

Instytut Telekomunikacji Multimedialnej
Wydział Informatyki i Telekomunikacji
Politechnika Poznańska

Streszczenie rozprawy doktorskiej

**Systemy wizyjne swobodnego punktu widzenia
o wysokiej postrzeganej jakości usług**

Adam Grzelka

Promotor: prof. dr hab. inż. Marek Domański

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Olgierd Stankiewicz

Poznań 2024

Streszczenie

Rozprawa dotyczy systemów swobodnego punktu widzenia, które są systemami wizyjnymi umożliwiającymi użytkownikowi wybór kierunku i miejsca obserwowania prezentowanej sceny. Autor podejmuje za cel zapewnienie wysokiej postrzeganej jakości usług w takich systemach, co realizuje poprzez szereg propozycji oryginalnych rozwiązań. Rozwiązania te są poparte badaniami naukowymi mającymi charakter teoretyczny, eksperymentalny oraz konstrukcyjny.

W pierwszej części rozprawy autor proponuje model teoretyczny, który opisuje zjawiska wpływające na jakość syntezy widoków wirtualnych w zależności od złożoności sceny. Wyniki tego modelu autor porównał z wynikami eksperymentu przeprowadzonego za pomocą wielowidokowych sekwencji testowych. Prezentowane rezultaty pozwalają na wybór ustawienia kamer w zależności od liczby przysłoniętych punktów obrazów dla kamer ustawionych równomiernie. Dla złożonych scen, w których ponad 25% punktów obrazu jest przysłoniętych, autor wykazał, że optymalne jest ustawienie kamer parami w celu uzyskania wyższej postrzeganej jakości. Przedstawione badania pokazują, że średnia jakość wirtualnych widoków mierzona metryką PSNR może zmienić się nawet o 3 dB w zależności od ustawienia kamer.

W drugiej części rozprawy autor przedstawia obszerne badania dotyczące jakości widoków wirtualnych w systemach wykorzystujących stratnie skompresowane widoki do estymacji map głębi. Przedstawione wyniki eksperymentu wstępnego dowodzą, że wysokiej jakości stratna kompresja widoków przesyłanych nie wpływa znacząco na jakość wirtualnych widoków. Zasadnicze eksperymenty wykazały, że jakość wirtualnego widoku zależy głównie od jakości przesyłanych widoków i w niewielkim stopniu od zastosowanej techniki kompresji. Zaproponowany przez autora liniowy model tej zależności pozwala na oszacowanie jakości wirtualnego widoku niezależnie od techniki kompresji, a średni błąd tego modelu jest mniejszy niż 0,5 dB.

W trzeciej części rozprawy autor analizuje zaproponowane scenariusze transmisji danych do terminala użytkownika, przeprowadzając testy subiektywne z wykorzystaniem wyświetlacza nagłownego. Badania wykazały, że transmisja widoku dookólnego do terminala użytkownika pozwala na kilkukrotne zwiększenie czasu wymaganego do komunikacji z serwerem bez obniżenia jakości subiektywnej. Porównywany system to taki, w którym tylko serwer realizuje syntezę wirtualnego widoku, a transmitowany widok jest bezpośrednio wyświetlany w wyświetlaczu nagłownym.

W ostatniej części rozprawy autor przedstawia kompletny system wielokamerowy zbudowany z konsumenckich kamer oraz system swobodnej nawigacji wykorzystujący wcześniej przygotowane widoki oraz mapy głębi. System ten został wielokrotnie wykorzystany m.in. do nagrań sekwencji badawczych, które wzbogaciły zbiór naturalnych danych udostępnionych grupom roboczym ISO/IEC MPEG. Serwer swobodnej nawigacji, mimo wykorzystania prostych algorytmów kompresji i komunikacji, zapewnia sprawną komunikację z terminalem użytkownika.

Rezultaty pracy wnoszą istotny wkład do rozwoju systemów swobodnego punktu widzenia, zwiększając możliwości tworzenia wysokiej jakości wirtualnych widoków oraz wydajnych transmisji danych dla użytkowników. Przeprowadzone analizy mogą znaleźć szerokie zastosowanie zarówno w badaniach naukowych, jak i w rozwijających się komercyjnych rozwiązaniach, szczególnie w kontekście wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości, gdzie wysoka postrzegana jakość wirtualnego widoku oraz efektywna transmisja danych są kluczowe.

Lista publikacji naukowych autora

Publikacje w czasopismach o zasięgu międzynarodowym

- A. Dziembowski, D. Mieloch, J. Stankowski i A. Grzelka. “IV-PSNR—The Objective Quality Metric for Immersive Video Applications”. W: *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 32.11 (2022), s. 7575–7591. DOI: [10.1109/TCSVT.2022.3179575](https://doi.org/10.1109/TCSVT.2022.3179575)
- O. Stankiewicz, M. Domański, A. Dziembowski, A. Grzelka, D. Mieloch i J. Samelak. “A Free-Viewpoint Television System for Horizontal Virtual Navigation”. W: *IEEE Transactions on Multimedia* 20.8 (2018), s. 2182–2195. ISSN: 1520-9210. DOI: [10.1109/TMM.2018.2790162](https://doi.org/10.1109/TMM.2018.2790162)
- D. Mieloch i A. Grzelka. “Segmentation-based Method of Increasing The Depth Maps Temporal Consistency”. W: *International Journal of Electronics and Telecommunications* vol. 64.No 3 (2018). DOI: [10.24425/123521](https://doi.org/10.24425/123521)

Pozostałe artykuły w czasopismach

- K. Wegner, J. Stankowski, K. Klimaszewski, O. Stankiewicz, A. Grzelka, M. Lorkiewicz, H. Żabiński i T. Grajek. “MUCHA – System Rejestracji I Przetwarzania Obrazu Przestrzennego”. W: *Twierdza* 87.1 (2018), s. 48–54. ISSN: 1507-6474
- A. Dziembowski, A. Grzelka i D. Mieloch. “Zwiększanie Rozdzielczości Obrazu i Mapy Głębkości w Celu Poprawy Jakości Syntezy Widoków Wirtualnych”. W: *Przegląd Telekomunikacyjny + Wiadomości Telekomunikacyjne* 2017 (czer. 2017). DOI: [10.15199/59.2017.6.57](https://doi.org/10.15199/59.2017.6.57)
- D. Mieloch, A. Dziembowski i A. Grzelka. “Estymacja Głębkości Dla Systemów Wielowidokowych”. W: *Przegląd Telekomunikacyjny + Wiadomości Telekomunikacyjne* 2017 (czer. 2017). DOI: [10.15199/59.2017.6.75](https://doi.org/10.15199/59.2017.6.75)
- A. Dziembowski, A. Grzelka i D. Mieloch. “Wielowidokowa Synteza w Systemach Telewizji Swobodnego Punktu Widzenia”. W: *Przegląd Telekomunikacyjny + Wiadomości Telekomunikacyjne* (czer. 2016), s. 233–236. DOI: [10.15199/59.2016.6.14](https://doi.org/10.15199/59.2016.6.14)

- D. Mieloch, A. Dziembowski i A. Grzelka. “Segmentacja Obrazu w Estymacji Map Głębni”. W: *Przegląd Telekomunikacyjny + Wiadomości Telekomunikacyjne* (czer. 2016), s. 241–244. DOI: [10.15199/59.2016.6.16](https://doi.org/10.15199/59.2016.6.16)
- J. Borko, G. Dulnik, A. Grzelka, A. Łuczak i A. Paszkowski. “A Parametric Synthesizer of Audio Signals on FPGA”. W: *Measurement Automation Monitoring* Vol. 61, No. 7 (2015), s. 367–369. ISSN: 2450-2855
- J. Borko, G. Dulnik, A. Grzelka, A. Łuczak i A. Paszkowski. “A Remote Programming Module of FPGA Boards”. W: *Measurement Automation Monitoring* Vol. 61, No. 7 (2015), s. 373–375
- G. Dulnik, A. Grzelka i A. Łuczak. “A Gigabit Ethernet Interface With an Embedded Lossless Data Encoder on FPGA”. W: *Measurement Automation Monitoring* Vol. 61, No. 7 (2015), s. 364–366

Artykuły w materiałach konferencji międzynarodowych indeksowanych w Web of Science oraz IEEE Xplore

- A. Grzelka, A. Dziembowski, D. Mieloch i M. Domański. “The Study of the Video Encoder Efficiency in Decoder-Side Depth Estimation Applications”. W: *30th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision : WSCG*. 2022, s. 248–255. DOI: [10.24132/CSRN.3201.31](https://doi.org/10.24132/CSRN.3201.31)
- A. Grzelka, A. Dziembowski, D. Mieloch, O. Stankiewicz, J. Stankowski i M. Domański. “Impact of Video Streaming Delay on User Experience with Head-Mounted Displays”. W: *2019 Picture Coding Symposium (PCS)*. 2019, s. 1–5
- M. Domański, A. Dziembowski, T. Grajek, A. Grzelka, D. Mieloch, R. Rataiczak, O. Stankiewicz, J. Stankowski i K. Wegner. “Real-Time Virtual Navigation Provision by Simple Means”. W: *2018 International Conference on Signals and Electronic Systems (ICSES)*. 2018, s. 69–73
- J. Stankowski, A. Grzelka, D. Mieloch i K. Wegner. “Processing Pipeline for Real-Time Remote Delivery of Virtual View in FTV Systems”. W: *2018*

International Conference on Signals and Electronic Systems (ICSES). 2018, s. 118–123

- D. Mieloch, A. Dziembowski, A. Grzelka, O. Stankiewicz i M. Domański. “Temporal Enhancement of Graph-Based Depth Estimation Method”. W: *2017 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*. 2017, s. 1–4
- A. Dziembowski, A. Grzelka, D. Mieloch, O. Stankiewicz i M. Domański. “Enhancing View Synthesis With Image and Depth Map Upsampling”. W: *2017 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*. 2017, s. 1–4
- D. Mieloch, A. Dziembowski, A. Grzelka, O. Stankiewicz i M. Domański. “Graph-Based Multiview Depth Estimation Using Segmentation”. W: *2017 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*. 2017, s. 217–222. DOI: [10.1109/ICME.2017.8019532](https://doi.org/10.1109/ICME.2017.8019532)
- M. Domański, A. Dziembowski, T. Grajek, A. Grzelka, K. Klimaszewski, D. Mieloch, R. Ratajczak, O. Stankiewicz, J. Siast, J. Stankowski i K. Wegner. “Demonstration of a Simple Free Viewpoint Television System”. W: *2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. 2017, s. 4589–4591
- M. Domański, A. Dziembowski, A. Grzelka i D. Mieloch. “Optimization of Camera Positions for Free-Navigation Applications”. W: *2016 International Conference on Signals and Electronic Systems (ICSES)*. 2016, s. 118–123. DOI: [10.1109/ICSES.2016.7593833](https://doi.org/10.1109/ICSES.2016.7593833)
- M. Domański, M. Bartkowiak, A. Dziembowski, T. Grajek, A. Grzelka, A. Łuczak, D. Mieloch, J. Samelak, O. Stankiewicz, J. Stankowski i K. Wegner. “New Results in Free-Viewpoint Television Systems for Horizontal Virtual Navigation”. W: *2016 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*. 2016, s. 1–6. DOI: [10.1109/ICME.2016.7552993](https://doi.org/10.1109/ICME.2016.7552993)
- A. Dziembowski, A. Grzelka, D. Mieloch, O. Stankiewicz, K. Wegner i M. Domański. “Multiview Synthesis — Improved View Synthesis for Virtual Navigation”. W: *2016 Picture Coding Symposium (PCS)*. 2016, s. 1–5. DOI: [10.1109/PCS.2016.7906380](https://doi.org/10.1109/PCS.2016.7906380)

- A. Dziembowski, M. Domański, A. Grzelka, D. Mieloch, J. Stankowski i K. Wegner. “The Influence of a Lossy Compression on the Quality of Estimated Depth Maps”. W: *2016 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*. 2016, s. 1–4. DOI: [10.1109/IWSSIP.2016.7502730](https://doi.org/10.1109/IWSSIP.2016.7502730)
- A. Dziembowski, A. Grzelka, D. Mieloch, O. Stankiewicz i M. Domański. “Depth Map Upsampling and Refinement for FTV Systems”. W: *2016 International Conference on Signals and Electronic Systems (ICSES)*. 2016, s. 89–92
- M. Domański, A. Dziembowski, T. Grajek, A. Grzelka, Ł. Kowalski, M. Kurc, A. Luczak, D. Mieloch, R. Ratajczak, J. Samelak, O. Stankiewicz, J. Stankowski i K. Wegner. “Methods of High Efficiency Compression for Transmission of Spatial Representation of Motion Scenes”. W: *2015 IEEE International Conference on Multimedia Expo Workshops (ICMEW)*. 2015, s. 1–4

Pozostałe publikacje

- D. Mieloch, A. Dziembowski, B. Szydełko, D. Klóska, A. Grzelka, J. Stankowski, M. Domański, G. Lee i J. Jeong. *[MIV] New natural content – MartialArts*. ISO/IEC JTC1/SC29/WG4 MPEG dok. m61949, OnLine. Sty. 2023
- A. Grzelka D. Mieloch A. Dziembowski. *[MIV] Exploration Experiments on Future MIV: PUT results*. ISO/IEC JTC1/SC29/WG4 MPEG dok. m58835, OnLine. Sty. 2022
- A. Grzelka, A. Dziembowski, D. Mieloch, M. Domański, G. Lee i J. Jeong. *MIV CE2.11: Encoder-side rendering*. ISO/IEC JTC1/SC29/WG4 MPEG dok. m56369, OnLine. Kw. 2021
- A. Dziembowski, D. Mieloch, A. Grzelka, J. Stankowski, M. Domański, G. Lee i J. Jeong. *CE3-related: Color-based patch splitting and sorting*. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG dok. m53408, Alpbah, Austria. Czer. 2020
- A. Dziembowski, D. Mieloch, A. Grzelka, J. Stankowski, M. Domański i G. Lee. *Immersive Video CE3-related: Spatio-temporal patch redundancy removal*. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG dok. m51604, Bruksela, Belgia. Sty. 2020

- A. Dziembowski, D. Mieloch, A. Grzelka, J. Stankowski, M. Domański i G. Lee. *Immersive Video CE3.2: Temporal Patch Redundancy Removal*. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG dok. m51603, Bruksela, Belgia. Sty. 2020
- A. Dziembowski, D. Mieloch, A. Grzelka, J. Stankowski, M. Domański i G. Lee. *Immersive Video CE3.1: Patch Splitting*. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG dok. m51602, Bruksela, Belgia. Sty. 2020
- A. Grzelka, M. Lorkiewicz, A. Dziembowski i D. Mieloch. *PUT Proposal of PoznanFencing Posetraces*. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG dok. m50646, Genewa, Szwajcaria. Paź. 2019
- M. Domański, A. Dziembowski, D. Mieloch, O. Stankiewicz, J. Stankowski, A. Grzelka, G. Lee, J. Y. Jeong i J. Seo. *Call for Proposals on 3DoF+: Aggregation of the Results of Submission Assessments Obtained by the Subjective Tests With Naïve Subjects*. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG dok. m47985, Genewa, Szwajcaria. Mar. 2019
- M. Domański, A. Dziembowski, D. Mieloch, O. Stankiewicz, J. Stankowski, A. Grzelka, G. Lee, J. Y. Jeong i J. Seo. *Technical Description of Proposal for Call for Proposals on 3DoF+ Visual Prepared by Poznań University of Technology (PUT) and Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)*. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG dok. m47407, Genewa, Szwajcaria. Mar. 2019
- K. Wegner, T. Grajek, A. Grzelka, M. Lorkiewicz, R. Ratajczak, O. Stankiewicz, J. Stankowski, H. Żabiński i M. Domański. *Depth Estimation Reference Software extension for lightfield images*. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG dok. m46126, Marrakech, Maroko. Sty. 2019
- D. Łosiewicz, T. Grajek, K. Wegner, A. Grzelka, O. Stankiewicz i M. Domański. *360 Degree Test Image With Depth*. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG dok. m41991, Gwangju, Korea Południowa. Sty. 2018
- D. Łosiewicz, T. Grajek, K. Wegner, A. Grzelka, O. Stankiewicz i M. Domański. *360 Degree Test Image With Depth*. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG dok. m41991, Gwangju, Korea Południowa. Sty. 2018

- M. Domański, A. Dziembowski, A. Grzelka, Ł. Kowalski, D. Mieloch, J. Samelak, J. Stankowski, O. Stankiewicz i K. Wegner. *Experimental Video Coding Software for Free Navigation Applications*, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG dok. m39527, Chengdu, Chiny. Paź. 2016
- M. Domański, A. Dziembowski, A. Grzelka, Ł. Kowalski, D. Mieloch, J. Samelak, J. Stankowski, O. Stankiewicz i K. Wegner. *Coding Results for Poznan Fencing 2 and Poznan Blocks 2 Test Sequences in Free Navigation Scenario*. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG dok. m39215, Chengdu, Chiny. Paź. 2016
- M. Domański, A. Dziembowski, A. Grzelka i D. Mieloch. *Study on Nonuniform Distributions of Cameras Located on an Arc*. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG dok. m38248, Genewa, Switzerland. Maj 2016
- A. Grzelka, D. Mieloch, O. Stankiewicz i K. Wegner. *Multiview Test Video Sequences for Free Navigation Exploration Obtained Using Pairs of Cameras*. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG dok. m38247, Genewa, Switzerland. Maj 2016
- M. Domański, A. Dziembowski, A. Grzelka, Ł. Kowalski, D. Mieloch, J. Samelak, O. Stankiewicz, J. Stankowski i 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 MPEG dok. m38246, Genewa, Switzerland. Maj 2016
- M. Domański, A. Dziembowski, A. Grzelka, Ł. Kowalski, D. Mieloch, J. Samelak, O. Stankiewicz, J. Stankowski i K. Wegner. *Technical Description of Poznan University of Technology Proposal for Call for Evidence on Free-Viewpoint Television*. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG dok. m37893, San Diego, USA. Lut. 2016
- M. Domański, A. Dziembowski, T. Grajek, A. Grzelka, M. Kurc, A. Łuczak, D. Mieloch, J. Siast, O. Stankiewicz i 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 MPEG dok. m36569, Warszawa, Polska. Czer. 2015