



На седници Већа Докторске школе математике одржаној 30.3.2021. године, на седници Наставно-научног већа Природно-математичког факултета у Крагујевцу одржаној 14.4.2021. године, одлуком број 210/II-1, и на седници Већа за природно-математичке науке Универзитета у Крагујевцу одржаној 12.05.2021. године, одлуком број IV-01-348, одређени смо за чланове комисије за писање извештаја о оцени научне заснованости теме и испуњености услова кандидата Богдана Пирковића за израду докторске дисертације: "**Contribution to the theory of Random Environment Integer-Valued Autoregressive processes**". На основу јавне презентације предложене теме одржане 18.05.2021. године и приложене документације, комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Научни приступ проблему предложеног нацрта докторске дисертације и процена научног доприноса крајњег исхода рада

Полазне основе предложене теме докторске дисертације чине резултати досадашњих истраживања у области целобројних ауторегресивних (INAR) временских низова. INAR временске низове увели су, независно једни од других, McKenzie 1985. године и Al-Osh и Alzaid 1987. године. Уведени модели временских низова користили су се за описивање преbroјавања разних догађаја или елемената неке популације у разним областима, као што су медицина, телекомуникације, осигурање и криминологија.

Иако су се током времена појавиле бројне модификације INAR временских низова, сви конструисани временски низови били су са ненегативним целобројним вредностима. Искорак у овом правцу направио је Freeland 2010. године, када је конструисао први INAR временски низ са целобројним вредностима. Временом су се појавила разна уопштења Freeland-овог модела.

Конструисани INAR временски низови знатно су увећали флексибилност у моделирању целобројних низова података. Међутим, сви до тада уведени модели били су стационарни и као такви, нису се могли користити за моделирање појава у природи код којих је била нарушена претпоставка о стационарности. Један од првих нестационарних целобројних INAR модела увели су Настић, Лакета и Ристић 2016. године. Они су укључили нестационарност у INAR моделе увођењем новог концепта случајне околине, претпоставивши да променом услова околине долази до промене вредности параметра маргиналне расподеле временског низа. Каснија уопштења ове идеје обогаћена су додатно претпоставком да услови околине, поред утицаја на параметре маргиналне расподеле, могу утицати и на остале параметре модела (на вредност параметра тининг оператора и на ред модела). Међутим, овим моделима могли су се описивати само нестационарни временски низови са ненегативним целобројним вредностима.

Предложена тема докторске дисертације припада области математичке статистике и односи се, најпре, на увођење нестационарности у INAR временске низове који могу узимати вредности из читавог скupa целих бројева, а затим и на прилагођавање постојећих метода кластеровања који се користе за оцену стања околине. Научни допринос крајњег исхода истраживања кандидата садржан је у следећем. Најпре, кандидат ће комбиновањем стационарних INAR модела који могу узимати вредности из читавог скupa целих бројева и ненегативних INAR модела који имају нестационарну природу, конструисати нове нестационарне целобројне INAR моделе. Кандидат ће додатно, укључујећи оцену свих параметара нестационарних INAR модела вишег реда у процес кластеровања, унапредити преформансе K-means метода који се најчешће користи као алат за процену одговарајућих стања околине.

2. Образложение предмета, циљева хипотеза и метода и значај предложене теме за развој науке

2.1. Предмет, циљеви и хипотезе дисертације

Предмет истраживања докторске дисертације кандидата Богдана Пирковића су целобројни ауторегресивни (INAR) временски низови. Као релативно нов и веома актуелан правац статистичког моделирања, INAR временски низови представљају погодно тле за развој оригиналних научних идеја и допринос развоју науке. Образложение предмета истраживања које је кандидат дао, као и приложени списак литературе, недвосмислено упућују да је кандидат детаљно упознат како са историјом развоја INAR временских низова, тако и са најновијим достигнућима из ове области. Наведени фактори упућују на то да је кандидат способан да да оригинални допринос развоју целобројних ауторегресивних временских низова у случајној околини, и на тај начин допринесе развоју науке.

Као што је раније поменуто, предложена дисертација има два циља. Најпре, циљ дисертације је конструкција нових ауторегресивних временских низова у случајној околини који могу узимати целобројне вредности. Реализација овог циља донела би нове могућности у моделирању низова података са целобројним вредностима. Додатно, како је оцена стања околине сваке реализације један од кључних корака за моделирање реалних података помоћу новоуведених модела у случајној околини, циљ дисертације је прилагођавање постојећих метода кластеровања тако да оцене стања буду што прецизније. Оба наведена циља би, у случају реализације, представљала оригиналан допринос анализи целобројних временских низова.

Две су хипотезе од којих се полази у дисертацији. Најпре, полази се од хипотезе да је комбиновањем стационарних целобројних INAR модела и ненегативних INAR модела у случајној околини могуће конструисати нове INAR моделе у случајној околини који узимају вредности из читавог скупа целих бројева. Потврђивањем ове хипотезе повећала би се флексибилност у моделирању низова података са целобројним вредностима. Друга хипотеза претпоставља да је укључивањем оцена свих параметара INAR модела вишег реда у случајној околини (параметра расподеле, параметра тининг оператора и реда модела) у процес кластеровања могуће унапредити преформанс K-means метода, који је најчешће коришћен за оцену стања околине. Верификација ове хипотезе омогућила би још ефективнију примену INAR модела вишег реда у случајној околини, како постојећих тако и новоуведених.

2.2. Методе истраживања

У дисертацији ће бити коришћене методе карактеристичне за увођење нових модела. Најпре ће бити конструисани нови модели који задовољавају постављене критеријуме стационарности и могућих вредности модела. Након тога ће бити изведене нове методе за оцену непознатих параметара. Нове методе представљају прилагођавање већ познатих метода конкретном проблему оцене параметара у новоуведеним моделима у случајној околини. Ефикасност тако добијених оцена биће тестирана на симулираним низовима података. Коначно, квалитет модела биће испитан на конкретним реалним низовима података, при чему ће квалитет модела бити одређен на основу вредности стандардне грешке предвиђања (RMSE).

2.3. Оквирни садржај докторске дисертације

Предложена докторска дисертација ће садржати следећа поглавља:

1. увод,
2. идентификација и предвиђање помоћних компоненти INAR модела са асиметричном Skellam-овом маргиналном расподелом,
3. конструкција целобројних INAR модела у случајној околини,
4. адаптација K-means метода за кластеровање података,
5. закључак,
6. литература.

На основу свега наведеног може се закључити да образложение предмета дисертације, циљева, хипотеза и метода, које је кандидат приложио у писаној и усменој форми, уверљиво упућују да ће предложена тема дати јединствен допринос анализи временских низова и да је од значaja за развој науке.

3. Образложение теме за израду докторске дисертације

На основу оквирног садржаја докторске дисертације изложеног у тачки 2. овог извештаја и документацији коју је кандидат приложио, осим уводног поглавља и закључка, сва остала поглавља би садржала оригиналне научне резултате настале током израде ове дисертације или током ранијег научног рада кандидата. Сходно томе, може се закључити да ће нове, оригиналне идеје у највећој мери бити заступљене у дисертацији, и да ће проблеми представљени кроз циљеве дисертације бити анализирани на оригиналан начин.

4. Усклађеност дефиниције предмета истраживања, основних појмова, предложених хипотеза, извора података, метода анализе са критеријумима науке и поштовање научних принципа у изради коначне верзије докторске дисертације

Сви теоријски (научни) доприноси ове дисертације биће исказани у строгом математичком смислу (дефиниције, леме, теореме итд), уз прецизне одговарајуће доказе, чиме се у потпуности поштују основни критеријуми математике као науке. Сви научни резултати ће бити приказани на прегледан начин, чиме ће бити омогућен и лакши процес верификације. Том процесу ће, осим активног учешћа чланова комисије, допринети и рецензије радова послатих у познате међународне научне часописе из области математичке статистике.

5. Научна област дисертације

Предложена тема дисертације припада научној области Математика, ужа научна област Математичка статистика. У дисертацији се користе теоријски резултати како из математичке статистике, тако и из анализе временских низова.

6. Кратка биографија кандидата

Богдан Пирковић је рођен 1. септембра 1988. године у Крагујевцу. Завршио је Основну школу „Милутин и Драгиња Тодоровић“ 2003. године као носилац Вукове дипломе. Исте године, уписао је Прву крагујевачку гимназију, коју је завршио са одличним успехом. Основне академске студије математике уписао је школске 2007/08 године на Природно-математичком факултету у Крагујевцу, а завршио у септембру 2010. године са просечном оценом 8,52. Мастер студије математике на Природно-математичком факултету у Крагујевцу, смер теоријска математика, уписао је школске 2010/2011 године, и положио је све испите предвиђене планом и програмом ових студија са просечном оценом 9,69. Мастер рад на тему "Лебегов интеграл" одбранио је 4. септембра 2012. године на Природно-математичком факултету у Крагујевцу, са оценом 10, под менторством проф. др Дејана Бојовића. Докторске академске студије уписао је 2017. године на Природно-математичком факултету у Крагујевцу у оквиру Докторске школе математике, где је положио све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 9,86.

7. Преглед научно-истраживачког рада кандидата

Кандидат Богдан Пирковић бави се научно-истраживачким радом у области математичке статистике. До сада је објавио један научни рад из уже области докторске дисертације у часопису од међународног значаја. Додатно, још два научна рада из уже области докторске дисертације су тренутно у процесу рецензије.

1. M. S. Đorđević, M. M. Ristić, **B. A. Pirković** (2020) Identifying latent components of the TINAR model, *Filomat*, прихваћен за публиковање. (M22, IF2019=0,848, Category: Mathematics).

8. Предложени ментор докторске дисертације

Веће докторске школе математике и Институт за математику и информатику Природно-математичког факултета у Крагујевцу су предложили проф. др Александра Настића, редовног професора Природно-математичког факултета у Нишу, за ментора ове дисертације. Проф. др Настић један је од водећих домаћих истраживача у области математичке статистике и анализе временских низова, у оквиру којих се и са теоријског и са практичног (рачунарског) становишта бави решавањем проблема моделирања временских низова са целобројним вредностима. Проф. др Настић је објавио више десетина научних радова из поменутих области у последњих десетак година у водећим међународним и домаћим часописима. Његови радови цитирани су више стотина пута. Био је ментор једне успешно одбрањене докторске дисертације. Члан је уређивачких одбора часописа *Journal of Applied Statistics* (IF=1,031), *Filomat* (IF=0,848) и *Facta universitatis - Series in Mathematics and Informatics*. Све додатне информације о проф. др Настићу могу се видети на <https://www.pmf.ni.ac.rs/nastavnici-i-saradnici/?idz=205>

Списак референци ментора:

1. P. M. Popović, P. N. Laketa, **A. S. Nastić** (2019) Forecasting with two generalized integer-valued autoregressive processes of order one in the mutual random environment, *SORT Statistics and Operations Research Transactions* 43(2), 355-384. (M22, IF2019=1,000, Category: Mathematics, Statistics and Probability)
<https://doi.org/10.2436/20.8080.02.92>
2. M. M. Ristić, M. Bourguignon, **A. S. Nastić** (2019) Zero-Inflated NGINAR(1) process, *Communications in Statistics - Theory and Methods* 48(3), 726-741. (M23, IF2019=0.612, Category: Mathematics, Statistics and Probability)
<https://doi.org/10.1080/03610926.2018.1435808>
3. P. N. Laketa, **A. S. Nastić**, M. M. Ristić (2018) Generalized random environment INAR models of higher order, *Mediterranean Journal of Mathematics* 15(9), 1-22. (M21, IF2018=1.213, Category: Mathematics)
<https://doi.org/10.1007/s00009-017-1054-z>
4. P. M. Popović, M. M. Ristić, **A. S. Nastić** (2016) A geometric bivariate time series with different marginal parameters, *Statistical Papers* 57(3), 731-753. (M22, IF2016=0.727, Category: Mathematics, Statistics and Probability)
<https://doi.org/10.1007/s00362-015-0677-z>
5. **A. S. Nastić**, M. M. Ristić, P. M. Popović (2016) Estimation in a Bivariate Integer-Valued Autoregressive Process, *Communications in Statistics – Theory and Methods* 45(19), 5660-5678. (M23, IF2016=0.395, Category: Mathematics, Statistics and Probability)
<https://doi.org/10.1080/03610926.2014.948203>

9. Научна област чланова комисије

Проф. др Мирослав Ристић редовни је професор Природно-математичког факултета Универзитета у Нишу, ужа научна област Математика. Примарно се бави истраживањима у области анализе временских низова и теорије статистичких расподела.

Доц. др Слађана Димитријевић изабрана је у звање доцента на Природно-математичком факултету Универзитета у Крагујевцу за ужу научну област Математичка анализа са применама. Бави се истраживањима у области теорије случајних процеса и стохастичке анализе. Додатно се бави и методиком наставе математике.

Доц. др Предраг Поповић изабран је у звање доцента на Грађевинско-архитектонском факултету Универзитета у Нишу за ужу научну област Математика. Бави се истраживањима у области анализе временских низова.

ЗАКЉУЧАК

На основу свега изложеног, комисија закључује да:

- кандидат **Богдан Пирковић** испуњава све суштинске и формалне захтеве који се траже од кандидата за израду докторске дисертације,
- предложена тема за израду докторске дисертације је **потпуно научно заснована, врло значајна, интересантна и актуелна.**

Из свега наведеног, комисија са великим задовољством предлаже Наставно-научном већу Природно-математичког факултета у Крагујевцу и Већу за природно-математичке науке Универзитета у Крагујевцу да се тема под називом "**Contribution to the theory of Random Environment Integer-Valued Autoregressive processes**" прихвати као тема докторске дисертације и одобри кандидату Богдану Пирковићу њена израда под менторством **проф. др Александра Настића.**

У Крагујевцу и Нишу, 28. мај 2021. године

Ристић Мирољуб

проф. др Мирољуб М. Ристић, редовни професор
Универзитет у Нишу, Природно-математички факултет
(председник) (Ужа научна област: Математика)

Слађана Димитријевић

доц. др Слађана Димитријевић, доцент
Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет
(члан) (Ужа научна област: Математичка анализа са применама)

Предраг Поповић

доц. др Предраг М. Поповић, доцент
Универзитет у Нишу, Грађевинско-архитектонски факултет
(члан) (Ужа научна област: Математика)