

Предвиђање тренда belex15 индекса и његових конституената помоћу LS-SVM метода

Trend Prediction of the Belex 15 Index and its Constituents Using LS-SVM

Јелена З. Станковић*

Универзитет у Нишу, Економски факултет

Ивана Марковић**

Универзитет у Нишу, Економски факултет

Огњен Радовић***

Универзитет у Нишу, Економски факултет

Сажетак: Остваривање профита инвестирањем у финансијске инструменте на тржишту капитала базира се на могућности успешног предвиђања цена финансијских инструмената у будућности. Стога није изненађујуће константно интересовање инвеститора за ову научну област и тржишта у развоју, с обзиром на то да ова тржишта представљају значајан алтернативни извор инвестиционих могућности за стране инвеститоре. Представљено емпиријско истраживање фокусира се управо на тржишта у развоју, и то на Београдску берзу. Циљ истраживања јесте предвиђање промене тренда индекса Belex15 и његових најважнијих конституената. У раду се најпре детаљно анализирају најзначајнији конституенти у корпи индекса Belex15. Као модел за предикцију тренда промене вредности Belex15 индекса и његових конституената коришћена је метода најмањих квадрата подржавајућих вектора (енгл. The Least Square Support Vector Machine, LS-SVMs), при чему је избор улазних атрибута извршен на основу анализе техничких индикатора. Добијени резултати указују на чињеницу да предложени модел показује већу прецизност у случају предикције тренда конституената индекса него на самом индексу Belex15.

Кључне речи: LS-SVM класификација, тржишта у развоју, Belex15, тржишна предвиђања.

Abstract: Achieving profit through investing in the capital market is based on the ability to successfully predict future movements of the financial asset prices. Thus, the constant interest of investors in this particular field and emerging financial markets comes as no surprise, since these markets have been a relevant alternative source of investment opportunities for international investors. Our empirical study focuses on such an emerging market, the Belgrade stock exchange. Our main goal was to predict the direction of change of the Belex15 index and its most significant constituents. Firstly, we conducted detailed analysis of the most significant constituents of Belex15 index. Further analysis was realized using the Least Square Support Vector Machine (LS-SVMs) as a trend prediction model whereby feature selection was carried out through the analysis of technical indicators. The test results indicated that the proposed model gives better results for the constituents than for the Belex15 index itself.

Keywords: LS - SVM Classification, Emerging Markets, Belex15, Stock Market Prediction.

* ✉ jelenas@eknfak.ni.ac.rs

** ✉ ivana.markovic@eknfak.ni.ac.rs

*** ✉ ogi@eknfak.ni.ac.rs

Увод

Финансијске временске серије цена и приноса на финансијску активу карактерише низ специфичности, које намећу захтев за њиховом детаљном анализом у циљу адекватног постављања финансијских модела. Финансијско моделирање се заснива како на карактеристикама серије података, тако и на одређеним претпоставкама о финансијском тржишту и понашању тржишних учесника. Иако се стандардни и општеприхваћени модели базирају на теорији ефикасног тржишта, финансијско тржиште је комплексан, еволутивни и динамичан систем, који се понаша изразито нелинерано [Huang, Nakamori & Wang, 2005].

Интересовање стручне и академске јавности за кретања на финансијским тржиштима узроковало је бројна истраживања на том пољу. Остваривање профита инвестирањем у финансијске инструменте на тржишту капитала базира се на могућности успешног предвиђања цена финансијских инструмената у будућности [Huang и сар., 2005; Kara, Boyacıoglu & Baykan, 2011]. Стога се инвестициона стратегија може сматрати ефективном само уколико се заснива на прецизном предвиђању тренда промене вредности конкретног тржишног индекса [Kara и сар., 2011].

Финансијска тржишта у развоју, где се према степену развијености може сврстати и финансијско тржиште Србије, сматрају се перспективним тржиштима, с обзиром на то да ова тржишта представљају значајан алтернативни извор инвестиционих могућности за стране инвеститоре. Belex15 је водећи индекс Београдске берзе, чију вредност одређују цене најликвиднијих акција којима се тргује на регулисаном тржишту Београдске берзе. Намена индекса је да мери промене цена акција којима се тргује методом континуираног трговања, а које су претходно задовољиле критеријум за укључивање у индексну корпу.

Предикцију у области финансија условљавају велика разноврсност, али и нестационарност и неструктурираност података с високим степеном нестабилности и израженим скривеним везама. У односу на конвенционалне методе предвиђања финансијских временских серија, развијених током 70-их и 80-их година, од којих су најпопуларније ARCH модел [Engle, 1982], ARCH-GARCH [Bollerslev, 1986] и Box-Jenkins ARIMA [Box & Jenkins, 1976], у многим студијама алгоритми машинског учења показали су се веома ефикасним. Најчешће коришћени алгоритми машинског учења за предикцију јесу вештачке неуронске мреже (енгл. *Artificial Neural Networks* – ANNs) [Kara и сар., 2011], генетски алгоритми (енгл. *Genetic Algorithms* – GAs) [Atsalakis, Valavanis, 2009], фази логика и теорија хаоса. Према Вангу и Чуију [Wang, Choi, 2013], за предвиђање тренда на тржиштима капитала често се примењују и методи подржавајућих вектора (енгл. *Support Vector Machine*, SVM) [Huang и сар., 2005; Kumar, Thenmozhi, 2011; Lee, 2009; Ni, Ni & Gao, 2011]. Иако многа истраживања указују да промене цена акција нису потпуно насумичне, посматрано у дужем

временском интервалу промена цена се апроксимира случајним процесом (енг. *random walk*). Стога се степен прецизности од око 60% који се добија коришћењем метода машинског учења често описује као задовољајући за предвиђања на тржиштима капитала [Lahmiri, 2011].

Предвиђање тренда тржишних кретања базира се углавном на техничким или фундаменталним индикаторима. У овом раду користе се технички индикатори за предвиђање тренда. Проблем предвиђања правца промене вредности берзанског индекса се уобичајено моделује као проблем бинарне класификације. Основе *Least Square Support Vector Machine* – LS-SVM модела за предвиђање Belex15 индекса постављене су у претходним радовима аутора [Марковић, Станковић, Стојановић и Божић, 2014а; Марковић, Станковић, Стојановић и Божић, 2014б], тако да овај рад представља наставак развоја претходних модела, који укључује нове резултате и детаљније анализе података. Нови резултати се примарно односе на примену постављеног предикционог модела, који је дефинисан на основу карактеристика Belex15 индекса, за предвиђање тренда промене приноса конституената индекса Belex15. У циљу добијања комплетне и јасне слике о статистичким особинама изабраног узорка акција, обрачунате су и анализирале статистичке особине Belex15 индекса и изабраних конституената.

Наставак рада је организован на следећи начин. У другом делу представљене су статистичке особине изабраних акција с Београдске берзе. У трећем делу приказане су основе LS-SVM методе за бинарну класификацију, док је у четвртном делу описан предложени предикциони модел. Резултати тестирања и дискусија представљени су у петом делу. У последњем делу истакнути су неки од закључака и правци будућих истраживања.

1. Статистичке особине изабраних акција с Београдске берзе

Финансијски модели се заснивају на одређеним претпоставкама о финансијском тржишту и понашању тржишних учесника. Иако суштински значајно различити, према добијеним емпиријским резултатима, финансијски инструменти показују одређене заједничке карактеристике. Посматрано са статистичког становишта, наизглед случајне промене цена финансијских инструмената деле извесне заједничке особине.

Акцијама се на Београдској берзи тргује на регулисаном и нерегулисаном тржишту. На регулисаном тржишту се разликује *Prime Listing*, *Standard Listing* и *Open Market*. Услов за *Prime Listing* и *Standard Listing* испуниле су акције само осам предузећа, док услове за листинг на *Open Market* испуњава 49 издавалаца акција. Адекватна оцена основних карактеристика финансијских временских серија захтева и одређену дужину финансијске временске серије, што је, према

мишљењу аналитичара, свело број расположивих акција на пет. На основу претходног је формиран узорак акција са Београдске берзе и извршена анализа кретања дневних логаритамских приноса следећих финансијских серија:

- „Алфа Плам“ а. д. Врање (ALFA)
- „Енергопројект холдинг“ а. д. Београд (ENHL)
- „Металац“ а. д. Горњи Милановац (MTLC)
- „Сојапротеин“ а. д. Бечеј (SJPT)
- АИК банка а. д. Ниш (АИКВ)
- Комерцијална банка а. д. Београд (KMBN)

Узевши у обзир захтеване услове које компаније емитенти акција морају испунити како би се њихове акције нашле на овим листинзима, пошло се од претпоставке да су то најликвидније хартије од вредности на Београдској берзи. Како се њима континуирано тргује на берзи, временске серије података су непрекидне, што финансијско моделирање чини једноставнијим.

Подаци који су коришћени у овом раду преузети су са сајта Београдске берзе (www.belex.rs). Серије вредности индекса, као и појединачних акција, обухватају записе од 20. септембра 2006. године до 31. децембра 2013. године, у укупном износу од 1.840 трговинских дана. Серија података везаних за индекс се састоји од шест величина које се утврђују за сваки дан: вредност индекса, процентуална промена вредности индекса у односу на претходни дан трговања, вредност индекса на отварању берзе, највиша дневна вредност индекса, најнижа дневна вредност индекса и промет. Подаци о кретању цена појединачних акција обухватају следеће дневне величине: цена акције, промена цене акције изражена у процентима, обим трговања изражен у броју акција, цена на отварању (енгл. *Open Price*), максимални и минимални ниво цене на дневном нивоу, обим понуде и тражње изражен у броју акција и метод трговања конкретном акцијом. У циљу доношења одлуке о стратегији трговања, аналитичари прате промене вредности финансијског инструмента и промета.

Ради добијања комплетне и јасне слике о статистичким особинама изабраног узорка акција, потребно је обрачунати и анализирати основне статистичке особине приноса на хартије од вредности. У табели 1 представљена је основна дескриптивна статистика логаритамског приноса изабраних финансијских временских серија.

Табела 1: Дескриптивна статистика логаритамског приноса изабраних финансијских временских серија

	AIKB	ALFA	ENHL	KMBN	SJPT
Средња вредност	-0.000597	- 0.000526	- 0.000234	- 0.000706	- 0.000645
Медијана	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Максимум	0.176715	0.153150	0.181620	0.175752	0.131210
Минимум	-0.209637	- 0.168470	- 0.121982	- 0.139420	- 0.223144
Стандардна девијација	0.027307	0.025157	0.028228	0.027944	0.025346
Коефицијент асиметрије	-0.014979	0.145531	0.297060	0.428330	- 0.140802
Коефицијент спљоштености	10.66513	9.920598	6.417176	11.11653	9.881790
Jarque-Bera	4504.553	3676.421	922.3056	5093.031	3627.056
p-value	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Извор: Аутори

На основу табеле 1, може се уочити да је средња вредност код свих акција негативна, али не одступа значајно од нуле. Класична финансијска теорија полази од претпоставке нормалности дистрибуције приноса. Основни показатељи дистрибуције приноса су мере облика распореда. Мере облика распореда су мере асиметрије и мере спљоштености. Као мера асиметрије најчешће се користи коефицијент асиметрије (енгл. *skewness*). Облик распореда приноса посматраних акција има одлике асиметричног распореда, с тим што се углавном може говорити о умереној асиметричности ($-0,5 < \alpha_3 < 0,5$). Приноси на акције: ALFA, ENHL и KMBN имају позитивно асиметричан распоред, што треба да укаже на чињеницу да је у посматраном временском периоду код ових акција чешће долазило до раста цена и повећања приноса, него до њиховог пада. Изузетак у анализираном узорку јесу акције AIKB и SJPT, чији облик распореда карактерише негативно асиметричан распоред. Коефицијент спљоштености (енгл. *kurtosis*) код свих акција је значајно већи него што би се очекивало код нормално дистрибуираних података. Код акција AIKB и KMBN врхови криве дистрибуције су значајно виши и због појаве већег броја приноса једнаких нули (услед непроменљивости цене у данима када није било трговања). Оба коефицијента код посматраних акција сугеришу да дистрибуције приноса одступају од нормалне дистрибуције. *Jarque-Bera* тест јасно потврђује ову претпоставку. Вредности теста су значајно високе (уз $p\text{-value} \ll 0.05$) (табела 1).

Једна од основних карактеристика финансијских временских серија јесте одсуство аутокорејације. Аутокорејација или серијска корелација приноса значи

да висина приноса у једној временској јединици зависи од вредности приноса који јој временски претходе или се појављују касније у низу. На ликвидним финансијским тржиштима кретања цена не показују значајну аутокорељацију: функција аутокорељације промене цене опада до нуле у врло кратком временском периоду. Ова чињеница се често користи као потврда хипотезе ефикасног тржишта. Аутокорељација се испитује најчешће аутокорељационим коефицијентом првог реда. Одсуство аутокорељације код финансијских временских серија доказује се тестирањем хипотезе да су сви аутокорељациони коефицијенти једнаки нули. За овај тест користи се *Ljung-Box Q*-статистика. У табели 2 приказани су резултати *Ljung-Box* теста за конкретне акције.

Табела 2: Резултати *Ljung-Box Q*-статистике нормализованог логаритамског приноса, његовог квадрата и апсолутне вредности изабраних финансијских временских серија (доцња [lag] = 10, критична вредност 18.3070, 5% ниво значајности)

Ljung-Box Q-тест (критична вредност 18.3070)						
R			 r 		r²	
	Тест статистика	p-value	Тест статистика	p-value	Тест статистика	p-value
AIKB	73.79	0.0000	1211.30	0.0000	1065.30	0.0000
ALFA	33.61	0.0002	338.12	0.0000	156.56	0.0000
ENHL	48.83	0.0000	703.99	0.0000	550.00	0.0000
KMBN	38.73	0.0000	342.70	0.0000	323.59	0.0000
SJPT	89.08	0.0000	689.23	0.0000	273.40	0.0000

Извор: Аутори

Може се уочити да добијени резултати јасно одбацују нулту хипотезу аутокорељације и указују на позитивну корелисаност логаритамских приноса посматраних акција са Београдске берзе. Добијене вредности аутокорељационе функције апсолутних вредности приноса и квадрата приноса изабраних финансијских серија јасно показују постојање значајне аутокорељисаности квадрата приноса и апсолутне вредности приноса. Резултати *Q*-теста указују на постојање хетероскедастичности у логаритамским приносима посматраних акција.

2. Основе *least squares support vector machine* за бинарну класификацију

У делу који следи приказане су теоријске основе метода најмањих квадрата подржавајућих вектора (енгл. *Least Squares Support Vector Machine*, LS-SVM) за бинарну класификацију.

Посматрајмо тренинг скуп од укупно N примера, где су x_k улазни вектори, а $y_k \in [-1, +1]$ њима придружене ознаке класа. LS-SVM за бинарну класификацију је дефинисан у раду аутора Suykens и Vandewalle [1999], на следећи начин:

$$\min_{w,b,e} J_{LS}(w,b,e) = \frac{1}{2} w^T w + C \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N e_k^2 \quad (1)$$

уз ограничења једнакости:

$$y_k [w^T \varphi(x_k) + b] = 1 - e_k, \quad k = 1, \dots, N \quad (2)$$

где је φ нелинерна функција мапирања, која пресликава скуп улазних вектора у вишедимензионалан простор. Тежински вектор хиперравни означен је са w , док је b скаларни померај, односно тежински праг. Променљива e_k представља дозвољене грешке класификације, док параметар C контролише процес, односно однос између сложености модела и прихватљиве грешке класификације.

Након решавања оптимизационог проблема дефинисаног са (1) и (2), решење се може наћи у раду Suykens и Vandewalle [1999], функција раздвајања LS-SVM класификатора се дефинише као:

$$y(x) = \text{sign} \left[\sum_{k=1}^N \alpha_k y_k K(x, x_k) + b \right] \quad (3)$$

где α_k представљају подржавајуће векторе (односно Лагранжове мултипликаторе), а b је константа. $K(x, x_k)$ представља функцију језгра (енгл. *Kernel function*), која је дефинисана скаларним производом између x и x_k .

Како је наведено у раду Gestel и сар. [2004] на основу двадесет различитих скупова података најбољу општу стопу предвиђања дали су LS-SVM класификатори са RBF (енгл. *Radial Basis Function*) кернелом. Поред тога, према раду Божић, Стајић и Стојановић [2010], у случајевима када је број примера за класификацију много већи од броја атрибута (димензија вектора – простора) такође се препоручује коришћење RBF кернела дефинисаног са:

$$K(x, x_k) = e^{-\frac{\|(x-x_k)\|^2}{\sigma^2}} \quad (4)$$

Приликом тренирања LS-SVM модела потребно је одредити вредност скалирајућег параметра C , као и параметре изабраног језгра, у овом случају ширину σ . Један од начина за одређивање ових параметара јесте поступак n унакрних валидација (енгл. *k fold Cross-Validation*) у комбинацији са

претраживањем по корацима (енгл. *Grid-Search*), детаљно описан у раду аутора Божић и сар. [2010].

3. Формирање модела

Техничка анализа је својеврсна техника предвиђања тренда промене цена хартија од вредности, која се заснива на претпоставци да промене цене формирају препознатљиве обрасце. Методи предвиђања тренда помоћу техничке анализе могу бити квантитативни и квалитативни. Најједноставнији квалитативни методи се базирају на анализи графичких приказа кретања цене и обима трговања у циљу идентификовања образаца промене који могу бити искоришћени у сврху профитабилног трговања. Технички индикатори представљају квантитативни метод анализе тренда промене цена и обима трговања. Инвеститори обично користе оба метода како би обезбедили прецизније анализе.

За формирање LS-SVM модела за предвиђање тренда индекса Belex15 и његових конституената користе се технички индикатори, и то индикатори тренда и осцилатори. У радовима Марковић и сар. [2014а, 2014б] постављене су основе за формирање LS-SVM модела за предвиђање тренда Belex15 индекса. У овом раду су претходно изабрани индикатори коришћени за креирање модела за предвиђање конституената индекса Belex15, што нам омогућава да поредимо добијене резултате. Укратко ћемо изнети опис претходно коришћене методологије и селектованих техничких индикатора.

Према анализама спроведеним у раду Марковић и сар. [2014б], за формирање предикционог модела за Belex15 индекс коришћени су експоненцијални покретни просек (енгл. *Exponential Moving Average* – ЕМА) и MACD (енгл. *Moving Average Convergence Divergence*) индикатор. Разлог за селекцију ЕМА међу осталим техничким индикаторима јесте њена карактеристика да даје већи значај скоријим променама цене, као и могућност рачунања ЕМА вредности уназад до скоро неограниченог броја корака (нпр. ЕМА120, ЕМА220), што је битна претпоставка код моделовања временских серија [Lahmiri, 2011]. На основу анализа временског хоризонта дефинисан је период за обрачун ЕМА од претходних 10 дана. У групи најчешће примењиваних техничких индикатора којима се мери тренд, тзв. осцилатора, на основу анализе осетљивости спроведене у раду Марковић и сар. [2014б], изабран је MACD због значаја који има на формирање предиктивног модела.

Статистичка анализа аутокорелације логаритамских приноса на индекс Belex 15, која је приказана у раду Марковић и сар. [2014а], детерминише најзначајније варијабле за предикцију тренда промене вредности индекса. Добијене вредности аутокорелационих коефицијената показују да вредност аутокорелационе функције значајно опада током прва три корака и да су најзначајније вредности претходна два логаритамска приноса. У односу на селектовани скуп акција Belex15 индекса анализе из претходног одељка указују и

да код појединачних акција постоји значајна аутокорељација, али овде доминира вредност првог лага (доцње).

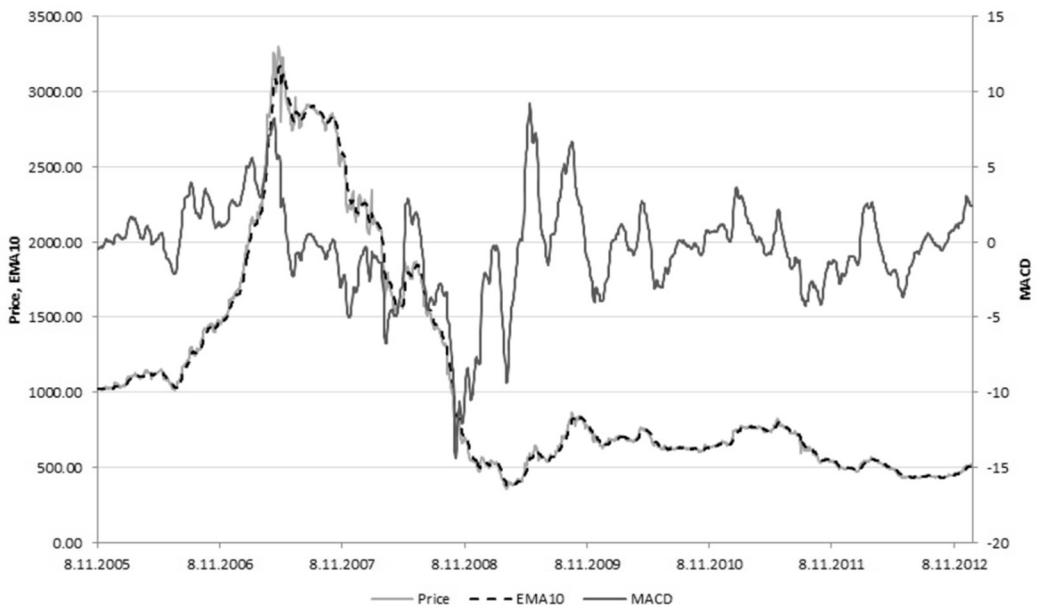
Детаљне математичке формулације за примењене трансформације и индикаторе дате су у табели 3.

Табела 3: Улазни атрибути LS-SVM предикционог модела

Атрибути	Формула
Цена акције	$CP_t, t = 1, 2, \dots, N$
Логаритамски принос	$r_t = \log CP_t - \log CP_{t-1}$
EMA_N	$EMA = r_t * k + EMA_{t-1} * (1 - k); k = 2 / (N + 1)$
MACD	$MACDt = EMA12 - EMA 26$

У фази претпроцесирања података примењена је *min-max* нормализација атрибута како атрибути с већим нумеричким вредностима не би доминирали у поређењу с атрибутима који имају ниже нумеричке вредности. Слика 1 приказује моделовање посматране временске серије Belex15 индекса помоћу EMA и MACD индикатора.

Слика 1: Однос вредности индекса на затварању (енгл. *Close Price*) и коришћених техничких индикатора



Извор: Аутори

На основу слике 1, јасно се може уочити да претходно наведене трансформације доприносе стационарности серије података, те да додатно утичу на побољшање ефикасности коришћеног алгоритма машинског учења и повећање брзине израчунавања нумеричких калкулација.

Класа за предвиђања правца кретања вредности индекса одређена је на основу вредности разлике логаритамских приноса. Ознака класе је 1 , ако је логаритамски принос у тренутку времена t већи од нуле, односно -1 , ако је логаритамски принос у посматраном тренутку t мањи од нуле. Правац (тренд) је, дакле, категоричка променљива која приказује правац кретања цена посматране акције у било ком тренутку времена t .

На основу претходних анализа креиран је следећи предикциони модел за селектоване акције:

$$y_t = f(r(t-1), MACD(t-1), EMA10(t-1)) \quad (5)$$

За формирање модела коришћена је *Matlab* библиотека *LS-SVMlab* [Vrabanter и сар., 2011]. Резултати тестирања су представљени у следећем делу рада.

4. Резултати тестирања и дискусија

Приликом креирања предикционих модела, расположиви подаци су подељени у две групе. Прву групу чини 1.811 записа предвиђених за тренирање модела, од 20. 9. 2006. године до 31. 12. 2012. године, док су за тестирање и евалуацију резултата резервисани подаци од 3. 1. 2013. године до 31. 12. 2013. године, укупно 252 дана трговања.

Као општа мера за процену перформанси предвиђања на тест скупу користи се стопа погодака (енгл. *Hit Ratio – HR*), која се израчунава на основу броја правилно класификованих резултата у оквиру тест скупа:

$$HR = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m PR_i$$

(6)

Где је PR предикциони резултат i -тог трговинског дана, при чему је PR_i једнако 1 ако је актуелни излаз за i -ти тренинг-дан једнак предвиђеној вредности i -тог дана трговања, док је m број податка у тест скупу [Yuling, Guo & Hu, 2013].

LS-SVM параметри C и σ за све серије података одређени су процесом 10 унакрсних валидација уз помоћ *grid-search* технике, чиме се успешно превазилази проблем *overfitting*-а модела. Након тренинг-фазе, успешност модела је проверена над тест-подацима.

Код моделовања временских серија појединачних акција посебно су сагледане ознаке класа у данима када није било трговања. Постоји више техника

које се могу искористити, и због једноставне примене у овом раду коришћен је *naive* модел обележавања класа, при чему је свакој неозначеној класи додељена класа -1, односно претпоставка пада цена акција. На тај начин додатно је смањен ризик губитка приликом формирања стратегија трговања.

У табели 4 представљене су максималне стопе погодака LS-SVM предикционих модела на доступном тест-скупу података. Као модел за поређење перформанси користили смо претпоставку основног *random walk* модела (RW) да је очекивање сутрашње цене (y_{t+1}) једнако данашњој цени (y_t), односно да је очекивани принос (r_{t+1}) једнак нули.

Табела 4: Стопа погодака по акцијама

Акције	RW	HR
AIKB	0.508	0.556
ALFA	0.603	0.726
ENHL	0.552	0.575
KMBN	0.682	0.774
SJPT	0.559	0.615
Belex15	0.500	0.539

Извор: Аутору

На основу табеле 4 може се уочити да степен предвидљивости тренда изабраних акција није уједначен, међутим, виши је од степена предвидљивости Belex15 индекса. Мали обим трговања и задржавање цене акција на претходном нивоу у данима када није било трговања на тржишту у развоју доприносе нешто већем степену предвидљивости појединих акција него на развијеним тржиштима. С обзиром на све наведене особености берзанског тржишта, добијене вредности стопе погодака спадају у очекивани опсег прецизности и компаративне су са резултатима приказаним у другим студијама [Huang и сар., 2005; Kara и сар., 2011; Yuling и сар., 2013]. Предвидљивост кретања цена додатно указује на неефикасност домаћег финансијског тржишта.

Осцилације прецизности предвиђања додатно се могу објаснити редовним и ванредним ревизијама корпе берзанског индекса, као и обелодањивањем информација о пословању предузећа, чије акције чине индексну корпу, услед чега долази до промена у вредности индекса и обима трговања. У периодима раста приноса инвеститори су заинтересовани за улагања, међутим, у периодима пада приноса инвеститори мењају своје стратегије и финансијска средства реалоцирају у релативно сигурне инвестиционе алтернативе.

Закључак

У овом раду извршена су предвиђања промене тренда индекса Belex15 и његових најважнијих конституената методом најмањих квадрата подржавајућих вектора (LS-SVMs). Улазне вредности за формирање модела су вредности приноса претходног дана, експоненцијални покретни просек (EMA) и MACD индикатор.

Применом предложеног модела добијају се конкурентни резултати предвиђања правца кретања вредности акција. Нарочито је значајно узети у обзир да се у овом раду испитује степен предвидљивости кретања индекса цена акција на тржишту у развоју, као што је тржиште капитала Републике Србије, насупротив већини радова из ове области, који се баве предвиђањем индекса цена акција на развијеним тржиштима.

Даља истраживања аутора усмерена су ка дефинисања сигнала за трговање на основу добијених предикција тренда. Сигнал за куповину би се могао генерисати уколико предикција покаже повећање цене акције следећег дана у односу на данашњи дан, док се у супротном – уколико покаже да се цена смањује следећег дана, може генерисати сигнал за продају акције. Тиме добијене разлике у прецизности предвиђања још више добијају на значају и упућују на даље анализе искористивости финансијских потенцијала сваког од конституената.

Други правац би упућивао на додатна претпроцесирања и обраду података, као и на унапређења која се односе на креирање LS-SVM предикционог модела увођењем нових атрибута или оптимизацијом неких од карактеристика LS-SVM алгоритма.

Референце

Atsalakis, G. S., Valavanis, K. P. „Surveying stock market forecasting techniques – Part II: Soft computing methods“, *Expert Systems with Applications*, 36, 2009, 5932–5941.

Божих, М., Стајић, З. и Стојановић, М., „Краткорочно предвиђање електричног оптерећења применом метода подржавајућих вектора“, *Зборник радова Међународне конференције INFOTEH Jahorina 2010*, Босна и Херцеговина, 326–329.

Bollerslev, T., „Generalized autoregressive conditional heteroscedasticity“, *Journal of Econometrics*, 31, 1986, 307–327.

Box, G. E. P., Jenkins, G., *Time Series Analysis, Forecasting and Control*, Holden-Day, San Francisco, 1976.

Брадић-Мартиновић, А., „Предвиђање цена акција помоћу техничке анализе“, *Economic Anals*, 170, 2006.

De Brabanter, K., Karsmakers, P., Ojeda, F., Alzate, C., De Brabanter Pelckmans, J. K., De Moor, B., et al., „LS-SVMlab Toolbox User’s Guide“, *ESAT-SISTA Technical*

Report, 10–146, 2011; преузето 25. 11. 2014. са сајта:

www.esat.kuleuven.be/sista/lssvmlab/

Engle, R. F., „Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimator of the variance of United Kingdom in ation“, *Econometrica*, 50(4), 1982, 987–1008.

Gestel, T. V., Suykens, J. A. K., Baensens, B., Viaene, S., Vanthienen, J., Dedenebart, G., et al., „Benchmarking Least Squares Support Vector Machine Classifiers“, *Machine Learning*, 54, 2004, 5–32.

Huang, W., Nakamori, Y., & Wang, S. Y., „Forecasting stock market movement direction with support vector machine“, *Computers & Operations Research*, 32(10), 2005, 2513–2522.

Kara, Y., Boyacioglu, M. A., & Baykan, Ö. K., „Predicting direction of stock price index movement using artificial neural networks and support vector machines: The sample of the Istanbul Stock Exchange“, *Expert systems with Applications*, 38(5), 2011, 5311–5319.

Kumar M., Thenmozhi, M., „Forecasting stock index movement: a comparasion of support vector machines and random forest“, Indian Institute of Capital Markets 9th Capital Markets Conference Paper, 2006; преузето 18. 2. 2015. са сајта: <http://ssrn.com/abstract=876544>, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.876544>

Lahmiri, S., „A Comparison of PNN and SVM for Stock Market Trend Prediction using Economic and Technical Information“, *International Journal of Computer Applications*, 29(3), 2011.

Lee, M.-C., „Using support vector machine with a hybrid feature selection method to the stock trend prediction“, *Expert Systems with Applications*, 36, 2009, 10896–10904.

Марковић, И., Станковић, Ј., Стојановић, С. и Божић, М., „Предвиђање промене тренда вредности берзанског индекса Belex15 помоћу LS-SVM класификатора, *Зборник радова Међународне конференције INFOTEN Jahorina 2014*, Босна и Херцеговина, 2014а, 739–782.

Марковић, И., Станковић, Ј., Стојановић, М. и Божић, М., „Prediction of the stock market trend using LS-SVMs based on technical indicators“, *Зборник радова Међународне конференције ICEST2014*, Република Србија, 2014б, 61–64.

Ni, L.-P., Ni, Z. W., & Gao, Y. Z., „Stock trend prediction based on fractal feature selection and support vector machine“, *Expert Systems with Applications*, 38, 2011, 5569–5576.

Phichhang, O., Wang, H., „Prediction of Stock Market Index Movement by Ten Data Mining Techniques“, *Modern Applied Science*, 3(12), 2009, 28–42.

Suykens, J., Vandewalle, J., „Least Squares Support Vector Machines“, *Neural processing letters*, 9(3), 1999, 293–300.

Wang, Y., Choi, I-Ch., *Market Index and Stock Price Direction Prediction using Machine Learning Techniques: An empirical study on the KOSPI and HIS*, 2013; преузето 18. 2. 2015. са сајра: <http://arxiv.org/abs/1309.7119>

Yuling, L., Guo, H., & Hu, J., „An SVM-based Approach for Stock Market Trend Prediction. Neural Networks (IJCNN)“, у: *Neural Networks (IJCNN)*, IEEE Press, New York, 2013, 1–7.

www.belex.rs

Summary

This paper predicts changes in the trend of the Belex15 index and its most important constituents based on the least square support vector machine method (LS-SVMs). The Belex15 is the leading index of the Belgrade stock exchange, whose value is determined by the price of the most liquid shares which are traded on the regulated market of the Belgrade stock exchange. The statistical features of the financial time series of the Belgrade stock exchange are a clear indication of the positive correlation of the logarithmic yields of the studied shares, as well as the auto-correlation of the square yield and absolute yield value. In addition, the results of the statistical analyses confirm the existence of a heteroscedastic nature of the logarithmic yield of the studied shares, which determines the choice of the most significant variables for the prediction of the index value trend of change. The problem of predicting the direction of change of the value of the stock exchange index was translated into a problem of binary classification where the LS-SVMs method was used for prediction. In order to form the LS-SVM model, the following technical indicators were used: EMA and MACD. The EMA was selected from among the other technical indicators due to the fact that it awards greater value to more recent changes in price. In the group of most frequently applied technical indicators used to measure the trend, the so-called oscillators, the MACD was selected for the impact it has on the formation of a predictive model. The LS-SVMlab library was used to form the model. When creating the prediction model, the available data were divided into two groups. The first group consisted of data used for model training, while the second group was used for testing and evaluating the results. As a general measure for the evaluation of the performances of the predictions on the test group we used the Hit Ratio (HR) which is calculated based on the number of properly classified results within the test group.

The research results indicate that the rate of trend prediction of the selected shares is not uniform, but is still higher than the extent of predictability of the Belex15. The small extent of trading and price retention at a certain level for several days contributed to a higher level of predictability of certain shares, more so than on developed markets. Taking into consideration the features of the Belgrade stock exchange, the obtained values of the hit ratio fall into the expected rate of precision and can be compared to the results shown in other studies. The predictability of price movement additionally indicates the lack of effectiveness of the local financial market.