

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Радомира Јаковљевића, дипл. инж.

Одлуком бр. 5006/08-3 од 23.9.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Радомира Јаковљевића под насловом:

„Паралелни меморијски подсистеми за примену у обради слике и видеа у мобилним уређајима“

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Радомир Јаковљевић уписао је докторске студије на Електротехничком факултету у Београду у школској 2008/2009. години.

Кандидат је пријавио тему за израду докторске дисертације на Електротехничком факултету у Београду 19.3.2014. године. Дана 26.3.2014. године Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије о оцени подобности теме и кандидата упутила Наставно–научном већу на усвајање. Наставно–научно веће именовало је Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације на седници одржаној 30.4.2014. године, у следећем саставу: др Драган Милићев, ванредни професор (ментор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Зоран Јовановић, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Лазар Сарановац, ванредни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет) и др Душан Старчевић, редовни професор (Универзитет у Београду – Факултет организационих наука). Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације Наставно–научно веће усвојило је на седници одржаној 17.6.2014. године, а Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на тему на својој седници 7.7.2014. године (број одлуке 61206-3150/2014 од 7.7.2014. године).

Кандидат је предао докторску дисертацију на преглед и оцену 1.9.2015. године. На седници одржаној 8.9.2015. године, Комисија за студије трећег степена потврдила је испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације. На седници Наставно–научног већа одржаној 15.9.2015. године, именована је Комисија за преглед и оцену докторске дисертације Радомира Јаковљевића под насловом „Паралелни меморијски

подсистеми за примену у обради слике и видеа у мобилним уређајима“. Чланови Комисије су: др Драган Милићев, редовни професор (ментор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Зоран Јовановић, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Душан Старчевић, редовни професор (Универзитет у Београду – Факултет организационих наука), др Лазар Сарановац, ванредни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет) и др Мило Томашевић, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет).

1.2. Научна област дисертације

Предложена дисертација спада у научну област „Електротехника и рачунарство“ и ужу научну област „Рачунарска техника и информатика“. За ову ужу научну област Електротехнички факултет у Београду јесте матичан.

Дисертација је урађена под менторством редовног професора др Драгана Милићева. Ментор испуњава законске услове за ментора и бави се научним и образовним радом у ужој научној области „Рачунарске технике и информатике“.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Радомир Јаковљевић, дипломирани инжењер електротехнике, рођен је 12. новембра 1982. године у Горњем Милановцу, где је завршио основну и средњу школу са одличним успехом уз запажене резултате на државним такмичењима из електронике. Електротехнички факултет у Београду уписао је 2001, а дипломирао 2008. године на Одсеку за рачунарску технику и информатику. Током студија учествовао је у оснивању, развоју и одржавању академске рачунарске мреже Студентског дома „Патрис Лумумба“ која је у то време била јединствена у студентским установама у Србији и шире.

Истраживањем паралелних архитектура процесора за обраду слике и видеа почео је да се бави током стручне праксе у компанији „Силикон хајв“ у технолошком кампусу „Филипс“ у Холандији, где је провео осам месеци током 2007. и 2008. године. Његов задатак био је да реализује методу естимације кретања упаривањем блокова на векторском процесору и оптимизује архитектуру тог процесора како би се постигле максималне перформансе. На основу добијених резултата објавио је два научна рада на престижним IEEE SiPS'08 и ICIP'08 конференцијама у Сједињеним Америчким Државама, а потом и написао дипломски рад под називом „Метод за повећање ефикасности двонивоске меморијске хијерархије“.

По завршетку стручне праксе и дипломирању, уписао је докторске студије 2008. године на Електротехничком факултету у Београду и тада успоставио сарадњу између факултета и компаније „Силикон хајв“. У оквиру те сарадње, као запослени факултета на месту сарадника, успешно је реализовао трогодишњи истраживачко-развојни пројекат, на ком је самостално осмислио и реализовао иновативно решење паралелног меморијског подсистема за примену у векторским процесорима за обраду слике и видеа. Ово истраживање и његови резултати представљају Радомиров докторски рад, а његова иновативна идеја публикована је у врхунском међународном часопису категорије M21 „*Real-Time Image Processing*“ издавачке куће Спрингер и заштићена у Патентном заводу Сједињених Америчких Држава. Поред тога, предложено решење меморијског подсистема уграђено је у најсавременије Интелове чипове за мобилне уређаје, а његово даље усавршавање је настављено ради примене у будућим генерацијама Интелових чипова.

Радомир је од 2011. до средине 2015. године био запослен у развојном центру Интел корпорације у Београду, која је 2011. године преузела компанију „Силикон хајв“. Он се у Интелу бавио савременим архитектурама и реализацијама хардвера и фирмвера за обраду слике и видеа на мобилним уређајима. Од 2013. године водио је тим за развој специфичних хардверских блокова за убрзање обраде и смањење потрошње енергије.

Радомир је тренутно запослен у Развојном центру Мајкрософт корпорације у Београду где води тим за развој софтверских система.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Предложена дисертација садржи насловну страну на српском и енглеском језику, посвету, захвалнице, резиме дисертације на српском и енглеском језику, кратак садржај, детаљан садржај, седам поглавља, преглед коришћене литературе и биографију кандидата. Наслови поглавља су: 1. Увод, 2. Дефиниција проблема, 3. Анализа метода обраде и синтеза начина приступа, 4. Преглед постојећих решења, 5. Архитектура предложеног решења, 6. Експериментална студија случаја и 7. Закључак. Дисертација садржи 198 страна, 96 слика и 10 табела.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Поглавље 1 састоји се из четири дела. У првом делу најпре је укратко објашњен контекст истраживања, а потом су описани предмет истраживања и коришћене научне методе. Други део првог поглавља, секција 1.1 наводи листу доприноса истраживања и дисертације. У трећем делу, односно у секцији 1.2, дата је листа објављених научних радова и патентних апликација везаних за истраживање. На крају првог поглавља, у секцији 1.3 дат је кратак преглед свих осталих поглавља дисертације.

У поглављу 2 прво су описани изазови у савременим применама обраде слике и видеа, а затим је детаљно описан контекст и дефинисан проблем истраживања. На крају поглавља, након дефинисања проблема, још једном су наведени најважнији доприноси дисертације, али са знатно више детаља него у секцији 1.1.

У поглављу 3 описане су методе обраде слике и видеа које су од интереса у дисертацији и анализиране су њихове реализације на векторском процесору, а посебно приступи паралелном меморијском подсистему. На основу ове анализе, дефинисане су функционалности паралелног меморијског подсистема које су потребне за ефикасну реализацију посматраних метода. Неке од дефинисаних функционалности су познате и подржане од стране постојећих паралелних меморијских подсистема, а неке су нове и представљају најважнији иновативни допринос дисертације.

У поглављу 4 дат је преглед постојећих решења паралелног меморијског подсистема, анализиране су њихове функционалности и архитектуре у циљу утврђивања предности и недостатака са становишта реализације посматраних метода обраде слике и видеа.

У поглављу 5 детаљно су описани сви аспекти архитектуре предложеног решења паралелног меморијског подсистема, која реализује нове и постојеће функционалности дефинисане у поглављима 2 и 3.

У поглављу 6 предложено решење је евалуирано аналитички и експериментално кроз комплетну студију случаја реализације суб-пиксел упаривања блокова. Евалуација је укључила поређење са шест других паралелних меморијских подсистема који су у време истраживања и писања дисертације представљали највиши степен развоја¹ у посматраној области.

Поглавље 7 садржи закључак дисертације и даје смернице за даља истраживања у области паралелних меморијских подсистема за обраду слике и видеа.

¹ енг. *state-of-the-art*

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Предмет истраживања у предложеној дисертацији су функционалности и архитектура паралелног меморијског подсистема за векторске процесоре намењене обради слике и видеа у мобилним уређајима. Код оваквих процесора паралелни меморијски подсистем најчешће представља уско грло обраде и један је од највећих потрошача енергије. Стога је циљ истраживања био да се унапређењем функционалности и архитектуре паралелног меморијског подсистема убрза обрада и смањи потрошња енергије таквих процесора, а да се притом не повећа заузеће површине на чипу. Овај предмет истраживања добро је познат и увек актуелан због свог значаја за практичну примену, а последњих година је додатно добио на актуелности са порастом популарности мобилних уређаја и повећаном потребом за веома брзим и енергетски ефикасним процесорима слике и видеа.

У оквиру истраживања урађена је анализа постојећих функционалности, односно начина приступа подацима и архитектура паралелног меморијског подсистема са становишта реализације савремених метода обраде слике и видеа на векторском процесору, затим су изведени закључци о недостацима постојећих функционалности и на крају је извршена синтеза нових функционалности којима се превазилазе уочени недостаци. Анализа претходних решења и евалуација предложеног решења извршена је аналитички и експериментално на примеру комплетне студије случаја и коришћењем савремене CMOS технологије за израду полупроводничких чипова. У циљу евалуације и практичне примене, а у складу са актуелном праксом у научним истраживањима и индустријској примени, реализован је модул на језику високог нивоа за опис хардвера и софтверски симулатор предложеног решења.

Решење предложено у дисертацији је оригинално и савремено, што је потврђено не само објављивањем научних радова у врхунском међународном часопису M21 категорије и на истакнутим међународним конференцијама, већ и применом у више генерација Интелових чипова за обраду слике и видеа у мобилним уређајима и подношењем две патентне апликације Патентном заводу Сједињених Америчких Држава од стране Интел корпорације.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У предложеној дисертацији наведене су укупно 144 библиографске референце. Од тога је 17 референци на релевантне радове из области паралелних меморијских подсистема. То укључује како оне који представљају зачетке ове области истраживања, тако и оне које су у време истраживања и писања дисертације представљале највиши степен развоја. Листа референци садржи и радове где је кандидат први аутор. У четвртом поглављу дисертације дат је преглед 17 релевантних решења из области паралелних меморијских подсистема.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У погледу примењених научних метода, истраживање које је представљено предложеном докторском дисертацијом обухватило је следеће фазе:

1. Систематично и детаљно проучавање литературе релевантне за истраживање, односно проучавање савремених метода обраде слике и видеа и савремених решења паралелног меморијског подсистема;
2. Анализу реализације савремених метода обраде на често примењиваној векторској архитектури процесора и уочавање ограничења перформанси и неефикасности у потрошњи енергије која намећу претходна решења паралелног меморијског подсистема;

3. Синтезу новог решења паралелног меморијског подсистема којим се уочена ограничења превазилазе, што укључује оригиналне функционалности и архитектуру подсистема;
4. Евалуацију релевантних параметара предложеног решења, односно брзине обраде, заузећа површине на чипу, потрошње енергије и броја приступа следећем нивоу у меморијској хијерархији. При евалуацији је коришћена реализација предложеног подсистема на језику високог нивоа за опис хардвера, софтверски симулатор предложеног решења и библиотека основних логичких компонената у савременој 65-нанометарској *CMOS* технологији за израду чипова;
5. Поређење предложеног са претходним решењима у практичној примени кроз комплетно реализовану студију случаја методе за естимацију кретања упаривањем блокова.

Истраживање је спроведено делом на Електротехничком факултету у Београду, а делом у компанији „Силикон хајв“ из Холандије, која је током истраживања постала део Интел корпорације и која се бави развојем процесора и система на чипу за обраду слике и видеа. Сарадња са овом компанијом донела је најсавременије захтеве индустрије у вези са предметом истраживања и омогућила примену предложеног решења у Интеловим процесорима за мобилне уређаје. На тај начин истраживање је у великој мери добило на значају и подигнуто на врх таласа технолошког развоја.

Наведени поступци припадају и теоријским и експерименталним истраживањима и стога у потпуности одговарају проблему и циљу истраживања представљеног у предложеној дисертацији. Примењене експерименталне методе су адекватне и валидне.

3.4. Применљивост остварених резултата

Практична применљивост предложеног решења паралелног меморијског подсистема потврђена је коришћењем у више савремених Интелових чипова за мобилне уређаје, од којих су неки већ доступни на тржишту, а неки тек треба да буду представљени. Примена предложеног решења у више генерација Интелових чипова, без тренутне потребе за његовим даљим унапређивањем потврђује да то решење у овом тренутку представља највиши степен развоја у овој области.

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 и простора за унапређење. Развио је и предложио оригинално решење паралелног меморијског подсистема, што укључује оригиналне функционалности подсистема и економичну архитектуру која омогућава реализацију предложених функционалности. Резултате својих истраживања објавио је у врхунском међународном часопису категорије M21 са импакт фактором 2,020 и на истакнутим међународним конференцијама. Додатно, захваљујући практичној применљивости, иновативне идеје истраживања заштићене су од стране Интел корпорације у Патентном заводу Сједињених Америчких Држава.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Доприноси истраживања које представља предложена дисертација су у домену функционалности и архитектура паралелних меморијских подсистема на чипу за примену у

векторским процесорима слике и видеа на мобилним уређајима. Циљ истраживања био је да се унапређењем подсистема, као добро познатог уског грла у обради и једног од највећих потрошача енергије, убрза обрада и смањи потрошња поменутих процесора. У оквиру тог циља, најважнији доприноси дисертације су:

- 1. Анализа одабраних метода обраде слике и видеа које се често примењују у пракси, укључујући методе из области упаривања блокова у естимацији кретања, интерполације са компензацијом кретања и филтрирања у просторном домену.** Анализа је извршена са становишта реализације ових метода на векторском процесору, а са фокусом на приступе подацима у меморијском подсистему. Анализом су уочена ограничења брзине и пропусности обраде, као и неефикасности у потрошњи енергије које намећу функционалности претходних паралелних меморијских подсистема. Ова анализа је започета у поглављу 2, а разрађена и довршена у поглављу 3.
- 2. Нове функционалности паралелног меморијског подсистема, потребне да се превазиђу анализом уочена ограничења и на тај начин омогуће бржа обрада на векторском процесору и мања потрошња енергије меморијског подсистема.** Нове функционалности, односно нови начини приступа блоку или реду пиксела у меморијском подсистему представљени су и образложени у поглављу 3 и представљају најважнији допринос дисертације. Нови начини приступа су боље прилагођени савременим методама обраде слике и видеа него функционалности постојећих подсистема. Њиховом применом значајно се смањује укупан број операција читања и уписа у паралелни меморијски подсистем и на тај начин се убрзавају примитиве обраде које су од интереса у овом раду: естимација кретања суб-пиксел упаривањем блокова, интерполација пиксела у компензацији кретања и филтрирање у просторном домену применом прозорских функција. Основна идеја нових функционалности јесте да се искористи унапред познато просторно преклапање блокова и редова пиксела којима се приступа у меморији и да се више операција читања из меморијског подсистема споји у једну, тако што се у паралели прочита нешто већи број пиксела него код постојећих паралелних подсистема. Да би се избегла потреба за широм, а самим тим и скупљом путањом података векторског процесора, предложене су нове операције читања из меморијског подсистема које деле тај већи број пиксела, прочитаних у паралели, на више блокова или редова ширине постојеће путање података, на начин погодан за даљу обраду. Поред убрзања обраде, применом нових начина приступа и нових операција читања смањује се утрошена енергија меморијског подсистема за исту обраду, јер се смањује број приступа истим пикселима у подсистему. На пример, у случају хоризонталне линеарне интерполације блока од 8×2 пиксела, која је често за перформансе критични део суб-пиксел упаривања блокова, уместо извршавања два преклопљена приступа блоковима од 8×2 пиксела, нови 9×2 начин приступа омогућава реализацију са само једним приступом. Тиме се омогућава два пута бржа обрада, а број прочитаних пиксела и потрошња енергије подсистема при интерполацији се смањују $1,8$ пута².
- 3. Предлог и опис параметризоване, скалабилне и економичне архитектуре предложеног решења паралелног меморијског подсистема која реализује нове и функционалности постојећих подсистема.** Описана архитектура је заснована на:
 - скупу од више паралелних меморијских модула, односно банака, таквих да једна адресибилна реч једне банке складишти више пиксела,

² $2 (2 \times 8 \times 2) : (9 \times 2) = 1,8$

- искошеном обрасцу распоређивања пиксела у банке који омогућава приступ свим пикселима једног блока или реда у паралели и
- управљачкој логици која реализује искошени образац распоређивања пиксела у банке и нове начине приступа, омогућавајући на тај начин ефикасно и једноставно програмирање приступа меморијском подсистему.

У дисертацији је наглашено да су коришћени скуп банака и искошени образац распоређивања пиксела у банке познати из раније објављених радова у литератури. Утврђено је и показано да за постизање брже обраде и мање потрошње енергије описана архитектура не захтева већу површину на чипу од архитектура других савремених подсистема, што предложено решење чини ефикаснијим у сваком погледу. Резултат тога је његова примена у неким од данас најнапреднијих процесора слике и видеа за мобилне уређаје. Архитектура предложеног решења описана је у поглављу 5.

4. **Студија случаја која, прво аналитички, а потом и експериментално, потврђује предности предложеног решења у односу на шест одабраних подсистема који су у време истраживања представљали највиши степен развоја, а на примеру реализације често примењиване 3DRS методе за естимацију кретања суб-пиксел упаривањем блокова.** За реализовани естиматор кретања, заснован на предложеном паралелном меморијском подсистему, постигнута је брзина обраде од 60 фрејмова у секунди за видео резолуције 3840*2160 пиксела, радећи на такту од 600 мегахерца. У поређењу са реализацијама заснованим на других шест подсистема и истој векторској путањи података процесора, предложено решење омогућава од 40 до 70 процената већу брзину обраде, трошећи притом од 17 до 44 процента мање енергије, а уз слично заузеће површине на чипу и исти број приступа меморији ван чипа. Тиме је постигнута од 1,8 до 2,9 пута већа ефикасност од других подсистема, израчуната као количник брзине обраде и производа свих цена подсистема: потрошње енергије, заузећа површине на чипу и броја приступа меморији ван чипа. Овако висока ефикасност резултат је примене нових начина приступа и економичне архитектуре, којима је број приступа паралелном меморијском подсистему на чипу смањен од 1,6 до 2,1 пута. Студија случаја је дата у поглављу 6.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Увидом у предложену дисертацију, полазне хипотезе и циљеве истраживања, Комисија констатује да је кандидат успешно одговорио на постављене изазове, и да резултати оправдавају почетна очекивања. Предложене су оригиналне функционалности и описана је економична архитектура паралелног меморијског подсистема за векторске процесоре намењене обради слике и видеа, којима је омогућена већа брзина обраде на векторском процесору и нижа потрошња енергије меморијског подсистема у посматраним методама обраде. Иновативност предложеног решења потврђена је публикавањем у врхунском часопису M21 категорије. Потврда да је предложено решење ефикасније од конкурентских и да нема само теоријски значај јесте и примена у више савремених генерација Интелових чипова за мобилне уређаје. На крају, може се закључити да дисертација може бити од користи будућим генерацијама студената докторских студија, инжењерима и истраживачима које интересује ова област и који у њој желе да дају свој допринос.

4.3. Верификација научних доприноса

На основу постигнутих резултата истраживања које представља предложена дисертација објављена су три научна рада, један у врхунском међународном часопису категорије M21 са импакт фактором 2,020, а два на признатим међународним конференцијама. Поред тога, као признање иновативности, ефикасности и практичној применљивости предложеног решења

паралелног меморијског подсистема, Патентном заводу Сједињених Америчких Држава поднете су две патентне апликације од стране Интел корпорације.

Радови из категорије M21:

- [1] **Jakovljević, R.**, Berić, A., van Dalen, E., Milićev, D.: New access modes of parallel memory subsystem for sub-pixel motion estimation, *Journal of Real-Time Image Processing*, pp. 1–18, 2014, <http://dx.doi.org/10.1007/s11554-014-0481-3>, (IF=2.020) (ISSN 1861–8200).

Радови из категорије M33:

- [1] **Jakovljević, R.**, Berić, A.: N-meander scanning trace a method for the on-chip bandwidth reduction, *Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Image Processing*, San Diego, USA, pp. 1404–1407, 2008, <http://dx.doi.org/10.1109/ICIP.2008.4712027>.
- [2] **Jakovljević, R.**, Berić, A.: A method for improving the efficiency of a two-level memory hierarchy, *Proceedings of IEEE Workshop on Signal Processing Systems*, Washington DC, USA, pp. 37–42, 2008, <http://dx.doi.org/10.1109/SIPS.2008.4671734>.

Патентне апликације:

- [1] **Jakovljević, R.**, Berić, A., van Dalen, E., Milićev, D.: Electronic apparatus having parallel memory banks, *Patent Application WO/2013/106210 A1*, July 18th 2013.
- [2] **Jakovljević, R.**, Berić, A., van Dalen, E., Milićev, D.: Intelligent parametric scratchpad memory architecture, *Patent Application US 20140149657 A1*, May 29th 2014.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Предложена дисертација кандидата Радомира Јаковљевића, под насловом „Паралелни меморијски подсистеми за примену у обради слике и видеа у мобилним уређајима“ представља оригиналан, савремен и значајан научни допринос. Текст дисертације написан је јасно и разумљиво и добро је организован кроз поглавља и одељке. Циљеви дисертације јасно су формулисани и мотивисани, коришћена је ваљана научна методологија, а резултати истраживања систематски су изложени, тако да се научни доприноси могу недвосмислено утврдити.

У спроведеним истраживањима предложене су нове функционалности, односно нови начини приступа и описана је параметризована, скалабилна и економична архитектура паралелног меморијског подсистема за векторске процесоре намењене примени у обради слике и видеа у мобилним уређајима. Предности предложеног у поређењу са претходним решењима на највишем степену развоја показане су аналитички и експериментално на примеру студије случаја, где је остварено убрзање обраде од 40 до 70 процената и смањење потрошње енергије од 17 до 44 процента. Практична применљивост предложеног решења потврђена је у оквиру више генерација Интелових чипова за мобилне уређаје. Објављивањем резултата својих истраживања у врхунском међународном часопису и на признатим међународним конференцијама, кандидат је показао способност за самосталан научни рад, а доприноси истраживања добили су адекватну потврду ваљаности.

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 у Београду. Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да се докторска дисертација под називом „Паралелни меморијски подсистеми за примену у обради слике и видеа у мобилним уређајима“ кандидата Радомира Јаковљевића прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а кандидату потом одобри усмена одбрана.

У Београду, 24.9.2015.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



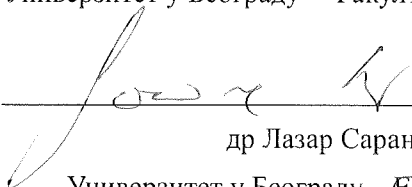
др Драган Милићев, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Зоран Јовановић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Душан Старчевић, редовни професор
Универзитет у Београду – Факултет организационих наука



др Лазар Сарановац, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Мило Томашевић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет