

POZNAŃ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF COMPUTING AND TELECOMMUNICATIONS
INSTITUTE OF MULTIMEDIA TELECOMMUNICATIONS

Doctoral dissertation

**PREDICTION TECHNIQUES
FOR COMPRESSION OF MULTIVIEW VIDEO
ACQUIRED USING SYSTEMS
WITH VARIOUS CAMERA ARRANGEMENTS**

Jarosław Samelak

Supervisor: prof. dr hab. inż. Marek Domański

Auxiliary supervisor: dr inż. Damian Karwowski

Poznań 2023

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

WYDZIAŁ INFORMATYKI I TELEKOMUNIKACJI

INSTYTUT TELEKOMUNIKACJI MULTIMEDIALNEJ

Rozprawa doktorska

**TECHNIKI PREDYKCJI
DLA KOMPRESJI WIZJI WIELOWIDOKOWEJ
REJESTROWANEJ ZA POMOCĄ SYSTEMÓW
O RÓŻNYM ROZMIESZCZENIU KAMER**

Jarosław Samelak

Promotor: prof. dr hab. inż. Marek Domański

Promotor pomocniczy: dr inż. Damian Karwowski

Poznań 2023

ABSTRACT

The dissertation presents the author's research on novel prediction techniques for multiview video compression. The author identifies the limitations of the state-of-the-art techniques and then proposes two original solutions. The main goal is to improve the inter-view prediction in compression of multiview video acquired using systems with various camera arrangements. The proposed techniques are dedicated to modern applications of multiview video, such as virtual reality (VR), augmented reality (AR), or immersive video systems.

In the first part of the dissertation, the author adapts the state-of-the-art compression technique, 3D-HEVC, to the aforementioned applications. To achieve that, the author first proposes a novel, original rectification method for multiview video acquired by cameras distributed roughly on a circle. Then, the author modifies the inter-view prediction of 3D-HEVC to efficiently compress such rectified video. The modified codec, in the dissertation referred to as ARC-HEVC, is evaluated in terms of rate-distortion (RD) compression efficiency and coding time, and the results are compared to the state-of-the-art 3D-HEVC. According to the results, the author's proposal is both faster and more efficient.

In the second part of the dissertation, the author proposes a novel idea of using Screen Content Coding (SCC) for compression of frame-compatible multiview video. The main idea is to utilize Intra Block Copy as an inter-view prediction tool. The advantage of such a solution is that the codec does not require a complex multi-layer structure dedicated exclusively to the processing of multiview video, contrary to the state-of-the-art Multiview HEVC (MV-HEVC). Additionally, the author proposes a set of original modifications to improve the efficiency of Screen Content Coding in compression of multiview (including stereoscopic) video. Experimental evaluation shows that the author's novel approach, in the dissertation called Advanced SCC or ASCC, provides virtually the same RD compression efficiency and encoding time as MV-HEVC, both in the coding of stereoscopic and multiview video.

Both SCC and ASCC codecs are also employed by the author as the inner codecs in MPEG Immersive Video, replacing commonly used HEVC codec. Experimental evaluation of the proposed change in compression of immersive video shows a significant gain in rate-distortion compression efficiency and the quality of virtual views, at the cost of increased encoding time.

STRESZCZENIE

Niniejsza rozprawa prezentuje przeprowadzone badania w kierunku oryginalnych technik predykcji dla kompresji wizji wielowidokowej. W rozprawie autor identyfikuje ograniczenia aktualnych technik oraz proponuje dwa oryginalne rozwiązania. Głównym celem jest poprawa predykcji międzywidokowej w kompresji wizji wielowidokowej zarejestrowanej systemami o różnym rozmieszczeniu kamer. Zaproponowane techniki są przeznaczone dla nowoczesnych zastosowań wizji wielowidokowej, takich jak wirtualna rzeczywistość (VR), rzeczywistość rozszerzona (AR), czy systemy wizji wszechogarniającej.

W pierwszej części rozprawy autor dostosowuje technikę kompresji 3D-HEVC do wspomnianych zastosowań. W pierwszej kolejności autor proponuje nowatorską, oryginalną metodę rektyfikacji wizji wielowidokowej rejestrowanej za pomocą kamer rozmieszczonych w przybliżeniu na okręgu. Następnie autor modyfikuje predykcję międzywidokową w 3D-HEVC dla efektywnej kompresji tak zrektfikowanej wizji. Zmodyfikowany kodek, w rozprawie określany jako ARC-HEVC, jest oceniony pod kątem efektywności kompresji i czasu kodowania, a wyniki są porównane z oryginalnym 3D-HEVC. Wyniki pokazują, że proponowana metoda jest zarówno szybsza, jak i bardziej efektywna.

W drugiej części rozprawy autor proponuje oryginalną metodę polegającą na zastosowaniu techniki Screen Content Coding (SCC) w kompresji wizji wielowidokowej zgodnej ramkowo (ang. *frame-compatible*). Główną ideą jest zastosowanie Intra Block Copy jako narzędzia predykcji międzywidokowej. Zaletą takiego rozwiązania jest to, że kodek nie wymaga złożonej, wielowarstwowej struktury dedykowanej wyłącznie kodowaniu wizji wielowidokowej, w przeciwieństwie do aktualnej techniki Multiview HEVC (MV-HEVC). Dodatkowo, autor proponuje szereg modyfikacji poprawiających efektywność Screen Content Coding w kompresji wizji wielowidokowej (także stereoskopowej). Ocena eksperymentalna pokazuje, że metoda zaproponowana przez autora, w rozprawie określana jako Advanced SCC lub ASCC, jest równie efektywna jak MV-HEVC z punktu widzenia poziomu kompresji i czasu kodowania, zarówno dla kodowania wizji stereoskopowej, jak i wielowidokowej.

Kodeki SCC i ASCC zostały także zastosowane przez autora jako wewnętrzne kodeki w technice MPEG Immersive Video, zastępując powszechnie stosowany kodek HEVC. Ocena eksperymentalna dla kompresji wizji wszechogarniającej pokazuje, że zaproponowane przez autora rozwiązania są znacząco lepsze pod względem efektywności kompresji i jakości widoków wirtualnych, kosztem zwiększonego czasu kodowania.

PUBLICATIONS OF THE AUTHOR

BOOK CHAPTERS

1. Kukolj, L. Bolecek, L. Polak, T. Kratochvil, O. Zach, J. Kufa, M. Slanina, T. Grajek, J. Samelak, M. Domański, D. Milovanovic, *3D Content Acquisition and Coding*, 3D Visual Content Creation, Coding and Delivery, Signals and Communication Technology: Springer International, 2019, pp. 41-95, ISBN: 978-3-319-77841-9, ISSN: 1860-4862

INTERNATIONAL JOURNALS

1. J. Samelak, A. Dziembowski, D. Mieloch, *Advanced HEVC Screen Content Coding for MPEG Immersive Video*, Electronics, Vol. 11, No. 23, December 2022, ISSN: 2079-9292
2. 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, tom PP, nr 99, s. 1-1, 2018

INTERNATIONAL CONFERENCES

1. D. Klóska, A. Dziembowski, J. Samelak, *Versatile input view selection for efficient immersive video transmission*, 31. International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision, WSCG 2023, Pilsen, Czech Republic, 2023-05-15
2. J. Samelak, A. Dziembowski, D. Mieloch, M. Domański, M. Wawrzyniak, *Efficient Immersive Video Compression using Screen Content Coding*, 29th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision : WSCG 2021, WSCG 2021, Prague, Czech Republic, 17-20 May 2021
3. A. Dziembowski, J. Samelak, M. Domański, *View selection for virtual view synthesis in free navigation systems*, International Conference on Signals and Electronic Systems, ICSES 2018, Kraków, Poland, September 10-12 2018

4. J. Samelak, J. Stankowski, M. Domański, *Efficient frame-compatible stereoscopic video coding using HEVC Screen Content Coding*, IEEE International Conference on Systems, Signals and Image Processing IWSSIP 2017, Poznań, Poland, 22-24 May 2017,
5. 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*, IEEE International Conference on Multimedia and Expo, ICME 2016, Seattle, USA, 11-15.07.2016
6. J. Samelak, J. Stankowski, M. Domański, *Adaptation of the 3D-HEVC coding tools to arbitrary locations of cameras*, International Conference on Signals and Electronic Systems, ICSES 2016, Kraków, Poland, September 5-7 2016,
7. 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, Turin, Italy, 29.06-3.07.2015
8. J. Stankowski, Ł. Kowalski, J. Samelak, M. Domański, T. Grajek, K. Wegner, *3D-HEVC extension for circular camera arrangements*, 3DTV-Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video (3DTV-CON), Lisboa, Portugal, 8-10.07.2015

INTERNATIONAL CONFERENCES - STANDARDIZATION

1. A. Dziembowski, D. Mieloch, J. Samelak, *3D-HEVC in TMIV verification tests*, ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 4 MPEG 136, M57753, October 2021
2. M. Domański, J. Samelak, S. Rózek, T. Grajek, S. Maćkowiak, O. Stankiewicz, *[VCM] Stereoscopic and multiview video coding for machines*, MPEG130/m54407, Geneva, Switzerland, June 2020
3. J. Samelak, A. Dziembowski, D. Mieloch, M. Domański, *[MPEG-I Visual] Impact of HEVC profile on TMIV performance*, MPEG130/m53910, Alpbah, Austria, April 2020
4. J. Samelak, A. Dziembowski, D. Mieloch, M. Domański, *[MPEG-I Visual] HEVC-SCC in TMIV*, MPEG130/m53427, Alpbah, Austria, April 2020

5. M. Domański, J. Samelak, *Unified Screen Content and Multiview Video Coding - Experimental results*, Joint Video Exploration Team JVET of ITU-T SG 16 WP 3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, JVET-M0765, Marrakech, Morocco, 9-18 January 2019
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 MPEG2018, M41994, Gwangju, South Korea, 22-26.01.2018
7. J. Samelak, O. Stankiewicz, M. Domański, *Do we need multiview profiles for future video coding generations?*, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2017, M41699, Macao, China, October 2017
8. J. Samelak, O. Stankiewicz, M. Domański, *Do we need multiview profiles for future video coding generations?*, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Joint Video Exploration Team (JVET), JVET_H0044, Macao, China, October 2017
9. J. Samelak, J. Stankowski, M. Domański, *Experimental results for frame –compatible multiview video coding using HEVC SCC*, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC), JCTVC-Z0041, Geneva, Switzerland, January 2017
10. 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, 17-21.10.2016
11. 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, 17-21.10.2016
12. M. Domański, A. Dziembowski, A. Grzelka, Ł. Kowalski, D. Mieloch, J. Samelak, J. Stankowski, O. Stankiewicz, 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, 30.05-3.06.2016
13. M. Domański, A. Dziembowski, A. Grzelka, Ł. Kowalski, D. Mieloch, J. Samelak, J. Stankowski, O. Stankiewicz, 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, USA, 22-26.02.2016

14. M. Domański, J. Samelak, O. Stankiewicz, J. Stankowski, K. Wegner, *[FTV AHG] 3D-HEVC extensions for free navigation*, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2016, M38101, San Diego, USA, 22-26 February 2016

NATIONAL JOURNALS

1. J. Samelak, C. Korzeniewski, Ł. Kowalski, J. Stankowski, *Zoptymalizowana implementacja dekodera HEVC*, *Przegląd Telekomunikacyjny*, No. 6/2014, Warsaw, Poland, June 2014, pp. 583-586

PAPERS IN THE PROCESS OF PUBLICATION

1. J. Samelak, M. Domański, *Multiview Video Compression Using Advanced HEVC Screen Content Coding*, <https://arxiv.org/abs/2106.13574>
2. J. Samelak, M. Domański, *Circular Rectification of 3D Video and Efficient Modification of 3D-HEVC*, <https://arxiv.org/abs/2306.06285>