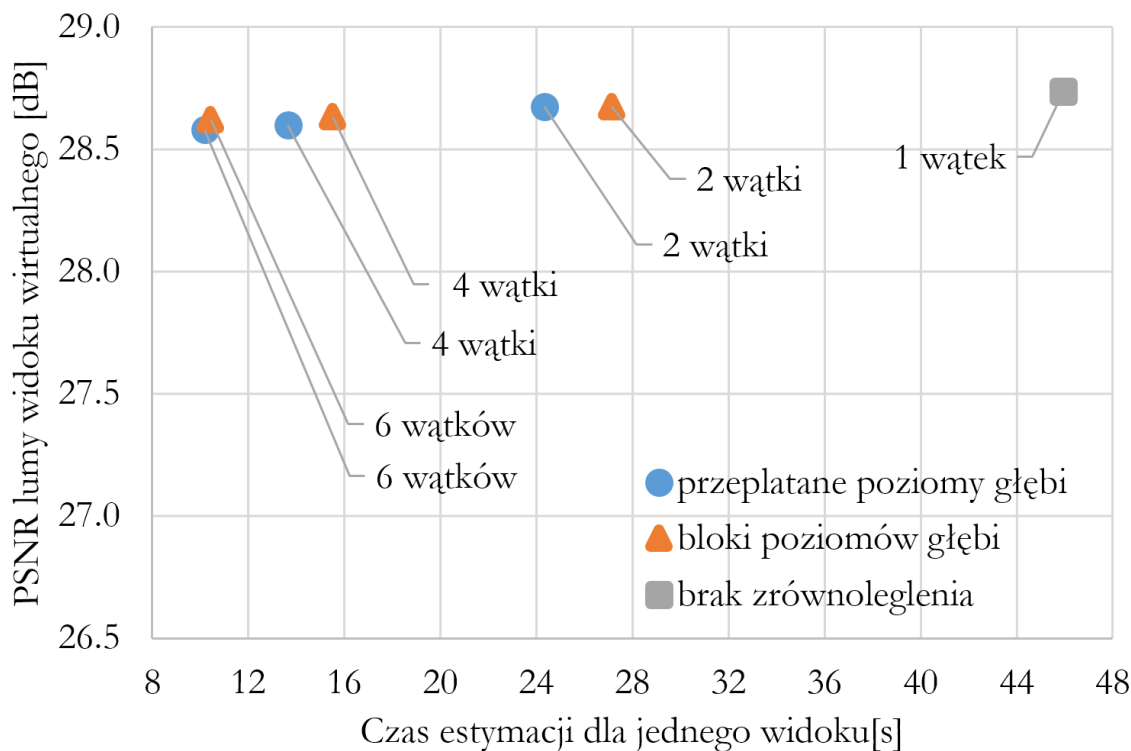
Sekwencja testowa	Zmniejszenie prędkości bitowej dla zakodowanych widoków wirtualnych wynikająca z użycia ramek głębi typu P			
	Liczba ramek głębi typu P			
	4	9	24	49
Ballet	-14.4%	-19.0%	-20.5%	-20.8%
Breakdancers	-24.9%	-33.1%	-34.4%	-34.1%
BBB Butterfly	-18.8%	-29.2%	-34.6%	-38.3%
BBB Rabbit	-7.9%	-8.0%	-11.3%	-19.7%
Poznań Blocks	-4.5%	-5.7%	-7.3%	-6.1%
Poznań Blocks2	-30.7%	-35.0%	-36.9%	-39.9%
Poznań Fencing2	-30.7%	-53.5%	-68.8%	-75.8%
Poznań Service2	-21.6%	-30.0%	-23.5%	-21.7%
Średnia:	-19.2%	-26.7%	-29.7%	-32.0%

3.3 Wpływ metody zrównoleglenia obliczeń na jakość map głębi i czas przetwarzania

W ostatnim zaprezentowanym eksperymencie zbadano wpływ proponowanej metody zrównoleglenia obliczeń na jakość map głębi i czas trwania estymacji map głębi.

Estymacja została powtórzona dla różnych scenariuszy zrównoleglenia: bez użycia zrównoleglenia (estymacja używając jednego wątku) oraz zrównoleglenie na 2, 4 oraz 6 wątków. Ponadto, testy zostały przeprowadzone dla dwóch proponowanych schematów zrównoleglenia: dla poziomów głębi przeplecionych między wątkami i dla estymacji dla poziomów głębi podzielonych na bloki kolejnych poziomów.

Wyniki przeprowadzonych eksperymentów (jakość estymowanych map głębi wyrażona poprzez jakość widoku wirtualnego oraz czas trwania estymacji map głębi) zaprezentowano na rys. 3.3.



Rys. 3.3. Średnia jakość widoku wirtualnego zsyntezowanego z użyciem map głębi estymowanych dla różnej liczby użytych wątków i różnych typów zrównoleglenia oraz czas estymacji głębi.

Nawet dla zrównoleglenia na 6 wątków zmiana jakości estymowanych map głębi jest nieznaczna (jedynie 0.1 dB), jednak czas trwania estymacji został zmniejszony średnio więcej niż 4,5-krotnie. **Zaprezentowane wyniki wskazują, że zaproponowana metoda zrównoleglenia obliczeń stanowi znaczące i przydatne rozszerzenie proponowanej metody estymacji map głębi.**

4 PODSUMOWANIE

Przedstawiona rozprawa dotyczy estymacji głębi dla systemów telewizji swobodnego punktu widzenia. **Celem rozprawy było stworzenie oryginalnej metody estymacji map głębi dostosowanej do wymagań systemów FTV.** Główny nacisk położono na zwiększenie jakości map głębi estymowanych w celach syntezy widoków wirtualnych przy jednoczesnym zmniejszeniu złożoności estymacji.

4.1 Główne osiągnięcia rozprawy

Główne oryginalne osiągnięcia przedstawionej rozprawy dotyczą stworzenia oryginalnej metody estymacji map głębi przeznaczonej dla systemów telewizji swobodnego punktu widzenia:

- **Oryginalna metoda estymacji map głębi** umożliwiająca wyznaczanie map głębi spójnych międzywidokowo dla dowolnego rozstawienia kamer systemu FTV. Estymacja jest przeprowadzana dla segmentów, a nie dla poszczególnych punktów wejściowych widoków. Proponowana metoda estymuje głębie o jakości wyższej niż metoda odniesienia DERS [28] powszechnie używana w środowisku naukowym w badaniach dotyczących telewizji swobodnego punktu widzenia. Ponadto, zaproponowana metoda zmniejsza czas estymacji w porównaniu z metodą odniesienia (średnio czterokrotne zmniejszenie czasu trwania estymacji).
- **Oryginalna metoda poprawy spójności map głębi** pozwalająca na nawet 15-krotne zmniejszenia czasu trwania estymacji głębi. Znacząca poprawa spójności map głębi została potwierdzona używając autorskiej metody pomiaru spójności czasowej, poprzez zmniejszenie prędkości bitowej zakodowanych widoków wirtualnych nawet o 32%.
- **Oryginalna metoda zrównoleglenia obliczeń w estymacji map głębi** dla estymacji bazującej na optymalizacji z wykorzystaniem grafów. Zaproponowana metoda pozwoliła na 4,5-krotne zmniejszenie czasu trwania estymacji dla zrównoleglenia 6-wątkowego przy zanedbywalnej stracie jakości estymowanych map głębi (zmiana PSNR lamy widoków wirtualnych o 0.1 dB).

Ponadto, poza głównymi osiągnięciami pracy zaprezentowanymi powyżej, przedstawić można dodatkowe osiągnięcia rozprawy, które wskazują na wysoką użyteczność przeprowadzonych badań:

- **Wkład w opracowanie wielowidokowych sekwencji testowych:** nowe sekwencje testowe [4] zostały rozpowszechnione dla społeczności badawczej razem z mapami głębi wyestymowanymi z użyciem metody przedstawionej w tej rozprawie. Sekwencje są częścią zbioru testowego grupy MPEG i zostały już użyte przez badaczy w innych badaniach dotyczących telewizji swobodnego punktu widzenia.
- **Implementacja zaprezentowanej metody estymacji map głębi w praktycznym systemie FTV:** zaprezentowana metoda jest częścią funkcjonującego systemu FTV, który został stworzony przez Katedrę Telekomunikacji Multimedialnej Politechniki Poznańskiej.

4.2 Przeprowadzane prace badawcze

Aby w pełni ocenić skuteczność przedstawionej metody estymacji głębi w zastosowaniach w telewizji swobodnego punktu widzenia, autor rozprawy dokonał serii złożonych i kompleksowych eksperymentów, które przeprowadzono dla setek różnych konfiguracji estymacji głębi.

Autor przygotował oprogramowanie obejmujące nie tylko wszystkie niezbędne funkcje wykorzystywane do estymacji map głębi dla sekwencji wejściowej, ale także pozwalające na dokonanie oceny jakości (przy użyciu syntezy widoku wirtualnego) i spójności czasowej map głębi (z wykorzystaniem kodowania widoków wirtualnych). Wymagało to od autora pracy z użyciem ponad 60 000 linii kodu, z których prawie 15 000 zostało napisanych przez autora.

Jeśli eksperymenty zostałyby wykonane przy użyciu tylko jednego rdzenia używanego procesora, to czas przetwarzania byłby dłuższy niż 200 dni. Z tego powodu wszystkie obliczenia wykonano na 6 serwerach obliczeniowych, które umożliwiają wysoki stopień zrównoleglenia. Rozkład zadań obliczeniowych między serwerami, wraz z nadzorowaniem obliczeń, przeprowadzono przy użyciu skryptów, które zostały również przygotowane przez autora.

Wszystkie mapy głębi i widoki wirtualne stworzone do eksperymentalnej weryfikacji przedstawionej metody stanowią razem więcej niż dwie godziny materiału, chociaż zastosowane sekwencje testowe nie były dłuższe niż 2 sekundy każda. Rozmiar wszystkich danych użytych w eksperymentach wynosi prawie 500 GB.

Przedstawiona metoda estymacji głębi jest częścią serwera reprezentacji używanego w systemie FTV. Implementacja metody zaprojektowanej dla serwera reprezentacji została również przygotowana przez autora. Kod napisany przez autora stanowi więcej niż 50% linii kodu używanego w serwerze reprezentacji i około 35% wszystkich linii kodu używanych w całym systemie FTV.

4.3 Wnioski

W tej rozprawie postawiono tezę, że możliwe jest skrócenie czasu przetwarzania estymacji głębi i poprawienie jakości wirtualnych widoków w systemach FTV w porównaniu do uznanych metod estymacji głębi za pomocą segmentacji obrazu i poprawy spójności czasowej.

W celu udowodnienia tezy autor przedstawił nową metodę estymacji map głębi, która jest ściśle oparta na wykorzystaniu segmentacji w procesie estymacji i porównał proponowaną metodę z uznaną metodą bazującą na punktowej estymacji, zaimplementowaną w oprogramowaniu odniesienia DERS. Jak pokazują przeprowadzone kompleksowe eksperymenty, nawet przy zastosowaniu bardzo małej liczby segmentów podczas estymacji głębi, jakość map głębi estymowanych za pomocą proponowanej metody jest lepsza niż w metodzie odniesienia. Jednocześnie, czas przetwarzania jest znacznie krótszy dla zaproponowanej metody.

Ponadto autor przedstawił nowatorską metodę poprawy spójności czasowej map głębi. Jak udowodniono eksperymentalnie, metoda ta znacząco poprawia czasową spójność estymowanych map głębi, co ma kluczowe znaczenie dla jakości wirtualnych widoków. Ponadto, proponowana metoda skraca czas estymacji głębi.

Podsumowując, zarówno zastosowanie segmentacji, jak i ulepszenie spójności czasowej można wykorzystać w celu skrócenia czasu estymacji map głębi i poprawy jakości widoków wirtualnych. Potwierdza to tezę przedstawionej rozprawy.

Jak podkreślono w opisie metody, proponowana metoda estymacji głębi może być stosowana z dowolną liczbą dowolnie rozmieszczonych kamer i zapewnia dobrą spójność międzywidokową i czasową estymowanych map głębi. Co więcej, czas przetwarzania można dodat-

kowo znacznie zmniejszyć, gdy stosowana jest proponowana metoda zrównoleglenia obliczeń. W związku z tym można stwierdzić, że proponowana metoda spełnia wszystkie wymagania, aby mogła być używana w dowolnym systemie telewizji swobodnego punktu widzenia.

Szczególne przydatność przedstawionej metody estymacji głębi została już potwierdzona przez jej wdrożenie w działającym systemie FTV, opracowanym przez Katedrę Multimedia Telekomunikacji i Mikroelektroniki Politechniki Poznańskiej. Mapy głębi, które można z powodzeniem stosować do syntezy widoku wirtualnego, można estymować za pomocą proponowanej metody w czasie poniżej 5 sekund na jedną ramkę. W związku z tym ogólny czas od rejestracji sekwencji FTV do prezentacji swobodnej nawigacji ulega znaczącemu skróceniu, co może przyspieszyć praktyczne wykorzystanie systemów FTV.

WYBRANE POZYCJE SPISU LITERATURY

- [1] B. Ceulemans, S. P. Lu, G. Lafruit and A. Munteanu, "Robust Multiview Synthesis For Wide-Baseline Camera Arrays," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 20, no. 9, pp. 2235-2248, Sept. 2018.
- [2] D. Comaniciu and P. Meer, "Mean shift: a robust approach toward feature space analysis," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 5, pp. 603-619, May 2002.
- [3] L. Do, G. Bravo, S. Zinger and P. H. N. de With, "Real-time free viewpoint DIBR on GPUs for large base-line multi-view 3DTV videos," in *2011 Visual Communications and Image Processing (VCIP)*, Tainan, 2011, pp. 1-4.
- [4] M. Domański, A. Dziembowski, A. Grzelka, D. Mieloch, O. Stankiewicz and K. Wegner, "Multiview test video sequences for free navigation exploration obtained using pairs of cameras", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. MPEG M38247, Geneva, 2016.
- [5] M. Domański, A. Dziembowski, D. Mieloch, A. Łuczak, O. Stankiewicz and K. Wegner, "A practical approach to acquisition and processing of free viewpoint video," in *2015 Picture Coding Symposium (PCS)*, Cairns, QLD, pp. 10-14.
- [6] M. Domański, A. Dziembowski, T. Grajek, A. Grzelka, D. Mieloch, R. Ratajczak, J. Samelak, O. Stankiewicz, J. Stankowski, K. Wegner, "Free-viewpoint television demonstration for sports events," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. MPEG M41994, Gwangju, Korea, 22-26 January 2018.
- [7] A. Dziembowski, A. Grzelka, D. Mieloch, O. Stankiewicz, K. Wegner and M. Domański, "Multiview synthesis — Improved view synthesis for virtual navigation," in *2016 Picture Coding Symposium (PCS)*, Nuremberg, pp. 1-5.
- [8] L. Jorissen, P. Goorts, G. Lafruit and P. Bekaert, "Multi-view wide baseline depth estimation robust to sparse input sampling," in *2016 3DTV-Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video (3DTV-CON)*, Hamburg, pp. 1-4.
- [9] V. Kolmogorov and R. Zabini, "What energy functions can be minimized via graph cuts?," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 26, no. 2, pp. 147-159, Feb. 2004.
- [10] G. Lafruit, K. Wegner, M. Tanimoto, "FTV software framework," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. MPEG N15349, Warsaw, Poland, June 2015.
- [11] G. Lafruit, M. Domański, K. Wegner, T. Grajek, T. Senoh, J. Jung, P. Kovács, P. Goorts, L. Jorissen, A. Munteanu, B. Ceulemans, P. Carballera, S. García and M. Tanimoto, "New visual coding exploration in MPEG: Super-MultiView and Free Navigation in Free viewpoint TV," in *2016 Proceedings of the Electronic Imaging Conference: Stereoscopic Displays and Application*, San Francisco, 2016, pp. 1-9.

- [12] C. Lee, A. Tabatabai, K. Tashiro, "Free viewpoint video (FVV) survey and future research direction," *APSIPA Transactions on Signal and Information Processing*, vol. 4, Oct. 2015.
- [13] G. Lee, B. Li and C. Chen, "Content-adaptive depth map enhancement based on motion distribution," in *2014 IEEE Visual Communications and Image Processing Conference*, Valletta, 2014, pp. 482-485.
- [14] S. Li, C. Zhu and M. T. Sun, "Hole Filling with Multiple Reference Views in DIBR View Synthesis," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 20, no. 8, pp. 1948-1959, Aug. 2018.
- [15] L. Li, S. Zhang, X. Yu and L. Zhang, "PMSC: PatchMatch-Based Superpixel Cut for Accurate Stereo Matching," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 28, no. 3, pp. 679-692, March 2018.
- [16] W. Liu, X. Chen, J. Yang and Q. Wu, "Robust Color Guided Depth Map Restoration," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 26, no. 1, pp. 315-327, Jan. 2017.
- [17] D. Mieloch, A. Dziembowski, A. Grzelka, O. Stankiewicz and M. Domański, "Graph-based multiview depth estimation using segmentation," in *2017 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, Hong Kong, pp. 217-222.
- [18] D. Mieloch, A. Dziembowski, A. Grzelka, O. Stankiewicz and M. Domański, "Temporal enhancement of graph-based depth estimation method," in *2017 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*, Poznań, 2017, pp. 1-4.
- [19] D. Mieloch, A. Dziembowski, A. Grzelka, "Estymacja głębi dla systemów wielowidokowych," *Przegląd Telekomunikacyjny*, Vol. 86, no. 6, 2017, pp. 479-482,
- [20] D. Mieloch, A. Dziembowski, A. Grzelka, "Segmentacja obrazu w estymacji map głębi," *Przegląd Telekomunikacyjny*, vol. 88, no. 6, 2016, pp. 241-244.
- [21] D. Mieloch, A. Grzelka, "Segmentation-based method of increasing the depth maps temporal consistency," *International Journal of Electronics and Telecommunication*, vol. 64, no. 3, pp. 293-298.
- [22] K. Muller, P. Merkle and T. Wiegand, "3-D Video Representation Using Depth Maps," *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, no. 4, pp. 643-656, April 2011.
- [23] G. Nur, S. Dogan, H. K. Arachchi and A. M. Kondo, "Impact of depth map spatial resolution on 3D video quality and depth perception," in *2010 3DTV-Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video*, Tampere, pp. 1-4.
- [24] Y. Peng, L. Chen, F. X. Ou-Yang, W. Chen and J. H. Yong, "JF-Cut: A Parallel Graph Cut Approach for Large-Scale Image and Video," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 24, no. 2, pp. 655-666, Feb. 2015.
- [25] D. Seo and K. H. Jo, "Multi-layer superpixel-based MeshStereo for accurate stereo matching," in *2017 10th International Conference on Human System Interactions (HSI)*, Ulsan, 2017, pp. 242-245.

- [26] H. Shi, H. Zhu, J. Wang, S. Yu and Z. Fu, "Segment-based adaptive window and multi-feature fusion for stereo matching," *Journal of Algorithms & Computational Technology*, vol. 10, no. 1, 2016, pp.3-11.
- [27] O. Stankiewicz, "Stereoscopic depth map estimation and coding techniques for multiview video systems", Doctoral dissertation, Poznań University of Technology, 2013.
- [28] O. Stankiewicz, K. Wegner, M. Tanimoto and M. Domański, "Enhanced Depth Estimation Reference Software (DERS) for Free-viewpoint Television", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Doc. MPEG M31518, Geneva, 2013.
- [29] O. Stankiewicz, K. Wegner, M. Tanimoto and M. Domański, "Enhanced view synthesis reference software (VSRS) for Free-viewpoint Television", ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11, Doc. MPEG M31520, Geneva, 2013.
- [30] O. Stankiewicz, M. Domański, A. Dziembowski, A. Grzelka, D. Mieloch and J. Samelak, "A Free-viewpoint Television System for Horizontal Virtual Navigation," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 20, no. 8, pp. 2182-2195, Aug. 2018.
- [31] O. Stankiewicz, M. Domański and K. Wegner, "Estimation of temporally-consistent depth maps from video with reduced noise," in *2015 3DTV-Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video (3DTV-CON)*, Lisbon, pp. 1-4.
- [32] M. Tanimoto, "FTV standardization in MPEG," in *2014 3DTV-Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video (3DTV-CON)*, Budapest, pp. 1-4.
- [33] M. Tanimoto, M. Panahpour Tehrani, T. Fujii and T. Yendo, "FTV for 3-D Spatial Communication," *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, no. 4, pp. 905-917, April 2012.
- [34] V. Vineet and P.J. Narayanan, "Solving multi-label MRFs using incremental alpha-expansion move on the GPUs," in *Proceedings of the 9th Asian conference on Computer Vision*, Xi,An, 2009.
- [35] C. Yao, T. Tillo, Y. Zhao, J. Xiao, H. Bai and C. Lin, "Depth Map Driven Hole Filling Algorithm Exploiting Temporal Correlation Information," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 60, no. 2, pp. 394-404, June 2014.
- [36] H. Zhu, Q. Wang and J. Yu, "Occlusion-Model Guided Antiocclusion Depth Estimation in Light Field," *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 11, no. 7, pp. 965-978, Oct. 2017.
- [37] F. Zilly, C. Riechert., M. Muller., P. Eisert, T. Sikora and P. Kauff, "Real-time generation of multi-view video plus depth content using mixed narrow and wide baseline," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 25, no. 4, pp. 632-648, 2014.
- [38] HEVC reference codec. [Online]. Available: https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn_HEVCSoftware/

DOROBEK PUBLIKACYJNY AUTORA

Cytowania prac autora (stan na listopad 2018):

Ogółem 135 cytowań, indeks h równy 7 (według systemu Google Scholar), w tym między innymi:

- 7 cytowań w czasopismach IEEE Transactions,
- 16 cytowań w innych czasopismach międzynarodowych,
- 16 cytowań w materiałach konferencji IEEE,
- 56 cytowań w materiałach innych konferencji międzynarodowych.

Publikacje autora:

Czasopisma międzynarodowe:

1. O. Stankiewicz, M. Domański, A. Dziembowski, A. Grzelka, D. Mieloch, J. Samelak, „A Free-viewpoint Television System for Horizontal Virtual Navigation,” *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 20, no. 8, pp. 2182-2195, Aug. 2018,
2. D. Mieloch, A. Grzelka, „Segmentation-based method of increasing the depth maps temporal consistency,” *International Journal of Electronics and Telecommunication*, vol. 64, no. 3, pp. 293-298, 2018,
3. D. Mieloch, O. Stankiewicz, M. Domański, „Depth map estimation for free-viewpoint television,” przygotowane do *IEEE Transactions on Multimedia*.

Polskie czasopisma:

1. D. Mieloch, A. Dziembowski, A. Grzelka, „Estymacja głębi dla systemów wielowidokowych,” *Przegląd Telekomunikacyjny*, Vol. 86, No. 6, 2017, pp. 479-482,
2. A. Dziembowski, A. Grzelka, D. Mieloch, „Zwiększanie rozdzielczości obrazu i mapy głębi w celu poprawy jakości syntezy widoków wirtualnych,” *Przegląd Telekomunikacyjny*, Vol. 86, No. 6, 2017, pp. 405-408,
3. D. Mieloch, A. Dziembowski, A. Grzelka, „Segmentacja obrazu w estymacji map głębi,” *Przegląd Telekomunikacyjny*, Vol. 88, No. 6, 2016, pp. 241-244,

4. A. Dziembowski, A. Grzelka, D. Mieloch, „Wielowidokowa synteza w systemach telewizji swobodnego punktu widzenia,” *Przegląd Telekomunikacyjny*, Vol. 88, No. 6, 2016, pp. 233-236,
5. M. Domański, A. Dziembowski, A. Kuehn, D. Mieloch, „Telewizja swobodnego punktu widzenia – nowa usługa czy futurystyczna wizja?,” *Przegląd Telekomunikacyjny*, No. 8-9/2014, pp. 734-737,
6. A. Dziembowski, A. Kuehn, A. Łuczak, D. Mieloch, K. Wegner, „Realizacja eksperymentalnego systemu telewizji swobodnego punktu widzenia z łukowym ustawieniem kamer,” *Przegląd Telekomunikacyjny*, No. 6/2014, pp. 161-164.

Materiały konferencyjne:

a. Wiodące międzynarodowe konferencje IEEE:

1. M. Domański, A. Dziembowski, T. Grajek, A. Grzelka, K. Klimaszewski, D. Mieloch, R. Ratajczak, O. Stankiewicz, J. Siast, J. Stankowski, K. Wegner, „Demonstration of a simple free viewpoint television systems,” *IEEE International Conference on Image Processing*, Beijing, China, 17-20 Sept. 2017,
2. D. Mieloch, A. Dziembowski, A. Grzelka, O. Stankiewicz, M. Domański, „Graph based multiview depth estimation using segmentation,” *IEEE International Conference on Multimedia and Expo ICME 2017*, Hong Kong, 10-14 July 2017,
3. M. Domański, M. Bartkowiak, A. Dziembowski, T. Grajek, A. Grzelka, A. Łuczak, D. Mieloch, J. Samelak, O. Stankiewicz, J. Stankowski, K. Wegner, „New results in free-viewpoint television systems for horizontal virtual navigation,” *2016 IEEE International Conference on Multimedia and Expo ICME*, Seattle, USA, 11-15 July 2016,
4. M. Domański, A. Dziembowski, T. Grajek, A. Grzelka, Ł. Kowalski, M. Kurc, A. Łuczak, D. Mieloch, R. Ratajczak, J. Samelak, O. Stankiewicz, J. Stankowski, K. Wegner, „Methods of High Efficiency Compression for Transmission of Spatial Representation of Motion Scenes,” *IEEE International Conference on Multimedia and Expo ICME 2015*, Torino, Italy, June 29-July 3 2015.

b. Inne międzynarodowe konferencje (materiały opublikowane w bazie IEEE Xplore i indeksowane w bazie Web of Science):

1. D. Mieloch, „Intrinsic parameters estimation for a multiview system,” *International Conference on Signals and Electronic Systems, ICSES 2018*, Kraków, Poland, September 10-12, 2018,
2. J. Stankowski, A. Grzelka, D. Mieloch, K. Wegner, „Processing pipeline for real-time remote delivery of virtual view in FTV systems,” *International Conference on Signals and Electronic Systems, ICSES 2018*, Kraków, Poland, September 10-12, 2018,

3. M. Domański, A. Dziembowski, T. Grajek, A. Grzelka, D. Mieloch, O. Stankiewicz, J. Stankowski and K. Wegner, „Real-time virtual navigation provision by simple means,” *International Conference on Signals and Electronic Systems, ICSES 2018*, Kraków, Poland, September 10-12, 2018,
4. D. Mieloch, A. Dziembowski, A. Grzelka, O. Stankiewicz, M. Domański, „Temporal Enhancement of Graph-Based Depth Estimation Method,” *IEEE International Conference on Systems, Signals and Image Processing IWSSIP 2017*, Poznań, Poland, 22-24 May 2017,
5. A. Dziembowski, A. Grzelka, D. Mieloch, O. Stankiewicz, M. Domański, „Enhancing View Synthesis with Image and Depth Map Upsampling,” *IEEE International Conference on Systems, Signals and Image Processing IWSSIP 2017*, Poznań, Poland, 22-24 May 2017,
6. A. Dziembowski, A. Grzelka, D. Mieloch, O. Stankiewicz, K. Wegner, M. Domański, „Multiview Synthesis – improved view synthesis for virtual navigation,” *Picture Coding Symposium 2016*, Nuremberg, Germany, 4-7 December, 2016,
7. M. Domański, A. Dziembowski, A. Grzelka, D. Mieloch, „Optimization of camera positions for free-navigation applications,” *International Conference on Signals and Electronic Systems, ICSES 2016*, Kraków, Poland, September 5-7 2016,
8. A. Dziembowski, A. Grzelka, D. Mieloch, O. Stankiewicz, M. Domański, „Depth map upsampling and refinement for FTV systems,” *International Conference on Signals and Electronic Systems, ICSES 2016*, Kraków, Poland, September 5-7 2016,
9. A. Dziembowski, M. Domański, A. Grzelka, D. Mieloch, J. Stankowski, K. Wegner, „The influence of a lossy compression on the quality of estimated depth maps,” *23rd International Conference on Systems, Signals and Image Processing, IWSSIP 2016*, Bratislava, Slovakia, 23-25 May 2016,
10. M. Domański, A. Dziembowski, D. Mieloch, A. Łuczak, O. Stankiewicz, K. Wegner, „A Practical Approach to Acquisition and Processing of Free Viewpoint Video,” *31st Picture Coding Symposium PCS 2015*, Cairns, Australia, 31 May - 3 June 2015,
11. M. Domański, A. Dziembowski, A. Kuehn, M. Kurc, A. Łuczak, D. Mieloch, J. Siast, O. Stankiewicz, K. Wegner, „Experiments on acquisition and processing of video for free-viewpoint television,” *3DTV Conference 2014*, Budapest, Hungary, 2-4 July 2014.

c. Materiały konferencji organizowanych przez ISO/IEC MPEG:

1. A. Dziembowski, D. Mieloch, K. Wegner, O. Stankiewicz, M. Domański, „Proposal of enhanced version of View Synthesis Reference Software with multiple input views,” *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2018*, M42941, Ljubljana, Slovenia, 16-20 July 2018,

2. M. Domański, D. Losiewicz, T. Grajek, O. Stankiewicz, K. Wegner, A. Dziembowski, D. Mieloch, „Extended VSRS for 360 degree video,” ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2018, M41990, Gwangju, Korea, 22-26 January 2018,
3. M. Domański, A. Dziembowski, T. Grajek, A. Grzelka, D. Mieloch, R. Ratajczak, J. Samelak, O. Stankiewicz, J. Stankowski, K. Wegner, „Free-viewpoint television demonstration for sports events,” M41994, Gwangju, Korea, 22-26 January 2018,
4. K. Wegner, O. Stankiewicz, A. Dziembowski, D. Mieloch, M. Domański, „Exploration Experiments on Omnidirectional 6-DoF/3-DoF+ Rendering,” ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2017, M41807, Macau, China, 23-27 October 2017,
5. K. Wegner, O. Stankiewicz, A. Dziembowski, D. Mieloch, M. Domański, „Evaluation of step-in/step-out capability of state-of-the-art view synthesis technology,” ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2017, M40809, Torino, Italy, 17-21 July 2017,
6. K. Wegner, O. Stankiewicz, A. Dziembowski, D. Mieloch, M. Domański, „Omnidirectional 6-DoF/3-DoF+ rendering,” ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2017, M40806, Torino, Italy, 17-21 July 2017,
7. M. Domański, A. Dziembowski, A. Grzelka, Ł. Kowalski, D. Mieloch, J. Samelak, J. Stankowski, O. Stankiewicz, K. Wegner, „Experimental video coding software for Free Navigation applications,” ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2016, M39527, Chengdu, China, 17-21 October 2016,
8. M. Domański, A. Dziembowski, A. Grzelka, Ł. Kowalski, D. Mieloch, J. Samelak, J. Stankowski, O. Stankiewicz, K. Wegner, „Coding results for Poznan Fencing 2 and Poznan Blocks 2 test sequences in Free Navigation scenario,” ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2016, M39215, Chengdu, China, 17-21 October 2016,
9. M. Domański, A. Dziembowski, A. Grzelka, Ł. Kowalski, D. Mieloch, J. Samelak, O. Stankiewicz, J. Stankowski, K. Wegner, „[FTV AHG] Extended results of Poznan University of Technology proposal for Call for Evidence on Free-Viewpoint Television,” ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2016, M38246, Geneva, Switzerland, 30 May - 03 June 2016,
10. M. Domański, A. Dziembowski, A. Grzelka, Ł. Kowalski, D. Mieloch, J. Samelak, O. Stankiewicz, J. Stankowski, K. Wegner, „ [FTV AHG] Technical Description of Poznan University of Technology proposal for Call for Evidence on Free-Viewpoint Television,” ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2016, M37893, San Diego, US, 22-26 February 2016,
11. M. Domański, A. Dziembowski, T. Grajek, A. Grzelka, M. Kurc, A. Łuczak, D. Mieloch, J. Siast, O. Stankiewicz, K. Wegner, „ [FTV AHG] Video and depth multiview test sequences acquired with circular camera arrangement – “Poznan Service” and “Poznan People”,” ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2015, Doc. M36569, Warsaw, Poland, 20-27 June 2015,
12. M. Domański, K. Klimaszewski, A. Dziembowski, D. Mieloch, A. Łuczak, O. Stankiewicz, K. Wegner, „Freeview Navigation (FN) anchor generation using

- 3D-HEVC with depth for "Poznan Blocks" sequence," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2015, Doc. M36565, Warsaw, Poland, 20-27 June 2015,
13. M. Domański, A. Dziembowski, M. Kurc, A. Łuczak, D. Mieloch, J. Siast, O. Stankiewicz, K. Wegner, „Poznan University of Technology test multiview video sequences acquired with circular camera arrangement – “Poznan Team” and “Poznan Blocks” sequences,” ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2015, Doc. M35846, Geneva, Switzerland, 14-20 February 2015,
 14. M. Domański, A. Dziembowski, K. Klimaszewski, A. Łuczak, D. Mieloch, O. Stankiewicz, K. Wegner, „Comments on further standardization for free-viewpoint television,” ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2015, Doc. M35842, Geneva, Switzerland, 14-20 February 2015,
 15. M. Domański, D. Mieloch, A. Dziembowski, O. Stankiewicz, K. Wegner, „Super multiview image compression: results for Bee sequence (FTV EE3),” ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11, Doc. MPEG2014/m35070, Strasbourg, France, 20-24 October 2014,
 16. K. Wegner, O. Stankiewicz, A. Dziembowski, D. Mieloch, M. Domański, „First version of depth maps for Poznan Blocks multiview video test sequence,” ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2015, Doc. M32248, San Jose, USA, 13-17 January 2014,
 17. M. Domański, A. Dziembowski, A. Kuehn, M. Kurc, A. Łuczak, D. Mieloch, J. Siast, O. Stankiewicz, K. Wegner, „Poznan Blocks - a multiview video test sequence and camera parameters for Free Viewpoint Television,” ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2015, Doc. M32243, San Jose, USA, 13-17 January 2014.