

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ УРАЂЕНЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

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

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

Кандидат је поднео рукопис своје докторске дисертације Већу Докторске школе математике и Наставно-научном већу Природно-математичког факултета у Крагујевцу на оцену. Након детаљног прегледа рукописа, проценио 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

ИЗВЕШТАЈ

1. Опис докторске дисертације

Докторска дисертација „Contribution to the theory of random environment integer-valued autoregressive processes” припада области Математичке статистике. Полазне основе докторске дисертације чине резултати досадашњих истраживања у области целобројних ауторегресивних (INAR) временских серија базираних на тининг оператору. Овакве временске серије увели су, независно једни од других, McKenzie (1985) и Al-Osh и Alzaid (1987). Проширењу поља примене ових модела допринео је Freeland (2010) уводећи INAR модел који може резултирати и позитивним и негативним вредностима, док су Настић и остали (2016) представили INAR моделе временских низова у случајној околини. Предложена дисертација бави се развојем INAR модела који узимају вредности из читавог скупа целих бројева, развојем INAR модела у случајној околини, као и 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 део 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. У првом поглављу је представљен историјски развој посматраних модела. Дефинисани су појмови неопходни за праћење даљег тока дисертације, као и најбитнији резултати претходних истраживања у овој области. Ово поглавље кандидат је поделио у четири секције. У првој секцији су наведене неопходне дефиниције коришћених појмова и сама мотивација за настанак INAR модела. У другој секцији је описан хронолошки развој INAR модела од самог настанка па све до данас. Трећа секција уводи дефиниције и најбитније карактеристике расподела које су коришћене у дисертацији. У последњој, четвртој, секцији су наведени резултати истраживања других аутора, који ће бити коришћени у дисертацији.

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

Поглавље 2 - Идентификација и предвиђање латентних компоненти INAR временских серија са асиметричном Skellam-овом маргиналном расподелом. У другом поглављу дисертације су представљени временски низови који могу резултирати вредностима из читавог скупа целих бројева. Ови резултати су базирани на Freeland-овом раду из 2010. године. У овом поглављу су описани INAR временски низови са Skellam-овом маргиналном расподелом, како симетричном, тако и асиметричном. Приказане су њихове основне карактеристике, али и нови методи за идентификацију и предвиђање латентних компоненти ових INAR временских низова што представља део оригиналних резултата кандидата. Ово поглавље се завршава приказом примене добијених резултата на симулираним низовима података, као и на подацима из стварног живота.

Поглавље 3 - INAR модел у случајној околини са дискретним Лапласовим маргиналним расподелама. У фокусу трећег поглавља је нови модел INAR временских низова. Ово је модел нестационарних временских низова у случајној околини и то модел временских низова који могу узимати вредности из читавог скупа целих бројева. Прво су приказане конструкција модела и најбитније особине. Након тога, кандидат се бави оцењивањем непознатих параметара модела и понашањем добијених оцена. На крају је дата примена новог модела како на симулираним подацима, тако и на подацима из реалног живота.

Поглавље 4 - Нови техника за оцену стања околине података који одговарају уопштеној INAR временској серији вишег реда у случајној околини. У четвртом поглављу је описана модификација K-means технике за кластеровање података која се користи за оцењивање стања околине. Ова адаптација је названа RENNES метода. Овако модификована техника се показала веома погодном за оцењивање стања околине реализација које одговарају уопштеном RrINAR временском низу вишег реда. На почетку је приказана конструкција RENNES методе. Након тога, кандидат се бави применом новоуведене технике кластеровања на симулираним низовима података. На крају поглавља је приказана примена ове методе на реалним подацима чиме је потврђена изузетна ефикасност RENNES методе. 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 успешно повећао прегледност читавог рукописа дисертације.

Закључак. У закључку 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 обједињени су резултати два правца истраживања. С једне стране, је конструисао нови модел целобројних ауторегресивних временских низова у случајној околини који могу узети вредности из читавог скупа целих бројева. На тај начин је значајно проширено поље примене временских низова и додате су нове могућности у моделирању низова података са целобројним вредностима. С друге стране, резултати истраживања у делу прилагођавања постојећих метода кластеровања употпуњују целину јер је оцена стања околине сваке реализације кључни корак за моделирање стварних процеса помоћу новоуведених модела у случајној околини.

У дисертацији су изложени оригинални резултати научно-истраживачког рада кандидата. Уведене су нове статистике за идентификацију и предвиђање латентних компоненти INAR временских серија са асиметричном Skellam-овом 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 вредности из читавог скупа целих бројева. Поред тога, у дисертацији је изложен нови метод за оцену стања околине података који одговарају уопштеној INAR временској серији вишег реда у случајној околини. Овај метод, назван RENNES, показао се ефикаснијим од стандардне K-means технике која се до сада углавном користила за потребе оцењивања стања околине.

Све хипотезе од којих се полазило у истраживању постављене су на основу до сада познатих резултата из области INAR временских серија. Кандидат је кренуо од хипотезе да је комбиновањем стационарних INAR модела који могу узети вредности из читавог скупа целих бројева и ненегативних INAR модела у случајној околини могуће конструисати нове INAR моделе у случајној околини који узимају вредности из читавог скупа целих бројева. Друга хипотеза претпоставља да је укључивањем оцена свих параметара INAR модела вишег реда у случајној околини (параметра расподеле, тининг параметра и реда модела) у процес кластеровања могуће унапредити перформансе K-means технике, која је најчешће коришћена за оцену стања околине.

У дисертацији су коришћене методе карактеристичне за увођење нових модела. Најпре су конструисани нови модели који задовољавају постављене критеријуме о стационарности и скупу допустивих вредности модела. Након тога су изведене нове технике за оцену 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 вредности стандардне грешке предвиђања (RMS).

3. Оцена оригиналности резултата изложених у докторској дисертацији

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

4. Преглед остварених научних резултата из докторске дисертације кандидата

Кандидат Богдан Пирковић до сада има објављена два научна рада у међународним часописима са SCI листе (категорије M22), као и једно саопштење са скупа међународног значаја (категорије M34) штампано у изводу. Сви научни резултати које је до сада остварио настали су на основу резултата изнетих у докторској дисертацији. Овим је кандидат успешно 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 донело Веће 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. Оцена 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, су у потпуности остварени.

6. Применљивост резултата у теорији и пракси

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

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

Применљивост резултата у теорији. Уопштавање резултата из другог и трећег поглавља докторске дисертације води ка решавању проблема моделирања нестационарних целобројних низова података са компликованијом корелационом структуром. Поред тога, процес адаптације K-means технике изложен у четвртном поглављу може се применити и да друге технике кластеровања података.

Применљивост резултата у пракси. Сви резултати изложени у докторској дисертацији успешно су примењени на одговарајућим низовима података из реалног живота. На тај начин, недвосмислено је потврђена применљивост резултата у пракси. Поред примена описаних у оквиру текста дисертације, наведени резултати могу наћи практичну примену 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 (катеорије M22). Део резултата приказан је у трећем раду који се налази у процесу објављивања. Поред тога, део резултата из докторске дисертације представљен је научној јавности на међународном научном скупу *Third International Workshop on Nonlinear Analysis and its Applications*.

ЗАКЉУЧАК

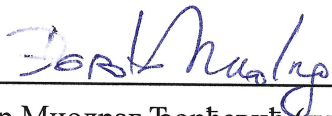
Поднети рукопис дисертације кандидата Богдана Пирковића под насловом „**Contribution to the theory of random environment integer-valued autoregressive processes**” представља оригинални рад из области Математичке статистике под менторством проф. др Александра Настића.

Приказани оригинални научни резултати, као што су нове статистике за идентификацију и предвиђање латентних компоненти INAR временских серија са асиметричном Skellam-овом маргиналном расподелом, нови нестационарни INAR модел у случајној околини са дискретним Лапласовим маргиналним расподелама и унапређени метод за оцену стања околине података који одговарају уопштеној INAR временској серији вишег реда у случајној околини, значајно су проширили поље примене временских низова и донели нове могућности у моделирању низова података са целобројним вредностима, како стационарног, тако и 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, сматрам 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 Већу Докторске школе математике да Богдану Пирковићу одобри јавну одбрану докторске дисертације под наведеним насловом.

У Нишу, 07.07.2022.



др Миодраг Ђорђевић (члан комисије)

ванредни професор, Природно-математички факултет Универзитета у Нишу
ужа научна област: Математика