

VILNIAUS UNIVERSITETAS

Igor Katin

AKCIJŲ BIRŽOS MODELIO SUDARYMAS IR TYRIMAS

Daktaro disertacijos santrauka

Technologijos mokslai, informatikos inžinerija (07 T)

Vilnius, 2014

Disertacija rengta 2009–2013 metais Vilniaus universiteto Matematikos ir informatikos institute.

Mokslinis vadovas

prof. habil. dr. Jonas Mockus (Vilniaus universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07 T).

Disertacija ginama Vilniaus universiteto Matematikos ir informatikos instituto Informatikos inžinerijos mokslo krypties taryboje:

Pirmininkas

prof. habil. dr. Gintautas Dzemyda (Vilniaus universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07 T).

Nariai:

prof. habil. dr. Juozas Augutis (Vytauto Didžiojo universitetas, fiziniai mokslai, informatika – 09 P),

prof. habil. dr. Artūras Kaklauskas (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07 T),

dr. Aistis Raudys (Vilniaus universitetas, fiziniai mokslai, informatika – 09 P),

prof. habil. dr. Rimantas Šeinauskas (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07 T).

Oponentai:

prof. dr. Eduardas Bareiša (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07 T),

doc. dr. Olga Kurasova (Vilniaus universitetas, fiziniai mokslai, informatika – 09 P).

Disertacija bus ginama Vilniaus universiteto viešame Informatikos inžinerijos mokslo krypties tarybos posėdyje 2014 m. gegužės mėn. 28 d. 13 val. Vilniaus universiteto Matematikos ir informatikos instituto 203 auditorijoje.

Adresas: Akademijos g. 4, LT-08663 Vilnius, Lietuva.

Disertacijos santrauka išsiuntinėta 2014 m. balandžio mėn. 28 d.

Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus universiteto bibliotekoje.

VILNIUS UNIVERSITY

Igor Katin

ON DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF STOCK-EXCHANGE
MODEL

Summary of Doctoral Dissertation

Technological Sciences, Informatics Engineering (07 T)

Vilnius, 2014

Doctoral dissertation was prepared at the Institute of Mathematics and Informatics of Vilnius University in 2009–2013.

Scientific Supervisor

Prof. Dr. Habil. Jonas Mockus (Vilnius University, Technological Sciences, Informatics Engineering – 07 T).

The dissertation will be defended at the Council of the Scientific Field of Informatics Engineering at the Institute of Mathematics and Informatics of Vilnius University:

Chairman

Prof. Dr. Habil. Gintautas Dzemyda (Vilnius University, Technological Sciences, Informatics Engineering – 07 T).

Members:

Prof. Dr. Habil. Juozas Augutis (Vytautas Magnus University, Physical Sciences, Informatics – 09 P),

Prof. Dr. Habil. Artūras Kaklauskas (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Informatics Engineering – 07 T),

Dr. Aistis Raudys (Vilnius University, Physical Sciences, Informatics – 09 P),

Prof. Dr. Habil. Rimantas Šeinauskas (Kaunas University of Technology, Technological Sciences, Informatics Engineering – 07 T).

Opponents:

Prof. Dr. Eduardas Bareiša (Kaunas University of Technology, Technological Sciences, Informatics Engineering – 07 T),

Assoc. Prof. Dr. Olga Kurasova (Vilnius University, Physical Sciences, Informatics – 09 P).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Council of the Scientific Field of Informatics Engineering in the auditorium number 203 at the Institute of Mathematics and Informatics of Vilnius University, at 1 p. m. on 28th of May 2014.

Address: Akademijos st. 4, LT-08663 Vilnius, Lithuania.

The summary of the doctoral dissertation was distributed on 28th of April 2014.

A copy of the doctoral dissertation is available for review at the Library of Vilnius University.

1. Įvadas

Tyrimų sritis ir problemos aktualumas

Optimali finansinio investavimo (Portfelio) problema, įskaitant prognozavimą ir rinkos modelius, buvo tiriama pirmaujančių finansinių organizacijų ir mokslininkų. Ši problema taip pat yra svarbi smulkiems investuotojams, kurie nori išsaugoti arba padidinti savo kapitalą. Ypatingas dėmesys buvo skiriamas finansų rinkos analizei, Nobelio premijų skaičius rodo mokslinį pripažinimą šioje srityje.

Pagrindiniai šio darbo tikslai yra prognozavimas, portfelio optimizavimas, rizikos mažinimas ir kapitalo paskirstymas. Kai kuriuose finansų rinkos tyrimuose, rinkos prognozė ir portfelio optimizavimas buvo atliekami kartu. Tačiau daugumoje finansų rinkos tyrimuose prognozavimas ir investavimo problemos buvo atliekamos atskirai. Taip pat svarbi finansų rinkos analizės dalis yra rinkos dalyvių elgesys. Yra įvairių prielaidų šiuo klausimu: kai kurie mokslininkai sako, kad elgesys yra racionalus, o kai kurie, kad iracionalus. Tai labai svarbus klausimas, nes jis gali paaiškinti daugelį procesų finansų rinkoje.

Patogus finansų rinkos tyrimo būdas yra jo modelio sukūrimas. Yra daug modelių, kurie imituoja finansų (akcijų) rinką ar jos dalį: akcijų biržos žaidimai, rinkos simulatoriai, prognozavimo modeliai ir priemonės, skirtos rinkos procesų analizei.

Finansų rinkos simulatoriai yra sukurti patenkinti smulkių individualių investuotojų poreikius. Tokie pavyzdžiai būtų StockTrak globalus portfelio simulatorius ir MarketWatch virtuali akcijų birža. Kai kurie bankai siūlo savo investavimo simulatorius, pavyzdžiui, Barclays fantazinis investavimo žaidimas (angl. *Barclays Fantasy Investment Game*). Šių simulatorių vartotojai dirbdami su biržomis yra informuojami apie rezultatus. Grafinės sąsajos yra draugiškos vartotojui. Tačiau teorinis šių modelių pagrindas ir apskaičiavimo algoritmai nėra pateikiami. Taigi, vartotojai negali suvokti, kodėl jie laimi ir kodėl jie patiria nuostolius.

Finansų rinkos modeliai buvo tiriami darant prielaidą, kad nepriklausomi finansiniai agentai sąveikauja atsitiktinai. Žinomas virtualios akcijų biržos modelis nagrinėjo investuotojų bendravimą biržoje. Abiem šiais atvejais buvo prekiaujama tik vienos firmos akcijomis. Eilėje straipsnių portfelio valdymo sprendimai yra laikomi kaip dirbtinio intelekto sritis.

Esamų tyrimų rezultatai paskatino imtis šio darbo modeliuoti daugelio akcijų finansų rinką. Šio darbo tyrimo objektas yra naujos akcijų biržos PORTFELIO modelio sukūrimas ir įvairių investavimo teorijų bei strategijų eksperimentiniai tyrimai panaudojant šį modelį.

Darbo tikslas ir uždaviniai

Šio darbo tikslas yra sukurti lankstų, lengvai pritaikomą akcijų biržos modelį, skirtą individualių vartotojų poreikiams naudingumo teorijos kontekste.

Siekiant iškelto tikslo buvo sprendžiami šie uždaviniai:

1. Išanalizuoti esamas akcijų biržas ir rinkos modelius.

2. Išanalizuoti akcijų kainų prognozavimo metodus.
3. Išanalizuoti portfelio optimizavimo ir prekybos strategijas.
4. Išanalizuoti realios akcijų biržos prekybos strategijas.
5. Sukurti akcijų biržos modelio pagrindinius elementus, tokius kaip investuotojai, bankai, virtualios akcijų kainos generatoriai, istorinių kainų sąsaja ir sujungimo schemas.
6. Iširti kainų prognozavimo algoritmus.
7. Sukurti įvairias trumpalaikes investavimo strategijas, atspindinčias realią praktiką.
8. Sukurti ilgalaikes prekybos strategijas, remiantis esančiomis trumpalaikėmis strategijomis ir papildant gerai žinomomis investavimo teorijų strategijomis, tokiomis kaip Šarpo rodiklis (angl. *Sharpe Ratio*) ir Markovičiaus moderni portfelio teorija (angl. *Modern Portfolio Theory*)
9. Atlikti eksperimentus su virtualiomis akcijų kainomis.
10. Atlikti eksperimentus su istorinėmis akcijų kainomis.

Naujas PORTFELIO modelio elementas yra investavimo optimizavimas investavimo strategijų ir prekybos taisyklių (tiek trumpalaikių, tiek ilgalaikių) kontekste. PORTFELIO virtualios dalies tikslas yra ne prognozavimas, bet finansinių laiko eilučių simuliacija, kurios yra priklausomos nuo investuotojų subjektyvių prognozių. Šio modelio tikslas yra iširti ryšį tarp realių duomenų teorinio modelio bei iširti kitus rezultatus, kurie gali būti gauti naudojant šį paprastą modelį.

Naudojant PORTFELIO modelį pastebėtas naujas ir netikėtas eksperimentų rezultatas, kad minimalios kainų prognozavimo paklaidos nebūtinai suteikia maksimalų pelną.

Tyrimo metodai

Kuriant naują modelį buvo naudotasi tradicinėmis prognozavimo ir investavimo teorijomis bei keliais pastebėjimais iš realių situacijų. Autogresiniai AR(p) ir AR-ABS(p) modeliai yra naudojami sekančios dienos kainos prognozavimui. Čia parametras p (auto regresijos koeficientas) apibrėžia atminties ilgį (parodo kaip ankstesnės vertės naudojamos prognozavimui).

Šiame tyrime p reikšmė buvo imama nuo 1 iki 9. Be to, buvo svarstomas Atsitiktinio klaidžiojimo (angl. *Random Walk*) modelis. Taigi, šiame darbe buvo palyginti 19 paprastų sekančios dienos kainos prognozavimo modelių. Preliminarūs eksperimentai rodo, kad sudėtingesni prognozavimo modeliai labai smarkiai nekeičia rezultatų.

Investuotojų elgesio imitavimui buvo taikomos 10 skirtingų prekybos taisyklių: 4 trumpalaikės ir 6 ilgalaikės. Derinant įvairius prognozavimo metodus ir prekybos taisykles galima sukurti 190 skirtingų investavimo strategijų, kurios gali būti naudojamos investuotojų.

Šiame darbe buvo atrinkta 80 investavimo strategijų. Virtualūs duomenys buvo vidurkinami iš 100 bandymų. Istoriniai duomenys buvo imami iš skirtingų ekonominių laikotarpių, kiekvienas iš kurių sudarė maždaug po 360 darbo dienų.

Darbo mokslinis naujumas

1. Yra daug finansų rinkos modelių, bet tik keletas akcijų biržos modelių. Gerai žinomi finansų rinkos modeliai imituoja nepriklausomų agentų, prekiaujančių vienos firmos akcijomis, sąveikas. Siūlomas modelis, priešingai, imituoja akcijų biržos darbą, kurioje vyksta prekyba su daugelio firmų akcijomis.
2. Siūlomo modelio naujos funkcijos:
 - a) optimizavimas investicinių strategijų erdvėje;
 - b) įdiegti tiek realios, tiek virtualios akcijų biržos modeliai;
 - c) galimybė analizuoti rezultatus (kainų prognozavimo paklaidos ir pelnai) naudojant įvairias prekybos taisykles ir prognozavimo modelius, naudojant tiek realius, tiek virtualius duomenis.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Modelis suteikia galimybę išbandyti skirtingas investicines teorijas ir strategijas tiek su virtualiais, tiek ir su istoriniais duomenimis. Modelis gali būti naudojamas magistrantūros studijų dalyko „Optimizavimo ir finansų rinkos“ dėstyje.

Ginamieji teiginiai

PORTFELIO modelis gali būti naudojamas tirti realių duomenų santykį su teorinėmis prielaidomis bei nagrinėti kitus teorinius ir praktinius rezultatus, kurie gali būti gauti naudojant paprastą akcijų biržos modelį.

Naudojant PORTFELIO modelį pastebėtas naujas ir netikėtas eksperimentų rezultatas, kad minimalios kainų prognozavimo paklaidos nebūtinai suteikia maksimalų pelną. Šis rezultatas gali būti išbandytas ir patikrintas savarankiškai, be ypatingų žinių ir įrangos, visos eksperimentinės sąlygos yra pilnai apibrėžtos ir gali būti pakartotos.

Darbo rezultatų aprobavimas

Tyrimų rezultatai publikuoti 4 periodiniuose recenzuojamuose mokslo žurnaluose. Tyrimų rezultatai pristatyti ir aptarti 9 nacionalinėje ir tarptautinėje konferencijoje Lietuvoje ir užsienyje.

Darbo apimtis

Disertaciją sudaro 5 skyriai, literatūros sąrašas ir priedai. Disertacijos skyriai: Įvadas, Finansų rinkos modeliai ir jų imitacijos, Portfelio modelis, Eksperimentiniai tyrimai, Bendrosios išvados. Papildomai disertacijoje pateikti lentelių, paveikslų bei naudotų žymėjimų ir santrumpų sąrašai. Disertacijos apimtis 122 puslapių (be priedų), kuriuose pateikti 45 paveikslai, 231 formulės ir 16 lentelių. Disertacijoje remtasi 34 literatūros šaltiniais.

2. Finansų rinkos modeliai ir jų imitacijos

Modeliai, simulatoriai ir žaidimai

Akcijų biržos ir akcijų rinkos modeliai bei programinė įranga, imituojanti finansinius procesus, gali būti suskirstyti į šias keturias pagrindines grupes:

- akcijų rinkos žaidimai;
- akcijų rinkos modeliai;
- akcijų biržos simulatoriai;
- akcijų biržos modeliai.

Akcijų biržos žaidimas arba akcijų rinkos žaidimo modelis imituoja tik akcijų rinkos funkcijas, tokias kaip akcijų kainos, dividendai, sandorių išlaidos, bet neimituoja investuotojų (vartotojų) funkcijų. Dažnai šie modeliai suteikia galimybę investuotojams išmokti investuoti virtualius pinigus. Investuotojai žaidžia virtualiuose akcijų lošimuose su realios rinkos būseną.

Šių modelių pavyzdžiai yra MarketWatch, Stock Trak. Nors iš šių modelių galima gauti keletą statistinių duomenų rinkos ir jos dalyvių analizei, pagrindiniai jų tikslai yra naujų prekyautojų investavimo mokymasis, rinkos dinamikos supratimas, kainų prognozių ir investavimo strategijų testavimas be jokios rizikos prarasti pinigus.

Skirtingai nuo šių modelių, akcijų biržos modelis PORTFOLIO yra naudojamas rinkos tyrimui, rinkos hipotezių kūrimui, jos procesų paaiškinimų gavimui, kurie įrodytų arba paneigtų kai kurias rinkos teorijas.

Esami akcijų biržos modeliai ir virtualios akcijų biržos

Virtualus akcijų žaidimas **MarketWatch** yra konkurencingas žaidimas, pagrįstas realios rinkos taisyklėmis, kur vartotojai investuoja savo fiksuotą virtualių pinigų biudžetą į akcijas. Šiame žaidime tikslas yra maksimizuoti pelną ir laimėti tarp kitų žaidėjų. Žaidimo aplinka naudoja realias akcijų kainas, bet visi kiti dalykai yra virtualūs. Žaidėjas nerizikuoja savo lėšomis, tačiau gali išmokti investuoti kai jis norės pirkti realias akcijas. Akcijų rinkos modelis nėra aprašytas.

Šis akcijų rinkos žaidimas yra skirtas kaip priemonė išmokti analizuoti duomenis. Nėra taikomi jokie oficialūs akcijų rinkos ir akcijų biržos modeliai.

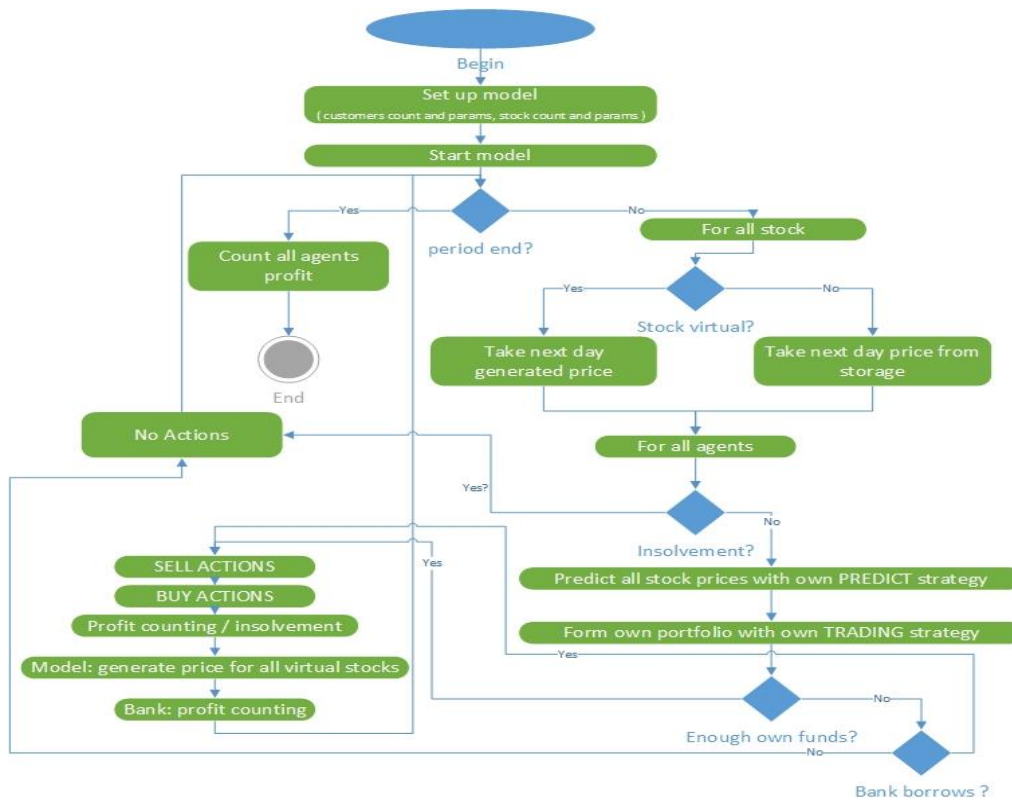
Kitas akcijų rinkos modelis yra **NASDAQ** rinkos simulatorius, Šis modelis yra akcijų rinkos modelis, kuriame akcijų prekyba vyksta tarp dviejų vartotojų, bet ne tarp vartotojų ir biržos. Pagrindinė šio modelio prielaida yra tai, kad jame yra informuoti rinkos prekybininkai, kurie tiksliai žino realią akcijų kainą.

Modelyje **Dirbtinė akcijų rinka** dividendai yra naudojami kaip pagrindinis akcijų kainų vertinimo vienetas. Šis modelis yra tokia akcijų rinka, kurioje nepriklausomi prekybininkai tiesiogiai bendrauja tarpusavyje.

3. PORTFOLIO modelis

Pagrindiniai pirkimo ir pardavimo principai

Pagrindinė algoritmo schema pateikiama 1 pav. Ji atspindi modelio darbo srautus ir parodo pagrindinius modelio blokus.



1 pav. Pagrindinė PORTFELIO schema

Pagrindiniai modelio kintamieji yra šie:

$z(t) = z(t, i)$ – kaina laiko momentu t , prognozuojama žaidėjo i ,

$Z(t)$ – faktinė¹ kaina laiko momentu t ,

$U(t) = U(t, i)$ – faktinis pelnas, sukauptas žaidėjo i per laiko momentą t ,

$\delta(t)$ – dividendai laiko momentu t ,

$\alpha(t)$ – pajamos laiko momentu t ,

$\gamma(t)$ – palūkanų norma laiko momentu t ,

$\beta(t, i)$ – santykinis akcijų kainos pokytis laiko momentu t prognozuojamas žaidėjo i :

$$\beta(t, i) = \frac{z(t + 1, i) - Z(t)}{Z(t)}. \quad (1)$$

PORTFELIO modelyje investuotojų sprendimas priklauso nuo numatomo pelningumo² (santykinio pelno). Tai apibrėžiama kaip investicijų santykinis pelnas $p(t, i)$ laiko momentu t . Santykinis pelnas $p(t, i)$ priklauso nuo numatomo akcijų kainos pokyčio $\beta_i(t)$, dividendų $\delta_i(t)$, pajamų $\alpha(t)$ ir palūkanų normos $\gamma(t)$

$$p(t, i) = \begin{cases} \beta(t) + \delta(t) - \gamma(t), & \text{investuojami skolinti pinigai,} \\ \beta(t) + \delta(t) - \alpha(t), & \text{investojami asmeniniai pinigai.} \end{cases} \quad (2)$$

Tikslas yra pelnas, todėl žaidėjas i perka tam tikrą kiekį $n_b(t, i) \geq n(t)$ akcijų, jeigu pelningumas yra didesnis lyginant su santykinė sandorio kaina $\tau(t, n)$; $p(t, i) > \tau(t, n)$;

¹ Terminas „faktinė“ reiškia imituota PORTFELIO modelio.

² Terminas „pelnas“ gali būti apibrėžiamas kaip nuostoliai, jei yra neigiamas.

parduoda akcijas, jeigu santykinis nuostolis (neigiamas pelningumas $-p(t, i)$) yra didesnis lyginant su sandorio kaina $p(t, i) < -\tau(t, n)$; nieko nedaro, jeigu $-\tau(t, n) \leq p(t, i) \leq \tau(t, n)$. Santykinė sandorio kaina apibrėžiama kaip:

$$\tau(t, n) = \frac{\tau_0}{n(t)Z(t)}, \quad (3)$$

čia τ_0 – faktinė sandorio kaina, $n = n(t)$ – sandorio akcijų skaičius. Iš lygybės $\tau(t, n) = p(t, i)$ išplaukia, kad minimalus akcijų skaičius norint padengti sandorio išlaidas yra

$$n(t) = \frac{\tau_0}{p(t, i)Z(t)}. \quad (4)$$

Todėl žaidėjo i pirkimo-pardavimo strategija $S(t, i)$ laiko momentu t pagal pelningumo lygius yra

$$S(t, i) = \begin{cases} \text{pirkti } n_b(t, i) \geq n(t) \text{ akcijas,} & \text{jeigu } p(t, i) \geq \tau(t, n) \text{ ir } n \leq n_b^{\max}, \\ \text{parduoti } n_s(t, i) \geq n(t) \text{ akcijas,} & \text{jeigu } p(t, i) \leq -\tau(t, n) \text{ ir } n \leq n_s^{\max}, \\ \text{laukti,} & \text{jeigu } |p(t, i)| \leq \tau(t, n^{\max}). \end{cases} \quad (5)$$

čia $n^{\max} = \max(n_b^{\max}, n_s^{\max})$, kai n_b^{\max} yra maksimalus perkamų akcijų skaičius ir n_s^{\max} yra maksimalus parduodamų akcijų skaičius.

Investavimo strategijos

Strategija Nr.1 Rizikuojantys akcininkai: pirkti pelningiausią – parduoti visas nuostolingas pagal tris pelningumo lygius:

$$S(i, j) = \begin{cases} \text{parduoti } n_s(t, i, j, 1) \text{ akcijas,} & \text{jeigu } p(t, i, j) \leq p_s(t, i, j, 1) = -\tau(t, j), \\ \text{parduoti } n_s(t, i, j, 2) \text{ akcijas,} & \text{jeigu } p(t, i, j) \leq p_s(t, i, j, 2), \\ \text{parduoti } n_s(t, i, j, 3) \text{ akcijas,} & \text{jeigu } p(t, i, j) \leq p_s(t, i, j, 3), \\ \text{pirkti } n_b(t, i, j^{\max}) \text{ akcijas iš visų lėšų.} & \text{ir } p(t, i, j) > p_s(t, i, j, 2), \\ & \text{ir } p(t, i, j) > p_s(t, i, j, 3), \end{cases} \quad (6)$$

Strategija Nr. 2 Rizikuojantys akcininkai: pirkti pelningiausią – parduoti visas nuostolingas:

$$S(i, j) = \begin{cases} \text{parduoti } N(t, i, j) \text{ akcijas,} & \text{jeigu } p(t, i, j) \leq -\tau(t, j), \\ \text{pirkti } n_b(t, i, j^{\max}) \text{ akcijas iš visų lėšų.} & \end{cases} \quad (7)$$

Strategija Nr.3 Rizikai neutralūs akcininkai: pirkti pelningiausią – parduoti visas kitas:

$$S(1, i, j) = \begin{cases} \text{parduoti } n_s(t, i, j) \text{ akcijas,} & \text{jeigu } j \in J(\tau), \\ \text{pirkti } n_b(t, i, j^{\max}) \text{ akcijas iš visų lėšų.} & \end{cases} \quad (8)$$

Strategija Nr.4 Rizikos vengiantys akcininkai: pardavimas ir pirkimas proporcingi pelningumui:

Pardavimo lygyje l mes parduodame:

$$n_s(t, i, l) = \text{int} \left(N(t, i, j) \frac{2l}{J_s(J_s + 1)} \right) \quad (9)$$

akcijas ir pirkimo lygyje l mes perkame:

$$n_b(t, i, l) = \text{int} \left(C(t, i) \frac{2l}{J_b(J_b + 1)Z(t, i)} \right) \quad (10)$$

akcijas, naudojant dalį $2l/J_b(J_b + 1)$ turimų išteklių.

$$S_0(i, j) = \begin{cases} \text{laukti,} & \text{jeigu } |p(t, i, j)| \leq \tau(t, i, j) \text{ visiems } j, \\ \text{naudoti aktyvią strategiją } S(i, j), & \text{kitu atveju,} \end{cases} \quad (11)$$

čia aktyvi strategija $S(i, j)$ yra lygi:

$$S(i, j) = \begin{cases} \text{parduoti } n_s(t, i, l) \text{ akcijas,} & \text{jeigu } p(t, i, j) = p_s(t, i, l), l = 1, \dots, j_-^{\min}, \\ \text{pirkti } n_b(t, i, l) \text{ akcijas,} & \text{jeigu } p(t, i, j) = p_b(t, i, l), l = 1, \dots, j_-^{\max}. \end{cases} \quad (12)$$

Strategija Nr. 5 Rizikos apibrėžimas pagal bankroto tikimybes ir individualią naudingumo funkciją:

$$U(x) = \sum_{k=1}^M u(y^k)p(y^k), \quad (13)$$

čia M – turto diskrečiųjų reikšmių skaičius, $y^k p_x(y^k)$ – tikimybė, kad turtas y^k bus grąžintas, jeigu kapitalo pasiskirstymas yra x . Ieškome tokio kapitalo pasiskirstymo x , kuris suteikia didžiausią grąžinto turto laukiamą naudingumą:

$$\max_x U(x), \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1, x_i \geq 0. \quad (15)$$

$$p(y^0) = \prod_i q_i,$$

$$p(y^1) = p_1 \prod_{i \neq 1} q_i,$$

$$p(y^2) = p_2 \prod_{i \neq 2} q_i,$$

..... ,

$$p(y^n) = p_n \prod_{i \neq n} q_i,$$

$$p(y^{n+1}) = p_1 p_2 \prod_{i \neq 1, i \neq 2} q_i,$$

$$p(y^{n+2}) = p_1 p_3 \prod_{i \neq 1, i \neq 3} q_i,$$

.....

(16)

čia $y^0 = 0$, $y^1 = a_1x_1$, $y^2 = a_2x_2$, $y^n = a_nx_n$, $y^{n+1} = a_1x_1 + a_2x_2$, $y^{n+2} = a_1x_1 + a_3x_3$.

Strategija Nr. 6 Sharpo vektoriaus maksimizavimas (Moderni Portfelio Teorija):

Tegu $R_i(t)$ – turto i grąža per laiko intervalą t , pavyzdžiui, per dieną t , kur $t = 1, \dots, T$. Tuomet imties vidurkis yra

$$\overline{R}_p = \frac{1}{T} \sum_i \sum_{t=1}^T w_i R_i(t), \quad (17)$$

ir objektyvus portfelio R_p dispersijos statistinis įvertis yra

$$\overline{\sigma}^2 = \frac{1}{T-1} \sum_i \sum_j \sum_{t=1}^T w_i w_j (R_i(t) - \overline{R}_i)(R_j(t) - \overline{R}_j), \quad (18)$$

čia $R_i(t)$ – stebimas i -osios akcijos pelnas.

Sharpo rodiklis naudojant standartinius optimizavimo metodus:

$$\max_w \frac{\overline{R}_p}{\sqrt{\overline{\sigma}^2}}. \quad (19)$$

Prognozavimo metodai

AR(p) metodas. Tarkime, kad akcijų kainų pokyčius atspindi šis paprastas ryšys:

$$Z(s+1) = \sum_{k=1}^p a_k Z(s-k+1) + \varepsilon_{s+1}. \quad (20)$$

Ši formulė aprašo tradicinį autoregresinį modelį $AR(p)$. Tačiau šiame darbe formulė (20) atspindi investuotojų nuomonę, kurie priima investicinius sprendimus remiantis optimalia kitos dienos prognoze, gauta naudojant praeities duomenis.

Mes taip pat galime pateikti slenkamojo vidurkio modelį $MA(q)$ norint imituoti sudėtingesnius vartotojus, kurie bando ištaisyti praeities paklaidas:

$$Z(s+1) = \sum_{j=1}^q b_j \varepsilon_{s-j+1} + \varepsilon_{s+1}. \quad (21)$$

AR-ABS(p) metodas. Mažiausių kvadratų metodas yra jautrus dideliems nuokrypiams (Arthanari and Dodge, 1993). Todėl kvadratų pakeitimas absoliučiais dydžiais yra naudinga, jei klientų naudingumo funkcija yra tiesinė. Tiesinė naudingumo funkcija parodo rizikos neutralų elgesį.

Optimalūs prognozavimo parametrai nustatomi iš šios sąlygos:

$$a_k^i = \arg \min_{a_k} \sum_{s=1}^t |\varepsilon_s(i)|. \quad (22)$$

4. Eksperimentiniai tyrimai

Šiame skyriuje pristatomi eksperimentiniai PORTFELIO modelio rezultatai. Buvo tiriamos tiek realios, tiek virtualios akcijų kainos.

Realių akcijų kainų tyrime buvo panaudoti istoriniai dienos uždarymo kainų duomenys, kurie buvo paimti iš finance.yahoo.com tinklalapio. Akcijų kainos buvo paimtos šių periodų:

I periodas. 364 darbo dienos nuo 2009-01-03. Šis periodas atspindi ekonominio augimo po krizės laikotarpį.

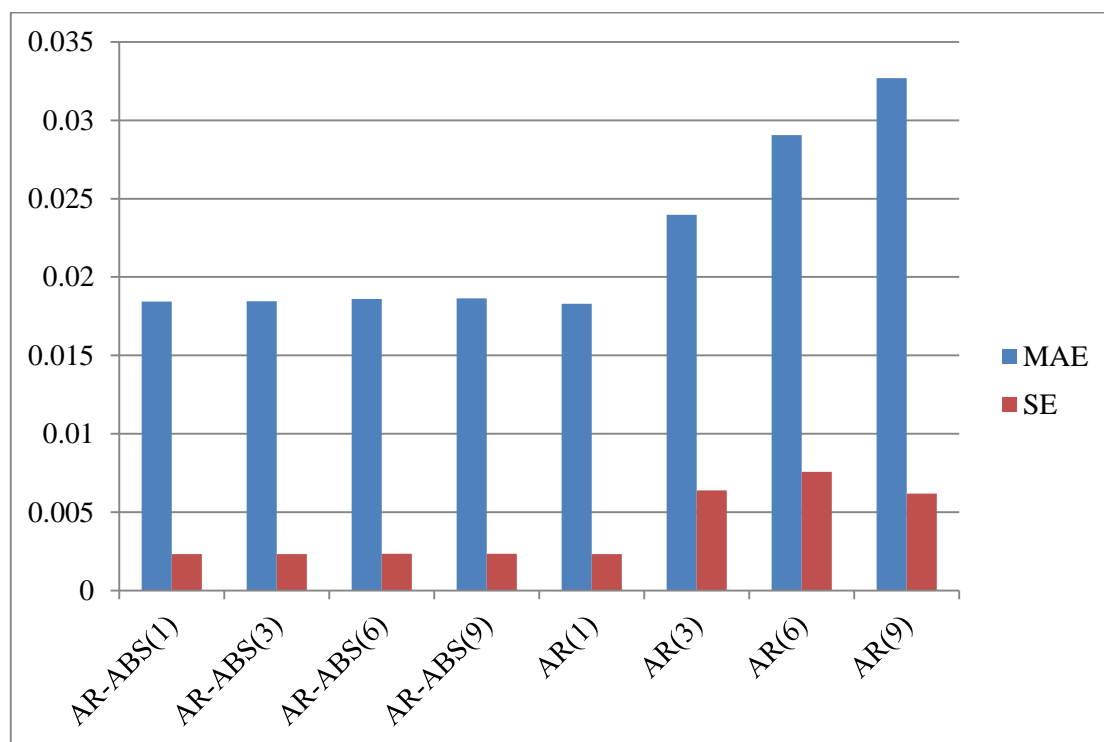
II periodas. 364 darbo dienos nuo 2012-02-07. Šis periodas atspindi naujesnį, labiau stabilų laikotarpį.

III periodas. 352 darbo dienos nuo 2013-07-19. Šis periodas atspindi naujausią laikotarpį.

Šiame darbe buvo naudoti šių aštuonių įmonių akcijų duomenys: MSFT (Microsoft Corporation), AAPL (Apple Inc.), GOOG (Google Inc.), NOK (Nokia Corporation), TM (Toyota Motor Corporation), BAC (Bank of America Corporation), BA (The Boeing Company), ORCL (Oracle Corporation).

Virtualių akcijų kainų tyrime pirmos dienos kainos buvo apibrėžtos modelio, o kitų dienų kainos buvo generuojamos imituojant aštuonių virtualių investuotojų pirkimo-pardavimo elgesį.

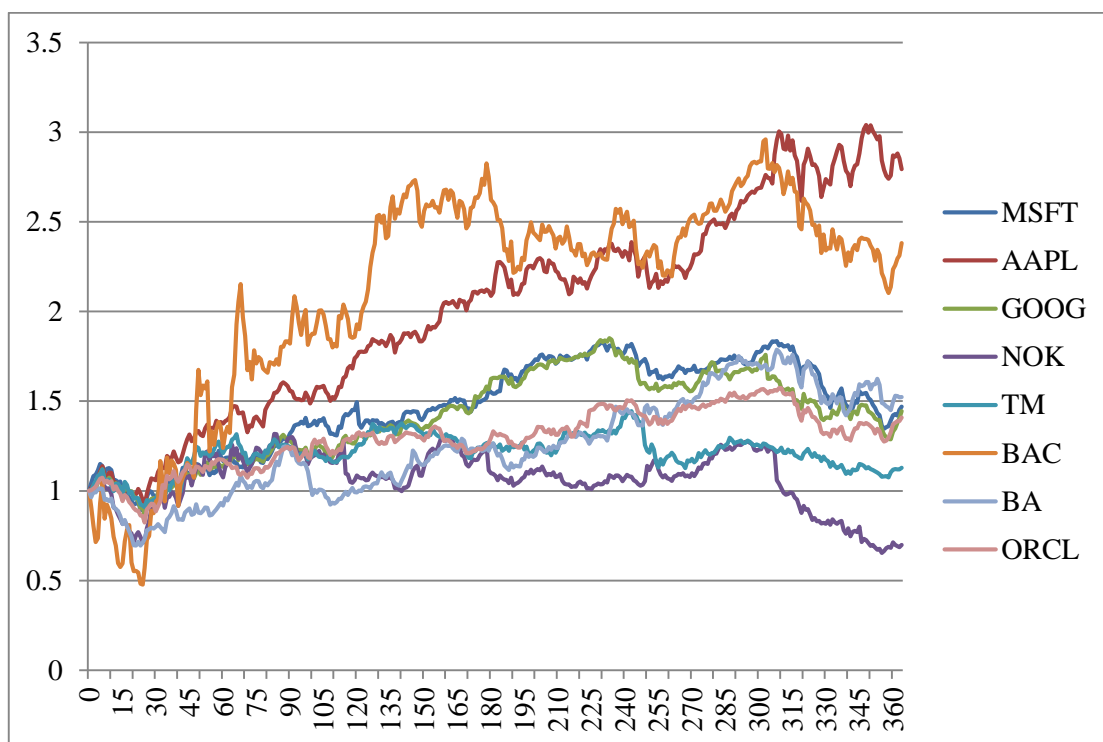
Reali akcijų birža – I periodas



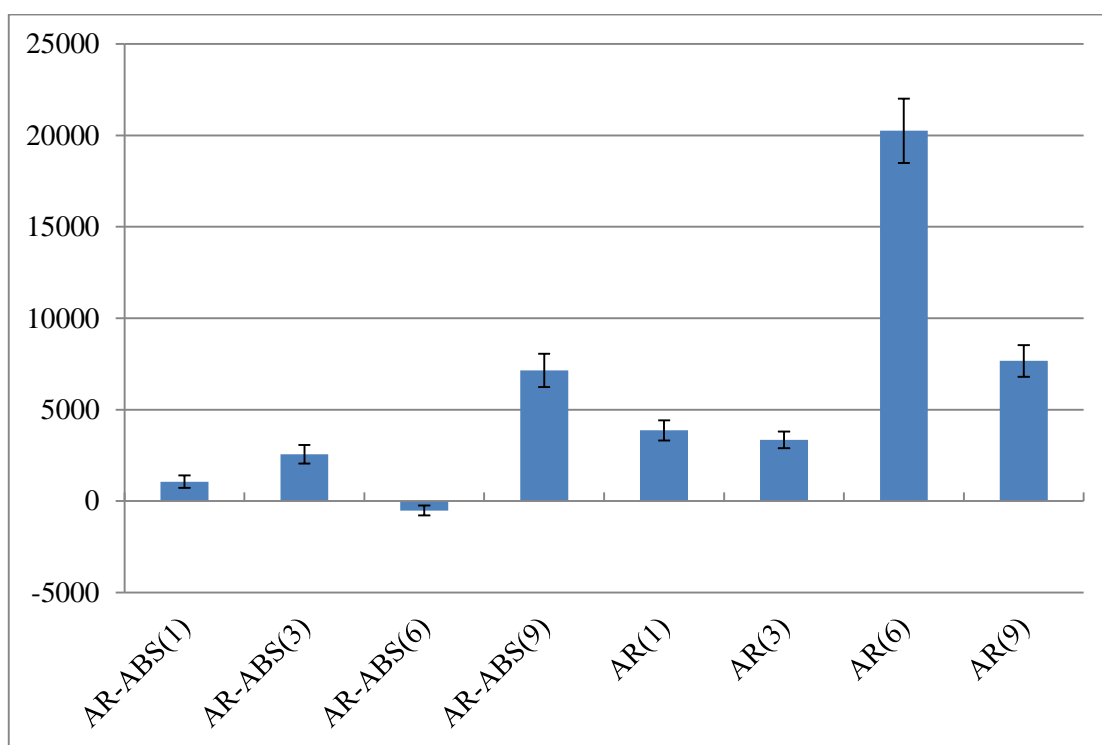
2 pav. Aštuonių investuotojų, naudojančių Prekybos taisyklę Nr.1, vidutinės prognozavimo paklaidos taikant aštuonis prognozavimo metodus, reali akcijų birža, I periodas

2 pav. pateikiamos aštuonių investuotojų, naudojančių Prekybos taisyklę Nr.1, vidutinės prognozavimo paklaidos taikant aštuonis prognozavimo metodus pirmuoju periodu. Buvo pasirinkta Prekybos taisyklė Nr.1, nes ji rodė didžiausią pelną. Diagrama rodo, kad mažiausios paklaidos buvo gautos taikant AR-ABS metodus ir AR(1) metodą.

3 pav. pavaizduotos normalizuotos aštuonių akcijų dienos kainos pirmuoju periodu.



3 pav. Normalizuotos aštuonių akcijų dienos kainos, reali akcijų birža, I periodas

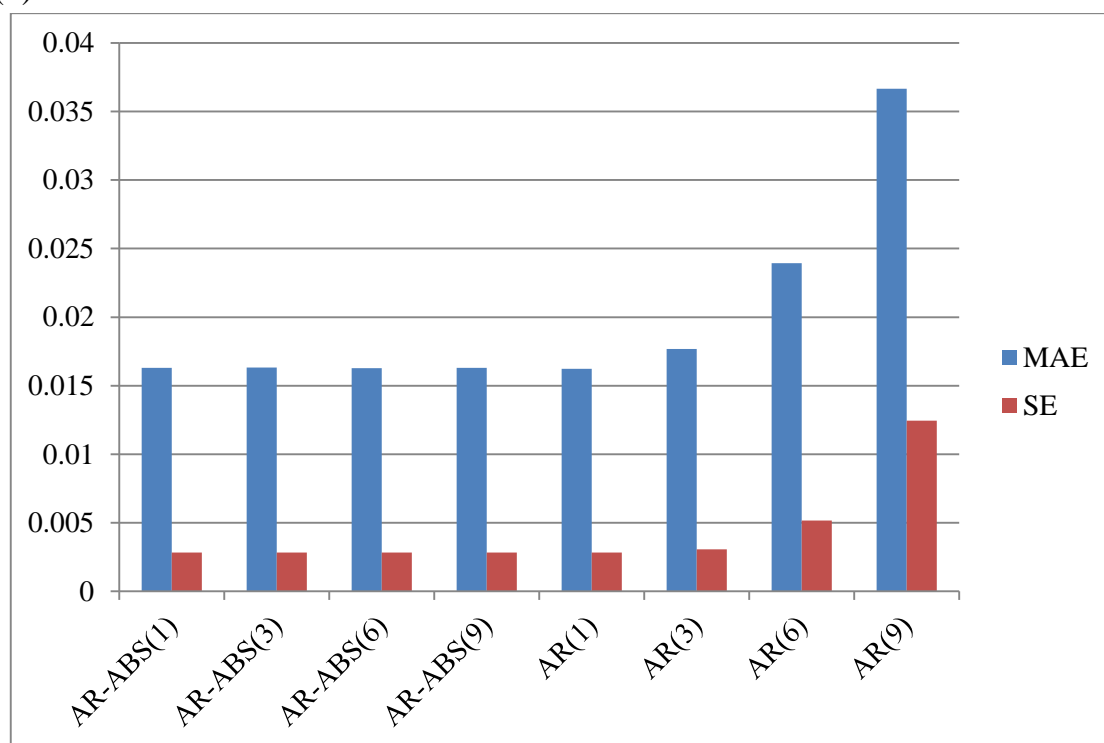


4 pav. Aštuonių investuotojų, naudojančių Prekybos taisyklę Nr.1, vidutiniai pelnai taikant aštuonis prognozavimo metodus, reali akcijų birža, I periodas

4 pav. pavaizduoti aštuonių investuotojų, naudojančių Prekybos taisyklę Nr.1, vidutiniai pelnai taikant aštuonis prognozavimo metodus pirmuoju periodu. Diagrama rodo, kad didžiausias pelnas buvo gautas taikant AR(6) metodą, o mažiausias pelnas – taikant AR-ABS(6) metodą.

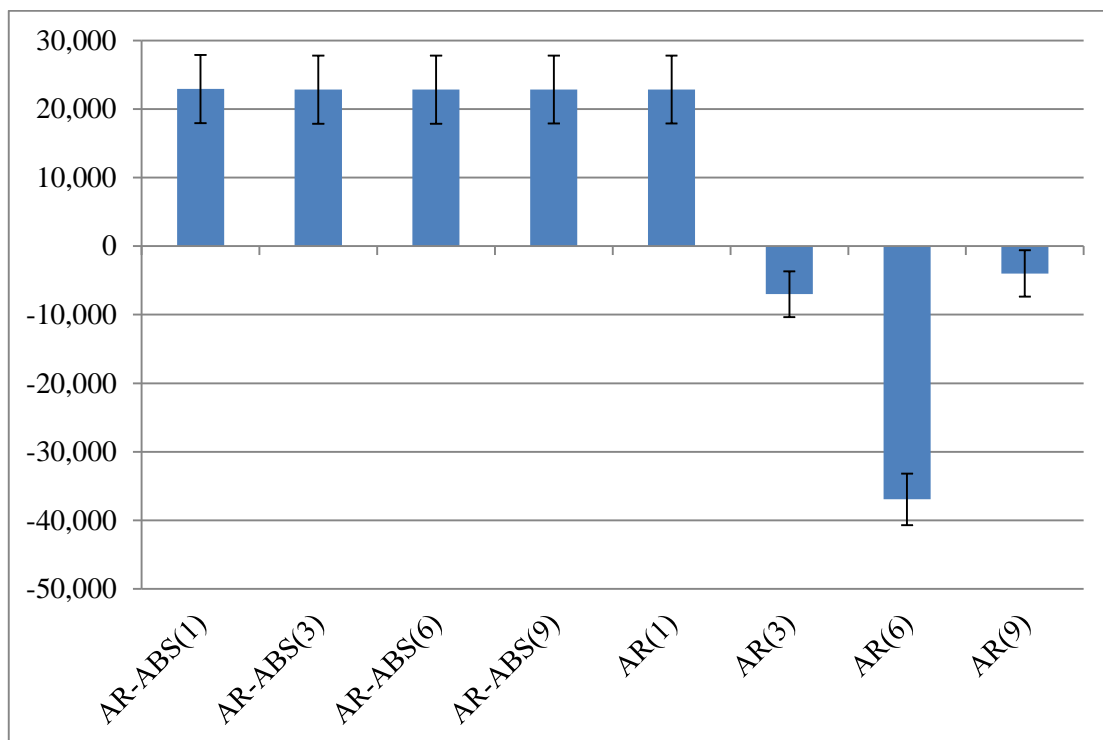
Realii akcijų birža – II periodas

5 pav. pateikiamos aštuonių investuotojų, naudojančių Prekybos taisyklę Nr.1, vidutinės prognozavimo paklaidos taikant aštuonis prognozavimo metodus antruoju periodu. Diagrama rodo, kad mažiausios paklaidos buvo gautos taikant AR-ABS metodus ir AR(1).



5 pav. Aštuonių investuotojų, naudojančių Prekybos taisyklę Nr.1, vidutinės prognozavimo paklaidos taikant aštuonis prognozavimo metodus, reali akcijų birža, II periodas

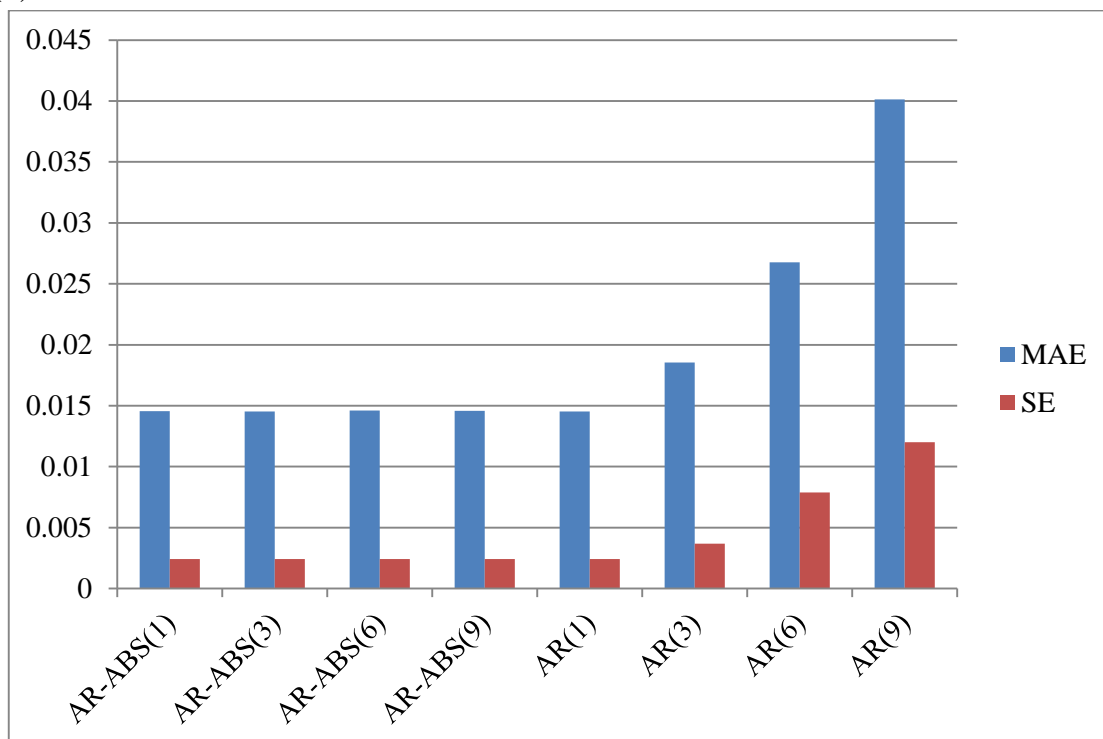
6 pav. pavaizduoti aštuonių investuotojų, naudojančių Prekybos taisyklę Nr.1, vidutiniai pelnai taikant aštuonis prognozavimo metodus antruoju periodu. Diagrama rodo, kad didžiausi pelnai buvo gauti taikant AR-ABS metodus ir AR(1), o mažiausias pelnas – taikant AR(6) metodą.



6 pav. Aštuonių investuotojų, naudojančių Prekybos taisyklę Nr.1, vidutiniai pelnai taikant aštuonis prognozavimo metodus, reali akcijų birža, II periodas

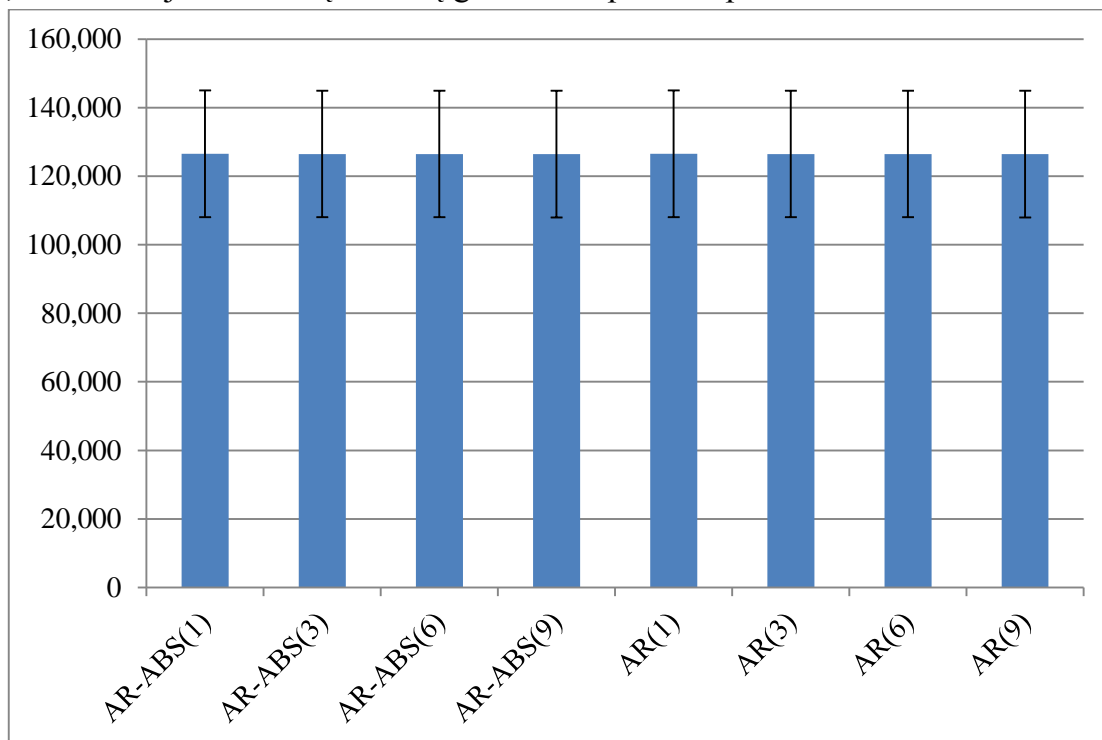
Realii akcijų birža – III periodas

7 pav. pateikiamos aštuonių investuotojų, naudojančių Prekybos taisyklę Nr.1, vidutinės prognozavimo paklaidos taikant aštuonis prognozavimo metodus trečiuoju periodu. Diagrama rodo, kad mažiausios paklaidos buvo gautos taikant AR-ABS metodus ir AR(1).



7 pav. Aštuonių investuotojų, naudojančių Prekybos taisyklę Nr.1, vidutinės prognozavimo paklaidos taikant aštuonis prognozavimo metodus, reali akcijų birža, III periodas

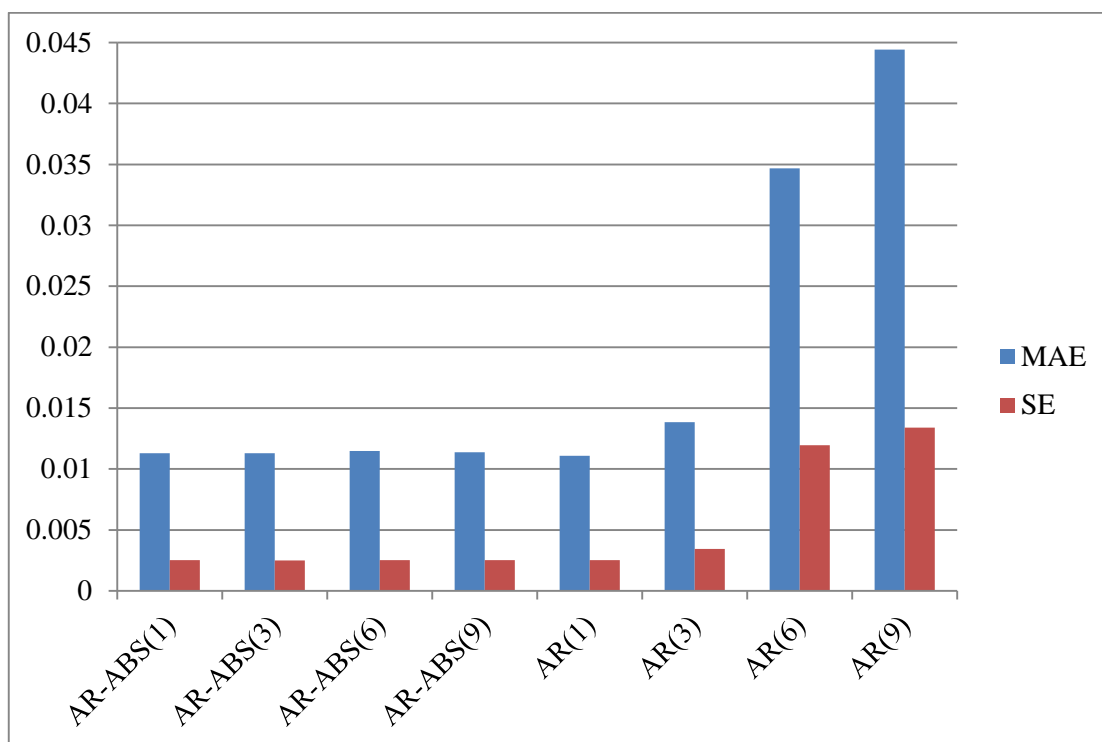
8 pav. pavaizduoti aštuonių investuotojų, naudojančių Prekybos taisyklę Nr.1, vidutiniai pelnai taikant aštuonis prognozavimo metodus trečiuoju periodu. Diagrama rodo, kad naudojant bet kurį metodą gauti labai panašūs pelnai.



8 pav. Aštuonių investuotojų, naudojančių Prekybos taisyklę Nr.1, vidutiniai pelnai taikant aštuonis prognozavimo metodus, reali akcijų birža, III periodas

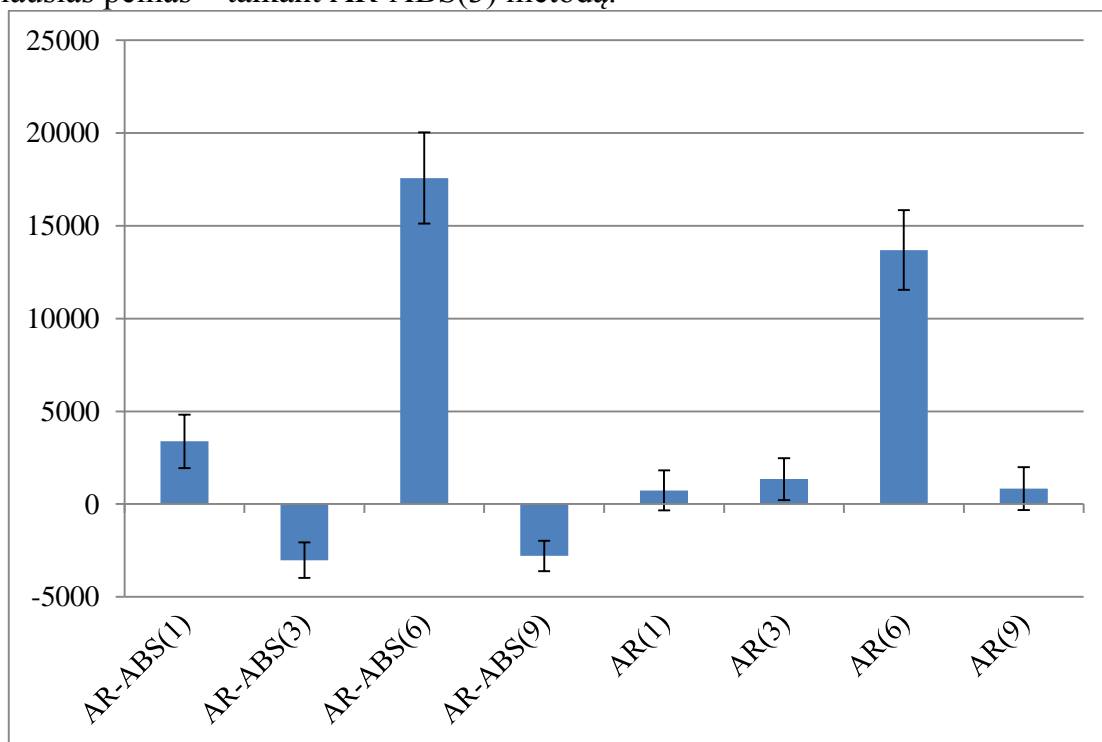
Virtuali akcijų birža

9 pav. pateikiamos aštuonių investuotojų, naudojančių Prekybos taisyklę Nr.1, vidutinės prognozavimo paklaidos taikant aštuonis prognozavimo metodus ir imituojant akcijų kainas. Diagrama rodo, kad mažiausios paklaidos buvo gautos taikant AR-ABS metodus ir AR(1) metodą.



9 pav. Aštuonių investuotojų, naudojančių Prekybos taisyklę Nr.1, vidutinės prognozavimo paklaidos taikant aštuonis prognozavimo metodus, virtuali akcijų birža

10 pav. pavaizduoti aštuonių investuotojų, naudojančių Prekybos taisyklę Nr.1, vidutiniai pelnai taikant aštuonis prognozavimo metodus ir imituojant akcijų kainas. Diagrama rodo, kad didžiausias pelnas buvo gautas taikant AR-ABS(6) metodą, o mažiausias pelnas – taikant AR-ABS(3) metodą.

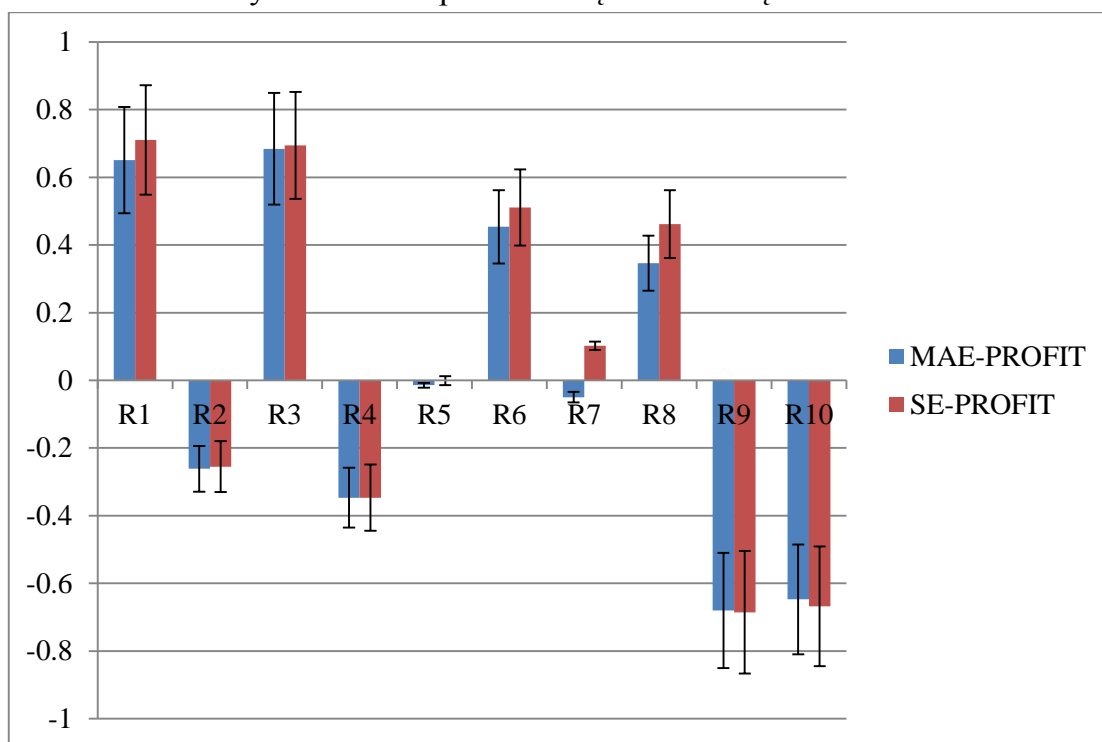


10 pav. Aštuonių investuotojų, naudojančių Prekybos taisyklę Nr.1, vidutiniai pelnai taikant aštuonis prognozavimo metodus, virtuali akcijų birža

Koreliacija tarp prognozavimų paklaidų ir vidutinių pelnų

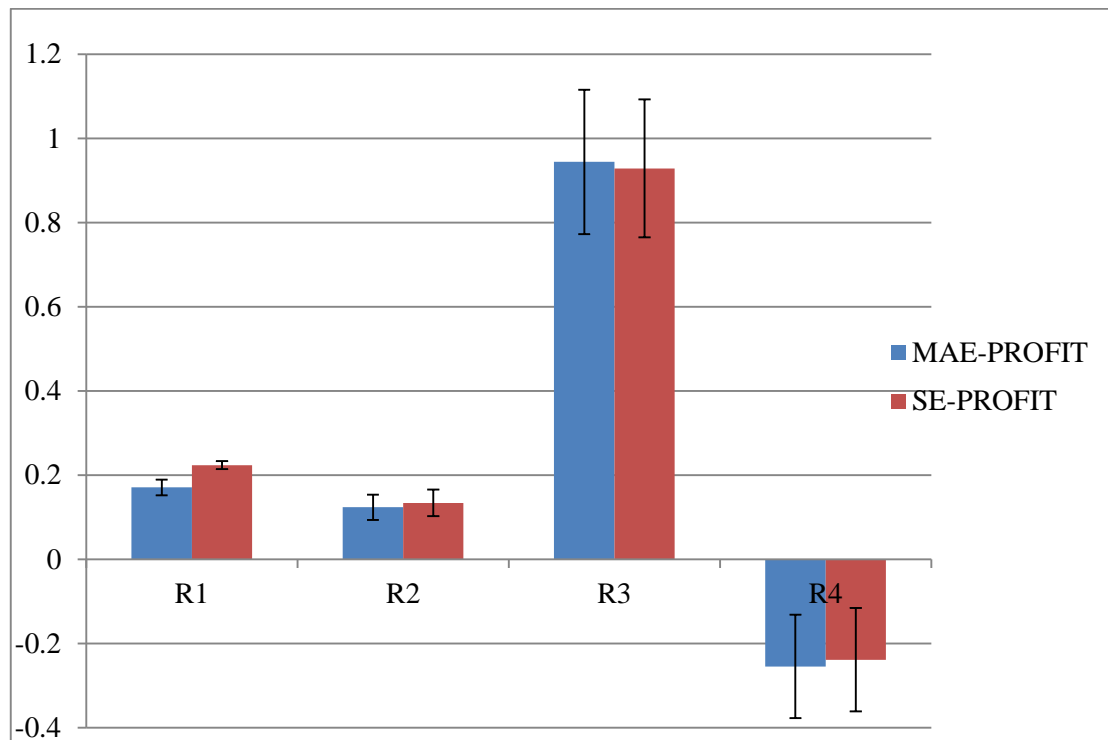
Lyginant vidutinių prognozavimo paklaidų ir vidutinių pelnų duomenis, matome, kad minimalios paklaidos nebūtinai suteikia maksimalų pelną. Tai prieštarauja bendrai nuomonei, kad investuotojai, geriau prognozuojantys akcijų kainas, gauna didesnę pelną. Norint iliustruoti šią paradoksalią situaciją yra pateikiamos koreliacijos tarp vidutinių prognozavimo paklaidų ir vidutinių pelnų.

11 pav. pavaizduota koreliacija tarp prognozavimų paklaidų ir vidutinių pelnų realioje akcijų biržoje pirmuoju periodu. Priešingai pagrįstiems lūkesčiams, koreliacija yra teigiama penkioms iš dešimties prekybos taisyklėms. Tai reiškia, kad prognozavimo modeliai su didelėmis paklaidomis duoda didesnę pelną daugeliu atvejų. 95% pasikliautiniai intervalai rodo, kad pastebėjusi teigiama pelno ir paklaidos koreliacija nėra atsitiktinė. Suplanuoti tolimesni tyrimai norint paaiškinti šį neatitikimą.



11 pav. Koreliacija tarp vidutinių prognozavimų paklaidų ir vidutinių pelnų, reali akcijų birža, I periodas

12 pav. pavaizduota koreliacija tarp prognozavimų paklaidų ir vidutinių pelnų virtualioje akcijų biržoje. Naudojant tris iš keturių prekybos taisykles gauta teigiama koreliacija. Rezultatai yra panašūs į realios akcijų biržos pirmuoju periodu. Lyginant akcijų kainas matome nemažą augimą abiem atvejais.

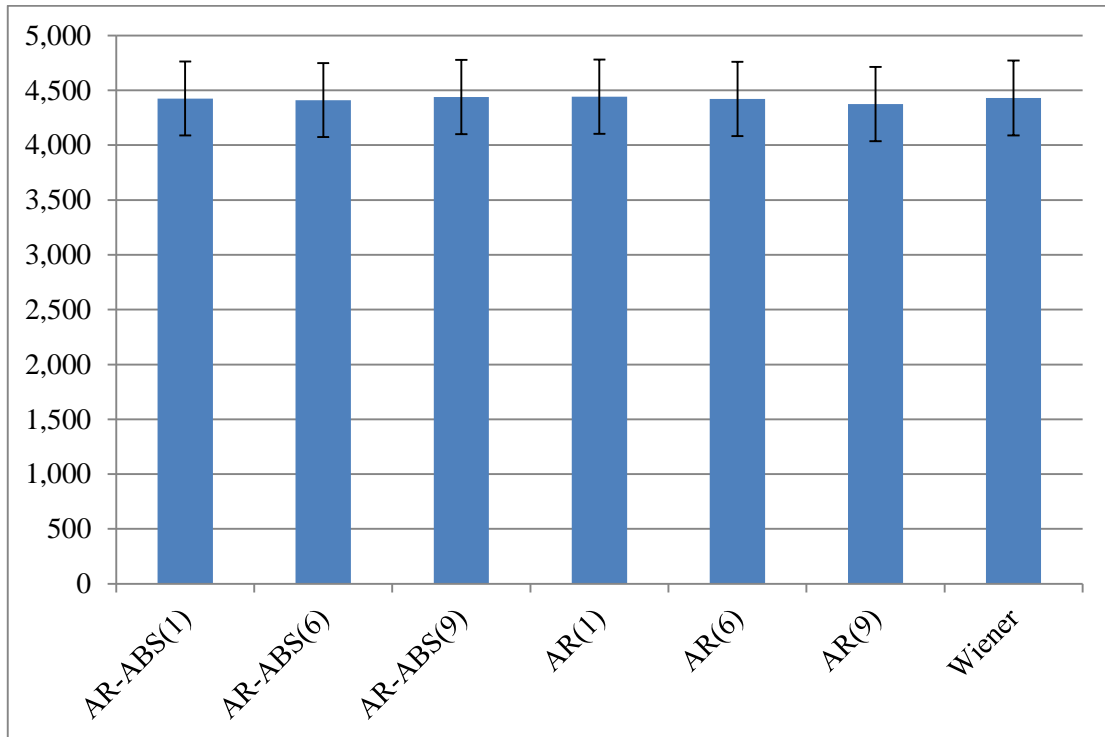


12 pav. Koreliacija tarp vidutinių prognozavimų paklaidų ir vidutinių pelnų, virtuali akcijų birža

Atsitiktinio klaidžiojimo tyrimas

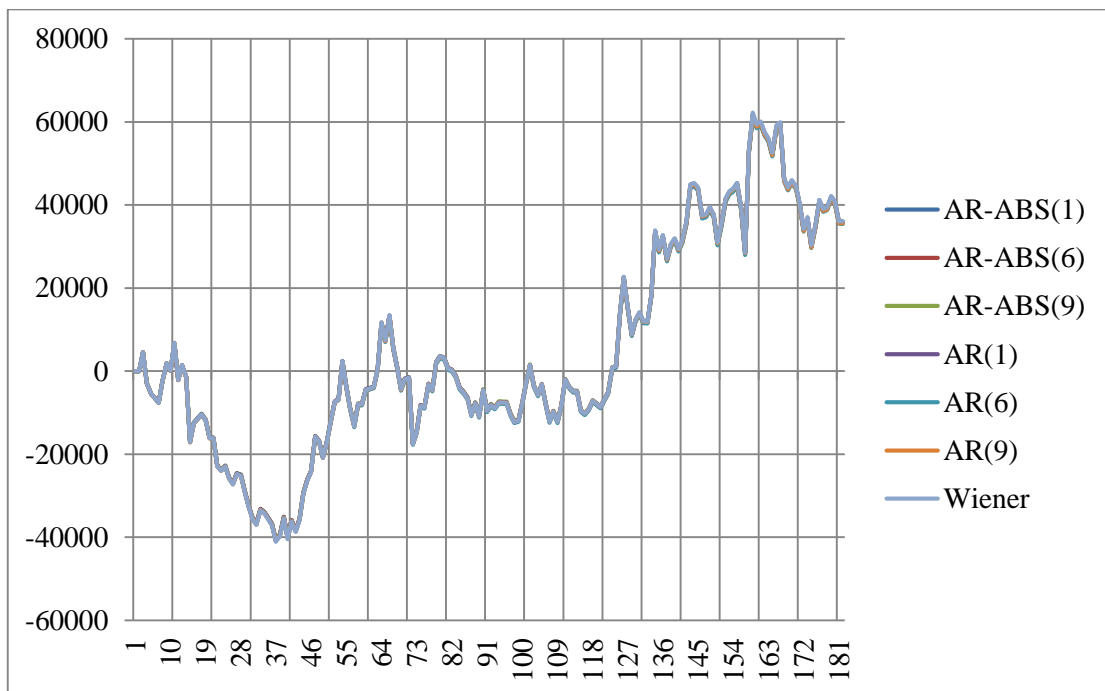
Atsitiktinio klaidžiojimo (angl. *Random Walk*) teorija išplaukia iš veiksmingos rinkos teorijos (angl. *Efficient Market Theory*). Ši teorija teigia, kad rinkos kaina atspindi tikrąją turto vertę, todėl geriausia prognozavimo strategija yra atsitiktinis klaidžiojimas. Matematinis analogas atsitiktiniam klaidžiojimui yra Wienerio modelis. Todėl buvo atliktas papildomas tyrimas, norint palyginti Wienerio modelio statistines prognozavimo paklaidas ir pelnus su autoregresiniais modeliais, naudojančiais skirtingas investavimo strategijas.

13 pav. pavaizduoti Prekybos taisyklės Nr.1 vidutiniai pelnai.



13 pav. Vidutiniai pelnai, Prekybos taisyklė Nr.1

14 pav. pavaizduoti Prekybos taisyklės Nr.1 dienos pelnai.



14 pav. Dienos pelnai, Prekybos taisyklė Nr.1

5. Bendrosios išvados

Šioje disertacijoje atlikti tyrimai leido padaryti tokias išvadas:

1. Daugumoje eksperimentų, naudojant visus autoregresinius modelius, minimalios arba artimos minimalioms paklaidos buvo gautos kai parametras $p = 1$.

2. Naudojant AR-ABS(p) modelius prognozavimo paklaidos buvo panašios ir artimos minimalioms prie visų parametru $p = 1,3,6,9$.
3. Eksperimentai tiek su istoriniais, tiek su virtualiais finansiniais duomenimis rodo, kad minimalios standartinės statistinės paklaidos ne visada maksimizuoja pelnus. Netikėtai, virtualioje rinkoje buvo pastebėta net teigiama koreliacija. Panaši situacija buvo stebima ir realiu po kriziniu laikotarpiu, kai akcijų kainų grafikai pasirodė esą panašūs į virtualius. Stabilesnės ekonomikos laikotarpiais pelno ir paklaidų koreliacija buvo neigiama, kas visai natūralu, tačiau labai silpna.
4. Statistinės paklaidos ir vidutiniai pelnai yra labai jautrūs duomenų svyravimams, atspindintiems skirtingas ekonomines sąlygas, tačiau pelno jautrumas yra didesnis. Pelno grafikai skiriasi skirtingais laikotarpiais prie skirtingų ekonominių sąlygų, tuo tarpu prognozavimo paklaidų grafikai yra panašūs.
5. Investicijų pelningumas daugiausia priklauso nuo prekybos taisyklių, todėl optimizavimas turėtų būti atliekamas remiantis prekybos taisyklių rinkiniu tiesiogiai imituojant šias taisykles atitinkamuose akcijų biržos modeliuose. Tai iš dalies paaiškina silpną koreliaciją tarp pelnų ir prognozavimo paklaidų.
6. Svarbus PORTFELIO modelio bruožas yra kelių akcijų ir įvairių prekybos taisyklių įvedimas, kurios atstovauja tiek potencialių investuotojų euristicas, tiek gerai žinomas teorines investavimo strategijas. Tai suteikia modeliui daugiau realistiškumo ir leidžia atlikti portfelio optimizavimą naudojant įvairias investavimo strategijas tiek su istoriniais duomenimis, tiek virtualioje aplinkoje. Tai esminis patobulinimas lyginant su tradiciniais vienos akcijos modeliais.
7. „Virtuali“ akcijų birža gali padėti tiriant racionalaus investuotojo elgesio prielaidą lyginant su pastarojo laikotarpio teorijomis, teigiančiomis, kad pagrindiniai rinkos dalyviai elgiasi neracionaliai.
8. Eksperimentų rezultatai, gauti naudojant virtualias ir istorines finansines laiko eilutes, rodo, kad rezultatai yra panašūs nestabilios po krizinio laikotarpio ekonomikos sąlygose.
9. PORTFELIO modelis gali būti naudojamas kaip priemonė parodyti individualaus investuotojo elgesį, kuris nori prognozuoti kaip tikėtinas pelnas priklauso nuo įvairių investavimo taisyklių naudojant skirtingus realių ir virtualių akcijų kainų prognozavimo metodus.
10. Yra daug finansų rinkos modelių, bet tik keletas akcijų biržos modelių. Gerai žinomi finansų rinkos modeliai imituoja nepriklausomų agentų, prekiaujančių vienos firmos akcijomis, sąveikas. Siūlomas modelis, priešingai, imituoja akcijų biržos darbą, kurioje vyksta prekyba su daugelio firmų akcijomis.
11. Optimizavimas naudojant investavimo strategijas ir realios bei virtualios akcijų rinkos įgyvendinamas viename modelyje yra nauja PORTFELIO modelio savybė.

Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas

Straipsniai recenzuojamuose periodiniuose mokslo žurnaluose

1. J. Mockus, I. Katin, J. Katina. On experimental investigation of the web-based stock-exchange model. Lietuvos matematikos rinkinys. LMD darbai. 2012, t. 53, ser. A. ISSN 0132-2818 p. 123-128.
2. J. Mockus, J. Katina, I. Katin. On autoregressive moving-average models as a tool of virtual stock-exchange: experimental investigation. Lietuvos matematikos rinkinys. LMD darbai. 2012, t. 53, ser. A. ISSN 0132-2818 p. 129-134.
3. J. Mockus, I. Katin, J. Katina. On the experimental investigation of investment strategies in the real and virtual financial markets. Informacijos mokslai / Vilniaus universitetas. 2013, t. 65. ISSN 1392-0561 p. 103-110.
4. J. Mockus, I. Katin, J. Katina. On the Optimization of Investment Strategies in the Context of Virtual Financial Marke by the Individual Approach to Risk. Informatica, 2014, vol. 25, issue 2, ISSN 0868-4052.

Trumpos žinios apie autorių

Igor Katin 2006 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete Fundamentinių mokslų fakultete baigė inžinerinės informatikos studijų programą ir įgijo informatikos bakalauro laipsnį. 2009 metais tame pačiame fakultete baigė informacinių technologijų studijų programą ir įgijo informatikos inžinerijos magistro laipsnį. 2009-2013 metais studijavo informatikos inžinerijos krypties doktorantūroje Vilniaus universiteto Matematikos ir informatikos institute.

ON DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF STOCK-EXCHANGE MODEL

Research Area and Problem's Actuality

The optimal financial investment (Portfolio) problem, including the forecasting and market models, was investigated by leading financial organizations and scientists. This problem is important also for small investors, who want to invest their own capital to save or enlarge it. Special attention was given to financial market analysis. A number of Nobel prizes shows the scientific recognition of this field.

The aims of most of this work are forecasting, portfolio optimization, risk minimization, and capital distribution. In some financial market research, the market prediction and portfolio optimization were regarded together. However, in most of the financial market investigations, forecast and investment problems were carried out separately. Also an important part of financial market analysis is the behavior of market's participants. There are different assumptions in this question: some scientists say that it is rational and others that it is irrational. It is a very important question, because it can explain many processes of financial market.

Effective approach of financial market investigation is the creation of its model. There are many types of models, which simulates financial (stock) market or its part: stock market games, market simulators, forecast models, and tools for market process analysis.

The financial market simulators are developed to satisfy the needs of small individual investors. The examples are the StockTrak global portfolio simulator and MarketWatch, a virtual stock exchange. Some banks offer their own investment simulators such as the Barclays “Fantasy Investment Game”. Users of these simulators working with “Virtual Stocks” are informed about the results. The graphical user interfaces are friendly. However, the theoretical base of these models and the computing algorithms remains unknown. So, the users cannot grasp the reasons why they win and why they experience losses.

The models of financial markets were investigated assuming random interactions of independent financial agents. In a number of publications, the decisions of portfolio management were regarded in the context of artificial intelligence. In the well-known stock exchange models, investigation of the virtual single stock market is discussed.

The results of the existing research helped to initiate this work modeling the stock exchange in the multi-stock financial market. Research object of this work is the development the new stock exchange model PORTFOLIO and the experimental investigation of different investment theories and strategies by this model.

Objectives and Tasks

The objective of this work is to provide a flexible, easily adaptable stock exchange model designed for the needs of individual users in the context of utility theory.

To achieve the objective, the following tasks were regarded:

1. Analysis of existing stock exchange and market models.
2. Analysis of stock price forecasting methods.
3. Analysis of portfolio optimization and trading strategies.
4. Analysis of real stock market trading strategies.
5. Development of main elements of stock exchange models, such as investors, banks, virtual stock price generators, interface to historical prices, and interconnection schemes.
6. Investigation of the price prediction algorithms.
7. Development of different short time investment strategies reflecting real practice.
8. Development of longer time trading strategies by extending short time strategies and by adding strategies based on the well-known investment theories such as the Sharp Ratio and the Markowitz Modern Portfolio Theory (MPT).
9. Performing experiments with virtual stock prices.
10. Performing experiments with historical stock prices.

The new element of the PORTFOLIO model is the investment optimization in the space of investment strategies and trading rules; both short term and longer term. The

objective of the PORTFOLIO virtual part is not forecasting, but simulation of financial time series that are affected by subjective predictions of the investors. The purpose of the model is to explore the relationship between the real data and the theoretical model and to investigate what other results can be obtained using this simple model.

The new and unexpected result of experiments using the PORTFOLIO model is the observation that the minimal price prediction errors do not necessarily provide the maximal profits.

Research Methodology

Developing the new model we use traditional prediction and investment theories and some observations of real life situations. In particular, the autoregressive models $AR(p)$ and $AR-ABS(p)$ are used for next day price prediction. Here parameter p (auto regression coefficient) defines a length of memory (shows how of many of previous values are used for the prediction).

In this investigation p value from 1 to 9 was used. In addition, the Random Walk (RW) model was considered. So, 19 simple next day price forecast models were compared in this research. Preliminary experiments show that more complicated prediction models do not change the results significantly.

Ten different trading rules are applied for simulation of investors' behavior including four short time trading rules and six longer time ones. By combining various forecast method and trading rules we may generate 190 different investment strategies to be used by investor.

In this research, a subset of 80 investment strategies was selected. Virtual data was averaged by 100 tests. Historical data is of different time periods representing different economical conditions of approximately 360 working days each.

Scientific Novelty

1. There are many financial market models, but just a few stock exchange models. The well-known financial market models simulate interactions of independent agents trading a single stock. In contrast, the proposed model simulates the work of stock exchange trading many different stocks.
2. New features of the proposed model:
 - a) optimization in the space of investment strategies;
 - b) implementation of both the real and virtual stock market in the single model;
 - c) possibility of analysis of results (price prediction errors and profits) of using various trading rules and forecasting models by real and virtual data.

Results of Practical Importance

The model presents a possibility to test different investment theories and strategies using both the virtual and historical data. The model was used for graduate studies in optimization and financial markets.

Defended Claims

The PORTFOLIO model can be used to explore the relationship between the real data and theoretical assumptions and to investigate what other theoretical and practical results can be obtained using the simple stock exchange model.

The new and unexpected result of experiments using the PORTFOLIO model is the observation that the minimal standard statistical stock price prediction errors do not necessarily provide the maximal profits. This result can be tested and verified independently without special skills and equipment, all the experimental conditions are defined and reproducible.

Approbation and Publications of the Research

The main results of the dissertation were published in 4 articles in the reviewer periodical scientific publications. The main results of the work have been presented and discussed at 9 national and international conferences.

Outline of the Dissertation

The dissertation consists of 5 chapters and reference. The total scope of the dissertation without appendices – 122 pages containing 231 formulas, 45 figures and 16 tables.

Chapter 1 (Introduction) reveals research context and challenges, describes the problem statement, the object of research, the tasks and objective of the dissertation, methodology of research, presents scientific novelty, practical significance of results, defends propositions and approbation of obtained results.

In Chapter 2 an overview of similar works is given. Detailed information about stock models, prediction methods, portfolio and trading is presented.

In Chapter 3 model's concept is presented. Here are all the mathematical formulas describing algorithms, which are used in the model. The model's diagram is presented.

Chapter 4 provides the results of experimental results.

Chapter 5 (Conclusions) present the concluding remarks of the dissertation.

Conclusions

The research completed in this thesis has led to the following conclusions:

1. In most of the experiments, using all the autoregressive models, the minimal or close to minimal prediction error was achieved at parameter $p = 1$.
2. Using the AR-ABS (p) models prediction errors were similar and close to the minimal for all parameters $p = 1,3,6,9$.
3. The experiments with both the historical and virtual financial data show that the minimal standard statistical prediction errors do not necessary provide maximal profits. In particular, in the virtual markets, no significant correlation was observed. Similar situation was observed in the post-crisis recovery period where the stock price graphs happened to be similar to the virtual ones.
4. Both the statistical errors and average profits are very sensitive to data variations reflecting different economic conditions. However, the sensitivity of profits is

- greater. The pattern of profits is different in different periods, representing different economic conditions while the patterns of prediction errors are similar.
5. The profitability of investments depends mainly on trading rules, so the optimization should be performed on the set of trading rules by the direct simulation of these rules using the corresponding stock-market models. This partly explains the weak correlation of profits and prediction accuracy. In the post-crisis period, the correlation is positive in about half of the cases. In the virtual market, the positive correlation prevails. In both the post-crisis and virtual markets, the prices of most stocks grow. An additional investigation of this counterintuitive phenomenon is needed and planned.
 6. An important feature of the PORTFOLIO model is the multi-stock extension and a number of different trading rules which represent both the heuristics of potential investors and the well-known theoretical investment strategies. This makes the model more realistic and allows the portfolio optimization in the space of investment strategies, in both the historical and virtual environments. This is an essential improvement comparing with traditional single-stock models with direct interaction of investment agents.
 7. The "virtual" stock exchange can help in testing the assumption of rational investor behavior vs. the recent theories that explain financial markets by irrational responses of major market participants (Krugman, 2000, 2008, 2009).
 8. Comparison of experimental results obtained using virtual and historical financial time series shows that the results are similar in non-stable post-crisis economical conditions.
 9. The PORTFOLIO model can be used as a tool to represent behavior of individual investor which wants to predict how the expected profit depends on different investment rules using different forecasting methods of real and virtual stocks. It is assumed that only available information is the historic data of real stocks.
 10. There are many financial market models, but just a few stock exchange models. The well-known financial market models simulate interactions of independent agents trading a single stock. In contrast, the proposed model simulates the work of stock exchange trading many different stocks.
 11. Optimization in the space of investment strategies and implementation of both the real and virtual stock market in the single model are the new properties of the PORTFOLIO model.

Igor Katin

ON DEVELOPMENT AND INVESTIGATION
OF STOCK-EXCHANGE MODEL

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,
Informatics Engineering (07T)

Igor Katin

AKCIJŲ BIRŽOS MODELIO
SUDARYMAS IR TYRIMAS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,
Informatikos inžinerija (07T)