

Примљено 19. 07. 2007.			
Орг. јед.	Број	Прилог	Вредност
	352/2		

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКОГ ФАКУЛТЕТА
Универзитета у Приштини

Предмет: Извештај комисије за оцену и одбрану урађене докторске дисертације кандидата мр Владице Стојановића, дипломираног математичара

Наставно-научно веће Природно-математичког факултета Универзитета у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици на седници одржаној 29. новембра 2006. године одлуком број 352/1 именовало је чланове комисије за оцену и одбрану урађене докторске дисертације под називом ВРЕМЕНСКЕ СЕРИЈЕ КАО НЕЛИНЕАРНИ СТОХАСТИЧКИ МОДЕЛИ ДИНАМИКЕ ФИНАНСИЈСКИХ НИЗОВА кандидата мр Владице Стојановића, асистента Економског факултета Универзитета у Приштини. По прегледу урађене дисертације, комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

Обим дисертације и организација

Докторска дисертација "Временске серије као нелинеарни стохастички модели динамике финансијских низова" написана је на 152 стране А4 формата. Организована је у пет глава, при чему главном штиву претходи Предговор, а иза главног текста дата је Литература, односно списак коришћених научних радова, уџбеника и монографија. Прва глава садржи четири поглавља, друга и четврта глава састоје се из три поглавља, док трећа глава има пет поглавља. Последња, пета глава представља закључна разматрања о изложеним моделима. Литература обухвата 66 јединица.

Приказ садржаја докторске дисертације

У првом, уводном поглављу Главе 1, дат је преглед основних појмова и термина које је кандидат користио у свом истраживању. У наредном поглављу изложени су неки од основних модела динамике цена. Централну улогу овде има модел цена заснован на тзв. *непрекидном камаћењу*

$$S_t = S_o \cdot \exp\left(\sum_{n=0}^t h_n\right)$$

где се величине h_n обично називају *логаритми промене цена* или, једноставно, *логаритми прихода*. Посебан критички осврт дат је на *хипотезу гаусовности*, односно интерпретацију оваквих модела са аспекта нормалних расподела. Као посебно важан,

дефинисан је појам *условне гаусовности* модела којим се умањују недостаци стандардних, нормално расподељених низова случајних величина. У наредном поглављу описан је појам *мартингала* као важних стохастичких модела динамике финансијских индекса. На крају, последње поглавље Главе 1 даје приказ неких од најважнијих појмова финансијске анализе који се, пре свега, односе на *волатилност* као меру изменљивости финансијских низова.

У Глави 2 проучавају се *моделу условне хетерогености*. Они већ дуги низ година представљају фундаменталне моделе који описују појаву кластерности, односно груписање података са израженом, односно ниском волатилношћу. Моделу условне хетерогености саму волатилност исказују у облику временских серија облика

$$\sigma_n = \varphi(h_{n-1}, \dots, h_{n-p})_{p \in \mathbb{N}}$$

чиме се указује на променљивост и зависност волатилности у односу на саму структуру одређеног финансијског индекса (цене). Историјски посматрано, родоначелник и творац ове групе модела јесте Robert Engle који је 1982. године дефинисао тзв. *ауторегресивне моделе условне хетерогености*, краће, ARCH-моделе помоћу којих је дао веома успешну анализу инфлационих кретања у Великој Британији. Успешност у конкретним применама ARCH-модела имала је као последицу стварање нових, сложенијих модела који се, у већој или мањој мери, заснивају на сличним идејама и претпоставкама. Прво такво уопштавање дао је Tim Bollerslev, који је 1986. године дефинисао тзв. *уопштени ARCH -модел*, са два параметра, познат као GARCH (p, q). У својој дисертацији кандидат ове две групе нелинеарних модела разматра у новом светлу, где, поред познатих, фундаменталних чињеница, излаже и неке нове резултате описане у радовима В. Стојановића и Б. Поповић [47] и [57]. Поред тога, у трећем, последњем поглављу Главе 2 приказан је нов, оригинални модел условне хетерогености, назван *Split-ARCH*, који у случају наглашено великих реализација одређеног финансијског низа правилније реагује на нагле и неочекиване „скокове” у динамици волатилности. У општем облику Split-ARCH модел дефинисан је једнакошћу

$$h_n = \sigma_n \varepsilon_n,$$

где је (ε_n) низ независних једнакорасподељених случајних величина („бели шум”), као и рекурентном релацијом

$$\sigma_n^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i h_{n-i}^2 + \sum_{j=1}^q f_j(\sigma_{n-j}^2) I(\varepsilon_{n-j}^2 > c), \quad n \geq 1$$

чији је ред, слично стандардном GARCH-моделу, одређен са два параметра p и q . Овај модел, први пут представљен научној јавности на међународној конференцији ISCPSS одржаној у Созопољу (Бугарска) 2004 године, обрађен је и у радовима Б. Поповић и В. Стојановића [48] и [49]. Поред основних стохастичких особина овог модела, кандидат у својој дисертацији посебну пажњу поклања потребним и довољним условима стационарности, као и поступку оцењивања непознатих параметара. На крају, даје приказ практичне примене Split-ARCH модела заснован на конкретној примени у испитивању емпиријских временских серија (цене нафте на светском тржишту и сојине сачме на Продуктној берзи у Новом Саду).

У наредној, Глави 3 кандидат се бави класом тзв. *STOPBREAK процеса*. Ова група стохастичких модела новијег је датума и превасходно је везана за фундаментални рад Engle-а и Smith-а (1999), а у новије време и González-а (2004). Данас STOPBREAK процеси налазе успешну примену као стохастички модели финансијских низова са израженим, перманентним флукуацијама. Након кратког излагања основних чињеница

које се односе на ове процесе, кандидат даље, у основи, разматра оригиналне модификације ових процеса, добијене увођењем тзв. *индикатора шума*

$$q_t = I(\varepsilon_{t-1}^2 > c) = \begin{cases} 1, & \varepsilon_{t-1}^2 > c \\ 0, & \varepsilon_{t-1}^2 \leq c \end{cases}, \quad t = 1, 2, \dots$$

који су Б. Поповић и В. Стојановић [48] успешно применили у анализи нелинеарних временских серија ARCH-типа. Иначе, почетни резултати из ове области представљени су први пут на конференцијама SYM-OP-IS 2005 и ALA 2005, док основу изложених чињеница чине испитивања и анализа праговних STOPBREAK процеса које су описане у радовима В. Стојановића и Б. Поповић [58], као и В. Стојановића, Б. Поповић и П. Поповића [59]. Кандидат најпре даје основну стохастичку структуру тзв. *праговоног STOPBREAK процеса (Split-BREAK модела)*, у облику адитивног разлагања

$$y_t = m_t + \varepsilon_t, \quad t = 1, 2, \dots$$

где је ε_t бели шум, а $m_t = m_{t-1} + q_{t-1}\varepsilon_{t-1}$ низ тзв. мартингалних просека. У испитивању основних особина овако дефинисаног модела, посебан нагласак дат је формирању конзистентних, асимптотски нормалних оцена непознате границе реакције $c > 0$. Како је нестационарност овог процеса једна од отежавајућих околности у његовом испитивању, важну улогу у томе има *низ прираштаја (Split-MA модел)*

$$X_t = y_t - y_{t-1}, \quad t = 1, 2, \dots$$

који поседује стохастичку структуру сличну стандардним линеарним временским серијама покретних просека. На овај начин, наведени стохастички модели детаљније су проучени, а затим и коришћени у практичном моделовању динамике кретања вредности трговања акцијама на домаћем тржишту хартија од вредности. Конкретно, као основни финансијски низ посматране су реализације тзв. *лог-волумена*

$$y_t = \log(S_t \cdot H_t)$$

где је S_t цена акција, а H_t физички обим њиховог трговања у моменту $t=0,1,2,\dots$. Нека упоређивања овог процеса са стандардним моделима условне хетерогености указују на успешност предложеног STOPBREAK модела у применама која се, између осталог, огледа и у малом броју оцењених параметара, о чему је опет дат приказ у раду Стојановић, Поповић и Поповић [49]. Најзад, у петом, последњем поглављу ове главе кандидат даје *општи модел STOPBREAK процеса*, презентирани на међународној конференцији ISCPs 2006. Општи облик праговоног STOPBREAK процеса задаје формално, изразом

$$A(L)y_t = B(L)q_t \varepsilon_t + C(L)(1-q_t)\varepsilon_t, \quad t \in \mathbb{Z}$$

где је L оператор помераја, q_t индикатор шума, а

$$A(L) = 1 - \sum_{i=1}^m \alpha_i L^i, \quad B(L) = 1 - \sum_{j=1}^n \beta_j L^j, \quad C(L) = 1 - \sum_{k=1}^p \gamma_k L^k.$$

Упоредо са испитивањем основних стохастичких особина овог процеса кандидат и овде даје приказ његове практичне примене у анализи кретања укупне вредности обима трговања акцијама на српском тржишту хартија од вредности.

У Глави 4, кандидат излаже неке могућности нелинеарног моделовања временских скокова цена који су случајног карактера и могу се интерпретирати као реализације тзв. *зауоставног низа* (τ_k). Њиме се изражава својство *нерегуларности* динамике цене јер, за разлику од стандардних модела дискретног временског параметра, овде се као дискретни скуп вредности цене узима низ чији су временски индекси случајне величине. У првом поглављу ове главе кандидат најпре даје опште напомене везане за појам зауоставног времена и тачкастих процеса, док су наредна два поглавља посвећена двома класама ауторегресивних модела који описују нерегуларну динамику цена. Први од њих јесте тзв.

D-AST модел, уведен од стране В. Стојановића и Б. Поповић [60], који зауставни низ дефинише рекурентном релацијом

$$\tau_k = \tau_{k-1} + \lambda_k \varepsilon_k, \quad k=1,2,\dots \quad (\tau_0 = 0)$$

и заснива се на претпоставци о независности прираштаја зауставног низа (τ_k) , односно низа

$$X_k = \tau_k - \tau_{k-1}, \quad k=1,2,\dots$$

Насупрот њему, посебан облик модела условног трајања јесте тзв. *D-ACD* модел намењен моделовању зауставних момената временских серија са корелираним прираштајима. Користећи идеје Engle-а и Russel-а (1997), кандидат уводи нови облик модела условног трајања (*ACD-модел*) заснован на мултипликативном разлагању

$$X_k = \lambda_k \varepsilon_k, \quad k \geq 1.$$

Овде је (ε_k) низ независних једнакораспоређених величина са дискретном расподелом, док низ (λ_k) задовољава рекурентну релацију

$$\lambda_k = \lambda_{k-1} + \eta_{k-1} \varepsilon_{k-1}, \quad k \geq 1$$

где је (η_k) низ независних случајних величина, такође независан и од низа (ε_k) , са униформном расподелом дефинисаном на скупу $A = \{-a, -a+1, \dots, a-1, a\}$, $a \in N$. Први важнији резултати везани за овај модел објављени су на конференцији о операционим истраживањима SYM-OP-IS 2005, у раду В. Стојановића [56]. Иначе, у оба поглавља посвећена овим моделима кандидат идентичном формом излагања даје најпре дефиницију и основне стохастичке карактеристике посматраних модела, затим неке могућности оцењивања непознатих параметара, док је на крају изложена Monte Carlo симулација оба модела заједно са њиховом практичном применом у моделовању емпиријских временских серија са „спором фреквенцијом”.

Најзад, последња, Глава 5 дисертације садржи закључна разматрања о изложеним моделима. Посебно су истакнуте неке предности, али и мане у практичном моделовању динамике емпиријских временских серија, са нагласком на њихову успешност у описивању конкретних појава (степен конвергенције корелационе функције ка нули, гаусовност расподеле белог шума, стационарност, итд.).

Радови кандидата изразито релевантни за урађену дисертацију објављени или прихваћени за штампу

[47] Поповић Б., Стојановић В. (2003), *Стационарност волатилности цене у ARCH моделима*, Зборник радова SYM-OP-IS 2003, 575-578

[48] Поповић Ч. Б., Стојановић С. В. (2005), *Split-ARCH*, PLISKA Studia Mathematica Bulgarica, Vol. 17, 201-220

[56] Стојановић В. (2005), *P-ACD модел динамике финансијских низова у зауставном времену*, Зборник радова SYM-OP-IS 2005, 501-504

[57] Стојановић В., Поповић Б. (2004), *Итеративни методи оцене параметара у моделима условне хетерогености*, Зборник радова SYM-OP-IS 2004, 513-516

[58] Стојановић В., Поповић Б. (2005), *Прагмовни STOPBREAK процес као стохастички модел динамике финансијских низова*, Зборник радова SYM-OP-IS 2005, 505-508

Поред ових радова кандидат је до сада у вези са најужом проблематиком третираном у дисертацији предао за штампу и радове наведене у литератури под редним бројевима [49], [59] и [60].

Закључак и предлог комисије

Докторска дисертације кандидата мр Владице Стојановића представља, на нашим просторима, један од првих, пионирских корака ка стварању научних дела у којима се теоретски резултати савремене Теорије случајних процеса и Математичке статистике директно примењују у емпиријској анализи динамике реалних података, односно финансијских низова на тржишту. Овакав концепт будућег истраживања прилагођен је савременим тенденцијама и схватању науке као основе за решавање конкретних, практичних проблема са којима се човек свакодневно сусреће у свом делању и раду. Добијени резултати дају солидан основ за даља истраживања проблематике којом се баве, а то је могућност прецизног описивања крстања цена, предвиђање њихове динамике у будућности, степен и начин изменљивости цена на тржишту, итд.

У приложеној дисертацији кандидат је у многоме побољшао резултате своје магистарске тезе, као и досадашње познате резултате области којом се бави. Пре свега, дао је читав низ нових оригиналних модела временских серија којима је, поред статистичке анализе њихових основних стохастичких особина, извршио успешну практичну примену у анализи динамике различитих врста емпиријских финансијских низова.

Због свега што је у извештају наведено комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Природно-математичког факултета Универзитета у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици да рад кандидата мр Владице Стојановића под називом **ВРЕМЕНСКЕ СЕРИЈЕ КАО НЕЛИНЕАРНИ СТОХАСТИЧКИ МОДЕЛИ ДИНАМИКЕ ФИНАНСИЈСКИХ НИЗОВА** прихвати као докторску дисертацију и одобри њену одбрану.

У Косовској Митровици,
12. јануара 2007. године

Комисија

др Биљана Поцић, ментор, редовни професор
Природно-математичког факултета у Нишу

др Загорка Лозанов-Црвенковић, редовни професор
ПМФ-а у Новом Саду

др Стана Цвејић, ванредни професор
ПМФ-а у Косовској Митровици