

Универзитет у Београду
Електротехнички факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр Владимира Рајовића

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду бр. 761/4 од 3.9.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата мр Владимира Рајовића, дипломираног инжењера електротехнике, под насловом

Хардверска реализација једнопролазног брзог кодека са високим степеном компресије и минималним захтеваним ресурсима

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Мр Владимир Рајовић је магистарске студије завршио на Електротехничком факултету 5.7.2005. године. Пријаву докторске дисертације под насловом “Хардверска реализација једнопролазног брзог кодека са високим степеном компресије и минималним захтеваним ресурсима” поднео је 3.11.2005. године. На седници Комисије за научни рад Електротехничког факултета у Београду (у даљем тексту ЕТФ) одржаној 24.11.2005. године, констатовано је да је мр Владимир Рајовић пријавио докторску дисертацију под наведеним насловом, и Наставно-научном већу ЕТФ је предложена Комисија за оцену услова и прихватање теме у саставу: др Милан Прокин, редовни професор (ЕТФ), др Миодраг Поповић, редовни професор (ЕТФ) и др Бранимир Рељин, редовни професор (ЕТФ), а за ментора дисертације предложен је др Милан Прокин. На седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета, одржаној 29.11.2005. године, прихваћен је предлог Комисије за научни рад и именована је Комисија

за оцену услова и приhvатање теме као и предложени ментор. На основу извештаја Комисије и пратеће документације докторске дисертације предложена тема је прихваћена на седници Наставно-научног већа ЕТФ, одржаној 24.4.2007. године, а 10.7.2007. године је прихваћена од стране Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду (бр. одлуке 612-1206/23-07). На седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета, одржаној 24.4.2012. године, а на молбу кандидата, донесена је одлука да се кандидату продужи рок за завршетак докторске дисертације.

Кандидат је написао дисертацију поднео на преглед и оцену 19.8.2013. године. На седници Комисије за студије трећег степена ЕТФ одржаној 27.08.2013. године донета је одлука да се Наставно-научном већу Електротехничког факултета предложи формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: др Милан Прокин, редовни професор (ЕТФ), др Миодраг Поповић, редовни професор (ЕТФ) и др Мирослав Лутовац, редовни професор (Технички факултет Универзитета Сингидунум). Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду је 3.9.2013. године, прихватило предлог Комисије трећег степена, уз проширење Комисије за преглед и оцену докторске дисертације са др Ирини Рељин, редовни професор (ЕТФ).

1.2. Научна област дисертације

Научна област дисертације је Електротехника и рачунарство, а ужа научна област је Електроника. За ову ужу научну област матичан је Електротехнички факултет у Београду. Дисертација је урађена под менторством др Милана Прокина, редовног професора ЕТФ. Ментор испуњава законске услове за ментора, бави се научним радом у ужој области Електроника, а професионално се бави развојем патентираних метода за компресију слике и видеа.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Мр Владимир Рајовић је рођен у Косовској Митровици, 3. јула 1976. године, где је завршио основну школу и гимназију природно-математичког смера, обе са одличним успехом као носилац Вукове дипломе.

Основне студије на Електротехничком факултету у Београду је уписао 1995. године. На Електротехничком факултету у Београду је дипломирао 18.9.2001. године, на одсеку за Електронику, Телекомуникације и Аутоматику, са средњом оценом током студија 9.56. Дипломски рад под насловом “Централни регулатор температуре у централном систему топловодног грејања” код ментора др Дејана Живковића, редовног професора, је успешно одбранио са оценом 10. За дипломски рад је награђен другом наградом Матице Српске за најбољи дипломски рад у области техничких наука.

На магистарским студијама на Електротехничком факултету у Београду је положио шест стручних предмета. Магистарску тезу под насловом “Програмабилни управљачки систем за црквене звонике” код ментора др Дејана Живковића, редовног професора, је одбранио 5.7.2005. године.

Као студент основних студија, кандидат је био ангажован у статусу студента сарадника на Катедри за Електронику Електротехничког факултета у Београду у

школским годинама 1998/1999 и 1999/2000. Након дипломирања, кандидат школску годину 2001/2002 ради као асистент приправник на Техничком факултету Универзитета у Приштини (Косовска Митровица), да би од школске године 2002/2003 био запослен на Електротехничком факултету у Београду, до 2007. године у статусу асистента приправника, а од 2007. године у статусу асистента.

У периоду 29.01.2007. – 29.07.2007. кандидат је користио неплаћено одсуство, које је искористио за научно усавршавање на Факултету за физику и астрономију Универзитета у Бирмингему, Велика Британија, где је изабран за почасног научног саветника (*Honorary Research Fellow*). Кандидат континуирано сарађује са колегама из Велике Британије, раније на пројекту MAPS, а тренутно на пројекту SPIDER.

Кандидат је учествовао на неколико иновационих пројеката и пројеката технолошког развоја финансираних од стране Министарства науке Републике Србије, неколико комерцијалних факултетских пројеката као и једног Темпус пројекта. Био је руководиоц факултетског пројекта који је рађен у сарадњи са Rutherford Appleton Laboratory, Велика Британија.

Кандидат је и коаутор збирке задатака: Милан Поњавић, **Владимир Рајовић**, Лазар Карбунар, “Основи дигиталне електронике – Збирка решених задатака,” Београд 2006. (ISBN 86-7466-258-7).

Кандидат је аутор или коаутор седам радова у међународним часописима, пет радова на међународним конференцијама и три рада у домаћим часописима.

Из најуже области непосредно везане за тему доктората, кандидат је први аутор једног рада у истакнутом међународном часопису и први аутор једног рада на међународној конференцији.

Из области примене докторске дисертације, кандидат је коаутор четири рада у врхунским међународним часописима и коаутор два рада на међународним конференцијама.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација садржи насловну страну и кратак резиме рада на српском и енглеском језику, садржај, седам поглавља, списак коришћене литературе и кратку биографију аутора. Прво поглавље је увод у област компресије једнодимензионалних и дводимензионалних сигнала. У другом поглављу је представљена анализа рада и хардверска реализација директног дводимензионалног подопосежног трансформатора. Треће поглавље садржи анализу рада и хардверску реализацију квантизатора са баферовањем. У четвртном поглављу је представљена анализа рада и хардверска реализација енкодерског процењивача вероватноћа и ентропијског енкодера. Пето поглавље садржи резултате симулације хардверског дводимензионалног енкодера за једну равну боју. У шестом поглављу је приказана реализација система за компресију слике са мрежним интерфејсом. Седмо поглавље садржи закључак.

Дисертација садржи 157 страна, 82 слике, 24 табеле и 120 референци.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу дате су основне информације о компресији дигиталне слике. Критички је изложено тренутно стање науке и технике, са освртом на потребну количину меморије, време извршавања компресије и достигнути степен компресије као противуречне захтеве. Уведена је подела на компресију са губицима и компресију без губитака, и објашњене функционалности основних блокова у систему за компресију слике.

У другом поглављу је представљена хардверска реализација директног дводимензионалног подопсежног трансформатора. Најпре је објашњено функционисање директне једнодимензионалне подопсежне трансформације, и приказана је нова нестационарна реализација једнодимензионалних филтара за подопсежну трансформацију. Показано је да је нова реализација филтара супериорна у односу на постојеће реализације и у погледу величине и у погледу максималне брзине рада. Затим је приказана директна дводимензионална подопсежна трансформација која се своди на редну везу две једнодимензионалне трансформације када је функција филтра сепарабилна. Коначно је приказана реализована архитектура целокупног директног дводимензионалног подопсежног трансформатора и дате су остварене перформансе.

Треће поглавље посвећено је хардверској реализацији квантизације у систему за компресију слике. Најпре је дат преглед техника квантизације, док су потом разматрани аритметички проблеми приликом квантизације подопсежно трансформисаних коефицијената. На крају је приказана меморијски ефикасна архитектура квантизатора која има придодату функцију одређивања максимума на четири линије на сваком од трансформационих подопсега и баферовања тих линија, што је специфичност условљена начином функционисања енкодерског процењивача вероватноћа. Приложене су и постигнуте перформансе.

У четвртном поглављу се заједно обрађују два чврсто спрегнута блока, енкодерски процењивач вероватноћа и ентропијски енкодер. Описан је алгоритам рада енкодерског процењивача и структура коришћених хистограма вероватноћа. Уведена је реализација енкодера опсега која минимизује рачунарску комплексност која потиче од коришћења операција множења и дељења у оригиналном алгоритму. Коначно је приказана архитектура ова два блока, уз постигнуте перформансе и хардверску комплексност.

У петом поглављу приказани су резултати функционалне симулације хардверског енкодера за једну равну боју. На основу резултата симулације показано је да је кашњење хардверског енкодера реда величине пар десетина линија улазне слике, што потврђује да је реализација погодна за рад у реалном времену. Појединачно је показано да се градивни блокови енкодера понашају у складу са пројектним претпоставкама.

Шесто поглавље доноси заокружен систем за компресију слике у боји, који се састоји од камере, хардверског енкодера, и мрежног интерфејса, као и персоналног рачунара на коме се извршава компатибилан софтвер за декомпресију. Дати су прикази архитектуре хардверског енкодера за све три равни боје, као и система коришћеног за презентацију. Приказане су и постигнуте перформансе система.

У седмом поглављу дат је преглед карактеристика реализације из дисертације у односу на постојеће реализације, као и преглед научних доприноса дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

У оквиру хардверске реализације дводимензионалног енкодера високих перформанси и са минималним захтеваним меморијским ресурсима извршена је подела реализације, у складу са тренутним стањем технике, на три дела. Сваки од делова – модула је посебно теоријски анализиран, дизајниран и истестиран. Приликом дизајнирања тежило се и успело да се минимизује потребна количина меморије као критичног ресурса у хардверским реализацијама, уз истовремено минимизирање потребних логичких ресурса, што представља оригиналан и савремен приступ постизању минималне потрошње кодера.

Најзначајније карактеристике оригиналног реализованог решења у односу на постојеће реализације су:

- потребна количина меморије је неколико редова величине мања од референтних реализација, што је обезбеђено новом реализацијом енкодерског процењивача вероватноће и директног дводимензионалног подопсежног трансформатора;
- како је драстично смањена потребна количина меморије, нема потребе за коришћењем блокова, плочица или рамова, тако да не постоје блоковски артефакти;
- постигнуто је минимално могуће кашњење коришћењем нове реализације једнопролазног енкодерског процењивача вероватноће и директног дводимензионалног подопсежног трансформатора;
- потребна количина хардверских ресурса опште намене је смањена реализацијом хардверског енкодера опсега и квантизатора без операција дељења; и
- реализована је сједињена компресија са губицима и без губитака, за 4:4:4, 4:2:2 и 4:2:0 формате улазне слике.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Кандидат је детаљно претражио одговарајућу литературу. У докторској дисертацији је прецизно навео 120 библиографских референци на радове који су у вези са темом дисертације. Литература садржи и најновије радове релевантне за тему дисертације, као и одговарајуће радове чији је аутор или коаутор кандидат.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру докторске дисертације састојала се у следећем:

- Детаљно је проучена литература у којој се разматра компресија дводимензионалних сигнала.
- Посебно су разматрана решења која врше компресију у програмабилним логичким колима и интегрисаним колима.
- Резултати објављени у доступној литератури су сумирани и систематизовани.
- Анализирани су квалитативни недостаци доступних метода, као и недостаци који онемогућавају њихову ефикасну имплементацију у програмабилним логичким колима.
- Развијена је метода за компресију пиксел по пиксел уместо линија по линија.
- Минимизирана је величина филтерске меморије за директну једнодимензионалну и дводимензионалну подопсежну трансформацију.
- Минимизирана је величина синхронизационе меморије за директну једнодимензионалну и дводимензионалну подопсежну трансформацију.
- Минимизиран је капацитет синхронизационе меморије за енкодер једнодимензионалног и дводимензионалног сигнала.
- Минимизиран је капацитет меморије за смештање информације о контексту.
- Експериментално је потврђена практична примена за компресију дводимензионалних сигнала са одговарајућих сензора.

3.4. Применљивост остварених резултата

Развијена оптимизована имплементација новог једнопролазног брзог кодера у програмабилном логичком колу остварује велику брзину компресије дводимензионалних сигнала, што је чини нарочито погодном за компресију сигнала које у реалном времену генеришу одговарајући сензори. Дизајн омогућава компресију са или без губитака, захваљујући чему има широк спектар примене. Компресије без губитака се може примењивати у апликацијама које захтевају потпуну прецизност сигнала са сензора, као што су филмски материјал са снимања, медицинске и астрономске слике. Компресија са губицима се може примењивати у апликацијама које захтевају минимални пропусни опсег, као што су преузимање филмова, удаљени сензори и камере. Минимални захтевани ресурси омогућавају примену у уређајима са екстремно малом потрошњом и малом ценом. Минимално кашњење омогућава примену у војним и безбедоносним системима.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је у изради дисертације показао способност за самостални научни рад. Извршио је систематичну и критичку анализу постојећих решења, уз уочавање њихових недостатака. Развио је оригиналну оптимизовану имплементацију новог једнопролазног брзог кодека у програмабилном логичком колу која минимизује све потребне ресурсе. Показао је да је имплементација практично применљива њеном употребом за компресију дводимензионалних сигнала са одговарајућих сензора. Резултате својих истраживања објавио је у међународним часописима са високим факторима утицаја. Кандидат је

приликом израде дисертације показао изузетну систематичност у раду, истрајност у решавању проблема у дизајну и креативност у развоју нових приступа оптимизацији.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси ове дисертације обухватају:

- детаљан преглед и класификацију литературе из области компресије слике;
- оптимизовану имплементацију новог једнопролазног брзог кодека у програмабилном логичком колу;
- подршку компресији са и без губитака;
- минимизацију кашњења компресије;
- минимизацију употребљених меморијских ресурса;
- минимизацију употребљених логичких ресурса;
- нови алгоритам рада директног дводимензионалног подопсежног трансформатора;
- нови проток података унутар модула енкодера слике;
- развој и оптимизацију директних нестационарних филтара за имплементацију у програмабилним логичким колима;
- оптимизацију израчунавања контекста и процењивача вероватноће симбола за имплементацију у програмабилним логичким колима;
- оптимизацију ентропијског енкодера за имплементацију у програмабилним логичким колима;
- нове правце истраживања у домену оптимизације компресије видеа.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Увидом у дисертацију, полазне хипотезе и циљеве истраживања, Комисија констатује да је кандидат успешно одговорио на постављене изазове, и да остварени резултати оправдавају почетна очекивања. Предложен је оригиналан приступ оптимизације имплементације новог једнопролазног брзог кодека у програмабилном логичком колу помоћу обраде пиксел по пиксел, уместо линија по линија, чиме су знатно минимизирани меморијски и логички ресурси и додатно минимизирано кашњење компресије. Додатно су оптимизовани сви делови кодека, као што су директни нестационарни филтри у дводимензионалном подопсежном трансформатору, израчунавање контекста, процењивач вероватноће симбола, ентропијски енкодер и проток података између свих ових делова. Комплетан дизајн је реализован и успешно истестиран са софтверским декодером.

4.3. Верификација научних доприноса

Из најуже области непосредно везане за тему доктората, кандидат је први аутор једног рада у истакнутом међународном часопису (категорије M23) и први аутор једног рада на међународној конференцији (категорије M33).

Категорија M23:

1. **V. Rajović**, G. Savić, V. Čeperković, M. Prokin, "Combined one-dimensional lowpass and highpass filters for subband transformer," *Electronics Letters*, vol. 49, no. 18, pp. 1150-1152, Aug. 29, 2013, ISSN 0013-5194, DOI: 10.1049/el.2013.0931 (**IF=1.038(2012)**)

Категорија M33:

1. **V. Rajović**, M. Prokin, V. Čeperković, D. Prokin, "An image codec with minimum memory size," *Proceedings of 2nd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*, 2013, Budva, Montenegro, pp. 148-151, June 15-20, 2013, ISSN 1800-993X, DOI: 10.1109/MECO.2013.6601342

Из области примене докторске дисертације, кандидат је коаутор четири рада у врхунским међународним часописима (категорије M21) и коаутор два рада на међународним конференцијама (категорије M33).

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

У својој докторској дисертацији под називом насловом "Хардверска реализација једнопролазног брзог кодека са високим степеном компресије и минималним захтеваним ресурсима", кандидат мр Владимир Рајовић је извршио детаљну анализу проблема компресије слике са дводимензионалног сензора, а затим предложио неколико метода за отклањање ових проблема, за које је пројектовао и реализовао хардвер и експериментално доказао њихову применљивост.

Из области докторске дисертације, кандидат је објавио један рад као први аутор у истакнутом међународном часопису, четири рада као коаутор у врхунским међународним часописима, један рад као први аутор на међународној конференцији и два рада као коаутор на међународним конференцијама, чиме је показао способност за самосталан научни рад и потврдио оригиналан, савремен и значајан научни допринос. Текст дисертације је одлично организован кроз поглавља и одељке. Циљеви дисертације су јасно формулисани, а резултати истраживања систематски изложени и упоређени са постојећим стањем технике и референцама, тако да се научни доприноси могу недвосмислено утврдити.

Комисија констатује да дисертација садржи оригиналне научне доприносе, испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и све критеријуме који се уобичајено примењују приликом вредновања докторских дисертација на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да прихвати овај Извештај и да га упути Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду на усвајање и давање одобрења кандидату да приступи усменој одбрани.

У Београду, 1.12.2013. године.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



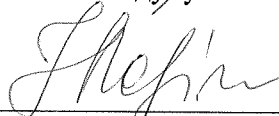
др Милан Прокин, ред. проф.
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет



др Миодраг Поповић, ред. проф.
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет



др Мирослав Лутовац, ред. проф.
Универзитет Сингидунум – Технички факултет



др Ирини Рељин, ред. проф.
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет