

ПРИМЛ:	12. 07. 2024
ОРГ. ЈЕДИН:	
830/1	

**УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
КОСОВСКА МИТРОВИЦА**

**НАСТАВНО - НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА У КОСОВСКОЈ
МИТРОВИЦИ**

Предмет: Извештај комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Драгише Миљковића

На основу Одлуке Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Косовској Митровици број 784/3-4 од 08.07.2024. године о именовању комисије за писање извештаја за преглед, оцену и одбрану урађене докторске дисертације под насловом „Коришћење метода истраживања података за препознавање расподела сигнала и њихових параметара у реалним процесима“ кандидата Драгише Миљковића, чланови комисије у саставу:

1. др Драгана Радосављевић, ванр. проф., ФТН К. Митровица – председник,
2. др Бошко Николић, ред. проф., ЕТФ Београд – члан,
3. др Синиша Илић, ред. проф., ФТН К. Митровица – ментор,
4. др Бранимир Јакшић, ванр. проф., ФТН К. Митровица – члан и
5. др Петар Спалевић, ред. проф., ФТН К. Митровица – члан

подносе Наставном већу Факултета техничких наука у Косовској Митровици следећи:

ИЗВЕШТАЈ

Наслов и обим дисертације

Наслов докторске дисертације је: „Коришћење метода истраживања података за препознавање расподела сигнала и њихових параметара у реалним процесима“, која је написана на 165 страна и састоји се од 9 поглавља.

Место дисертације у одговарајућој научној области

Предмет истраживања докторске дисертације припада научној области **Електротехничко и рачунарско инжењерство** за коју је Факултет техничких наука у Косовској Митровици акредитован, односно ужој научној области **Рачунарска техника и информатика**.

Биографски подаци о кандидату

Драгиша Миљковић је рођен 20.12.1989. године у Косовској Митровици. Основну и средњу школу (гимназија друштвено-језичког смера) је завршио у Косовској Митровици (ОШ „Свети Сава“ и „Гимназија Косовска Митровица“).

Након завршене средње школе уписао је Факултет техничких наука Косовска Митровица, на одсеку Електротехничко и рачунарско инжењерство, смер Рачунарство и информатика. Основне студије је завршио као инжењер електротехнике и рачунарства са просечном оценом 9,50. На истом факултету је завршио и мастер студије са просечном оценом 9,75 и стекао звање мастер инжењера електротехнике и рачунарства.

У периоду од октобра 2014. године до октобра 2016. године, радио је на Факултету техничких наука Косовска Митровица у својству сарадника у настави за ужу научну област рачунарство и информатика. Од октобра 2016. године до октобра 2022. године, радио је на истој установи у својству асистента за ужу научну област рачунарство и информатика. Од октобра 2022. године до априла 2024. је на истој установи био ангажован у звању лаборант за електротехнику и телекомуникације. Од априла 2024. поново ради као асистент на матичној установи.

Након завршених мастер студија, уписао је докторске академске студије на Факултету техничких наука Косовска Митровица, одсек Електротехничко и рачунарско инжењерство где је тренутно на трећој години студија, са просечном оценом 10,00.

У току свог рада на Факултету техничких наука Косовска Митровица био је ангажован на следећим предметима: Оперативни системи 1, Оперативни системи 2, Објектно-оријентисано програмирање 1, Објектно-оријентисано програмирање 2, Програмирање 1, Програмирање 2, Конкурентно и дистрибуирано програмирање, Програмски преводиоци, Програмирање интернет апликација, Рачунарске мреже 1, Веб технологије и Рачунарске основе интернета. Учествовао је у програму стипендиране мобилности наставног особља у оквиру програма Еразмус+ и то:

Еразмус+ 2018: Стипендирана мобилност наставника на Унивезитету у Болоњи, *Alma Mater Studiorum – Universita di Bologna*, Болоња, Италија

Еразмус+ 2017: Стипендирана мобилност наставника на Технолошком универзитету у Лублину, *Politechnika Lubelska*, Лублин, Пољска.

ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ДИСЕРТАЦИЈЕ

У добу у којем живимо човек је у могућности да мери и анализира мерене податке у реалном времену. То је омогућено развојем квалитетних сензора који промене посматране величине претварају у промене одговарајуће електричне величине формирајући тако електрични сигнал. Одмеравањем сигнала добијају се његове дискретне вредности које се, употребом различитих алгоритама, могу анализирати и обрађивати.

У неким практичним применама мерења и анализе података (сигнали на базним станицама мобилне телефоније са вишеструким антенама, мерење параметара ветра код производње електричне енергије помоћу ветрењача, процена интервала код заражавања вирусом COVID-19, карактеристика ЕЕГ сигнала, процењивање нивоа падавина, итд.) важно је да се одреди сличност расподеле (дистрибуције) сигнала који се мери и анализира у односу на одређену теоријски дефинисану расподелу.

Предмет истраживања докторске дисертације базира се на проналажењу новог приступа за детекцију, односно препознавање расподеле сигнала који се анализира као и параметара расподеле тог сигнала методама **истраживања података**. За конкретне примере у пракси често су познати скупови могућих теоријских расподела, а на основу опсега измерених вредности могу се претпоставити и могући опсеги вредности параметара који описују те расподеле.

У дисертацији је посебна пажња посвећена препознавању сигнала у реалном процесу код диверзити пријемника у базним станицама мобилне телефоније на чијим се антенама теоријски налазе сигнали са следећим расподелама: Накагамијева, Вејбулова, Рејлијева, Гама, Рајсова, и друге. У реалном процесу, пријемник на базним станицама анализира различите параметре сигнала и, у зависности од конструкције, са више пријемних антена бира онај сигнал чија комбинација вредности параметара даје најбољу вредност одређене статистичке карактеристике. Препознавање расподеле амплитуде сигнала, као и њених параметара на антенама пријемника, омогућује пријемнику да изабере сигнал који има најбољи квалитет.

У циљу одређивања тачности употребљених алгоритама за препознавања расподеле посматраног сигнала и њених параметара, у дисертацији су коришћени генератори случајног сигнала са задатим теоријским расподелама и са задатим вредностима параметара тих расподела. Коришћењем метода истраживања података могуће је препознавање неке од предефинисаних расподела тих сигнала и параметара анализираног сигнала, на основу чега се израчунава и квантификује грешка препознавања.

Да би се одредила тачност изабране методе, у дисертацији је извршено тестирање алгоритама препознавања над великим бројем генерисаних сигнала са различитим расподелама и вредностима параметара расподеле.

Примарни задатак истраживања у дисертацији јесте да се применом алгоритама истраживања података одреди поуздан метод којим ће се извршити препознавање теоријске расподеле и њених параметара у анализираном сигналу, на основу израчунатих карактеристика тог сигнала. Карактеристике сигнала треба израчунати на основу вредности одмерака који припадају анализираном сигналу. Како је већина сигнала који се анализира континуална (непрекидна у дужем временском интервалу) то је потребно сигнал поделити и анализирати у еквидистантним (кратким) временским интервалима. Краткотрајни сигнали могу мењати своје карактеристике у току времена, па тако у једном тренутку могу имати једну а у другом другу расподелу.

Једна од карактеристика краткотрајног сигнала која се може релативно брзо израчунати на основу вредности његових одмерака је нормализована дискретна кумулативна расподела сигнала - НДКР. Она се израчунава тако што се прво одреди опсег могућих вредности (од минималне до максималне) који одмерци тог сигнала могу да имају и тај опсег се подели у K једнаких интервала (под-опсега, $k = 1, \dots, K$). Онда се за сваки интервал одреди број одмерака Y_k који припадају сигналу и чија је вредност мања или једнака горњој граници X_k тог под-опсега. На овај начин се добија зависност $Y(X)$ у k тачака. На крају је потребно сваку вредност Y_k поделити са укупним бројем одмерака у сигналу и тада се карактеристика $Y(X)$ креће у границама $(0, 1)$.

За сваку теоријски дефинисану расподелу сигнала позната је математичка формула те расподеле, као и њене кумулативне расподеле, па је стога употребом нелинеарне

регресије, као једне од метода истраживања података, олакшан поступак препознавања параметара расподеле у анализираном сигналу. Алгоритам покушава да кроз тачке израчунате нормализоване дискретне кумулативне расподеле анализираног сигнала уклопи (фитује) криву из задате математичке формуле и при томе одреди вредности параметара формуле за које се добија минимална грешка фитовања. Очигледно је да поступак траје дуже уколико је број тачака карактеристике $Y(X)$ већи. Смањивање укупног времена за препознавање расподеле и параметара расподеле, али уз задржавање поузданог (тачног) рада алгоритма у реалном времену, представља **други (практичан) циљ дисертације**. У раду је извршен довољан број експеримената у којима се мења дужина сигнала (број одмерака сигнала), број подопсега за израчунавање нормализоване дискретне кумулативне расподеле, грешка у препознавању расподеле и њених параметара, и мери време (број корака) потребно за препознавање. На основу наведених величина, дате су препоруке за оптималне вредности које омогућавају брзо и тачно препознавање.

Трећи циљ истраживања је развој софтверског алата (програма) који омогућава испуњавање претходних циљева. Комбиновањем програмирања у изабраном програмском језику и употребе већ постојећих алата за истраживање података развијена је апликација која: генерише сигнал чији одмерци имају задату расподелу са одређеним параметрима и задатом дужином сигнала, израчунава НДКР сигнала (са унапред задатим бројем тачака у којима се НДКР израчунава) и тако генерисани сигнал шаље на препознавање већ развијеном софтверу за истраживање података. На основу величине грешке, апликација затим од добијених резултата, бира једну од могућих расподела и њене параметре са најмањом грешком и резултате смешта у одговарајућу табелу. Предложени алгоритам врши обраду сигнала и одређивање исправне расподеле вероватноће улазног сигнала без икаквог априори знања, чиме се омогућује даље истраживање у препознавању расподела које нису експлицитно анализирани у дисертацији.

Основне хипотезе

Главна хипотеза на којој се базира докторска дисертације је да се употребом метода истраживања података може са великом тачношћу извршити препознавање расподеле анализираног сигнала и вредности њених параметара.

На основу дефинисаног предмета и циљева истраживања може се издвојити неколико посебних хипотеза:

- За већину теоријских расподела од интереса познати су математички модели (формуле) и за њихове кумулативне расподеле
- За већину теоријских расподела могуће је генерисати одмерке псеудо-случајног сигнала, са минималним одступањем од теоријске расподеле
- Релативно брже препознавања расподеле анализираног сигнала и њених параметара могуће је постићи оптимизацијом алгоритма, односно филтрирањем очекиваних расподела и њених параметара
- Понављањем експеримената препознавања са различитим вредностима параметара расподеле у генерисаном сигналу велики број пута, добијају се тачнији резултати успешности препознавања
- Понављањем експеримената препознавања са различитим дужинама сигнала и израчунавањем нормализоване дискретне кумулативне расподеле (НДКР)

сигнала са различитим бројем тачака, на основу добијене грешке у препознавању може се установити оптимална дужина сигнала и број тачака НДКР за брзо и тачно препознавање.

ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

У оквиру докторске дисертације анализирана је тачност препознавања расподела, као и параметара расподела сигнала који су проучавани. Исто тако у дисертацији је приказан развијени софтвер који генерише случајан сигнал са задатом расподелом, врши препознавање расподеле сигнала са и без додатог шума. На крају дисертације анализирана је могућност примене препознавања расподеле сигнала директно над мереним подацима који се чувају у самом систему за управљање базама података.

Садржај дисертације

Дисертација садржи 165 страна рукописа и састоји се од 9 поглавља:

1. Увод,
2. Методе истраживања података,
3. Процес препознавања расподела вероватноће у каналима фединга и њихових параметара,
4. Генерисање и обрада сигнала,
5. Примена нелинеарне регресије за препознавање канала фединга и анализа резултата,
6. Примена нелинеарне регресије за анализирање интернет саобраћаја,
7. Софтвер за рад са сигнаlima, препознавање сигнала и анализу резултата,
8. Закључак и
9. Литература

Дисертација је илустрована са 51 сликом и има 10 табела, а литературни преглед садржи 108 референци, при чему је већи део новијег датума.

У првом поглављу дисертације наведени су предмет и циљеви истраживања, као и полазне хипотезе. У другом поглављу су представљене методе истраживања података које су коришћене за остваривање циљева дисертације, начини сакупљања и обраде података, моделовање процеса, тренирање и тестирање скупова података, као и евалуација модела на основу различитих метрика за оцену правилног одабира модела. Показани су алгоритми за препознавања расподела и њихових параметара и представљене технике нелинеарне и линеарне регресије. На крају поглавља извршен је преглед алата за истраживање података који су коришћени у дисертацији.

Теоријски опис фединга (преноса сигнала до пријемника приликом кога долази до разних варијација у јачини сигнала) и могућих модела расподела сигнала (Гама, Рејлијев, Рајсов, Накагамијев, Вејбулов) дат је у трећем поглављу. У њему је дат и досадашњи преглед литературе која се бави одређивањем модела фединга.

У четвртном поглављу је описано како се генеришу одмерци сигнала који ће бити у складу са задатом расподелом и параметрима расподеле, како ће бити израчуната стварна расподела произвољног сигнала, и како ће се извршити фитовање расподеле произвољног сигнала кроз тачке теоријски утврђене расподеле, са циљем да се пронађе која је расподела у одмерцима случајног сигнала и које су вредности њених

параметара. За овај процес аутор је приказао и детаљан алгоритам и псеудо-код редоследа операција.

На основу теоријског описа фединга (описаног у трећем поглављу) и показаног алгоритма препознавања (описаног у четвртном поглављу) у петом поглављу су показани конкретни резултати препознавања расподеле случајних сигнала који су генерисани у складу са задатим теоријским расподелама без и са додатим шумом. У складу са постављеним задацима за докторску дисертацију, анализирано је препознавање расподела и њених параметара у случајном сигналу, са различитим дужинама тог сигнала, када је случајан сигнал генерисан по задатим параметрима изабране расподеле и када је том сигналу додат шум чији је однос сигнал/шум 20dB и 25dB. Сходно претпоставци, препознавање расподела је било тачније код сигнала са већим бројем одмерака, али не толико значајније од препознавања расподела са десет пута мањим дужинама сигнала – свега за пар процената. Препознавање расподела случајног сигнала са мањим бројем одмерака омогућава знатно мање кашњење (енгл. *latency*) у преносу сигнала у реалном времену. С обзиром на то да се расподеле сигнала са одређеним вредностима параметара у специјалним случајевим поклапају са другим расподелама које имају друге вредности параметара, у тим случајевима расподеле случајних сигнала генерисане по параметрима једне расподеле су у одређеном броју случајева препознване као друге расподеле са другим параметрима.

У шестом поглављу извршено је препознавање сигнала о интернет саобраћају чији су подаци забележени у реалном окружењу и смештени у базу података. Испитиван је утицај дужине временских прозора на облик НДКР и фитоване расподеле вероватноће. Уочена је корелација између типова фитованих расподела и појаве DDoS напада у односу на нормалан интернет саобраћај. . Како је један од задатака дисертације био да се методе истраживања података примене над подацима у самој бази података, како би се елиминисало кашњење узроковано извозом велике количине података из базе у велике датотеке и увоз тих података у софтвер за истраживање података, у раду је описан процес истраживања података и примена алгоритама препознавања расподела случајног сигнала над подацима унутар самог система за управљање базама података.

Развијени софтвер за рад са сигналима, препознавање сигнала и анализу резултата представљен је у седмом поглављу. У осмом поглављу је приказан сажетак добијених резултата дисертације као и дискусија резултата, а у деветом поглављу је дат списак коришћених референци за израду дисертације.

ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Савременост и оригиналност

Докторска дисертација кандидата Драгише Миљковића представља савремен и оригиналан научни допринос. До сада није објављена анализа коришћења метода истраживања података – нелинеарне регресије у препознавању расподеле одмерака случајног сигнала. Наведени резултати истраживања су потврђени објављивањем у једном часопису са СЦИ листе, као и саопштењем на две међународне конференције:

1. **D. Miljković, S. Ilić, D. Radosavljević, and S. Pitulić, "Application of nonlinear regression in recognizing distribution of signals in wireless channels," Proc. Est. Acad. Sci., vol. 72, no. 2, pp. 105–114, 2023. doi: <https://doi.org/10.3176/proc.2023.2.01>**
2. **D. Miljković, S. Ilić, B. Jakšić, and D. Radosavljević, "Probdistid: A web-based tool for identifying and parameter estimation of probability distributions," in 2nd International Conference "Conference on advances in science and technology," Herceg Novi, Montenegro, Jun. 2023, pp. 251–258. [Online]. Available: <https://confcoast.com/img-publications/52/Zbornik%20radova%202023.pdf>**
3. **D. Miljković, S. Ilić, B. Jakšić, P. Milić, and S. Pitulić, "Modeling Internet Traffic Packet Length Using Probdistid: A Case Study," in International Scientific Conference on Information Technology and Data Related Research, 2023, pp. 172–177. doi: 10.15308/Sinteza-2023-172-177.**

Оригиналноста добијених резултата је потврђена коришћењем софтвера *IAuthenticate* за детекцију плагијаризма на Универзитету у Приштини где су резултати провере показали да је утврђен укупан проценат поклапања текста од 2% и да је укупан број примарних извора са којима је утврђено поклапање исто 2%.

Опис и адекватност примењених метода

За реализовање првог циља истраживања примењена је метода нелинеарне математичке регресије. Нелинеарна регресија, као техника истраживања података, користи се за одређивање вредности параметара регресионог модела како би се пронашла крива која најближе описује експерименталне податке, или прецизније: проналажење вредности параметара који ће са највећом вероватноћом бити одговарајући. Алгоритам одређује оптималне вредности за променљиве у математичком моделу и израчунава колико крива, добијена на основу формуле са израчунатим вредностима параметара, одступа од оне која се уноси на улазу алгоритма.

При једном проласку кроз алгоритам уношене су вредности тачака НДКР сигнала, као и математички модел (формула) очекиване расподеле коју анализирани сигнал може да има. У следећем проласку се задржавају тачке НДКР сигнала и проверава се друга из скупа очекиваних расподела. Поступак се понавља онолико пута колико имамо различитих очекиваних расподела за тај сигнал. На крају се бира она расподела (математички модел) са израчунатим вредностима параметара за коју је величина грешке најмања.

За добијање поузданих резултата било је потребно генерисати велики број псеудо-случајних сигнала и поновити претходно описане кораке. У том циљу (а то је трећи циљ истраживања) развијена је апликација која те кораке обавља аутоматски. Апликација је развијена у програмском окружењу R и функционише на следећи начин: корисник одабира расподелу вероватноће по којој ће се генерисати сигнал, број одмерака (дужину) сигнала, као и жељени ниво зашумљености сигнала. Затим, се одмерци тог сигнала доводе на улаз модула за препознавање расподеле сигнала, који прво врши израчунавање нормализоване кумулативне дистрибуције тог сигнала и затим врши фитовање израчунате расподеле конкретног сигнала кроз теоријски задате могуће

расподеле са различитим параметрима. На крају софтвер израчунава метрике сличности расподеле случајног сигнала са теоријским расподелама и бира најуспешнији резултат.

Очигледно је да поступак траје дуже уколико се врши препознавање над већим бројем одмерака сигнала. Смањивање укупног времена за препознавање расподеле и параметара расподеле, али уз задржавање поузданог (тачног) рада алгоритма у реалном времену, представља други (практични) циљ дисертације. Тако су у раду извршени експерименти препознавања расподела случајног сигнала за неколико различитих дужина сигнала: од 100, 300 и 1000 одмерака. Такође, у складу са референтном литературом, одабрани су опсежи вредности параметара расподела вероватноће тако да одговарају случајевима који се могу срести у реалним процесима. Ради повећања тачности метода препознавања, експерименти су поновљени за 100 сигнала са различитим наведеним дужинама и комбинацијама параметара, а укупан број сигнала (узимајући у обзир све испитиване расподеле сигнала са различитим вредностима параметара) је 345.600. На основу изведених експеримената добијена је статистика грешака за сваку комбинацију наведених параметара за различите теоријске расподеле сигнала и наведени су оптимални параметри који омогућавају довољно брзо, али и довољно тачно препознавање расподеле и њених параметара.

Оцена постигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Драгиша Миљковић је у току израде дисертације показао да је способан како за самосталан научно истраживачки рад, тако и за активно учешће у тимском раду. То се види кроз знатан број објављених радова, као и кроз систематичност у раду.

ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Научни допринос дисертације се огледа у добијању крајњих резултата докторске дисертације, а то су:

- Развијен алгоритам за препознавање расподеле и параметара расподеле случајних сигнала применом метода истраживања података, конкретно - нелинеарне регресије,
- Препознавање расподеле сигнала, применом метода истраживања података директно у самом систему за управљање базама података где се смештају одмерци сигнала у реалном времену,
- Развој софтвера за генерисање одмерака случајног сигнала у складу са задатим параметрима расподеле, као и фитовање сигнала кроз теоријски задате могуће расподеле са различитим параметрима и избором оне са најмањом метриком грешке

Ови резултати су верификовани кроз публикације које су већ наведене и које су проистекле као резултат истраживања у оквиру теме.

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата Драгише Миљковића под насловом „**Коришћење метода истраживања података за препознавање расподела сигнала и њихових параметара у реалним процесима**“ обрађује савремену тему и има значајан научни

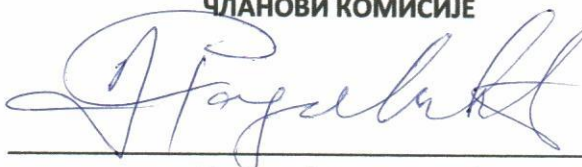
допринос. Она је у потпуности сагласна са образложењем, методама и задацима наведеним у пријави теме. Комисија потврђује да докторска дисертација има оригиналан и савремен научни допринос у области електротехничког и рачунарског инжењерства, односно у области рачунарске технике и информатике.

На основу прегледане докторске дисертације, као и увида у објављене радове произашле из дисертације, комисија за оцену и одбрану докторске дисертације закључује да кандидат Драгиша Миљковић испуњава све законске и остале прописане услове за одбрану докторске дисертације.

Стога комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Факултета техничких наука у Косовској Митровици да прихвати позитиван извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата Драгише Миљковића, под називом: „Коришћење метода истраживања података за препознавање расподела сигнала и њихових параметара у реалним процесима“, и омогући усмену одбрану исте.

У Косовској Митровици,
12. 07. 2024. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ




др Драгана Радосављевић, ванр. проф.,
Факултет техничких наука, К. Митровица, председник



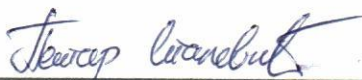
др Бошко Николић, ред. проф.,
Електротехнички факултет, Београд, члан



др Сениша Илић, ред. проф.,
Факултет техничких наука, К. Митровица, ментор



др Бранимир Јакшић, ванр. проф.,
Факултет техничких наука, К. Митровица, члан



др Петар Спалевић, ред. проф.,
Факултет техничких наука, К. Митровица, члан