

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

DOCTORAL ASSESSMENT REPORT

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ INFORMATION ABOUT THE EXAMINATION COMMITTEE		
1. Датум и орган који је именовao комисију: Date and authority appointing the committee:		
01.04.2021. Решење Декана Факултета техничких наука у Новом Саду о именовању комисије за оцену и одбрану докторске дисертације број 012-199/35-2019		
01.04.2021. Based on the decision of the Dean of the Faculty of Technical Sciences number 012-199/35-2019		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> : Composition of the committee in accordance with the Rules of Doctoral Studies of the University of Novi Sad:		
1. Др Дубравко Ћулибрк dr Dubravko Ćulibrk	редовни професор full professor	Информационо-комуникациони системи Information and Communication Systems
презиме и име last name and name	звање title	ужа научна област и датум избора scientific field
Факултет техничких наука, Нови Сад Faculty of Technical Sciences, Novi Sad		Председник комисије President of the committee
установа у којој је запослен-а institution where the member of the committee is employed		функција у комисији function in the committee
2. Др Јелена Николић dr Jelena Nikolić	ванредни професор Associate Professor	Телекомуникације Telecommunications
презиме и име last name and name	звање title	ужа научна област и датум избора scientific field
Универзитет у Нишу University of Niš		Члан комисије Member of the committee
установа у којој је запослен-а institution where the member of the committee is employed		функција у комисији function in the committee
3. Др Татјана Лончар-Турукало dr Tatjana Lončar-Turukalo	ванредни професор Associate Professor	Телекомуникације и обрада сигнала Telecommunications and signal processing
презиме и име last name and name	звање title	ужа научна област и датум избора scientific field
Факултет техничких наука, Нови Сад Faculty of Technical Sciences, Novi Sad		Члан комисије Member of the committee
установа у којој је запослен-а institution where the member of the committee is employed		функција у комисији function in the committee

4. Др Zixiang Xiong dr Zixiang Xiong	редовни професор Full Professor	Електротехничко и рачунарско инжењерство Electrical and Computer Engineering
презиме и име last name and name	звање title	ужа научна област и датум избора scientific field
Тексас А и М Универзитет, Колеџ Стејшн, Тексас, САД. Texas A & M University, College Station, Texas, USA.	Mentor	Mentor
установа у којој је запослен-а institution where the member of the committee is employed		функција у комисији function in the committee
5. Др Дејан Вукобратовић dr Dejan Vukobratović	редовни професор Full Professor	Телекомуникације и обрада сигнала Telecommunications and signal processing
презиме и име last name and name	звање title	ужа научна област и датум избора scientific field
Факултет техничких наука, Нови Сад Faculty of Technical Sciences, Novi Sad	Mentor	Mentor
установа у којој је запослен-а institution where the member of the committee is employed		функција у комисији function in the committee

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
INFORMATION ABOUT THE CANDIDATE

- Име, име једног родитеља, презиме:
Name, name of one parent, surname:
Милош, Живан, Радосављевић
Miloš, Živan, Radosavljević
- Датум рођења, општина, држава:
Date of birth, municipality, state:
11.6.1986., Сремска Митровица, Србија
11.6.1986., Sremska Mitrovica, Serbia
- Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив:
Name of the faculty, name of the study program of academic studies and acquired professional title:
Факултет техничких наука, Енергетика, електроника и телекомуникације, Мастер инжењер електротехнике и рачунарства
Faculty of technical sciences, Power, Electronic and Telecommunication Engineering, Master of Science in Electrical and Computer Engineering
- Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија:
Year of enrollment in doctoral studies and title of the doctoral study program:
2011. Енергетика, електроника и телекомуникације
2011 Power, Electronic and Telecommunication Engineering

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:
DOCTORAL DISSERTATION TITLE:

„Нови алгоритам за компресију сеизмичких података велике амплитудске резолуције“
„A novel algorithm for high bit-depth seismic data compression“

**IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:
DOCTORAL DISSERTATION REVIEW:**

Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл.
Add brief overview of the thesis, number of pages, chapters, figures, schemes, graphics, etc.

Докторска дисертација је изложена на 129 страна, обухвата 7 поглавља, 208 цитата, 7 табела, и 21 слика. Написана је на енглеском језику. На почетку дисертације дата је кључна документација, резиме и садржај.

Дисертација садржи седам поглавља:

1. Увод и мотивација;
2. Компресија сеизмичких података: преглед;
3. Укратко о стандарду високо ефикасног видео кодовања;
4. Методе и предложено решење;
5. Експериментална поставка;
6. Резултати и анализе перформанси;
7. Закључак.

Увод даје мотивацију за развој алгоритама за компресију сеизмичких података. Преглед сродне литературе, са нагласком на техникама компресије са губитцима као доминантном приступу код компресије сеизмичких података дат је у поглављу 2. Општи дизајн ХЕВЦ-а укратко је дат у поглављу 3. Детаљније анализе метода компресије које се користе у оквиру ХЕВЦ-а као и предложена решења представљена су у поглављу 4. Ово поглавље представља главне доприносе ове тезе. Експериментална поставка је истакнута у поглављу 5. У истом поглављу 5 укратко су описани основни подаци који су коришћени као тестни скуп у овом истраживању. Описане су и конфигурације кодека и мере перформанси. У поглављу 6 изложене су анализе добијених резултата. Ово поглавље резимира коначно постигнуће предложеног новог кодека. Рад је закључен у поглављу 7. У оквиру дисертације се још налази и литература.

The doctoral dissertation is presented on 129 pages, includes 7 chapters, 208 references, 7 tables and 21 figures. It is written in English. At the beginning of the dissertation, key documentation, abstract, and a table of contents are provided.

The dissertation contains seven chapters:

1. Introduction and Motivation;
2. Seismic Data Compression: An Overview;
3. High Efficiency Video Coding in a Nutshell;
4. Methods and Proposed Solutions;
5. Experimental Setup;
6. Result and Performance Analyses;
7. Conclusion.

The introduction provides motivation for the development of algorithms for high bit depth seismic data compression. A review of related literature, with an emphasis on lossy techniques as the dominant approach to seismic data coding is given in Chapter 2. The general design of the HEVC is briefly given in Chapter 3. More detailed analyses of the coding methods that are used within HEVC, and the proposed solutions are introduced in Chapter 4. This chapter presents the main contributions of this thesis. The experimental setup is highlighted in Chapter 5. In the same Chapter 5, the underlying data that has been used as a test set in this research has been briefly described, along with a description of the codec configuration setup and performance metrics. In Chapter 6 the analyses of the obtained results are given. This chapter summarizes the final achievement of the proposed codec. The work is concluded in Chapter 7. The dissertation also includes bibliography.

**V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:
EVALUATION OF PARTICULAR DOCTORAL DISSERTATION PARTS:**

У овој тези је развијена нова ефикасна метода за компресију сеизмичких података. Мотивисана супериорним перформансама стандарда високоефикасног видео кодирања

(ХЕВЦ), и вођена брзим растом обима података произведеним током сеизмичких истраживања, ова теза истражује екстензију ХЕВЦ кодека за компресију сеизмичких података који поседују амплитудску резолуцију од 32 бита по пикселу (б/п). Овај рад доприноси циљу проналажења ефикасног решења за компресију сеизмичких података предлагањем нове шеме за компресију сеизмичких података у оквиру ХЕВЦ стандарда.

Предложено је поновно састављање сеизмичких исечака у формат који одговара видео сигналу, како би се искористиле добити употребом ХЕВЦ интер режима кодовања, поред могућих предности ХЕВЦ интра режима (кодовање непокретне слике).

Синтакса кодека остала је готово непромењена. Нагласак је на алгоритамском делу видео кодирања, па су стога усвојени и модификовани само рачунски алгоритми слоја видео кодирања како би се задовољили захтеви за компресијом сеизмичких података. Нагласак ове тезе био је на алгоритамским променама и побољшањима, а не на редифинисању синтаксе стандарда.

У тези се модификују готово све компоненте оригиналног ХЕВЦ кодека како би се прилагодио кодирању сеизмичких података који поседују велику амплитудску резолуцију: Лагранжов мултипликатор који се користи за оптимизацију параметара кодирања прилагођен је новој статистици података, трансформација и квантизација поново су имплементирани у складу са повећаним амплитудским опсегом и модификован је адаптивни бинарни аритметички кодер који је коришћен за ефикасно ентропијско кодовање. Предложен је и оптимизован избор блок структуре, оптимизована интра предикција и флексибилна процена вектора покрета како би се прилагодили структури сеизмичких података. Предложени кодек одржава генеричку ХЕВЦ структуру и развијен је под општим ХЕВЦ оквиром. Предложен је специфични дизајн кодека који, у поређењу са ЈПЕГ-ХР и мерцијалним кодеком заснованим на таласићима, значајно побољшава однос вршног сигнала и шума и степена компресије за сеизмичке податке од 32 б/п.

Одлука да се у овој студији да предност ХЕВЦ-у долази из чињенице да 3Д сеизмички подаци могу имати високо корелисане појединачне исечке, налик на видео сигнал, што их чини посебно погодним за примену у ХЕВЦ интер режиму (поред интра режима). Такав приступ, за третирање 3Д сеизмичких података као низа кадрова у циљу постизања већег степена компресије коришћењем предиктивног кодека са компензовањем вектора покрета супротан је приступима кодирања непокретних слика који често користе друге конкурентске технике компресије у сродној литератури. Ово је један од главних доприноса ове тезе.

Стандардизована верзија ХЕВЦ прихвата улазне податке до 16 б/п и углавном је развијена како би одржала висок степен компресије за најчешће потрошачке видео апликације. Пошто сеизмички подаци користе до 32 б/п, ХЕВЦ се не може директно применити. Такође је веома важно не смањивати динамички опсег сеизмичких података пре компресије, јер се неке осетљиве информације могу изгубити, и то је главни разлог зашто употреба стандардизоване верзије ХЕВЦ од 16 б/п није директно применљива. Дакле, у овој тези су скоро све основне компоненте оригиналног кодека модификоване и предложена је нова шема кодирања за компресију сеизмичких података велике амплитудске резолуције у оквиру ХЕВЦ кодека.

ХЕВЦ користи хибридни приступ заснован на блок подели улазног сигнала, где је улазна слика подељена на квадратне блокове који се не преклапају, а који се могу додатно поделити на мање блокове променљиве величине. Даље, користи интра и интер предикцију, дводимензионалну (2Д) дискретну косинусну трансформацију (ДЦТ) и униформно квантовање, као и контекстуално прилагодљиво ентропијско кодирање како би се постигла ефикасна добит од компресије.

Иако подела блокова и структура блока, као и део предикције углавном остају исти, други делови су били подвргнути великим променама како би задовољили циљани улаз од 32 б/п.

Комплетна структура поделе на блокове и придружена синтакса ХЕВЦ стандарда су задржани. Мотивација је у претпоставци да је дата блоковска структура добро погодна за сеизмичке слике, као и за природни видео (што је доказано у тези). Будући да блок подела није директно повезана са проширеним опсегом амплитудске резолуције или са чињеницом

да се користе сеизмички подаци уместо природног видео записа, није било потребе за модификовањем овог дела кодека. Међутим, изведени су неки додатни експерименти који имају за циљ да покажу перформансе када се уведу нека ограничења у погледу величине блока. Ови експерименти су повезани са ограниченом максималном величином блока испод стандардизованог максимума од 64 x 64 пиксела или са повећаном минималном величином блока од 4 x 4 пиксела. Будући да су те величине блокова одабране као најпогодније вредности у стандарду да би се постигле најбоље перформансе за најшири могући спектар примена, питање постављено у овој тези било је да ли су ове подразумеване вредности уједно и најбоље решење при компримовању сеизмичких података. Такође, експериментисано је са дубином хијерархијске поделе блокова или са употребом ограничених режима партиција, нпр. експерименти су искључили асиметричне (неквадратне) режиме партиције из разматрања. Поред тога, показано је да је могуће смањити доступне величине ДЦТ трансформације. Показало се да овај део доводи до оптимизованог кодера боље прилагођеног за структуру сеизмичких података, као и то да доприноси значајном убрзању приликом рачунског извршавања.

Интра и интер предикција нису модификовани у смислу алгоритамских промена. Међутим, нека прилагођења су предложена и у овом делу како би се смањила рачунска сложеност кодека. Предложен је смањени број интра режима и број интра режима у финалној оптимизацији параметара. Такође се предлаже оптимизована процена вектора помераја.

Стандардизована ХЕВЦ-ова трансформација замењена је новом ефикасном трансформацијом, која подржава флексибилну величину блокова у распону од 4 x 4 до 32 x 32 пиксела. У тези је предложено коришћење такозваног Бин-ДЦТ на основу факторизације оригиналних ДЦТ матрица. Предложени коефицијенти трансформације одабрани су на начин да подржавају ефикасну примену у погледу рачунарске комплексности и добре перформансе кодирања. На овај начин је у дисертацији имплементирана брза верзија ДЦТ трансформације без губитака која се може користити у компресији сеизмичких података, и испоставља се да пружа добру компакцију енергије и оптимална је у погледу комплексности.

Стандардизована ХЕВЦ-ова квантизација замењена је јединственом шемом квантизације са повећаним опсегом параметара квантизације. Предложен је нови опсег параметара квантизације и предложено је ново мапирање од интерне до стварне величине корака квантизације. Предложено решење је прилагођено проширеном опсегу амплитудске резолуције, и подржава финију квантизацију. Корак квантизације довољан је да понуди широк спектар различитих квалитета и степена компресије.

На крају, модификовани контекстуални прилагодљиви бинарни аритметички кодер (ЦАБАЦ) са додатно поједностављеном структуром коришћен је за ефикасно ентропијско кодирање. Такође, нови модел за Лагранжов мултипликатор коришћен је у оптимизацијској петљи како би се прилагодио проширеном опсегу амплитуда и проширеном опсегу параметара квантизације (што је неопходно са 32-битном амплитудском резолуцијом).

Предложени кодек поред свих његових промена и даље одржава генеричку ХЕВЦ структуру и развијен је под општим ХЕВЦ оквиром. Наводи се да без предложених измена оригиналног кодека директна примена ХЕВЦ-а у његовом стандардизованом облику није могућа. Због свог специфичног дизајна прилагођеног стандардним потрошачким видео апликацијама, где су извесни губици подношљиви, неке оригиналне компоненте праве велику грешку када се примене на проширене амплитудске резолуције (чак и без квантизације). С тим у вези, поменуте модификације су уведене да замене ове критичне делове кодека и да омогуће његову употребу за сеизмичке податке.

Према нашим сазнањима, ово је прва студија ове врсте у сродној литератури која доводи до бољих степена компресије у погледу компресије сеизмичких података.

An efficient novel method for seismic data compression has been developed in this thesis. Motivated by the superior performance of High Efficiency Video Coding (HEVC) standard, and driven by the rapid growth in data volume produced by seismic surveys, this thesis explores a 32 bits per pixel (b/p) extension of the HEVC codec for compression of seismic data. This work

contributes to the goal of finding an efficient compression solution by proposing a novel scheme for seismic data compression under the framework of HEVC.

It is proposed to reassemble seismic slices in a format that corresponds to video signal and benefit from the coding gain achieved by HEVC inter mode, besides the possible advantages of the (still image) HEVC intra mode.

Codec's high-level syntax has remained almost unchanged. The emphasize is on video coding techniques, and hence only core algorithms of the Video Coding Layer are adopted and modified in order to meet seismic data compression requirements. Emphasis of this thesis was on algorithmic changes and improvements, and not on standard's syntax redefinition.

This thesis modify almost all components of the original HEVC codec to cater for high bit-depth coding of seismic data: Lagrange multiplier used in optimization of the coding parameters has been adapted to the new data statistics, core transform and quantization have been reimplemented to handle the increased bit-depth range, and modified adaptive binary arithmetic coder has been employed for efficient entropy coding. Optimized block selection, reduced intra prediction modes, and flexible motion estimation are tested to adapt to the structure of seismic data. The proposed codec maintains a generic HEVC structure, and it is developed under the general HEVC framework. A specific codec design has been tailored which, when compared to the JPEG-XR and commercial wavelet-based codec, significantly improves the peak-signal-to-noise-ratio (PSNR) vs. compression ratio performance for 32 b/p seismic data.

The decision to give preference to HEVC in this study comes from the fact that 3D seismic data can have highly correlated individual slices, resembling video signal, which makes them particularly suitable for HEVC inter mode application (besides intra mode). Such approach, to treat 3D seismic data as a sequence of frames in order to obtain higher compression gains by utilizing motion-compensated predictive codec, is opposed to still image coding approaches that are frequently used and advised to be utilized by other competing lossy compression techniques in related literature. This is one of the main contributions of this thesis.

Moreover, the standardized version of HEVC accepts input data up to 16 b/p, and it is mainly developed to maintain a high compression ratio for the most common consumer video applications. Since seismic data use up to 32 b/p, the HEVC cannot be directly applied. It is also very important not to threshold seismic data prior to compression since some sensitive information may be lost, and this is the main reason why the use of standardized 16 b/p version of HEVC is not directly applicable. Thus, in this thesis almost all core components of the original codec are modified to propose a novel coding scheme for high bit-depth seismic data compression under the HEVC framework.

HEVC uses a hybrid block-based approach, where the input image is divided into the non-overlapping square blocks, that may be additionally divided into the smaller blocks of variable sizes. Furthermore, it utilizes intra and inter-predictive coding, two-dimensional (2D) discrete cosine transform (DCT) and uniform quantization, and context adaptive entropy coding in order to achieve efficient compression gains.

While the block division and block structure, as well as the prediction part of the proposed codec mainly remain the same, other parts were subjected to major changes in order to cater the targeted 32 b/p input.

The complete block structure and associated syntax of the HEVC standard has been kept. The motivation is in the assumption that a given block structure is well suited for seismic images as it is for natural video (which was proven in the thesis). Since block partitioning is not directly associated with the extended bit-depth range, or to the fact that seismic data is used instead of natural video, there is no need to modify this part. However, some additional experiments are performed that aimed to show performance when some block size restrictions are introduced. These experiments are related with a limited maximum block size below the standardized maximum of 64 x 64 pixels, or related with an increased minimum block size of 4 x 4 pixels. Since those block sizes are chosen to be the default values in the standard to get the best performance for the widest possible range of applications, the question asked in this thesis was whether these default values are

also the best solution when compressing seismic data. Also, it was experimented with a limited hierarchical depth division of the residual quadtree, or to with the use of limited partition modes, e.g., experiments excluded asymmetric partition modes from consideration. In addition, it is possible to reduce the available transform sizes. This part has been shown to lead to optimized encoder for seismic data structure, and lead to significant speed-up in encoding time.

Intra and inter prediction parts of the codec are not modified in terms of algorithmic changes. However, some adaptations are proposed in this part as well in order to reduce computational complexity of the codec. Reduced number of intra modes and number of intra modes in full rate-distortion optimization is proposed. Also optimized motion estimation is proposed.

Standardized HEVC's transform has been replaced with the new lifting-based transform of flexible block sizes ranging from 4 x 4 to 32 x 32 pixels. In thesis it is proposed to use BinDCT based on factorization of original DCT matrices. The proposed lifting coefficients are selected in a way to support efficient implementation and good coding performance. In this way the thesis implemented the fast lossless version of DCT transform that can be used in a seismic image compression, which turns out to provide good energy compaction, and which is optimal in terms of simplicity.

Standardized HEVC's quantization has been replaced with a uniform quantization scheme with an increased quantization parameter range. New quantization parameter range is proposed, and new mapping from internal to the real quantization step size is proposed. The proposed solution was adapted to the extended bit dept range which supports quantizer mapping that uses a much finer scale. The quantizer step spacing is sufficient enough to offer a wide range of different qualities and rates.

At the end, a modified context adaptive binary arithmetic coder (CABAC) with additionally improved throughput has been utilized for efficient entropy coding. Also, a new model for the Lagrange multiplier has been used in the Rate-Distortion (RD) optimization loop in order to accommodate the extended bit-depth range and to empower the extended quantization parameter range (as necessitated by 32 bit-depth).

The proposed codec besides all of its changes still maintains a generic HEVC structure, and it is developed under the general HEVC framework. It is stated that without the proposed changes to the original codec direct application of HEVC in its standardized form is not possible. Due to its specific design adapted to standard consumer video applications, where certain losses are tolerable, some of the original components render a huge error when applied to extended bit-depth data (even without quantization). In this regard, the aforementioned modifications have been introduced to replace these critical codec parts and to enable its use for seismic data (high bit depth data).

To our knowledge, this is the first study of this kind in the related literature which leads to the better compression gains in the seismic data compression area.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ:

LIST OF SCIENTIFIC AND PROFESSIONAL PUBLICATIONS PUBLISHED OR ACCEPTED FOR PUBLISHING ON THE RESULTS OF RESEARCH IN THE DOCTORAL DISSERTATION:

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду* који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.

Indicate the names of the works, where and when they were published. First, list at least one paper published or accepted for publication in accordance with the *Rules of Doctoral Studies of the University of Novi Sad*, which is related to the content of the doctoral dissertation. In case of papers accepted for publication, state the titles of the papers, where and when they will be published and enclose a

confirmation from the editor of the journal.

Miloš Radosavljević, Zixiang Xiong, Ligang Lu, Detlef Hohl, and Dejan Vukobratović, "High Bit-Depth Seismic Data Compression: A Novel Codec Under the Framework of HEVC", IEEE Access, vol. 8, pp. 114443-114459, 2020. **M21**

Miloš Radosavljević, Branko Brkljač, Predrag Lugonja, Vladimir Crnojević, Zixiang Xiong, and Dejan Vukobratović, "Lossy Compression of Multispectral Satellite Images with Application to Crop Thematic Mapping: A HEVC Comparative Study", MDPI Remote Sensing (Special Issue Remote Sensing Data Compression), 12, no. 10: 1590. **M21**

Miloš Radosavljević, Srdjan Sladojević, Dubravko Ćulibrk, and Dejan Vukobratović, "QoE-aware Rate-Conservative Dynamic HTTP Streaming Over Mobile Cellular Networks", IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium (NOMS), 5-9 May 2014, Krakow, Poland. **M33**

Miloš Radosavljević, Georgios Georgakarakos, Sebastien Lafond and Dejan Vukobratović, "Fast coding unit selection based on local texture characteristics for HEVC intra frame", IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP), Orlando, FL, 14-16 Dec. 2015. **M33**

Miloš Radosavljević, Zixiang Xiong, Ligang Lu and Dejan Vukobratović, "High bit-depth image compression with application to seismic data", IEEE International Conference Visual Communications and Image Processing (VCIP), 27-30 Nov. 2016, Chengdu, China. **M33**

Miloš Radosavljević, Zixiang Xiong, Ligang Lu, Detlef Hohl, and Dejan Vukobratović, "HEVC-based compression of high bit-depth 3D seismic data", IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 17-20 Sept. 2017, Beijing, China. **M33**

Miloš Radosavljević, Marko Adamović, Branko Brkljač, Željko Trpovski, Zixiang Xiong, and Dejan Vukobratović, "Satellite Image Compression Based on High Efficiency Video Coding Standard - An Experimental Comparison With JPEG 2000", Conf. on Big Data from Space (BiDS) Turning Data into Insights, 19-21 Feb. 2019, Munich, Germany. **M33**

VII ZAKLJUČCI ODNOSNO REZULTATI ISTRAŽIVAŃA: CONCLUSIONS OR RESULTS OF RESEARCH:

Са методолошког становишта, у тези је представљен низ нових доприноса. Ова теза је представила дизајн новог, прилагођеног кодека за податке велике амплитудске резолуције у оквиру ХЕВЦ стандарда, и представила врло добре резултате користећи га за компресију сеизмичких података од 32 б/п. Скоро сви делови оригиналног ХЕВЦ стандарда су модификовани да подржавају проширени опсег амплитудске резолуције (ХЕВЦ првобитно подржава амплитудску резолуцију до 16 б/п). Сходно томе, предложени кодек је надоградња ХЕВЦ-а, чије су компоненте модификоване за циљани улазни сигнал од 32 б/п, како би пре свега могао практично да се користи. Не постоји сличан рад на пољу компресије сеизмичких података који користи ХЕВЦ као основну поставку кодека за сеизмичке податке. Такође, на тржишту не постоји кодек за сеизмичке податке од 32 б/п који је искористио редувансу података у све три димензије за побољшане перформанси. Предложени резултати показују да кодек већ ради знатно боље од постојећих решења која се користе у индустрији, а перформансе кодека су оценили као изузетно задовољавајуће и геолози из Shell-а (др. Лу из нафтне компаније Shell из Хјустона пружио је своју стручност у области обраде и интерпретације сеизмичких података). Овај рад је такође постигао да пронађе бољи компромис између ефикасности кодирања и рачунске сложености, што је резултирало предложеним оптимизованим кодером. Поред тога, представљени рад је нову методу анализирао у оквиру појединачних структурних делова, и раставио саму методу компресије што је више могуће на структурне целине, и дао детаљну анализу предложених решења и потенцијалних уских грла и указао на делове који би се могли побољшати како би се даље развио предложени кодек. Стога овај рад представља почетни напор да се пружи драгоцени увиди у употребу једног добро успостављеног приступа кодирању, као што је ХЕВЦ стандард, у сврху компресије сеизмичких података. Као споредни допринос овог рада, ХЕВЦ се анализира у оквиру свих његових функционалних целина, тако да сам представљени рад може послужити као специфичан преглед метода уграђених у стандард. Све предложене методе су математички исправне и темељно су тестиране са стварним

подацима. Рад је објављен у IEEE Access (водећем часопису у области) и водећим зборницима конференција.

From a methodological point of view, there are a number of novel contributions presented in the thesis. This thesis presented the design of a new, custom tailored, codec for high bit-depth data under the framework of HEVC, and reported very good results using it for the compression of 32 b/p seismic data. Almost all parts of the original HEVC have been modified to support extended bit depth range (HEVC originally supports bit depths up to 16 b/p). Accordingly, the proposed codec is built from HEVC, whose components have been modified for a targeted 32 b/p input, in order to make it practically useful in the first place. There is no similar work in the field of seismic data compression that uses the HEVC as a base codec setting. Also, there is no codec on the market for 32 b/p seismic data that exploits redundancy in all three dimensions for improved performance. The proposed results show that the codec already performs significantly better than existing solutions used in the industry, and codec's subject performance is rated by Shell's geologists as highly satisfactory (dr. Lu from Shell oil company from Houston provided his expertise in the field of seismic data processing and interpretation). This work also accomplished to find better tradeoffs between the coding efficiency and computational complexity, resulting in the proposed optimized encoder. In addition, the presented work broke down the new method into its structural parts as much as possible and gave a detailed analysis of the proposed solutions and of potential bottlenecks and pointed out the parts that could be improved in order to evolve the proposed codec. Therefore, this work represents an initial effort to provide valuable insights of using one well established coding approach, such as HEVC, for the purpose of seismic data compression. As a side contribution of this paper, HEVC is analyzed within all its functional units, so that the presented work itself can serve as a specific overview of the methods incorporated into the standard. All proposed methods are mathematically sound and have been thoroughly tested with real data. The work has been published in IEEE Access (top journal in the field) and flagship conference proceedings.

**VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:
ASSESSMENT OF THE METHODS OF DISCLOSURE AND INTERPRETATION OF
RESEARCH RESULTS**

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Explicitly state a positive or negative assessment of the way the research results are presented and interpreted.

Кандидат Милош Радосављевић у потпуности је извео истраживања која су била предвиђена планом датим у пријави докторске дисертације. Целокупан приказ дисертације је добро и јасно структуриран. Резултати су детаљно и систематично интерпретирани и упоређени са релевантним методама из области. Велики број графичких приказа омогућава лакше разумевање резултата представљених у дисертацији. Изведени су закључци утемељени на великом броју експеримената и разноврсним подацима што показује да кандидат влада материјом и поседује висок ниво знања. У складу са наведеним, Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања. Изузетно је напоменути да је кандидат самостално анализирао, прилагодио и редизајнирао све целине једног стандарда видео кодовања који је изузетно комплексан и састоји се од много различитих алгоритама кодовања повезаних у целину.

Дисертација је проверена у софтверу за детекцију плагијаризма iThenticate, који није показао значајнија подударња са постојећом литературом, осим са раније објављеним радовима кандидата. Након што се изузму радови кандидата, поклапање је мање од 5%. Тиме је показано да је дисертација оригинално ауторско дело кандидата.

Candidate Miloš Radosavljević completed the research that was foreseen by the plan given in his PhD application. The overall presentation of the dissertation is well-structured and clear. The results have been thoroughly and systematically evaluated and interpreted in comparison with the relevant methods in the field. The large number of graphical representations makes it easier to understand the results presented in the dissertation. Conclusions were drawn based on a large number of experiments and diverse data, which shows that the candidate masters the field and has gained profound knowledge in this area. In view of the above, the Committee evaluates positively the way the results of the research are presented and interpreted. It is worth mentioning that the candidate analyzed, adapted and redesigned independently all the units of one video coding standard, which is extremely complex and consists of many different coding algorithms connected as a whole.

The dissertation was checked in the plagiarism detection software iThenticate, which did not show significant matches with the existing literature, except with the previously published papers of the candidate. After the works of the candidate are excluded, the match is less than 5%. This shows that the dissertation is the original author's work of the candidate.

**IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:
FINAL ASSESSMENT OF THE DOCTORAL DISSERTATION:**

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

Explicitly state whether the dissertation was or was not written in accordance with the stated explanation, as well as whether or not it contains all the essential elements. Give clear, precise and concise answers to questions 3 and 4:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?
Is the dissertation written in accordance with the reasoning given in the application form?

Докторска дисертација у потпуности је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.
The doctoral dissertation is completely written in accordance with the explanation given in the application form of the thesis.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?
Does the dissertation contain all the essential elements of scientific work?

Дисертација садржи све битне елементе научно-истраживачког рада. Тема, садржај, преглед литературе, методологија, приказ и тумачење резултата задовољавају захтеве нивоа докторске дисертације.

The dissertation contains all the essential elements of scientific research. Topic, content, literature review, methodology, presentation and interpretation of the results meet the requirements of the doctoral dissertation level.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

What makes a dissertation an original contribution to science?

Докторска дисертација садржи оригиналне научне доприносе у домену компресије сеизмичких података/слика. Коришћењем техника које су се најчешће примењивале за компресију стандардног видео сигнала, у овој дисертацији је новим приступом унапређен степен компресије сеизмичких података. Као полазна основа користио се оквир који је представљен у стандарду за видео кодовање. Модификацијом појединих делова стандарда, и предлогом нових алгоритама који су отклонили недостатке постојећих, стандард који се махом користио за стандардан видео сигнал, постао је доступан за компресију података високе амплитудске резолуције. Изведени алгоритми су тестирани детаљно на различитим скуповима података и њихове перформансе су поређене са перформансама тренутно релевантних алогоритама у области. Ово је први рад који је користио овакав приступ у сврху компресије сеизмичких података.

The doctoral dissertation contains original scientific contributions in the field of seismic data/image compression. By using the techniques most commonly used for standard video signal compression, the compression ratio for seismic data has been improved in this dissertation by using a novel approach. The new approach is presented in the framework of High Efficiency Video Coding standard, which was used as a starting point. By modifying certain parts of the standard and proposing new algorithms that overcome the shortcomings of the existing ones, the standard, which was mostly used for the standard video signal, became available for high-bit resolution data compression. The derived algorithms were tested in detail on different data sets and their performance was compared with the performance of currently relevant algorithms in the field. This is the first work to use this approach for the purpose of seismic data compression.

4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?

Disadvantages of the dissertation and their impact on the research result?

Дисертација нема недостатке који утичу на резултате истраживања.

The dissertation has no flaws that affect the research results.

X ПРЕДЛОГ:
X PROPOSAL:

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

да се докторска дисертација под називом „Нови алгоритам за компресију сеизмичких података велике амплитудске резолуције“ (енг. „A novel algorithm for high bit-depth seismic data compression“) прихвати, а кандидату Милошу Радосављевићу одобри одбрана.

Based on the overall assessment of the thesis, the committee proposes:

- to accept the doctoral dissertation entitled „A novel algorithm for high bit-depth seismic data compression“ and to admit the candidate Miloš Radosavljević to the public defense of his PhD.

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ
(SIGNATURES OF EXAMINATION COMMITTEE MEMBERS)

Др Дубравко Тулибрк, редовни
професор, Универзитет у Новом Саду
Dr Dubravko Culibrk, Full Professor,
University of Novi Sad

Др Јелена Николић, ванредни
професор, Универзитет у Нишу
Dr Jelena Nikolic, Associate Professor,
University of Nis

Ментор: Др Zixiang Xiong, редовни професор,
Тексас А и М Универзитет, Тексас, САД
Supervisor: Dr Zixiang Xiong, Full Professor,
Texas A&M University, Texas, USA

Др Татјана Лончар-Турукало, ванредни професор,
Универзитет у Новом Саду
Dr Tatjana Loncar-Turukalo, Associate Professor,
University of Novi Sad

Ментор: Др Дејан Вукобратовић, редовни
професор, Универзитет у Новом Саду
Supervisor: Dr Dejan Vukobratovic, Full Professor,
University of Novi Sad, Serbia

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.

NOTE: A member of the committee who does not wish to sign the report because he or she does not agree with the opinion of the majority of committee members is obliged to include in the report a justification or reasons for not wanting to sign the report.