

УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
ЕЛЕКТРОНСКИ ФАКУЛТЕТ

Александра Медведева 14 · Поштански фах 73
18000 Ниш · Србија
Телефон 018 529 105 · Телефакс 018 588 399
E-mail: einfo@elfak.ni.ac.rs; http://www.elfak.ni.ac.rs
Текући рачун: 840-1721666-89; ПИБ: 100232259



UNIVERSITY OF NIŠ
FACULTY OF ELECTRONIC ENGINEERING

Aleksandra Medvedeva 14 · P.O. Box 73
18000 Niš - Serbia
Phone +381 18 529 105 · Fax +381 18 588 399
E-mail: einfo@elfak.ni.ac.rs
http://www.elfak.ni.ac.rs

ДЕКАН

20.07.2022. године

О Б А В Е Ш Т Е Њ Е
НАСТАВНИЦИМА И САРАДНИЦИМА ЕЛЕКТРОНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Докторска дисертација кандидата дипл. инж. Данијеле Алексић под насловом „Развој кодера таласног облика за потребе неуронских мрежа и обраду сигнала“ и Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације доступни су на увид јавности у електронској верзији на званичној интернет страници Факултета и налазе се у штампаном облику у Библиотеци Електронског факултета у Нишу, и могу се погледати до **19.08.2022. године**.

Примедбе на наведени извештај достављају се декану Електронског факултета у Нишу у напред наведеном року.

Председник Наставно-научног већа
ЕЛЕКТРОНСКОГ ФАКУЛТЕТА У НИШУ

Декан

Проф. др Драган Манчић



ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Презиме, име једног родитеља и име	Алексић, Раденко Данијела
Датум и место рођења	03.08.1977. Прокупље, Србија

Основне студије

Универзитет	Универзитет у Нишу
Факултет	Електронски факултет
Студијски програм	Телекомуникације
Звање	Дипломирани инжењер електротехнике за телекомуникације
Година уписа	1996
Година завршетка	2002
Просечна оцена	9,40

Магистарске студије

Универзитет	/
Факултет	/
Студијски програм	/
Звање	/
Година уписа	/
Година завршетка	/
Просечна оцена	/
Научна област	/
Наслов завршног рада	/

Докторске студије

Универзитет	Универзитет у Нишу
Факултет	Електронски факултет
Студијски програм	Електротехника и рачунарство
Година уписа	2017
Остварен број ЕСПБ бодова	199
Просечна оцена	10

НАСЛОВ ТЕМЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Наслов теме докторске дисертације	Развој кодера таласног облика за потребе неуронских мрежа и обраду сигнала
Име и презиме ментора, звање	др Зоран Перић, редовни професор
Број и датум добијања сагласности за тему докторске дисертације	НСВ број 8/20-01-002/22-015, 21.2.2022. године у Нишу

ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Број страна	174
Број поглавља	7
Број слика (шема, графика)	48

Број табела	29
Број прилога	/

**ПРИКАЗ НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КАНДИДАТА
који садрже резултате истраживања у оквиру докторске дисертације**

Р. бр.	Аутор-и, наслов, часопис, година, број волумена, странице	Категорија
1	<p>J. Nikolić, D. Aleksić, Z. Perić, M. Dinčić, " Iterative Algorithm for Parameterization of Two-Region Piecewise Uniform Quantizer for the Laplacian Source ", <i>Mathematics</i>, 2021, vol. 9, no. 23, 3091 Available: https://doi.org/10.3390/math9233091</p> <p>У овом раду предложен је ефикасан итеративни алгоритам за оптимизацију део-по-део униформног квантизера за Лапласов извор без меморије. Наиме, предложена је подела грануларног региона квантизера на централни грануларни регион и периферни грануларни регион, при чему се у оба региона користе униформни квантизери истих битских брзина. Одређивање оптималног односа граница централне и периферне грануларне области вршено је на основу итеративне формуле, која је у овом раду изведена из услова минималне дисторзије у грануларној области. За опсег средњих и великих битских брзина (5-8 бита/одмерака) анализирана је припадност одмерака сваком од два наведена региона и одређиван је оптимални однос граница два региона за амплитуде максималног оптерећења предложене решењима Јауанта, Нуи-а као и за ГР случај (где се 99,99% одмерака Лапласове функције густине вероватноће налази у грануларном региону). У резултатима је приказан остварени SQNR добитак у односу на униформни квантизер.</p>	M21a
2	<p>Z. Perić, J. Nikolić, D. Aleksić, A. Perić, "Symmetric Quantile Quantizer Parameterization for the Laplacian source: Qualification for Contemporary Quantization Solutions", <i>Mathematical Problems in Engineering</i>, 2021, vol. 2021, Article ID 6647135, 12 pages. Available: https://doi.org/10.1155/2021/6647135</p> <p>У овом раду је предложен нов модел симетричног квантиле квантизера (SQQ) и детаљно је описана његова параметризација за Лапласову функцију густине вероватноће. Дат је метод за пројектовање SQQ модела уз прорачун релевантних параметара који га једнозначно описују, а такође је испитан и губитак у квалитету сигнала који је квантован коришћењем SQQ-а. Основна разлика између предложеног модела SQQ и познатог асимптотски оптималног скаларног компандинг квантизера (SCQ) огледа се у томе, да су у SCQ моделу и прагови одлучивања и нивои репрезентације дефинисани компресором функцијом, док су у предложеном SQQ моделу прагови одлучивања одређени на основу компресорске функције, док су нивои репрезентације одређени из услова центроида за утврђене прагове одлуке и претпостављену Лапласову функцију расподеле. У нумеричким резултатима су приказана перформансна побољшања овако дефинисаног модела у односу на SCQ, мерена односом сигнал-шум квантизације (SQNR).</p>	M23
3	<p>D. Aleksić, Z. Perić, "Analysis and Design of Robust Quasilogarithmic Quantizer for the Purpose of Traffic Optimisation", <i>Information Technology and Control</i>, 2018, vol. 47, no.4, pp. 615–622. Available: https://doi.org/10.5755/j01.itc.47.4.20668</p> <p>У раду је предложен једноставан метод за одређивање грануларне области робусног квазилогаритамског квантизера. Претпостављена је Лапласова функција густине вероватноће, која се често користи за моделовање функције густине вероватноће аудио и говорних сигнала у науци и инжењерству. Познато је да су висок ниво односа сигнал-шум квантизације и добра робусност квантизера супротстављена својства. Међутим, нумерички резултати су показали да се са предложеним методом за одређивање амплитуде максималног оптерећења квантизера, поред робусности, може остварити и висока вредност односа сигнал-шум квантизације.</p>	M23
4	<p>Z. Perić, D. Aleksić, "Quasilogarithmic Quantizer for Laplacian Source: Support Region Ubiquitous Optimization Task", <i>Revue Roumaine des Sciences Techniques</i>, 2019, vol. 64(4), pp. 403–408. Available: http://revue.elth.pub.ro/upload/14902515_ZPeric_RRST_4_2019_pp_403-408.pdf</p> <p>У овом раду је предложен итеративни метод за одређивање амплитуде максималног оптерећења који омогућава добру параметризацију робусног квазилогаритамског квантизера за Лапласову функцију густине вероватноће. Предложено једноставно решење даје оквире за превазилажење недостатака које квантизери могу имати када су на њиховом улазу нестационарни сигнали, као што су то говорни и аудио сигнали. Како су неуниформни квантизери широко распрострањени у многим савременим апликацијама и телекомуникационим системима, предложеним робусним решењем квазилогаритамског квантизера је дат допринос свеprisутном задатку побољшања ефикасности квантизера.</p>	M23
5	<p>J. Nikolić, Z. Perić, D. Aleksić, S. Tomić, A. Jovanović, "Whether the Support Region of Three-bit Uniform Quantizer has a Strong Impact on Post-training Quantization for MNIST Dataset?", <i>Entropy</i>, 2021, vol. 23, no. 12, 1699</p>	M22

	<p>Available: https://doi.org/10.3390/e23121699</p> <p>Вођени потребом за компресијом тежина у неуронској мрежи (<i>Neural Network - NN</i>), што је посебно важно за рубне уређаје са ограниченим ресурсом, и потребом да се користи што једноставнији модел квантизера, у овом раду је проучена квантизација тежина применом тробитне униформне квантизације након тренинга NN мреже за MNIST скуп података. Анализиран је утицај избора вредности кључног параметра квантизера (амплитуде максималног оптерећења) на перформансе квантоване NN мреже (QNN). Конкретно, испитивано је да ли је могуће сачувати тачност два NN модела (MLP – <i>Multilayer Perceptron</i> и CNN – <i>Convolutional Neural Network</i>) након квантовања тежина применом веома једноставног тробитног униформног квантизера, без обзира на избор кључног параметра квантизера. Штавише, циљ је био одговорити на питање да ли је, као што је то у обради сигнала, од највеће важности код тробитне униформне квантизације, примењене након обуке NN мреже, одредити оптималну вредност амплитуде максималног оптерећења квантизера да би се постигла унапред дефинисана тачност QNN мреже. Експериментални резултати су показали да избор вредности амплитуде максималног оптерећења тробитног униформног квантизера нема тако значајан утицај на тачност посматраних QNN мрежа, што није случај када се за исти класификациони задатак користе QNN мреже добијене применом двобитне униформне квантизације.</p>	
6	<p>S. Tomić, J. Nikolić, Z. Perić, D. Aleksić, "Performance of Post-Training Two-Bits Uniform and Layer-Wise Uniform Quantization for MNIST Dataset for the Perspective of Support Region Choice", <i>Mathematical Problems in Engineering</i>, Vol. 2022, Article ID 1463094, 2022.</p> <p>Available: https://doi.org/10.1155/2022/1463094</p> <p>У овом раду је анализирана тачност представљеног NN модела након униформне квантизације тежина (QNN мрежа), где је униформни квантизер пројектован за битску брзину $R = 2$ бит/одмерак. Предложени NN модел са FP32 форматом тежина, постиже тачност од 98.1% на MNIST скупу података за валидацију. Јасно је да компресија тежина деградира тачност мреже. Да би се степен деградације смањило, потребно је да су квантоване тежине што је могуће ближе оригиналним. Перформансе квантизера су процењиване одређивањем SQNR,а, док су перформансе QNN модела оцењене одређивањем тачности на сету за валидацију. Интуитивна очекивања да избор ширине грануларне области, \mathcal{R}_g, има велики утицај на тачност модела су и потврђена анализирањем различитих избора за ширину \mathcal{R}_g, односно пројектовањем двобитног униформног квантизера за различито \mathcal{R}_g. Међу многим посматраним случајевима одабрана су 4 репрезентативна случаја дизајна двобитног униформног квантизера за које су приказани перформансни индикатори за QNN модел и двобитни униформни квантизер. Као даљи корак у анализи утицаја избора амплитуде максималног оптерећења на квалитативне индикаторе од интереса, предложено је укључивање адаптације амплитуде максималног оптерећења по слојевима NN мреже. Код слојевите адаптације \mathcal{R}_g је одређен за сваки слој посебно на основу статистике тежина NN слоја. Добијени резултати су такође указали на важност \mathcal{R}_g избора. Посебно је издвојен случај где је тачност QNN модела повећана за 0.29 % у односу на исти када се користи двобитни униформни квантизер, али без адаптације по слојевима.</p>	M23
7	<p>J. Nikolić, Z. Perić, S. Tomić, D. Aleksić, "On Different Criteria for Optimizing the Two-bit Uniform Quantizer", <i>INFOTEH-JAHORINA 2022</i>, Conference Proceedings, Jahorina, RS, BiH, March 16-18, 2022.</p> <p>Како у литератури није дата директна веза између тачности QNN мреже и SQNR-а постоји потреба да се анализира и утврди повезност ових квалитативних показатеља што је и инспирисало истраживања у овом раду. За побољшање квалитативних показатеља двобитног униформног квантизера примењеног за квантовање NN мреже, у овом раду су специфицирана три критеријума. Резултат примене првог критеријума је одређивање амплитуде максималног оптерећења са којом се постиже теоријски максимум за SQNR двобитног униформног квантизера за Лапласов извор. Применом другог критеријума одређена је амплитуда максималног оптерећења са којом се постиже експериментални максимум SQNR-а двобитног униформног квантизера. На крају, резултат примене последњег трећег критеријума приликом оптимизације је амплитуда максималног оптерећења са којом се постиже највећа тачност QNN модела. Један интересантан закључак, изведен у овом раду, је да амплитуда максималног оптерећења, са којом се постиже највећи SQNR, не подразумева увек и најбољу тачност QNN модела.</p>	M33
8	<p>J. Nikolić, S. Tomić, Z. Perić, D. Aleksić, "Analysis of Neural Network Accuracy Degradation due to Uniform Weight Quantization of One or More Layers", <i>57th International Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies, ICESS 2022</i>, Ohrid, North Macedonia, June 16-18, 2022.</p> <p>У овом раду су анализирани различити сценарији приликом квантизације тежина NN мреже након њене обуке, да би се одредили и истакли и позитивни и негативни утицаји нискобитне униформне квантизације појединачних слојева на тачност QNN мреже. Указано је да се по идентификацији најосетљивијег слоја NN мреже, за овај слој може извршити параметризација двобитног униформног квантизера на прецизнији начин, чиме се смањује деградација тачности QNN мреже. Такође је закључено да је најважнији слој када се обавља квантизација први слој NN мреже, који има највећи број тежина, док је последњи слој, иако садржи најмањи број тежина, други слој по важности када се врши квантизација тежина. У нумеричким резултатима су одређени квалитативни показатељи, тј. тачност QNN мреже и остварени SQNR, а такође су дати и нормализовани хистограми нормализованих тежина по слојевима, чиме је установљена и стварана промена расподеле нормализованих тежина по слојевима посматраног NN модела.</p>	M33

<p>D. Aleksić, Z. Perić, “One-bit Quantizer Parameterization for Arbitrary Laplacian sources”, <i>Facta Universitatis, Series: Automatic Control and Robotics</i>, Vol. 21, No 1, 2022, pp. 37 - 46 Available: https://doi.org/10.22190/FUACR220321004A</p>	
<p>9 У овом раду је изведена тачна формула за одређивање укупне дисторзије једнобитног квантизера када је улаз квантизера описан Лапласовом функцијом густине вероватноће произвољне средње вредности и варијансе. Предложена формула је општа, тако да важи и за нормализован случај, тј. за Лапласову расподелу са нултом средњом вредношћу и јединичном варијансом, која се најчешће анализира не само у традиционалној квантизацији, већ и у савременим системима који укључују квантизацију. Поред овога, нивои репрезентације симетричног квантизера су одређени на основу MSE критеријума, односно тако да је дисторзија минимална. Имајућу у виду да је једнобитна квантизација најосетљивија квантизација у погледу тачности и грешке квантовања због тога што има свега 2 нивоа квантовања, значај предложене параметризације једнобитног квантизера је од велике важности, јер се са њом квантизер прилагођава средњој вредности и варијанси улазног сигнала. Такође је показано да средња вредност расподеле има доминантан утицај на ниво репрезентације будући да један од нивоа репрезентације има вредност блиску средњој вредности Лапласове расподеле.</p>	<p>M51</p>

НАПОМЕНА: уколико је кандидат објавио више од 3 рада, додати нове редове у овај део документа

ИСПУЊЕНОСТ УСЛОВА ЗА ОДБРАНУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кандидат испуњава услове за оцену и одбрану докторске дисертације који су предвиђени Законом о високом образовању, Статутом Универзитета и Статутом Факултета.

ДА

У Извештају о испуњености критеријума за покретање поступка за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата дипл. инж. Данијеле Алексић, број 07/03-011/22-005 од 20.06.2022.године, Комисија за оцену испуњености критеријума на Електронском факултету у Нишу установила је да кандидат дипл. инж. Данијела Алексић **ИСПУЊАВА** све предвиђене критеријуме за покретање поступка за оцену и одбрану докторске дисертације. Наиме, дипл. инж. Данијела Алексић доставила је Факултету доказ да је првопотписани аутор рада у часопису са SCI листе, као и да је првопотписани аутор рада у часопису који издаје Универзитет у Нишу.

ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кратак опис појединих делова дисертације (до 500 речи)

Докторска дисертација кандидата дипл. инж. Данијеле Алексић изложена је на 174 стране и подељена је на 7 поглавља. Садржи 48 слика, 29 табела и 81 библиографску јединицу.

Након уводног дела дисертације, у коме су описани мотивација, предмет и циљ анализа и истраживања, у другом поглављу је најпре дат кратак историјат квантизације, обзиром да је реч о фундаменталној методи која је широко коришћена још у традиционалним телекомуникационим системима. Дефинисани су основни појмови у квантизацији, са посебним освртом на скаларну квантизацију. Посебна пажња је посвећена и све заступљенијој примени квантизера у изузетно атрактивној области компресије неуронских мрежа (*Neural Network* – NN мрежа). Поред квантизације побројани су и други, такође значајни методи, којима се моделују неуронске мреже у циљу редуковања како саме архитектуре неуронске мреже, тако и броја параметара који је описују. Указано је и на могућност комбиноване примене квантизације са неким од побројаних метода, као што је нпр. орезивање. У последњем одељку другог поглавља је дат и осврт на нискобитне квантизере и изложене су идеје за њихово моделовање и примену у квантовању неуронских мрежа у пост-тренинг фази, где је применом квантизера и њиховом добром параметризацијом остварена незнатна деградација тачности квантованих неуронских мрежа.

У трећем поглављу дисертације су презентовани нови модели део-по-део униформног квантизера и квантиле квантизера. Када је у питању обрада сигнала у телекомуникационим системима, постоји потреба за новим моделима квантизера, којима би се испунили захтеви у погледу све ниже битске брзине или све већег квалитета квантованог сигнала, мереног односом сигнал-шум квантизације (SQNR). Како сигнали на улазу квантизера могу имати високи степен нестационарности и непредвидивости, од интереса је и развој робустних модела квантизера, као што је квазилогаритамски квантизер. Из тог разлога је у дисертацији извршена и параметризација квазилогаритамског квантизера, коме је такође у овом поглављу посвећена посебна пажња.

У четвртном поглављу презентовано је научно истраживање везано за пројектовање нискобитних униформних квантизера и њихову примену код неуронских мрежа. Ово поглавље је подељено на две секције. У првој секцији је дат модел неуронске мреже усвојен за тестни модел приликом анализа и процена примењиваних квантизера и квантованих неуронских мрежа у наставку дисертације. Друга секција истог поглавља је подељена на седам одељака у којима су приказани модели двобитног и тробитног униформног квантизера, њихова параметризација, као и детаљна анализа примене ових нискобитних квантизера у квантовању неуронских мрежа.

у пост-тренинг фази. За процену перформанси самих квантизера коришћен је SQNR, теоријски, али и експериментални, израчунат на основу стварних улазних података. За квалитативну процену неуронских мрежа коришћена је тачност NN мреже, и то најпре трениране неуронске мреже, а затим и квантоване неуронске мреже (QNN мрежа), уз одређивање процента деградације, који је остварен применом различитих нискобитних квантизера или применом различите параметризације истих нискобитних квантизера. Како не постоји једнозначна веза између квалитативних индикатора квантизера и квантованих неуронских мрежа, било је заиста потребно и значајно утврдити на који начин и у којој мери параметризација нискобитних квантизера утиче на тачност квантованих неуронских мрежа.

У петом поглављу описани су нови модели нискобитних неуниформних квантизера и спроведена је опсежна анализа њихове параметризације и примене у обради сигнала, као и у компресији неуронских мрежа. Истакнуте су погодности које неуниформни квантизери пружају у случајевима када је улаз квантизера описан функцијама густине вероватноће, у које спада и Лапласова функција густине вероватноће. У свим анализама, како код униформних, тако и код неуниформних квантизера, на улазима квантизера је претпостављена управо Лапласова функција густине вероватноће, из разлога што тежине неуронских мрежа које се квантују имају расподелу која је најприближнија Лапласовој расподели.

Шесто поглавље представља закључак у коме су наведени главни доприноси дисертације. Сумиране су у дисертацији развијене методе пројектовања нискобитних квантизера за примену у обради сигнала и компресији неуронских мрежа.

На крају дисертације је дат списак коришћене литературе који садржи 81 библиографску јединицу.

ВРЕДНОВАЊЕ РЕЗУЛТАТА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ниво остваривања постављених циљева из пријаве докторске дисертације (до 200 речи)

Увидом у Извештај о научној заснованости теме докторске дисертације дипл. инж. Данијеле Алексић, Комисија закључује да су циљеви наведени приликом пријаве теме успешно реализовани. Остварени циљеви су набројани у наставку.

За примену у обради сигнала предложени су нови модели нискобитних униформних и неуниформних скаларних квантизера, и одређени су перформансни добици кроз израчунавање односа сигнала-шум квантизације (израчунавање SQNR-а). Истакнуте су погодности пројектованих модела квантизера и анализирана је важност њихове параметризације у циљу постизања што бољих објективних перформанси. Представљени су нови модели квантизера које одликује једноставно пројектовање и то нови модели део-по-део униформног квантизера и квантиле квантизера. Како улаз квантизера често карактерише нестационарност, то се робустност квантизера сагледава као посебна погодност квантизера, па је у дисертацији анализиран и дизајн робусних квазилогаритамских квантизера, чија параметризација је у највећој мери одређена амплитудом максималног оптерећења.

Имајући у виду високу комплексност и зависност неуронске мреже од мноштва улазних података којима се описује у општем случају проблем или задатак од интереса, постоји много веома различитих модела квантоване неуронске мреже. Велике разлике квантованог модела од оригиналног модела могу ипак имати за исход врло добро очувану тачност мреже. Овај степен слободе није био присутан у обради сигнала и многим класичним истраживањима, која су се углавном фокусирали на проналажење метода компресије, чијом применом сам сигнал који се компримује не би био превише промењен, односно коришћене нумеричке методе вршиле су строгу контролу разлике између стварног, тј. оригиналног и квантованог сигнала. Ово запажање је мотивисало истраживање нових форми квантизације у области квантованих неуронских мрежа. Коначно, слојевита структура модела неуронских мрежа нуди додатну димензију за бројна истраживања и моделовања. Различити слојеви у неуронској мрежи имају различит утицај на свеукупну тачност, што је мотивисало додатне анализе важности квантизације сваког од слоја тестног модела неуронске мреже. Квантизација се посебно показала као ефикасна код имплементације неуронских мрежа на уређајима ограничених ресурса.

У дисертацији су предложени бројни нови модели нискобитних скаларних квантизера и методологије квантизације, којима је остварен главни циљ дисертације - побољшање перформанси квантованих неуронских мрежа, односно постизање незнатне деградације тачности квантоване неуронске мреже у односу на иницијалну тачност оригиналне, неквантоване неуронске мреже.

Вредновање значаја и научног доприноса резултата дисертације (до 200 речи)

- Према оцени Комисије, најзначајнији доприноси докторске дисертације дипл. инж. Данијела Алексић су:
- Описани су нови модели скаларних квантизера, чије су перформансе анализирани и упоређиване са перформансама других квантизера сличне сложености. Такође је извршена и модификација описаних модела, како би се њихове перформансе додатно побољшале.
 - Пројектован је део по део униформни квантизер за амплитуде са Лапласовом функцијом густине вероватноће, где је предложена нова идеја за поделу амплитудског опсега квантизера на два региона. Региони су одређени коришћењем итеративног алгорита којим се минимизује дисторзија квантизера.
 - За разлику од модела компандора код кога и нивое одлучивања и репрезентационе нивое одређује компресорска функција, предложен је модел квантиле квантизера код кога нивое одлучивања одређује компресорска функција, као код компандора, док се репрезентациони нивои одређују из услова центроида, односно тако да је дисторзија минимизована (модел оптимизован) за претходно одређене нивое одлучивања.
 - Како је квазилогаритамски квантизер робустан у широком динамичком опсегу варијансе сигнала, препознат је интерес да се у зависности од степена одступања, односно у зависности од односа варијансе на улазу у квантизер и варијансе за коју је квантизер пројектован, одреди максимална вредност SQNR-а за различите битске брзине, као и за различите вредности фактора компресије μ .
 - Будући да су квантизери нашли примену у атрактивној области компресије неуронских мрежа, која је мање осетљива на фину параметризацију квантизера у односу на обраду сигнала, испитани су начини примене нискобитних униформних квантизера на усвојеном моделу неуронске мреже, где је квантизација примењивана у пост-тренинг фази.
 - Није уочена једноставна и једнозначна релација између квалитативних перформанских индикатора, SQNR-а (теоријског и експерименталног) и тачности конволуционе неуронске мреже, при примени различитих модела скаларних квантизера. Потврђена је премиса да квантизер који обезбеђује највећи SQNR (теоријски или експериментални) не мора нужно да обезбеди највећу тачност конволуционе неуронске мреже.
 - Показано је да се коришћењем двобитног униформног квантизера за компресију тежина неуронске мреже може у великој мери сачувати тачност модела конволуционе неуронске мреже, која је деградирана за 1.13 % у односу на референтну тачност неуронске мреже (пре примене квантизације).
 - Утврђено је да двобитна униформна квантизација по слојевима може поправити тачност конволуционе неуронске мреже за MNIST скуп података.
 - Показано је да је одређивање ширине грануларне области код двобитног униформног квантизера јако битно. Слична анализа утицаја ширине грануларне области на перформансе индикаторе је урађена и за тробитни униформни квантизер. Анализа је спроведена за MNIST и FASHION-MNIST скуп података, као и за MLP и CNN мреже. Утврђено је да се за брзину од $R = 3$ бит/одмерак утицај ширине грануларне области на тачност QNN мреже значајно смањује у поређењу са случајем где су идентичне тежине униформно квантоване брзином од 2 бит/одмерак.
 - Испитано је како квантизација различитих слојева утиче на тачност неуронске мреже, након чега је изведен закључак да је најважнији слој за квантизацију тежина управо први слој мреже, са највећим бројем тежина, док је последњи слој, иако садржи најмањи број тежина, други по важности слој.
 - У поглављу посвећеном неуниформним квантизерима предложена су два нова модела двобитног неуниформног квантизера. Испитано је под којим условима су предложени модели неуниформних квантизера погоднији за примену у пост-тренинг квантизацији од униформног квантизера.

Резултати приказани у докторској дисертацији су публиковани у релевантним научним часописима и зборницима конференција, чиме су остварени доприноси препознати и од стране шире научне заједнице.

Оцена самосталности научног рада кандидата (до 100 речи)

Кандидат дипл. инж. Данијела Алексић је током докторских студија и израде докторске дисертације показао висок степен иницијативе и самосталности. Ово потврђују публиковани радови у којима је кандидат првопотписани аутор. Радови су објављени у реномираном научном часопису категорије M23, часопису који издаје Универзитет у Нишу, као и у зборнику међународне конференције.

ЗАКЉУЧАК (до 100 речи)






Након прегледа докторске дисертације, Комисија закључује да докторска дисертација дипл. инж. Данијеле Алексић садржи оригиналне научне доприносе од значаја за пројектовање униформних и неуниформних нискобитних скаларних квантизера и њихову примену у обради сигнала и компресији неуронских мрежа. Како се савременим дигиталним комуникационим системима преноси огромна количина података и како је за имплементацију неуронских мрежа на уређајима са ограниченим ресурсима важна компресија неуронских мрежа, остварени резултати у развоју модела нискобитних квантизера су значајни како са научног, тако и са инжењерског становишта.

Имајући у виду значај теме и научне резултате дисертације, чланови Комисије предлажу Наставно-научном већу Електронског факултета Универзитета у Нишу да усвоји Извештај о оцени докторске дисертације „Развој кодера таласног облика за потребе неуронских мрежа и обраду сигнала” дипл. инж. Данијеле Алексић и да одобри јавну одбрану ове докторске дисертације.

КОМИСИЈА

Број одлуке НСВ о именовану Комисије 07/03-011/22-007

Датум именовања Комисије 05.07.2022. године

Р. бр.	Име и презиме, звање		Потпис
1.	др Александра Јовановић, ванредни професор	председник	
	Телекомуникације (Ужа научна област)	Електронски факултет у Нишу, Универзитет у Нишу (Установа у којој је запослен)	
2.	др Зоран Перић, редовни професор	ментор	
	Телекомуникације (Ужа научна област)	Електронски факултет у Нишу, Универзитет у Нишу (Установа у којој је запослен)	
3.	др Дејан Ћирић, редовни професор	члан	
	Телекомуникације (Ужа научна област)	Електронски факултет у Нишу, Универзитет у Нишу (Установа у којој је запослен)	
4.	др Жељко Ђуровић, редовни професор	члан	
	Аутоматика (Ужа научна област)	Електротехнички факултет у Београду, Универзитет у Београду (Установа у којој је запослен)	
5.	др Александар Станимировић, доцент	члан	
	Рачунарство и информатика (Ужа научна област)	Електронски факултет у Нишу, Универзитет у Нишу (Установа у којој је запослен)	

Датум и место:

15.07.2022. година.....