

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 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. Бави се изучавањем ауторегресивних модела за целобројне временске низове (INAR). Уведени су неки нови INAR модели, а такође разматрана је могућност унапређења већ постојећих модела. Практични аспект резултата представљених у дисертацији разматран је кроз примену над стварним подацима.

Докторска дисертација написана је 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.

Глава 1 - Историјски преглед развоја INAR модела. Прво глава је уводног карактера и представља теоријску основу истраживања. Конципирано је тако да уведе основне појмове и резултате који се надаље користе у дисертацији. Прва глава је подељено на 4 поглавља. Прво поглавље доноси неке битне дефиниције и мотивацију за настанак INAR модела. У другом поглављу дат је историјски преглед развоја INAR модела од настанка па све до данашњих дана. Треће поглавље бави се битним расподелама које се у великој мери користе у наставку текста. У четвртном поглављу наведена су тврђења, доказана од стране других аутора, која ће бити коришћена при доказивању теорема и ставова у наредним главама ове дисертације.

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

Глава 2 - Идентификација и предвиђање латентних компоненти асиметричних TINAR(1) временских серија. Прва два поглавља детаљно описују INAR моделе за временске низове са симетричном, односно асиметричном Skellam-овом маргиналном расподелом, при чему ови временски низови могу имати како позитивне тако и негативне целобројне вредности. У трећој поглављу предложене су статистике за идентификацију и предвиђање латентних компоненти INAR временских серија са асиметричном Skellam-овом маргиналном расподелом. Примена добијених резултата на симулираним низовима података дата је у четвртој поглављу. Пето поглавље приказује примену резултата на подацима из реалног живота.

Глава 3 – Целобројни ауторегресивни модел у случајној околини са дискретном Лапласовом маргиналном расподелом. У трећој глави, кандидат је приступио конструкцији новог нестационарног INAR модела у случајној околини који може узети вредности на читавом скупу целих бројева. Конструкција модела дата је у првој поглављу. У другом поглављу описане су неке особине модела. Треће поглавље бави се оценом непознатих параметара модела. Примена модела на симулираним подацима дата је у четвртој поглављу, док је у петом поглављу практичан аспект оваког модела испитан кроз моделовање стварних временских низова.

Глава 4 – Метод оценом стања случајних околнина (RENES) за уопштене INAR моделе вишег реда са случајним околнинама. Ова глава садржи јединствену адаптацију K-means технике за кластеровање података. Модификована техника, названа RENES метода, показала се веома погодном за оцењивање стања околнине реализација које одговарају INAR моделу вишег реда. У првом поглављу изложена је конструкција RENES методе. Друго и треће поглавље баве се применом новоуведене технике кластеровања на симулираним низовима података. Ефикасност RENES методе потврђена је на реалним подацима у оквиру четвртог поглавља. Резултати који се тичу примене RENES методе на симулираним и реалним низовима података изложени су у прилозима А, В и С.

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. Бави се изучавањем целобројних ауторегресивних модела у случајној околини. Овакви модели могу се наћи у литератури у последњих десетак година. Поменути су неки основни резултати из ове области, који су представљали основ за истраживање којим се бави ова докторска дисертација. Уведени су нови INAR модели са случајном околином. Такође, пуно пажње и нових резултата везано је за одређивање стања случајне околнине као једне од најбитнијих компоненти оних модела.

У дисертацији су изложени оригинални резултати који су настали као продукт научног истраживања кандидата. Најпре, уведене су нове статистике за идентификацију и предвиђање латентних компоненти INAR временских низова са асиметричном Skellam-овом маргиналном

располом. Затим, конструисан је нови нестационарни INAR модел у случајној околини са дискретном Лапласовом маргиналном расподелом. Овај модел омогућио је ефикасније моделирање података који узимају како позитивне, тако и негативне вредности. 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 RENES, 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 низова. Кандидат је најпре кренуо од хипотезе да је комбиновањем стационарних INAR модела који могу узети и позитивне и негативне вредности и ненегативних INAR модела у случајној околини могуће конструисати нове INAR моделе у случајној околини који узимају и позитивне и негативне вредности из 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 преформансе K-means технике, која је најчешће коришћена за оцену стања околине.

3. Оцена оригиналности резултата изложених у докторској дисертацији

На основу сазнања у постојећа истраживања из научне области Математичке статистике, сматрам да је докторска дисертација кандидата Богдана Пирковића оригинално научно дело. Резултати кандидата нису били предмет досадашњих истраживања, док су већ постојећи резултати из ове области јасно цитирани из одговарајуће литературе.

4. Преглед остварених научних резултата из докторске дисертације кандидата

Кандидат Богдан Пирковић до сада има објављена два научна рада у међународним часописима са SCie 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.

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, у потпуности су реализовани.

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 целобројне 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. Дисертација саджи уопштење одређених INAR модела чиме ове моделе чини употребљивим за шири скуп целобројних временских низова. Резултати сублимирани у теоремама свакако се могу искористити за будућа истраживања из ове области. Поред тога, процес адаптације K-means технике може се применити и за 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 (категорије M22). 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**.

Квалитет научних резултата докторске дисертације верификован је публикавањем два рада у истакнутим међународним часописима са SCIE 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 Крагујевцу, 10.07.2022.



др Предраг Поповић, ванредни професор

Грађевинско-архитектонски факултет, Универзитет у Нишу
ужа научна област: Математика