

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Бранка Мрдаковића.

Одлуком Наставно-научног већа бр. 5032/20-3 од 23.06.2022. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Бранка Мрдаковића под насловом

Алгоритми за површинску сегментацију оптимизовани за ефикасну електромагнетску анализу

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 Бранко Мрдаковић је први пут уписао докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду у школској 2008/09 години. Све испите на докторским студијама положио је закључно са 25.09.2011. године. Докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду по други пут је уписао 03.11.2020. године. Одлуком Комисије за студије трећег степена од 01.06.2021. године, признати су му сви раније положени испити.

Кандидат је 08.10.2021. године пријавио тему за израду докторске дисертације под насловом „Алгоритми за површинску сегментацију оптимизовани за ефикасну електромагнетску анализу”.

Комисија за студије трећег степена разматрала је на седници одржаној 09.11.2021. године предлог теме за израду докторске дисертације, и упутила предлог састава Комисије за оцену научне заснованости теме на усвајање Наставно-научном већу Електротехничког факултета.

Наставно-научно веће је одлуком број 5032/20-1 од 25.11.2021., донетој на седници број 867, одржаној 16.11.2021. године, именовало Комисију за оцену научне заснованости теме у саставу:

1. др Миодраг Тасић, доцент, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет,
2. др Небојша Дончов, редовни професор, Универзитет у Нишу - Електронски факултет, и
3. др Марко Мишић, доцент, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет.

Јавна усмена одбрана теме докторске дисертације одржана је 17.12.2021. године.

Наставно научно веће је усвојило Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације (одлука број 5032/20-2, донета на седници бр. 869 одржаној 18.01.2022. године). За ментора дисертације именован је др Бранко Колунџија, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, одлуком број 61206-543/2-22 донетој на седници број 24, одржаној 14.02.2022. године, дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације и одређивање ментора.

Кандидат је 31.05.2022. године предао докторску дисертацију на преглед и оцену. Комисија за студије трећег степена потврдила је на седници одржаној 07.06.2022. године испуњеност потребних услова за подношење предлога за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације Наставно-научном већу Електротехничког факултета.

Наставно-научно веће је одлуком 5032/20-3 од 23.06.2022., донетој на седници број 874, одржаној 14.06.2022. године, именovalo Комисију за преглед и оцену докторске дисертације под насловом „Алгоритми за површинску сегментацију оптимизовани за ефикасну електромагнетску анализу”, у следећем саставу:

1. др Миодраг Тасић, доцент, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет,
2. др Драган Олћан, редовни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет,
3. др Небојша Дончов, редовни професор, Универзитет у Нишу - Електронски факултет,
4. др Марко Мишић, доцент, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет, и
5. др Наташа Ћировић, ванредни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација кандидата Бранка Мрдаковића, под насловом „Алгоритми за површинску сегментацију оптимизовани за ефикасну електромагнетску анализу”, припада научној области електротехника и рачунарство, ужој научној области Електромагнетика, антене и микроталаси, за коју је Електротехнички факултет Универзитета у Београду матичан.

За ментора докторске дисертације одређен је др Бранко Колунџија, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Ментор је одређен на основу научних доприноса у области нумеричке електромагнетике.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Бранко Мрдаковић рођен је 15.04.1984. године у Сјеници, Република Србија. Основну школу завршио је у Сјеници као носилац дипломе „Вук Караџић“. Гимназију општег смера завршио је у Сјеници као ђак генерације и носилац дипломе „Вук Караџић“.

Основне студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду уписао је школске 2003/04. године. Дипломирао је на одсеку за телекомуникације, смер Микроталасна техника, са просечном оценом 9,71. Дипломски рад на тему „Електродинамичка анализа резонантне шупљине методом коначних елемената вишег реда“, под менторством проф. др Милана Илића, одбранио је 2007. године са оценом 10.

Мастер студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на смеру за Микроталасну технику, уписао је школске 2007/08. Све испите на мастер студијама положио

је са оценом 10. Мастер рад на тему „Микрострип patch антене за RFID апликације са мобилним читачем“, под менторством проф. др Бранка Колунџије, одбранио је 2009. године са оценом 10.

Докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на смеру за Микроталасну технику, уписао је школске 2008/09. Све испите на докторским студијама положио је са оценом 10. Докторске студије је уписао по други пут школске 2020/21, и признати су му сви раније положени испити. Окосницу истраживачког рада у вези са докторском тезом чине алгоритми за четвороугаону сегментацију CAD (Computer-Aided Design) геометрије, са фокусом на алгоритмима који генеришу мрежу која је погодна за примену у анализи базираној на методи момената која користи функције базиса вишег реда.

Професионалну каријеру започео је у септембру 2008. године, као стручни сарадник у сектору за истраживање и развој у предузећу WIPL-D д.о.о. у Београду. Од новембра 2015. године ради као руководилац сектора за истраживање и развој у предузећу WIPL-D д.о.о. Главне области професионалног ангажовања су му: дизајн софтвера, развој интерфејса и нумеричких алгоритама у софтверу за нумеричку електромагнетску анализу; CPU, GPU и MPI паралелизација и алгоритми за четвороугаону сегментацију CAD геометрије.

Активно говори енглески језик.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

У докторској дисертацији под насловом „Алгоритми за површинску сегментацију оптимизовани за ефикасну електромагнетску анализу“ дат је опис нове методе за креирање четвороугаоне мреже CAD геометрије, произвољне тополошке и геометријске сложености, која је оптимизована за ефикасну електромагнетску анализу.

Дисертација је написана на српском језику, латиничним писмом. Укупан број страна дисертације, почевши од увода и укључујући литературу и прилоге, је 151. Дисертација је организована у 11 поглавља, има 113 слика, 9 табела и листу од 137 референци. Наслови поглавља су:

1. Увод,
2. Електромагнетско моделовање засновано на методи момената и површинским интегралним једначинама,
3. Терминологија и преглед метода за четвороугаону сегментацију,
4. Кратак опис методе,
5. Полигонска апроксимација криве,
6. Подела на квази-планарне површине¹,
7. Пресликавање површина у основни домен,
8. Уметање помоћних сегмената за парност полигона,
9. Четвороугаона сегментација CAD површина,
10. Примери примене нове методе за сегментацију на електромагнетским проблемима, и
11. Закључак.

¹ Под појмом „површина“ подразумева се део површи који представља основни градивни елемент CAD геометрије, као што је дефинисано у дисертацији.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу су дефинисани предмет и циљ истраживања, и описани су актуелност и значај тематике обрађене у дисертацији.

У другом поглављу је дат опис методе за електромагнетско моделовање, за коју је оптимизована метода за сегментацију предложена у дисертацији. Ради се о методи момената примењеној на површинске интегралне једначине, а у којој се користе специјалне технике за подизање ефикасности електромагнетске анализе: четвороугаони површински елементи и функције базиса вишег реда.

У трећем поглављу је најпре дат преглед формата који се користе за описивање тродимензионалне геометрије. Уведена је основна терминологија везана за мреже четвороуглова, као и класификација мрежа по више критеријума. Описане су основне класе метода за четвороугаону сегментацију, са нешто детаљнијим описом метода које се најчешће користе у пракси или су значајне за разумевање методе предложене у дисертацији. Како се метода описана у дисертацији заснива на генерализацији сегментације равних полигона, у овом поглављу је дат и преглед метода за четвороугаону сегментацију равних полигона. Коначно, дат је и кратак осврт на методе за обраду четвороугаоне мреже, од којих су, са становишта методе предложене у дисертацији, најзначајније оне које се односе на рафинацију поделе у циљу подизања квалитета појединих елемената мреже.

У четвртном поглављу дат је кратак опис методе за четвороугаону сегментацију предложене у дисертацији. Циљ овог поглавља јесте да да грубу слику о основним идејама на којима се метода заснива и омогући боље разумевање детаљног описа појединих фаза сегментације, који је дат у следећим поглављима дисертације.

У петом поглављу дат је детаљан опис алгоритма за полигонску апроксимацију криве, који се користи у више фаза предложене методе.

У шестом поглављу је описана подела свих површина од којих се разматрана CAD геометрија састоји на квази-планарне површине, а које је могуће једнозначно пројектовати на референтну раван.

У седмом поглављу описани су пресликавање површина у основни домен, који представља полигон у равни, те додатна обрада полигона односно одговарајуће површине.

У осмом поглављу је описан алгоритам за уметање помоћних сегмената за парност, што је неопходно за креирање чисте четвороугаоне мреже.

У деветом поглављу је описана четвороугаона сегментација у основном домену и креирање финалне мреже. У овом поглављу је дат и осврт на генерализацију методе, тако да се уместо билинеарних креирају закривљени криволинијски четвороугаони елементи.

У десетом поглављу дати су примери примене нове методе за четвороугаону сегментацију на реалистичне електромагнетске моделе, те поређење ове методе са неким другим комерцијално доступним методама.

У једанаестом поглављу су дати закључци, као и смернице за даље истраживање.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

У широком спектру апликација из области примењене електромагнетике постоји растућа потреба за прецизним 3D електромагнетским анализама, које се врше применом неке од нумеричких метода. Једна од најчешће коришћених метода за 3D електромагнетску анализу металних и диелектричних структура у фреквенцијском домену јесте метода момената

примењена на решавање површинских интегралних једначина. Да би проблем могао бити решен применом ове методе, сам модел мора бити представљен мрежом основних градивних елемената, најчешће троугловима или билинеарним четвороугловима. Са друге стране, у највећем броју случајева, те у свим најшире коришћеним комерцијалним алатима, модел чија се електромагнетска анализа врши задат је као CAD модел, чије су површине дефинисане аналитичким или NURBS функцијама. Да би се овакав модел прилагодио решавању применом поменутих нумеричке технике, мора се извршити његова сегментација на основне елементе.

Сама област техника за сегментацију је веома широка и веома атрактивна у последњих неколико деценија. Примарни фокус у истраживању покривеном дисертацијом је на методи која је оптимална за област електромагнетске анализе, али су технике сегментације веома значајне и за друге области, као што су геометријско моделовање, компјутерска графика и анимација, као и нумеричка анализа у областима попут архитектуре или динамике флуида.

У дисертацији је предложена и детаљно описана нова метода за четвороугаону сегментацију CAD геометрије, која је оптимизирана за ефикасну електромагнетску анализу. Нова метода је заснована на директном креирању четвороугаоне мреже, без троугаоне мреже као међукорак. На овај начин се постиже већа брзина креирања мреже уз елиминацију утицаја квалитета иницијалне троугаоне на квалитет финалне четвороугаоне мреже. Метода се може сврстати у групу метода заснованих на подели геометрије на макро елементе, јер предвиђа да се мрежа креира за сваку површину CAD модела засебно, а једини захтев који постоји на граници двеју површина јесте повезаност мреже.

Нова метода је имплементирана у Parasolid технологији и тестирана на реалистичним електромагнетским проблемима, који су симулирани у програмском пакету WIPL-D. Показано је да метода има све особине неопходне за ефикасну електромагнетску анализу. Пре свега, метода показује велику робусност. Креирање мреже применом нове методе није временски захтевно, па је за практично све реалистичне моделе трајање сегментације занемарљиво у односу на трајање електромагнетске анализе. Мреже креиране применом нове методе показују адаптивност и анизотропију елемената (издуженост елемената у областима са великом разликом у радијусу главних линија закривљености површи), које су неопходне особине за постизање доброг геометријског моделовања уз минимизацију броја елемената. У дисертацији је приказано поређење резултата електромагнетске симулације са аналитичким резултатима и резултатима мерења, које потврђује високу тачност геометријског и електромагнетског моделовања за мреже добијене применом нове методе.

Такође, дато је поређење нове методе са методом базираном на троугаоној сегментацији коришћењем комерцијално доступног софтвера MeshSim и конверзији троугаоне у четвороугаону мрежу. Показује се да се применом нове методе значајно смањује број елемената мреже, уз повећање фактора квалитета. То доводи до значајног смањења броја непознатих коефицијената, те коначно рачунарских и временских ресурса потребних за електромагнетску анализу.

Коначно, нова метода се састоји од више практично независних целина. Ова чињеница даје могућност модификовања или оптимизације сваке целине независно. То је у дисертацији приказано на примеру генерализације методе, тако да се уместо билинеарних четвороуглова мрежа састоји од закривљених криволинијских четвороуглова. Ова генерализација је спроведена модификацијом само једне фазе алгорита, и то последње која се односи на пројектовање четвороугаоне мреже из основног домена на CAD површину.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Коришћена литература, чији је преглед дат у дисертацији, обухвата 137 наслова који се односе на стручне књиге и научне радове из области нумеричке електромагнетике и

површинске сегментације. Велики број радова новијег датума указује на актуелност обрађене тематике. У дисертацији су јасно истакнуте предности и недостаци појединих метода за четвороугаону сегментацију, са посебним освртом на њихову применљивост на сегментацију CAD геометрије погодну за ефикасну електромагнетску анализу. Посебно су наглашене предности методе предложене у дисертацији у односу на методе раније предложене у литератури. На основу изложеног може се закључити да је у току израде докторске дисертације кандидат опсежно анализирао литературу релевантну за област истраживања којој дисертација припада.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Научне методе примењене током израде докторске дисертације могу се систематизовати на следећи начин:

1. Прикупљање и анализа литературе која се односи на алгоритме за четвороугаону површинску сегментацију равних полигона и CAD геометрије.
2. Постављање хипотеза за решавање разматраног проблема.
3. Развој алгоритама за четвороугаону сегментацију CAD геометрије
 - a. Подела алгоритама за сегментацију на више независних целина, како би се почетни сложени проблем декомпоновао на више једноставних потпроблема.
 - b. Оптимизација алгоритама за решавање сваког од потпроблема.
4. Провера хипотеза и тестирање алгоритама кроз нумеричке експерименте
 - a. Креирање референтне базе модела на којима ће бити извршено поређење различитих алгоритама четвороугаоне сегментације.
 - b. Дефинисање критеријума за поређење квалитета четвороугаоних мрежа, а који обухвата поређење: тачности електромагнетске анализе, ефикасности анализе у смислу захтеваних рачунарских и временских ресурса, те робусности и брзине самог поступка сегментације.
 - c. Поређење више алгоритама за сегментацију у складу са дефинисаним критеријумом и избор оптималног.

На основу анализе докторске дисертације и постигнутих научних доприноса може се закључити да су примењене научне методе адекватне спроведеном истраживању, као и теми дисертације. Применом наведених метода могуће је додатно унапредити методу за четвороугаону сегментацију описану у дисертацији.

3.4. Применљивост остварених резултата

Главни резултат истраживања описаног у дисертацији јесте нова метода за четвороугаону сегментацију CAD геометрије произвољне тополошке и геометријске сложености, која је погодна за ефикасну електромагнетску анализу. Развијена метода се може користити за креирање четвороугаоне мреже CAD геометрије у широком спектру апликација из области примењене електромагнетике.

С обзиром да развијена метода представља генералну методу за четвороугаону површинску сегментацију, осим у области нумеричке електромагнетике, она може бити корисна и у другим областима попут термодинамике, динамике флуида, акустике, итд.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током рада на дисертацији кандидат Бранко Мрдаковић је извршио опсежан преглед релевантне литературе из области метода за површинску сегментацију, као и упоредни преглед и анализу метода предложених у литератури. Кандидат је показао способност дефинисања проблема и идентификовања главних недостатака које методе предложене у литератури имају, те усмеравању истраживања у смеру решавања идентификованих проблема.

Кандидат је учествовао на водећим међународним конференцијама из области истраживања приказаног у дисертацији, где је показао умешност у презентовању својих резултата. Током рада на дисертацији објавио је рад у међународном часопису и више радова на међународним конференцијама. Део истраживања није до сада објављен и први пут се појављује у дисертацији.

На основу свега наведеног може се констатовати да је кандидат достигао висок степен способности за самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Главни научни доприноси који су остварени у оквиру докторске дисертације су следећи:

1. Развој нове методе за четвороугаону површинску сегментацију CAD геометрије, која је оптимизирана за ефикасну електромагнетску анализу применом методе момената и функција базиса вишег реда.
2. Развој ефикасне хеуристичке методе за екстракцију облика CAD површине и њену поделу по главним линијама закривљености.
3. Модификација алгорита за сегментацију равног полигона како би се омогућила његова примена на сегментацију закривљених полигона.
4. Нова метода за додавање тачака за парност полигона повезаних у произвољну геометрију.
5. Екстензија развијене методе за сегментацију тако да се омогући креирање квалитетних мрежа које се састоје од закривљених криволинијских елемената.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу увида у полазне претпоставке, постављене циљеве истраживања и остварене резултате, констатујемо да је кандидат Бранко Мрдаковић успешно одговорио на сва релевантна питања којима се бави дисертација.

Развијена је нова метода за четвороугаону површинску сегментацију CAD геометрије која, када је у питању сегментација погодна за ефикасну електромагнетску анализу, показује супериорност у односу на методе предложене у литератури и доступне у комерцијалним софтверским алатима за површинску сегментацију.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Бранко Мрдаковић је публикувао следеће научне радове који су у вези са његовом докторском дисертацијом.

Категорија M23:

1. **B. Lj. Mrdakovic**, B. M. Kolundzija, "Improvements in Insertion of Auxiliary Parity Segments in WIPL-D All-Quad Meshing Algorithm", ACES Journal, vol. 35, no. 11, November 2020, doi: 10.47037/2020.ACES.J.351116. (IF=0,724) (ISSN 1054-4887)

Категорија M33:

1. B. M. Kolundzija, **B. Lj. Mrdakovic**, M. M. Kostic and D. S. Sumic, "Efficient EM modeling based on conversion of triangular mesh into quadrilateral mesh," 2009 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications, 2009, pp. 47-50.
2. B. M. Kolundzija, M. M. Kostic, **B. Lj. Mrdakovic** and D. S. Sumic, "Comparison of different strategies for conversion of triangular mesh into quadrilateral mesh," Proceedings of the Fourth European Conference on Antennas and Propagation, 2010, pp. 1-5.
3. M. M. Kostic, B. M. Kolundzija, D. S. Sumic and **B. Lj. Mrdakovic**, "Optimized quadrilateral mesh for higher order method of moment based on triangular mesh decimation," 2010 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 2010, pp. 1-4, doi: 10.1109/APS.2010.5561851.
4. **B. Lj. Mrdakovic**, M. M. Kostic, D. P. Zoric, M. M. Stevanetic, M. S. Tasic and B. M. Kolundzija, "Quadrilateral meshing technique optimized for higher order basis functions," 2013 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI), 2013, pp. 2335-2336.
5. **B. Lj. Mrdakovic**, M. M. Kostic, D. P. Zoric, M. M. Stevanetic, M. S. Tasic and B. M. Kolundzija, "A new method for quadrilateral meshing of arbitrary shaped geometry based on meshing of flat polygons," The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014), 2014, pp. 3417-3421.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Комисија сматра да докторска дисертација „Алгоритми за површинску сегментацију оптимизовани за ефикасну електромагнетску анализу” кандидата Бранка Мрдаковића испуњава све суштинске и формалне услове који су предвиђени Законом о високом образовању, Универзитетским правилником о докторским студијама, Статутом и Правилником о докторским академским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Резултати истраживања остварени при изради ове докторске дисертације представљају научне доприносе који припадају области Електромагнетика, антене и микроталаси, за коју је Електротехнички факултет Универзитета у Београду матичан.

У дисертацији је разматран проблем четвороугаоне сегментације САД геометрије, произвољне тополошке и геометријске сложености, која је погодна за ефикасну електромагнетску анализу. Предложена је и детаљно описана нова метода за четвороугаону сегментацију, која је оптимизована за ефикасну електромагнетску анализу. Истакнуте су предности нове методе у односу на методе предложене у литератури. Показује се да се метода одликује великом робусношћу и брзином, а да креирана мрежа показује све пожељне особине: усаглашеност, адаптивност и анизотропију елемената.

Тачност геометријског, и последично електромагнетског моделовања, је потврђена поређењем резултата симулације са аналитичким и мереним резултатима. У дисертацији је такође показана супериорност нове методе над широко коришћеном методом базираном на креирању квалитетне мреже троуглова и њеној конверзији у мрежу четвороуглова. Коначно, у дисертацији су дефинисани правци даљег истраживања у циљу додатног унапређења предложене методе.

Имајући у виду наведено, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под насловом „Алгоритми за површинску сегментацију оптимизовани за ефикасну електромагнетску анализу” кандидата **Бранка Мрдаковића** прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 01.08.2022. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



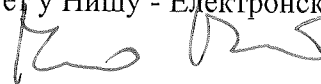
др Миодраг Тасић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



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



др Небојша Дончов, редовни професор
Универзитет у Нишу - Електронски факултет



др Марко Мишић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Наташа Тировић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

