КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ II СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 06.06.2023. године именовала нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада кандидата Лазара Митровића, дипл. инж. електротехнике и рачунарства, под насловом **„Анализа перформанси техника дигиталног прекодирања у вишекорисничким MIMO системима са подршком приступа ИоТ уређаја“**. Након прегледа материјала комисија подноси следећи

И З В Е Ш Т А Ј

1. Биографски подаци кандидата

Лазар Митровић је рођен 29.03.1998. године у Пожаревцу. ОШ „Вук Караџић“ и Пожаревачку гимназију завршио је у Пожаревцу, обе као носилац дипломе „Вук Караџић“, као и других признања из области математике, физике и историје. Нижу музичку школу „Школа за основно и средње музичко образовање Стеван Мокрањац у Пожаревцу“, на одсеку за хармонику, завршио је са општим успехом 5,00. Основне академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Електротехника и рачунарство, модул Телекомуникације и информационе технологије, смер Системско инжењерство, уписао је 2017. године, а завршио их је 2021. године са просечном оценом 8,52, одбраном завршног рада „Развој софтверског пакета за прорачун интерференције у радио-релејној мрежи” са оценом 10,00 (ментор др Наташа Нешковић, редовни професор). Мастер академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, уписао је у октобру 2021. године на модулу Информационо комуникационе технологије, положио све предвиђене испите са просечном оценом 10,00. Запослен је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, као сарадник у настави при катедри за Телекомуникације.

2. Извештај о студијском истраживачком раду

Кандидат Лазар Митровић је у циљу припреме за израду мастер рада обавио опсежно истраживање релевантне литературе која се односи на област којој припада тема мастер рада. Конкретно, анализирао је проблеме везане за даљи развој бежичних комуникационих мрежа, а посебно развој нових технологија преноса у циљу побољшања спектралне и енергетске ефикасности. Спроведено истраживање је указало на потребу коришћења вишекорисничких MIMO система уз примену техника дигиталног *beamforming*-а, тј. прекодирања у случају преноса у *downlink* правцу. Разматране су предности и недостаци постојећих линеарних и нелинеарних техника прекодирања, нарочито у смислу могућности ортогонализације преноса и рачунске сложености. Додатно, кандидат је изучавао предложене правце развоја поступака за груписање корисника у случају *massive* MIMO система, када је број корисника већи од броја антена на предаји, и могућности комбиновања техника прекодирања са њима. Током истраживања, дефинисани су основни захтеви за потребе развоја симулационог модела, као и почетни развој симулационог окружења у програмском пакету МАТЛАБ, у којем су вршене нумеричке анализе за потребе израде мастер рада коришћењем *Monte Carlo* симулација.

3. Опис мастер рада

Мастер рад обухвата 72 стране, са укупно 37 слика, 20 референци и 5 табела, и садржи увод, четири поглавља и закључак (укупно шест поглавља), као и списак слика, табела, скраћеница и литературе. Предмет мастер рада је била свеобухватна анализа перформанси широког скупа линеарних и нелинеарних техника прекодирања за подршку просторног мултиплексирања и формирања снопа (енг. *beamforming*) применом вишеантенског система на предаји у вишекорисничким MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) системима. При томе, посебна пажња посвећена је анализи могућности да се у оквиру посматраног типа система

подржи масован приступ ИоТ (енг. *Internet of Things*) уређаја, који карактерише специфичан просторни распоред и број крајњих уређаја, као и карактеристике бежичног канала.

Прво поглавље рада дефинише предмет, циљ и мотивацију, док су у другом поглављу уведени појмови MIMO, MU-MIMO (енг. *Multiuser* MIMO) и mMIMO (енг. massive MIMO) система, односно дат је осврт на развој ових система у mmWave и sub-THz РФ опсезима. Дати су фактори који ограничавају перформансе MU-MIMO система, уз опис матричног модела MIMO канала коришћеног у раду. Обрађен је теоријски капацитет детерминистичког и ергодичног MIMO канала у сценаријима када је CSI (енг. *Channel State Information*) позната или непозната (на предајној страни). Треће поглавље садржи теоријски опис линеарних (ZF и RZF) и нелинеарних (DPC, THP, GSP и VP) техника дигиталног прекодирања, при чему је уз опис математичког модела, дата класификација *beamforming* техника, опис класичног *Water-filling* алгоритма и других појмова. Дат је и опис постојећих техника за груписање корисника.

Четврто поглавље садржи теоријску основу за развој симулационог модел система, који је коришћен за потребе нумеричке анализе перформанси посматраних техника, као и упоредни преглед рачунске сложености датих техника дигиталног прекодирања и груписања корисника. Додатно, дат је опис два разматрана сценарија рада MIMO система, уз детаљан преглед параметара симулационог модела за анализу ових сценарија рада. У петом поглављу су дати резултати и изведени закључци нумеричке анализе за MU-MIMO системе са бројем корисника који је мањи или већи од броја предајник антена. У завршном поглављу су дати закључци спроведене теоријске и нумеричке анализе mMIMO система, а посебно постојећих техника прекодирања и груписања корисника предложених за примену у овим системима

3. Анализа рада са кључним резултатима

Мастер рад кандидата Лазара Митровића бави се проблемом примене и анализе скупа дигиталних техника прекодирање и поступака груписања корисника у MU-MIMO системима са подршком масовног приступа ИоТ уређаја. Основни доприноси рада су: 1) развој и реализација симулационог окружења за потребе свеобухватне анализе MU-MIMO система и перформанси техника дигиталног прекодирања, 2) опсежна анализа перформанси широког скупа техника за прекодирање и груписања корисника за различите сценарије рада MIMO система, и 3) изведени су закључци у циљу избора погодних техника за дате сценарије рада.

4. Закључак и предлог

Кандидат Лазар Митровић, дипл. инж. електротехнике и рачунарства, је у свом мастер раду извршио упоредну анализу скупа техника за прекодирање у MU-MIMO системима, уз могућу примену метода за груписање корисника у mMIMO системима, у погледу оствареног капацитет система (тј. спектралне ефикасности) и рачунске сложености. Након теоријске анализе, изабрао је репрезентативни скуп техника, за који је извршио анализу перформанси путем нумеричке анализе на бази *Monte Carlo* поступка у развијеном симулационом моделу. Кандидат је показао самосталност и систематичност у раду, као и способност да самостално препозна, дефинише и реши проблеме из предметне области. На основу изложеног, Комисија предлаже Комисији за студије II степена Електротехничког факултета Универзитета у Београду да рад кандидата Лазара Митровића, дипл. инж. електротехнике и рачунарства, прихвати као мастер рад и кандидату одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 15.09.2023. године

Чланови комисије:

Горан Марковић

Др Горан Б. Марковић, ванр. проф.

Весна Благојевић

Др Весна М. Благојевић, ванр. проф.

Дејан Драјић

Др Дејан Д. Драјић, редовни проф.