

ВИЈЕЋУ ДОКТОРСKE ШКОЛЕ МАТЕМАТИКЕ

ИЗВЈЕШТАЈ О ОЦЈЕНИ УРАЂЕНЕ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

На сједници Вијећа Докторске школе математике одржаној 18.04.2022. године, на сједници Наставно-научног вијећа Природно-математичког факултета у Крагујевцу одржаној 27.04.2022. године (бр. 230/X-1) и на сједници Вијећа за природно-математичке науке Универзитета у Крагујевцу одржаној 18.05.2022. године (бр. IV-01-352/9) одређен сам за председника Комисије за оцјену и одбрану докторске дисертације кандидата **Богдана Пирковића** под насловом

„Contribution to the theory of random environment integer-valued autoregressive processes”.

Кандидат је поднио рукопис своје докторске дисертације Вијећу Докторске школе математике и Наставно-научном вијећу Природно-математичког факултета у Крагујевцу на оцјену. Након детаљног прегледа рукописа, процијенио сам квалитет дисертације и указао кандидату на корекције које је неопходно обавити. Кандидат је усвојио све предлоге и уградио их у финалну верзију, чиме су се стекли услови да поднесем следећи

ИЗВЈЕШТАЈ

1. Опис докторске дисертације

Докторска дисертација „Contribution to the theory of random environment integer-valued autoregressive processes” припада области Математичке статистике, подобласт Теорија временских низова. Полазне основе докторске дисертације чине резултати досадашњих истраживања у области цјелобројних ауторегресивних (INAR) временских серија. INAR временске серије увели су независно једни од других: McKenzie (1985) и Al-Osh и Alzaid (1987). Треба да се нагласи да се у оба рада користио потпуно независни приступ. Freeland (2010) је први увео INAR модел који може узети како позитивне, тако и негативне вриједности, док су Настић и остали (2016) представили појам случајне околине и INAR модела у случајној околини. Предложена дисертација бави се развојем INAR модела чије су вриједности елементи комплетног скупа цијелих бројева на начин што се развијају INAR модели у случајној околини њиховим међусобним комбиновањем.

Текст дисертације написан је у потпуности на енглеском језику. Текст садржи 117 страница и састоји се од четири поглавља, закључка, списка литературе и три прилога. Списак литературе садржи 50 референци. Саставни дио дисертације су и Резиме на енглеском и српском језику, Предговор и Биографија аутора. У рукопису дисертације налази се 28 слика и 21 табела.

Поглавље 1 - Историјски преглед развоја INAR модела. Прво поглавље је уводног карактера и представља теоријску основу истраживања. Конципирано је тако да уведе основне појмове и резултате који се користе у дисертацији. Поглавље је подијељено је на 4 секције. Прва секција доноси неопходне дефиниције и мотивацију за настанак INAR модела. У другој секцији дат је преглед развоја INAR модела. Трећа секција бави се битним расподјелама које се у великој мјери користе у наставку текста. У четвртој секцији наведена су тврђења, доказана од стране других аутора, која ће бити коришћена при доказивању теорема и ставова у наредним поглављима ове дисертације.

Оригинални резултати докторске дисертације изложени су у поглављима 2, 3 и 4, као и у прилозима А, В и С.

Поглавље 2 - Идентификација и предвиђање латентних компоненти INAR временских серија са асиметричном Skellамовом маргиналном расподјелом. Друго поглавље наслоњено је на резултате дате у Freelandовом раду из 2010. године. Прве двије секције овог поглавља детаљно описују INAR временске серије са симетричном, односно асиметричном Skellамовом маргиналном расподјелом које узимају вриједности на читавом скупу цијелих бројева. Ове временске серије представљају основу за оригиналне резултате изложене у наредним секцијама. У трећој секцији предложене су статистике за идентификацију и предвиђање латентних компоненти INAR временских серија са асиметричном Skellамовом маргиналном расподјелом. Примјена добијених резултата на симулираним низовима података дата је у четвртој секцији. Пета секција приказује примјену резултата на подацима из реалног живота.

Поглавље 3 - INAR модел у случајној околини са дискретним Лапласовим маргиналним расподелама. У трећем поглављу, кандидат је приступио конструкцији новог нестационарног INAR модела у случајној околини који може узети вриједности на читавом скупу цијелих бројева. Конструкција модела описана је у првој секцији. У другој секцији описане су неке особине модела. Трећа секција бави се оцјеном непознатих параметара модела. Примјена модела на симулираним подацима дата је у четвртој секцији. У петој секцији, квалитет модела је додатно испитан на реалним низовима података.

Поглавље 4 - Нови техника за оцјену стања околине података који одговарају уопштеној INAR временској серији вишег реда у случајној околини. Ово поглавље садржи јединствену адаптацију K-means технике за кластеровање података. Модификована техника, названа RENNES метода, показала се веома погодном за оцјењивање стања околине реализација које одговарају уопштеној RrINAR временској серији вишег реда. У првој секцији изложена је конструкција RENNES методе. Друга и трећа секција баве се примјеном новоуведене технике кластеровања на симулираним низовима података. Ефикасност RENNES методе потврђена је на реалним подацима у оквиру четврте секције. Додатно, многи резултати који се тичу примене RENNES методе на симулираним и реалним низовима података изложени су у прилозима А, В и С. На овај начин, кандидат је успјешно повећао прегледност читавог рукописа дисертације.

Закључак. У заључку су сумирани резултати читаве дисертације. Поред тога, изложени су и могући правци за даље истраживање.

2. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области

Докторска дисертација „Contribution to the theory of random environment integer-valued autoregressive processes” припада научној области Математика, односно ужој научној области Математичка статистика. Први INAR модел у случајној околини (random environment INAR model) уведен је 2016. године, а касније су настала и бројна уопштења овог модела. Дати резултати из литературе представљали су добру полазну основу за истраживање и добијање оригиналних научних резултата.

У овој дисертацији кандидат Богдан Пирковић обједињује два правца истраживања. Први правац се односи на конструкцију нових цјелобројних ауторегресивних временских серија у случајној околини који могу узети како позитивне, тако и негативне вриједности. На овај начин, добијене су нове могућности у моделирању низова података са цјелобројним вриједностима. Додатно, како је оцјена стања околине сваке реализације један од кључних корака за моделирање реалних (стварних) процеса помоћу новоуведених модела у случајној околини, други правац истраживања обухвата прилагођавање постојећих метода кластеровања тако да оцјене стања буду што прецизније.

У дисертацији су изложени оригинални резултати који су настали као продукт научног истраживања кандидата. Најприје, уведене су нове статистике за идентификацију и предвиђање латентних компоненти INAR временских серија са асиметричном Skellamовом маргиналном расподелом. Затим, конструисан је нови нестационарни INAR модел у случајној околини са дискретним Лапласовим маргиналним расподелама. Овај модел омогућио је ефикасније моделирање података који узимају како позитивне, тако и негативне вриједности. Поред тога, у дисертацији је изложен нови метод за оцјену стања околине података који одговарају уопштеној INAR временској серији вишег реда у случајној околини. Овај метод, назван RENNES, показао се ефикасијим од стандардне K-means технике која се до сада углавном користила за потребе оцјењивања стања околине.

Истраживачка питања од којих се полазило у истраживању постављена су на основу до сада познатих резултата из области INAR временских серија. Кандидат је најприје кренуо од питања да ли се комбиновањем стационарних INAR модела који могу узети и позитивне и негативне вриједности и ненегативних INAR модела у случајној околини могу конструисати нови INAR модели у случајној околини који узимају вриједности из читавог скупа цијелих бројева

У дисертацији су коришћене методе карактеристичне за увођење нових модела. Најприје су конструисани нови модели који задовољавају постављене критеријуме о стационарности и скупу допустивих вредности модела. Након тога су изведене нове технике за оцјену непознатих параметара. Ефикасност тако добијених оцена тестирана је на симулираним низовима података. На самом крају, квалитет модела испитан је над адекватно одабраним реалним низовима података, при чему је квалитет модела одређен на основу вриједности стандардне грешке предвиђања (RMS).

3. Оцјена оригиналности резултата изложених у докторској дисертацији

На основу увида у постојећа истраживања и научне доприносе из области Математичке статистике, стекао сам утисак да је докторска дисертација кандидата Богдана Пирковића оригинално научно дјело. Резултати изнијети у оквиру докторске дисертације нису били предмет досадашњих истраживања.

4. Преглед остваренх научних резултата из докторске дисертације кандидата

Кандидат Богдан Пирковић до сада има објављена два научна рада у међународним часописима са SCI листе (катеорије M22), као и једно саопштење са скупа међународног значаја (катеорије M34) штампано у изводу. **Сви научни резултати које је до сада остварио настали су на основу резултата изнијетих у докторској дисертацији.** Овим је кандидат успјешно испунио услове за одбрану дисертације предвиђене Правилником о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу и Правилником о реализацији заједничких докторских академских студија математике који је донијело Вијеће Докторске школе математике. Додатно, кандидат има још један научни рад који се ослања на резултате из дисертације. Овај рад је у процесу објављивања.

Научни радови објављени у научним часописима међународног значаја (M20)

- [1] M. S. Đorđević, M. M. Ristić, **B. A. Pirković** (2021) Identifying latent components of the TINAR model, *Filomat*, **35**(13), 4469-4482. (ISSN:0354-5180, **M22**, IF2020=0.844, 197/330, **Category**: Mathematics)
<https://doi.org/10.2298/FIL2113469D>
- [2] **B. A. Pirković**, P. N. Laketa, A. S. Nastić (2021) On generalized random environment INAR models of higher order: estimation of random environment states, *Filomat*, **35**(13), 4545-4576. (ISSN:0354-5180, **M22**, IF2020=0.844, 197/330, **Category**: Mathematics)
<https://doi.org/10.2298/FIL2113545P>

Саопштења са скупова међународног значаја штампана у изводу (M34):

- [1] **B. A. Pirković**, P. N. Laketa, A. S. Nastić (2021) Random Environment Estimation Method for Generalized Random Environment INAR Models of Higher Order, *Third International Workshop on Nonlinear Analysis and its Applications*, Niš, Serbia, October 13-16, 2021 Book of Abstracts-page 40.

5. Оцјена о испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему

Обим истраживачког рада, циљеви, хипотезе и методолошки приступ у остваривању истраживања, који су планирани у оквиру поступка предлагања теме докторске дисертације, у потпуности су реализовани.

6. Примјенљивост резултата у теорији и пракси

Најважнији теоријски (научни) резултати који представљају научни допринос ове дисертације су:

1. формулација статистика за идентификацију и предвиђање латентних компоненти INAR временске серије са асиметричном Skellamовом маргиналном расподелом, под условом да је познат низ реализација поменуте временске серије;
2. оцјена непознатих параметара INAR временске серије са асиметричном Skellamовом маргиналном расподелом;
3. конструкција новог нестационарног INAR модела у случајној околини који може узети како позитивне, тако и негативне вриједности;
4. низ теорема којима се описују особине новоуведеног модела;
5. адаптација Yulle-Walker методе и методе условно најмањег квадрата у циљу успешног оцјењивања непознатих параметара модела;
6. конструкција нове технике кластеровања која се користи за оцјену стања околине реализација које одговарају уопштеној RrINAR временској серији.

Примјенљивост резултата у теорији. Уопштавање резултата из другог и трећег поглавља докторске дисертације води ка рјешавању проблема моделовања нестационарних цјелобројних низова података са компликованијом корелационом структуром. Поред тога, процес адаптације K-means технике изложен у четвртном поглављу може се примијенити и на друге технике кластеровања података.

Примјенљивост резултата у пракси. Сви резултати изложени у докторској дисертацији успјешно су примијењени на одговарајућим низовима података из реалног живота. На тај начин, недвосмислено је потврђена примјенљивост резултата у пракси. Поред примјена описаних у оквиру текста дисертације, наведени резултати могу наћи практичну примјену у медицини, телекомуникацијама, играма на срећу и бројним другим сферама живота.

7. Начин презентовања резултата научној јавности

Научни резултати докторске дисертације презентовани су јавности кроз два научна рада у истакнутим међународним часописима (категорије M22). Дио резултата приказан је у трећем раду који се налази у процесу објављивања. Поред тога, дио резултата из докторске дисертације представљен је научној јавности на међународном научном скупу *Third International Workshop on Nonlinear Analysis and its Applications*.

ЗАКЉУЧАК

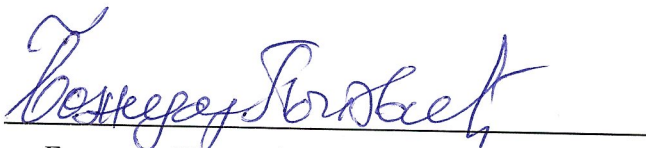
Поднијети рукопис дисертације кандидата Богдана Пирковића под насловом „**Contribution to the theory of random environment integer-valued autoregressive processes**” представља оригинални рад из области Математичке статистике под менторством **проф. др Александра Настића**.

Приказани оригинални научни резултати, као што су нове статистике за идентификацију и предвиђање латентних компоненти INAR временских серија са асиметричном Skellamовом маргиналном расподелом, нови нестационарни INAR модел у случајној околини са дискретним Лапласовим маргиналним расподелама и унапријеђени метод за оцјену стања околине података који одговарају уопштеној INAR временској серији вишег реда у случајној околини, донијели су нове могућности у моделовању низова података са цјелобројним вриједностима и низова података нестационарног карактера.

Квалитет научних резултата докторске дисертације верификован је публикавањем два рада у истакнутим међународним часописима са SCI листе (категорије M22) и саопштењем са скупа међународног значаја (категорије M34) штампаним у изводу.

Сходно наведеном, мишљења сам да су испуњени сви научни, стручни и административни услови за прихватање наведене докторске дисертације као оригиналног научног рада. У том смислу, мој став о предложеној докторској дисертацији гласи: **ДИСЕРТАЦИЈА СЕ ПРИХВАТА**. У вези са тим, предлажем Вијећу Докторске школе математике да Богдану Пирковићу одобри јавну одбрану докторске дисертације под наведеним насловом.

У Подгорици, 10.07.2022.



др Божидар Поповић (председник комисије)

ванредни професор, Универзитет Црне Горе, Природно-математички факултет
(ужа) научна област: Математика