

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ ОРГАНИЗАЦИОНИХ НАУКА

Александар М. Ракићевић

**АДАПТИВНИ ФАЗИ СИСТЕМ
ЗА АЛГОРИТАМСКО ТРГОВАЊЕ:
ИНТЕРПОЛАТИВНИ БУЛОВ ПРИСТУП**

докторска дисертација

Београд, 2020

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANIZATION SCIENCES

Aleksandar M. Rakićević

**ADAPTIVE FUZZY SYSTEM
FOR ALGORITHMIC TRADING:
INTERPOLATIVE BOOLEAN APPROACH**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2020

Ментор:

др Братислав Петровић, редовни професор
Факултет организационих наука, Универзитет у Београду

Чланови комисије:

др Милија Сукновић, редовни професор
Факултет организационих наука, Универзитет у Београду

др Милан Мартић, редовни професор
Факултет организационих наука, Универзитет у Београду

др Невенка Жаркић-Јоксимовић, редовни професор
Факултет организационих наука, Универзитет у Београду

др Александар Марковић, редовни професор
Факултет организационих наука, Универзитет у Београду

др Јелена Игњатовић, редовни професор
Природно-математички факултет, Универзитет у Нишу

Датум одбране: _____

Велику захвалност дугујем свом ментору, проф. др Бати Петровићу, за искру интересовања коју је пробудио у мени и ширину погледа којој ме је научио. Хвала му и на свом стрпљењу (знам да није било лако) и саветима које ми је пружао свих година заједничког рада. Била је привилегија учити од професора Бате!

Велику захвалност дугујем и др Драгану Радојевићу, на упознавању са теоријом интерполативне Булове алгебре и инспирацији која се кроз то упознавање изродила. Изузетно сам захвалан и проф. др Весни Богојевић Арсић, која је пружала велику подршку и бројне савете пратећи мој рад.

Хвала пуно проф. др Милану Мартићу, проф. др Милији Сукновићу и проф. др Александру Марковићу на великом поверењу, подршци и саветима које су пружали од самог почетка наше сарадње. Хвала и проф. др Јелени Игњатовић и проф. др Невенки Жаркић Јоксимовић на подршци и срдечној сарадњи.

Посебно бих желео да се захвалим мојим колегама са Катедре, Павлу, Ани и Ивани, који су ми пружали безрезервну подршку и несебичну помоћ у овом изазову свих претходних година. Без њих, а посебно Павла, изазов би био знатно тежи, а пут ка решењу дужи.

Желео бих да искажем захвалост Милошу, који ми је помогао да прикупим потребне податке за истраживање, Пеђи и Јасни за њихову помоћ у визуелној и стилској репрезентацији резултата, као и Немањи за помоћ у статистичкој анализи резултата.

На крају, највећу захвалност дугујем мојим родитељима, брату Зокију, сестри Ани и снајки Јовани. Њихова љубав, разумевање и истрајна подршка били су неистрпан резервоар енергије потребне да се овај изазов савлада. Хвала им неизмерно на томе!

Адаптивни фази систем за алгоритамско трговање: интерполативни Булов приступ

Сажетак: Тема овог рада је адаптивни фази систем за алгоритамско трговање. Систем је развијен коришћењем интерполативног Буловог приступа фази моделовању, анализи података и управљању. Предложени приступ укључује интерполативне логичке моделе за фази препознавање ценовних образаца на тржишту, логички ДуПонт метод за аутоматизовану анализу профитабилности предузећа, интерполативни фази контролер за управљање трговањем и генетски алгоритам за обучавање интерполативног фази контролера ради откривања стратегија. Интерполативни Булов приступ, заснован на интерполативној Буловој алгебри, превазилази проблем неконзистентности фази логике. Конструисани адаптивни фази систем може самостално, из података, да открије успешне стратегије, примени их за алгоритамско трговање и адаптира у случају пада њихових перформанси. Успешност система тестирана је на подацима са америчког тржишта акција, међународног девизног тржишта и тржишта криптовалута.

Кључне речи: адаптивни фази систем, систем за алгоритамско трговање, стратегија за трговање, фази логика, интерполативна Булова алгебра, интерполативни фази контролер, логички ДуПонт метод, интерполативни логички модели.

Научна област: Техничке науке

Ужа научна област: Управљање системима

УДК број:

Adaptive fuzzy system for algorithmic trading: interpolative Boolean approach

Abstract: The topic of this thesis is adaptive fuzzy system for algorithmic trading. The system is developed using interpolative Boolean approach for fuzzy modeling, data analysis and control. The proposed approach includes interpolative logical models for fuzzy recognition of price patterns in market data, logical DuPont method for automated analysis of company's profitability, interpolative fuzzy controller for trading and a genetic algorithm for extracting trading strategies by training interpolative fuzzy controller. Interpolative Boolean approach, based on interpolative Boolean algebra, solves the problem of fuzzy logic's inconsistency with Boolean axioms. The proposed system can independently discover successful trading strategies from data, apply them for algorithmic trading and adapt in the case of performance deterioration. The system was tested on historical data from US equity, foreign exchange market and cryptocurrency market.

Keywords: adaptive fuzzy system, algorithmic trading, trading system, trading strategy, fuzzy logic, interpolative Boolean algebra, interpolative fuzzy controller, logical DuPont method, interpolative logical models.

Scientific field: Technical sciences

Scientific subfield: System control

UDK number:

САДРЖАЈ

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | УВОД..... | 1 |
| 1.1. | Проблем, предмет и циљ истраживања..... | 2 |
| 1.2. | Полазне хипотезе..... | 3 |
| 1.3. | Структура рада | 3 |
| 2. | ОСНОВНЕ ТЕОРИЈЕ ФИНАНСИЈСКИХ ТРЖИШТА | 5 |
| 2.1. | Хипотеза случајног хода..... | 5 |
| 2.2. | Хипотеза ефикасних тржишта | 6 |
| 2.3. | Хипотеза адаптивних тржишта | 7 |
| 3. | СИСТЕМИ ЗА АЛГОРИТАМСКО ТРГОВАЊЕ..... | 9 |
| 3.1. | Појам алгоритамског трговања | 10 |
| 3.2. | Појам система за алгоритамско трговање..... | 11 |
| 3.3. | Структура система за трговање | 11 |
| 3.4. | Стратегије за трговање | 12 |
| 3.4.1. | Арбитражне стратегије..... | 12 |
| 3.4.2. | Маркет мејкинг стратегије..... | 13 |
| 3.4.3. | Шпекулативне стратегије | 14 |
| 3.4.4. | Манипулативне стратегије..... | 14 |
| 3.5. | Стратегије за извршење | 14 |
| 3.6. | Стратегије за управљање ризиком..... | 17 |
| 4. | ФАЗИ ЛОГИКА И ИНТЕРПОЛАТИВНА БУЛОВА АЛГЕБРА | 19 |
| 4.1. | Основни закони мишљења | 19 |
| 4.2. | Принцип истинитосне функционалности | 19 |
| 4.3. | Булова алгебра | 20 |
| 4.4. | Фази логика..... | 20 |
| 4.4.1. | Проблем неконзистентности | 22 |
| 4.4.2. | Фази системи..... | 25 |
| 4.5. | Интерполативна Булова алгебра..... | 28 |
| 4.5.1. | Примарни и атомски елементи..... | 28 |
| 4.5.2. | Раздвајање структуре од вредности | 29 |
| 4.5.3. | Принцип структурне функционалности | 30 |
| 4.5.4. | Симболички ниво..... | 30 |
| 4.5.5. | Вредносни ниво | 32 |
| 4.5.6. | Правила за трансформацију логичког израза у ГБП..... | 35 |
| 4.5.7. | Доказ конзистентности ИБА | 35 |
| 4.5.8. | Примери израчунавања вредности логичких функција помоћу ИБА ... | 36 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 5. | ПРЕГЛЕД ФАЗИ СИСТЕМА ЗА АЛГОРИТАМСКО ТРГОВАЊЕ | 38 |
| 5.1. | Самообучавајући фази системи за алгоритамско трговање | 39 |
| 6. | КОРИШЋЕНИ ПОДАЦИ, ПОКАЗАТЕЉИ И МЕРЕ УСПЕШНОСТИ..... | 42 |
| 6.1. | Изворни подаци | 42 |
| 6.2. | Показатељи техничке анализе..... | 44 |
| 6.2.1. | Графички обрасци јапанских свећица | 44 |
| 6.2.2. | Технички индикатори..... | 46 |
| 6.3. | Показатељи фундаменталне анализе..... | 46 |
| 6.3.1. | Компоненте ДуПонт анализе..... | 46 |
| 6.3.2. | Рација за процену вредности | 50 |
| 6.4. | Мере успешности | 52 |
| 7. | ИНТЕРПОЛАТИВНИ БУЛОВ ПРИСТУП ФАЗИ МОДЕЛОВАЊУ, АНАЛИЗИ ПОДАТАКА И УПРАВЉАЊУ У АЛГОРИТАМСКОМ ТРГОВАЊУ | 53 |
| 7.1. | Моделовање ценовних образаца помоћу интерполативне Булове алгебре..... | 53 |
| 7.1.1. | Препознавање формације свећица | 54 |
| 7.1.2. | Препознавање тренда | 57 |
| 7.1.3. | Интерполативни логички модели графичких образаца јапанских свећица | 58 |
| 7.2. | Фундаментална ДуПонт анализа применом метода анализе логичке структуре података | 66 |
| 7.2.1. | Логичка ДуПонт анализа | 67 |
| 7.2.2. | Примена логичког ДуПонт метода у алгоритамском трговању..... | 70 |
| 7.3. | Управљање трговањем коришћењем интерполативног фази контролера | 75 |
| 7.3.1. | Примена интерполативног фази контролера у алгоритамском трговању..... | 76 |
| 7.4. | Откривање стратегија за трговање применом генетског алгоритма за обучавање интерполативног фази контролера..... | 82 |
| 7.4.1. | Модел генетског алгоритма за обучавање интерполативног фази контролера и његова примена у откривању стратегија за трговање | 83 |
| 8. | АДАПТИВНИ ФАЗИ СИСТЕМ ЗА АЛГОРИТАМСКО ТРГОВАЊЕ..... | 95 |
| 8.1. | Предложени систем..... | 95 |
| 8.1.1. | Подсистем за анализу података..... | 97 |
| 8.1.2. | Подсистем за трговање..... | 97 |
| 8.1.3. | Подсистем за обучавање | 99 |
| 8.1.4. | Подсистем за извештавање | 100 |
| 8.2. | Параметри система..... | 100 |
| 8.3. | Резултати за америчко тржиште акција | 102 |
| 8.3.1. | Резултати фундаменталне анализе..... | 102 |
| 8.3.2. | Резултати техничке анализе..... | 105 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 8.3.3. | Резултати комбиноване фундаменталне и техничке анализе..... | 106 |
| 8.4. | Резултати за међународно девизно тржиште | 108 |
| 8.5. | Резултати за тржиште криптовалута | 110 |
| 9. | ЗАКЉУЧАК..... | 112 |
| 9.1. | Осврт на постављене хипотезе и остварене доприносе..... | 113 |
| 9.2. | Могући правци будућих истраживања..... | 115 |
| 10. | ЛИТЕРАТУРА..... | 117 |
| | ПРИЛОГ 1..... | 128 |
| | БИОГРАФИЈА АУТОРА | 134 |
| | ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ | 141 |
| | ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ДОКТОРСКОГ РАДА..... | 142 |
| | ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ | 143 |

1. УВОД

Развој информационо-комуникационих технологија (ИКТ) трансформисао је финансијска тржишта до непрепознатљивости.¹ Промену сликовито описује Метли (Mattli, 2019):

„Помахниталу активност трговаца (енг. *traders*) који купују и продају акције и друге финансијске инструменте на паркетима Њујоршке, Лондонске и Чикашке берзе – традиционалних икона капитализма – заменило је алгоритамско трговање и супер-рачунари смештени у великим скривеним центрима на удаљеним локацијама као што су Махвах у Њу Џерзију, Аурора у Илиноису и Базилдон у околини Лондона. Трговање је постало изузетно сложено и неразумљиво, извршавајући се брзином која се више не мери минутима и секундама, већ временским јединицама које су изван људске перцепције – милисекундама, микросекундама, па чак и наносекундама.“²

Брзина је постала пресудна – сат времена је постало вечност (3.600 милијарди наносекунди). Људи су постали преспори, заменили су их алгоритамски управљани рачунарски системи способни да симултано прате и анализирају велики број тржишта, самостално доносе одлуке и извршавају их у делићу секунде. Машине су „завладале“ тржиштима.

Финансијско трговање данашњице – то је сурова технолошка трка. Професор Ендру Ло (енг. *Andrew Lo*), директор Лабораторије за финансијско инжењерство на Масачусетском институту за технологије, пореди је са „трком у наоружању“ (Duhigg & Kurzweil, 2006), у ономе што неки називају „алгоритамским ратовима“ (Leinweber, 2009). Некада је то била трка у брзини.³ Тржиште је било мање ефикасно, алгоритми су лако долазили до зараде. Данас више није тако. Тржишта су постала бржа и ефикаснија. Многе прилике за зараду су нестале,⁴ трка је постала суровија. Вештачка интелигенција је у фокусу.⁵

Теорија фази логике заснована је на идеји градације припадности, инспирисана процесима људске перцепције и когниције (Singh et al., 2013). Она има за циљ моделовање непрецизности и приближног резонувања који играју важну улогу у изузетној способности човека да доноси одлуке у окружењу препуном неизвесности и неодређености (Zadeh, 1988). Имајући у виду да су финансијска тржишта управо таква окружења, фази логика представља вредан алат за развој

¹ Две технолошке промене су играле посебну улогу у процесу трансформације тржишта (Jain, 2005): електронска књига налога (енг. *electronic order book*) и алгоритамско трговање. Оне су омогућиле измештање трговања из физичког у виртуелни (електронски) простор и његову аутоматизацију.

² Поређења ради, трговачком налогу издатом од стране инвеститора 1975. године требало је од неколико минута до чак једног сата само да би доспео до брокера који се налазио на трговачком паркету берзе (U.S. Securities and Exchange Commission, 1994).

³ Истраживачка група ТАБ (енг. *TABB Group*) проценила је да су учесници на тржиштима широм света током 2013. године потрошили око 1,5 милијарди америчких долара како би повећали брзину трговања, скоро двоструко више него у 2009. години (Patterson, 2014).

⁴ Снажан пад зарада од алгоритамског трговања на америчким тржиштима капитала почео је 2010. године, одмах након што су алгоритми „преузели тржиште“. Процена ТАБ групе је да су алгоритми у 2016. години зарадили 1,1 милијарду долара, чак 85% мање у односу на 2009. годину када је њихова зарада износила фасцинантних 7,2 милијарде долара (Osipovich, 2017).

⁵ Истраживачка агенција ОПИМАС (енг. *OPIMAS*) процењује да су финансијске куће у 2017. години потрошиле 1,5 милијарди америчких долара на технологије засноване на вештачкој интелигенцији (Piergon, 2017). У истом извештају се процењује да ће до 2021. године улагања достићи цифру од 2,8 милијарди долара, што представља раст од 75%.

интелигентних алгоритама/система за трговање. За инвестиционо одлучивање⁶ често се каже да је уметност подједнако колико и наука (Jacobs & Levy, 2016). Због тога је често тешко описати експертско знање инвеститора и трговца⁷ коришћењем класичног математичког апарата. Тада, логички изрази представљају природан и човеку близак оквир за моделовање експертског знања које је изражено у форми вербалног исказа.

Међутим, иако је настала на основама класичне (Булове) логике, фази логика не задовољава основне законе мишљења који су дефинисани кроз Булове аксиоме. Из тог разлога, фази логика није конзистентна са Буловим логичким оквиром, тј. није у стању да на конзистентан начин изрази целокупан скуп логичких релација које представљају основне форме људског резонувања.

Интерполативна Булова алгебра, као реалновредносна генерализација Булове алгебре, представља адекватну математичку основу за развој конзистентног фази приступа који не крши основне законе мишљења. У овој дисертацији, употребљена је за развој интерполативног Буловог приступа фази моделовању, анализи и управљању. Овај приступ омогућава задржавање својства градације и експресивности фази логике, док у исто време чува Булове аксиоме. У оквиру приступа предложени су интерполативни логички модели за фази препознавање ценовних образаца на тржишту, логички ДуПонт метод за машинску (аутоматизовану) анализу профитабилности предузећа, интерполативни фази контролер за управљање трговањем, као и модел генетског алгорита за откривање стратегија за трговање у историјским подацима. Наведени модели и методи тестирани су на историјским подацима са америчког тржишта акција.

Након тога, приступило се развоју адаптивног фази система за алгоритамско трговање коришћењем предложеног интерполативног Буловог приступа. Адаптивност система односи се на његову могућност да се самостално обучи, пре почетка трговања или у току трговања када перформансе система опадну. Мотивацију за увођење особине адаптивности дала је модерна теорија финансијских тржишта садржана у хипотези о адаптивним тржиштима. Ова хипотеза претпоставља да тржишта нису увек ефикасна, да је могућа појава аномалија на тржишту, али и да тржиште има механизам за њихово уклањање.

Развијени адаптивни систем за алгоритамско трговање успешно је тестиран на историјским подацима са америчког тржишта акција, међународног девизног тржишта и тржишта криптовалута.

1.1. Проблем, предмет и циљ истраживања

Проблем истраживања докторске дисертације јесте идентификација недостатака у постојећим фази системима за алгоритамско трговање и развој адаптивног фази система за алгоритамско трговање помоћу интерполативног Буловог приступа.

Предмет истраживања докторске дисертације јесте адаптивни фази систем за алгоритамско трговање. Предложени систем развијен је коришћењем новог приступа фази моделовању,

⁶ Под инвестиционим одлучивањем подразумева се доношење одлука о куповини/продаји хартија од вредности, робе или неке друге активе.

⁷ Иако се понекад поистовећују, инвеститор и трговац се значајно разликују у намери и начину остваривања зараде од куповине/продаје одређеног финансијског инструмента. Инвеститор улаже са намером да зараду оствари кроз приносе које уложени капитал може да оствари (нпр. дивиденда или камата) или кроз трајно увећање његове вредности. Због тога инвестирање има дугорочан карактер. Са друге стране, трговање је мотивисано зарадом која се може остварити у кратком временском року на основу разлике куповне и продајне цене инструмента. У овом раду инвестиционе одлуке се проучавају са аспекта трговца.

анализи података и управљању заснованом на интерполативној Буловој алгебри. Предложени интерполативни Булов приступ имаће својство fine градације и могућност да укључи експресивност фази скупова, а да при томе сачува све аксиоме Булове логике што није случај у класичном фази приступу. Предложени адаптивни фази систем за алгоритамско трговање тестиран је на америчком тржишту акција, међународном девизном тржишту и тржишту криптовалута ради анализе успешности.

Циљ истраживања докторске дисертације јесте развој адаптивног фази система за алгоритамско трговање способног да самостално открије (из историјских података) успешне стратегије за трговање, примени их за алгоритамско трговање на финансијском тржишту и адаптира у складу са променама тржишних околности.

1.2. Полазне хипотезе

Основна хипотеза:

- могуће је унапредити фази системе за алгоритамско трговање увођењем интерполативног Буловог приступа у финансијско моделовање, анализу података и управљање.

Помоћне хипотезе:

- може се конструисати фази систем за алгоритамско трговање;
- могуће је развити нов начин фази моделовања ценовних образаца увођењем интерполативног Буловог приступа;
- могуће је развити фази систем за аутоматизовану фундаменталну финансијску анализу увођењем интерполативног Буловог приступа;
- могуће је аутоматизовати откривање знања из података и конструисати адаптивни фази систем за алгоритамско трговање применом интерполативног Буловог приступа и генетског алгоритма.

1.3. Структура рада

У другој глави рада изложене су основне теорије финансијских тржишта. У првом поглављу ове главе представљена је хипотеза о случајном ходу. У другом поглављу дат је приказ хипотезе о ефикасним тржиштима уз посебан осврт на, у постојећој литератури, документованим аномалијама у тржишној ефикасности. У трећем поглављу рада описана је хипотеза о адаптивним тржиштима.

У оквиру треће главе дата су одређења појмова алгоритамског трговања и система за алгоритамско трговање. У трећем поглављу представљена је основна структура система за алгоритамско трговање и објашњени су њени елементи. У наредном поглављу описани су основни типови стратегија за трговање. У петом поглављу описане су најпознатије стратегије за извршење. У последњем поглављу представљене су основне стратегије за управљање ризиком трговања.

У четвртој глави рада обрађени су основни теоријски концепти фази логике и интерполативне Булове алгебре. У прва три поглавља описани су основни закони мишљења, принцип истинитосне функционалности и Булова алгебра. У оквиру четвртог поглавља дата су објашњења појмова фази скупа, фази логике и фази система. Посебна пажња посвећена је проблему неконзистентности фази логике. У последњем (петом) поглављу дат је детаљан

приказ теорије интерполативне Булове алгебре и њених могућности да реши проблем неконзистентности који се јавља у фази логици и система.

У оквиру пете главе рада изложен је преглед доступних радова који се баве фази системима за алгоритамско трговање. Посебна пажња посвећена је, у првом поглављу, адаптивним фази системима.

Шеста глава рада се састоји од четири поглавља. У првом су описани изворни подаци коришћени у овом истраживању, њихова селекција, начин и временски интервал прикупљања. У оквиру другог поглавља дат је приказ ценовних образаца и техничких индикатора који су коришћени за техничку анализу у овом истраживању. У трећем поглављу приказани су коришћени показатељи фундаменталне анализе: компоненте ДуПонт анализе и рација за процену вредности. Последње поглавље даје опис коришћених мера успешности.

У седмој глави рада изложена је методологија интерполативног Буловог приступа фази моделовању, анализи и интерпретацији података, управљању и откривању знања у подацима. У оквиру првог поглавља предложен је нови приступ моделовању ценовних образаца на финансијским тржиштима. У другом поглављу је представљен логички ДуПонт метод за фундаменталну анализу и приказани су резултати његове примене у алгоритамском трговању. Поред тога, дато је и уопштење метода које се може користити за машинску анализу и интерпретацију података у другим областима примене. У трећем поглављу представљен је интерполативни фази контролер, као и резултати његове примене у управљању алгоритамским трговањем. У последњем (четвртог) поглављу предложен је модел за обучавање интерполативног фази контролера заснован на генетском алгоритму и дати су резултати његове примене за откривање стратегија за трговање.

У оквиру осме главе рада предложен је адаптивни фази систем за алгоритамско трговање. У првом поглављу изложен је модел предложеног система и дат детаљан опис свих његових компоненти. У другом поглављу дати су симулациони параметри система. У трећем поглављу представљени су резултати симулације предложеног система на америчком берзанском тржишту уз пратећу дискусију. У четвртог поглављу изложени су резултати симулације предложеног система на међународном девизном тржишту уз пратећу дискусију. Коначно, у петом поглављу представљени су резултати са тржишта криптовалута.

У последњој глави рада дат је закључак, са посебним освртом (у првом поглављу) на постављене хипотезе и остварене доприносе у раду. У другом поглављу су представљени могући правци даљег истраживања.

На крају рада наведена је литература која је коришћена приликом израде дисертације.

2. ОСНОВНЕ ТЕОРИЈЕ ФИНАНСИЈСКИХ ТРЖИШТА

У овом делу рада дат је преглед три, за овај рад, најважније теорије финансијских тржишта. Теорије су изложене хронолошким редом, онако како су предлагане академској заједници.

2.1. Хипотеза случајног хода

Хипотеза случајног хода (енг. *random walk hypothesis*) представља први покушај да се дефинише формална теорија финансијских тржишта. Она претпоставља да су промене цена на финансијским тржиштима случајне и међусобно независне:

$$P_t - P_{t-1} = \varepsilon_t, \quad (1)$$

где је P_t цена у тренутку t , а ε_t случајна променљива са одређеном расподелом. Особине случајности и независности имплицирају да се приноси, а самим тим и цене, не могу предвидети на било какав рационалан начин.

Математичке основе теорије први је разрадио Башеље⁸ (фр. *Bachelier*), ученик чувеног математичара Поенкареа (фр. *Poincaré*). У својој докторској дисертацији *Теорија спекулација* (фр. *Théorie de la spéculation*), одбрањеној на Сорбони 1900. године, Башеље је први пут математички описао Брауново кретање⁹ (енг. *Brownian motion*) и применио га на моделовање цена финансијских инструмената.

Дискусија на тему случајности финансијских тржишта била је посебно интензивна током педесетих и почетком шездесетих година прошлог века. Већина учесника заступала је хипотезу да су финансијска тржишта случајна. Један од првих који је приметио сличност између ценовних и случајних серија био је Воркинг (Working, 1934). Ипак, Кендалови резултати¹⁰ (Kendall, 1953) имали су највећег одјека. Његове закључке подржали су и Озборн (Osborne, 1959), Манделброт (Mandelbrot, 1963), Грејнцер и Моргенстерн (Granger & Morgenstern, 1963), Фама¹¹ (Fama, 1965) и многи други. Иако у мањини, било је и оних који су покушали да оспоре хипотезу (Alexander, 1961, 1964; Houthakker, 1961; Cootner, 1962; Levy, 1967a, 1967b, 1968).

⁸ Башељеов импресивни рад био је знатно испред његовог времена. Биће потребно више од пола века да истраживачи емпиријским путем дођу до закључака које је он антиципирао у својој докторској дисертацији. Тада ће његов рад задобити пуну пажњу академске заједнице и постати основа стохастичког рачуна и математичких финансија (Courtault et al., 2000).

⁹ Брауново кретање је континуални аналог случајног хода и представља једно од најважнијих математичких теоријских открића XX века. Име је добило по ботаничару Роберту Брауну (енг. *Robert Brown*), који га је први описао посматрајући честице полена. Иако неки сматрају да је Ајнштајн био први који га је моделовао, то је ипак био Башеље.

¹⁰ Кендал је, не успевши да утврди серијске и унакрсне корелације у ценовним серијама, закључио да се приноси понашају као да су генерисани (на одговарајући начин дизајнираним) точком рулета – оспоривши сваку могућност да се познавањем историјских цена могу извршити било каква валидна предвиђања о њиховим будућим вредностима

¹¹ И поред негативних закључака о могућности постојања образаца у кретању цена, Фама оставља простор за размишљање следећом изјавом: „Једноставне линеарне везе које се налазе у основи модела за испитивање серијске корелације превише су несофистициране како би идентификовале комплексне обрасце које аналитичари могу уочити у графикама ценовних података“. Поред тога, он закључује да веровање појединих инвеститора у постојање „стварне“ вредности акција (енг. *stock intrinsic value*) није у супротности са теоријом случајног хода.

Модел случајног хода захтева вероватносну независност узастопних промена цена, што га чини врло рестриктивним. Због тога је Самјуелсон (Samuelson, 1965) предложио модел мартингала (енг. *martingale*) по ком је:

$$E(P_{t+1} | \Phi_t) = P_t, \text{ односно } E(P_{t+1} - P_t | \Phi_t) = 0, \quad (2)$$

где је Φ_t скуп доступних информација у тренутку t .

2.2. Хипотеза ефикасних тржишта

Модел случајног хода и мартингала описали су карактеристике ценовног процеса, тј. кретања цена на финансијским тржиштима. Ипак, они нису описали механизам који доводи до оваквог кретања. Одговор на то дала је хипотеза ефикасних тржишта (енг. *efficient market hypothesis*). Она није исправила већ је допунила претходна теоријска разматрања, комплетирајући тако теоријски оквир за проучавање финансијских тржишта. Од тог тренутка, под ефикасним тржиштима подразумевају се тржишта у којим се ценовна кретања могу описати процесом мартингала и обрнуто.

Описујући (механизам) промене цена, хипотеза ефикасних тржишта их дефинише као зависне променљиве, функције од доступних информација:

$$P_t - P_{t-1} = f(\Phi_t), \quad (3)$$

где Φ_t представља информације доступне у тренутку t . Функција f , односно механизам који уграђује нове информације у цену, назива се информационо ефикасност тржишта. Информационо ефикасна тржишта су она тржишта код којих цена увек и у потпуности рефлектује доступне информације. На таквим тржиштима сваки покушај да се оствари зарада систематским коришћењем доступних информација је осуђен на пропаст.

Идеја о ефикасности тржишта настала је пре него што је формално дефинисана. Тако је, на пример, Робертс (Roberts, 1959) приметио да се од рационалних инвеститора може очекивати да ће приметити све тржишне несавршености и брзо реаговати на њих, због чега ће се цена брзо прилагођавати новим информацијама. Сам појам ефикасних тржишта промовисали су Фама и остали (Fama, Fisher, Jensen, & Roll, 1969).

У једном од најуглеђенијих радова икада написаних на тему финансијских тржишта, Фама (Fama, 1970) дефинише три нивоа ефикасности тржишта у односу на скуп доступних информација Φ_t :

1. слаба форма ефикасности (енг. *weak form efficiency*), у којој скуп Φ_t обухвата само историјске информације до тренутка t ; на слабо ефикасном тржишту не постоји могућност да се оствари зарада коришћењем историјских података;
2. полујака форма ефикасности (енг. *semi-strong form efficiency*), у којој скуп Φ_t обухвата све јавно доступне информације у тренутку t , што значи да је зараду могуће остварити само на основу информација које нису доступне јавности;
3. јака форма ефикасности (енг. *strong form efficiency*), у којој скуп Φ_t обухвата све јавне и приватне (инсајдерске) информације у тренутку t и искључује могућност остваривања зараде чак ни на основу инсајдерских информација.

Јака форма ефикасности у потпуности обесмишљава прикупљање и анализу информација. То су приметили Гросман и Стиглиц (Grossman & Stiglitz, 1980), који су доказали да тржишта не могу бити апсолутно ефикасна.

На основу претходних теорија развио се јединствени принцип инвестирања – индексно инвестирање (енг. *index investing*) или, како се још назива, пасивно инвестирање (енг. *passive investing*). Идеју о томе да већина инвеститора треба да инвестира пасивно први је предложио професор Бертон Малкиел, чија књига *Случајни ход Вол Стритом* (Malkiel, 2019) и данас, 47 година након првог издања, представља једно од најпопуларнијих штива на тему финансијских тржишта. Прву реализацију ове идеје извео је Џон Богл (енг. *John Bogle*), оснивач једне од највећих инвестиционих фирми данашњице, Вангард групе (енг. *Vanguard Group*).

Током седамдесетих година XX века, академска заједница је у великој већини прихватила идеју о ефикасности финансијских тржишта. Крајем осамдесетих и почетком деведесетих појавили су се радови (De Bondt & Thaler, 1985; Brock, Lakonishok, & LeBaron, 1992) који су оспорили теорију ефикасности тржишта на основу резултата који су показали значајне позитивне средњерочне и негативне дугорочне ефекте „праћења тренда“. Уследили су многобројни радови који су потврдили постојање тржишних аномалија (Lo & MacKinlay, 1988; Lo & MacKinlay, 1990; Chopra, Lakonishok, & Ritter, 1992; Jegadeesh & Titman, 1993; Chan, Jegadeesh, & Lakonishok, 1996).

Механизам ефикасности тржишта „тера“ инвеститоре да искористе тржишне аномалије заснован је на претпоставци да играчи на тржишту делују у складу са моделом рационалних очекивања (Fama, 1970). Ова претпоставка је доведена у питање од стране многих економиста, а идеја хетерогених очекивања се чини као много реалнији модел стварности. Један од оних који су критиковали рационални приступ је и Роберт Шилер (енг. Robert Shiller), професор на Јејл Универзитету, који тврди да већи део инвеститора на тржишту нису рационални односно „интелигентни инвеститори“ (енг. *smart investors*). У свом раду (Shiller, 1999), он је сумирао бихејвиоралне теорије (енг. *behavioral theories*) у финансијама, указујући на многе аномалије и одступања инвеститора од „рационалног тржишта“. Ипак, бихејвиористички приступ није изродио конкретну хипотезу у вези тржишта, већ се фокусирао на оспоравање тезе ефикасних тржишта.

2.3. Хипотеза адаптивних тржишта

Крајем прошлог века почињу да се појављују студије са резултатима који су указивали на феномен „застаревања“ стратегија за трговање, тј. опадања њихове способности да генеришу зараду.¹² Ефекат је примећен како на девизном тржишту (Cheung & Wong, 1997; Olson, 2004), тако и на берзанским тржиштима (LeBaron, 2000; Ready, 2002). Коришћене су стратегије са филтером (Cheung & Wong, 1997) и стратегије засноване на покретним просецима (LeBaron, 2000; Ready, 2002; Olson, 2004). Ови резултати су још једном потврдили постојање аномалија у тржишној ефикасности, али и указали на то да се уочене аномалије с временом „исправљају“. Јаз између теорије и емпирије још више се проширио. Била је потребна нова теорија (хипотеза)

¹² Тестирајући стратегије са покретним просецима на подацима Дау Џонс индустријског индекса (енг. *Dow Jones Industrial Index*), Лебарон је утврдио (LeBaron, 2000) да су оне током првих 90 година XX века успешно генерисале зараду, да би у последњој деценији изгубиле на профитабилности. Реди (Ready, 2002) указује на то да су приноси тих стратегија на америчком тржишту акција драстично опали већ од друге половине осамдесетих. Олсон (Olson, 2004) их је проверио на девизном тржишту, утврдивши да њихова профитабилност константно опада још од седамдесетих година, да би се деведесетих приближила нули.

која би систематски описала уочени механизам и помирила заговорнике и противнике теорије о ефикасности тржишта.

Настали јаз попунио је професор Ендру Ло увођењем концепта адаптивности тржишта (Lo, 2004, 2005), који има корене у еволуционим принципима биологије. Он је дефинисао хипотезу о адаптивности тржишта (енг. *adaptive market hypothesis*):

„Цене рефлектују онолико информација колико је то диктирано комбинацијом услова окружења (тржишта) и бројем и природом врста у екосистему (учесника на тржишту).“

Према овој хипотези, тржиште је високоефикасно ако се на њему такмиче бројне врсте (учесници на тржишту) или чланови једне исте, али пренасељене врсте, за релативно оскудне ресурсе (профитне прилике). И обрнуто, ако се мали број врста такмичи за веома обилне ресурсе, онда ће то тржиште бити мање ефикасно. Следи да су профитне прилике на тржишту обрнуто сразмерне броју учесника на тржишту – што је више учесника присутно на тржишту, конкуренција је жешћа, а прилика за зараду је мање. Доказе који поткрепљују ове тврдње пружили су и други аутори (Neely, Weller & Ulrich, 2009; Kim, Shamsuddin & Lim, 2011; Charles, Darné & Kim, 2012; Urquhart & Hudson, 2013).

Према Лоу (Lo, 2004), битне последице адаптивности тржишта су:

- ако постоји веза између ризика и награде, она није стабилна током времена;
- на супрот класичној хипотези ефикасних тржишта, хипотеза адаптивних тржишта дозвољава појављивање арбитражних прилика с времена на време;
- стратегије за трговање пролазе кроз циклусе успешности и неуспешности у зависности од њиховог одговора на променљиво тржишно окружење;
- иновација је кључ опстанка на тржишту.

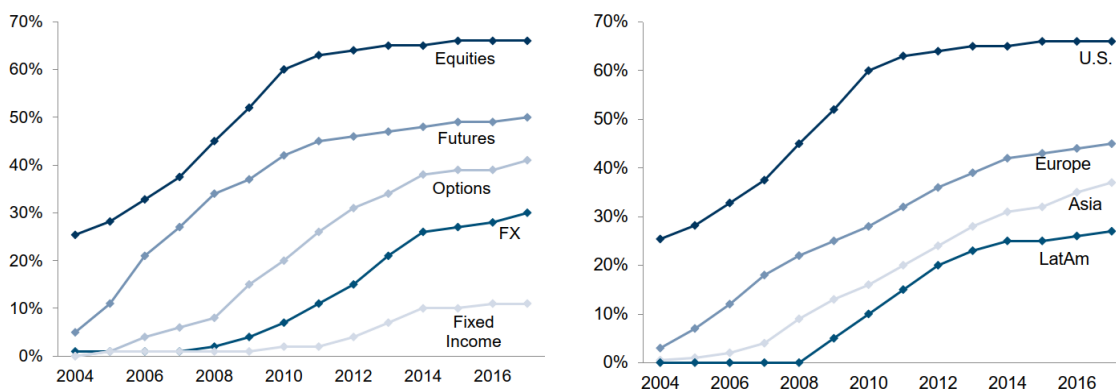
Лоов рад је од посебне важности за овај рад јер даје теоријско оправдање за примену адаптивних система у алгоритамском трговању.

3. СИСТЕМИ ЗА АЛГОРИТАМСКО ТРГОВАЊЕ

Револуција у трговању почиње 1969. године настанком прве електронске мреже за трговање Инстинет (енг. *Instinet*). Већ, 1971. године, формирана је прва америчка електронска берза НАЗДАК (енг. *National Association of Securities Dealers Automated Quotations – NASDAQ*) са идејом да промовише употребу најсавременијих технологија у трговању. Победу електронског над традиционалним методом трговања¹³ означила је 1976. година када је Њујоршка берза (енг. *New York Stock Exchange – NYSE*) увела чувени ДОТ систем (енг. *Designated Order Turnaround – DOT*), омогућивши електронско извршење налога на тада највећем светском тржишту капитала. Детаљан преглед свих значајних прекретница које су омогућиле развој алгоритамског трговања приказали су Џонсон (Johnson, 2010) и Макгауан (McGowan, 2010).

Први системи за алгоритамско трговање развијени су почетком осамдесетих година прошлог века у оквиру банкарске групације Морган Стенли (енг. *Morgan Stanley*). Она је међу првима окупила групу за аутоматизовано трговање у оквиру које је осмишљен један од најпознатијих концепата алгоритамског трговања – статистичка арбитража. Заслуге за ово додељене су кванту¹⁴ (енг. *quant or quant trader*) Џерију Бамбергеру (енг. *Gerry Bamberger*) и његовом шефу Нунцију Тартали (енг. *Nunzio Tartaglia*). Од тада, алгоритамско трговање задобија све више пажње, а главни корисници су инвестиционе банке (енг. *investment banks*) и хедџ фондови (енг. *hedge funds*).

До пуног процвата алгоритамског трговања долази на почетку XXI века, када почиње снажан раст његовог учешћа на светским тржиштима (Слика 3.1). САД предњаче наравно – тамо је све и почело. Раст је посебно значајан од 2005. године, након велике регулативне реформе америчког тржишта (енг. *Regulation National Market System*). За само неколико година алгоритми су „овладали“ тржиштима у САД, а потом су почели да „освајају“ свет.



Слика 3.1: Удео алгоритамског трговања на финансијским тржиштима, по класама инструмената и регионима (Aite Group, 2018)

Процес револуције трговања утицао је на карактеристике финансијских тржишта. Убрзани токови информација и ефикаснији процес трговања глобализовали су тржишта, али су их у исто време фрагментисала. Сломљен је монопол, Њујоршка берза је изгубила стогодишњи

¹³ Под традиционалним трговањем подразумева се трговање које је захтевало физичко присуство на берзи (енг. *floor trading*), трговца или његовог представника – брокера.

¹⁴ Квант – занимање настало развојем алгоритамског трговања. Квантови су људи који развијају моделе и стратегије за трговање. Данас се у жаргону каже да они „владају Вол Стритом“ (Zuckerman & Норе, 2017).

примат.¹⁵ Фрагментисана и глобално повезана, финансијска тржишта су постала динамичнија, компетитивнија и сложенија него икада пре. Једном речју, тржишта су постала „брза“¹⁶ (енг. *fast-paced markets*).

3.1. Појам алгоритамског трговања

Појам алгоритамског трговања најчешће се везује за „компјутеризовано извршавање финансијских инструмената – акција, обвезница, валута и деривата“ (Kissell, 2014). Под компјутеризованим извршавањем, Кисел мисли на онај облик електронског трговања¹⁷ у којем рачунар даје инструкције за извршење налога за трговање. Дакле, трговац користи алгоритам помоћу којег испоставља налоге на тржиште (Chaboud, Chiquoine, Hjalmarsson, & Vega, 2014; Guo, Shek, Lai, & Wong, 2017), што му омогућава да испрограмира жељену стратегију за извршење налога (Rao, 2010).

Претходне дефиниције имају узак поглед на аутоматизацију процеса трговања, третирајући само један његов сегмент – потребу да се трговачка одлука (коју је донео човека) изврши машинским путем уз коришћењем ефикасне стратегије (најбрже, најјефтиније, са најмањим утицајем на тржиште итд.).

За ову дисертацију значајнији је шири поглед, те ћемо алгоритамско трговање надаље третирати као „било коју форму трговања коришћењем софистицираних алгоритама или програмираних система ради аутоматизације целокупног процеса трговања или неких његових делова“ (Treleaven, Galas, & Lalchand, 2013). Укратко, то је „компјутеризовано трговање којим управља алгоритам“ (Prix, Loistl, & Huetl, 2007).

Израз систематско трговање (енг. *systematic trading*) понекад се користи као синоним за алгоритамско трговање, на пример (Nutti *et al.*, 2011). Оба израза сугеришу репетитиван (систематски) приступ трговању, али се алгоритамско везује искључиво за рачунарски вођено трговање. Са друге стране, одредница систематско трговање упућује на скуп правила (стратегију) за трговање (Treleaven *et al.*, 2013) и као таква може обухватити и ручно трговање.

Високофреквентно трговање (енг. *high-frequency trading – HFT*) јесте облик (подскуп) алгоритамског трговања (Brogaard, 2010; Treleaven *et al.*, 2013) који карактеришу изузетно високи обими трговања у кратким временским интервалима (U.S. Securities and Exchange Commission, 2010), као и врло кратко трајање отворених позиција¹⁸ (Gomber, Arndt, Lutat, & Uhle, 2011) – неколико секунди, па чак и милисекунди. Овакав вид трговања захтева да

¹⁵ На почетку XXI века, Њујоршка берза је била доминантно тржиште капитала са уделом од 80-90% светског трговања (Mattli, 2019). Стрмоглави пад почиње од 2005. године, што се може повезати са снажним растом алгоритамског трговања. До 2010. године, учешће Њујоршке берзе у светском трговању пало је испод 40%, а данас износи свега 24% (Mattli, 2019). Велики део одлива преузеле су ванберзанске локације за трговање – алтернативни системи за трговање (енг. *alternative trading systems*). Међу њима, посебно су значајне електронске платформе за трговање (енг. *electronic communication networks – ECN*) и тамни базени ликвидности (енг. *dark pools*).

¹⁶ Појам „брза тржишта“ дефинисала је Банка за међународна поравнања (Bank for International Settlement, 2018) као одредницу за тржишта са високим степеном учешћа алгоритамског трговања.

¹⁷ Електронско трговање (енг. *Electronic trading*) јесте било који метод размене финансијских инструмената коришћењем специјализованих програма који повезују купце и продавце кроз електронски медијум, организујући на тај начин трговање. (Nutti, Mirghaemi, Treleaven, & Yingsaegree, 2011). Данас се готово сви налози за трговање достављају електронским путем, због чега је овај израз постао готово сувишан.

¹⁸ Трговачка позиција (енг. *trading position*) представља количину хартија од вредности, робе или неке друге активе којом се тргује. Позиција може бити дуга (настаје као последица куповине) и кратка (настаје као последица позајмице уз истовремену продају).

алгоритам прати и анализира сваку реализовану трансакцију, тј. да ради са тик подацима (енг. *tick data*).

3.2. Појам система за алгоритамско трговање

Системима за алгоритамско трговање сматраћемо софтверске системе који користе алгоритме како би аутономно (независно од човека) управљали трговањем. Клистала (Chlistalla, 2012) идентификује три генерације алгоритама, тј. система.¹⁹ Прву генерацију чине системи за извршење налога, способни да аутономно извршавају задате купопродајне одлуке. У ту сврху они користе унапред дефинисане моделе (стратегије), који оптимизују извршење по неком од задатих критеријума (време, трошкови, утицај на цену итд.).

Другу генерацију чине системи који су способни да потпуно аутономно тргују на тржишту и у оквиру њих су аутоматизовани сви нивои одлучивања и извршења. Поред стратегија за извршење, системи друге генерације садрже и унапред дефинисане стратегије за одлучивање – у литератури познатије као стратегије за трговање (енг. *trading strategy*). Користећи стратегије за трговање, ови системи су способни да на основу улазних података (које прикупљају са тржишта) генеришу сигнале за трговање (енг. *trading signal*). Сигнали за трговање представљају препоруке за куповину/продају. На основу ових препорука систем доноси коначну одлуку, која се потом извршава помоћу алгоритама за извршење.

Коначно, трећа генерација система укључује интелигентне методе које омогућавају алгоритмима да учећи из историјских података самостално формирају стратегију за трговање и прилагођавају је (адаптирају) условима на тржишту. Овакви системи имају највиши ниво аутономности, те се могу сматрати аутоматским системима. Циљ ове дисертације је развој система треће генерације, способног да самостално учи и адаптира се кроз време.

3.3. Структура система за трговање

Системи за алгоритамско трговање најчешће садрже следеће три компоненте (Aldridge, 2010):

- алгоритам за одлучивање (стратегија за трговање),
- алгоритам за извршење (стратегија за извршење налога) и
- алгоритам за надгледање (стратегија за управљање ризицима).

Стратегија за трговање садржи предефинисану трговачку логику (енг. *trading logic*) или алгоритам учења на основу којег се ова логика може извести из историјских података. У литератури се често среће и под називом алфа модел (енг. *alpha model*). Задатак овог алгоритма јесте да, користећи задате улазне податке, донесе одлуку о томе да ли и када купити/продати анализирану активу (енг. *assets*). Одлука се генерише у виду сигнала за трговање, који се потом прослеђују алгоритму за извршење.

Стратегија за извршење налога (енг. *order execution strategy*) има задатак да изврши одлуку која јој је прослеђена у виду сигнала за трговање (од стране стратегије за трговање). У складу са задатим критеријумом (минимално време, минимална цена, минимални утицај на

¹⁹ Системи за трговање представљају физичку реализацију одговарајућих алгоритама, те се могу поистоветити са њима.

цену/тржиште итд.), овај алгоритам трансформише трговачку одлуку у један или више трговачких налога које шаље на тржиште и њима управља до извршења.

Стратегија за управљање ризицима (енг. *risk management strategy*) има за циљ да заштити капитал од неочекиваних губитака, који могу настати услед наглих неповољних ценовних кретања или услед смањења успешности стратегије за трговање. Она врши сталну контролу успешности стратегије за трговање, како на кумулативном нивоу (ниво капитала), тако и на нивоу појединачане трговачке одлуке (ниво позиције). Алгоритам, по потреби, затвара отворене позиције и/или обуставља читаво трговање како би спречио да даљи губици знатно угрозе капитал или до тада остварену зараду.

Постоје и сложенији описи структуре, као што је Киселов модел структуре са пет компоненти (Kissell, 2014). У дисертацији је усвојен модел са три компоненте као општији и адекватнији за ово истраживање.

3.4. Стратегије за трговање

Стратегије за трговање представљају скуп правила на основу којих се обавља трговање. Прве стратегије развијене су за ручно трговање, знатно пре него што је технологија омогућила реализацију алгоритамског трговања. Њиховим развојем створен је систематски приступ трговању, што је представљало основу каснијег развоја алгоритамског трговања.

Постоје четири основна типа стратегија за трговање:

- арбитражне стратегије,
- маркет-мејкинг стратегије,
- шпекулативне или усмерене стратегије и
- манипулативне стратегије.

3.4.1. Арбитражне стратегије

Арбитража је трговачка пракса која има за циљ да искористи тржишне аномалије настале услед недовољне ефикасности тржишта, људских грешака, техничких несавршености тржишта или посебних привилегија одређених учесника, ради остваривања зараде. Аутори је најчешће дефинишу као неризично трговање. Ипак, она са собом носи одређене ризике мале вероватноће као што су, на пример, ризик од промене цене пре краја извршења (тржишни ризик), ризик од неизвршења трансакције услед недостатка средстава једне од страна (ризик ликвидности) или услед људске грешке или софтверског квара (оперативни ризик) и други.

Тржишна арбитража (енг. *market arbitrage*) настоји да искористи аномалије које се јављају кроз разлике у цени истог инструмента на различитим тржиштима (енг. *cross market arbitrage*), као и разлике у ценама основног и изведеног инструмента (енг. *cross asset arbitrage*). Најпознатија форма тржишне арбитраже је:

- триангуларна арбитража (енг. *triangular arbitrage*) (Moosa, 2001; Fenn, Howison, McDonald, Williams, & Johnson, 2009), која упоређује три валутна пара (изведена из три изабране валуте) у потрази за одступањима од равнотежног односа у коме је количник или производ два валутна курса једнак трећем.

Статистичка арбитража (енг. *statistical arbitrage*) представља трагање за тржишним аномалијама на бази статистичких правилности уочених у историјским подацима. Неке од најпопуларнијих стратегија статистичке арбитраже:

- трговање паровима (енг. *pairs trading*) (Gatev, Goetzmann, & Rouwenhorst, 2006), које настоји да искористи дивергенцију у кретању цена или из њих изведених показатеља (статистичких, фундаменталних, техничких итд.) два историјски корелисана финансијска инструмента, упарујући дугу позицију једног са кратком позицијом другог инструмента;
- индексна арбитража (енг. *index arbitrage*) – која настоји да искористи разлике у вредностима индекса и активе која је укључена у тај индекс (Cummings & Frino, 2011) или разлике између два индекса (Richie, Daigler, & Gleason, 2008); из ње се развила и арбитража над фондовима којима се тргује на берзи (енг. *exchange-traded funds arbitrage* – ETF arbitrage) (Marshall, Nguyen, & Visaltanachoti, 2013), у којој трговац купује/продаје акције фонда уколико њихова цена не одражава пропорционално раст/пад цена појединачне активе у власништву фонда;
- арбитража волатилности (енг. *volatility arbitrage*) (Javaheri, 2011) има за циљ да искористи разлику у имплицираној волатилности (енг. *implied volatility*) опције и предвиђене стварне волатилности (енг. *realized volatility*) основног инструмента у делта-неутралном портфолију (енг. *delta-neutral portfolio*).

Арбитража догађаја (енг. *event arbitrage*) обухвата групу арбитражних стратегија које имају за циљ да искористе ценовне аномалије произашле из тржишне реакције на расподелу дивиденде (енг. *dividend arbitrage*), припајања (енг. *acquisition arbitrage*), спајања (енг. *merger arbitrage*) итд.

Арбитража заснована на тржишној микроструктури²⁰ (енг. *market microstructure trading*) користи недостатке/привилегије у механици трговања за остваривање добити. Пример је „блиц“ трговање (енг. *flash trading*) (Lewis, 2014), које је засновано на раном приступу тржишним информацијама коришћењем погодности ко-лоцирања (енг. *co-location*). Рани приступ ствара асиметрију омогућавајући привилегованом трговцу предност у односу на остале играче у трајању од неколико десетина милисекунди, што системима за високофреквентно трговање даје сасвим довољно времена да изврше анализу понуде и потражње и донесу купопродајну одлуку.

3.4.2. Маркет мејкинг стратегије

Маркет мејкер (енг. *market maker*) јесте трговац који у сваком тренутку има активне налоге на обе стране тржишта (куповна и продајна страна). Стварајући понуду и потражњу у исто време, он обезбеђује ликвидност на тржишту, зарађујући при томе на разлици између куповне и продајне цене (енг. *bid-ask spread*). Суштину сваке маркет мејкинг стратегије чини алгоритам за ажурирање активних налога који има за циљ да испрати ценовна кретања и омогући маркет мејкеру да остане активан на обе стране тржишта одржавајући оптималан ниво залиха.

²⁰ Тржишном микроструктуром се описује механика трговања на финансијском тржишту.

3.4.3. Шпекулативне стратегије

Шпекулативне стратегије су засноване на антиципацији будућег кретања цена на тржишту. Три су основна типа шпекулативних стратегија:

- стратегије праћења тренда (енг. *trend following strategies*), које управљају трговањем у складу са претпоставком да ће се постојећи тренд наставити и у будућности; оне купују при растућем тренду, а продају када је тренд опадајући (Brock, Lakonishok & LeBaron, 1992; Conrad & Kaul, 1998; Jegadeesh & Titman, 2001; Szakmary, Shen & Sharma, 2010; Fong, Si & Tai, 2012; Szakmary & Lancaster, 2015);
- стратегије преокрета тренда (енг. *trend reversal strategies or contrarian strategies*), које покушавају да „ухвате“ промену тренда, тј. да открију локалне максимуме и минимуме у ценовном кретању (De Bondt, & Thaler, 1985; Conrad & Kaul, 1998; Benou & Richie, 2003; Wu, 2011).
- мешовите стратегије, у којима су правила за трговање тако дефинисана да се ове стратегије не могу јасно подвести у једну од претходне две групе. За дефинисање ових стратегија потребно је велико практично искуство у трговању, које истраживачи често не поседују. Због тога се користе технике које су у могућности да правила за трговање „извуку“ из историјских података (Allen & Karjalainen, 1999; Dempster & Jones, 2001; Kuo, Chen & Hwang, 2001; Evans, Pappas & Xhafa, 2013).

3.4.4. Манипулативне стратегије

Успон алгоритамског трговања, посебно високофреквентног, отворио је простор за развој многих манипулативних стратегија. Неке од њих имају за циљ да преплаве тржиште лажним налозима²¹ како би створиле илузију о промени односа понуде и потражње (енг. *spoofing*), обезбедиле приоритет у извршењу на циљаним ценовним нивоима (енг. *layering*) или да би створиле кашњење у протоку тржишних информација (енг. *quote stuffing*).

Поред претходно наведених стратегија, користе се и стратегије стварања вештачког импулса (енг. *momentum ignition*) које имају за циљ да вештачким путем покрену нови ценовни тренд како би зарадиле на промени цене пре него што тржиште „схвати“ да се ради о лажном сигналу.

3.5. Стратегије за извршење

Као што је то случај код стратегија за трговање, постоји и широк спектар стратегија за извршење. Аутори их најчешће деле у две (Schmidt, 2011) или три велике групе (Johnson, 2010). Циљ свих стратегија је заједнички: извршење задате трговачке одлуке по најповољнијој цени (јер је то циљ трговања). Оно што их разликује јесте приступ решавању овог проблема. Неке стратегије то остварују експлицитно, кроз минимизацију функције трошкова. Друге то раде на имплицитан начин, трудећи се минимизирају утицај извршења на тржиште.²² Оне које то раде

²¹ Лажни налог је налог који се шаље на тржиште без намере да се изврши. Повлачи се убрзо након постављања, пре него што дође до његовог извршења.

²² Тржишни утицај (енг. *market impact*) представља померање цене изазвано извршењем налога за трговање и може се представити као функција од величине налога. Прва истраживања о оптималном извршењу (Kyle, 1985) претпостављала су тржишни утицај као линеарно растућу функцију од извршеног обима (величине налога). Каснија истраживања (Farmer, Gerig, Lillo, & Waelbroeck, 2013; Bacry, Iuga, Lasnier, & Lehalle, 2015) утврдила су

имPLICITНО МОГУ СЕ УПРАВЉАТИ РАЗЛИЧИТИМ КРИТЕРИЈУМИМА (време, обим трговања, ликвидност тржишта итд.). Дакле, стратегије за извршење могу бити вођене трошковима (енг. *cost-driven*) и утицајем који врше на тржиште (енг. *impact-driven*).

У првој групи стратегија, динамика извршења је подређена минимизацији трошкова извршења. Два су приступа најчешћа:

- Први, ризико-неутрални (енг. *risk-neutral*) приступ сагледава трошкове извршења искључиво кроз цену извршења. Проблем минимизације дефинисан је на следећи начин (Bertsimas & Lo, 1998):

$$\min E \left[\sum_{t_0}^t q_i P_i \right], \quad (4)$$

где је q_i количина реализована у тренутку i , а P_i цена постигнута у реализацији налога.

- Други, ризико-аверзиван приступ (енг. *risk-averse*) узима у обзир тзв. мањак имплементације²³ (енг. *implementation shortfall*) – разлику („на папиру“) перцепираних и (у реалности) остварених перформанси. Наиме, посматра се разлика између цене која је актуелна у тренутку када желимо да извршимо одлуку (иницијална цена P_0) и оне која је постигнута извршењем (стварна цена P_i). Проблем оптимизације дефинисан је на следећи начин (Almgren & Chriss, 2001):

$$\min E \left[QP_0 - \sum_{t_0}^t q_i P_i \right], \quad (5)$$

где је Q укупна количина за реализацију. Геон (Guéant, 2015) даје одличан преглед основних праваца истраживања у оквиру овог приступа, покушавајући да уведе општи оквир за оптимално извршење.

Стратегије вођене утицајем имају за циљ да спрече „узбуњивање“ тржишта током извршења одлуке и тако смање ризик од промене тржишне цене. То се постиже прикривањем стварне намере и избором тренутка/локације за извршење, тако што се укупна количина за извршење дели се на већи број налога мање појединачне количине (енг. *order slicing*). Међу познатијим стратегијама за прикривање намера су:

- Стратегија „санте леда“ (енг. *iceberg*) најстарија је и најједноставнија стратегија прикривања намера. Њен алгоритам дели укупну количину за извршење Q на N појединачних извршења (налога) подједнаког обима $q = Q/N$ и унапред задате цене P . Налози се извршавају секвенцијално, без задршке. То ову стратегију чини превише агресивном, због чега се лако открива и има малу ефикасност. Може се унапредити рандомизацијом (енг. *randomization*), тако што би се количина појединачног налога q дефинисала на случајан начин.

да утицај није линеаран већ конкаван, при чему се компонента тренутног утицаја (енг. *instantaneous market impact*) описује степеном функцијом.

²³ Израз „мањак имплементације“ увео је Перолд (Perold, 1988), који је препознао концепт опортунитетних трошкова, проширивши на тај начин уско традиционално сагледавање трошкова.

- Стратегија временски пондерисане просечне цене (енг. *time weighted average price – TWAP*) настала је унапређењем претходне стратегије додавањем компоненте временског управљања (енг. *time-driven*). Она дели укупну количину за извршење Q на N периода извршења, са циљем да у сваком периоду $i=1, \dots, N$ изврши подједнаку количину $q=Q/N$ по цени која је једнака претходно оствареној (од унапред дефинисаног тренутка t_0 до актуелног тренутка $t=t_0+i$) временски пондерисаној просечној цени:

$$TWAP_t = \frac{1}{t-t_0} \sum_{t_0}^t TP_i, \quad (6)$$

где је TP_i типична цена која се израчунава као просек цена на отварању O_i , затварању C_i , најниже L_i и највише постигнуте цене H_i током периода i :

$$TP_i = \frac{O_i + L_i + H_i + C_i}{4}, \quad (7)$$

- Стратегија обимом пондерисане просечне цене (енг. *volume weighted average price; VWAP*) настала је са идејом да исправи недостатак претходне стратегије која не узима у обзир обиме трговања при којим је реализована посматрана цена (што може представљати проблем када је потребно одредити цену извршења веће количине). Ова стратегија дели укупну количину за извршење Q на N временских извршења, са циљем да у сваком периоду i изврши количину $q=Q/N$ по цени која је једнака претходно оствареној обимом пондерисаној просечној цени

$$VWAP_t = \frac{\sum_{t_0}^t V_i P_i}{\sum_{t_0}^t V_i}, \quad (8)$$

где је V_i тржишни обим за период i , а P_i цена по којој је тај обим извршен.

- Стратегија стопе партиципације (енг. *participation rate*) или, како је још називају, стратегија процента обима (енг. *percentage of volume – PoV*) јесте још једна од стратегија управљаних обимом (енг. *volume-driven*). За разлику од претходних стратегија које количину за извршење Q деле на једнаке делове (налоге), ова стратегија динамички подешава количине у појединачним налозима коришћењем стопе партиципације γ и претходно оствареног тржишног обима V_i . Количина у појединачном налогу q_i изводи се на следећи начин:

$$\gamma = \frac{q_i}{V_i + q_i} \Rightarrow q_i = \frac{\gamma}{1-\gamma} \cdot V_i, \quad (9)$$

при чему је $\sum q_i = Q$.

Друга велика група стратегија вођених тржишним утицајем су оне које за циљ имају да изаберу тренутак или локацију у оквиру које је могуће извршити задату количину Q у оквирима доступне ликвидности по што повољнијој цени. Оне се, дакле, воде ликвидношћу тржишта (енг. *liquidity-driven*). Познате стратегије овог типа су:

- Стратегија „све или ништа“ (енг. *all or none*) анализира дубину,²⁴ тј. ликвидност тржишта тражећи моменат за потпуно извршење задате количине Q по цени P . Идеја стратегије је да се избегне делимично извршење налога како се тржиште не би „узбунило“ пре извршења задате количине.
- Стратегије паметног рутирања налога (енг. *smart order routing; SOR*) такође спадају у групу стратегија управљаних ликвидношћу. Оне анализирају ликвидност различитих локација за трговање (енг. *trading venues*) са циљем извршења задате количине по најповољнијој цени у оквирима доступне ликвидности. Укупна количина за извршење Q дели се на N налога, који се извршавају на различитим локацијама. Количине q_i и цене p_i у појединачним налозима $i=1, \dots, N$ изводе се на основу ликвидности трговачких локација.

Најпопуларније стратегије за извршење на америчким тржиштима јесу стратегије мања имплементације, обимом пондерисане просечне цене и стопе партиципације (Morgan, 2013).

3.6. Стратегије за управљање ризиком

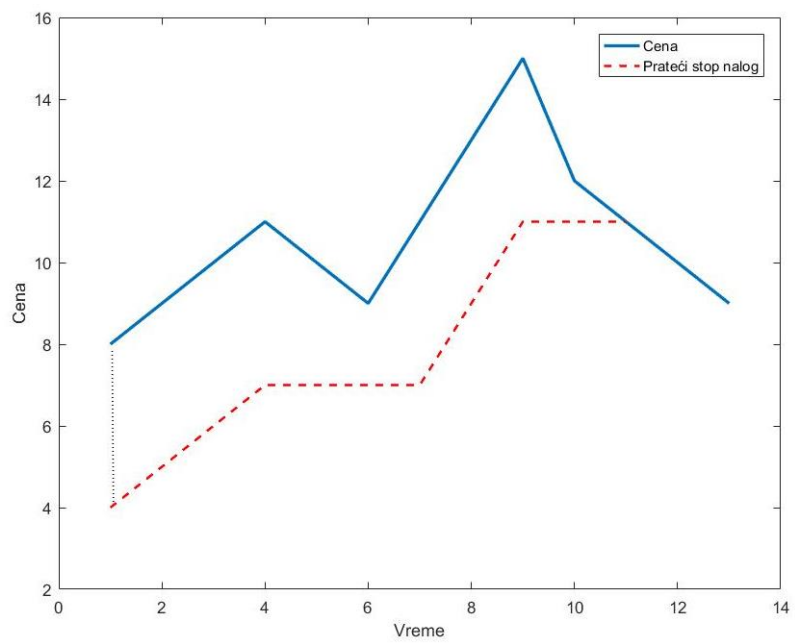
Алгоритамско трговање прате многобројни ризици. Ипак, када се говори о стратегијама за управљање ризицима, превасходно се мисли на управљање тржишним ризицима. Два су основна тржишна ризика са којима се системи за алгоритамско трговање суочавају:

- ризик од неповољних ценовних кретања (погрешна одлука) и
- ризик од нарушавања перформанси стратегије за трговање („застаревање“ стратегије).

Основна стратегија за управљање ризиком трговања јесте стратегија заустављања. Заустављање се врши помоћу стоп налога (енг. *stop order*), који се активира када цена достигне унапред задати ниво с циљем да затвори раније отворену позицију. Два су разлога за заустављање: спречавање даљих губитака отворене позиције (енг. *stop loss*) и реализација остварених добитака (енг. *take profit*). Најчешће, стоп налози се постављају са обе стране отворене позиције како би се успоставио однос ризика и награде (енг. *risk-reward ratio*). Овај однос показује колико је новчаних јединица стратегија спремна да ризикује ради остваривања једне новчане јединице зараде. Када је овај однос једнак јединици (1:1), трговац је неутралан према ризику. У случају када је однос мањи од један (1:2, 1:3 итд.), реч је о ризико-аверзичном трговцу.

Лоша страна успостављања односа ризика и награде јесте у томе што стратегија унапред ограничава потенцијални добитак. То онемогућава систем за трговање да искористи потенцијал добрих и правовремених одлука, као и могућих срећних околности на тржишту. Могуће решење је коришћење пратећег стоп налога (енг. *trailing stop order*). То је у основи стоп налог који има могућност ажурирања нивоа заустављања тако да прати максимални ниво остварене зараде (Слика 3.2). Тако, овај налог не само да штити позицију од неочекиваних губитака, већ у исто време максимизује остварени добитак не ограничавајући га.

²⁴ Дубина тржишта је одређена структуром активних налога на тржишту у одређеном тренутку.



Слика 3.2: Пратећи стоп налог

4. ФАЗИ ЛОГИКА И ИНТЕРПОЛАТИВНА БУЛОВА АЛГЕБРА

У оквиру ове главе рада изложени су основни теоријски концепти фази логике и интерполативне Булове алгебре. Највећи део (Поглавље 4.5) посвећен је детаљном приказу теорије интерполативне Булове алгебре – основног математичког апарата коришћеног за развој интерполативног Буловог приступа фази моделовању, анализи података и управљању. Пре тога, дат је основни приказ општих појмова из Булове алгебре (Поглавље 4.3) и фази логике (Поглавље 4.4). Посебна пажња посвећена је проблему неконзистентности класичног фази приступа (Поглавље 4.4.1). Неопходан елемент за разумевање овог проблема јесте познавање основних закона мишљења (Поглавље 4.1). Коначно, приказани су основни типови фази система (Поглавље 4.4.2).

4.1. Основни закони мишљења

Увођење логике у научну мисао човечанства не може се приписати једној особи, али се може рећи да су је стари Грци први сагледали систематски као науку. Аристотел је надмашио све дотадашње античке филозофе, први обухватио све елементарне облике мишљења и дефинисао основне принципе, због чега се често управо он наводи као отац логике.²⁵ Следе три основна принципа, односно закона мишљења:

1. принцип контрадикције (лат. *principium contradictionis*; енг. *law of contradiction*), који каже да ништа не може бити и не бити у исто време (енг. *nothing can both be and not be*), односно

$$\neg(p \wedge \neg p); \quad (10)$$

2. принцип искључења трећег (лат. *principium exclusi tertii sine medi*; енг. *law of excluded middle*), који каже да све мора бити или не бити (енг. *everything must either be or not be*), односно

$$\neg p \vee p; \quad (11)$$

3. принцип идентитета (лат. *principium identitatis*; енг. *law of identity*), који каже да све што јесте, оно јесте (енг. *whatever is, is*), односно

$$p = p. \quad (12)$$

4.2. Принцип истинитосне функционалности

Стари Грци су логику посматрали као науку о сазнавању истине, бавећи се највише формалном коректношћу закључивања и доказивањем истинитости. Одатле је и настао принцип истинитосне функционалности, који ће у XIX веку уобличити немачки логичар Фреге (нем. *Frege*) у оно што данас можемо назвати истинитосно-функционалном логиком (енг. *truth-functional logic*). Логика је истинитосно функционална ако истинитосна вредност сложеног исказа зависи само од истинитосних вредности саставних исказа, а не од њиховог значења или

²⁵ Аристотелови текстови на тему логике интегрисани су у сабрано дело под називом Органон (грч. *Ὀργανον*), у преводу инструмент или оруђе. Органон представља колекцију следећих списа: Категорије (лат. *Categoriae*), О интерпретацијама (лат. *De Interpretatione*), Претходна анализа (лат. *Analytica Priora*), Накнадна анализа (лат. *Analytica Posteriora*), Теме (лат. *Topica*) и Софистичка оповргавања (лат. *De Sophisticis Elenchis*).

структуре. Централни елемент овог принципа је концепт истинитосне вредности (енг. *truth value*) који, као специјални тип објекта, има две вредности: истину (енг. *truth*) и неистину/лаж (енг. *false*). Традиционални закони мишљења, тумачени са становишта истинитосне функционалности, дају следећу интерпретацију:

1. исказ не може бити у исто време истинит и неистинит (закон контрадикције) и
2. исказ мора бити истинит или неистинит (закон искључења трећег).

4.3. Булова алгебра

XIX век представља почетак развоја симболичке логике, а најзначајнији међу њеним зачетницима био је британски математичар Џорџ Бул (енг. *George Boole*). Булове књиге *Математичка анализа логике* (енг. *The mathematical analysis of logic*) и *Истраживање закона мишљења* (енг. *An Investigation of the Laws of Thought on Which are Founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities*) систематизовале су Аристотелово знање и створиле математички апарат логике – Булову алгебру. За разлику од Фрегеа, који је сматрао да логика треба да изгради сопствени неалгебарски језик (појмовно писмо),²⁶ Бул је веровао да логика треба да постане део алгебре.

Булова алгебра (БА) јесте било који скуп елемената над којим су дефинисане једна унарна и две бинарне операције, које задовољавају Булове аксиоме. Дефинисањем унарне операције негације (\neg) и бинарних операција конјункције (\wedge) и дисјункције (\vee) над парцијално уређеном скупу коначног броја елемената Ω добијамо Булову алгебру

$$BA = (\Omega, \wedge, \vee, \neg). \quad (13)$$

Основни математички оквир за дефинисање БА чине Булови аксиоми (комутативност, асоцијативност, дистрибутивност, апсорпција и комплементарност). Булова алгебра/логика је бинарна: тачно или нетачно, припада или не припада, у релацији је или није у релацији итд. Као таква, она није адекватан математички апарат за описивање реалних појава које захтевају увођење градације.

4.4. Фази логика

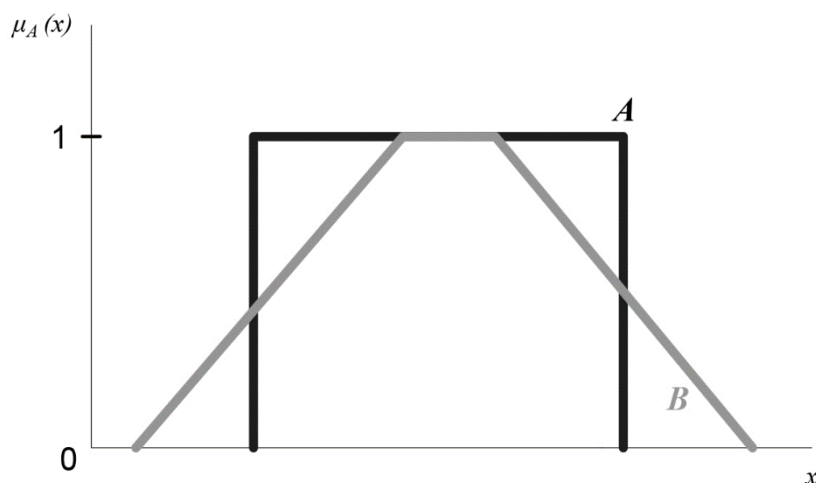
Велики искорак у развоју логике направио је Лотфи Заде (енг. *Lotfi Zadeh*), професор Универзитета Калифорније у Берклију. Заде је у свом чувеном раду *Фази скупови* (Zadeh, 1965) предложио теорију скупова засновану на концепту парцијалне припадности (енг. *partial membership*). Према наведеном концепту, припадност елемента неком скупу не мора бити бинарна (нпр. елемент или припада или не припада неком скупу) већ постаје питање степена у реалновредносном интервалу $[0, 1]$, који је Заде описао помоћу функције припадности (енг. *membership function*). Идеја градације припадности за Задеа (Singh et al., 2013) представља „прожимајући аспект стварности – не постојање оштрих граница између класа“.

Фази скуп A се дефинише функцијом припадности μ_A на следећи начин (Ross, 2010):

$$\mu_A(x) \in [0, 1], \quad (14)$$

²⁶ За Фрегеа, појмовно писмо је језик направљен по узору на аритметички језик, али сам није аритметички већ логички језик.

$\mu_A(x)$ указује на степен припадности елемента x посматраном фази скупу A . На Слици 4.1 приказана је разлика између класичног и фази скупа.



Слика 4.1: Класичан и фази скуп

Предложени концепт био је револуционаран. Створио је мост између природног језика и формалних модела, омогућивши моделовање неизвесности која није стохастичке природе (Zimmermann, 2010).

Применом фази скупова над БА, Заде је покушао да уопшти класичну (Булову) логику у реалновредносну на јединичном интервалу. Тако је створена фази логика (енг. *fuzzy logic*) – моћан математички апарат који је у стању да прецизније опише, односно моделује реалне феномене које карактерише неизвесност (енг. *uncertainty*) насталу као последица непрецизности (енг. *imprecision*), двосмислености (енг. *ambiguity*), неодређености (енг. *vagueness*) и/или субјективности (енг. *subjectivity*). Иако значење појма *фази* указује на нејасно, мутно и слично, фази логика нам је омогућила финији и прецизнији поглед на дотадашњи црно-бели логички свет. Стога Заде и каже да фази логика у ширем смислу није фази, већ прецизна логика непрецизности и приближног резонувања (Zadeh, 2008).

У фази логици, операција конјункције (енг. *conjunction*), тј. логичко „и“ (енг. *AND*) реализује се коришћењем троугаоне норме или краће T -норме (енг. *triangular norm or T-norm*). Троугаона норма је бинарни оператор T на јединичном интервалу $[0,1]$ и задовољава аксиоме комутативности, асоцијативности, монотоности и има 1 као неутрални елемент (Klement, Mesiar, & Pap, 2000).

Заде је у својим првим радовима користио функцију минимума као оператор T -норме. Данас се под основним операторима T -норме сматрају следеће функције (Најек, 1998; Klement et al., 2000):

- минимум

$$T(x, y) = \min(x, y), \quad (15)$$

- производ

$$T(x, y) = x \cdot y, \quad (16)$$

- Лукашијевичева T -норма

$$T(x, y) = \max(x + y - 1, 0). \quad (17)$$

Операција дисјункције (енг. *disjunction*), тј. логичко „или“ (енг. *OR*), у фази логици се реализује коришћењем троугаоне конорме, скраћено T -конорма или S -норма (енг. *triangular conorm or t-norm or s-norm*). Троугаона конорма је дуал троугаоне норме. То је бинарни оператор S који задовољава аксиоме T -норме, при чему је неутрални елемент код S -норме 0 уместо 1 (Klement et al., 2000):

Дефинисањем оператора T -норме једнозначно је дефинисан и оператор S -норме. Следеће функције представљају основне операторе S -норме:

- максимум

$$S(x, y) = \max(x, y), \quad (18)$$

- вероватносна сума

$$S(x, y) = x + y - x \cdot y, \quad (19)$$

- ограничена сума

$$S(x, y) = \min(x + y, 1). \quad (20)$$

Операција негације реализује се унарним оператором, који задовољава аксиом нерастуће функције $N(x) \leq N(y)$, када је $y \leq x$ и аксиом $N(0) = 1$, $N(1) = 0$ (Klement et al., 2000).

Најчешће коришћени и најважнији оператор негације је стандардни оператор негације

$$N(x) = 1 - x. \quad (21)$$

4.4.1. Проблем неконзистентности

Иако је успела да у логику уведе реалновредносну градацију, фази логика није успела да задовољи Аристотелове законе мишљења дефинисане Буловим аксиомима. Другим речима, она је изашла из Буловог логичког оквира. Следе примери који доказују ову неконзистентност.

Претпоставимо да неки објекат поседује особину a са интензитетом $\mu_a = 0,7$. То значи да исти објекат не поседује особину a са интензитетом $\mu_{\bar{a}} = 1 - \mu_a = 0,3$. Основни закони мишљења (закон контрадикције и закон искључења трећег) налажу да поседовање и непоседовање исте особине немају ништа заједничко (празан скуп) и да, у исто време, заједно чине логички универзум (потпун скуп). Другим речима, требало би да важи следеће:

$$\mu_a \wedge \mu_{\bar{a}} = 0 \quad \text{и} \quad \mu_a \vee \mu_{\bar{a}} = 1. \quad (22)$$

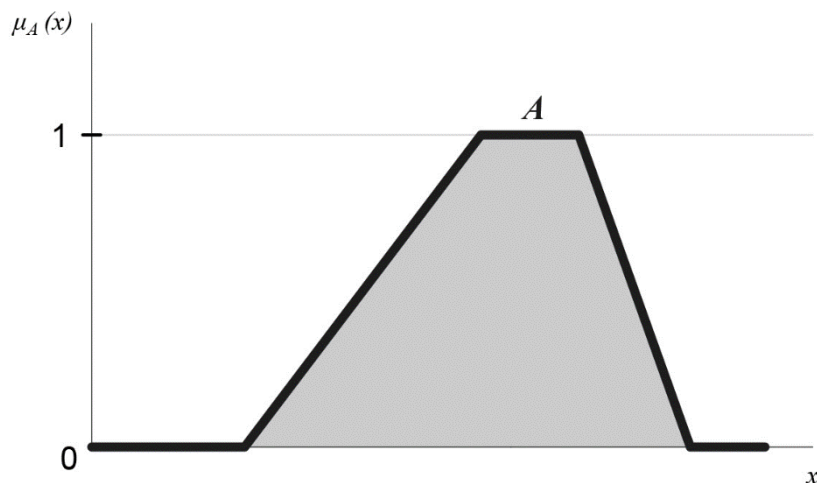
Ипак, математички апарат фази логики за наведени пример даје следеће резултате:

$$\begin{aligned} \mu_a \wedge \mu_{\bar{a}} &= \min(\mu_a, \mu_{\bar{a}}) \\ &= \min((0,7), (0,3)) \\ &= 0,3 \end{aligned} \quad (23)$$

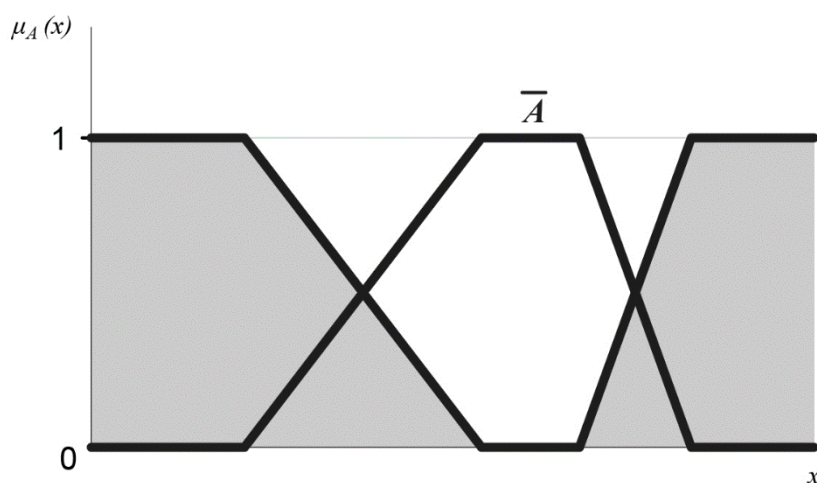
и

$$\begin{aligned}
 \mu_a \vee \mu_a^- &= \max(\mu_a, \mu_a^-) \\
 &= \max((0,7), (0,3)) \\
 &= 0,7.
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

Проблем се још јасније уочава када се уместо појединачних вредности закони примене на целе фази скупове. Претпоставимо произвољни фази скуп A (Слика 4.2) и њему комплементаран скуп \bar{A} (Слика 4.3).

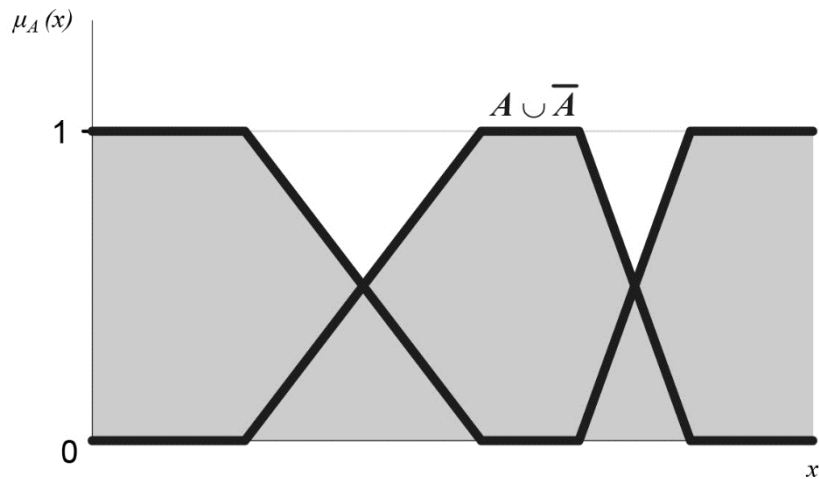


Слика 4.2: Скуп A

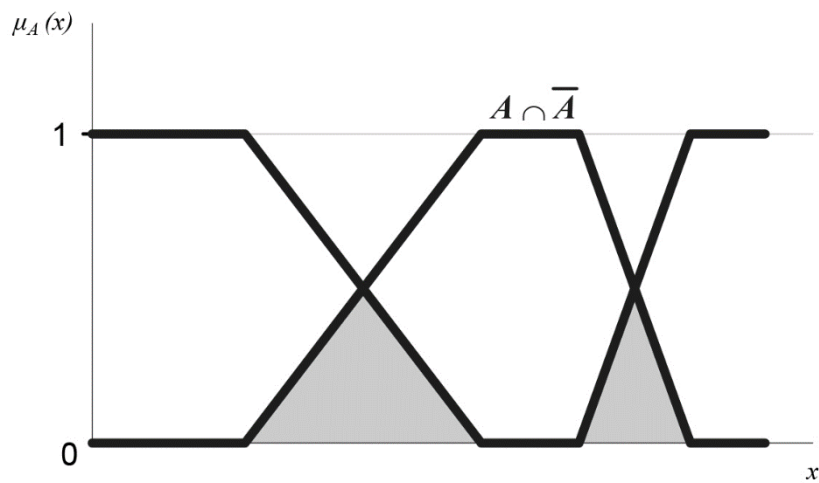


Слика 4.3: Комплемент скупа A

Применом оператора уније (Слика 4.4) и пресека (Слика 4.5) над скуповима A и \bar{A} долазимо резултата који противурече основним законима мишљења.

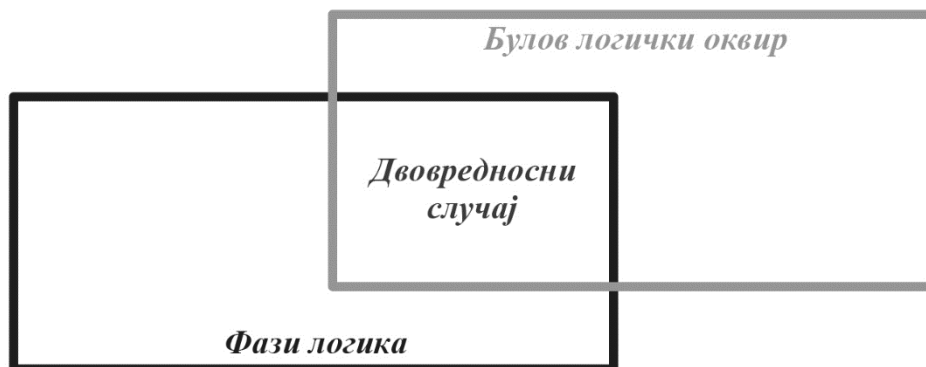


Слика 4.4: Унија скупа A и његовог комплемента



Слика 4.5: Пресек скупа A и његовог комплемента

Дакле, фази логика излази из Буловог логичког оквира (Слика 4.6). Другим речима, примена фази скупова над Буловом алгебром не води конзистентној генерализацији исте. У том контексту је и Заде (Zadeh, 2008) дефинисао свој поглед на фази логику рекавши да „фази логика није фази него прецизна логика градиације у којој не важи принцип искључења трећег“.



Слика 4.6: Фази логика и Булов логички оквир

Иако неконзистентна, с аспекта Буловог логичког оквира, фази логика је доживела масовну примену како у науци тако и у индустрији. Ово је последица, пре свега, њене могућности да на једноставан начин преведе природни језик у формални модел.

У поређењу са класичним приступом, фази логика користи више информација прикупљених од доменских експерата, а мање се ослања на математичко моделовање самог система (Chen & Pham, 2000). То се, уз могућност градације, сматра највећом предношћу фази логике. Дескриптивност фази приступа представља разлог за покушаје да се фази теорија додатно уопшти, као што су фази логика типа-2 (Karnik, Mendel, & Liang, 1999) и интуиционистичка фази логика (Atanassov, 2012).

4.4.2. Фази системи

Под појмом *фази систем* најчешће се подразумева фази контролер (енг. *fuzzy controller*), који се још назива и фази систем закључивања (енг. *fuzzy inference system*).²⁷ Фази контролер је систем који користи фази скупове и логичка ако-онда правила закључивања (енг. *if-then rules*) за моделовање сложених система на основу експертског знања.

Лингвистичке варијабле које се користе у природном језику на једноставан начин се описују фази скуповима. Број и облик фази скупова зависе од жељеног нивоа детаљности модела, али и од перспективе експерта.

Ако-онда правила су уобичајени начин за представљање људског знања помоћу природног језика. Општа форма таквог једног правила јесте:

ако премиса (претпоставка, услов), **онда** закључак (последица).

Оваква форма је дедуктивна – довољна да изрази „плитко знање“²⁸ (Ross, 2010).

У зависности од модела фази закључивања, типови фази контролера су: Мамдани тип (енг. *Mamdani type*), Такаги–Сугено или Такаги–Сугено–Канг тип (енг. *Takagi–Sugeno–Kang type*) и Цукамото тип (енг. *Tsukamoto type*).

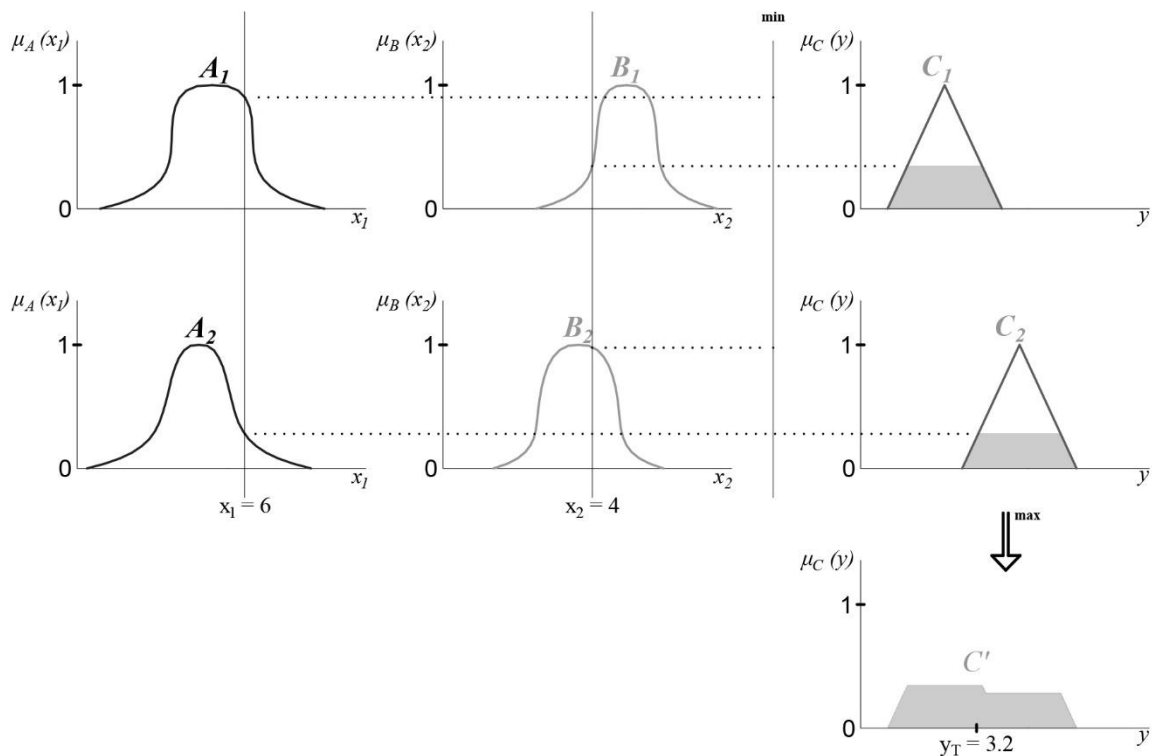
Слика 4.7 описује начин функционисања фази контролера Мамдани типа (Mamdani & Assilian, 1975). Мамдани модел процеса фази закључивања (енг. *fuzzy inference process*) обухвата следеће фазе:

1. фазификација – трансформација улазних променљивих помоћу фази скупова (функција припадности) у вредности (припадности) из јединичног интервала $[0,1]$;
2. агрегација добијених вредности припадности помоћу ако-онда правила;
3. импликација премисе у последицу, односно активација последице, која се врши на нивоу сваког појединчаног правила;
4. агрегација појединачних последица у решење;

²⁷ Појам *фази контролера* чешће се користи у теорији управљања, док се *фази систем закључивања* чешће користи у теорији одлучивања.

²⁸ Појам *плитко знање* везује се за знање до којег се долази дедукцијом – закључивањем о специфичном из општег. Супротно од дедуктивног је индуктивно закључивање, које користи специфично како би донело закључке о општем. Индуктивним се долази до „дубљих форми знања“, које су повезане са интуицијом, структуром, функцијом и понашањем објеката који се не могу свести на лингвистичке изразе (Ross, 2010).

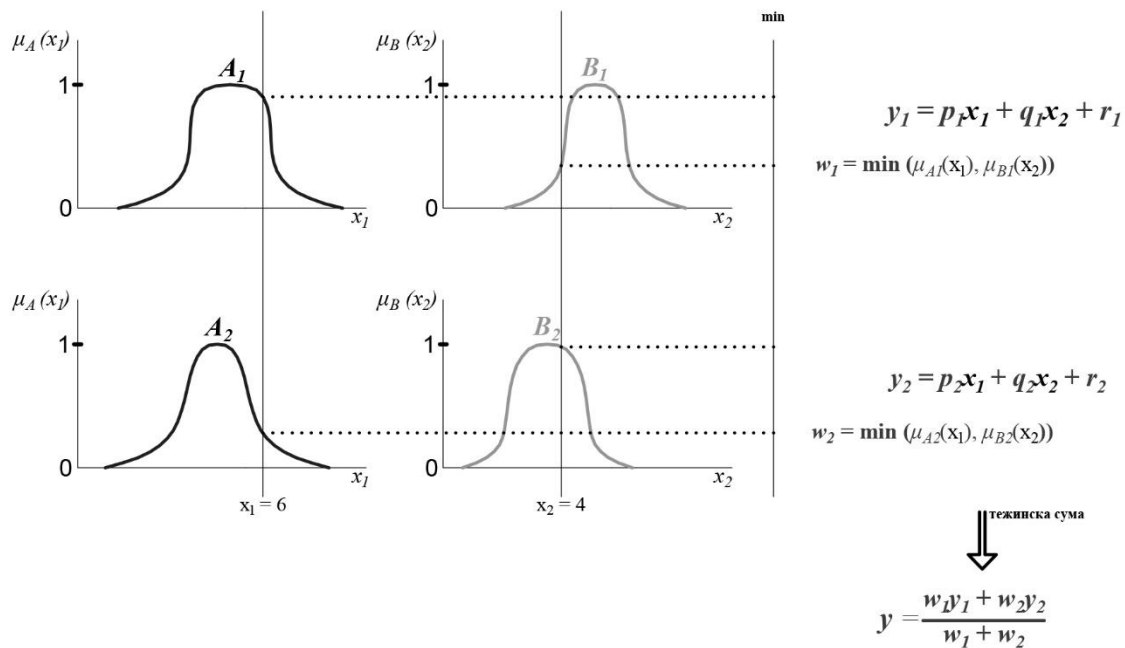
5. дефазификација добијеног решења у јединствену излазну вредност (синглтон).



Слика 4.7: Мамдани модел процеса фази закључивања

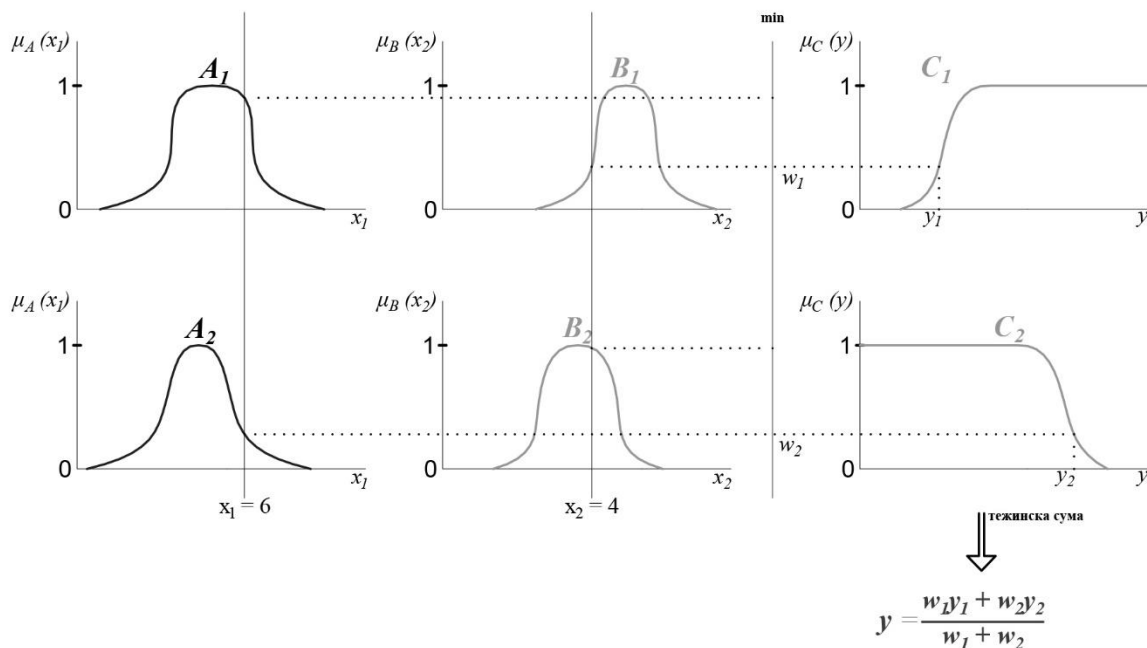
Контролери типа Мамдани су интуитивни – блискији људској логици. Одликује их висок ниво интерпретабилности, па се чешће користе у пракси за конструкцију фази експертских система. Такаги–Сугено тип контролер (Sugeno, 1985; Takagi & Sugeno, 1985) је рачунарски ефикаснији и погоднији за примену техника машинског учења за обучавање контролера. Он је у премиси идентичан Мамданијевом типу, разлика настаје у последичном делу правила закључивања (Слика 4.8). Излазна варијабла у Такаги-Сугено моделу процеса фази закључивања израчунава као тежинска сума активираних последица (излазних вредности сваког од правила). Фаза дефазификације (фаза 5) интегрисана је у фазу агрегације појединачних последица (фаза 4), при чему тежинска сума обезбеђује реверзибилност процеса која је неопходна за примену неког алгорита учења.

Коначно, Цукамото тип контролера комбинује карактеристике претходна два типа (Слика 4.9). Излазне варијабле у Цукамото моделу описане су монотоним фази скуповима (Lee, 1990), па се њиховим пресецањем добија јединствена вредност (за разлику од Мамдани типа контролера). Добијене вредности агрегишу се коришћењем отежане суме, као што је то случај у Такаги–Сугено моделу. Цукамотов тип контролера је, такође, рачунарски ефикасан и погодан за примену техника машинског учења за обучавање контролера. Он је уједно интуитивнији од Такаги–Сугено типа, јер се импликација премисе у последицу и њена дефазификација врше на начин близак људској логици.



Слика 4.8: Такаги–Сугено модел процеса фази закључивања

Један фази контролер најчешће укључује више од једног правила закључивања. Број правила директно зависи од броја улазних променљивих и броја фази скупова којима су те улазне променљиве описане. За случај фази контролера са n улазних променљивих, при чему је свака описана са m фази скупова, максималан број правила износи n^m . Управо је ово слабост фази система – број правила експоненцијално расте са сваком додатном улазном променљивом или фази скупом.



Слика 4.9: Цукамото модел процеса фази закључивања

Фази контролери су универзални апроксиматори (Buckley, 1993; Kosko, 1994). Ипак, њихова успешност произлази из још једне њихове карактеристике – способни су да моделују

понашање сложених система што аналитичке функције нису у стању. Рос (Ross, 2010) даје добар пример, сценарио у коме контролер треба да извуче авион из вертикалног понирања. Конвенционални контролер није у стању да реши овај изузетно нелинеаран проблем. Са друге стране, фази систем је у стању да, користећи не сасвим прецизан приступ, извуче авион из понирања и потом га преда класичном, линеарном, високопрецизном контролеру на даље управљање.

4.5. Интерполативна Булова алгебра

Интерполативна Булова алгебра (енг. *interpolative Boolean algebra* – ИБА) јесте конзистентна реалновредносна генерализација БА на јединичном интервалу. Другим речима, ИБА задовољава све Булове аксиоме и теореме за све реалне вредности из јединичног интервала.

ИБА је настала као одговор на проблем неконзистентности фази логике (Поглавље 4.4.1). Теорију ИБА је увео др Драган Радојевић (Radojević, 2000) из Института Михајло Пупин. Схвативши да БА не представља потпуну математичку подлогу за развој конзистентне генерализације класичне (Булове) логике, Радојевић ју је проширио раздвојивши вредност од структуре. Верујући да принцип истинитосне функционалности не спада у основне принципе логике, Радојевић (Radojević, 2008b) је увео принцип структурне функционалности као основни принцип ИБА. Касније је показао да је ИБА математички апарат који може решити проблем неконзистентности у теорији фази логике (Radojević, 2008b), тј. „вратити је“ у Булов логички оквир.

4.5.1. Примарни и атомски елементи

Примарни елементи (енг. *primary elements*) јесу елементи скупа $\Omega = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ над којима се дефинише БА. У оквиру ове дисертације, као примарне елементе третираћемо атрибуте (особине) анализираних објеката. На основу скупа примарних елемената кардиналности $|\Omega| = n$ генерише се БА кардиналности $|BA(\Omega)| = 2^{2^{|\Omega|}} = 2^{2^n}$.

На пример, над скупом примарних елемената $\Omega = \{a_1, a_2\}$ кардиналности $|\Omega| = 2$ могуће је генерисати БА са $2^{2^2} = 16$ елемената. Елементи БА су све логичке функције $\varphi(a_1, a_2)$ које се могу формирати над атрибутима a_1 и a_2 . Тако генерисана БА се може представити Хасеовим дијаграмом (Слика 4.10), који приказује релацију укључености између елемената БА. На пример, елемент a_1 у себе укључује елементе $a_1 \wedge a_2$ и $a_1 \wedge \neg a_2$.

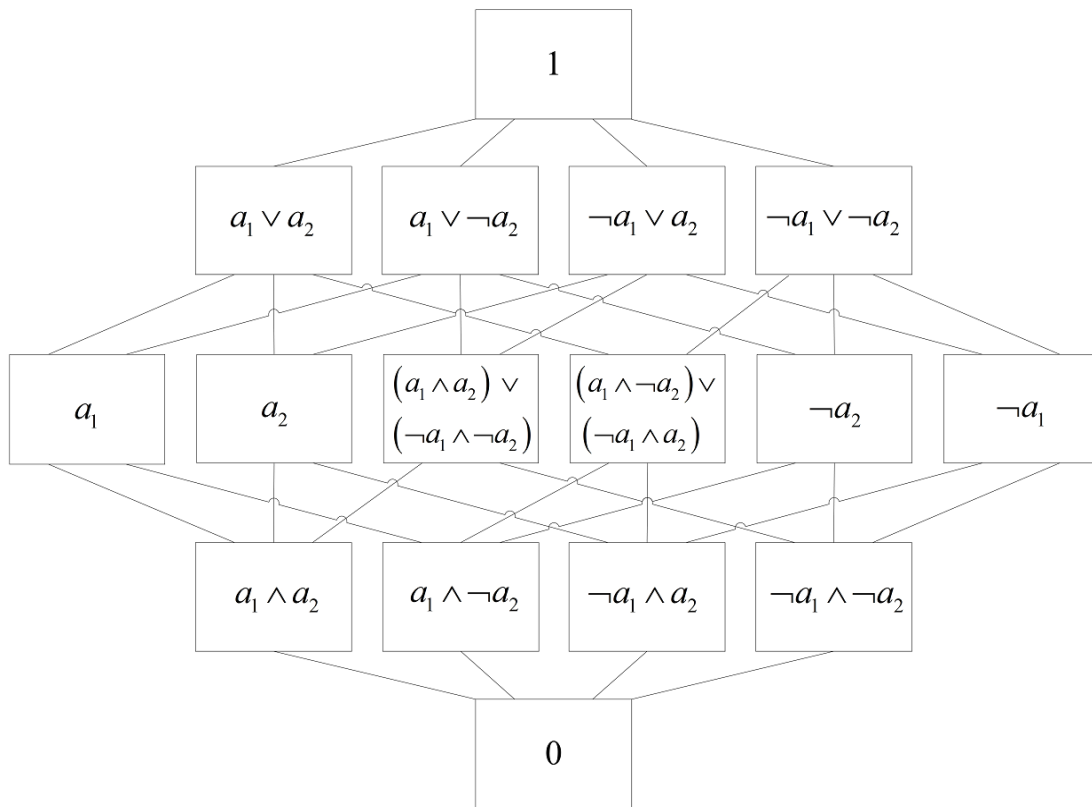
Атомски елементи или атоми (енг. *atomic elements or atoms*) $\alpha(S)(a_1, \dots, a_n)$ јесу они елементи БА који у себе не укључују ниједан други елемент БА осим логичке нуле „0“ (Radojević, 2008a):

$$\alpha(S)(a_1, \dots, a_n) = \bigwedge_{a_i \in \Omega} \pi_S(a_i), \quad (25)$$

$$\pi_S(a_i) = \begin{cases} a_i, & a_i \in S \\ \neg a_i, & a_i \notin S \end{cases}, \quad (26)$$

где је $S \in P(\Omega)$, а $P(\Omega)$ партитивни скуп од скупа примарних елемената Ω . Унија атомских елемената је потпун скуп (јединица Булове алгебре или логички универзум). Пресек атомских

елемената је празан скуп (нула Булове алгебре), одакле следи да су атомски елементи међусобно дисјунктни елементи.



Слика 4.10: Хасеов дијаграм БА генерисане над два примарна елемента

Универзум атомских елемената $U_\alpha(\Omega)$ јесте скуп свих атомских елемената који се могу генерисати на основу задатог скупа примарних елемената Ω (Radojević, 2008a):

$$U_\alpha(\Omega) = \{ \alpha(S)(a_1, \dots, a_n) \mid S \in P(\Omega), a_i \in P(\Omega) \}. \quad (27)$$

Кардиналност универзума атомских елемената износи $2^{|\Omega|} = 2^n$. У конкретном случају представљеном на Слици 4.10, за БА дефинисану над скупом примарних елемената $\Omega = \{a_1, a_2\}$, универзум атомских елемената је:

$$U_\alpha(\Omega) = \{ (a_1 \wedge a_2), (a_1 \wedge \neg a_2), (\neg a_1 \wedge a_2), (\neg a_1 \wedge \neg a_2) \}. \quad (28)$$

ИБА је атомска алгебра, што значи да атомски елементи, тј. атоми имају фундаменталну улогу (Radojević, 2008a). Управо они представљају основ за увођење концепта структуре у БА, чиме се она проширује у ИБА.

4.5.2. Раздвајање структуре од вредности

ИБА има два нивоа: симболички (енг. *symbolic level*) и вредносни (енг. *value level*) (Radojević, 2008a). На симболичком нивоу ИБА је идентична БА и вредносно је индиферентна (елементи се посматрају независно од њихове вредности). Сви Булови аксиоми су задовољени на овом нивоу. У оквиру симболичког нивоа, сваком елементу ИБА (логичкој функцији) додељује се структура заснована на релацијама укључености атомских елемената у исти. Структура

елемента се потом преноси на вредносни ниво, где се рачуна његова вредност. Вредност елемента ИБА се добија суперпозицијом вредности атомских елемената укључених у њега. Дакле, структура је веза између симболичког и вредносног нивоа. Она омогућава да се сви Булови аксиоми сачувају и на вредносном нивоу.

4.5.3. Принцип структурне функционалности

Цитирајући Булове речи из чувеног рада *The Calculus of Logic*:

„ ...the symbols of the (logic) calculus do not depend for their interpretation upon the idea of quality... “

„ ...in their application... conduct us to the quantitative conditions of inference... “,

Радојевић (Radojević, 2008b) указује на то да принцип истинитосне функционалности не спада у основне принципе логике и да не треба да представља основ за генерализацију класичног случаја.

У ИБА важи принцип структурне функционалности (енг. *principle of structural functionality*), који каже да се структура сваког елемента ИБА може (директно) израчунати на основу структуре његових компоненти. За Радојевића (Radojević, 2008a), принцип структурне функционалности представља основни принцип.

4.5.4. Симболички ниво

На симболичком нивоу елементи ИБА (логичке функције) посматрају се кроз њихову структуру, независно од њихових вредности.

Структура било које логичке функције $\varphi(a_1, \dots, a_n) \in BA(\Omega)$ формира се на основу скупа атомских елемената $\sigma(\varphi)$ које функција $\varphi(a_1, \dots, a_n)$ укључује у себе. Две логичке функције су исте ако на нивоу структуре у себе укључују исте атоме. У Табели 4.1 дат је пример структура свих логичких функција из примера са Сликe 4.10.

Табела 4.1: Структура ИБА елемената генерисаних над два примарна елемента

| | $\varphi(a_1, a_2)$ | $\sigma(\varphi)$ |
|-----|--|--|
| 1. | 0 | \emptyset |
| 2. | $a_1 \wedge a_2$ | $\{(a_1 \wedge a_2)\}$ |
| 3. | $a_1 \wedge \neg a_2$ | $\{(a_1 \wedge \neg a_2)\}$ |
| 4. | $\neg a_1 \wedge a_2$ | $\{(\neg a_1 \wedge a_2)\}$ |
| 5. | $\neg a_1 \wedge \neg a_2$ | $\{(\neg a_1 \wedge \neg a_2)\}$ |
| 6. | a_1 | $\{(a_1 \wedge a_2), (a_1 \wedge \neg a_2)\}$ |
| 7. | a_2 | $\{(a_1 \wedge a_2), (\neg a_1 \wedge a_2)\}$ |
| 8. | $(a_1 \wedge a_2) \vee (\neg a_1 \wedge \neg a_2)$ | $\{(a_1 \wedge a_2), (\neg a_1 \wedge \neg a_2)\}$ |
| 9. | $(a_1 \wedge \neg a_2) \vee (\neg a_1 \wedge a_2)$ | $\{(a_1 \wedge \neg a_2), (\neg a_1 \wedge a_2)\}$ |
| 10. | $\neg a_2$ | $\{(a_1 \wedge \neg a_2), (\neg a_1 \wedge \neg a_2)\}$ |
| 11. | $\neg a_1$ | $\{(\neg a_1 \wedge a_2), (\neg a_1 \wedge \neg a_2)\}$ |
| 12. | $a_1 \vee a_2$ | $\{(a_1 \wedge a_2), (a_1 \wedge \neg a_2), (\neg a_1 \wedge a_2)\}$ |

| | | |
|-----|--------------------------|--|
| 13. | $a_1 \vee \neg a_2$ | $\{(a_1 \wedge a_2), (a_1 \wedge \neg a_2), (\neg a_1 \wedge \neg a_2)\}$ |
| 14. | $\neg a_1 \vee a_2$ | $\{(a_1 \wedge a_2), (\neg a_1 \wedge a_2), (\neg a_1 \wedge \neg a_2)\}$ |
| 15. | $\neg a_1 \vee \neg a_2$ | $\{(a_1 \wedge \neg a_2), (\neg a_1 \wedge a_2), (\neg a_1 \wedge \neg a_2)\}$ |
| 16. | 1 | $\{(a_1 \wedge a_2), (a_1 \wedge \neg a_2), (\neg a_1 \wedge a_2), (\neg a_1 \wedge \neg a_2)\}$ |

Структура логичке функције $\varphi(a_1, \dots, a_n) \in BA(\Omega)$ представља се структурним вектором. Структурни вектор $\overrightarrow{\sigma_\varphi}$ логичке функције φ је бинарни вектор величине 1×2^n који показује укљученост атомских елемената $\alpha(S)(a_1, \dots, a_n)$ у $\varphi(a_1, \dots, a_n)$ (Radojević, 2008b):

$$\overrightarrow{\sigma_\varphi} = [\sigma_\varphi(S) \mid S \in P(\Omega)], \quad (29)$$

где је $\sigma_\varphi(S)$ структурна функција (енг. *structural function*) која показује укљученост конкретног атомског елемента

$$\sigma_\varphi(S) = \begin{cases} 1, & \alpha_i(S)(a_1, \dots, a_n) \subset \varphi(a_1, \dots, a_n) \\ 0, & \alpha_i(S)(a_1, \dots, a_n) \not\subset \varphi(a_1, \dots, a_n) \end{cases}, \quad S \in P(\Omega), \quad a_i \in \Omega. \quad (30)$$

Свака логичка функција $\varphi(a_1, \dots, a_n)$ може се представити у виду дисјунктивне каноничке форме оних атомских елемената чија структурна функција има вредност један:

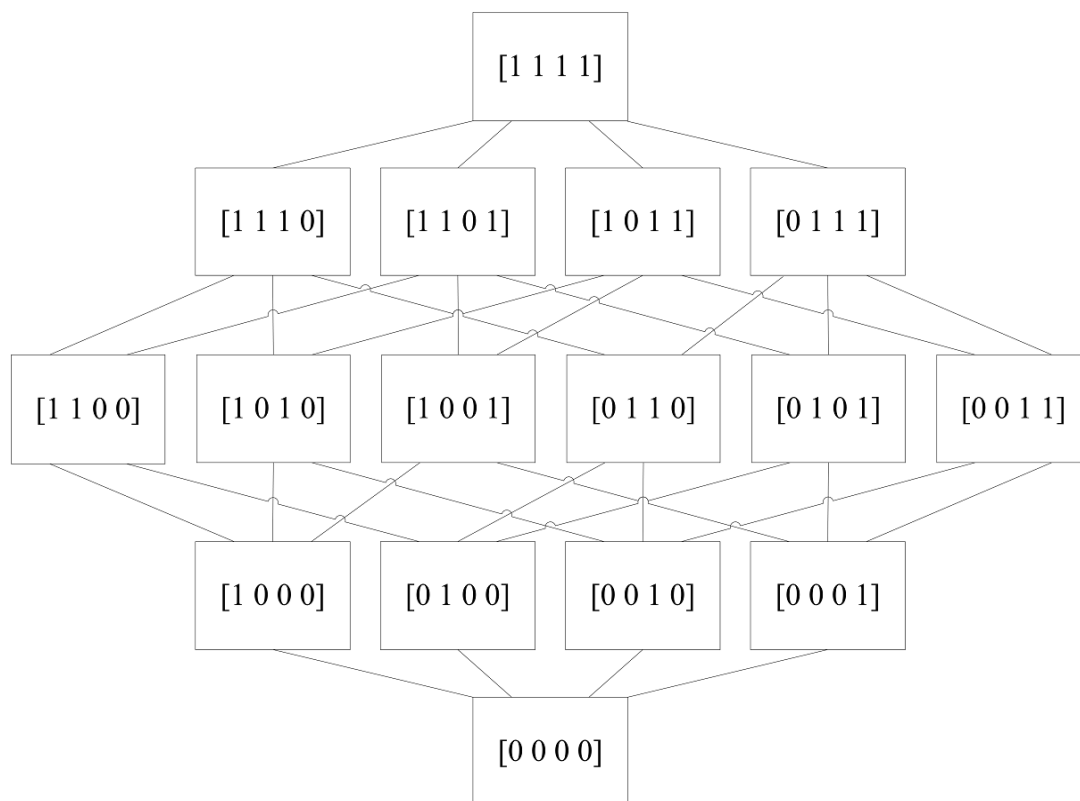
$$\varphi(a_1, \dots, a_n) = \bigvee_{S \in P(\Omega) \mid \sigma_\varphi(S)=1} \alpha(S)(a_1, \dots, a_n). \quad (31)$$

На Слици 4.11 приказани су одговарајући структурни вектори за елементе БА из примера са Слике 4.10. Структурни вектори нам омогућавају да сваку логичку функцију представимо као производ структурног вектора и вектора атомских елемената:

$$\varphi(a_1, \dots, a_n) = \overrightarrow{\sigma_\varphi} \cdot \begin{bmatrix} \alpha_1(S)(a_1, \dots, a_n) \\ \vdots \\ \alpha_N(S)(a_1, \dots, a_n) \end{bmatrix}, \quad \text{где је } N = 2^n. \quad (32)$$

Према принципу структурне функционалности, структуру логичке функције одређујемо на основу структура њених компоненти и следећих правила трансформације (Radojević, 2008b):

$$\begin{aligned} \sigma_{\varphi \wedge \psi}(S) &= \sigma_\varphi(S) \wedge \sigma_\psi(S), \\ \sigma_{\varphi \vee \psi}(S) &= \sigma_\varphi(S) \vee \sigma_\psi(S), \\ \sigma_{\neg \varphi}(S) &= \neg \sigma_\varphi(S). \end{aligned} \quad (33)$$



Слика 4.11: Хасеов дијаграм структурних вектора елемената ИБА генерисаних над скупом примарних елемената $\Omega = \{a_1, a_2\}$

Након што је структура логичке функције утврђена, она се преноси на вредносни ниво. Структура је идентична БА, што значи да је конзистентна Буловом логичком оквиру. Преношењем са симболичког на вредносни ниво ИБА, структура је у стању да очува све Булове аксиоме и на вредносном нивоу.

4.5.5. Вредносни ниво

На вредносном нивоу израчунава се нумеричка вредност или интензитет сваког елемента ИБА. За разлику од елемената БА који имају бинарну реализацију $\{0,1\}$, елементи ИБА имају реалновредносну реализацију $[0,1]$. Израчунавање интензитета елемента ИБА захтева његову трансформацију из логичког облика у (алгебарски) облик погодан за рачунање. Ова трансформација се врши помоћу генерализованих Булових полинома.

Генерализовани Булов полином (енг. *generalized Boolean polynomial*; ГБП) јесте израз у којем су променљиве примарни елементи ИБА, над којима се примењују оператори сабирања $+$, одузимања $-$ и генерализованог производа \otimes (Radojević, 2008c).

Генерализовани производ (енг. *generalized product*; ГП) \otimes јесте било која функција која мапира $\otimes: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ и при томе задовољава следеће аксиоме (Radojević, 2008c):

- комутативност

$$\|a_i\| \otimes \|a_j\| = \|a_j\| \otimes \|a_i\|, \quad (34)$$

- асоцијативност

$$\|a_i\| \otimes (\|a_j\| \otimes \|a_k\|) = (\|a_i\| \otimes \|a_j\|) \otimes \|a_k\|, \quad (35)$$

- МОНОТОНОСТ

$$\|a_i\| \otimes \|a_j\| \leq \|a_i\| \otimes \|a_k\|, \text{ када је } \|a_j\| \leq \|a_k\|, \quad (36)$$

- НЕУТРАЛНИ ЕЛЕМЕНТ

$$\|a_i\| \otimes 1 = \|a_i\|, \quad (37)$$

- НЕНЕГАТИВНОСТ

$$\sum_{K \in P(\Omega \setminus S)} (-1)^{|K|} \otimes_{a_i \in S \cup K} \|a_i\| \geq 0, \quad (38)$$

где $\|a_i\|$ представља вредносну реализацију атрибута a_i .

Услови (A1) – (A4) су аксиоми које мора да задовољи свака T -норма, што значи да је ГП поткласа T -норме која задовољава додатни услов ненегативности (A5). За дати скуп примарних елемената $\Omega = \{a_1, a_2\}$ услов ненегативности је задовољен ако се као ГП изабере T -норма која задовољава следећу неједнакост (Radojević, 2008c):

$$\max(\|a_1\| + \|a_2\| - 1, 0) \leq \|a_1\| \otimes \|a_2\| \leq \min(\|a_1\|, \|a_2\|). \quad (39)$$

Битно је, такође, напоменути да је ГП операција највишег приоритета у ГБП.

Свака логичка функција $\varphi(a_1, \dots, a_n) \in BA$ може се једнозначно представити одговарајућим ГБП. Аналогно дисјунктивној каноничкој форми (31), ГБП задате логичке функције $\varphi^\otimes(\|a_1\|, \dots, \|a_n\|)$ једнак је суми атомских ГБП $\alpha(S)^\otimes(\|a_1\|, \dots, \|a_n\|)$ који су укључени у њега

$$\varphi^\otimes(\|a_1\|, \dots, \|a_n\|) = \sum_{S \in P(\Omega) | \sigma_\varphi(\alpha) = 1} \alpha(S)^\otimes(\|a_1\|, \dots, \|a_n\|), \quad (40)$$

односно производу структурног вектора и вектора свих атомских ГБП

$$\varphi^\otimes(\|a_1\|, \dots, \|a_n\|) = \overrightarrow{\sigma_\varphi} \cdot \begin{bmatrix} \alpha_1^\otimes(S)(\|a_1\|, \dots, \|a_n\|) \\ \vdots \\ \alpha_N^\otimes(S)(\|a_1\|, \dots, \|a_n\|) \end{bmatrix}. \quad (41)$$

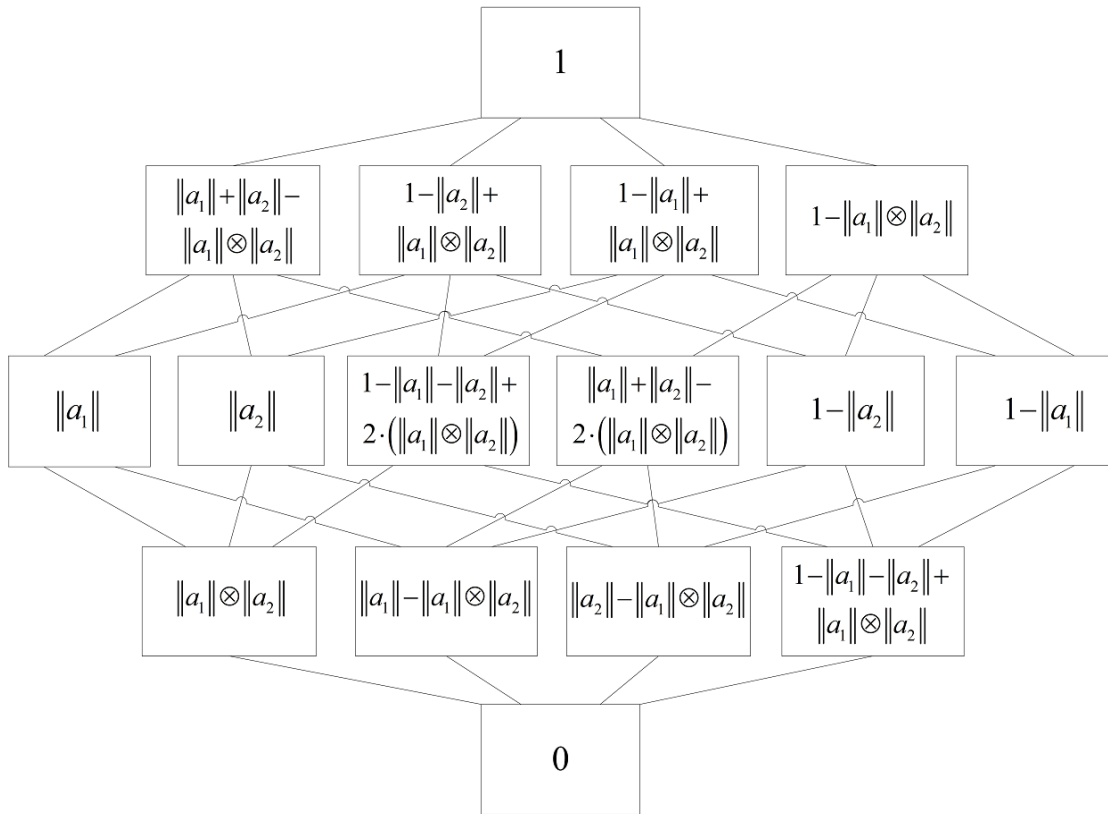
Атомски ГПБ су ненегативни

$$\alpha^\otimes(S)(\|a_1\|, \dots, \|a_n\|) \geq 0, \quad (42)$$

а њихова сума једнака је јединици

$$\sum_{S \in P(\Omega)} \alpha^\otimes(S)(\|a_1\|, \dots, \|a_n\|) = 1. \quad (43)$$

На Слици 4.12 приказани су одговарајући ГБП за све елементе БА генерисане у примеру на Слици 4.10.



Слика 4.12: Хасеов дијаграм ГБП елемената ИБА генерисаних над скупом примарних елемената $\Omega = \{a_1, a_2\}$

Конечно, превођење ГБП у алгебарски облик и његово израчунавање врши се избором одговарајућег оператора ГП и увођењем нормализованих вредности атрибута (примарних елемената). Избор оператора ГП зависи од природе атрибута над којима је генерисана ИБА и њиховог узајамног односа. Радојевић је дефинисао следећа правила за избор оператора:²⁹

- у случају да су посматрани атрибути исте природе и да се могу статистички посматрати као корелисане променљиве, као оператор ГП користи се оператор минимума

$$\|a_1\| \otimes \|a_2\| = \min(\|a_1\|, \|a_2\|); \quad (44)$$

- у случају атрибута различите природе, који се статистички могу посматрати као међусобно независне променљиве, као оператор ГП користи се оператор производа

$$\|a_1\| \otimes \|a_2\| = \|a_1\| \cdot \|a_2\|; \quad (45)$$

- у случају да су посматрани атрибути исте природе али се статистички посматрају као негативно корелисане променљиве, као оператор ГП користи се Лукашијевичева T -норма (енг. *Lukasiewicz T-norm*)

²⁹ Изложено у оквиру Радојевићевих предавања на предмету Фази логика и системи одржаних 2009. године на Факултету организационих наука у Београду.

$$\|a_1\| \otimes \|a_2\| = \max(\|a_1\| + \|a_2\| - 1, 0). \quad (46)$$

Поред ових граничних норми, за реализацију ГП коришћена је и Френкова T -норма (енг. *Frank T-norm*) (Kovačević, Sekulić, & Rakićević, 2011).

4.5.6. Правила за трансформацију логичког израза у ГБП

Радојевић је дефинисао следећа правила за трансформацију логичке функције у ГБП (Radojević, 2008b):

- за примарне елементе

$$\begin{aligned} (a_i \wedge a_j)^\otimes &= \begin{cases} \|a_i\| \otimes \|a_j\|, & i \neq j \\ \|a_i\|, & i = j \end{cases}, \\ (a_i \vee a_j)^\otimes &= \|a_i\| + \|a_j\| - \|a_i\| \otimes \|a_j\|, \\ (-a_i)^\otimes &= 1 - \|a_i\|; \end{aligned} \quad (47)$$

- за сложене елементе

$$\begin{aligned} (\varphi_1(a_1, \dots, a_n) \wedge \varphi_2(a_1, \dots, a_n))^\otimes &= \varphi_1^\otimes(\|a_1\|, \dots, \|a_n\|) \otimes \varphi_2^\otimes(\|a_1\|, \dots, \|a_n\|), \\ (\varphi_1(a_1, \dots, a_n) \vee \varphi_2(a_1, \dots, a_n))^\otimes &= \dots \\ \dots &= \varphi_1^\otimes(\|a_1\|, \dots, \|a_n\|) + \varphi_2^\otimes(\|a_1\|, \dots, \|a_n\|) - \varphi_1^\otimes(\|a_1\|, \dots, \|a_n\|) \otimes \varphi_2^\otimes(\|a_1\|, \dots, \|a_n\|), \\ (-\varphi(a_1, \dots, a_n))^\otimes &= 1 - \varphi^\otimes(\|a_1\|, \dots, \|a_n\|). \end{aligned} \quad (48)$$

Имплементацијом ових правила у оквиру софтверског решења (Milošević, Petrović, Radojević, & Kovačević, 2014) омогућена је аутоматизована трансформација било ког логичког израза у њему одговарајући ГБП, што је олакшало примену теорије ИБА.

4.5.7. Доказ конзистентности ИБА

Коришћењем претходно наведених правила трансформације лако се доказује да је математички апарат ИБА у стању да сачува основне законе мишљења (принцип искључења трећег и принцип контрадикције):

$$\begin{aligned} (a \wedge \neg a)^\otimes &= \|a\| \otimes (1 - \|a\|) \\ &= \|a\| - \|a\| \otimes \|a\| \\ &= \|a\| - \|a\| \\ &= 0 \end{aligned} \quad (49)$$

и

$$\begin{aligned}
(a \vee \neg a)^{\otimes} &= \|a\| + (1 - \|a\|) - \|a\| \otimes (1 - \|a\|) \\
&= \|a\| + 1 - \|a\| - (\|a\| - \|a\| \otimes \|a\|) \\
&= 1 - (\|a\| - \|a\|) \\
&= 1
\end{aligned} \tag{50}$$

за било коју вредност атрибута $\|a\| \in [0,1]$.

4.5.8. Примери израчунавања вредности логичких функција помоћу ИБА

Следи детаљан приказ поступка трансформације логичких функција у одговарајуће ГБП и израчунавања њихових вредности у задатим хипотетичким примерима.

Претпоставимо да је задата следећа логичка функција

$$\varphi_1(a_1, a_2, a_3) = (a_1 \wedge a_2) \vee \neg a_3,$$

при чему су интензитети реализације особине a код три посматрана објекта следећи:

$$\|a_1\| = 0,3, \quad \|a_2\| = 0,6 \quad \text{и} \quad \|a_3\| = 0,9.$$

Коришћењем правила из Поглавља 4.5.6. задата логичка функција трансформише се у следећи ГБП:

$$\begin{aligned}
((a_1 \wedge a_2) \vee \neg a_3)^{\otimes} &= (\|a_1\| \otimes \|a_2\|) + (1 - \|a_3\|) - (\|a_1\| \otimes \|a_2\|) \otimes (1 - \|a_3\|) \\
&= 1 - \|a_3\| + \|a_1\| \otimes \|a_2\| - (\|a_1\| \otimes \|a_2\| - \|a_1\| \otimes \|a_2\| \otimes \|a_3\|) \\
&= 1 - \|a_3\| + \cancel{\|a_1\| \otimes \|a_2\|} - \cancel{\|a_1\| \otimes \|a_2\|} + \|a_1\| \otimes \|a_2\| \otimes \|a_3\| \\
&= 1 - \|a_3\| + \|a_1\| \otimes \|a_2\| \otimes \|a_3\|.
\end{aligned}$$

Избор адекватног оператора ГП заснива се на правилима описаним у Поглављу 4.5.5. У овом хипотетичком примеру посматра се једна те иста особина a код три различита објекта. Дакле, сви атрибути су исте природе, што налаже употребу оператора минимума као ГП између сва три атрибута:

$$1 - \|a_3\| + \|a_1\| \otimes \|a_2\| \otimes \|a_3\| = 1 - \|a_3\| + \min(\|a_1\|, \|a_2\|, \|a_3\|).$$

На крају, у добијени алгебарски израз се уводе интензитети реализација атрибута и израчунава вредност задатог логичког израза:

$$\begin{aligned}
\|\varphi_1(a_1, a_2, a_3)\| &= 1 - \|a_3\| + \min(\|a_1\|, \|a_2\|, \|a_3\|) \\
&= 1 - 0,9 + \min((0,3), (0,6), (0,9)) \\
&= 0,1 + 0,3 \\
&= 0,4.
\end{aligned}$$

Следећи пример ће указати на значај избора оператора ГП. Претпоставимо да је задата слична логичка функција

$$\varphi_2(a_1, a_2, b_1) = (a_1 \wedge a_2) \vee \neg b_1,$$

при чему је природа особина a и b различита, а њихови интензитети реализација следећи:

$$\|a_1\| = 0,3 \text{ , } \|a_2\| = 0,6 \text{ и } \|b_1\| = 0,9 .$$

Задата логичка функција трансформише се у следећи ГБП:

$$\begin{aligned} ((a_1 \wedge a_2) \vee \neg b_1)^{\otimes} &= (\|a_1\| \otimes \|a_2\|) + (1 - \|b_1\|) - (\|a_1\| \otimes \|a_2\|) \otimes (1 - \|b_1\|) \\ &= 1 - \|b_1\| + \|a_1\| \otimes \|a_2\| - (\|a_1\| \otimes \|a_2\| - \|a_1\| \otimes \|a_2\| \otimes \|b_1\|) \\ &= 1 - \|b_1\| + \cancel{\|a_1\| \otimes \|a_2\|} - \cancel{\|a_1\| \otimes \|a_2\|} + \|a_1\| \otimes \|a_2\| \otimes \|b_1\| \\ &= 1 - \|b_1\| + \|a_1\| \otimes \|a_2\| \otimes \|b_1\| . \end{aligned}$$

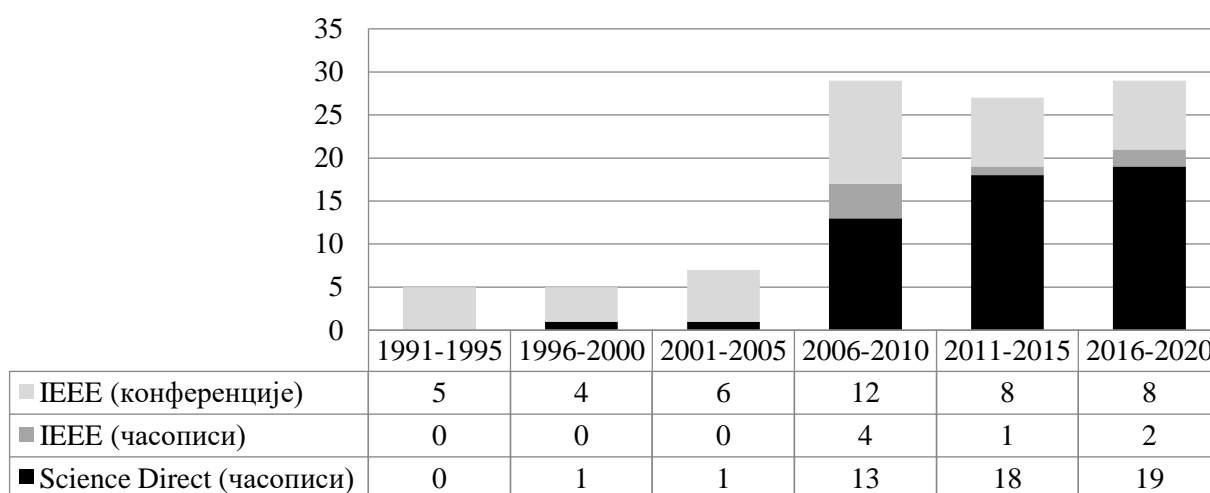
Избор оператора ГП у овом примеру представља сложенији проблем него у претходном. Адекватни оператор ГП за атрибуте исте природе је минимум $\|a_1\| \otimes \|a_2\| = \min(\|a_1\|, \|a_2\|)$, а за атрибуте различите природе производ $\|a_1\| \otimes \|b_1\| = \|a_1\| \cdot \|b_1\|$ и $\|a_2\| \otimes \|b_1\| = \|a_2\| \cdot \|b_1\|$.

Дакле, коначни алгебарски израз и његова вредносна реализација су

$$\begin{aligned} \|\varphi_1(a_1, a_2, a_3)\| &= 1 - \|b_1\| + \min(\|a_1\|, \|a_2\|) \cdot \|b_1\| \\ &= 1 - 0,9 + \min((0,3), (0,6)) \cdot 0,9 \\ &= 0,1 + 0,3 \cdot 0,9 \\ &= 0,37 . \end{aligned}$$

5. ПРЕГЛЕД ФАЗИ СИСТЕМА ЗА АЛГОРИТАМСКО ТРГОВАЊЕ

Доступна научна литература на тему примене фазе логике у системима за алгоритамско трговање је оскудна. Слика 5.1 приказује број објављених радова на тему примене фазе логике у системима за алгоритамско трговање до којих се дошло претраживањем ИЕЕЕ (енг. *Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE*) и Сајенс Директ (енг. *Science Direct*) сервиса. У оквиру ИЕЕЕ сервиса претраживани су апстрактни радова помоћу следећег услова: ("Abstract": "trading" OR "Abstract": "invest" OR "Abstract": "market timing") AND "Abstract": "fuzzy". У оквиру Сајенс Директ сервиса претраживани су наслови, апстракти и кључне речи радова: Title, abstract, keywords: ("trading" OR "market timing" OR "invest") AND "fuzzy".



Слика 5.1: Број објављених радова на тему примене фазе логике за алгоритамско трговање

Досадашња динамика објављивања радова (Слика 5.1) говори да је простор за истраживање могућности примене фазе логике у системима за алгоритамско трговање велики. Приметан пораст интересовања у последњој деценији наговештава да је област тек у повоју.

Имајући у виду основну структуру система за алгоритамско трговање (Поглавље 3.3), може се рећи да су готово сви предложени системи у литератури непотпуни – укључују само једну од основних компоненти. У доступној литератури најчешће су стратегије за трговање (Doutra & Siy, 2002; Zhou & Dong, 2004; Cheung & Kaymak, 2007; Dong & Wan, 2009), извршење налога (Kablan, 2010; Hernandez-Aguila, Garcia-Valdez, & Castillo, 2018), избор портфолија (Fasanghari & Montazer, 2010; Yunusoglu & Selim, 2013) и његово ребалансирање (Fang, Lai, & Wang, 2006); ређе су то системи који интегришу више компоненти (Casanova, 2012; Gradojevic & Gençay, 2013).

Према начину имплементације фазе логике у предложени алгоритам/систем, у доступној литератури најчешће су примењени фазни контролери за управљање трговањем (Doutra & Siy, 2002; Dong & Wan, 2009; Ghandar, Michalewicz, Schmidt, Tô & Zurbrugg, 2009; Kablan, 2010; Fasanghari & Montazer, 2010; Troiano & Kriplani, 2011; Gradojevic & Gençay, 2013; Marszałek & Burczyński, 2014). Поред класичних контролера, примењују се и фазни скупови за трансформацију улаза у неуронске мреже (Dong & Zhou, 2005), стабла одлучивања (Zhou & Dong, 2004), регресионе моделе (Marszałek & Burczyński, 2014), оптимизационе моделе (Fang *et al.*, 2006), као и синтеза фазе логике и Демпстер-Шаферове теорије (Dymova, Sevastianov, & Bartosiewicz, 2010; Dymova, Sevastianov, & Kaczmarek, 2012, 2016).

Што се тиче типа фази контролера, у већини анализираних студија користи се контролер Мамданијевог типа закључивања. Изузеци су студије (Casanova, 2012; Lincy & John, 2016) које користе Такаги–Сугено–Канг тип контролера.

Аутори углавном теже да поједноставе конструикцију фази система за алгоритамско трговање коришћењем мањег броја улазних варијабли. У већини анализираних студија користе се две до четири улазне променљиве. Изузетак су студије које користе већи број улазних вредности: седам (Dourra & Siy, 2002; Fasanghari & Montazer, 2010), или чак 20 улазних варијабли (Yunusoglu & Selim, 2013). Улазне и излазне променљиве су најчешће описане са три до пет фази скупова. Облици скупова су различити; користе се троугаони (Kablan, 2010; Troiano & Kriplani, 2011; Yunusoglu & Selim, 2013), трапезоидни (Zhou & Dong, 2004; Dong & Zhou, 2005; Fasanghari & Montazer, 2010; Casanova, 2012; Hernandez-Aguila *et al.*, 2018) и звонасти/гаусовски фази скупови (Dourra & Siy, 2002; Marszałek & Burczyński, 2014; Lincy & John, 2016).

За конструкцију алгоритама/стратегија за трговање најчешће се користе технички индикатори (Dourra & Siy, 2002; Zhou & Dong, 2004; Dong & Wan, 2009; Ghandar *et al.*, 2009; Gradojevic & Gençay, 2013), графички обрасци (Dong & Zhou, 2005; Marszałek & Burczyński, 2014; Chourmouziadis & Chatzoglou, 2016), као и комбиновани приступи који интегришу више врста анализа (Yunusoglu & Selim, 2013; Lincy & John, 2016).

Предложени алгоритми/системи најчешће се тестирају са подацима са америчких берзи (Dourra & Siy, 2002; Zhou & Dong, 2004; M. Dong & Zhou, 2005; Lincy & John, 2016). Користе се и подаци са берзанских тржишта других земаља попут Кине (Dong & Wan, 2009), Индије (Troiano & Kriplani, 2011), Шпаније (Casanova, 2012), Турске (Yunusoglu & Selim, 2013), Грчке (Chourmouziadis & Chatzoglou, 2016) и Ирана (Fasanghari & Montazer, 2010). Аутори се ређе одлучују за трговање валутама (Gradojevic & Gençay, 2013; Dymova *et al.*, 2016; Hernandez-Aguila *et al.*, 2018) или изведеним хартијама од вредности (Marszałek & Burczyński, 2014). Највећи број студија коирсти дневне податке, али има и оних који своје алгоритме/системе тестирају на сатним (Dymova *et al.*, 2016), минутним (Hernandez-Aguila *et al.*, 2018) или тик подацима (Gradojevic & Gençay, 2013; Korczak, Hernes, & Bac, 2015; Chourmouziadis & Chatzoglou, 2016).

Набројани фази системи за алгоритамско трговање су експертског типа – конструисани на основу теоријског знања и практичног искуства у инвестиционој анализи и трговању. Њихов главни недостатак је управо то што већина истраживача долази из области рачунарске интелигенције и не поседује потребно искуство како би на најбољи начин дефинисала структуру и параметре система. Овај недостатак се може надоместити увођењем неке од техника за обучавање које су у стању да подесе фази систем за алгоритамско трговање на основу историјских података. У наредном поглављу дат је преглед таквих система.

5.1. Самообучавајући фази системи за алгоритамско трговање

Под појмом *самообучавајући фази систем за алгоритамско трговање* поразумеваће се системи за алгоритамско трговање који могу самостално да обучавају фази контролер или неки други фази управљачки систем. У доступној литератури, највећи број ових система заснован је на класичним фази контролерима, али има и оних који користе фази тип-2 системе (Vella & Ng, 2016).

Два су најчешћа типа самообучавајућих фази система за алгоритамско трговање: неуро-фази системи (Bekiros, 2010a; Atsalakis, Dimitrakakis, & Zopounidis, 2011; Tan, Quek, & Cheng, 2011; Tung & Quek, 2011; Vella & Ng, 2014; Vella & Ng, 2016) и еволутивни фази системи (Cao, Luo, & Zhang, 2006; Cheung & Kaymak, 2007; Liu & Zhang, 2015; Liu, An, Wang, & Guan, 2017).

Постоје и комплекснији системи, који за обучавање користе синтезу више техника, на пример неуронских мрежа и генетских алгоритама (Kuo, Chen, & Hwang, 2001; Chavarnakul & Enke, 2009) или неуронских мрежа и фази кластеровања (Cheng, Wei, & Chen, 2009).

У оквиру самообучавајућих фази система најчешће се користе контролери Такаги–Сугено–Канг типа. Ово је последица чињенице да се у највећем броју система користе неуронске мреже за обучавање контролера. Ипак, има и оних који користе Мамдани тип контролера (Cheung & Kaуmak, 2007; Chavarnakul & Enke, 2009; Tung & Quek, 2011). Велика већина аутора бави се обучавањем параметара фази система (функција припадности и тежина у последичном делу правила). Врло су ретки системи у којима се обучава структура фази система обучавају (Tung & Quek, 2011; Liu *et al.*, 2017).

Скоро сви анализирани системи су шпекулативног типа, са изузетком система чија је сврха балансирање портфолија (Liu & Zhang, 2015). Као управљачке променљиве (улази), у великој већини система, користе се технички индикатори. Изузетци су студије у којима се трговањем управља коришћењем мултиваријационих модела за процену волатилности (Cheng *et al.*, 2009), Елиотове теорије таласа (Atsalakis *et al.*, 2011) и графичких образаца (Naranjo, Arroyo, & Santos, 2018).

У свим доступним радовима, тестирање предложених система спроведено је на релативно малом броју финансијских инструмената – до 20. Најчешће су то акције (Atsalakis *et al.*, 2011; Tan *et al.*, 2011; Liu & Zhang, 2015; Vella & Ng, 2016; Naranjo *et al.*, 2018) и њихови индекси (Chavarnakul & Enke, 2009; Cheng *et al.*, 2009; Bekiros, 2010a, 2010b). Поред наведених, користе се и индекси обвезница (Cheung & Kaуmak, 2007), опција (Tung & Quek, 2011) и нафтних фјучерса (Liu *et al.*, 2017). Најчешће су коришћени дневни подаци; ретка су истраживања која користе недељне (Cheung & Kaуmak, 2007; Liu & Zhang, 2015) или минутне податке (Vella & Ng, 2014, 2016). За релативну процену успешности предложеног система користи се, готово безизузетка, стратегија „купи и држи“

Током прегледа доступне литературе, посебна пажња је посвећена еволутивним фази системима за алгоритамско трговање. Сви анализирани системи користе генетске алгоритме. Најчешће се користе врло мале популације до 100 јединки (Kuo *et al.*, 2001; Cheung & Kaуmak, 2007; Chavarnakul & Enke, 2009; Liu *et al.*, 2017), док се као критеријум заустављања дефинише унапред задати број генерација. Максимални број генерације се доста разликује у радовима: 50 (Chavarnakul & Enke, 2009; Liu *et al.*, 2017), 200 (Cheung & Kaуmak, 2007), 1000 (Kuo *et al.*, 2001) и чак 5000 (Liu & Zhang, 2015).

Као мера прилагођености јединке најчешће се користе укупни приноси (Cheung & Kaуmak, 2007; Chavarnakul & Enke, 2009; Liu *et al.*, 2017) и пенализирајуће функције (Kuo *et al.*, 2001; Liu & Zhang, 2015).

Стандардна подешавања генетских оператора обухватају стопу укрштања 70% (Chavarnakul & Enke, 2009; Liu *et al.*, 2017) или 80% (Cheung & Kaуmak, 2007; Liu & Zhang, 2015), у комбинацији са стопом мутације од најчешће 1%. Ипак, постоје и нестандартна подешавања, на пример у случају (Kuo *et al.*, 2001) када је стопа укрштања подешена на само 20%, са врло високом стопом мутације од 80%.

Прегледом доступне литературе установљено је:

- за обучавање фази контролера за управљање трговањем најчешће се користе вештачке неуронске мреже и генетски алгоритми, при чему се неуронске мреже чешће користе од генетских алгоритама;
- број студија које се баве еволутивним фази система за алгоритамско трговање је релативно мали, што оставља пуно простора за истраживања;

- аутори се углавном фокусирају на обучавање параметара фази контролера, врло ретко њихове структуре; имајући у виду да подешавање функција припадности и тежина представља фино подешавање фази модела, такво обучавање није у стању да открије природу релација између управљачких променљивих и излаза; обучавање структуре контролера представља корак даље у откривању знања из података;
- тестирања предложених система вршена су на релативно малим скуповима података (до 20 финансијских инструмената), због чега резултати могу патити од проблема пристрасности у избору узорка (енг. *selection bias*).

6. КОРИШЋЕНИ ПОДАЦИ, ПОКАЗАТЕЉИ И МЕРЕ УСПЕШНОСТИ

У овој глави рада представљени су изворни подаци који су коришћени за потребе истраживања и начин њиховог прикупљања. Након тога, дат је приказ показатеља техничке и фундаменталне анализе који су изведени на основу изворних података. На крају, описане су мере које су коришћене за оцену успешности предложених решења.

6.1. Изворни подаци

За потребе истраживања извршеног у овом раду коришћени су подаци са међународних финансијских тржишта. Истраживањем су обухваћена два типа тржишта, берзанско и ванберзанско, која се значајно разликују по својим карактеристикама. Тестирање предложеног решења на различитим тржиштима има за циљ сагледавање његове софистицираности и поузданости.

Као репрезентативни примери, одабрани су америчко тржиште акција, међународно девизно тржиште и тржиште криптовалута. Америчко тржиште акција је највеће и најзначајније централизовано тржиште на свету. Са друге стране, међународно девизно тржиште (енг. *Foreign Exchange Market – FOREX*) је највеће светско тржиште са дневним прометом од преко 6 хиљада милијарди долара (Bank for International Settlement, 2019), чиме надмашује све највеће светске берзе заједно. Тржиште криптовалута се, за разлику од претходна два, налази у раној фази развоја. У Табели 6.1 дате су спецификације података прикупљених са ових тржишта.

Табела 6.1: Коришћени подаци

| Тржиште | Тип тржишта | Тип података | Број фин. инструмената | Временски интервал |
|-----------------------------|--------------|--|------------------------|-----------------------|
| Америчко тржиште акција | Берзанско | <ul style="list-style-type: none">Дневни подаци о кретању цена акција и обиму трговањаФинансијски извештаји компанија | 252 | феб. 2011 – феб. 2020 |
| Међународно девизно тржиште | Ванберзанско | <ul style="list-style-type: none">Дневни подаци о кретању девизних курсева | 8 | јан. 2004 – сеп. 2019 |
| Тржиште криптовалута | Берзанско | <ul style="list-style-type: none">6-сатни подаци о кретању вредности криптовалута | 4 | јул 2017 – апр. 2020 |

Подаци са америчког тржишта акција састоје се од података о дневном кретању цена акција и обима трговања, као и података из кварталних финансијских извештаја 500 највећих америчких компанија које чине индексну корпу Стандард и Пуоровог индекса 500 (енг. *Standard & Poor's 500 – S&P 500*). Подаци су прикупљени преко финансијског сервиса *financialmodelingprep.com* и обухватају готово целу другу деценију XX века. За период од 1.

фебруара 2011. године до 1. фебруара 2020. године пркупљене су 2.264 дневне опсервације³⁰ и око 36 кварталних извештаја (у зависности од политике извештавања компаније).

Из почетне листе 500 највећих америчких компанија изузето је 66 компанија из финансијског сектора (енг. *financials*) и 31 компанија из сектора некретнина (енг. *real estates*), имајући у виду разлике у анализи финансијских извештаја фирми из ових сектора. Код 63 компаније јавили су се проблеми приликом приступа подацима, због чега су изузете из овог истраживања. Коначно, у прикупљеним финансијским извештајима уочене су грешке у виду нетачних и недостајућих података. Компаније код којих су пронађене нетачне или недостајуће вредности у појединачним ставкама за више од шест извештаја елиминисане су из узорка (88 компанија), док су код осталих те вредности замењене екстраполираним вредностима. Екстраполација вредности недостајућих ставки у извештајима вршена је коришћењем просечне стопе приноса те ставке у пет претходних/наредних извештаја.

Коначан узорак који је коришћен за истраживање садржи податке за 252 компаније. Списак свих компанија налази се у Прилогу 1 овог рада. У Табели 6.2 приказана је њихова расподела по делатностима.

Табела 6.2: Расподела компанија из прикупљеног узорка по делатностима

| Индустријски сектор | Број компанија |
|---|----------------|
| Индустријска производња (енг. <i>industrials</i>) | 47 |
| Здравствена заштита (енг. <i>health care</i>) | 40 |
| Информационе технологије (енг. <i>information technology</i>) | 36 |
| Материјали (енг. <i>materials</i>) | 18 |
| Роба и услуге широке потрошње (енг. <i>consumer staples</i>) | 19 |
| Луксузна роба и услуге (енг. <i>consumer discretionary</i>) | 41 |
| Комуналне услуге (енг. <i>utilities</i>) | 20 |
| Енергија (енг. <i>energy</i>) | 20 |
| Комуникационе услуге (енг. <i>communication services</i>) | 11 |
| УКУПНО | 252 |

Подаци са међународног девизног тржишта преузети су са сервиса Јаху Фајненс (енг. *Yahoo Finance*) и садрже дневне податке о кретању валутних парова главних светских валута³¹ за период од 1. јануара 2004. године до 1. септембра 2019. године (4.087 дневних опсервација). За истраживање су изабрани валутни парови, који испуњавају следеће услове:

³⁰ Дневне опсервације обухватају цене са отварања и затварања трговачког дана, највише и најниже дневне цене, као и дневни обиме трговања.

³¹ Према класификацији Међународног монетарног фонда (International Monetary Fund, 2019) у главне светске валуте убрајају се: амерички долар, евро, кинески ренминби (јуан), јапански јен, британска фунта, аустралијски долар, канадски долар и швајцарски франак.

1. да обим трговања изабраног пара чини најмање 1% укупног светског обима према извештају Банке за међународна поравнања (Bank for International Settlement, 2019),
2. да се валутни курс изабраног пара формирао тржишно у целокупном посматраном периоду и
3. да су подаци за изабрани период доступни на сервису.

Следећих осам валутних парова задовољило је наведене критеријуме: евро – амерички долар (EURUSD), амерички долар – јапански јен (USDJPY), британска фунта – амерички долар (GBPUSD), амерички долар – канадски долар (USDCAD), амерички долар – швајцарски франак (USDCHF), британска фунта – евро (GBPEUR), евро – јапански јен (EURJPY) и евро – швајцарски франак (EURCHF). Изабрани валутни парови обухватају 60% светског промета у трговању валутама.

Подаци са тржишта криптовалута преузети су са сервиса *cryptodatadownload.com* и садрже 6-сатне податке прикупљене са једне од најстаријих крипто-берзи Кракен (енг. *Kraken*). Узорак обухвата кретање четири криптовалуте: Биткоина (енг. *Bitcoin*), Етереума (енг. *Ethereum*), Рипла (енг. *Ripple*) и Лајткоина (енг. *Litecoin*), у периоду од 1. јула 2017. године до 1. априла 2020. године (24.133 опсервације).

6.2. Показатељи техничке анализе

Техничка анализа (ТА) представља анализу историјских вредности тржишних података (подаци о цени, обиму, понуди и потражњи) са циљем откривања скривених (приватних) информација које могу пружити прилику за зараду. Информационо ефикасна тржишта теже да све јавне и приватне информације моментално инкорпорирају у цену, због чега заговорници теорије ефикасних тржишта ТА доживљавају као алхемију (Malkiel, 2019).

Међутим, тржишта не могу бити апсолутно ефикасна (Grossman & Stiglitz, 1980), а ТА може послужити за откривање скривених информација (Brown & Jennings, 1989; Lo, Mamaysky, & Wang, 2000) или за ефикасну експлоатацију прилика које настају од неценовних информација (Treynor & Ferguson, 1985).

Основна идеја ТА полази од претпоставке да нису сви учесници на тржишту рационални, због чега се јавља ефекат „крда“. Утицај масовне психологије на цену рефлектује се кроз појаву образаца у понашању цене (енг. *price patterns*). Циљ ТА је да открије ове обрасце и на основу њих предвиди будуће кретање цене. За то користи два приступа. Први, непосредан приступ, анализира ценовне графике у потрази за обрасцима. Други, посредан приступ, користи математичке моделе (техничке индикаторе) како би открио ценовне обрасце.

6.2.1. Графички обрасци јапанских свећица

Графички обрасци (енг. *chart patterns*) представљају ценовне обрасце који се могу уочити директним посматрањем ценовних графика. Постоје два основна приступа анализи графичких образаца: (западни) приступ заснован на линијама тренда (енг. *trendlines*) и (источни) приступ заснован на јапанским свећицама (енг. *Japanese candlesticks*). У дисертацији је коришћен други приступ.

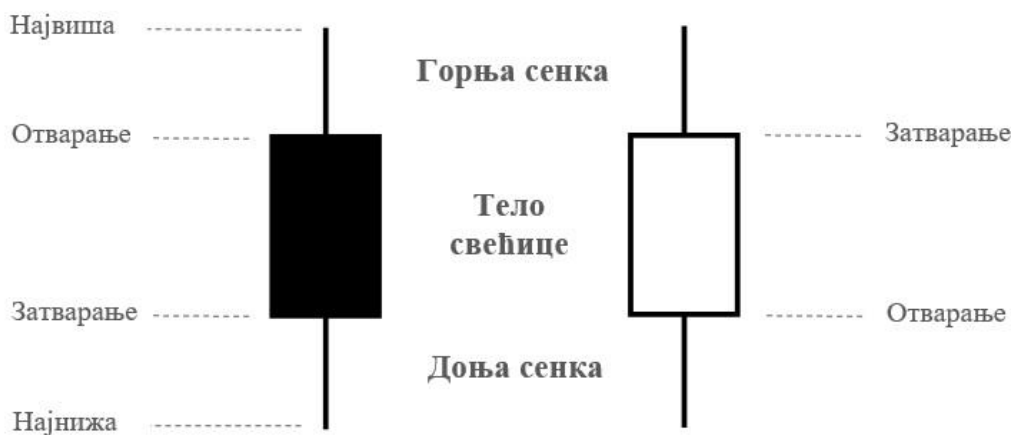
Јапанске свећице су техника за графичко приказивање ценовних кретања настала у Јапану током XVIII века. На Западу су постале познате након објаве Нисонове књиге (Nison, 1991). Ова техника користи четири карактеристичне цене за конструкцију свећице која представља

сумарну репрезентацију кретања цене у посматраном временском интервалу (Слика 6.1). Временски интервал може бити минут, сат, дан, недеља или било који други интервал.



Слика 6.1: Репрезентација кретања цене помоћу јапанске свећице

За конструкцију свећице користе се следеће карактеристичне цене: цена на отварању, цена на затварању, највиша и најнижа постигнута цена током посматраног периода. Простор између цене на отварању и цене на затварању назива се тело свећице (енг. *real body*). Када је цена на затварању виша од цене на отварању, тело свећице је беле боје (Слика 6.2). У супротном случају тело је црне боје. Горња сенка представља разлику између највише и цене на затварању (код белих свећица), односно разлику између највише и цене на отварању (код црних свећица).



Слика 6.2: Типови свећица

Коришћењем технике свећица, јапански трговци описали су ценовне обрасце који могу настати као последица масовне психологије учесника на тржишту. Ови обрасци покушавају да открију преовлађујући став инвеститора и трговаца, тј. тржишни сентимент (енг. *market sentiment*), рефлектујући њихову еуфорију, неодлучност, страх или панику.

Постоји велики број графичких образаца који су дефинисани у оквиру анализе јапанских свећица. Њихов циљ је да антиципирају будући раст цене (енг. *bullish patterns*) или њен пад (енг. *bearish patterns*). Дефиниције образаца, које су понуђене у доступној литератури,

најчешће нису довољно прецизне. Због тога, препознавање образаца и њихова интерпретација у великој мери зависе од искуства корисника.

6.2.2. Технички индикатори

Технички индикатори су математички модели који користе тржишне податке како би из њих „извукли“ информације на основу које могу послужити за откривање ценовних образаца. У зависности од природе информација коју пружају на излазу, технички индикатори се могу груписати у индикаторе тренда, волатилности, обима итд.

За потребе истраживања спроведеног у овој дисертацији изабрани су следећи технички индикатори:

1. стопа промене (енг. *rate of change – ROC*),
2. рацио два експоненцијална покретна просека (енг. *exponential moving average – EMA*),
3. индекс релативне снаге (енг. *relative strength index – RSI*),
4. индекс робног канала (енг. *comodity channel index – CCI*),
5. покретна стандардна девијација (енг. *moving standard deviation – MStd*) и
6. Чајкинов проток новца (енг. *Chaikin money flow – CMF*).

Број изабраних индикатора је релативно мали, како због жеље да се са што мањим бројем улазних варијабли опише што већи број тржишних информација, тако и због сложености и рачунске захтевности решавањем проблема. Изабрани индикатори описују најважније карактеристике тржишних услова као што су ценовни тренд, волатилност и обим куповног и продајног притиска на цену. У Табели 6.3 дати су детаљни описи коришћених индикатора као и формуле за њихово израчунавање.

6.3. Показатељи фундаменталне анализе

6.3.1. Компоненте ДуПонт анализе

ДуПонт анализа³² је метод финансијске фундаменталне анализе који користи принцип декомпозиције да би разложио анализирани финансијски показатељ у производ његових мултипликативних компоненти. У дисертацији је коришћен традиционални приступ декомпозиције приноса на капитал, мада постоје и алтернативни приступи (Paleru & Healy, 2013).

Принос на (акционарски) капитал (енг. *return on equity – ROE*) представља полазну тачку сваке системске анализе пословних перформанси једне компаније (Paleru & Healy, 2013). *ROE* спада у основне инвестиционе показатеље јер мери колико се ефективно користи капитал акционара. Његова декомпозиција може да помогне инвеститору да боље разуме начин на који компанија остварује зараду.

³² Овај метод финансијске анализе осмислио је Браун (енг. *Brown*) почетком XX века, који је у то време био финансијски директор у компанији ДуПонт (енг. *DuPont*).

Табела 6.3: Опис коришћених техничких индикатора

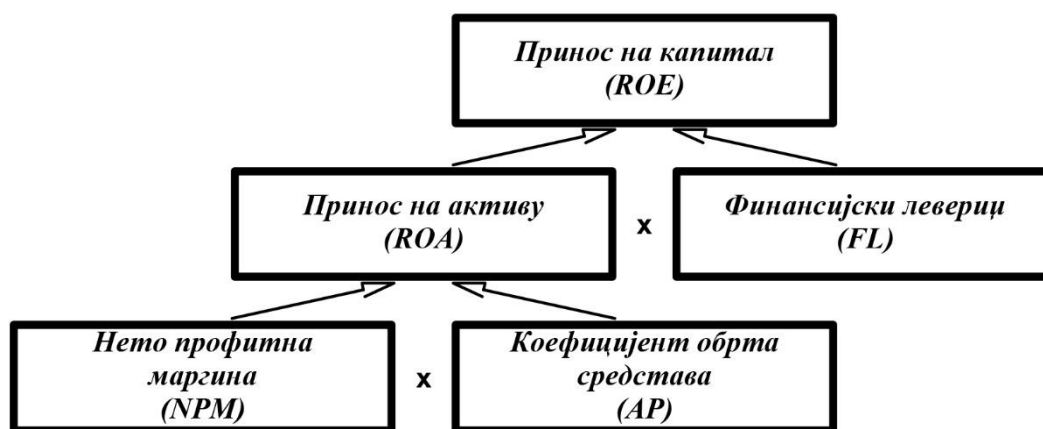
| Индикатор | Информација | Израчунавање | Опис |
|------------------|-------------|---|--|
| <i>ROC</i> | Тренд | $ROC_t(P, n) = \frac{P_t - P_{t-n}}{P_{t-n}}$ | Стопа промене је један од најједноставнијих и најстаријих индикатора, који служи за откривање тренда у ценовној серији. Овај индикатор указује на смер и јачину тренда, мерећи релативну промену цене у одређеном временском оквиру (прозору). |
| <i>EMA</i> рацио | Тренд | $rEMA_t(P, n, m) = \frac{EMA_t(P, n)}{EMA_t(P, m)}$ $EMA_t(P, n) = \alpha \cdot P_t - EMA_{t-1}(P, n)$ $\alpha = \frac{2}{n+1}$ | Експоненцијални покретни просек или експоненцијално усредњавање је филтер који користи тежинску шему са експоненцијалним опадањем, како би у ценовној серији уклонио или свео на минимум утицај случајног шума. Почетак примене ове технике најчешће се везује за Брауна (Brown, 1957), а њена једноставност и одлични резултати учинили су је врло популарним алатом за откривање ценовног тренда на финансијским тржиштима. Однос два експоненцијална покретна просека различитих временских прозора (краћег и дужег) може се искористити за сагледавање позиције тренутног (краткорочног) кретања цене у односу на њен дугорочни тренд. |
| <i>RSI</i> | Тренд | $RSI_t(P, n) = 100 - \frac{100}{1 + RS_t(P, n)}$ $RS_t(P, n) = \frac{SMA_t(U, n)}{SMA_t(D, n)}$ $SMA_t(U, n) = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n+1}^t U_i$ $SMA_t(D, n) = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n+1}^t D_i$ $U_t = \begin{cases} P_t - P_{t-1}, & \forall t: P_t > P_{t-1} \\ 0, & \forall t: P_t \leq P_{t-1} \end{cases}$ $D_t = \begin{cases} P_t - P_{t-1}, & \forall t: P_t < P_{t-1} \\ 0, & \forall t: P_t \geq P_{t-1} \end{cases}$ | Индекс релативне снаге је један од најпопуларнијих индикатора. Предложио га је Вајлдер (Wilder, 1978) са идејом да мери јачину импулса (енг. <i>momentum</i>) у тренду. Стављањем у однос просечне вредности позитивних и негативних ценовних прираштаја у посматраном временском прозору, добија се фактор релативне снаге који за мали број позитивних прираштаја „гура“ вредност индикатора ка минималној и обрнуто, у случају малог броја негативних прираштаја. <i>RSI</i> има предефинисан вредносни опсег [0, 100], што олакшава његову примену у ситуацијама када се вредности индикатора упоређују међу различитим финансијским инструментима. Високе вредности индикатора указују на доминацију или еуфорично понашање купаца на тржишту (енг. <i>overbought market</i>), док ниске вредности указују на доминацију или панично понашање продаваца (енг. <i>oversold market</i>). |

| | | | |
|------|---|---|--|
| CCI | Тренд и волатилност | $CCI_t(TP, n) = \frac{1}{0,015} \cdot \frac{TP_t - SMA_t(TP, n)}{MAD_t(TP, n)}$ $MAD_t(TP, n) = \frac{\sum_{i=t-n+1}^t P_i - SMA_i(TP, n) }{n}$ $TP_t = \frac{P_t^H + P_t^L + P_t^C}{3}$ | <p>Индекс робног канала увео је Ламберт (Lambert, 1983). Данас је врло популаран у идентификацији ценовних екстремума и преокрета у ценовним трендовима. CCI користи концепт типичне цене (просек највише, најниже и цене на затварању), мерећи њено одступање од просечне и стандардизујући то одступање коришћењем средње апсолутне девијације.</p> <p>Како би скалирао вредности индикатора Ламберт је увео константу 1/0,015. Опсег вредности индикатора није фиксиран и у највећој мери зависи од избора дужине временског прозора. Ипак, вредности се најчешће крећу у интервалу $[-100, 100]$, па се „пробијање“ ових нивоа сматра индикацијом прекомерне доминације продаваца (за $CCI \leq -100$), односно купаца (за $CCI \geq 100$).</p> |
| MStd | Волатилност | $MStd_t(P, n) = \sqrt{\frac{\sum_{i=t-n+1}^t (P_i - SMA_i(P, n))^2}{n-1}}$ | <p>Стандардна девијација је најпознатија мера варијабилитета узорка/популације. Увођењем покретног прозора у израчунавање дисперзије, ова мера добија динамички карактер који боље одсликава променљивост услова на тржишту.</p> |
| CMF | Снага куповног и продајног притиска на цену | $CMF_t(P, n) = \frac{\sum_{i=t-n+1}^t MFM_i \cdot Vol_i}{\sum_{i=t-n+1}^t Vol_i}$ $MFM_t = \frac{(P_t^C - P_t^L) - (P_t^H - P_t^C)}{(P_t^H - P_t^L)}$ | <p>Овај индикатор има за циљ да измери снагу куповног и продајног притиска на цену. Предложио га је Чајкин почетком осамдесетих година XX века.³³ Опсег вредности индикатора је $[-1, 1]$. Позитивне вредности индикатора указују на висок притисак купаца (енг. <i>buying pressure</i>), док негативне вредности указују на висок притисак продаваца (енг. <i>selling pressure</i>).</p> |

Ознаке у Табели 6.3: P_t је цена у тренутку t ; P_t^H , P_t^L и P_t^C су највиша, најнижа и цена на затварању; Vol_t је обим трговања; n је временски прозор на основу ког израчунавамо индикатор.

³³ Извор: <https://www.chaikinanalytics.com/chaikin-money-flow>.

У традиционалној ДуПонт анализи постоји више нивоа декомпозиције – што је декомпозиција дубља, то је боље. У дисертацији је коришћена декомпозиција са два нивоа, која *ROE* разлаже у три компоненте (Слика 6.3). Могућа је и дубља декомпозиција са три нивоа и пет компоненти (Robinson, Henry, Pirie, & Broihahn, 2015).



Слика 6.3: Традиционална декомпозиција приноса на капитал

Као што се види на Слици 6.3, *ROE* се може представити као производ приноса на активу (енг. *return on assets* – *ROA*) и коефицијента финансијског леверица (енг. *financial leverage* – *FL*). *ROA* се затим разлаже на производ нето профитне марже (енг. *net profit margin* – *NPM*) и коефицијента обрта средстава (енг. *asset turnover ratio* – *AT*). *ROE* је коначно декомпонован у производ три компоненте:

$$ROE = NPM \cdot AT \cdot FL. \quad (51)$$

Детаљан опис компоненти и начин њиховог израчунавања приказан је у Табели 6.4.

Табела 6.4: Опис чинилаца ДуПонт анализе

| Рацио | Информација | Израчунавање | Опис |
|------------|-------------|--|---|
| <i>ROE</i> | Ефективност | $ROE = \frac{\text{Нето зарада}}{\text{Просечан акц. капитал}}$ | <i>ROE</i> показује колико компанија ефективно користи капитал, односно њену способност да оствари зараду својим акционарима. |
| <i>ROA</i> | Ефективност | $ROA = \frac{\text{Нето зарада}}{\text{Просечна укупна актива}}$ | <i>ROA</i> мери ефективност са којом компанија користи укупна средства, како сопствена тако и позајмљена. Другим речима, <i>ROA</i> је показатељ профитабилности посла којим се компанија бави. |
| <i>NPM</i> | Ефективност | $NPM = \frac{\text{Нето зарада}}{\text{Укупни приходи}}$ | <i>NPM</i> указује на способност компаније да генерише зараду из својих прихода, тачније колики део прихода успева да задржи. |
| <i>AT</i> | Ефикасност | $AT = \frac{\text{Укупни приходи}}{\text{Просечна укупна средства}}$ | <i>AT</i> мери способност компаније да генерише пословне приходе на основу средстава којима располаже – број новчаних јед. прихода помоћу једне новчане јед. средстава. |

| | | | |
|-----------|-------|---|--|
| <i>FL</i> | Ризик | $FL = \frac{\text{Просечна укупна средства}}{\text{Просечан акц. капитал}}$ | <i>FL</i> показује колико је новчаних јед. средстава компанија у стању да ангажује користећи јед. капитала. Истовремено, овај рацио указује на степен задужености компаније, ³⁴ тј. ризик њеног пословног модела. |
|-----------|-------|---|--|

6.3.2. Рација за процену вредности

Најважнији фактор у инвестиционом одлучивању, тј. доношењу одлуке о куповини/продаји удела у некој компанији јесте вредновање компаније (енг. *company valuation*). Постоји више метода процене вредности компаније (Koller, Goedhart, & Wessels, 2010). Многе од њих изискују високе трошкове, како временске тако и финансијске. Ти трошкови су оправдани када је у питању инвестирање (дугорочно улагање). Супротно инвестирању, трговање представља краткорочно улагање са циљем остваривања зараде. Због краткорочног карактера улагања, многе методе вредновања нису адекватне за примену у трговању.

Једна од најједноставнијих и најпопуларнијих метода вредновања јесте релативна процена вредности (енг. *relative valuation*). Ова метода користи посебно дизајнирана рација за процену вредности (енг. *valuation ratios or multiples*), која се лако израчунавају и на основу којих је могуће упоредити тржишне вредности анализираних компанија. Ова рација се масовно примењују у трговању, због чега их често називају трговачка (енг. *trading multiples*) или тржишна рација (енг. *market multiples*).

Метод релативне процене вредности обухвата две врсте рација:

- ценовна рација (енг. *price ratios or multiples*) – која у однос стављају тржишну цену (капитализацију) компаније (енг. *market capitalization*) и ставке из финансијских извештаја које могу одражавати фундаменталну вредност компаније,
- рација вредности компаније (енг. *enterprise value ratios or multiples*) – која уместо тржишне цене користе израчунату вредност компаније (енг. *enterprise value*).

За потребе истраживања спроведеног у овој дисертацији коришћена су ценовна рација. У Табели 6.5 дат је њихов списак и детаљан опис.

Два су основна приступа израчунавању вредности ових рација (Pinto, Henry, Robinson, & Stowe, 2010):

- приступ заснован на текућој вредности рација (енг. *trailing ratio*), који користи кумулативну вредност ставке из последња четири квартална извештаја компаније за обрачун вредности рација (на годишњем нивоу) и
- приступ заснован на антиципираној вредности (енг. *forward ratio*), који користи експертску процену или неку од техника предвиђања како би антиципирао будућу вредност ставке, која се ставља у однос са тржишном ценом компаније.

У дисертацији је коришћен приступ заснован на текућој вредности рација.

³⁴
$$FL = \frac{\text{Укупна средства}}{\text{Акц. капитал}} = \frac{\text{Обавезе} + \text{Акц. капитал}}{\text{Акц. капитал}} = \frac{\text{Обавезе}}{\text{Акц. капитал}} + 1$$

Табела 6.5: Опис коришћених инвестиционих рација

| Рацио | Ознака | Израчунавање | Опис |
|--|-------------|---|--|
| Цена према дивиденди (енг. <i>price per dividend</i>) | <i>PDiv</i> | $PDiv = \frac{\text{Тржишна вредност}}{\text{Исплаћена дивиденда}}$ | Број новчаних јединица плаћених за једну новчану јединицу дивиденде. |
| Цена према заради (енг. <i>price per earnings</i>) | <i>PE</i> | $PE = \frac{\text{Тржишна вредност}}{\text{Нето зарада}}$ | Број новчаних јединица плаћених за једну новчану јединицу зараде. |
| Цена према приходима (енг. <i>price per sales</i>) | <i>PS</i> | $PS = \frac{\text{Тржишна вредност}}{\text{Укупни приход}}$ | Број новчаних јединица плаћених за једну новчану јединицу прихода. |
| Цена према књиг. вредности (енг. <i>price per book value</i>) | <i>PB</i> | $PB = \frac{\text{Тржишна вредност}}{\text{Књиг. вредност}}$ | Број новчаних јединица плаћених за једну новчану јединицу књиговодствене вредности. |
| Цена према средствима (енг. <i>price per assets</i>) | <i>PA</i> | $PA = \frac{\text{Тржишна вредност}}{\text{Укупна средства}}$ | Број новчаних јединица плаћених за једну новчану јединицу укупних средстава. |
| Цена према дугу (енг. <i>price per debt</i>) | <i>PD</i> | $PD = \frac{\text{Тржишна вредност}}{\text{Укупан дуг}}$ | Број новчаних јединица плаћених за једну новчану јединицу дуга. |
| Цена према готовини (енг. <i>price per cash</i>) | <i>PC</i> | $PC = \frac{\text{Тржишна вредност}}{\text{Готовина и готовински еквиваленти}}$ | Број новчаних јединица плаћених за једну новчану јединицу готовине и готовинских еквивалената. |
| Цена према слободном новчаном току (енг. <i>price per free cash flow</i>) | <i>PFCF</i> | $PFCF = \frac{\text{Тржишна вредност}}{\text{Слободни новчани ток}}$ | Број новчаних јединица плаћених за једну новчану јединицу слободног новчаног тога. |
| Цена према пословном новчаном току (енг. <i>price per operating cash flow</i>) | <i>POCF</i> | $POCF = \frac{\text{Тржишна вредност}}{\text{Пословни новчани ток}}$ | Број новчаних јединица плаћених за једну новчану јединицу пословног новчаног тога. |

6.4. Мере успешности

За мерење успешности предложених решења коришћено је више мера, с циљем да се обухвате различити аспекти успешности. За мерење ефективности коришћени су принос на инвестицију (енг. *return on investment*) и зарада по трансакцији³⁵ (енг. *profit per trade*). Принос на инвестицију мери укупну ефективност предложеног решења. За разлику од укупног приноса, зарада по трансакцији мери ефективности сваке од донетих одлука. Да би се сагледала ризичност предложеног решења мерено је повлачење вредности портфолија током трговања у односу на максималну вредност (енг. *maximal drawdown*). За процену тачности генерисаних сигнала за трговање коришћен је проценат успешних трансакција (енг. *percentage of winning trades*). Наведене мере су приказане у Табели 6.6.

Табела 6.6: Имплементиране мере успешности

| Мера | Аспект успешности | Израчунавање | Опис |
|--------------------------------------|-------------------|---|---|
| Принос на инвестицију | Ефективност | $ROI_t = \frac{V_t - V_0}{V_0}$ | Број новчаних јединица које зарадимо по једној новчаној јединици почетног капитала |
| Зарада по трансакцији | Ефективност | $PT_t = \frac{V_t - V_0}{NT_t}$ | Број новчаних јединица које зарадимо по једној трансакцији |
| Макс. повлачење вредности портфолија | Ризик | $MD_t = \min\left(\frac{V_t - V_{max}}{V_{max}}, MD_{min}\right)$ | Максимално повлачење у односу на највишу вредност коју је портфолио претрпео током трговања |
| Процент добитних трансакција | Тачност | $\% Win_t = \frac{NT_t^+}{NT_t}$ | Процент трансакција које су резултирале позитивном зарадом |

Ознаке у Табели 6.6: V_0 , V_t и V_{max} су почетна, тренутна и максимална вредност портфолија; NT_t представља број извршених трансакција, а NT_t^+ број позитивних трансакција.

Наведене мере представљају апсолутне показатеље успешности неке стратегије или система за алгоритамско трговање. Да би се сагледала релативна успешност, најчешће се остварене вредности ових мера упоређују са пасивним стратегијама као што су стратегија „купи и држи“ (енг. *buy-and-hold*) и индексно инвестирање. Упоређивање успешности активне стратегије са пасивном стратегијом води ка закључку да ли је улагање напора и ресурса у трговање било оправдано или није.

³⁵ Под једном трансакцијом подразумева се отварање и затварање једне позиције.

7. ИНТЕРПОЛАТИВНИ БУЛОВ ПРИСТУП ФАЗИ МОДЕЛОВАЊУ, АНАЛИЗИ ПОДАТАКА И УПРАВЉАЊУ У АЛГОРИТАМСКОМ ТРГОВАЊУ

У оквиру ове главе рада представљен је интерполативни Булов приступ фази моделовању, анализи података и управљању. Предложени приступ развијен је коришћењем интерполативне Булове алгебре, која је омогућила превазилажење проблема неконзистентности фази логике. У оквиру предложеног приступа, развијени су интерполативни логички модели за препознавање ценовних образаца, логички ДуПонт метод за анализу профитабилности предузећа, интерполативни фази контролер за управљање трговањем, као и модел за обучавање предложеног контролера помоћу генетских алгоритама. Предложени модели и методи тестирани су на подацима са америчког тржишта акција.

7.1. Моделовање ценовних образаца помоћу интерполативне Булове алгебре

Развој алгоритамског трговања створио је потребу за машинским препознавањем образаца у ценовним серијама, при чему посебан изазов за моделовање представљају графички обрасци. У ту сврху потребно је развити моделе који су довољно софистицирани да подражавају људску перцепцију, која лако врши визуелно препознавање облика. У овом поглављу представљени су интерполативни логички модели који се могу користити за фази препознавање графичких образаца јапанских свећица.

Имајући у виду не сасвим прецизне дефиниције образаца јапанских свећица, фази логика се наметнула као природно решење. Ли, Лиу и Чен (Lee, Liu, & Chen, 2006) предложили су фази моделе за препознавање образаца свећица, које су коришћени и у каснијим истраживањима (Lan, Zhang, & Xiong, 2011). Они трансформишу улазне цене (отварање, затварање, највиша и најнижа) у седам фази серија које су описане фази скуповима, након чега примењују ако-онда правила за препознавање.

Поред фундаменталног проблема неконзистентности, класични фази модели испољавају још један недостатак – број параметара (функција припадности) које треба подесити. Често је за њихово подешавање неопходно значајно практично искуство што отежава примену онима који такво искуство не поседују.

Интерполативна Булова алгебра омогућила је развој интерполативних логичких модела образаца јапанских свећица (Rakićević, Nešić, Radojević, & Petrović, 2012; Nešić, Milošević, Rakićević, Petrović, & Radojević, 2013; Milić, Rakićević, Milošević, & Simeunović, 2019). Ови модели су засновани на интерполативним реалцијама или И-релацијама (Radojević, 2005) еквиваленције (\Leftrightarrow), ексклузивне дисјункције (\vee) и импликације (\rightarrow). Интерполативном еквиваленцијом описана је „фази једнакост“ две променљиве, односно њихова сличност

$$O_1 \Leftrightarrow O_2 = (O_1 \wedge O_2) \vee (\neg O_1 \wedge \neg O_2), \quad (52)$$

интерполативном ексклузивном дисјункцијом њихова различитост

$$O_1 \vee O_2 = (O_1 \wedge \neg O_2) \vee (\neg O_1 \wedge O_2), \quad (53)$$

а интерполативном импликацијом релација мање или једнако (\leq), имајући у виду да задовољавају исте особине

$$O_1 \rightarrow O_2 = \neg O_1 \vee O_2. \quad (54)$$

Коришћењем И-релације ексклузивне дисјункције развијен је нов приступ кластеровању – логичко кластеровање (Rakićević, Nešić & Radojević, 2013). Коришћењем тог приступа развијен је систем за алгоритамско трговање и тестиран на подацима са Београдске берзе (Rakićević, Simeunović, Petrović & Milić, 2018). Применом И-релације еквиваленције развијен је ИБА оквир за моделовање слиности (Milošević, Poledica, Rakićević, Dobrić, Petrović & Radojević, 2018).

У Табели 7.1 наведене су класичне (бинарне) релације и њима аналогне интерполативне релације. Применом правила за трансформацију (Поглавље 4.5.6) логички изрази (52), (53) и (54) трансформишу се у генерализоване Булове полиноме. Избором функције генерализованог производа (Поглавље 4.5.5) добијени генерализовани Булови полиноми преводе се у алгебарске облике погодне за израчунавање. У Табели 7.2 приказани су примери израчунавања ових релација.

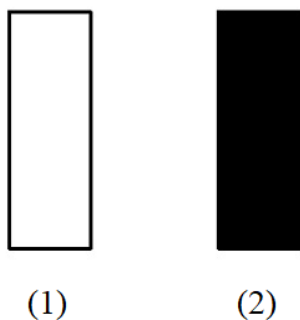
Графички обрасци јапанских свећица могу бити прости (енг. *basic candlestick patterns*) и сложени (енг. *complex candlestick patterns*). Прости обрасци укључују само једну свећицу, за разлику од сложених сложених код којих је укључена формација две или више свећица. Проблем препознавања образаца јапанских свећица можемо разложити на два подпроблема: препознавање тренда и препознавање формације свећица. Ови проблеми засебно су разматрани у наредним секцијама овог поглавља, након чега су предложена решења интергрисана у интерполативне логичке моделе за фази препознавање графичких образаца јапанских свећица.

7.1.1. Препознавање формације свећица

У оквиру ове секције рада представљен је процес моделовања за један прости и један сложени образац. Процес моделовања започиње анализом графичких и вербалних опис образаца свећица, који су доступни у литератури (Nison, 1991; Morris, 2006; Bulkowski, 2012). На основу ових описа формирају се логички изрази (модел) изабраних образаца.

Моделовање простих образаца јапанских свећица

Један од простих образаца јапанских свећица је и Марубозу (енг. *Marubozu*). Овај образац карактерише дугачко тело без или са минималним сенкама на оба краја. Постоје два типа Марубозу обрасца: бели и црни (Слика 7.1). Они репрезентују потпуно супротна стања тржишног сентимента. Бели Марубозу (енг. *White Marubozu*) осликава снажан позитиван сентимент тржишта. У овом обрасцу цена на отварању једнака је или приближна најнижој цени (*a*), док је цена на затварању једнака или приближна највишој цени (*b*).



Слика 7.1: (1) Бели Марубозу (2) Црни Марубозу

Табела 7.1: Интерполативне релације коришћене за моделовање ценовних образаца

| Класична релација | И-релација | Логички израз | Генерализовани Булов полином | Алгебарски израз |
|-------------------|----------------------------|--|--|--|
| $O_1 = O_2$ | $O_1 \Leftrightarrow O_2$ | $(O_1 \wedge O_2) \vee (\neg O_1 \wedge \neg O_2)$ | $1 - \ O_1\ - \ O_2\ + 2(\ O_1\ \otimes \ O_2\)$ | $1 - \ O_1\ - \ O_2\ + 2 \cdot \min(\ O_1\ , \ O_2\)$ |
| $O_1 \neq O_2$ | $O_1 \underline{\vee} O_2$ | $(O_1 \wedge \neg O_2) \vee (\neg O_1 \wedge O_2)$ | $\ O_1\ + \ O_2\ - 2(\ O_1\ \otimes \ O_2\)$ | $\ O_1\ + \ O_2\ - 2 \cdot \min(\ O_1\ , \ O_2\)$ |
| $O_1 \leq O_2$ | $O_1 \rightarrow O_2$ | $\neg O_1 \vee O_2$ | $1 - \ O_1\ + \ O_1\ \otimes \ O_2\ $ | $1 - \ O_1\ + \min(\ O_1\ , \ O_2\)$ |

Табела 7.2: Примери израчунавања интерполативних релација

| O_1 | O_2 | $\ O_1\ $ | $\ O_2\ $ | $O_1 = O_2$ | $O_1 \Leftrightarrow O_2$ | $O_1 \neq O_2$ | $O_1 \underline{\vee} O_2$ | $O_1 \leq O_2$ | $O_1 \rightarrow O_2$ |
|-------|-------|-----------|-----------|-------------|---------------------------|----------------|----------------------------|----------------|-----------------------|
| 5 | 6 | 0,7 | 0,9 | 0 | 0,8 | 1 | 0,2 | 1 | 1 |
| 5 | 5 | 0,7 | 0,7 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 5 | 3 | 0,7 | 0,3 | 0 | 0,6 | 1 | 0,4 | 0 | 0,6 |

Наведени графички и вербални опис Белог Марубозу обрасца могу се записати следећим логичким изразом:

$$\underbrace{(O_{(t)} \Leftrightarrow L_{(t)})}_{(a)} \wedge \underbrace{(C_{(t)} \Leftrightarrow H_{(t)})}_{(b)}, \quad (55)$$

где су $O_{(t)}$, $C_{(t)}$, $H_{(t)}$ и $L_{(t)}$ цене на отварању, затварању, највиша и најнижа цена, респективно.

Применом правила за трансформацију логички израз (55) трансформише се у генерализовани Булов полином:

$$\begin{aligned} & \left[1 - \|O_{(t)}\| - \|L_{(t)}\| + 2 \cdot (\|O_{(t)}\| \otimes \|L_{(t)}\|) \right] \otimes \left[1 - \|C_{(t)}\| - \|H_{(t)}\| + 2 \cdot (\|C_{(t)}\| \otimes \|H_{(t)}\|) \right] = \\ & = 1 - \|O_{(t)}\| - \|L_{(t)}\| - \|C_{(t)}\| - \|H_{(t)}\| + \|O_{(t)}\| \otimes \|C_{(t)}\| + \|L_{(t)}\| \otimes \|C_{(t)}\| + \|O_{(t)}\| \otimes \|H_{(t)}\| + \|L_{(t)}\| \otimes \|H_{(t)}\| \\ & + 2 \cdot \|O_{(t)}\| \otimes \|L_{(t)}\| + 2 \cdot \|C_{(t)}\| \otimes \|H_{(t)}\| - 2 \cdot \|O_{(t)}\| \otimes \|L_{(t)}\| \otimes \|C_{(t)}\| - 2 \cdot \|O_{(t)}\| \otimes \|L_{(t)}\| \otimes \|H_{(t)}\| \\ & - 2 \cdot \|O_{(t)}\| \otimes \|C_{(t)}\| \otimes \|H_{(t)}\| - 2 \cdot \|L_{(t)}\| \otimes \|C_{(t)}\| \otimes \|H_{(t)}\| + 4 \cdot \|O_{(t)}\| \otimes \|L_{(t)}\| \otimes \|C_{(t)}\| \otimes \|H_{(t)}\|, \end{aligned} \quad (56)$$

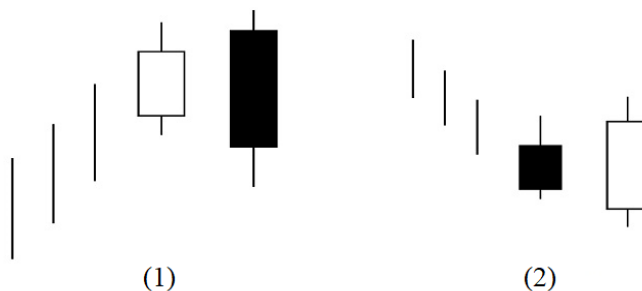
при чему су $\|O_{(t)}\|$, $\|C_{(t)}\|$, $\|L_{(t)}\|$ и $\|H_{(t)}\|$ нормализоване вредности цена на отварању и затварању, најниже и највише цене. За генерализовани производ одабрана је функција $\otimes = \min$, јер цене променљиве исте природе. Коначна форма модела је следећа:

$$\begin{aligned} & 1 - \|O_{(t)}\| - \|L_{(t)}\| - \|C_{(t)}\| - \|H_{(t)}\| \\ & + \min(\|O_{(t)}\|, \|C_{(t)}\|) + \min(\|L_{(t)}\|, \|C_{(t)}\|) + \min(\|O_{(t)}\|, \|H_{(t)}\|) + \min(\|L_{(t)}\|, \|H_{(t)}\|) \\ & + 2 \cdot \min(\|O_{(t)}\|, \|L_{(t)}\|) + 2 \cdot \min(\|C_{(t)}\|, \|H_{(t)}\|) - 2 \cdot \min(\|O_{(t)}\|, \|L_{(t)}\|, \|C_{(t)}\|) \\ & - 2 \cdot \min(\|O_{(t)}\|, \|L_{(t)}\|, \|H_{(t)}\|) - 2 \cdot \min(\|O_{(t)}\|, \|C_{(t)}\|, \|H_{(t)}\|) \\ & - 2 \cdot \min(\|L_{(t)}\|, \|C_{(t)}\|, \|H_{(t)}\|) + 4 \cdot \min(\|O_{(t)}\|, \|L_{(t)}\|, \|C_{(t)}\|, \|H_{(t)}\|). \end{aligned} \quad (57)$$

Добијени резултат представља степен реализације посматраног обрасца.

Модели сложених образаца јапанских свећица

Један од сложених образаца јапанских свећица је и Обавијање (енг. *Engulfing*). Овај образац се састоји од две свећице које су различите боје (а), при чему тело свећице која се формира у тренутку t „обухвата“ тело претходне (б). Постоје два типа обрасца Обавијања: растуће и опадајуће (Слика 7.2). Растуће Обавијање (енг. *Bullish Engulfing*) осликава наглу промену тржишног сентимента (из негативног у позитивни), која наговештава промену ценовног тренда из опадајућег у растући.



Слика 7.2: (1) Опадајуће Обавијање (2) Растуће Обавијање

Логички израз којим се може описати формација Растуће Обавијање је:

$$\underbrace{(C_{(t-1)} \rightarrow O_{(t-1)}) \wedge (O_{(t)} \rightarrow C_{(t)})}_{(a)} \wedge \underbrace{(O_{(t)} \rightarrow C_{(t-1)}) \wedge (O_{(t-1)} \rightarrow C_{(t)})}_{(b)}. \quad (58)$$

Предложени логички израз трансформишемо у следећи генерализовани Булов полином:

$$\begin{aligned} & (1 - \|C_{(t-1)}\| + \|C_{(t-1)}\| \otimes \|O_{(t-1)}\|) \otimes (1 - \|O_{(t)}\| + \|O_{(t)}\| \otimes \|C_{(t)}\|) \otimes (1 - \|O_{(t)}\| + \|O_{(t)}\| \otimes \|C_{(t-1)}\|) \\ & \otimes (1 - \|O_{(t-1)}\| + \|O_{(t-1)}\| \otimes \|C_{(t)}\|) = \\ & = 1 - \|O_{(t)}\| - \|O_{(t-1)}\| - \|C_{(t-1)}\| + \|C_{(t-1)}\| \otimes \|O_{(t)}\| + \|C_{(t-1)}\| \otimes \|O_{(t-1)}\| + \|O_{(t-1)}\| \otimes \|O_{(t)}\| \\ & - \|C_{(t)}\| \otimes \|O_{(t)}\| \otimes \|O_{(t-1)}\| - \|C_{(t-1)}\| \otimes \|O_{(t)}\| \otimes \|O_{(t-1)}\| + \|C_{(t)}\| \otimes \|C_{(t-1)}\| \otimes \|O_{(t)}\| \otimes \|O_{(t-1)}\|. \end{aligned} \quad (59)$$

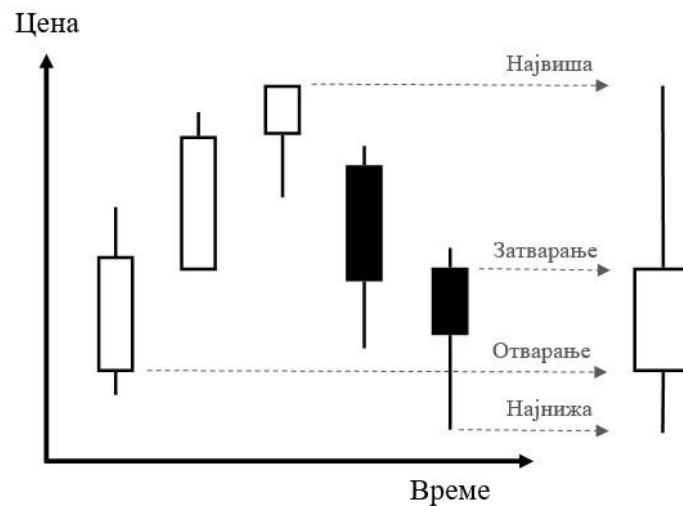
Коначна алгебарска форма модела је:

$$\begin{aligned} & 1 - \|O_{(t)}\| - \|O_{(t-1)}\| - \|C_{(t-1)}\| + \min(\|C_{(t-1)}\|, \|O_{(t)}\|) + \min(\|C_{(t-1)}\|, \|O_{(t-1)}\|) + \min(\|O_{(t-1)}\|, \|O_{(t)}\|) \\ & - \min(\|C_{(t)}\|, \|O_{(t)}\|, \|O_{(t-1)}\|) - \min(\|C_{(t-1)}\|, \|O_{(t)}\|, \|O_{(t-1)}\|) + \min(\|C_{(t)}\|, \|C_{(t-1)}\|, \|O_{(t)}\|, \|O_{(t-1)}\|). \end{aligned} \quad (60)$$

У Табели 7.3 дати су модели простих ценовних образаца јапанских свећица.

7.1.2. Препознавање тренда

Интересантан приступ моделовању ценовног тренда помоћу образаца јапанских свећица предлажу Ли и остали (Lee *et al.*, 2006). Они у ту сврху користе недељне свећице које описују кретање цене за последих 5 трговачких дана (Слика 7.3). Препознавањем облика таквих свећица помоћу фази контролера, у стању су да идентификују тренд.



Слика 7.3: Представљање ценовног тренда помоћу јапанских свећица

Тренд представљен недељном свећицом може се окарактерисати као растући ако та свећица личи на раније помињани образац Бели Марубозу. Обрнуто, тренд се карактерише као опадајући ако недељна свећица личи на Црни Марубозу. Коначно, када анализирана свећица највише личи на образац Дођи тада је тренд неизвесан, тј. нема тренда. Дакле, као модели тренда могу се користити модели за препознавање простих образаца јапанских свећица.

7.1.3. Интерполативни логички модели графичких образаца јапанских свећица

У претходним секцијама поглавља обрађени су проблеми препознавања облика јапанских свећица и препознавања тренда. Синергијом предложених решења добијају се интерполативни логички модели за препознавање графичких образаца јапанских свећица у следећој форми:

$$\text{Модел образаца} = \boxed{\text{тренд}} \wedge \boxed{\text{формација}}. \quad (61)$$

У Табелама 7.2 и 7.3 дати су модели за препознавање сложених графичких образаца јапанских свећица који поред облика формације свећица укључују и тренд који им претходи. Оно што је битно нагласити јесте да су те две компоненте модела независне једна од друге (различите су природе) због чега при одабиру функције генерализованог производа треба водити рачуна. Између променљивих унутар компоненте (тренд или формација) бира се функција минимума, а између променљивих различитих компоненти обичан производ.

Предложени интерполативни модели омогућавају фази препознавање графичких образаца јапанских свећица без нарушавања Буловог логичког оквира. Они укључују мањи број параметара од класичних фази модела, због чега су једноставнији за употребу посебно за оне који немају довољно искуства у трговању. У исто време, довољно су софистицирани да изврше фину (фази) градацију приликом препознавања анализираних образаца. Детаљно тестирање ових модела за алгоритамско трговање биће предмет будућих истраживања аутора.

Увођење интензитета у предложене моделе

У анализираној литератури често се помиње идеја да величина (интензитет) појединачних свећица или њихових формација носи информацију о значајности уоченог образаца. Што је свећица/формација већа, то је информација (сигнал за трговање) значајнија. Имајући ово у виду, проблем препознавања образаца/тренда додатно можемо разложити на проблеме препознавања облика и препознавање интензитета. Тада ће интерполативни логички модели имати следећу форму:

$$\text{Модел образаца} = \boxed{\text{облик тренда}} \wedge \boxed{\text{интензитет тренда}} \wedge \boxed{\text{облик формације}} \wedge \boxed{\text{интензитет формације}}. \quad (62)$$

Свака од компоненти је независна, односно различите природе. Због тога се за функцију генерализованог производа бира обични производ када су у релацији променљиве из различитих компоненти модела.








Интензитет појединачне свећице може се моделовати нормализованом разликом највише и најниже цене у свећици. Избор нормализационе функције зависи од доносиоца одлуке; у дисертацији је предложена макс нормализација:




$$\|H_{(t)} - L_{(t)}\| = \frac{H_{(t)} - L_{(t)}}{\max_{i \in [t-T, t]} (H_{(i)} - L_{(i)})}, \quad (63)$$

где је T период нормализације. Модел интензитета формације је сличан, користи највишу и најнижу цену у целој формацији:

$$\left\| \max_{k \in [t-n, t]} (H_{(k)}) - \max_{k \in [t-n, t]} (L_{(k)}) \right\| = \frac{\max_{k \in [t-n, t]} (H_{(k)}) - \max_{k \in [t-n, t]} (L_{(k)})}{\max_{i \in [t-T, t]} \left(\max_{j \in [i-n, i]} (H_{(j)}) - \max_{j \in [i-n, i]} (L_{(j)}) \right)}. \quad (64)$$

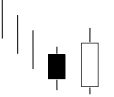

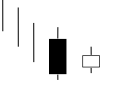
Табела 7.3: Прости графички обрасци свећица и њихови интерполативни логички модели




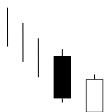
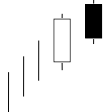

| ГРАФИЧКИ ОПИС | ВЕРБАЛНИ ОПИС | ИНТЕРПОЛАТИВНИ ЛОГИЧКИ МОДЕЛ |
|--|--|---|
| Бели Марубозу (енг. <i>White Marubozu</i>)  | Образац који сигнализира снажан позитиван сентимент тржишта. Описује га свећица са дугачким белим телом (интензитет), без или са веома малим сенкама на обе стране свећице (облик). | $(O_{(t)} \Leftrightarrow L_{(t)}) \wedge (C_{(t)} \Leftrightarrow H_{(t)}) \wedge (H_{(t)} \succeq L_{(t)})$ |
| Црни Марубозу (енг. <i>Black Marubozu</i>)  | Образац који сигнализира снажан негативан сентимент тржишта, супротног описа од обрасца Бели Марубозу. Описује га свећица са дугачким црним телом (интензитет), без или са веома малим сенкама на обе стране свећице (облик). | $(O_{(t)} \Leftrightarrow H_{(t)}) \wedge (C_{(t)} \Leftrightarrow L_{(t)}) \wedge (H_{(t)} \Leftrightarrow L_{(t)})$ |
| Дођи (енг. <i>Doji</i>)  | Овај образац сигнализира неизвесности на тржишту. Дођи се формира када су цена на отварању исте или бар приближне (облик). Дужине сенки могу варирати, али ако су изразито дуге могу дају значајност обрасцу (интензитет). | $(O_{(t)} \Leftrightarrow C_{(t)}) \wedge (H_{(t)} \Leftrightarrow L_{(t)})$ |
| Надгробни споменик (енг. <i>Gravestone Doji</i>)  | Једна од могућих реализација општег Дођи обрасца. Сигнализира неизвесност, али уз негативни сентимент тржишта. Настаје када су цена на отварању и цена на затварању једнаке или приближне најнижој цени у току дана (облик). Као и код других образаца, значајност му је већа уколико је горња сенка дужа (интензитет). | $(H_{(t)} \Leftrightarrow L_{(t)})$ |
| Вилин коњиц (енг. <i>Dragonfly Doji</i>)  | Још једна форма Дођи обрасца. Сигнализира неизвесност, али уз позитиван сентимент тржишта. Настаје када су цена на отварању и цена на затварању једнаке или приближне највишој цени у току дана (облик). Дужа доња сенка даје значајност обрасцу (интензитет). | $(O_{(t)} \Leftrightarrow L_{(t)}) \wedge (C_{(t)} \Leftrightarrow L_{(t)}) \wedge (H_{(t)} \Leftrightarrow L_{(t)})$ |
| Четири цене (енг. <i>Four Price Doji</i>)  | Врло редак облик Дођи обрасца. Настаје када су све четири цене једнаке или приближне (облик). Сигнализира мањак активности на тржишту. | $(O_{(t)} \Leftrightarrow H_{(t)}) \wedge (C_{(t)} \Leftrightarrow H_{(t)}) \wedge (H_{(t)} \Leftrightarrow L_{(t)})$ |
| Чекић (енг. <i>Hammer</i>)  | Сигнализира могућ преокрет постојећег ценовног тренда. Описује га мало реално тело које се налази у горњем делу трговачког опсега (разлика највише и најниже цене). Има врло малу или непостојећу горњу сенку и дугу (два до три пута већу од тела) доњу сенку (облик). Као и код других образаца, значајност сигнала пропорционална је дужини свећице (интензитет). | $(C_{(t)} \Leftrightarrow H_{(t)}) \wedge (O_{(t)} \Leftrightarrow 0,75) \wedge (H_{(t)} \succeq L_{(t)})$ |


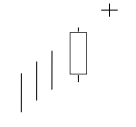
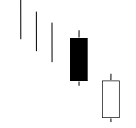
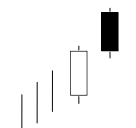
| | | |
|---|--|--|
| <p>Обрнути чекић (енг. <i>Inverted Hammer</i>)</p>  | <p>Као и претходни, сигнализира могућ преокрет постојећег ценовног тренда. Описује га мало реално тело које се налази у доњем делу трговачког опсега. Има врло малу или непостојећу доњу сенку и дугу горњу сенку.</p> | $(O_{(t)} \Leftrightarrow L_{(t)}) \wedge (C_{(t)} \Leftrightarrow 0,25) \wedge (H_{(t)} \succeq L_{(t)})$ |
| <p>Висећи човек (енг. <i>Hanging Man</i>)</p>  | <p>Сигнал могућег преокрета постојећег ценовног тренда. Истог је облика као и чекић, али је црне боје.</p> | $(O_{(t)} \Leftrightarrow H_{(t)}) \wedge (C_{(t)} \Leftrightarrow 0,75) \wedge (H_{(t)} \succeq L_{(t)})$ |
| <p>Звезда падалица (енг. <i>Shooting Star</i>)</p>  | <p>Као и претходна три, сигнализира могући преокрет тренда. Истог је облика као и обрнути чекић, али је црне боје.</p> | $(C_{(t)} \Leftrightarrow L_{(t)}) \wedge (O_{(t)} \Leftrightarrow 0,25) \wedge (H_{(t)} \succeq L_{(t)})$ |

Ознаке у Табели 7.3: O_t је цена на отварању, C_t цена на затварању, H_t највиша цена, а L_t најнижа цена.

Табела 7.4: Сложени (двоструки) графички обрасци свећица и њихови интерполативни логички модели

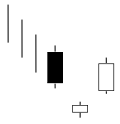
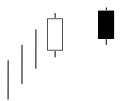
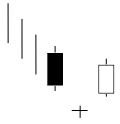

| ГРАФИЧКИ ОПИС | ВЕРБАЛНИ ОПИС | ИНТЕРПОЛАТИВНИ ЛОГИЧКИ МОДЕЛ |
|---|---|---|
| <p>Растуће Обавијање (енг. <i>Bullish Engulfing</i>)</p>  | <p>Образац Растућег Обавијања се може појавити након опадајућег тренда. Тело претпоследње свећице мора бити потпуно обавијено телом последње исцртане свећице. Боја прве свећице треба да одражава тренд (црна), док би друга требало да буде супротне боје (бела).</p> | $\left[(O_{(trend)} \Leftrightarrow H_{(trend)}) \wedge (C_{(trend)} \Leftrightarrow L_{(trend)}) \right] \wedge \left[(O_{(t)} \rightarrow C_{(t-1)}) \wedge (O_{(t-1)} \rightarrow C_{(t)}) \right] \wedge \left[(C_{(t-1)} \rightarrow O_{(t-1)}) \wedge (O_{(t)} \rightarrow C_{(t)}) \right]$ |
| <p>Опадајуће Обавијање (енг. <i>Bearish Engulfing</i>)</p>  | <p>Образац Опадајућег Обавијања се може појавити након растућег тренда. Тело прве свећице је, као и у претходном, у потпуности обавијено телом друге. Боја прве одражава претходни тренд (бела), а боја друге наговештава промену (црна).</p> | $\left[(C_{(trend)} \Leftrightarrow H_{(trend)}) \wedge (O_{(trend)} \Leftrightarrow L_{(trend)}) \right] \wedge \left[(C_{(t)} \rightarrow O_{(t-1)}) \wedge (C_{(t-1)} \rightarrow O_{(t)}) \right] \wedge \left[(O_{(t-1)} \rightarrow C_{(t-1)}) \wedge (C_{(t)} \rightarrow O_{(t)}) \right]$ |
| <p>Растући Харам (енг. <i>Bullish Harami</i>)</p>  | <p>Растући Харам се може појавити након опадајућег тренда. Харам образац карактерише обрнуто обавијање – прва свећица обавија другу. Тело прве свећице је велико и у складу са претходним трендом (црно). Друга свећица је мала и супротне боје (бела).</p> | $\left[(O_{(trend)} \Leftrightarrow H_{(trend)}) \wedge (C_{(trend)} \Leftrightarrow L_{(trend)}) \right] \wedge \left[(C_{(t)} \rightarrow O_{(t-1)}) \wedge (C_{(t)} \rightarrow O_{(t-1)}) \right] \wedge \left[(C_{(t-1)} \rightarrow O_{(t)}) \wedge (O_{(t)} \rightarrow C_{(t)}) \right]$ |

| | | |
|--|---|---|
| <p>Опадајући Харами (енг. <i>Bearish Harami</i>)</p>  | <p>Дефиниција Опадајућег Харами обрасца описује обрнуту ситуацију од претходно објашњеног растућег харамија: прва свећица је беле боје (у складу са растућим трендом), а друга црна (у складу са променом коју наговештава). се може појавити након растућег тренда.</p> | $\left[\left(C_{(trend)} \Leftrightarrow H_{(trend)} \right) \wedge \left(O_{(trend)} \Leftrightarrow L_{(trend)} \right) \right] \wedge$ $\wedge \left[\left(O_{(t-1)} \rightarrow C_{(t-1)} \right) \wedge \left(O_{(t)} \rightarrow C_{(t-1)} \right) \right] \wedge \left[\left(O_{(t-1)} \rightarrow C_{(t)} \right) \wedge \left(C_{(t)} \rightarrow O_{(t)} \right) \right]$ |
| <p>Растући Харами крст (енг. <i>Bullish Harami Cross</i>)</p>  | <p>Растући Харами крст је подтип основног растућег харами обрасца. У складу са дефиницијом основног харами обрасца, прва свећица одражава претходни тренд (црна), док је друга супротне боје (бела) и најављује промену тренда у растући. Специфичност обрасца харами крст је у томе што друга свећица нема реално тело, тј. представља Дођи образац.</p> | $\left[\left(O_{(trend)} \Leftrightarrow H_{(trend)} \right) \wedge \left(C_{(trend)} \Leftrightarrow L_{(trend)} \right) \right] \wedge$ $\wedge \left[\left(C_{(t-1)} \rightarrow O_{(t-1)} \right) \wedge \left(O_{(t)} \rightarrow C_{(t-1)} \right) \right] \wedge \left[\left(C_{(t-1)} \rightarrow L_{(t)} \right) \wedge \left(H_{(t)} \rightarrow O_{(t-1)} \right) \right]$ |
| <p>Опадајући Харами крст (енг. <i>Bearish Harami Cross</i>)</p>  | <p>Аналогно претходном случају, овај образац представља подтип Опадајућег Харами обрасца. Његова специфичност је што друга свећица у обрасцу јесте Дођи образац.</p> | $\left[\left(C_{(trend)} \Leftrightarrow H_{(trend)} \right) \wedge \left(O_{(trend)} \Leftrightarrow L_{(trend)} \right) \right] \wedge$ $\wedge \left[\left(O_{(t-1)} \rightarrow C_{(t-1)} \right) \wedge \left(O_{(t)} \rightarrow C_{(t)} \right) \right] \wedge \left[\left(O_{(t-1)} \rightarrow L_{(t)} \right) \wedge \left(H_{(t)} \rightarrow C_{(t-1)} \right) \right]$ |
| <p>Пробијање (енг. <i>Piercing</i>)</p>  | <p>Образац Пробијање се јавља након опадајућег тренда. Првог дана се јавља дуго црно тело које наставља постојећи тренд. Другог дана тржиште се отвара испод нивоа претходног затварања, правећи јаз између те две цене. Јаз се до краја дана попуњава, па цена на затварању завршава у ценовном опсегу тела претходне свећице.</p> | $\left[\left(O_{(trend)} \Leftrightarrow H_{(trend)} \right) \wedge \left(C_{(trend)} \Leftrightarrow L_{(trend)} \right) \right] \wedge \left(C_{(t-1)} \rightarrow O_{(t-1)} \right)$ $\wedge \left[\left(O_{(t)} \rightarrow C_{(t)} \right) \wedge \left(O_{(t)} \rightarrow L_{(t-1)} \right) \right] \wedge \left[\left(C_{(t)} \rightarrow O_{(t-1)} \right) \wedge \left(C_{(t-1)} \rightarrow C_{(t)} \right) \right]$ |
| <p>Тамни облак (енг. <i>Dark Cloud Cover</i>)</p>  | <p>Образац Тамни облак се јавља након растућег тренда. Првог дана се јавља дуго бело тело које наставља тренд. Другог дана се јавља црно тело које се отвара изнад највише постигнуте цене из претходног дана, а затвара на цени која је нижа од нивоа јучерашњег затварања и виша од нивоа јучерашњег отварања.</p> | $\left[\left(C_{(trend)} \Leftrightarrow H_{(trend)} \right) \wedge \left(O_{(trend)} \Leftrightarrow L_{(trend)} \right) \right] \wedge \left(O_{(t-1)} \rightarrow C_{(t-1)} \right)$ $\wedge \left[\left(C_{(t)} \rightarrow O_{(t)} \right) \wedge \left(H_{(t-1)} \rightarrow H_{(t)} \right) \right] \wedge \left[\left(O_{(t-1)} \rightarrow C_{(t)} \right) \wedge \left(C_{(t)} \rightarrow C_{(t-1)} \right) \right]$ |
| <p>Растућа Дођи звезда (енг. <i>Bullish Doji Star</i>)</p>  | <p>Растућа Дођи звезда је образац који указује на снажни негативни сентимент тржишта (панику). Првог дана, јавља се дуго црно тело у складу са претходним опадајућим трендом. Другог дана, цена се отвара доста ниже у односу на цену на затварању претходног дана,</p> | $\left[\left(O_{(trend)} \Leftrightarrow H_{(trend)} \right) \wedge \left(C_{(trend)} \Leftrightarrow L_{(trend)} \right) \right] \wedge \left(C_{(t-1)} \rightarrow O_{(t-1)} \right)$ $\wedge \left[\left(O_{(t)} \Leftrightarrow C_{(t)} \right) \wedge \left(H_{(t)} \rightarrow L_{(t-1)} \right) \right] \wedge \left(H_{(t)} \Leftrightarrow L_{(t)} \right)$ |

| | | |
|--|---|---|
|  | <p>стварајући дубок ценовни јаз. До краја другог дана, цена не успева да испуни створени јаз, затворивши се на нивоу који је приближан отварању (формира Дођи образац).</p> | |
| <p>Опадајућа Дођи звезда (енг. <i>Bearish Doji Star</i>)</p>  | <p>Опадајућа Дођи звезда сугерише постојање јаким позитивних емоција међу учесницима на тржишту (еуфорија). Јавља се након растућег тренда. Прва свећица одражава постојећи тренд (беле је боје), након чега се јавља Дођи образац са приметним ценовним јазом у односу на прву свећицу.</p> | $\left[\left(C_{(trend)} \Leftrightarrow H_{(trend)} \right) \wedge \left(O_{(trend)} \Leftrightarrow L_{(trend)} \right) \right] \wedge \left(O_{(t-1)} \rightarrow C_{(t-1)} \right) \\ \wedge \left[\left(O_{(t)} \Leftrightarrow C_{(t)} \right) \wedge \left(H_{(t-1)} \rightarrow L_{(t)} \right) \right] \wedge \left(H_{(t)} \Leftrightarrow L_{(t)} \right)$ |
| <p>Растућа Линија сусрета (енг. <i>Bullish Meeting Lines</i>)</p>  | <p>Растућа Линија сусрета јавља се након опадајућег тренда. Прва свећица одражава тренд (црне је боје), а друга наговештава промену (бела). Иако се другог дана цена отвара на нивоу доста нижем од претходног затварања, цена успева да затвори настали јаз па се цене на затварању првог и другог дана „сусрећу“.</p> | $\left[\left(O_{(trend)} \Leftrightarrow H_{(trend)} \right) \wedge \left(C_{(trend)} \Leftrightarrow L_{(trend)} \right) \right] \wedge \\ \wedge \left[\left(C_{(t-1)} \rightarrow O_{(t-1)} \right) \wedge \left(O_{(t)} \rightarrow C_{(t)} \right) \right] \wedge \left(C_{(t-1)} \rightarrow C_{(t)} \right)$ |
| <p>Опадајућа Линија сусрета (енг. <i>Bearish Meeting Lines</i>)</p>  | <p>Опадајућа Линија сусрета јавља се након растућег тренда. Прва свећица је бела (у складу са претходно растућим трендом), док друга црном бојом најављује могућу промену. Образац карактерише сусрет цена на затварању првог и другог дана.</p> | $\left[\left(C_{(trend)} \Leftrightarrow H_{(trend)} \right) \wedge \left(C_{(trend)} \Leftrightarrow L_{(trend)} \right) \right] \wedge \\ \wedge \left[\left(O_{(t-1)} \rightarrow C_{(t-1)} \right) \wedge \left(C_{(t)} \rightarrow O_{(t)} \right) \right] \wedge \left(C_{(t-1)} \Leftrightarrow C_{(t)} \right)$ |

Ознаке у Табели 7.4: O_{trend} је цена на отварању периода тренда, C_{trend} цена на затварању, H_{trend} највиша цена, а L_{trend} најнижа постигнута цена током периода.

Табела 7.5: Сложени (троструки) графички обрасци свећица и њихови интерполативни логички модели

| ГРАФИЧКИ ОПИС | ВЕРБАЛНИ ОПИС | ИНТЕРПОЛАТИВНИ ЛОГИЧКИ МОДЕЛ |
|--|---|---|
| <p>Јутарња Звезда (енг. <i>Morning Star</i>)</p>  | <p>Јутарња Звезда се може формирати након опадајућег тренда. Први дан одражава тренд, што значи да је тело свећице црне боје. Другог дана цена се отвара далеко од нивоа затварања претходног дана, те се формира ценовни јаз који неће бити испуњен до краја дана. Оно што је карактеристично за други дан јесте то да се не разматра да ли је цена тог дана расла или падала (боја свећице није битна). Трећег дана дешава се промена у тржишном сентименту, па је свећица беле боје наговештавајући промену ценовног тренда.</p> | $\left[\left(O_{(trend)} \Leftrightarrow H_{(trend)} \right) \wedge \left(C_{(trend)} \Leftrightarrow L_{(trend)} \right) \right] \wedge \left(C_{(t-2)} \rightarrow O_{(t-2)} \right)$ $\wedge \left[\left(O_{(t-1)} \Leftrightarrow C_{(t-1)} \right) \wedge \left[\left(O_{(t-1)} \rightarrow C_{(t-2)} \right) \wedge \left(C_{(t-1)} \rightarrow C_{(t-2)} \right) \right] \right] \wedge$ $\wedge \left[\left(O_{(t)} \rightarrow C_{(t)} \right) \wedge \left(C_{(t-2)} \rightarrow C_{(t)} \right) \right]$ |
| <p>Вечерња Звезда (енг. <i>Evening Star</i>)</p>  | <p>Вечерња Звезда се може формирати након растућег тренда. Први дан одражава тренд, што значи да је тело свећице за први дан бело. Други дан је свећица са малим телом, издвојена од тела првог дана у смеру претходног тренда. Њена боја није важна. Свећица за трећи дан је увек супротне боје од боје првог дана. У овом случају то је црна боја.</p> | $\left[\left(C_{(trend)} \Leftrightarrow H_{(trend)} \right) \wedge \left(O_{(trend)} \Leftrightarrow L_{(trend)} \right) \right] \wedge \left(O_{(t-2)} \rightarrow C_{(t-2)} \right)$ $\wedge \left[\left(O_{(t-1)} \Leftrightarrow C_{(t-1)} \right) \wedge \left[\left(C_{(t-2)} \rightarrow O_{(t-1)} \right) \vee \left(C_{(t-2)} \rightarrow C_{(t-1)} \right) \right] \right] \wedge$ $\wedge \left[\left(C_{(t)} \rightarrow O_{(t)} \right) \wedge \left(C_{(t)} \rightarrow C_{(t-2)} \right) \right]$ |
| <p>Растуће Напуштено дете (енг. <i>Bullish Abandoned Baby</i>)</p>  | <p>Овај образац је подтип претходно ообјашњеног обрасца Јутарње Звезде. Једина разлика у дефиницији је у томе што образац Растуће Напуштено дете у другом дану формира Дођи образац.</p> | $\left[\left(O_{(trend)} \Leftrightarrow H_{(trend)} \right) \wedge \left(C_{(trend)} \Leftrightarrow L_{(trend)} \right) \right] \wedge \left(C_{(t-2)} \rightarrow O_{(t-1)} \right)$ $\wedge \left[\left(O_{(t-1)} \Leftrightarrow C_{(t-1)} \right) \wedge \left(H_{(t-1)} \rightarrow L_{(t-2)} \right) \right] \wedge$ $\wedge \left[\left(O_{(t)} \rightarrow C_{(t)} \right) \wedge \left(H_{(t-1)} \rightarrow L_{(t)} \right) \right]$ |
| <p>Опадајуће Напуштено дете (енг. <i>Bearish Abandoned Baby</i>)</p>  | <p>Као и у претходном случају, образац Опадајуће Напуштено дете представља подтип обрасца Вечерње Звезде који у другом дану формира Дођи образац.</p> | $\left[\left(C_{(trend)} \Leftrightarrow H_{(trend)} \right) \wedge \left(O_{(trend)} \Leftrightarrow L_{(trend)} \right) \right] \wedge \left(O_{(t-2)} \rightarrow C_{(t-2)} \right)$ $\wedge \left[\left(O_{(t-1)} \Leftrightarrow C_{(t-1)} \right) \wedge \left(H_{(t-2)} \rightarrow L_{(t-1)} \right) \right] \wedge$ $\wedge \left[\left(C_{(t)} \rightarrow O_{(t)} \right) \wedge \left(H_{(t)} \rightarrow L_{(t-1)} \right) \right]$ |

Растуће Три звезде
(енг. *Bullish Tri Star*)



Растуће Три звезде могу да се формирају након опадајући тренда. Сва три дана описана су Дођи обрасцима, при чему је други одвојен ценовним јазом од најнижег постигнутог нивоа првог и другог дана.

$$\begin{aligned} & \left[\left(O_{(trend)} \Leftrightarrow H_{(trend)} \right) \wedge \left(C_{(trend)} \Leftrightarrow L_{(trend)} \right) \right] \wedge \\ & \wedge \left[\left(O_{(t-2)} \Leftrightarrow C_{(t-2)} \right) \wedge \left(O_{(t-1)} \Leftrightarrow C_{(t-1)} \right) \wedge \left(O_{(t)} \Leftrightarrow C_{(t)} \right) \right] \wedge \\ & \wedge \left[\left(O_{(t-1)} \Leftrightarrow C_{(t-2)} \right) \wedge \left(O_{(t-1)} \rightarrow C_{(t-2)} \right) \wedge \left(C_{(t-1)} \rightarrow O_{(t-2)} \right) \wedge \left(C_{(t-1)} \rightarrow C_{(t-2)} \right) \right] \wedge \\ & \wedge \left[\left(O_{(t-1)} \rightarrow O_{(t)} \right) \wedge \left(O_{(t-1)} \rightarrow C_{(t)} \right) \wedge \left(C_{(t-1)} \rightarrow O_{(t)} \right) \wedge \left(C_{(t-1)} \rightarrow C_{(t)} \right) \right] \end{aligned}$$

Опадајуће Три звезде
(енг. *Bearish Tri Star*)



Опадајуће Три звезде могу да се формирају након растућег тренда. Описују га три узастопна Дођи обрасца. Друга свећица формира ценовни јаз у односу на највиши достигнути ценовни ниво код прве и треће свећице.

$$\begin{aligned} & \left[\left(C_{(trend)} \Leftrightarrow H_{(trend)} \right) \wedge \left(O_{(trend)} \Leftrightarrow L_{(trend)} \right) \right] \wedge \\ & \wedge \left[\left(O_{(t-2)} \Leftrightarrow C_{(t-2)} \right) \wedge \left(O_{(t-1)} \Leftrightarrow C_{(t-1)} \right) \wedge \left(O_{(t)} \Leftrightarrow C_{(t)} \right) \right] \wedge \\ & \wedge \left[\left(O_{(t-2)} \rightarrow O_{(t-1)} \right) \wedge \left(C_{(t-2)} \rightarrow O_{(t-1)} \right) \wedge \left(O_{(t-2)} \rightarrow C_{(t-1)} \right) \wedge \left(C_{(t-2)} \rightarrow C_{(t-1)} \right) \right] \wedge \\ & \wedge \left[\left(O_{(t)} \rightarrow O_{(t-1)} \right) \wedge \left(C_{(t)} \rightarrow O_{(t-1)} \right) \wedge \left(O_{(t)} \rightarrow C_{(t-1)} \right) \wedge \left(C_{(t)} \rightarrow C_{(t-1)} \right) \right] \end{aligned}$$

Три бела војника
(енг. *Three White Soldiers*)



Образац Три бела војника састоји се од три узастопне беле свећице дугих тела које се јављају након опадајућег тренда. Свака од свећица се затвара на нивоу вишем од претходног затварања и приближна је највишој постигнутој цени у току дана. Цена на отварања сваког наредног дана је виша од отварања претходног дана.

$$\begin{aligned} & \left[\left(O_{(trend)} \Leftrightarrow H_{(trend)} \right) \wedge \left(C_{(trend)} \Leftrightarrow L_{(trend)} \right) \right] \wedge \\ & \wedge \left[\left(O_{(t-2)} \rightarrow C_{(t-2)} \right) \wedge \left(O_{(t-1)} \rightarrow C_{(t-1)} \right) \wedge \left(O_{(t)} \rightarrow C_{(t)} \right) \right] \wedge \\ & \wedge \left[\left(C_{(t-2)} \rightarrow C_{(t-1)} \right) \wedge \left(C_{(t-1)} \rightarrow C_{(t)} \right) \right] \wedge \\ & \wedge \left[\left(O_{(t-2)} \rightarrow O_{(t-1)} \right) \wedge \left(O_{(t-1)} \rightarrow C_{(t-2)} \right) \wedge \left(O_{(t-1)} \rightarrow O_{(t)} \right) \wedge \left(O_{(t)} \rightarrow C_{(t-1)} \right) \right] \wedge \\ & \wedge \left[\left(C_{(t-2)} \Leftrightarrow H_{(t-2)} \right) \wedge \left(C_{(t-1)} \Leftrightarrow H_{(t-1)} \right) \wedge \left(C_{(t)} \Leftrightarrow H_{(t)} \right) \right] \end{aligned}$$

Три црне круне
(енг. *Three Black Crowns*)



Образац Три црне круне супротан је претходно објашњеном обрасцу Три бела војника. Три узастопне црне свећице великих тела формирају се након растућег тренда. Свака од свећица има цену на затварању која је нижа од нивоа затварања претходне свећице и, уједно приближна, најнижој постигнутој цени у току дана. Цене на отварању свећица су ниже из дана у дан.

$$\begin{aligned} & \left[\left(C_{(trend)} \Leftrightarrow H_{(trend)} \right) \wedge \left(O_{(trend)} \Leftrightarrow L_{(trend)} \right) \right] \wedge \\ & \wedge \left[\left(C_{(t-2)} \rightarrow O_{(t-2)} \right) \wedge \left(C_{(t-1)} \rightarrow O_{(t-1)} \right) \wedge \left(C_{(t)} \rightarrow O_{(t)} \right) \right] \wedge \\ & \wedge \left[\left(C_{(t-1)} \rightarrow C_{(t-2)} \right) \wedge \left(C_{(t)} \rightarrow C_{(t-1)} \right) \right] \wedge \\ & \wedge \left[\left(O_{(t-1)} \rightarrow O_{(t-2)} \right) \wedge \left(C_{(t-2)} \rightarrow O_{(t-1)} \right) \wedge \left(O_{(t)} \rightarrow O_{(t-1)} \right) \wedge \left(C_{(t-1)} \rightarrow O_{(t)} \right) \right] \\ & \wedge \left[\left(C_{(t-2)} \Leftrightarrow L_{(t-2)} \right) \wedge \left(C_{(t-1)} \Leftrightarrow H_{(t-1)} \right) \wedge \left(C_{(t)} \Leftrightarrow H_{(t)} \right) \right] \end{aligned}$$

7.2. Фундаментална ДуПонт анализа применом метода анализе логичке структуре података

Предложени метод анализе логичке структуре података заснива се на теорији ИБА. Развијен је кроз истраживање интерполативног приступа фази ДуПонт анализи пословања компанија за потребе аутоматизације инвестиционог одлучивања, односно алгоритамског трговања (Rakićević, Milošević & Poledica, 2014; Rakićević, Milošević, Petrović, & Radojević, 2016; Rakićević & Milošević, 2017; Rakićević, Milošević, Poledica, Dragović, & Petrović, 2019). У овом поглављу представљен је у општем облику, који може имати широку примену у аутоматизованој анализи и интерпретацији података.

У складу са Оксфордским речником филозофије (Blackburn, 2005), анализу можемо дефинисати као процес разбијања комплексних у простије целине с циљем откривања њихових логичких структура.

Логичку структуру података³⁶ (ЛСП) дефинисаћемо као уређени пар

$$H = (U_\alpha(\Omega), \nu), \quad (65)$$

где је $U_\alpha(\Omega)$ универзум атомских елемената ИБА $\alpha(S)(a_1, \dots, a_n)$, које се могу генерисати над скупом атрибута $\Omega = \{a_1, \dots, a_n\}$, а $\nu: U_\alpha(\Omega) \rightarrow [0,1]$ вредносне реализације атомских елемената за конкретне вредности посматраних атрибута. Дакле, атомски елементи ИБА представљају елементе ЛСП.

Имајући у виду да је сума атомских елемената у ИБА увек једнака 1, вредносне реализације ν елемената ЛСП представљају њихове уделе у структури. Идентификацију ЛСП представља процес генерисања елемената ЛСП и израчунавање њихових удела за задате вредности атрибута a_1, \dots, a_n . Једном идентификована, ЛСП нам омогућава да утврдимо у којој мери сваки од њених елемената описује анализиране вредности атрибута.

Процес анализе природно се наставља процесом интерпретације добијених резултата. Интерпретација додељује значење резултатима анализе, синтетишући их у закључак – употребљиву информацију. Метод анализе ЛСП нам омогућава да проблем интерпретације задатих вредности атрибута a_1, \dots, a_n трансформишемо у проблем интерпретације њихове ЛСП.

Интерпретација ЛСП се може представити као синтеза (агрегација) тумачења појединачних елемената у структури. Овим се отвара простор за увођење одређене функције или алгоритма за интерпретацију који би појединачна тумачења агрегирао у коначну интерпретацију ЛСП. Дефинисање такве функције/алгоритма омогућило би аутоматизацију процеса интерпретације резултата анализе. У прилогу оваквом приступу иде то што елементи ЛСП немају међусобне пресеке (представљају „чисте“ случајеве) што умногоме олакшава дефинисање њихових значења.

³⁶ Дефинисану логичку структуру података не треба мешати са структуром елемената у теорији ИБА (Поглавље 4.5.2) која представља везу између симболичког и вредносног нивоа интерполативне Булове алгебре.

Комплетна процедура предложеног метода састоји се од следећих корака:

1. *избор атрибута за анализу* – дефинишемо скуп (примарних) атрибута Ω ;
2. *генерисање елемената ЛСП* – (користећи теорију ИБА) генеришемо универзум атомских логичких функција $U_\alpha(\Omega)$ за посматрани скуп атрибута; број елемената ЛСП је $N = 2^n$, за n анализираних атрибута;
3. *додела тумачења елементима ЛСП* – значења елемената могу бити дефинисана квалитативно (нпр. пожељни, непожељни и неутрални обрасци) или квантитативно (нпр. реалне вредности из интервала $[-1, 1]$);
4. *нормализација анализираних вредности атрибута* – помоћу изабране функције нормализације преводимо изворне вредности анализираних атрибута у јединични интервал $[0, 1]$;
5. *израчунавање учешћа/удела елемената у ЛСП* – (користећи правила из Поглавља 4.5.6) трансформишемо логичке функције у алгебарске и израчунавамо учешћа елемената у ЛСП на основу нормализованих вредности атрибута;
6. *интерпретација ЛСП* – агрегација тумачења појединачних елемената структуре коришћењем одређене функције и/или алгоритма за интерпретацију; у оквиру дисертације биће предложена два могућа приступа који су детаљније објашњени у Поглављу 7.2.2.

7.2.1. Логичка ДуПонт анализа

У финансијском управљању компанијом, компоненте добијене ДуПонт декомпозицијом третирају се као управљачке променљиве помоћу којих је могуће утицати на профитабилности компаније (*ROE* показатељ). На основу тога управа компаније може да одлучи да примени одређену стратегију, тј. модел пословања како би акционарима повећала принос на капитал. На пример, компаније са иновативним производима често су у могућности да остваре високе нето профитне марже као основни извор високих вредности *ROE*. Са друге стране, оне са тржишно зрелим производима имају ограничене могућности за подизање марже, због чега морају тежити повећању ефикасности (*AT*) или повећању ризика пословања (*FL*).

Имајући у виду да постоје три управљачке компоненте $\Omega = \{NPM, AT, FL\}$ које анализирамо у оквиру ДуПонт методе, логичка структура података ће се састојати од осам елемената $\alpha(\Omega)$ који описују пословне обрасце (моделе пословања). У Табели 7.7 су приказани елементи ЛСП и дата њихова тумачења.

На следећем примеру приказана је реализација ДуПонт анализе применом предложеног приступа анализе логичке структуре података. Претпоставимо да је анализирани скуп изворних и нормализованих вредности ДуПонт компоненти задат Табелом 7.6.

Табела 7.6: Анализиране вредности ДуПонт компоненти

| Компанија | <i>ROE</i> | <i>ROA</i> | <i>NPM</i> | <i>AT</i> | <i>FL</i> | $\ NPM\ $ | $\ AT\ $ | $\ FL\ $ |
|-----------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| C_1 | 0,09 | 0,03 | 0,15 | 0,2 | 3 | 0,6 | 0,2 | 0,3 |

Табела 7.7: Елементи ЛСП и њихова тумачења

| $\alpha_i (\Omega)$ | Логички израз | Тумачење | Тумачење (квалитат.) | Тумачење (квантит.) |
|---------------------|--|--|----------------------|---------------------|
| α_1 | $NPM \wedge AT \wedge \neg FL$ | Профитна маржа и коефицијент обрта средстава резултат су декомпозиције <i>ROA</i> показатеља. Према Хигинсу (Higgins, 2007) идеални случај је онај у коме компанија послује ефективно (висока профитна маржа) и ефикасно (висок ниво обрта средстава). У случају када такво пословање носи мали финансијски ризик (низак ниво леверица), модел се може сматрати идеалним. Ипак, у пракси је он тешко достижан. | Пожељан | +1 |
| α_2 | $NPM \wedge AT \wedge FL$ | Ради повећања ефективности и ефикасности пословања вреди преузети и већи ризик. Због тога, висок ниво ризика у овом случају неће имати негативан утицај на одрживост пословања, што овај модел чини пожељним с аспекта инвестиционе анализе. | Пожељан | +0,8 |
| α_3 | $NPM \wedge \neg AT \wedge \neg FL$ | Искуство из реалне праксе показује да компаније које остварују високе профитне марже најчешће имају низак обрт средстава, и обрнуто. Ово се најчешће дешава због тога што уградња додатне вредности у производ изискује велику количину средстава. Низак ризик пословања чини овај модел прихватљивим у инвестиционој анализи. | Пожељан | +0,8 |
| α_4 | $NPM \wedge \neg AT \wedge FL$ | У случају када постоји висок финансијски ризик, претходни модел пословања ће бити одржив онолико дуго колико руководство компанија буде способно да одржи профитну маржу на нивоу вишем од камате на позајмљена средства. То представља значајан фактор ризика, често неприхватљив инвеститорима с аверзијом ка ризику. | Пожељан | +0,5 |
| α_5 | $\neg NPM \wedge AT \wedge \neg FL$ | Као што је већ поменуто, компанија са ниском профитном маржом најчешће теже да остваре висок обрт средстава. Уколико при томе успеју да задрже низан ниво финансијског леверица, њихов модел ће бити прихватљив инвеститорима. | Пожељан | +0,5 |
| α_6 | $\neg NPM \wedge AT \wedge FL$ | Висок финансијски ризик у комбинацији са ниском ефективношћу чини пословање изузетно неизвесним, због чега је неприхватљиво за већину инвеститора. | Неутралан | 0 |
| α_7 | $\neg NPM \wedge \neg AT \wedge \neg FL$ | Ниска маржа и слаб обрт средстава представљају сигнал да постоји проблем у начину на који фирма обавља своје пословне операције. Ипак, низак левериц омогућава додатно задуживање које би омогућило унапређење пословних процеса или покретање новог производа/услуге зарад промене стања. Тумачење овог обрасца најчешће ће зависити од склоности инвеститора ка ризику. | Неутралан | -0,2 |
| α_8 | $\neg NPM \wedge \neg AT \wedge FL$ | Комбинација неефективности и неефикасност, праћене високим ризиком представља потпуну супротност пословној одрживости. Због тога је овај образац апсолутно непожељан. | Непожељан | -1 |

У Табели 7.8 идентификована је ЛСП анализираних вредности из Табеле 7.6. Поред тога, пословним обрасцима додељена су тумачења (квалитативна и квантитативна) која одговарају погледу инвеститора благе склоности ка ризику. Сви обрасци који имају високу профитну маржу ($\alpha_1 - \alpha_4$) окарактерисани су као пожељни, као и α_5 због ниског ризика. Неутрална интерпретација додељена је обрасцима α_6 и α_7 , једино је α_8 окарактерисан као непожељан. Квантитативна тумачења су усклађена са квалитативним, али је уведена градација.

Важно је напоменути да је приликом рачунања вредности елемената ЛСП као оператор генерализованог производа коришћен класични производ. Производ је одабран због разлике у природи информација које нам обезбеђују *NPM* (ефективност), *AT* (ефикасност) и *FL* (ризик). Над хипотетичким подацима из Табеле 7.6 идентификована је ЛСП приказана у Табели 7.8.

Табела 7.8: Резултујућа ЛСП

| Елемент | Пословни образац | C_1 |
|------------|--|-------|
| α_1 | $NPM \wedge AT \wedge \neg FL$ | 0,084 |
| α_2 | $NPM \wedge AT \wedge FL$ | 0,036 |
| α_3 | $NPM \wedge \neg AT \wedge \neg FL$ | 0,336 |
| α_4 | $NPM \wedge \neg AT \wedge FL$ | 0,144 |
| α_5 | $\neg NPM \wedge AT \wedge \neg FL$ | 0,056 |
| α_6 | $\neg NPM \wedge AT \wedge FL$ | 0,024 |
| α_7 | $\neg NPM \wedge \neg AT \wedge \neg FL$ | 0,224 |
| α_8 | $\neg NPM \wedge \neg AT \wedge FL$ | 0,096 |

Предложена су следећа два начина интерпретације логичке структуре података LSP_j . Интерпретацију логичке структуре $Int(LSP_j)$ можемо да израчунамо као пондерисану суму квантитативних тумачења појединачних елемената $Int(\alpha_{ij})$:

$$Int(LSP_j) = \sum_{i=1}^N w_i \cdot Int(\alpha_{ij}), \quad (66)$$

при чему тежински коефицијенти у суми w_i представљају уделе елемената у логичкој структури података, а N њихов број.

Када су тумачења елемената у структури задата квалитативно, може се сагледати укупно учешће „пожељних“ и „непожељних“ образаца у ЛСП

$$W_j^+ = \sum_i w_i \mid \alpha_{ij} \in U_\alpha^+(\Omega), \quad (67)$$

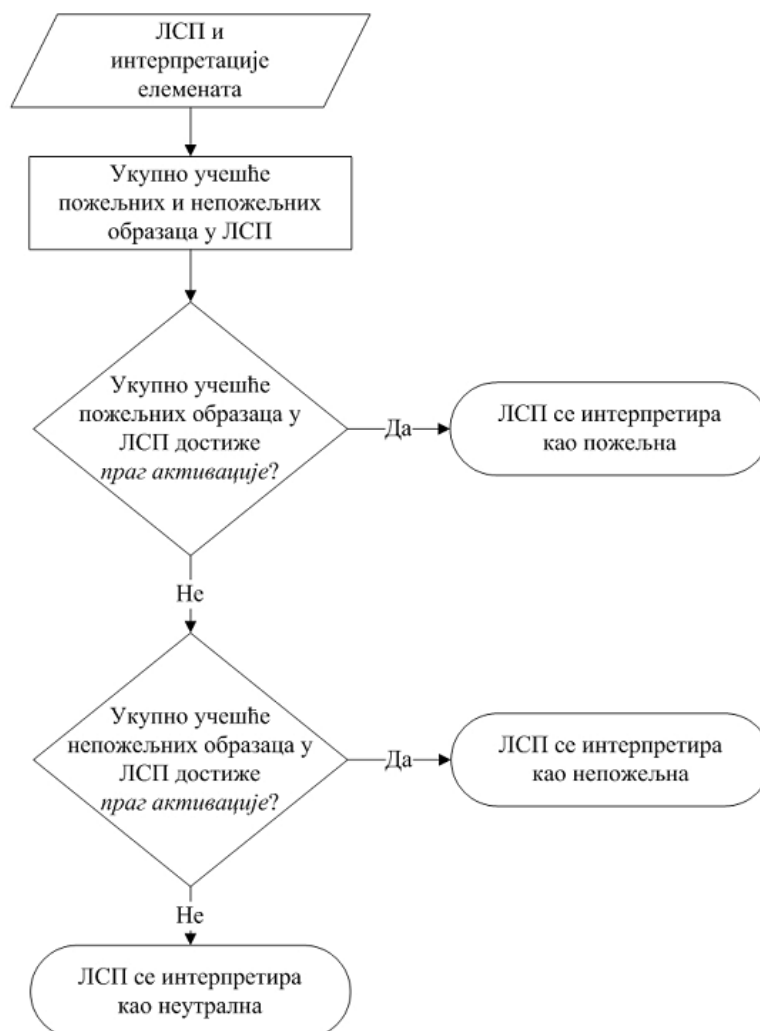
$$W_j^- = \sum_i w_i \mid \alpha_{ij} \in U_\alpha^-(\Omega), \quad (68)$$

где су $U_\alpha^+(\Omega)$ и $U_\alpha^-(\Omega)$ скупови пожељних и непожељних образаца у ЛСП.

За унапред дефинисани праг активације h , користићемо следећа правила за тумачење ЛСП:

ако је $W_j^+ \geq h$, онда логичку структуру података интерпретирамо као пожељну;
ако је $W_j^- \geq h$, онда логичку структуру података интерпретирамо као непожељну;
у осталим случајевима, структуру интерпретирамо као неутралну.

Ова процедура се може записати у облику алгоритма приказаног на Слици 7.4.



Слика 7.4: Алгоритам за интерпретацију логичке структуре података

Предложени начини интерпретирања ЛСП примењени су на подацима из примера у Табели 7.6, а резултујуће интерпретације су приказане у Табели 7.9.

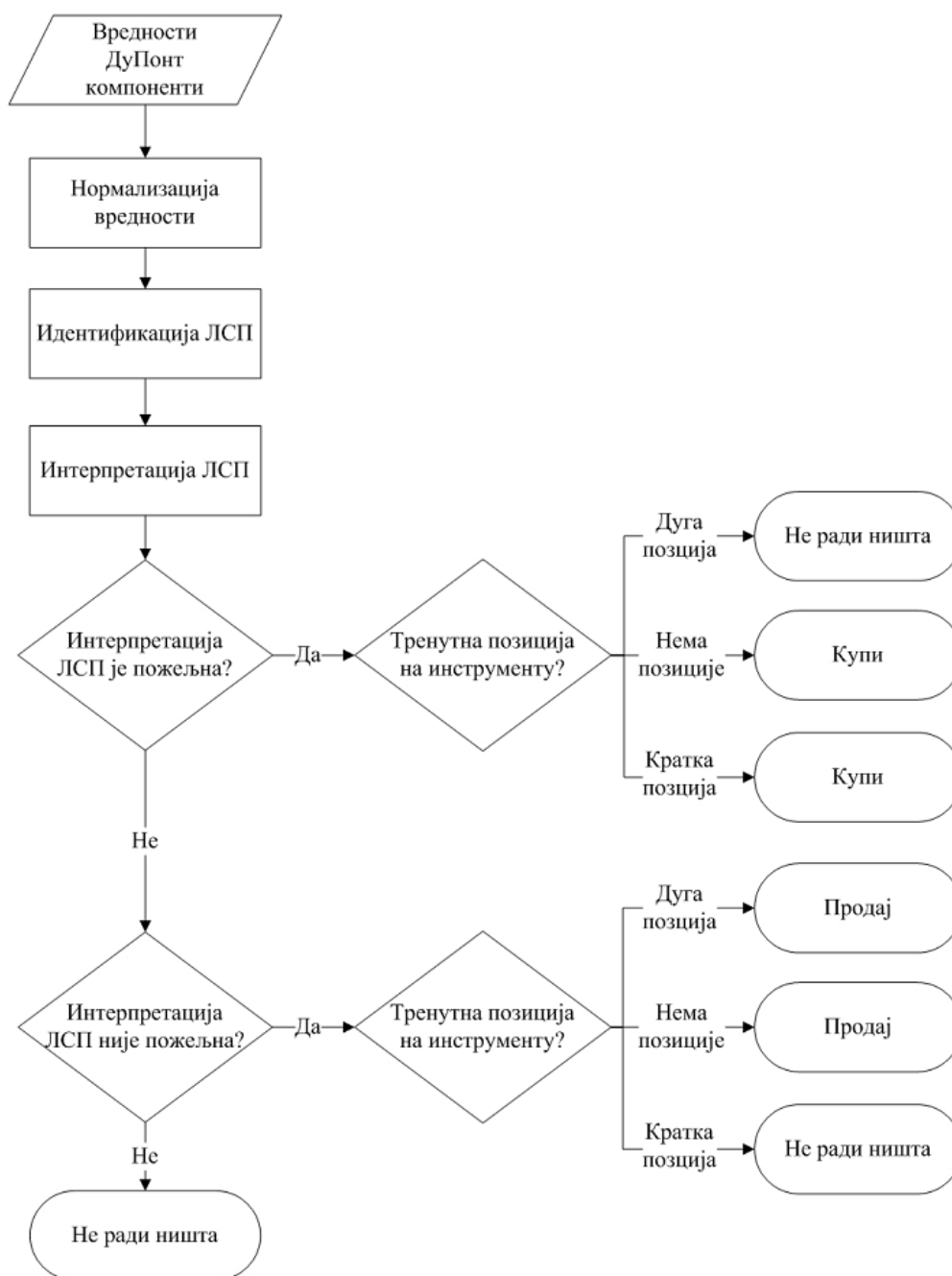
Табела 7.9: Резултујуће интерпретације

| Компанија | Пондерисана сума | Предложени алгоритам |
|-----------|------------------|----------------------|
| C_1 | 0,341 | пожељан |

7.2.2. Примена логичког ДуПонт метода у алгоритамском трговању

У оквиру овог истраживања тестиран је алгоритам за трговање који користи логички ДуПонт метод за купопродајно одлучивање. Симулација трговања врши се на основу алгоритма на Слици 7.5. Доношење одлуке о куповини или продаји акција врши се на основу интерпретације ЛСП. Услов за доношење одлуке јесте да вредност сигнала достигне дефинисани праг

активације. У оквиру алгоритма за тровање имплементиран је принцип „једне позиције“ – за већ отворене дуге/кратке позиције не врше се додатне куповине/продаје.



Слика 7.5: Алгоритам за тровање на бази логичке ДуПонт анализе

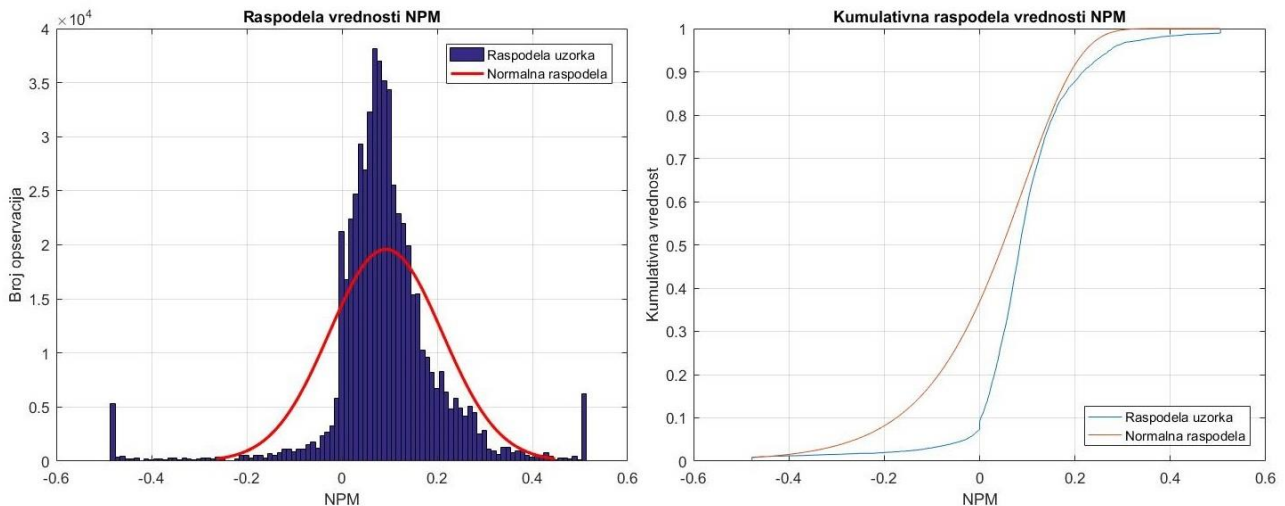
Параметри нормализације

Нормализација вредности ДуПонт компоненти вршена је применом класичне мин-макс функције:

$$\|X_t\| = \begin{cases} 1, & \text{за } X_t > X_{max} \\ \frac{X_t - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}, & \text{за } X_{max} \geq X_t \geq X_{min} \\ 0, & \text{за } X_t < X_{min} \end{cases} \quad (69)$$

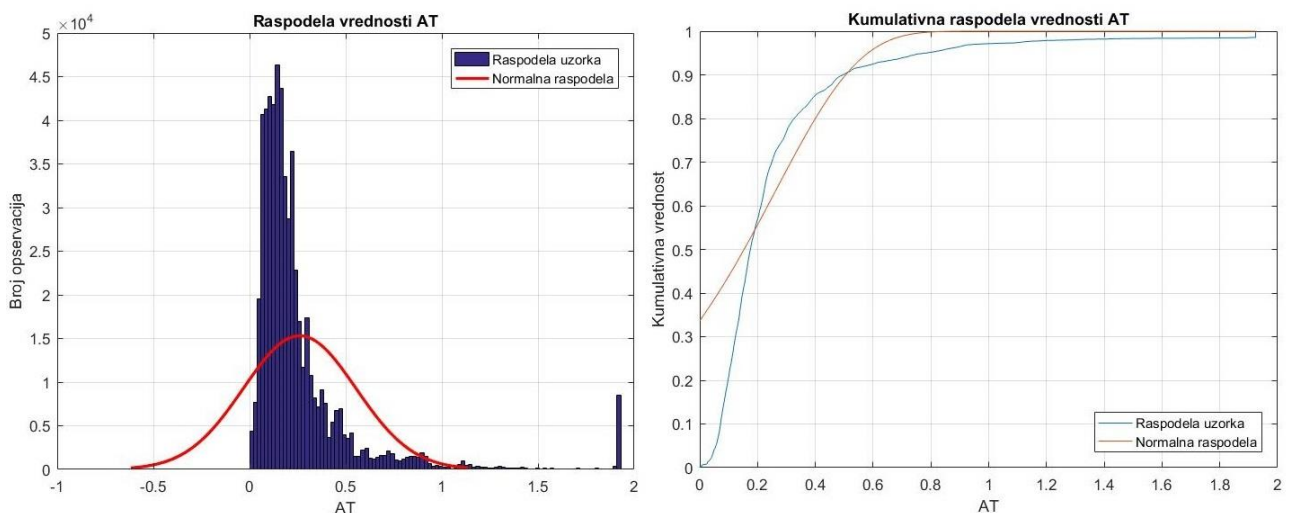
где је X_t вредност рација у тренутку t , $\|X_t\|$ добијена нормализована вредност, а X_{min} и X_{max} унапред задате граничне вредности.

У оквиру овог истраживања, минималне и максималне вредности у нормализационој функцији одређиване су емпиријски, на основу расподела историјских вредности тих ДуПонт компоненти. На Слици 7.6 приказана је расподела вредности NPM . Као граничне вредности за нормализацију изабране су $NPM_{min} = -0,1$ и $NPM_{max} = 0,3$, имајући у виду да се преко 90% узорка налази између ове две вредности. Оним вредностима рација које су биле ниже од дефинисаног минимума или више од дефинисаног максимума додељиване су вредности 0 и 1, респективно.



Слика 7.6: Историјска расподела вредности NPM

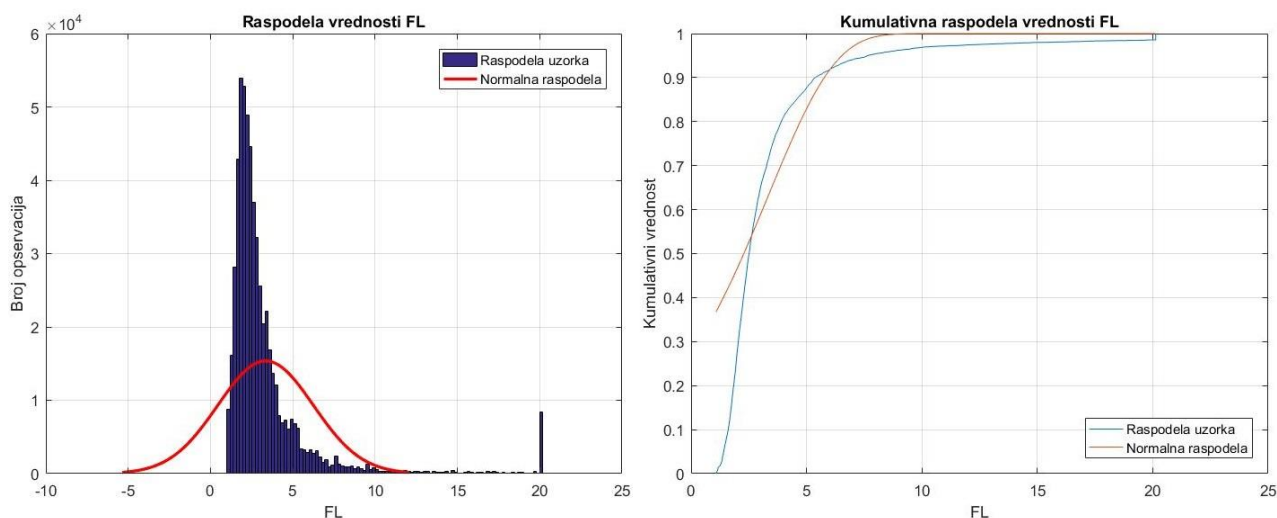
На следећој Слици 7.7 приказана је расподела вредности AT . При избору граничних вредности за нормализацију слеђен је исти критеријум као и у случају NPM . Као граничне вредности изабране су $AT_{min} = 0$ и $AT_{max} = 1,5$.



Слика 7.7: Историјска расподела вредности AT

Коначно, на Слици 7.8 приказана је расподела вредности FL . Као граничне вредности изабране су $FL_{min} = 1$ и $FL_{max} = 10$. Доња гранична вредност је 1 јер компанија које послује без леверица

(нема дугова и обавеза) има јединичну вредност овог рација, због чега су му ROE и ROA једнаки.



Слика 7.8: Историјска расподела вредности FL

У Табели 7.10 дат је преглед параметара (граничних вредности) нормализационих функција.

Табела 7.10: Параметри нормализације ДуПонт компоненти

| Показатељ | Доња граница (<i>min</i>) | Горња граница (<i>max</i>) |
|-----------|--------------------------------|---------------------------------|
| NPM | -0,1 | 0,3 |
| AT | 0 | 1,5 |
| FL | 1 | 10 |

Параметри интерпретације

За интерпретацију ЛСП коришћен је алгоритам са Сlike 7.4. Тумачења елемената ЛСП су задата квалитативно, на начин како је то објашњено у Табели 7.8.

Параметри трговања

Као почетни улог за симулацију трговања дефинисана је новчана сума од 100.000 америчких долара по сваком финансијском инструменту. Како би добијени резултати што реалније приказали могућности предложеног алгоритма, у симулацију су укључени трошкови трговања у износу од 0,25% вредности сваке купопродајне трансакције.

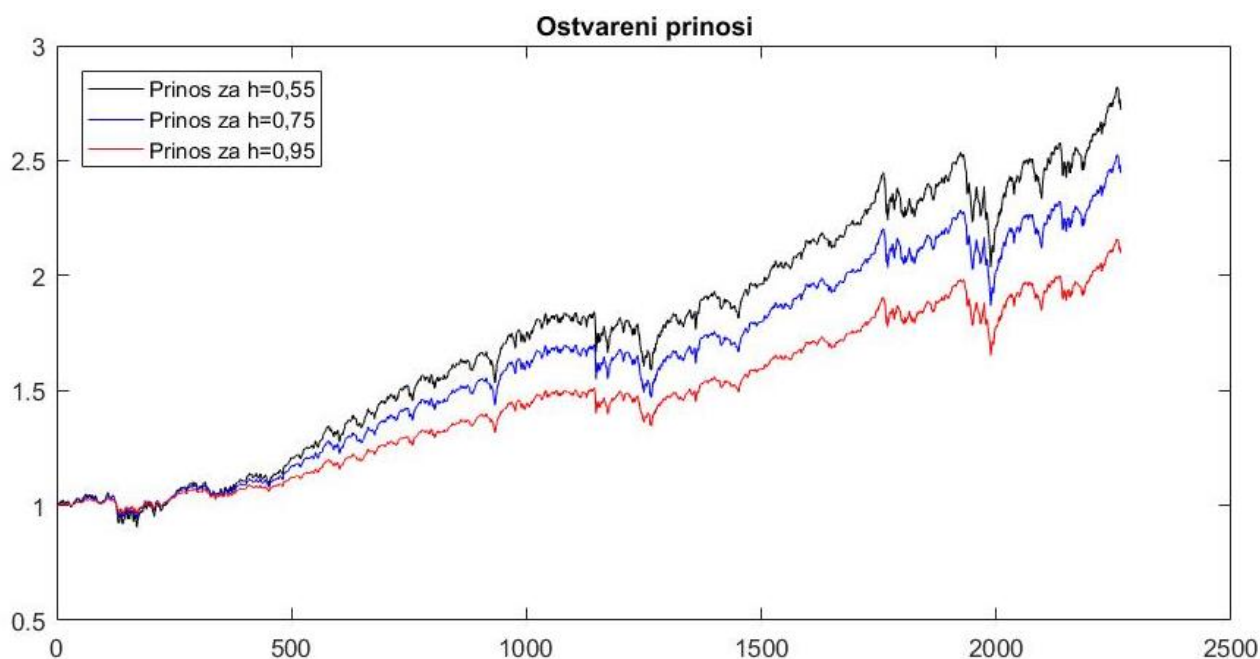
Резултати и дискусија

Предложени алгоритам за трговање симулиран је са подацима са америчког берзанског тржишта (детаљан опис података дат је у Поглављу 6.1). У Табели 7.11 дати су резултати остварени за изабране вредности прага активације h . У табели су приказани укупни приноси на инвестирани капитал (ROI), зарада по трансакцији (PT), максимално повлачење вредности портфолија (MD) и проценат успешних трансакција ($\%Win$). Представљени резултати показују да параметар h утиче на ниво остварене ефективности, ризичности и тачности тестираног алгоритма за трговање, али не и на његову успешност у општем случају. Све мере ефективности су позитивне, показујући да се предложени алгоритам, односно техника на којој је заснован (логичка ДуПонт анализа), могу успешно користити за изграђу система за алгоритамско трговање.

Табела 7.11: Резултати примене логичке ДуПонт анализе у алгоритамском трговању

| h | ROI | PT | MD | $\%Win$ |
|------|---------|-----------|---------|---------|
| 0,50 | 169,61% | 154.023\$ | -32,69% | 79,50% |
| 0,55 | 172,12% | 159.122\$ | -32,47% | 78,78% |
| 0,60 | 168,50% | 162.190\$ | -31,79% | 77,15% |
| 0,65 | 164,13% | 170.090\$ | -31,17% | 77,82% |
| 0,70 | 154,23% | 163.118\$ | -30,72% | 79,42% |
| 0,75 | 144,61% | 156.157\$ | -30,50% | 78,57% |
| 0,80 | 131,79% | 156.086\$ | -29,42% | 76,96% |
| 0,85 | 123,24% | 156.792\$ | -28,22% | 74,75% |
| 0,90 | 122,34% | 173.714\$ | -27,20% | 76,24% |
| 0,95 | 109,88% | 173.250\$ | -26,575 | 77,91% |

На Слици 7.9 приказано је кретање приноса током целокупног симулационог периода за изабране вредности параметра h . Кретања приноса су врло слична, разлика је само у магнитуди (због разлике у параметру). Она у великој мери осликавају тржишно кретање. Разлог за то је што је највећи број образаца тумачен као пожељан, а само један као непожељан. То значи да је селекција при куповини блага, а при продаји строга. Оваква стратегија резултира тиме да алгоритам у свом портфолију има већину акција током највећег дела периода тестирања.



Слика 7.9: Кретање приноса предложеног алгоритма за различите вредности параметра

У Табели 7.12 представљене су корелације прага активације h са показатељима успешности. За мерење корелација $r(h, ROI)$ и $r(h, MD)$ примењен је Спирманов коефицијент, јер је Колмогоров–Смирнов тест показао да вредности ROI и MD нису нормално расподељене. За $r(h, PT)$ и $r(h, \%Win)$ коришћен је Пирсонов коефицијент, из супротног разлога. Све добијене корелације су статистички значајне (sig). У случају $r(h, ROI)$ и $r(h, MD)$ оне су изразите и супротно орјентисане. Резултат је очекиван имајући у виду да виши критеријум за активирање одлуке о куповини/продаји значи мање прилика за зараду (ROI), али и мањи ризик (MD). Виши ниво прага активације бележи позитивну корелацију са зарадом по трансакцији (PT). Дакле, укупан број реализованих трансакција опада брже (у релативном смислу) од укупног

оствареног приноса како критеријуми одлучивања расту. Закључак је да виши критеријум при инвестиционом одлучивању позитивно доприноси ефективности донесених одлука. Међутим, показатељ тачности неочекивано показује негативну корелацију са параметром h , што указује да поштравање критеријума одлучивања води мањој тачности донесених одлука. Ипак, треба имати у виду да је проценат тачности увек преко 70%, а апсолутне разлике измеђ појединачних случајева врло мале: највише до 5%.

Табела 7.12: Корелациона анализа резултата остварених применом логичке ДуПонт анализе у алгоритамском трговању

| y | ROI | PT | MD | $\%Win$ |
|-----------|----------|--------|---------|----------|
| $r(h, y)$ | -0,990** | 0,338* | 0,993** | -0,430** |
| sig | 0,000 | 0,015 | 0,000 | 0,002 |

Променама значења појединих пословних образаца у логичкој структури података, добијају се резултати који показују да се смањењем броја позитивних, а посебно повећањем броја негативних тумачења у структури смањује укупни принос алгоритма. Имајући то у виду, намеће се закључак да је америчко тржиште акција у анализираном периоду било стимулативно окружење за инвеститоре који се лакше одлучују за куповину (склонији ризику), а теже за продају (склонији дугорочним улагањима). Ови резултати су указали на потребу коришћења неке технике обучавања којом би се могла открити најбоља тумачења елемената ЛСП. Ово ће бити правац будућих истраживања аутора.

7.3. Управљање трговањем коришћењем интерполативног фази контролера

Проблем неконзистентности фази логике са Буловим логичким оквиром (Поглавље 4.4.1) присутан је и код фази контролера, тј. фази система закључивања. Правила која се користе у фази контролерима најчешће су врло једноставна и често не укључују негацију. Због тога, проблем често не долази до изражаја или се може заобићи пажљивим дефинисањем фази скупова. Ипак, у општем случају, фази контролер није конзистентан са основним законима мишљења. Примена теорије ИБА у фази контролерима решила би наведени проблем (Поглавље 4.5.7).

У претходним истраживањима предложени су различити приступи реализацији интерполативних фази контролера. Интерполативни фази систем закључивања већ је примењиван за инвестиционо одлучивање (Kovačević, Sekulić, & Rakićević, 2011). Предложени приступ користи немонотоне фази скупове, Френкову T -норму као оператор генерализованог производа и тежинску суму за дефазификацију последица. Буловски конзистентан фази систем закључивања коришћен је за дијагностиковање вероватноће обољења (Dragović, Turajlić, Pilčević, Petrović, & Radojević, 2015) и процену кредитне способности (Latinović, Dragović, Arsić, & Petrović, 2018). У оба система коришћени су монотони фази скупови. Први је заснован на само једном правилу, стога нема дефинисан модел агрегације последица. Други не користи дефазификацију, већ резултујуће вредности добијене евалуацијом појединачних правила директно агрегира коришћењем тежинске суме са слободним (експертски дефинисаним) пондерима.

У оквиру овог поглавља предложен је интерполативни фази контролер (ИФК) на бази Цукамото модела закључивања. Цукамото модел је изабран као основа за предложени контролер због своје једноставности, лаке интерпретабилности и погодности за примену алгоритама за обучавање. За разлику од Цукамото модела, процес агрегације последица и дефазификације резултујућег скупа у Мамдани моделу закључивања комплексан је

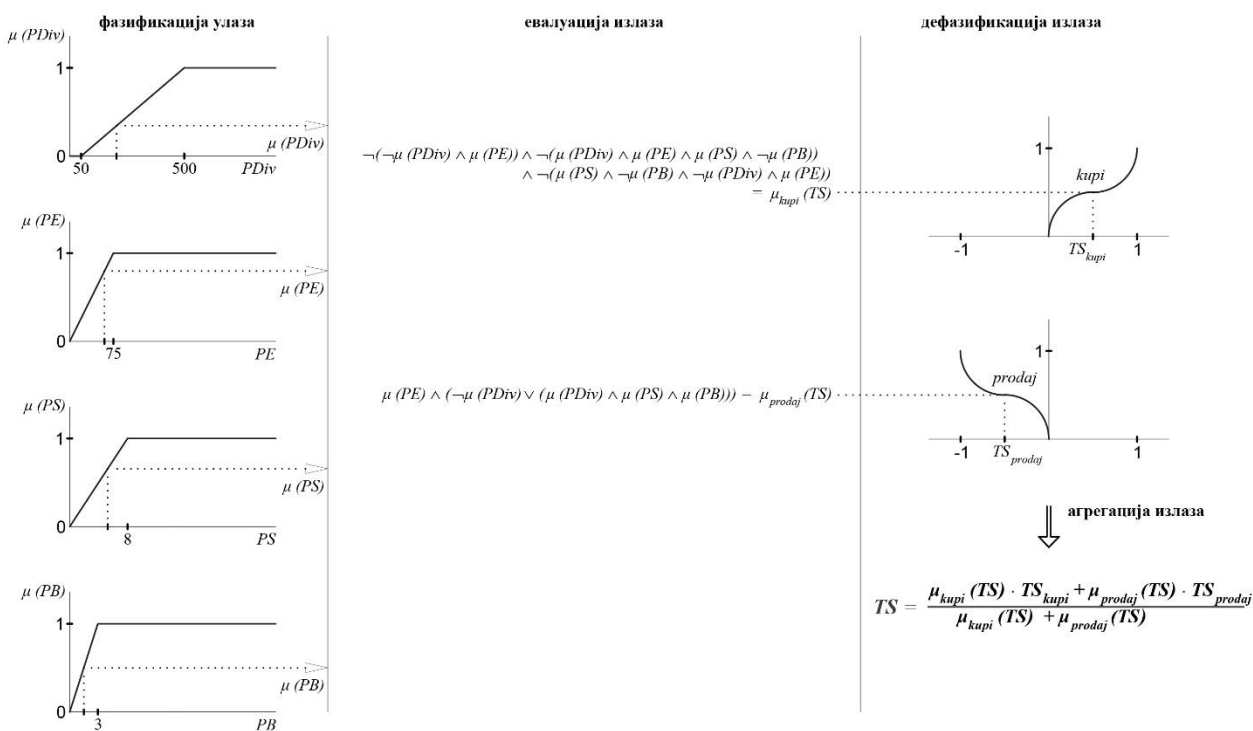
(рачунарски захтевнији) и неједнозначан, што онемогућава примену алгоритама за обучавање који су засновани на повратној спрези. Са друге стране, Такаги–Сугено–Канг модел има већи број слободних параметра од Цукамото модела у делу за агрегацију последица. То га чини флексибилнијим при обучавању, али комплекснијим за експертско (ручно) подешавање и тежим за интерпретацију.

Детаљан приказ предложеног типа ИФК дат је у наставку поглавља, кроз конкретан пример примене у управљању берзанским трговањем.

7.3.1. Примена интерполативног фази контролера у алгоритамском трговању

У оквиру овог дела рада представљена је примена предложеног типа ИФК за управљање трговањем на берзи. Стратегија за трговање дефинисана је у облику ако-онда правила за трговање, која су погодна за имплементацију у контролеру. Правила су дефинисана експертски и користе показатеље фундаменталне анализе како би одредила тренутак за куповину/продају акција.

Предложени ИФК представљен је дијаграмом на Слици 7.10. У оквиру предложеног контролера имплементиран је модел фази закључивања који одговара Цукамото моделу (Поглавље 4.4.2) и који се састоји од следећих процеса: фазификација улаза, евалуација последица, дефазификација последица и њихова агрегација у излазну вредност. У оквиру процеса фазификације свака променљива је описана једном монотоним функцијом. У општем случају, могуће је дефинисати више фази скупова било ког облика. Евалуација последица врши се на основу ако-онда правила која описују логичку везу између улазних и излазне променљиве. Правила се евалуирају коришћењем интерполативне логике. Резултујуће вредности се дефазификују коришћењем монотоних фази супова (увек). Излазна вредност из ИФК добија се тежинским сумирањем резултујућих последица, при чему се као тежине користе вредности добијене евалуацијом правила.



Слика 7.10: Предложени интерполативни фази контролер

Стратегија је заснована на фундаменталној анализи. Улази у ИФК су следећа ценовна рација: цена према дивиденди ($PDiv$), цена према заради (PE), цена према приходима (PS) и цена према књиговодственој вредности (PB). Детаљан опис коришћених рација дат је у Поглављу 6.3.2. Излаз из ИФК јесте сигнал за трговање (TS), на основу кога се доноси одлука о куповини или продаји акције/валуте. Правила за трговање дефинисана су експертски, тако да осликавају инвеститора склонијег ризику.

Стратегија за трговање је дефинисана експертски и задата је следећим правилима за трговање:

АКО

$$\neg(\neg PDiv \wedge PE) \wedge \neg(PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge \neg PB) \wedge \neg(\neg PDiv \wedge PE \wedge PE \wedge \neg PB) \quad (70)$$

ОНДА

Купи

и

АКО

$$PE \wedge (\neg PDiv \vee (PDiv \wedge PS \wedge PB)) \quad (71)$$

ОНДА

Продај.

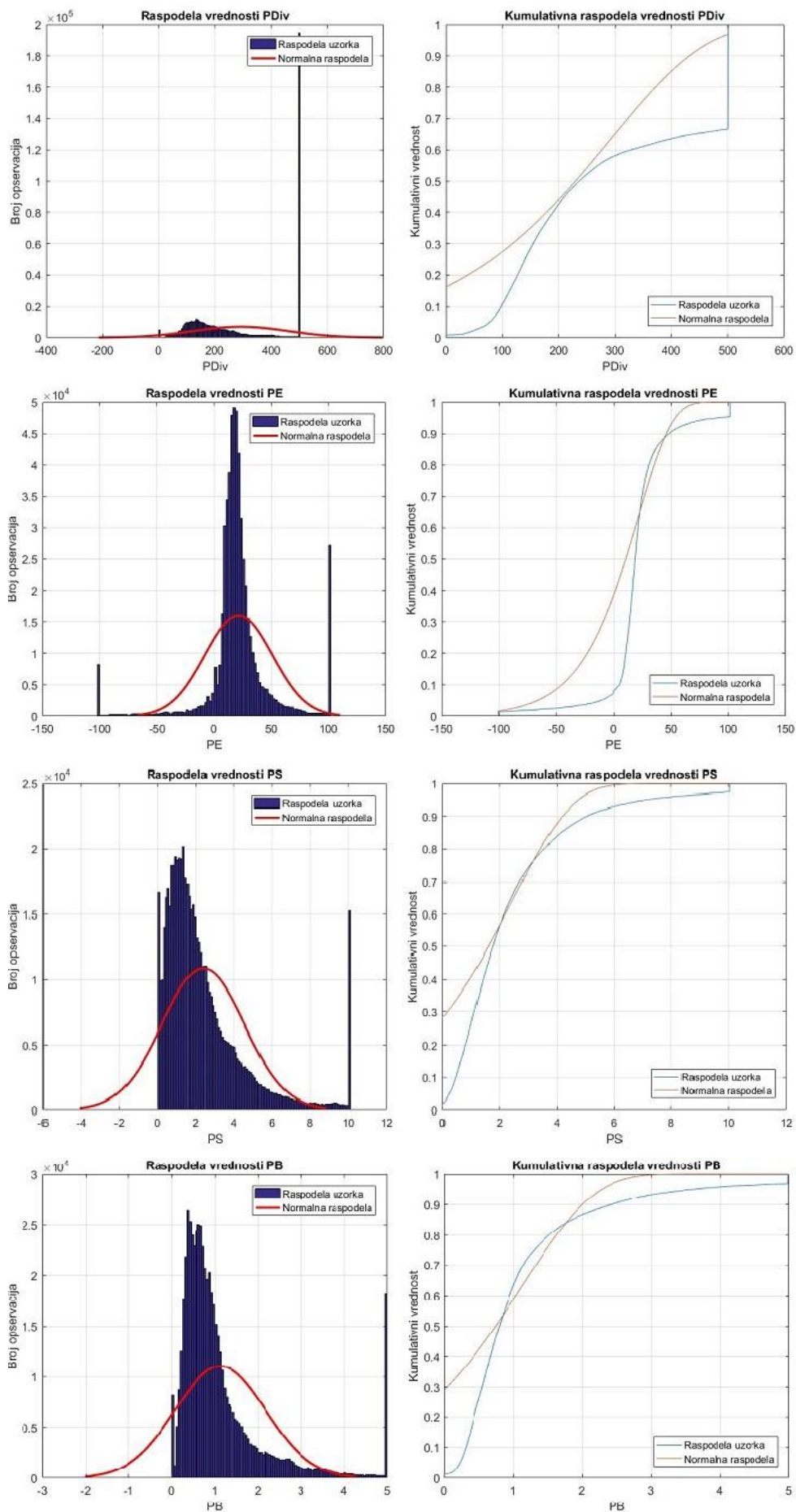
Фазификација улаза

Сваки од улазних рација фазификован је једном монотоним функцијом која исказује степен његове реализације. За фазификацију су коришћене трапезоидне функције (Слика 7.10). Овакав приступ усвојен је с циљем да се што више поједностави конструкција контролера, имајући у виду да већи број фази скупова захтева подешавање већег броја параметара.

При дефинисању фазификационих функција анализирани су историјске расподеле вредности ценовних рација (Слика 7.11). На основу ових расподела дефинисани су параметри трапезоидних скупова (Табела 7.13). Параметар $\mu(x)=0$ представља тачку у којој трапезоидна функција почиње линеарно да расте, $\mu(x)=1$ ознака је за тачку у којој трапезоидна функција први пут достиже максималну вредност, а x је улазна променљива.

Табела 7.13: Параметри трапезоидних функција

| x | $\mu(x)=0$ | $\mu(x)=1$ |
|--------|------------|------------|
| $PDiv$ | 50 | 500 |
| PE | 0 | 75 |
| PS | 0 | 8 |
| PB | 0 | 3 |



Слика 7.11: Историјска расподела вредности ценовних рација

Евалуација правила

Евалуација логичких правила у ИФК вршена је применом теорије ИБА, у складу са правилима за трансформацију логичких израза (Поглавље 4.5.6). Примери израчунавања вредности логичких функција помоћу ИБА приказани су у Поглављу 4.5.8. Битно је нагласити да је као оператор генерализованог производа коришћен обичан производ. Он је изабран због разлике у природи информација које нам пружају одабрана ценовна рација.

Дефазификација и агрегација излаза

Дефазификација излаза је вршена помоћу две функције (Слика 7.10): $\mu_{купи}(TS)$ за куповно правило и $\mu_{продај}(TS)$ за продајно правило. Функције су задате следећим изразима:

$$TS_{купи} = \begin{cases} \mu_{купи}^2(TS) & : 0 \leq \mu_{купи}(TS) < 0,5 \\ \sqrt{\mu_{купи}(TS)} & : 0,5 \leq \mu_{купи}(TS) \leq 1 \end{cases} \quad (72)$$

и

$$TS_{продај} = \begin{cases} -\mu_{продај}^2(TS) & : -0,5 < \mu_{продај}(TS) \leq 0 \\ -\sqrt{\mu_{продај}(TS)} & : -1 \leq \mu_{продај}(TS) \leq -0,5 \end{cases} \quad (73)$$

Облик функција је изабран тако да боље раздваја вредности добијене евалуацијом правила. Коначно, излазна променљива добија се агрегацијом дефазификованих последица помоћу тежинске суме:

$$TS = \frac{\mu_{купи}(TS) \cdot TS_{купи} + \mu_{продај}(TS) \cdot TS_{продај}}{\mu_{купи}(TS) + \mu_{продај}(TS)} \quad (74)$$

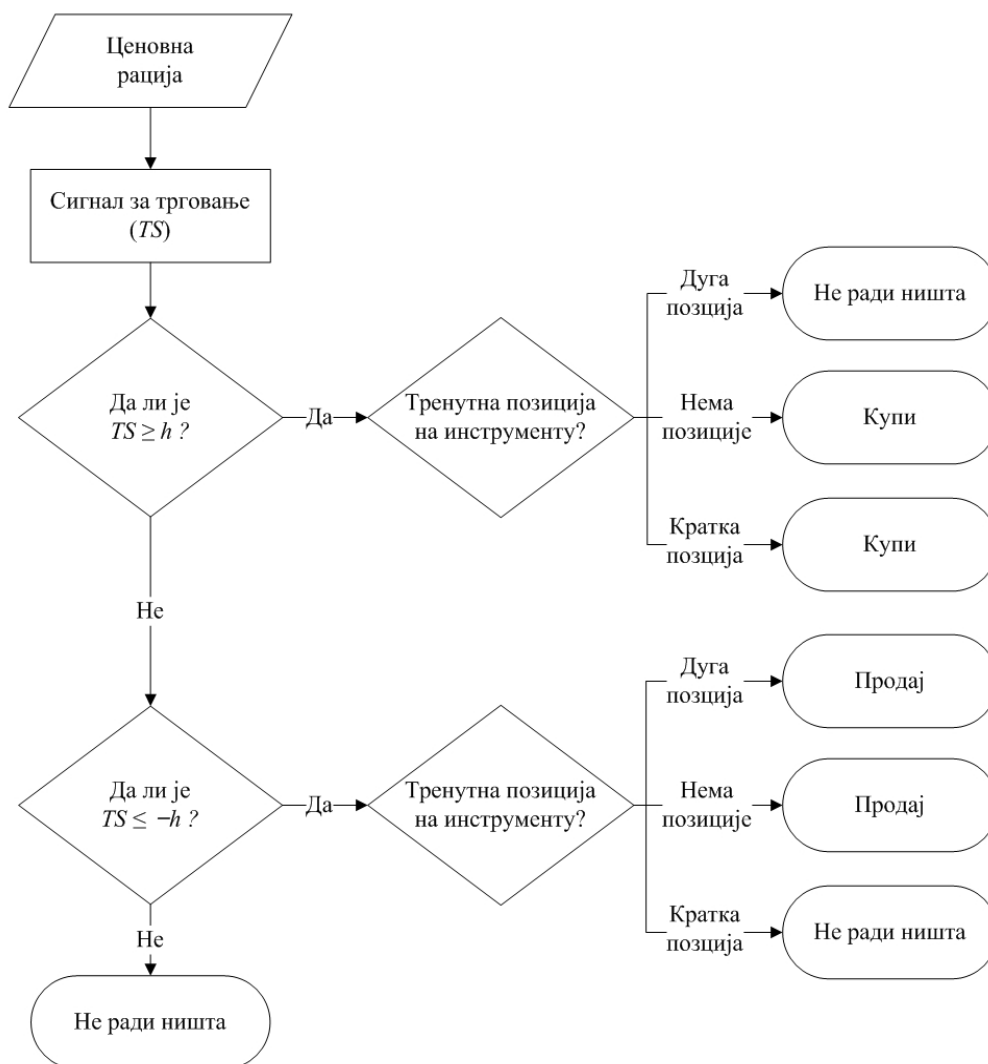
и има вредности из интервала $[-1, 1]$.

Алгоритам за трговање

Симулација трговања врши се на основу алгоритма за трговање приказаног на Слици 7.12. Предложени алгоритам користи сигнал за трговање (TS) из ИФК како би донео одлуку о куповини или продаји акција. Услов за доношење одлуке јесте тај да вредност сигнала достигне дефинисани праг активације (h). У оквиру алгоритма за трговање имплементиран је принцип „једне позиције“, који је објашњен у Поглављу 7.2.

Параметри трговања

Као почетни улог за симулацију трговања дефинисана је новчана сума од 100.000 америчких долара по сваком финансијском инструменту. У симулацију су укључени и трошкови трговања у износу од 0,25% вредности сваке купопродајне трансакције.



Слика 7.12: Алгоритам за трговање на бази интерполативног фази контролера

Резултати и дискусија

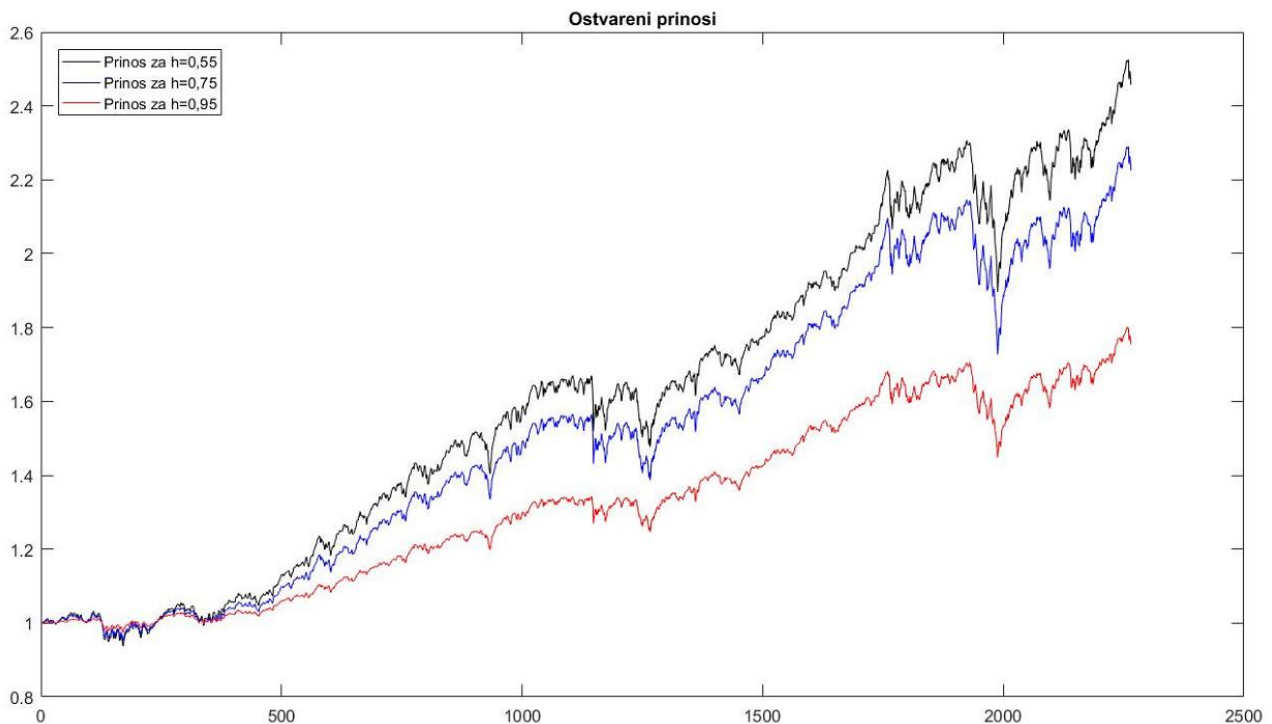
Предложени алгоритам за трговање симулиран је са подацима америчког берзанског тржишта (Поглавље 6.1). У Табели 7.14 приказани су остварени резултати у зависности од прага активације h . Као и у случају примене логичког ДуПонт метода (Поглавље 7.2.2), показује се веза између параметра h и остварених нивоа ефективности, ризичности и тачности тестираног алгоритма за трговање. Ипак, та веза не утиче на укупну успешност предложеног приступа, имајући у виду да су мере ефективности позитивне за све вредности параметра, као и да је исказана висока тачност у доношењу одлука. Ово доказује да се предложени ИФК може успешно користити за управљање трговањем.

На Слици 7.13 приказано је кретање приноса током целокупног симулационог периода за изабране вредности параметра h . Кретања приноса су врло слична, разликују се само у магнитуди и у великој мери осликавају тржишно кретање. То значи да је контролер често давао сигнал за куповину, а ређе сигнал за продају.

Табела 7.14: Резултати примене интерполативног фази контролера у алгоритамском трговању

| h | ROI | PT | MD | $\%Win$ |
|------|---------|-----------|---------|---------|
| 0,50 | 144,33% | 107.514\$ | -33,75% | 68,41% |
| 0,55 | 145,72% | 114.176\$ | -34,10% | 69,21% |
| 0,60 | 143,14% | 124.701\$ | -32,37% | 68,81% |
| 0,65 | 133,36% | 127.407\$ | -33,74% | 69,15% |
| 0,70 | 129,57% | 137.599\$ | -32,75% | 71,07% |
| 0,75 | 122,54% | 144.463\$ | -32,28% | 74,31% |
| 0,80 | 113,43% | 155.893\$ | -30,72% | 77,54% |
| 0,85 | 100,60% | 162.611\$ | -28,61% | 77,99% |
| 0,90 | 92,38% | 182.630\$ | -26,75% | 81,54% |
| 0,95 | 75,42% | 174.628\$ | -23,90% | 81,98% |

У наредној Табели 7.15 представљене су корелације прага активације h са показатељима успешности. Корелација $r(h,PT)$ рачуната је помоћу Пирсоновог коефицијента (на основу Колмогоров–Смирнов теста нормалности), док је за остале примењен Спирманов коефицијент. Добијене су изразите и статистички значајне корелације. Укупна ефективност алгоритма негативно је корелисана у односу на праг активације, док су ефективност појединачних одлука, ризик и тачност позитивно корелисани. Овакви резултати одговарају очекивањима да ће виши критеријуми смањити број шанси за зараду, али повећати зараду по свакој трансакцији, смањити повлачење вредности портфолија и повећати тачност сигнала за трговање.



Слика 7.13: Кретање приноса у зависности од прага активације у трговању помоћу интерполативног фази контролера

Над предложеним ИФК могуће је применити неку од техника за обучавање, којом би се одредила најефективнија правила за трговање у анализираном периоду. Управо је то тема

наредног поглавља, у оквиру ког ће бити представљен модел за обучавање тестираног ИФК заснован на генетском алгоритму.

Табела 7.15: Корелациона анализа резултата остварених применом интерполативног фази контролера у алгоритамском трговању

| y | ROI | PT | MD | $\%Win$ |
|-----------|----------|---------|---------|---------|
| $r(h, y)$ | -0,988** | 0,934** | 0,960** | 0,960** |
| sig | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

7.4.Откривање стратегија за трговање применом генетског алгоритма за обучавање интерполативног фази контролера

Подешавање ИФК обухвата подешавање структуре и подешавање параметара контролера. Подешавање структуре односи се на дефинисање ако-онда правила закључивања, док се подешавање параметара односи на одабир функција припадности и подешавање њихових параметара. Подешавање ИФК, као и класичног фази контролера, захтева висок ниво теоријског и експертског (практичног) знања о проблему који се решава. Чак и када то знање постоји, посао није лак.

Обучавањем ИФК могуће је открити структуру и параметаре ИФК из доступних података. Под обучавањем ИФК подразумева се аутоматско подешавање контролера на основу историјских података, коришћењем одређеног алгоритма за учење или оптимизацију.

Користећи принцип структурне функционалности, теорија ИБА нам омогућава да сваку логичку функцију представимо као производ структурног вектора и вектора атомских елемената (Формула 42). Структурни вектор је бинарни и показује укљученост атомских елемената у анализираном логичком изразу (Формула 29). Величина структурног вектора одговара броју атомских елемената и износи 2^n , где је n број примарних елемената (улазне варијабле у контролер).

Табела 7.16: Декомпозиција правила за трговање у атомске елементе

| $\alpha_i (\Omega)$ | Атоми | Правило за куповину | Правило за продају |
|---------------------|--|---------------------|--------------------|
| α_1 | $\neg PDiv \wedge \neg PE \wedge \neg PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 |
| α_2 | $PDiv \wedge \neg PE \wedge \neg PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 |
| α_3 | $\neg PDiv \wedge PE \wedge \neg PS \wedge \neg PB$ | 0 | 1 |
| α_4 | $PDiv \wedge PE \wedge \neg PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 |
| α_5 | $\neg PDiv \wedge \neg PE \wedge PS \wedge \neg PB$ | 0 | 0 |
| α_6 | $PDiv \wedge \neg PE \wedge PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 |
| α_7 | $\neg PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge \neg PB$ | 0 | 1 |
| α_8 | $PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge \neg PB$ | 0 | 0 |
| α_9 | $\neg PDiv \wedge \neg PE \wedge \neg PS \wedge PB$ | 1 | 0 |
| α_{10} | $PDiv \wedge \neg PE \wedge \neg PS \wedge PB$ | 1 | 0 |
| α_{11} | $\neg PDiv \wedge PE \wedge \neg PS \wedge PB$ | 0 | 1 |
| α_{12} | $PDiv \wedge PE \wedge \neg PS \wedge PB$ | 1 | 0 |
| α_{13} | $\neg PDiv \wedge \neg PE \wedge PS \wedge PB$ | 1 | 0 |

| | | | |
|---------------|---|---|---|
| α_{14} | $PDiv \wedge \neg PE \wedge PS \wedge PB$ | 1 | 0 |
| α_{15} | $\neg PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge PB$ | 0 | 1 |
| α_{16} | $PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge PB$ | 1 | 1 |

Логичке изразе у премисама правила закључивања ИФК можемо представити њиховим структурним векторима. У Табели 7.16 дата је структура логичких израза за куповину и продају који су коришћени за управљање трговањем у Поглављу 7.3.1. Бинарна природа структурних вектора чини их врло погодним за примену генетског алгоритма, односно генетских оператора укрштања и мутације. Још једна од погодности коришћења структурних вектора за репрезентацију логичких правила јесте у томе што се простор претраге смањује са 2^n логичких израза на 2^n структурних вектора.

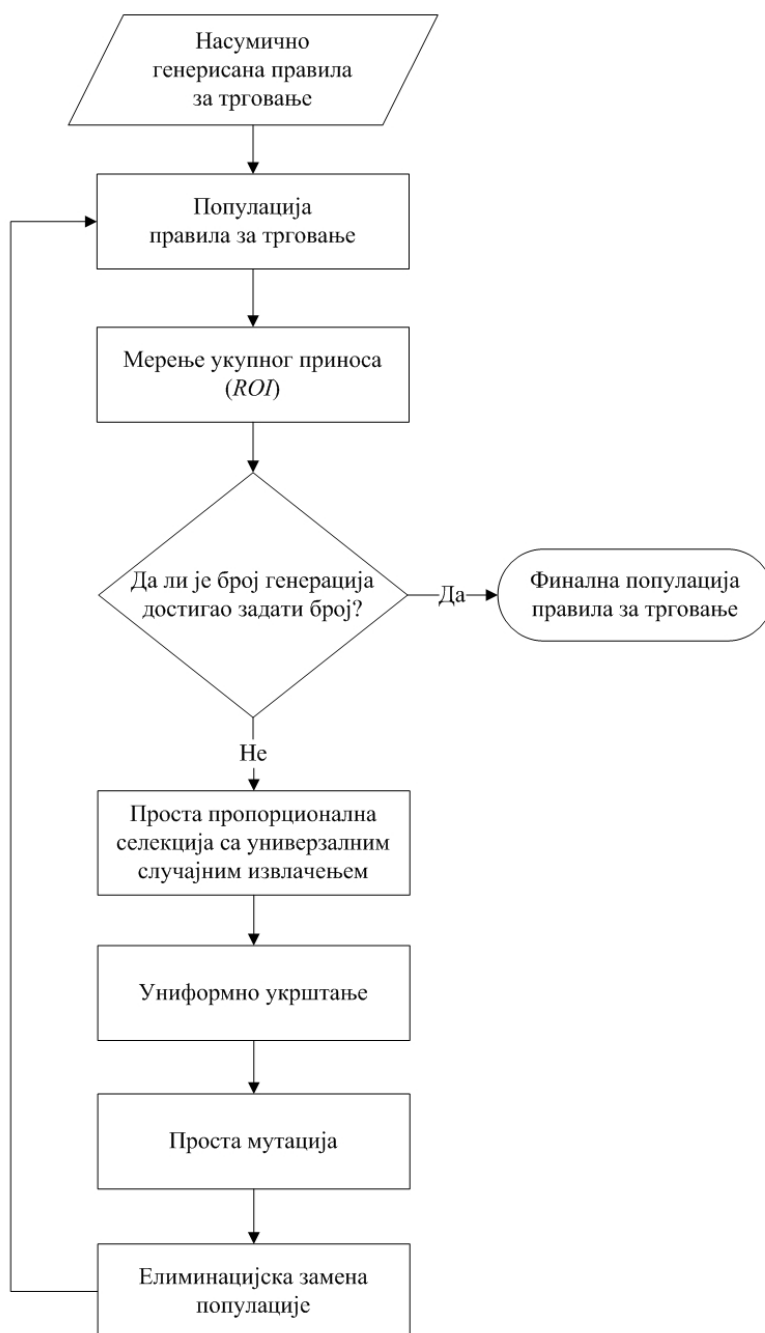
Генетски алгоритми (ГА) су алгоритми за претраживање засновани на механизму природне селекције и генетике (Goldberg, 2006). Користећи генетску репрезентацију решења, као и процесе селекције (енг. *selection*), укрштања (енг. *crossover*) и мутације (енг. *mutation*), ГА су у стању да се брзо крећу кроз простор решења због чега су се показали као одлични глобални претраживачи. Добијена решења нису гарантовано оптимална, али неретко представљају добар однос утрошеног времена и квалитета решења. ГА се могу користити како на континуалним, тако и на дискретним проблемима.

Генетска репрезентација (генетски материјал) решења назива се генотип (енг. *genotype*), а његово испољавање у задатом окружењу фенотип (енг. *phenotype*). Дакле, генотип представља манипулативну репрезентацију решења, док је фенотип евалуабилна репрезентација (Hu, Payne, Banzhaf, & Moore, 2012). Евалуацију фенотипа врши критеријумска функција. Посебна предност ГА је у томе што се могу користити и у проблемима код којих критеријумска функција није задата експлицитно. Управо такав је и проблем обучавања ИФК.

У проблему обучавања ИФК, јединка је записана структурним вектором ИБА који представља генотип. Множењем структурних вектора са вектором атомских елемената добијају се правила за трговање – фенотипи. За евалуацију фенотипа примењујемо алгоритам за трговање. Успешност јединке у трговању користићемо као функцију прилагођености (енг. *fitness function*), која има за циљ да мери квалитет јединки у популацији. Она представља кључ процеса селекције. На основу ове функције ГА одређује које су јединке погодне да преживе селекцију и учествују у репродукцији.

7.4.1. Модел генетског алгоритма за обучавање интерполативног фази контролера и његова примена у откривању стратегија за трговање

У овом делу рада представљен је модел генетског алгоритма за обучавање структуре ИФК и његова примена у откривању стратегија за трговање на берзанском тржишту. Предложени модел генетског алгоритма приказан је у облику алгоритма на Слици 7.14. Модел је пројектован за обучавање ИФК предложеног у Поглављу 7.3.1.



Слика 7.14: Коришћени модел генетског алгоритма

За репрезентацију логичких правила користе се њихови структурни вектори. Свака јединка у популацији представља спој два правила за трговање: једног за куповину и једног за продају. Овакав избор је учињен ради смањења комплексности алгоритма и уштеде рачунарских ресурса при симулацији предложеног модела. Дакле, свака јединка се састоји од $2 \cdot 2^n$ гена, где је n број улаза у ИФК. Првих 2^n гена описује правило за куповину, а других 2^n правило за продају. На Слици 7.15 приказан је пример пројектоване структуре јединке, за случај када су правила за трговање дефинисана над три улаза.



Слика 7.15: Пројектована структура јединке

У предложеном моделу генетског алгоритма, почетна популација јединки генерише се на случајан начин. Потом се сагледава прилагођеност јединки популације условима на тржишту. Као мера прилагођености користи се укупни принос (*ROI*) стратегије која је записана у генетском коду јединке.

Наредни корак у алгоритму представља провера испуњености критеријума заустављања. Као критеријум заустављања најчешће се користе степен конвергенције популације и ограничење броја извршених генерација/израчунавања функција прилагођености (Safe, Carballido, Ponzoni & Brignole, 2004). У ситуацијама када су рачунарски ресурси оскудни, а проблем комплексан, најчешће се прибегава другом типу критеријума. Управо из ових разлога, у предложеном моделу генетског алгоритма коришћен је унапред дефинисани број генерација.

Следи процес селекције – избор јединки из популације које ће „преживети“ и узети учешћа у процесу репродукције. У предложеном моделу, коришћен је метод прости пропорционалне селекције са универзалним случајним извлачењем. Као код свих пропорционалних селекција, вероватноћа одабира јединке пропорционална је оствареној вредности функције прилагођености:

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{k=1}^K f_k}, \quad (75)$$

где је p_i вероватноћа одабира i -те јединке, f_i њена прилагођеност, а сума у имениоцу представља збир прилагођености свих јединки из популације (величине K).

Предложена селекција користи механизам рулета за избор јединки, због чега се осим прости често назива и рулет-селекција (енг. *roulette wheel selection*). Популација се мапира на „точку рулета“, а свака јединка заузима простор који је пропорционалан вероватноћи p_i . Да би се избегао проблем појављивања великог броја дупликата међу издвојеним родитељима, који је карактеристичан за класичну рулет селекцију, коришћена је селекција са универзалним случајним извлачењем (енг. *stochastic universal sampling*). Ова врста селекције примењује принцип рулета, али у једном окретању бира S јединки из популације. То се постиже тако што се на точку генерише S тачака са једнаким међусобним растојањем.

Након селекције прелази се на процес репродукције, који се састоји од укрштања и мутације. Укрштање омогућава размену генетског материјала јединки „родитеља“ с циљем стварања „потомства“. Предложени модел генетског алгоритма врши укрштање јединки по принципу два родитеља. Укрштање се спроводи коришћењем оператора униформног укрштања (енг. *uniform crossover*) по задатој стопи укрштања (енг. *crossover rate*). Униформно укрштање користи $N-1$ тачака прекида за јединку дужине N . На овај начин обезбеђујемо да сваки део генетског материјала од оба родитеља има 50% шанси да се нађе у потомству. Стопа укрштања

одређује који је удео јединки потомства које су добијене укрштањем родитеља, за разлику од оних које су настале копирањем родитеља.

Мутација је генетски оператор чијим се деловањем врши измена над случајно или намерно изабраним деловима генетског материјала. Она је врло корисна јер омогућава повраћај гена који су изгубљени кроз селекцију и репродукцију, као и откривање нових гена. Висина стопе мутације одређује и брзину конвергенције генетског алгорита. У предложеном моделу генетског алгорита, користи се проста мутација која мења вредности насумично изабраних гена у супротну вредност (из 0 у 1 и обрнуто). Стопа мутације представља проценат гена у добијеном потомству над којим ће бити извршена мутација.

Последњи корак у алгоритму је механизам замене популације који брине о генерацијским променама у популацији. У предложеном моделу користи се генерацијска замена популације, која подразумева потпуну смену популације родитеља са добијеним потомством у свакој новој генерацији.

Алгоритам за трговање

Симулација трговања врши се према алгоритму за трговање предложеном у Поглављу 7.3.1 (Слика 7.12).

Параметри генетског алгорита

У Табели 7.17 приказани су параметри генетског алгорита који су коришћени у овој симулацији.

Табела 7.17: Параметри генетског алгорита

| Параметар | Вредност |
|----------------------------|----------|
| <i>Величина популације</i> | 350 |
| <i>Број генерација</i> | 100 |
| <i>Стопа укрштања</i> | 90% |
| <i>Стопа мутације</i> | 1,5% |

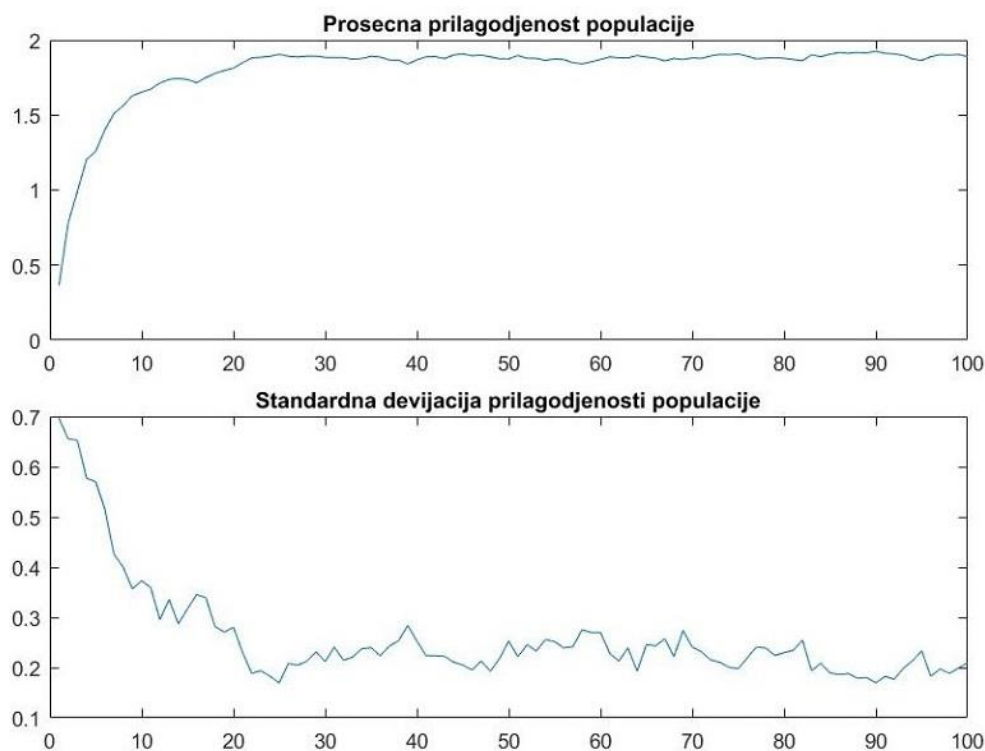
Параметри трговања

Параметри трговања су исти као и у претходним симулацијама. Почетни улог је дефинисан на 100.000 америчких долара по сваком финансијском инструменту. Трошкови трговања су укључени и износе 0,25% вредности сваке купопродајне трансакције. Битно је напоменути да је у предложеном алгоритму за трговање шортовање³⁷ дозвољено.

Резултати и дискусија

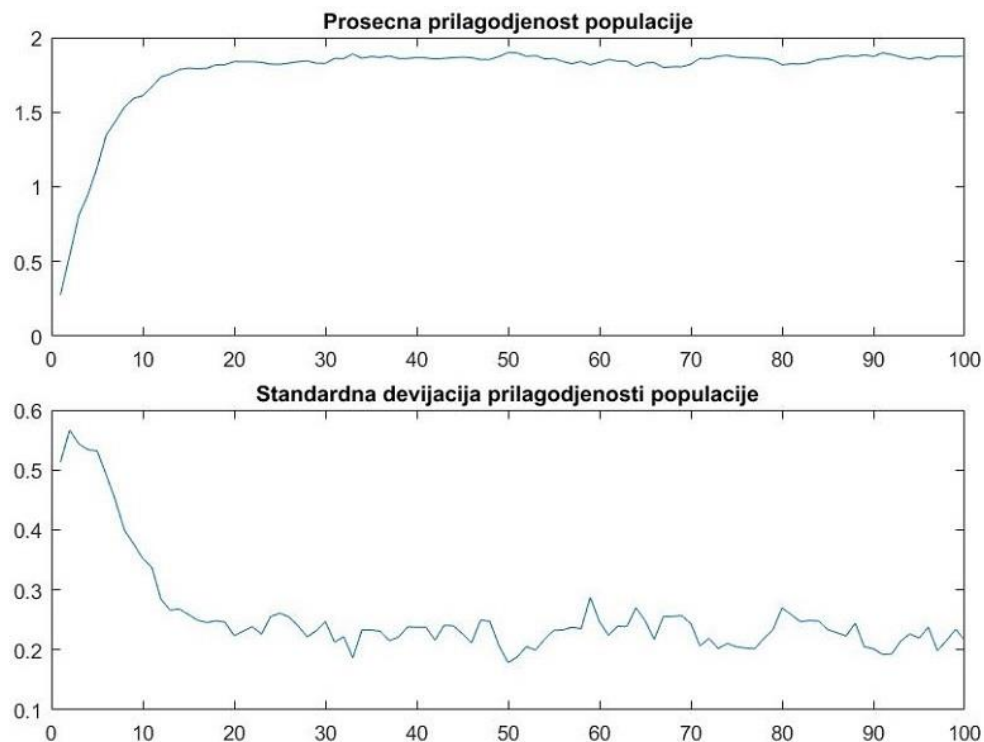
Предложени модел генетског алгорита за обучавање ИФК тестиран је са подацима америчког тржишта акција (Поглавље 6.1). Модел је тестиран помоћу алгорита за трговање коришћењем три различите вредности прага активирања инвестиционе одлуке h . На Сликама 7.16, 7.17 и 7.18 приказано је кретање просечних остварених приноса (ROI) у популацији кроз генерације у зависности од вредности параметра. На графицима је приказано и кретање стандардне девијације приноса популације.

³⁷ Шортовање (енг. *short selling or shorting*) је начин трговања који омогућава зараду при паду цена. Изводи се тако што трговац позајми акције или другу врсту активу којом жели да тргује и прода је на тржишту, очекујући да ће касније моћи да је откупи по нижој цени и врати, а остварену зараду од разлике у цени задржи за себе.



Слика 7.16: Прилагођеност популације кроз генерације за $h=0,55$

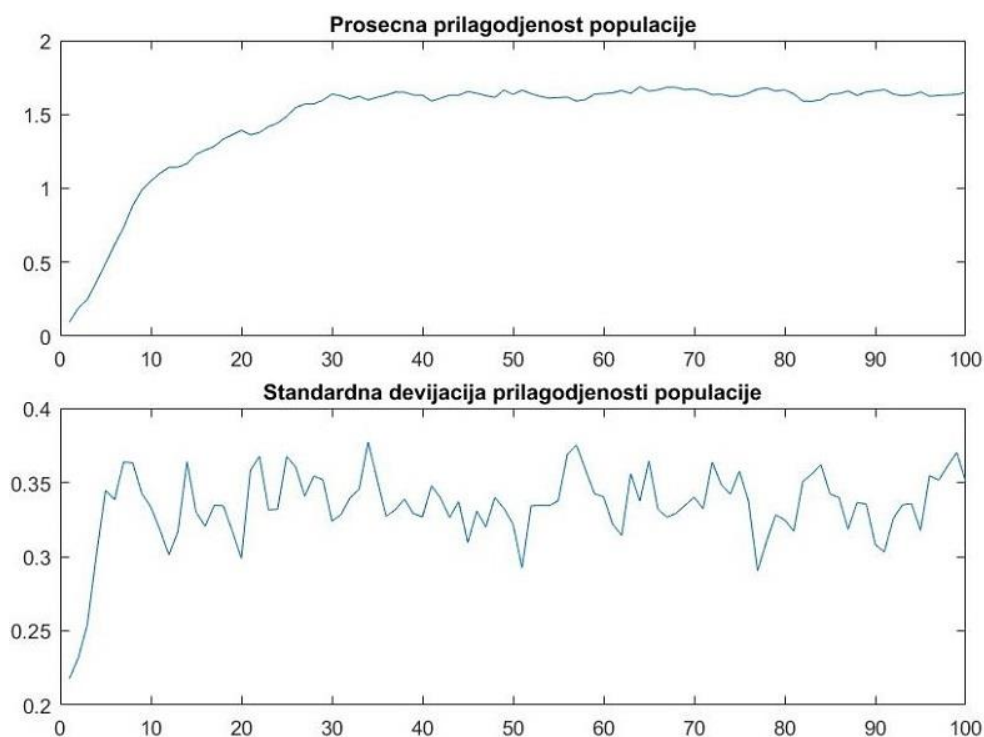
На Сликама 7.16 и 7.17 види се да генетски алгоритам врло брзо конвергира, већ после двадесете генерације. Добијено решење је задовољавајуће са аспекта прилагођености (успешност стратегија), те се брза конвергенција може сматрати повољном имајући у виду рачунарску захтевност проблема и време потребно за симулацију сваке генерације решења.



Слика 7.17: Прилагођеност популације кроз генерације за $h=0,75$

За високу вредност прага активације (Слика 7.18) конвергенција је спорија, при чему је стандардна девијација нижа али не конвергира. Овакав резултат могао би бити проузрокован

чињеницом да за висок ниво критеријума за активирање куповне/продајне одлуке и мале промене у структури стратегије имају за последицу веће промене у њеној успешности.



Слика 7.18: Прилагођеност популације кроз генерације за $h=0,95$

У Табели 7.18 приказане су просечне остварене вредности мера успешности у зависности од прага активације (h). Приказани су просеци за целу популацију, као и за првих 50%, 25% и 10% најуспешнијих јединки (стратегија за трговање) у популацији. Финалне популације имају приближне просеке укупних ефективности (РОИ), при чему стандардна девијација опада са порастом вредности параметра h . Ипак, резултати осталих мера успешности иду у прилог вишим нивоима прага активације:

- просечна ефективност појединачних одлука (PT) знатно је виша за већи h , а уједно је и стандардна девијација мања (што је добро);
- просечна ризичност стратегија (MD) опада са порастом h ;
- просечни степен тачности донесених одлука ($\%Win$) расте са порастом h , при чему стандардна девијација знатно опада.

Анализа остварених резултата за првих 50%, 25% и 10% јединки финалне популације доводи до знатно другачијих закључака. Разлика у просецима укупних успешности јединки све је већа у корист ниже вредности параметра h , при чему и стандардне девијације теже да се уједначе (што разлику у просечним вредностима чини још значајнијом). Упоредо са тим, просечна ефективност и тачност појединачних одлука, као и њихова ризичност, имају тенденцију да се изједначе са порастом перцентиала популације.

Као и у случају примене логичког ДуПонт метода (Поглавље 7.2.2), показује се веза између параметра h и остварених нивоа ефективности, ризичности и тачности тестираног алгоритма за трговање. Ипак, та веза не утиче на укупну успешност предложеног приступа, имајући у виду да су мере ефективности позитивне за све вредности параметра, као и да је исказана висока тачност у доношењу одлука. Ово доказује да се предложени ИФК може успешно користити за управљање трговањем.

Табела 7.18: Резултати примене интерполативног фази контролера у алгоритамском трговању

| | <i>h</i> | 0,55 | | 0,75 | | 0,95 | |
|--|-------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|---------|
| | мера | AVG | STD | AVG | STD | AVG | STD |
| Финална популација | ROI | 135,62% | 36,37% | 131,94% | 31,63% | 132,65% | 23,19% |
| | PT | 137.443\$ | 34.965\$ | 161.962\$ | 20.968\$ | 174.510\$ | 9.693\$ |
| | MD | -32,59% | 1,98% | -30,14% | 2,28% | -29,44% | 2,18% |
| | %Win | 74,51% | 8,50% | 80,84% | 5,45% | 83,70% | 1,72% |
| Првих 50% јединки финалне популације | ROI | 164,37% | 14,12% | 156,88% | 13,14% | 150,53% | 9,29% |
| | PT | 162.990\$ | 17.254\$ | 175.268\$ | 8.272\$ | 178.633\$ | 6.579\$ |
| | MD | -32,55% | 0,87% | -31,56% | 0,77% | -30,91% | 0,68% |
| | %Win | 80,12% | 4,11% | 83,72% | 1,79% | 84,22% | 1,40% |
| Првих 25% јединки финалне популације | ROI | 176,43% | 7,79% | 167,75% | 8,62% | 158,30% | 6,58% |
| | PT | 175.109\$ | 11.515\$ | 180.848\$ | 5.894\$ | 181.273\$ | 5.073\$ |
| | MD | -32,52% | 0,71% | -31,98% | 0,61% | -31,35% | 0,48% |
| | %Win | 82,24% | 2,70% | 84,49% | 1,40% | 84,63% | 1,36% |
| Првих 10% јединки финалне популације | ROI | 184,43% | 4,78% | 176,57% | 5,7% | 164,90% | 4,41% |
| | PT | 183.086\$ | 8.169\$ | 184.286\$ | 3.824\$ | 183.020\$ | 4.001\$ |
| | MD | -32,58% | 0,50% | -32,32% | 0,40% | -31,72% | 0,24% |
| | %Win | 83,69% | 1,95% | 84,61% | 1,09% | 85,06% | 1,09% |
| Најбоља јединка у финалној популацији | ROI | 192,99% | - | 194,64% | - | 176,45% | - |
| | PT | 194.508\$ | - | 195.404\$ | - | 185.092\$ | - |
| | MD | -32,59% | - | -32,71% | - | -32,13% | - |
| | %Win | 85,88% | - | 85,55% | - | 85,71% | - |

У Табелама 7.19, 7.20 и 7.21 приказане су структуре 10 најуспешнијих стратегија за трговање у финалној популацији генетског алгоритма за сваку од тестираних вредности параметра h . Бинарне вредности у колонама К и П представљају укљученост атомских елемената у куповној и продајној стратегији, респективно. Анализом структуре најуспешнијих стратегија откривено је да њихова куповна правила укључују скоро све атоме, а продајна готово ниједан.

Ако куповно правило укучује све атоме онда стратегија увек доноси позитивну одлуку о куповини. Другим речима, купује све акције на тржишту. И обрнуто, ако продајно правило не укључује нити један од атома онда стратегија увек доноси негативну одлуку о продаји, односно никад не продаје.

Најуспешнија стратегија са прагом активације $h=0,55$ (стратегија S_1 у Табели 7.14) у куповном правилу укључује све атоме осим α_{10} и α_{13} . Стратегија је куповала акције свих компанија осим оних код којих су ниске вредности PE и PS рација, а високе $PDiv$ и PB , или оних компанија чије су зарада, приходи и капитал високо вредновани (високи PE , PS и PB), а исплаћују високу дивиденду (низак $PDiv$). У исто време, стратегија је вршила продају акција са високим вредностима PS рација, високим дивидендним приносом (низак $PDiv$) и ниско вреднованим капиталом (низак PB), без обзира на вредности PE (правила α_5 и α_7). Продајним правилом су и акције свих оних фирми које имају високе вредности сва четири посматрана рација (правило α_{16}).

Најуспешнија стратегија при прагу активације $h=0,75$ (стратегија S_1 у Табели 7.15) мање је рестриктивна у куповини од претходно наведене, а више рестриктивна у погледу продаје. Стратегија је куповала акције свих фирми, осим оних које имају високе вредности $PDiv$, PS и PB рација, уз ниску вредност PE . У продајном услову, ова стратегија није имала укључен ниједан атом, што значи да једном купљену акцију никада није продала.

Коначно, најуспешнија стратегија за $h=0,95$ (стратегија S_1 у Табели 7.16) садржи све атоме у куповном правилу и не садржи ниједан атом у продајном. Она купује све акције и никад их не продаје. То је већ помињана „купи и држи“ стратегија, која осликава кретање целог тржишта. Ако је тржиште информационо ефикасно ниједна друга стратегија неће бити успешнија од ове. Резултати који су добијени за висок праг активације показују да предложени модел није успео да открије стратегију која је успешнија од „тржишта“. Са друге стране, резултати у Табелама 7.15 и 7.14 показали су да је при нижим вредностима прага активације могуће открити стратегије које остварују више приносе од S_1 у Табели 7.16.

Овај резултат је у супротности са претпоставкама ефикасних тржишта и представља аргумент у прилог тврдњи да америчко берзанско тржиште није у потпуности ефикасно у анализираном периоду. Имајући у виду теорију адаптивних тржишта, намеће се питање да ли је ова неефикасност привременог типа, односно да ли „исчезава“ с временом. Ово би се могло испитати тако што би се период тестирања поделио на два или више периода, а онда у сваком од њих појединачно истражиле најуспешније стратегије. Ово ће представљати један од праваца будућег истраживања аутора.

Занимљиво је анализирати укупан број појављивања атомских елемената у куповним и продајним правилима на нивоу целе финалне популације, као и за 50% и 25% најпрофитабилнијих стратегија у финалној популацији (Табела 7.21). Резултати показују да је просечна укључености сваког атома већа у куповним правилима профитабилнијих стратегија, док је за продајна правила потпуно обрнут случај – просечна укљученост је мања. Уочљиво је и то да просечна укљученост неких атома знатно одскаче од осталих у куповним и продајним правилима. Израчуната учешћа нам могу послужити да издвојимо најзначајније атоме како за куповину, тако и за продају.

Тако на пример, у куповним стратегијама најређе су заступљени атоми α_7 и α_{15} . То значи да најуспешније стратегије приликом куповине заобилазе акције оних компанија које исплаћују висок дивидендни принос на тренутну цену (низак ниво $PDiv$), да у исто време остварују низак принос од зараде (висок PE) и имају високо вредноване приходе (висок PS), без обзира на вредност рација вредновања капитала (PB). Случај када компанија исплаћује значајан део своје тржишне вредности кроз дивиденду, а да при томе само мањи део тога надокнади зарадом, указује на недостатак могућности или идеја за пласман до тада акумулиране нераспоређене добити у ширење пословања које би оправдало високу вредност PS рација. Испоставља се да је, у анализираном периоду, то био кључни показатељ да акција неће оправдати уложено.

Структура најуспешнијих стратегија (Табеле 7.19, 7.20 и 7.21) и просечна укљученост атома у финалним популацијама стратегија (Табела 7.22) наводе на закључак да је америчко тржиште капитала у анализираном периоду највише награђивало инвеститоре који су били благо рестриктивни или потпуно нерестриктивни при куповини акција и нису имали тенденције да тргују – купљене акције држали су „заувек“. Такође, тржиште није било наклоњено онима који су желели да зараде шортовањем акција.

Табела 7.19: Најефективније стратегије за трговање када је праг активације $h=0,55$

| $h = 0,55$ | | Стратегије | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|------------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|----------|---|
| | | S_1 | | S_2 | | S_3 | | S_4 | | S_5 | | S_6 | | S_7 | | S_8 | | S_9 | | S_{10} | |
| $\alpha_i (\Omega)$ | Атоми | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П |
| α_1 | $\neg PDiv \wedge \neg PE \wedge \neg PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_2 | $PDiv \wedge \neg PE \wedge \neg PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_3 | $\neg PDiv \wedge PE \wedge \neg PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_4 | $PDiv \wedge PE \wedge \neg PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_5 | $\neg PDiv \wedge \neg PE \wedge PS \wedge \neg PB$ | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_6 | $PDiv \wedge \neg PE \wedge PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| α_7 | $\neg PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge \neg PB$ | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| α_8 | $PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| α_9 | $\neg PDiv \wedge \neg PE \wedge \neg PS \wedge PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_{10} | $PDiv \wedge \neg PE \wedge \neg PS \wedge PB$ | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_{11} | $\neg PDiv \wedge PE \wedge \neg PS \wedge PB$ | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| α_{12} | $PDiv \wedge PE \wedge \neg PS \wedge PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_{13} | $\neg PDiv \wedge \neg PE \wedge PS \wedge PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| α_{14} | $PDiv \wedge \neg PE \wedge PS \wedge PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| α_{15} | $\neg PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge PB$ | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_{16} | $PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge PB$ | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Остварени принос (ROI) | | 192,99% | | 192,51% | | 192,48% | | 192,02% | | 190,62% | | 190,08% | | 189,06% | | 189,00% | | 188,88% | | 187,70% | |

Табела 7.20: Најефективније стратегије за трговање када је праг активације $h=0,75$

| $h = 0,75$ | | Стратегије | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|------------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|----------|---|
| | | S_1 | | S_2 | | S_3 | | S_4 | | S_5 | | S_6 | | S_7 | | S_8 | | S_9 | | S_{10} | |
| $\alpha_i (\Omega)$ | Атоми | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П |
| α_1 | $\neg PDiv \wedge \neg PE \wedge \neg PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_2 | $PDiv \wedge \neg PE \wedge \neg PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_3 | $\neg PDiv \wedge PE \wedge \neg PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| α_4 | $PDiv \wedge PE \wedge \neg PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_5 | $\neg PDiv \wedge \neg PE \wedge PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_6 | $PDiv \wedge \neg PE \wedge PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| α_7 | $\neg PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| α_8 | $PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| α_9 | $\neg PDiv \wedge \neg PE \wedge \neg PS \wedge PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_{10} | $PDiv \wedge \neg PE \wedge \neg PS \wedge PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_{11} | $\neg PDiv \wedge PE \wedge \neg PS \wedge PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| α_{12} | $PDiv \wedge PE \wedge \neg PS \wedge PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_{13} | $\neg PDiv \wedge \neg PE \wedge PS \wedge PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_{14} | $PDiv \wedge \neg PE \wedge PS \wedge PB$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_{15} | $\neg PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_{16} | $PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge PB$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Остварени принос (ROI) | | 194,64% | | 186,12% | | 184,48% | | 183,63% | | 183,48% | | 182,53% | | 181,49% | | 180,65% | | 179,37% | | 179,31% | |

Табела 7.21: Најефективније стратегије за трговање када је праг активације $h=0,95$

| $h = 0,95$ | | Стратегије | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|------------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|----------|---|
| | | S_1 | | S_2 | | S_3 | | S_4 | | S_5 | | S_6 | | S_7 | | S_8 | | S_9 | | S_{10} | |
| $\alpha_i (\Omega)$ | Атоми | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П |
| α_1 | $\neg PDiv \wedge \neg PE \wedge \neg PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| α_2 | $PDiv \wedge \neg PE \wedge \neg PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_3 | $\neg PDiv \wedge PE \wedge \neg PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_4 | $PDiv \wedge PE \wedge \neg PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_5 | $\neg PDiv \wedge \neg PE \wedge PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_6 | $PDiv \wedge \neg PE \wedge PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| α_7 | $\neg PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_8 | $PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge \neg PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| α_9 | $\neg PDiv \wedge \neg PE \wedge \neg PS \wedge PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_{10} | $PDiv \wedge \neg PE \wedge \neg PS \wedge PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_{11} | $\neg PDiv \wedge PE \wedge \neg PS \wedge PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_{12} | $PDiv \wedge PE \wedge \neg PS \wedge PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_{13} | $\neg PDiv \wedge \neg PE \wedge PS \wedge PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| α_{14} | $PDiv \wedge \neg PE \wedge PS \wedge PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| α_{15} | $\neg PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge PB$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| α_{16} | $PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge PB$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Остварени принос (ROI) | | 176,45% | | 173,14% | | 172,07% | | 171,57% | | 171,43% | | 171,08% | | 167,87% | | 167,06% | | 166,80% | | 166,77% | |

Табела 7.22: Процент појављивања атома у финалној популацији стратегија

| $\alpha_i (\Omega)$ | Атоми | Финална популација стратегија | | | | | | 50% најпрофитабилнијих стратегија у финалној популацији | | | | | | 25% најпрофитабилнијих стратегија у финалној популацији | | | | | |
|---------------------|--|-------------------------------|-----|------------|-----|------------|-----|---|-----|------------|-----|------------|-----|---|-----|------------|-----|------------|-----|
| | | $h = 0,55$ | | $h = 0,75$ | | $h = 0,95$ | | $h = 0,55$ | | $h = 0,75$ | | $h = 0,95$ | | $h = 0,55$ | | $h = 0,75$ | | $h = 0,95$ | |
| | | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П | К | П |
| α_1 | $\neg PDiv \wedge \neg PE \wedge \neg PS \wedge \neg PB$ | 95% | 4% | 96% | 4% | 92% | 5% | 96% | 2% | 98% | 5% | 94% | 5% | 93% | 2% | 97% | 3% | 99% | 6% |
| α_2 | $PDiv \wedge \neg PE \wedge \neg PS \wedge \neg PB$ | 90% | 5% | 92% | 4% | 96% | 4% | 95% | 3% | 95% | 3% | 98% | 3% | 94% | 1% | 100% | 1% | 99% | 0% |
| α_3 | $\neg PDiv \wedge PE \wedge \neg PS \wedge \neg PB$ | 63% | 19% | 85% | 25% | 92% | 6% | 65% | 17% | 86% | 24% | 95% | 4% | 66% | 16% | 94% | 28% | 83% | 1% |
| α_4 | $PDiv \wedge PE \wedge \neg PS \wedge \neg PB$ | 81% | 6% | 91% | 8% | 98% | 5% | 87% | 3% | 93% | 6% | 97% | 2% | 94% | 1% | 95% | 5% | 97% | 0% |
| α_5 | $\neg PDiv \wedge \neg PE \wedge PS \wedge \neg PB$ | 60% | 45% | 65% | 26% | 90% | 10% | 65% | 46% | 72% | 15% | 90% | 5% | 74% | 41% | 94% | 10% | 80% | 5% |
| α_6 | $PDiv \wedge \neg PE \wedge PS \wedge \neg PB$ | 62% | 45% | 77% | 20% | 85% | 6% | 67% | 37% | 81% | 14% | 85% | 5% | 70% | 23% | 82% | 11% | 79% | 2% |
| α_7 | $\neg PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge \neg PB$ | 35% | 49% | 67% | 46% | 62% | 26% | 39% | 38% | 73% | 33% | 72% | 13% | 45% | 38% | 75% | 26% | 74% | 8% |
| α_8 | $PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge \neg PB$ | 83% | 23% | 53% | 20% | 83% | 11% | 89% | 15% | 62% | 13% | 82% | 8% | 93% | 14% | 80% | 13% | 63% | 3% |
| α_9 | $\neg PDiv \wedge \neg PE \wedge \neg PS \wedge PB$ | 72% | 25% | 87% | 16% | 91% | 7% | 74% | 21% | 89% | 14% | 98% | 6% | 74% | 17% | 100% | 17% | 86% | 5% |
| α_{10} | $PDiv \wedge \neg PE \wedge \neg PS \wedge PB$ | 53% | 17% | 83% | 36% | 89% | 7% | 75% | 11% | 85% | 22% | 98% | 3% | 84% | 6% | 100% | 18% | 86% | 2% |
| α_{11} | $\neg PDiv \wedge PE \wedge \neg PS \wedge PB$ | 49% | 43% | 59% | 48% | 68% | 17% | 65% | 33% | 71% | 45% | 77% | 8% | 64% | 34% | 87% | 40% | 77% | 3% |
| α_{12} | $PDiv \wedge PE \wedge \neg PS \wedge PB$ | 64% | 29% | 74% | 11% | 94% | 5% | 64% | 21% | 82% | 5% | 97% | 3% | 64% | 13% | 95% | 2% | 86% | 2% |
| α_{13} | $\neg PDiv \wedge \neg PE \wedge PS \wedge PB$ | 63% | 57% | 57% | 43% | 63% | 21% | 67% | 47% | 71% | 29% | 67% | 10% | 76% | 39% | 72% | 21% | 79% | 9% |
| α_{14} | $PDiv \wedge \neg PE \wedge PS \wedge PB$ | 73% | 33% | 55% | 19% | 68% | 19% | 76% | 22% | 57% | 17% | 74% | 13% | 79% | 22% | 78% | 11% | 63% | 8% |
| α_{15} | $\neg PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge PB$ | 40% | 38% | 68% | 59% | 42% | 48% | 50% | 30% | 68% | 46% | 47% | 39% | 61% | 24% | 45% | 40% | 74% | 33% |
| α_{16} | $PDiv \wedge PE \wedge PS \wedge PB$ | 76% | 16% | 83% | 18% | 91% | 8% | 79% | 14% | 82% | 9% | 92% | 5% | 83% | 16% | 94% | 5% | 82% | 5% |

8. АДАПТИВНИ ФАЗИ СИСТЕМ ЗА АЛГОРИТАМСКО ТРГОВАЊЕ

У оквиру ове главе проучаван је адаптивни фази систем за алгоритамско трговање развијен коришћењем интерполативног Буловог приступа фази управљању. Систем је тестиран на подацима са америчког тржишта акција, међународног девизног тржишта и тржишта криптовалута.

8.1. Предложени систем

У оквиру овог поглавља представљен је адаптивни фази систем за алгоритамско трговање. Предложени систем спада у фази системе јер је заснован на интерполативном фази контролеру (ИФК) који управља трговањем. Под адаптивношћу подразумевамо способност система да се самостално обучи и да обучавање понавља сваки пут када перформансе система падну испод прихватљивог нивоа. Обучавање се врши помоћу генетског алгоритма који адаптира структуру (правила закључивања) ИФК. С аспекта типа стратегије коју користи за трговање, предложени систем спада у шпекулативне јер користи показатеље техничке и фундаменталне анализе како би антиципирао будућа кретања цена на тржишту.

Модел адаптивног фази систем за алгоритамско трговање приказан је дијаграмом на Слици 8.1. Предложени систем се састоји од следећих подсистема:

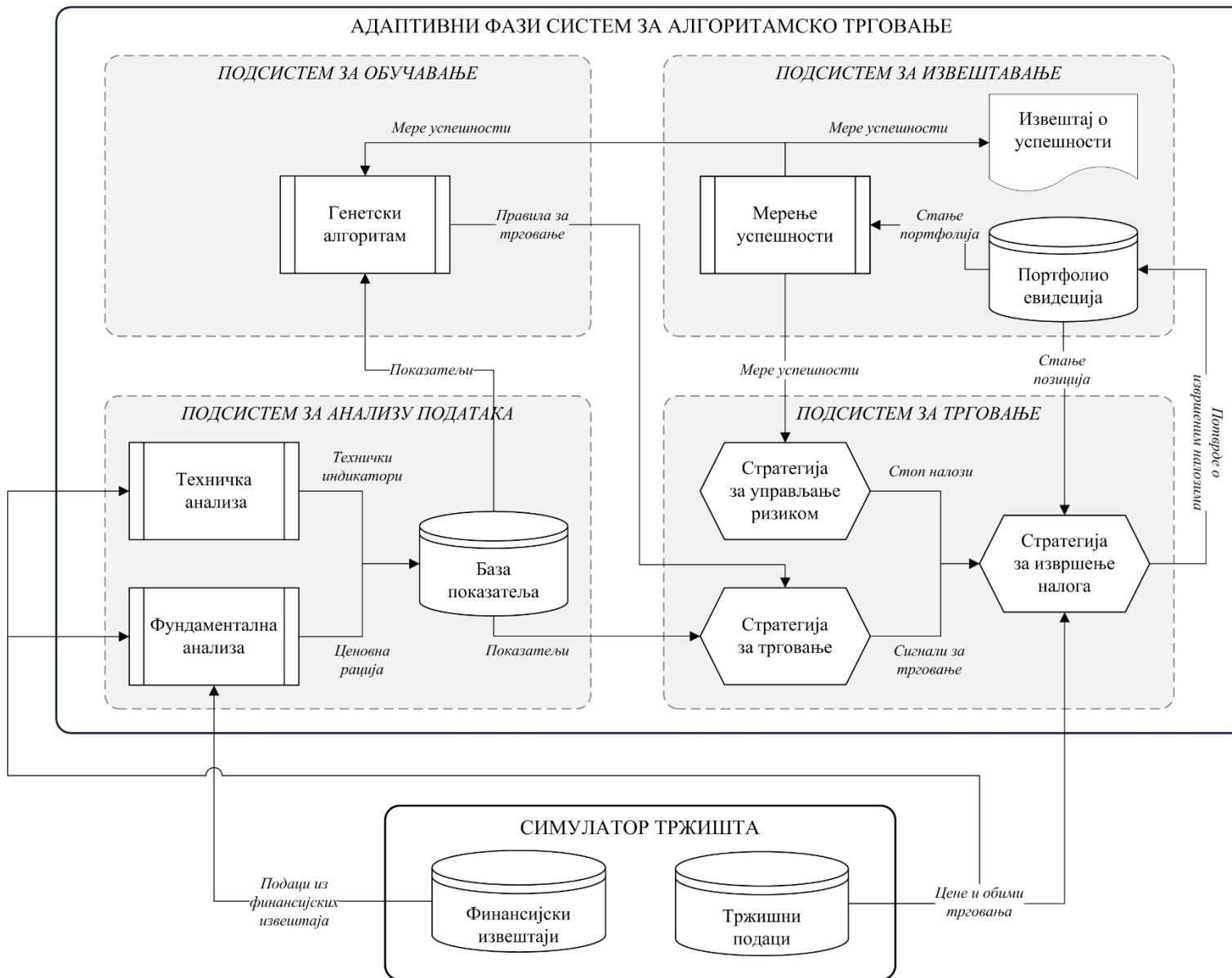
- подсистем за анализу података,
- подсистем за трговање,
- подсистем за обучавање и
- подсистем за извештавање.

Подсистем за анализу података служи да обезбеди улазне информације подсистему за трговање. Његов задатак је да рачуна вредности техничких и фундаменталних показатеља на основу података које добија од симулатора тржишта (у оквиру којег се налазе складишта).

Подсистем за трговање представља централни елемент предложеног адаптивног фази система за алгоритамско трговање. Његов задатак је да доноси инвестиционе одлуке, извршава их кроз купопродајне трансакције и надгледа стање отворених позиција у портфолију. Инвестиционе одлуке се доносе на основу сигнала за трговање које генерише ИФК.

Подсистем за обучавање служи да изврши обучавање ИФК који се налази у подсистему за трговање. Обучавање се изводи помоћу генетског алгоритма, еволуцијом правила за трговање која чине логику контролера.

Коначно, подсистем за извештавање служи да мери успешност предложеног система у алгоритамском трговању и извештава корисника о оствареним перформансама. У наставку поглавља следи детаљан опис наведених подсистема.



Слика 8.1: Модел предложеног адаптивног фази система за алгоритамско трговање

8.1.1. Подсистем за анализу података

Подсистем за анализу података процесуира податке који долазе са тржишта претварајући их у информације на основу којих се управља трговањем. Чине га следеће компоненте:

1. компонента за техничку анализу,
2. компонента за фундаменталну анализу и
3. база показатеља.

Компонента за техничку анализу као улазне податке преузима цене и обиме трговања (из складишта тржишних података) и на основу њих обрачунава вредности техничких индикатора. У компоненти је имплементирано шест техничких индикатора: стопа промене (*ROC*), рацио два експоненцијална покретна просека (*rEMA*), индекс релативне снаге (*RSI*), индекс робног канала (*CCI*), покретна стандардна девијација (*MStd*) и Чајкинов проток новца (*CMF*). Детаљан опис индикатора и њихове формуле дати су у Поглављу 6.2.2.

Компоненти за фундаменталну анализу потребан је приступ како тржишним подацима, тако и подацима из финансијских извештаја компанија. На основу ове две врсте података израчунавају се следећа ценовна рација: цена према дивиденди (*PDiv*), цена према заради (*PE*), цена према приходима (*PS*), цена према књиговодственој вредности (*PB*), цена према средствима (*PA*), цена према дугу (*PD*), цена према готовини (*PC*), цена према слободном новчаном току (*PFCF*) и цена према пословним новчаном току (*POCF*). Детаљан опис рација дат је у Поглављу 6.3.2.

Израчунате вредности показатеља прослеђују се ИФК (који представља стратегију за трговање), који на основу њих генерише сигнал за трговање. Уједно, оне се складиште како би се, по потреби, користиле за обучавање контролера.

8.1.2. Подсистем за трговање

Подсистем за трговање представља централни елемент предложеног адаптивног фази система за алгоритамско трговање. Његова структура дефинисана је у складу са трокомпонентном структуром коју је предложила Олдрицова (Aldridge, 2010). Састоји се од следећих компоненти:

1. стратегија за трговање,
2. стратегија за извршење налога и
3. стратегија за управљање ризиком.

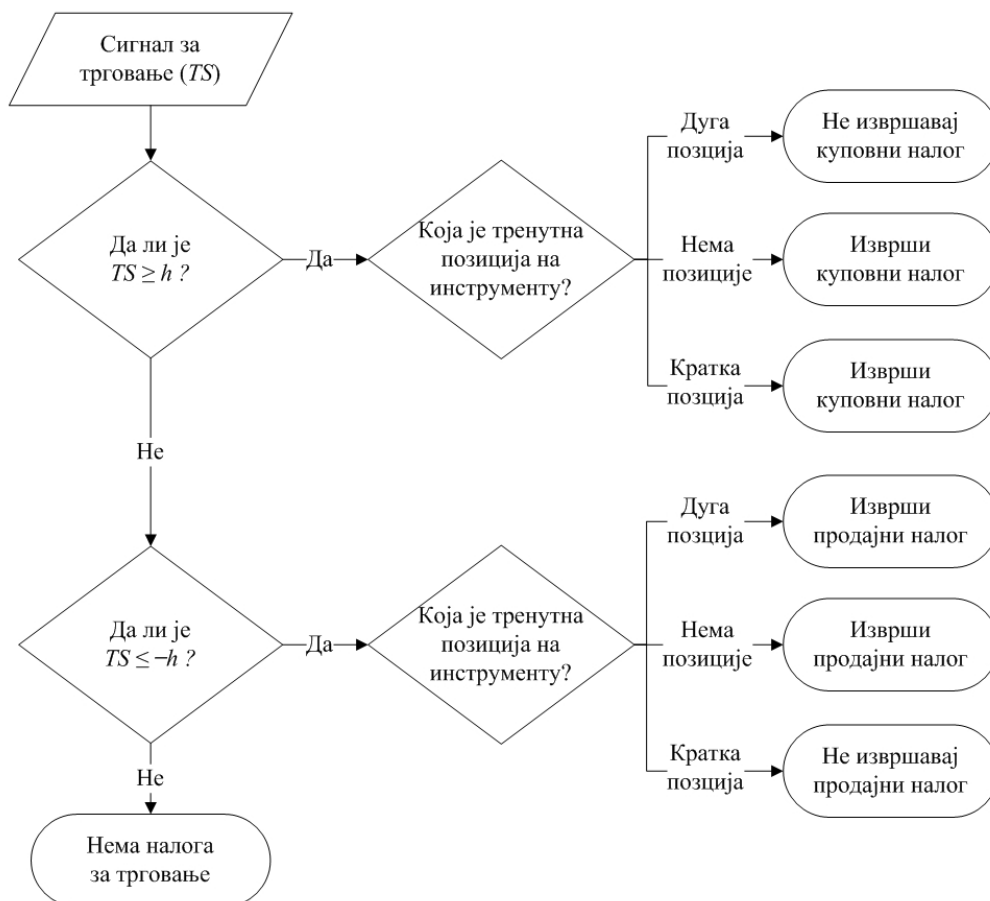
У оквиру стратегије за трговање налази се ИФК који опонаша Цукамото модел фази закључивања (Поглавље 7.3.1). Улазне информације (показатеље техничке и фундаменталне анализе) контролер најпре нормализује, након чега их процесуира у оквиру логичких (ако-онда) правила за трговање. У оквиру контролера дефинисана су два правила за трговање: једно за куповину и једно за продају акција/валуте. Правила за трговање дефинише подсистем за обучавање, користећи генетски алгоритам да их открије из историјских података. Најуспешнија правила добијена током обучавања шаљу се контролеру који их користи за трговање. Излаз из интерполативног фази контролера представља сигнал за трговање (*TS*) који се добија агрегацијом последица оба правила за трговање. Добијени сигнал се шаље стратегији за извршење налога, а његове вредности се крећу у интервалу $[-1, 1]$.

Нормализација ценовних рација врши се применом мин-макс функције (формула 69). Са друге стране, вредности техничких индикатора нормализују се применом динамичке мин-макс функције:

$$normX_t = \frac{X_t - X_{min}^T}{X_{max}^T - X_{min}^T}, \quad (76)$$

где су $X_{min}^T = \min(X_{t-T+1}, X_{t-T+2}, \dots, X_t)$ и $X_{max}^T = \max(X_{t-T+1}, X_{t-T+2}, \dots, X_t)$ минимална и максимална вредност показатеља X током периода T . Динамичка функција има само један параметар – величину временског прозора T у оквиру којег одређује граничне вредности потребне за нормализацију.

Друга компонента подсистема за трговање јесте стратегија за извршење налога. Њен задатак је да протумачи сигнал за трговање и да, узимајући у обзир стање позиција у портфолију, изврши одговарајуће купопродајне активности на тржишту. У реалној примени, ова компонента би, преко брокера или директним приступом (енг. *direct market acces*), слала налоге на тржиште и прихватила повратну информацију о њиховом извршењу. Имајући у виду да је у овом истраживању вршена симулација предложеног система, стратегија за извршење налога је задужена да симулира трговање на основу података које добија од симулатора тржишта.



Слика 8.2: Алгоритам стратегије за извршење налога

Алгоритам рада стратегије за извршење налога приказан је на Слици 8.2. Тумачење сигнала се врши увођењем прага активације h . Вредности сигнала за трговање (TS) које су мање или једнаке вредности $-h$ тумаче се као налог за продају. И обрнуто, вредности сигнала веће или једнаке h представљају наредбу за куповину. Предложени алгоритам користи принцип „једне

позиције“ – уколико је сигнализирани куповни/продајни налог за инструмент на ком већ постоји отворена дуга/кратка позиција, стратегија за извршење га неће извршити. У оквиру предложеног алгоритма дозвољено је шортовање.

За извршење купопродајних налога имплементиран је модел временски пондерисаног извршења (*TWAP*), односно модел временски пондерисане просечне цене (Поглавље 3.5). Након реализације налога, стратегија за извршење налога ажурира стање позиција у портфолију.

Приликом дефинисања процеса симулације трговања, уведена је претпоставка да се сваки задати налог за трговање може извршити на тржишту без обзира на обим трговања. Да би се спречила злоупотребе ове претпоставке и значајан утицај на коначне резултате, почетна количина укупних расположивих новчаних средстава за трговање и количина расположива по сваком купопродајном налогу сведене су на реалне оквире.

Дакле, након извршења налога, предложени систем се налази у једном од следећа два стања:

1. нова позиција је отворена – систем активира стратегију за управљање ризиком која надгледа перформансе позиције;
2. постојећа позиција је затворена – систем деактивира стратегију за управљање ризиком.

Стратегија за управљање ризиком користи два алата:

- стоп налог за позицију – затвара позицију која изгуби одређени проценат вредности (повлачење) од максимално достигнуте;
- стоп налог за портфолио – затвара све позиције у портфолију и зауставља трговање уколико целокупни портфолио изгуби одређени проценат максимално достигнуте вредности.

У случају да се један од два стоп налога активира, стратегија за управљање ризиком га прослеђује на извршење. Дакле, предложени адаптивни фази систем за алгоритамско трговање користи један критеријум за отварање трговачких позиција у портфолију (сигнал за трговање), а један од два за њихово затварање (сигнал за трговање или стоп налог).

Када систем у потпуности заустави трговање по налогу стратегије за управљањем ризиком, то је знак да претходна правила за трговање више нису адекватна и да је потребно адаптирати систем на новонастале тржишне околности. Тада се активира подсистем за обучавање који, користећи најсвежије историјске податке, проналази нова правила за трговање и шаље их стратегији за трговање.

8.1.3. Подсистем за обучавање

Подсистем за обучавање служи да изврши почетно обучавање подсистема за трговање (тачније, стратегије за трговање) и адаптира га по потреби, у случају да промена услова на тржишту негативно утиче на његову успешност. Процес обучавања врши се у тренутку почетка рада система коришћењем најсвежијих историјских података из периода $[t_{start} - T_o, t_{start}]$, где је t_{start} тренутак почетка трговања, а T_o дужина периода обучавања. Адаптација система подразумева поновно обучавање контролера у случају да компонента за управљање ризиком изда стоп налог за портфолио (заустављање трговања). За поновно обучавање користе се подаци из периода $[t_{stop} - T_o, t_{stop}]$, где је t_{stop} тренутак заустављања трговања.

За обучавање ИФК, који управља стратегијом за трговање, подсистем за обучавање користи модел генетског алгоритма представљеног у Поглављу 7.4.1 (Слика 7.14). Након завршетка рада генетског алгоритма, у финалној популацији јединки (стратегиија за трговање) бира се она са највећим оствареним укупним приносом (*ROI*). Изабрана стратегија се прослеђује интерполативном фази контролеру у оквиру подсистема за трговање.

8.1.4. Подсистем за извештавање

Подсистем за извештавање састоји се од компоненте за мерење успешности и портфолио евиденције. У евиденцији се складиште информације о променама стања у портфолију: стања позиција по инструментима, као и количине и цене купљених/продатих инструмената. На основу информација из евиденције рачунају се мере успешности.

У оквиру система имплементирани су следеће мере успешности: укупан принос на инвестирани капитал (*ROI*), зарада по трансакцији (*PT*), максимално повлачење вредности портфолија (*MD*) и проценат успешних трансакција (*%Win*). Детаљан опис мера дат је у Поглављу 6.4. За релативну процену успешности предложеног система коришћена је „купи и држи“ стратегија као реперна.

8.2. Параметри система

У оквиру подсистема за анализу података било је потребно дефинисати параметре техничких индикатора у оквиру компоненте за техничку анализу. Сваки од имплементираних техничких индикатора користи параметар временског прозора за обрачун индикатора. Због међусобне конзистентности коришћених индикатора, као и због једноставности предложеног система, у свим индикаторима прозор је подешен на вредност $n = 15$. Рацио експоненцијалних покретних просека користи два временска оквира: краћи $n = 15$ и дужи $m = 75$.

У оквиру подсистема за трговање, свака од три компоненте има своје параметре које је потребно подесити. У оквиру стратегије за трговање подешавају се параметри нормализационих функција у ИФК. Граничне вредности мин-макс функција, које контролер користи за нормализацију вредности ценовних рација, подешене су за сваки рацио посебно према Табели 8.1. Ови параметри су одређени коришћењем кумулативних расподела вредности рација, као што је представљено у Поглављу 7.3.1. За нормализацију техничких индикатора коришћена је динамичка мин-макс нормализација са прозором дефинисаним временским оквиром $T = 126$, што у дневним подацима одговара периоду од шест месеци.

Табела 8.1: Параметри нормализационих функција ценовних рација

| Показатељ | Доња граница (<i>min</i>) | Горња граница (<i>max</i>) |
|-------------|--------------------------------|---------------------------------|
| <i>PDiv</i> | 50 | 500 |
| <i>PE</i> | 0 | 75 |
| <i>PS</i> | 0 | 8 |
| <i>PB</i> | 0 | 3 |
| <i>PA</i> | 0 | 1 |
| <i>PD</i> | 0 | 20 |
| <i>PC</i> | 0 | 30 |
| <i>PFCF</i> | 0 | 75 |
| <i>POCF</i> | 0 | 30 |

Параметри преостале две компоненте у оквиру подсистема за трговање дати су у Табели 8.2. У оквиру стратегије за извршење налога, тестиране су три вредности прага активације сигнала и то: 0,55, 0,75 и 0,95. Као почетни улог за трговање дефинисана је сума од 100.000 новчаних јединица за оба тржишта, док су трошкови трговања подешени на 0,05% вредности сваке куповине/продаје на међународном девизном тржишту и 0,25% вредности куповина/продаја на америчком тржишту акција.

Табела 8.2: Параметри подсистема за трговање

| Компонента | Параметар | Америчка тржиште акција | Међународно девизно тржиште | Тржиште криптовалута |
|---------------------------------|--|-------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Стратегија за извршење налога | <i>Праг активације (сигнала за трговање)</i> | 0,55, 0,75 и 0,95 | | |
| | <i>Почетни улог (по фин. инструменту)</i> | 100.000 \$ | 100.000 н.ј | 100.000 \$ |
| | <i>Трошкови трговања (по извршеном налогу)</i> | 0,25% | 0,05% | 0,1% |
| Стратегија за управљање ризиком | <i>Максимални дозвољени губитак позиције</i> | од -5% до -20% | од -2,5% до -12,5% | од -5% до -30% |
| | <i>Максимални дозвољени губитак портфолија</i> | од -15% до -30% | од -10% до -20% | од -10% до -50% |

У оквиру стратегије за управљање ризиком постоје два параметра, по један за сваки од стоп налога. Ови параметри представљају дозвољене губитке позиција и портфолија у односу на њихове максималне достигнуте вредности. Параметар максималног дозвољеног губитка у стоп налогу позиције постављен је за девизно тржиште у распону од -2,5% до -12,5%, док је за берзанско тржиште узет опсег вредности од -5% до -20%. За максимални дозвољени губитак портфолија на девизном тржишту изабране су вредности -10%, -15% и -20%, док су за берзанско тржиште оне постављене на -20%, -25% и -30%.

У Табели 8.3 приказани су параметри генетског алгоритма који су коришћени у оквиру подсистема за обучавање. Приликом симулације предложеног система коришћене су популације од 350, 400 и 500 јединки у зависности од броја улазних променљивих. величине популације, у зависности од броја показатеља на основу којих се формирају правила за трговање. Ова рационализација је била неопходна због велике рачунарске захтевности изведених симулација.

Табела 8.3: Параметри подсистема за обучавање

| Параметар | Вредност |
|----------------------------|---|
| <i>Период за обучавање</i> | 1260 дневних опсевација (око 5 година података) |
| <i>Величина популације</i> | 350, 400 и 500 |
| <i>Број генерација</i> | 50 |
| <i>Стопа укрштања</i> | 90% |
| <i>Стопа мутације</i> | 1,5% |

8.3. Резултати за америчко тржиште акција

У оквиру овог поглавља изложени су резултати симулације предложеног адаптивног фази система за алгоритамско трговање коришћењем података са америчког акцијског тржишта (Поглавље 6.1). Резултати су представљени из два дела. Прво је предложени систем тестиран за случај када се за управљање трговањем користе показатељи фундаменталне анализе (Поглавље 8.3.1). Након тога, представљени су резултати добијени коришћењем показатеља техничке анализе (Поглавље 8.3.2).

8.3.1. Резултати фундаменталне анализе

У Табелама 8.5 и 8.6 изложени су резултати примене фундаменталне анализе за управљање трговањем помоћу предложеног система. Коришћена су два скупа улазних (управљачких) променљивих: са четири и осам показатеља. За обучавање су коришћене популације од 350 и 500 јединки, респективно. У оквиру симулације тестиране су различите комбинације параметара система. За сваку комбинацију параметара извршено је пет симулација система. Ово је учињено због карактеристике генетског алгоритма да, при истим почетним условима, у свакој новој симулацији долази до другачије финалне популације решења. У резултујућим табелама приказане су просечне вредности укупних остварених приноса (*ROI*), процента успешних трансакција (*%Win*) и броја трансакција (*Tr*).

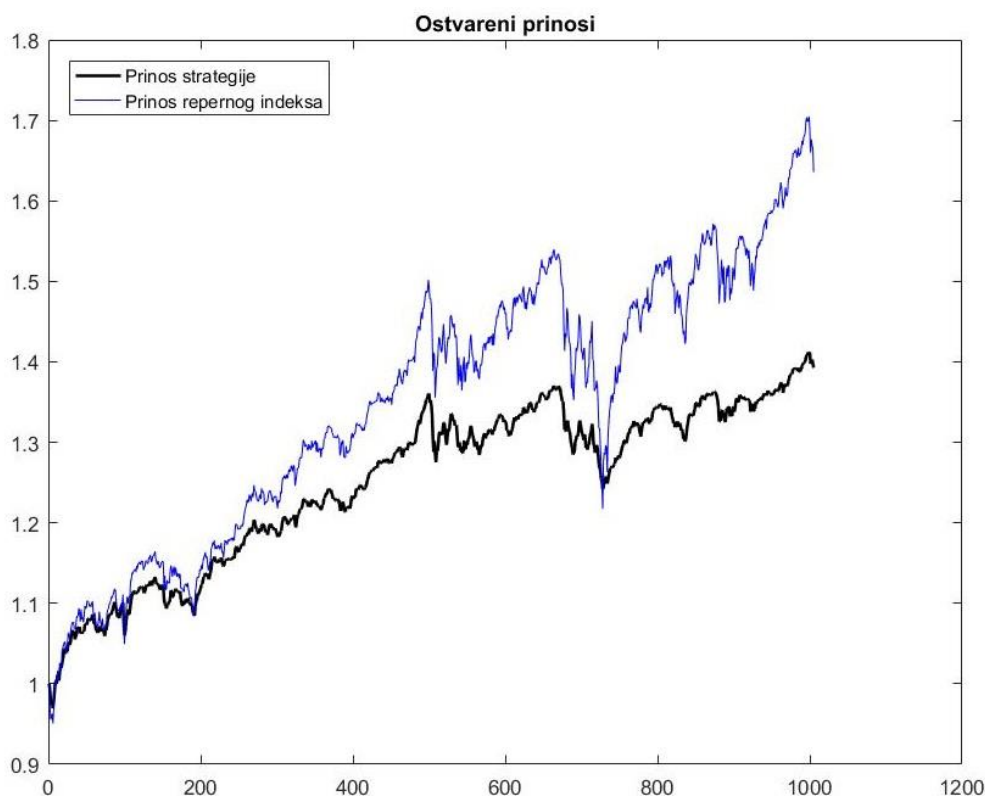
Табела 8.5 приказује резултате примене следећих ценовних рација за управљање трговањем: *PDiv*, *PE*, *PS* и *PB*. Сви остварени просечни приноси су позитивни, што значи да је предложени систем у општем случају профитабилан. У Табели 8.4 приказани су резултати корелационе анализе остварених резултата. Приметна је значајна негативна корелација између параметара стоп налога и успешности стратегије, што значи да што је већи дозвољени губитак позиције и портфолија то су виша ефективности (приноси) и тачност система. Очекивано, постоји статистички значајна позитивна корелација критеријума за активацију са укупним бројем извршених трансакција – што је виши критеријум активације, систем мање тргује.

Табела 8.4: Корелациона анализа резултата за 4 показатеља фундаменталне анализе на америчком тржишту акција

| | | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Trans</i> |
|--------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| <i>h</i> | <i>corr</i> | -0.160 | 0.016 | -0.175* |
| | <i>sig</i> | 0.063 | 0.853 | 0.042 |
| <i>stopT</i> | <i>corr</i> | -0.876** | -0.782** | -0.098 |
| | <i>sig</i> | 0.000 | 0.000 | 0.258 |
| <i>stopP</i> | <i>corr</i> | -0.731** | -0.649** | 0.510** |
| | <i>sig</i> | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Ипак, иако је предложени систем увек профитабилан, то не мора да значи да је уједно и успешан у трговању. Свака активна стратегија/систем за трговање мора да обезбеди вишак приноса (енг. *excess returns*) у односу на пасивне стратегије инвестирања, како би оправдала уложене ресурсе. Због тога вршимо релативну процену успешности предложеног система у односу на реперну „купи и држи“ стратегију. Закључак је да ниједна од тестираних комбинација параметара није успела да надмаши приносе реперне стратегије. На Слици 8.3 упоређено је кретање приноса предложеног система са реперном стратегијом. Приказана је једна симулација система са најуспешнијом комбинацијом параметара: праг активације 0,55, максимални дозвољени губитак портфолија -30% и максимални дозвољени губитак позиције -10%. Реперна стратегија је видно успешнија, али су приноси које остварује систем мање

волатилни, а то значи и мање изложени ризику. Ово посебно долази до изражаја у тренуцима наглог пада цена на тржишту, када пасивна стратегија доживљава високе негативне приносе. Толике, да у неким тренуцима њен укупан принос пада испод приноса система.



Слика 8.3: Остварени приноси на америчком тржишту акција коришћењем фундаменталне анализе (4 показатеља)

У Табели 8.6 приказани су резултати остварени применом осам ценовних рација за управљање трговањем: *PDiv*, *PE*, *PS*, *PB*, *PA*, *PD*, *PC*, *PFCF* и *POCF*. Остварена је знатно мања успешност у односу на претходни случај када су коришћена четири рација. Први могући разлог за овакав резултат је да због повећаног броја улаза систем губи способност генерализације, односно долази до ефекта „претераног обучавања“. Други, могући разлог је величина простора решења, који се експоненцијално увећава додавањем сваке нове улазне променљиве. Додавањем четири рација простор потенцијалних правила за трговање повећао се са $2^4 = 65.536$ на $2^8 = 2^{256}$ могућих правила. Могуће је да је новодобијени простор решења превелики да би се претражио са задатом популацијом (500 јединки) у релативно малом броју генерација (35). Овај резултат оставља простор за будућа истраживања.

Табела 8.7 приказује корелациону анализу остварених резултата. Интересантна је значајна негативна корелација између критеријума активације и ефективности стратегије, каква није постојала у претходном случају са четири показатеља. Параметри стоп налога и даље су корелисани са приносима, али у много мањој мери него у претходним резултатима.

Табела 8.5: Резултати за америчко тржишту акција остварени применом фундаменталне анализе (4 показатеља)

| Максимално дозвољено повлачење | | Праг активације | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------|-----------------|-------------|-----------|---------------|-------------|-----------|---------------|-------------|-----------|
| | | <i>h=0,55</i> | | | <i>h=0,75</i> | | | <i>h=0,95</i> | | |
| Портфолио | Позиција | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Tr</i> | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Tr</i> | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Tr</i> |
| -15% | -5% | 5,53% | 39,84% | 1055,6 | 3,16% | 40,24% | 676,6 | 5,09% | 41,38% | 781,0 |
| -15% | -7,5% | 6,56% | 42,01% | 577,0 | 7,90% | 44,32% | 640,0 | 7,44% | 45,61% | 598,8 |
| -15% | -10% | 12,53% | 43,36% | 522,2 | 9,65% | 43,09% | 463,0 | 7,99% | 44,70% | 348,0 |
| -20% | -7,5% | 14,24% | 44,02% | 1015,4 | 12,83% | 44,20% | 994,4 | 11,24% | 42,25% | 898,0 |
| -20% | -10% | 19,34% | 46,94% | 767,4 | 15,58% | 46,16% | 712,0 | 14,48% | 46,21% | 640,8 |
| -20% | -15% | 22,52% | 44,62% | 473,8 | 19,90% | 43,31% | 438,0 | 14,28% | 42,18% | 361,6 |
| -30% | -10% | 33,73% | 47,70% | 1417,6 | 27,61% | 47,42% | 1247,0 | 26,52% | 47,56% | 1194,6 |
| -30% | -15% | 31,51% | 48,62% | 708,2 | 28,38% | 48,44% | 631,8 | 26,37% | 47,67% | 597,4 |
| -30% | -20% | 31,37% | 49,67% | 429,4 | 25,09% | 49,09% | 360,4 | 24,66% | 50,09% | 362,0 |

Табела 8.6: Резултати за америчко тржишту акција остварени применом фундаменталне анализе (8 показатеља)

| Максимално дозвољено повлачење | | Праг активације | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------|-----------------|-------------|-----------|---------------|-------------|-----------|---------------|-------------|-----------|
| | | <i>h=0,55</i> | | | <i>h=0,75</i> | | | <i>h=0,95</i> | | |
| Портфолио | Позиција | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Tr</i> | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Tr</i> | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Tr</i> |
| -15% | -5% | 0,09% | 34,28% | 253,0 | 0,10% | 34,36% | 74,7 | -0,04% | 36,45% | 7,3 |
| -15% | -7,5% | 2,27% | 40,57% | 271,3 | -0,07% | 26,16% | 43,0 | -0,05% | 41,67% | 8,0 |
| -15% | -10% | 2,78% | 40,62% | 203,0 | 0,21% | 33,82% | 30,0 | 0,09% | 48,89% | 4,5 |
| -20% | -7,5% | 2,68% | 39,61% | 340,7 | 0,61% | 47,65% | 62,7 | 0,02% | 37,50% | 8,0 |
| -20% | -10% | 2,21% | 40,16% | 215,0 | 0,57% | 47,16% | 34,5 | -0,07% | 44,95% | 5,3 |
| -20% | -15% | 1,91% | 31,46% | 124,0 | 0,28% | 35,92% | 32,0 | 0,17% | 44,45% | 7,5 |
| -30% | -10% | 6,78% | 42,04% | 408,3 | 1,32% | 43,23% | 76,5 | 0,15% | 49,54% | 4,0 |
| -30% | -15% | 2,30% | 40,18% | 150,0 | 0,36% | 35,46% | 40,0 | -0,04% | 29,29% | 3,5 |
| -30% | -20% | 8,46% | 46,98% | 169,5 | 1,04% | 42,86% | 28,0 | 0,03% | 33,62% | 6,0 |

Табела 8.7: Корелациона анализа резултата за 8 показатеља фундаменталне анализе на америчком тржишту акција

| | | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Trans</i> |
|--------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| <i>h</i> | <i>corr</i> | -0.706** | -0.077 | -0.943** |
| | <i>sig</i> | 0.000 | 0.534 | 0.000 |
| <i>stopT</i> | <i>corr</i> | -0.320** | -0.212 | 0.058 |
| | <i>sig</i> | 0.008 | 0.085 | 0.642 |
| <i>stopP</i> | <i>corr</i> | -0.275* | -0.081 | 0.205 |
| | <i>sig</i> | 0.024 | 0.514 | 0.096 |

8.3.2. Резултати техничке анализе

У Табели 8.9 дати су резултати примене техничке анализе за управљање трговањем помоћу предложеног система. За управљање је коришћено свих шест индикатора у оквиру компоненте за техничку анализу: *ROC*, *EMA* рацио, *RSI*, *CCI*, *MStd* и *CMF*. За обучавање је коришћена популација од 400 јединки. Као и у претходном случају, за сваку изабрану комбинацију параметара извршено је пет симулација.

Корелациона анализа резултата (Табела 8.8) показује значајне везе између параметара система и остварене успешности. Виши ниво критеријума активације води нижим приносима и мањем укупном броју трансакција, али већој тачности донесених одлука. Већи дозвољени губици у стоп налозима имају за резултат више приносе и вишу стопу успешности појединачних позиција.

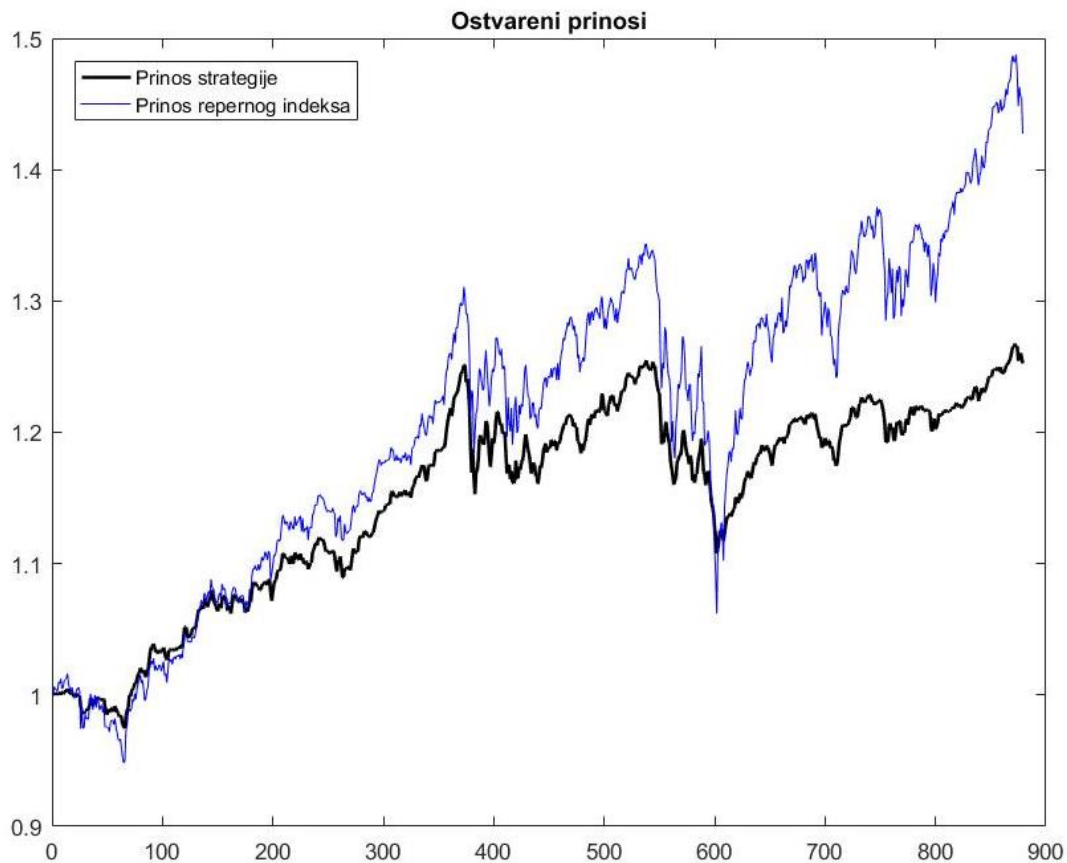
Табела 8.8: Корелациона анализа резултата за 6 показатеља фундаменталне анализе на америчком тржишту акција

| | | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Trans</i> |
|--------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| <i>h</i> | <i>corr</i> | -0.656** | 0.303** | -0.880** |
| | <i>sig</i> | 0.000 | 0.006 | 0.000 |
| <i>stopT</i> | <i>corr</i> | -0.365** | -0.314** | -0.003 |
| | <i>sig</i> | 0.001 | 0.004 | 0.979 |
| <i>stopP</i> | <i>corr</i> | -0.237* | -0.151 | 0.240* |
| | <i>sig</i> | 0.033 | 0.179 | 0.031 |

Готово сви остварени просечни приноси су позитивни, али се то не може сматрати успехом јер је остварена знатно мања зарада у односу на реперну стратегију. На Слици 8.4 упоређено је кретање приноса најуспешније од тестираних комбинација параметара (праг активације 0,55, макс. дозвољени губитак портфолија -30% и макс. дозвољени губитак позиције -20%.) са реперном „купи и држи“ стратегијом. Иако не успева да надмаши реперну стратегију, предложени систем успева да оствари мању волатилност приноса (и у општем случају).

Поређењем резултата примене показатеља фундаменталне и техничке анализе за управљање трговањем, долазимо до следећих закључака:

- коришћење ценовних рација као управљачких променљивих у систему доноси већу укупну зараду и већу тачност при инвестиционом одлучивању,
- за нижи критеријум активације куповне/продајне одлуке, предложени систем је активнији (више тргује) када користи техничке индикаторе за управљање трговањем, док је за више вредности *h* активност система већа када се користе ценовна рација.



Слика 8.4: Остварени приноси на америчком тржишту акција коришћењем техничке анализе (4 показатеља)

8.3.3. Резултати комбиноване фундаменталне и техничке анализе

У Табели 8.10 дати су резултати примене комбинације фундаменталне и техничке анализе за управљање трговањем помоћу предложеног система. За управљање је коришћено осам показатеља, четири техничка индикатора (*ROC*, *EMA* рацио, *RSI* и *CCI*) и четири ценовна рација (*PDiv*, *PE*, *PS* и *PB*). За обучавање је коришћена популација од 500 јединки, за сваку комбинацију параметара извршено је пет симулација.

Сумарно гледано, резултати комбиноване примене фундаменталних и техничких показатеља (Табела 8.10) нису дали очекиване резултате, не успевши да надмаше резултате који су остварени у коришћењу појединачних анализа (Табеле 8.5 и 8.9). Остварена приноси су врло ниски, осим у случају нижег критеријума за активацију куповних/продајних налога заједно са вишим нивоом максимално дозвољеног губитка портфолија.

Табела 8.9: Резултати за америчко тржиште акција остварени применом техничке анализе (6 показатеља)

| Максимално дозвољено повлачење | | Праг активације | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------|-----------------|-------------|-----------|---------------|-------------|-----------|---------------|-------------|-----------|
| | | <i>h=0,55</i> | | | <i>h=0,75</i> | | | <i>h=0,95</i> | | |
| Портфолио | Позиција | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Tr</i> | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Tr</i> | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Tr</i> |
| -15% | -5% | 7,26% | 36,37% | 2179,7 | 2,15% | 36,71% | 694,3 | 2,14% | 44,19% | 244,0 |
| -15% | -7,5% | 10,69% | 40,46% | 1450,3 | -0,31% | 32,52% | 340,7 | 2,27% | 46,53% | 179,3 |
| -15% | -10% | 12,57% | 40,09% | 1153,7 | 0,70% | 32,46% | 352,0 | 0,96% | 43,71% | 114,0 |
| -20% | -7,5% | 4,52% | 36,38% | 1360,7 | 5,96% | 41,47% | 764,3 | 3,52% | 46,74% | 335,0 |
| -20% | -10% | 10,53% | 40,21% | 1022,3 | 5,35% | 40,57% | 557,0 | 3,50% | 45,77% | 250,0 |
| -20% | -15% | 11,51% | 40,51% | 746,7 | 7,62% | 35,36% | 427,0 | 0,89% | 37,10% | 108,7 |
| -30% | -10% | 19,31% | 42,92% | 1628,7 | 13,40% | 42,22% | 1121,0 | 5,15% | 47,12% | 333,0 |
| -30% | -15% | 21,37% | 43,12% | 992,0 | 5,83% | 41,14% | 430,3 | 0,39% | 40,51% | 106,7 |
| -30% | -20% | 22,00% | 46,89% | 695,3 | 12,04% | 44,94% | 421,3 | 1,68% | 38,93% | 103,3 |

Табела 8.10: Резултати за америчко тржиште акција остварени применом комбиноване техничке и фундаменталне анализе (8 показатеља)

| Максимално дозвољено повлачење | | Праг активације | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------|-----------------|-------------|-----------|---------------|-------------|-----------|---------------|-------------|-----------|
| | | <i>h=0,55</i> | | | <i>h=0,75</i> | | | <i>h=0,95</i> | | |
| Портфолио | Позиција | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Tr</i> | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Tr</i> | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Tr</i> |
| -15% | -5% | 1,43% | 34,93% | 663,0 | 0,06% | 32,14% | 89,0 | 0,02% | 32,22% | 5,0 |
| -15% | -7,5% | 0,67% | 32,76% | 430,0 | 0,33% | 37,85% | 114,7 | 0,11% | 47,41% | 10,0 |
| -15% | -10% | 2,38% | 33,58% | 410,3 | 0,96% | 40,01% | 79,7 | 0,27% | 59,35% | 11,7 |
| -20% | -7,5% | 3,45% | 36,25% | 650,0 | 0,39% | 38,17% | 124,7 | 0,16% | 49,02% | 10,7 |
| -20% | -10% | 1,79% | 34,87% | 454,3 | 0,78% | 38,55% | 87,0 | 0,21% | 59,03% | 9,0 |
| -20% | -15% | 4,33% | 36,81% | 349,3 | 0,43% | 36,36% | 66,0 | 0,34% | 58,18% | 11,0 |
| -30% | -10% | 9,47% | 42,87% | 850,0 | 2,28% | 43,11% | 167,7 | 0,46% | 58,83% | 14,7 |
| -30% | -15% | 9,01% | 41,70% | 524,7 | 0,82% | 41,96% | 79,7 | 0,29% | 53,14% | 8,7 |
| -30% | -20% | 11,22% | 42,28% | 409,7 | 2,22% | 42,50% | 99,7 | 0,31% | 50,92% | 9,7 |

Корелациона анализа добијених резултата (Табела 8.11) показује статистичку значајност готово свих корелација, што указује да је систем у овом случају коришћења најосетљивији на промене параметара.

Табела 8.11: Корелациона анализа резултата за комбиновану техничку и фундаменталну анализу на америчком тржишту акција

| | | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Trans</i> |
|--------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| <i>h</i> | <i>corr</i> | -0.685** | 0.571** | -0.943** |
| | <i>sig</i> | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <i>stopT</i> | <i>corr</i> | -0.374** | -0.376** | -0.059 |
| | <i>sig</i> | 0.001 | 0.001 | 0.605 |
| <i>stopP</i> | <i>corr</i> | -0.308** | -0.339** | 0.075 |
| | <i>sig</i> | 0.006 | 0.002 | 0.512 |

8.4. Резултати за међународно девизно тржиште

У оквиру овог поглавља изложени су резултати симулације предложеног адаптивног фази система за алгоритамско трговање коришћењем података са међународног девизног тржишта (опис података дат је у Поглављу 6.1). За управљањем трговањем коришћено је пет показатеља техничке анализе (техничких индикатора):³⁸ *ROC*, *EMA* ратио, *RSI*, *CCI* и *MStd*. За обучавање је коришћена популација од 400 јединки. Извршено је пет симулација система за сваку комбинацију параметара.

У Табели 8.13 приказане су просечне вредности укупних остварених приноса (*ROI*), процента успешних трансакција (*%Win*) и броја трансакција (*Tr*). Приказани резултати остварени су без коришћења леверица,³⁹ који се често употребљава на девизном тржишту како би иначе мале промене цена учинио атрактивним за трговце. У просеку, највећу зараду на девизном тржишту предложени систем оствари за $h=0,75$. Ово је значајна разлика у односу на претходне резултате са америчког тржишта капитала, који су упорно указивали да нижи критеријуми остварују већу зараду. Разлика не треба да чуди ако се има у виду да су америчке берзе током анализираниг периода доживеле најдужу експанзију у својој историји, док су валутна кретања била врло променљивог карактера.

³⁸ Технички индикатор *CMF* није искоришћен јер подаци са међународног девизног тржишта нису укључили обиме трговања, па се овај индикатор није могао израчунати.

³⁹ Левериц представља технику коришћења позајмљених средстава ради куповине/продаје активе. Позајмљена средства најчешће се одобравају у односу 10:1, 50:1 и 100:1 према сопственом капиталу. Средства се позајмљују са идејом да ће остварена зарада бити већа од трошкова позајмице, чиме се принос на уложени капитал увећава многоструко.

Табела 8.12: Резултати за међународно девизно тржиште остварени применом техничке анализе (5 показатеља)

| Максимално дозвољено повлачење | | Праг активације | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------|-----------------|-------------|-----------|---------------|-------------|-----------|---------------|-------------|-----------|
| | | <i>h=0,55</i> | | | <i>h=0,75</i> | | | <i>h=0,95</i> | | |
| Портфолио | Позиција | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Tr</i> | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Tr</i> | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Tr</i> |
| -10% | -2,5% | -3,57% | 36,33% | 86,6 | 1,14% | 36,75% | 34,8 | 0,74% | 35,28% | 19,4 |
| -10% | -5% | -0,98% | 36,58% | 72,0 | 0,49% | 42,95% | 16,6 | 1,85% | 50,10% | 10,0 |
| -10% | -7,5% | -0,42% | 41,25% | 55,2 | -0,22% | 34,14% | 11,4 | -0,27% | 32,00% | 6,6 |
| -15% | -5% | -1,21% | 37,95% | 75,8 | 1,69% | 40,36% | 28,2 | 0,81% | 44,64% | 18,6 |
| -15% | -7,5% | -0,85% | 39,24% | 49,0 | 2,21% | 41,53% | 21,0 | -0,07% | 33,83% | 8,2 |
| -15% | -10% | -4,04% | 41,39% | 63,4 | 1,80% | 41,04% | 13,2 | -0,56% | 37,00% | 5,2 |
| -20% | -7,5% | -4,88% | 40,57% | 77,6 | 2,15% | 41,92% | 29,6 | 1,86% | 39,36% | 8,6 |
| -20% | -10% | -2,38% | 41,51% | 69,0 | 1,88% | 47,87% | 22,4 | -3,30% | 40,45% | 7,4 |
| -20% | -12,5% | -3,43% | 41,02% | 56,0 | -0,71% | 34,20% | 21,4 | -0,64% | 40,67% | 6,0 |

Табела 8.13: Резултати за тржиште криптовалута остварени применом техничке анализе (6 показатеља)

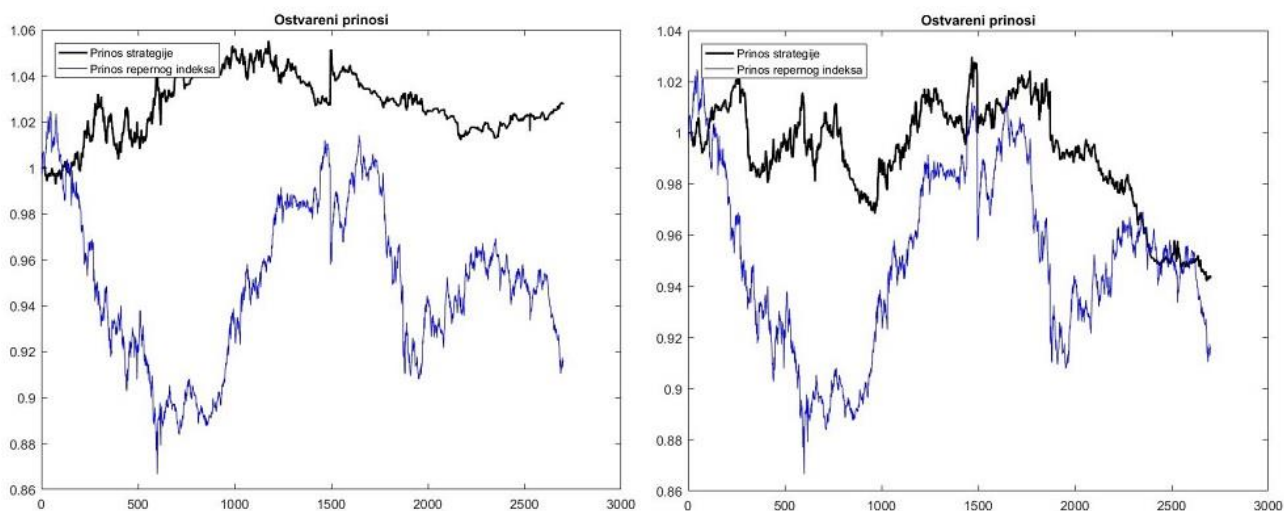
| Максимално дозвољено повлачење | | Праг активације | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------|-----------------|-------------|-----------|---------------|-------------|-----------|---------------|-------------|-----------|
| | | <i>h=0,55</i> | | | <i>h=0,75</i> | | | <i>h=0,95</i> | | |
| Портфолио | Позиција | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Tr</i> | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Tr</i> | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Tr</i> |
| -10% | -5% | 10,92% | 34,56% | 434,0 | 15,51% | 34,70% | 124,0 | -5,68% | 22,01% | 25,7 |
| -20% | -10% | -20,40% | 32,18% | 256,7 | 5,35% | 33,83% | 86,7 | 24,28% | 39,01% | 27,0 |
| -20% | -15% | -17,84% | 30,11% | 255,3 | 21,85% | 33,08% | 78,3 | 29,08% | 42,86% | 18,0 |
| -30% | -10% | -27,18% | 36,82% | 254,7 | -13,02% | 31,34% | 107,0 | 34,66% | 37,12% | 33,0 |
| -30% | -15% | -61,02% | 36,91% | 253,7 | -8,91% | 30,53% | 80,7 | 8,61% | 34,33% | 23,7 |
| -30% | -20% | 4,98% | 39,75% | 224,3 | -2,71% | 31,62% | 67,7 | 16,90% | 29,55% | 20,7 |
| -40% | -15% | -7,28% | 41,82% | 255,0 | 11,26% | 34,96% | 94,3 | 14,53% | 36,16% | 35,3 |
| -40% | -20% | -5,17% | 41,36% | 198,7 | 53,67% | 39,46% | 69,3 | 77,44% | 41,26% | 26,0 |
| -40% | -25% | 2,31% | 42,34% | 181,3 | 148,73% | 45,65% | 59,0 | 76,77% | 37,86% | 20,7 |
| -50% | -20% | -18,28% | 40,63% | 197,3 | 20,04% | 32,48% | 70,7 | 11,47% | 32,96% | 30,3 |
| -50% | -25% | -7,16% | 42,41% | 203,7 | 12,48% | 35,05% | 56,7 | 47,69% | 41,27% | 19,0 |
| -50% | -30% | -77,66% | 40,66% | 226,0 | 115,74% | 41,68% | 59,3 | 87,10% | 33,90% | 13,0 |

Детаљнија анализа остварених резултата показује да значајне, иако не велике, корелације између параметара система и остварених приноса. Ове корелације су позитивне, што значи да систем ефективнији за више критеријуме активације и мање дозвољене губитке у стоп налозима (што је разлика у односу на резултате са тржишта акција).

Табела 8.14: Корелациона анализа резултата за комбиновану техничку и фундаменталну анализу на америчком тржишту акција

| | | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Trans</i> |
|--------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| <i>h</i> | <i>corr</i> | 0.189* | -0.049 | -0.873** |
| | <i>sig</i> | 0.038 | 0.574 | 0.000 |
| <i>stopT</i> | <i>corr</i> | 0.172* | -0.083 | 0.029 |
| | <i>sig</i> | 0.046 | 0.338 | 0.736 |
| <i>stopP</i> | <i>corr</i> | 0.182* | -0.018 | 0.215* |
| | <i>sig</i> | 0.035 | 0.833 | 0.012 |

Симулација са валутним подацима показала је да предложени систем није у општем случају профитабилан. Ипак, сви остварени приноси (без обзира да ли су позитивни или негативни) превазилазе приносе остварене помоћу реперне стратегије. На Слици 8.5 приказана је по једна симулација приноса за најуспешнију и најмање успешнију комбинацију параметра. Дакле, закључак је да, иако систем није увек профитабилан, систем јесте увек успешан у трговању.



Слика 8.5: Остварени приноси на међународном девизном тржишту коришћењем техничке анализе (5 показатеља)

8.5. Резултати за тржиште криптовалута

У оквиру овог поглавља изложени су резултати симулације предложеног адаптивног фази система за алгоритамско трговање коришћењем података са тржишта криптовалута (опис података дат је у Поглављу 6.1). За управљањем трговањем коришћено је шест показатеља техничке анализе (техничких индикатора):⁴⁰ *ROC*, *EMA* ратио, *RSI*, *CCI*, *MStd* и *CMF*. За

⁴⁰ Технички индикатор *CMF* није искоришћен јер подаци са међународног девизног тржишта нису укључили обиме трговања, па се овај индикатор није могао израчунати.

обучавање је коришћена популација од 400 јединки. Извршено је пет симулација система за сваку комбинацију параметара.

У Табели 8.14 приказане су остварени резултати. Највише позитивних резултата систем је остварио за $h=0,95$, а најмање за $h=0,55$. Ови резултати сугеришу да је виши критеријум активације у позитивној вези са *ROI* показатељем. Систем се најуспешније показао за средњу вредност критеријума h и више вредности максималног дозвољеног губитка портфолија. Иако није у општем случају профитабилан, систем се показао да је најчешће успешнији од реперне „купи и држи“ стратегије. Имајући то у виду, можемо закључити да је предложени систем успешан у трговању.

Табела 8.15: Корелациона анализа резултата за комбиновану техничку и фундаметалну анализу на америчком тржишту акција

| | | <i>ROI</i> | <i>%Win</i> | <i>Trans</i> |
|--------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| <i>h</i> | <i>corr</i> | 0.420** | -0.201* | -0.943** |
| | <i>sig</i> | 0.000 | 0.041 | 0.000 |
| <i>stopT</i> | <i>corr</i> | -0.196* | -0.391** | 0.182 |
| | <i>sig</i> | 0.046 | 0.000 | 0.064 |
| <i>stopP</i> | <i>corr</i> | -0.247* | -0.376** | 0.232* |
| | <i>sig</i> | 0.012 | 0.000 | 0.018 |

Корелациона анализа остварених резултата показује да су готово све корелације статистички значајне, што указује на значајну зависност успешности система од изабраних вредности параметара. Виши критеријум активације куповне/продајне одлуке води знатно вишим приносима, мало мањој тачности донесених одлука и драстично мањем броју трансакција. Већи дозвољени губитак доприноси већој ефективности система (виши *ROI*).

Симулација са криптовалутама показала је прави потенцијал система. Велики број опсервација у прикупљеном узорку (чак 24.133) омогућио је систему да искаже потенцијал механизма адаптације. Систем је извршио највише адаптација управо на овим подацима и за одређене вредности параметара остварио фантастичне просечне добитке у периоду мањем од три године (148,73% и 115,74%).

9. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је предложен и проучаван адаптивни фази систем за алгоритамско трговање. Систем је развијен коришћењем интерполативног Буловог приступа фази моделовању, анализи података и управљању. Предложени приступ укључује интерполативне логичке моделе за фази препознавање ценовних образаца на тржишту, логички ДуПонт метод за машинску (аутоматизовану) анализу профитабилности предузећа, интерполативни фази контролер за управљање трговањем и генетски алгоритам за обучавањем интерполативног фази контролера ради откривања стратегија за трговање.

У дисертацији је најпре дат преглед основних теорија финансијских тржишта и појмова у системима за алгоритамско трговање. Изложени су теоријски концепти математичког апарата коришћеног за реализацију предложеног приступа: фази логике и интерполативне Булове алгебре. Детаљно је проучена доступна литература о фази системима за алгоритамско трговање, усредсређујући се на самообучавајуће системе. Уочено је да постојећи системи могу да се самостално обуче, али не и да се адаптирају уколико перформансе система опадну. Такође, аутори се углавном усредсређују на обучавање параметара фази система, а не на подешавање његове структуре. Подешавања параметара нису у стању да открију релације између управљачких и излазних променљивих, те би подешавање структуре контролера био корак даље у откривању знања из података.

Стога се у раду предлаже увођење интерполативног Буловог приступа за моделовање ценовних образаца, анализу и интерпретацију профитабилности пословања предузећа, управљање трговањем и откривање стратегија за трговање из података. Тестирани су предложених модела и метода ради увођења робусног и довољно софистицираног конзистентног приступа који може да се користи за развој система за алгоритамско трговање. Користећи интерполативни Булов приступ развијен је адаптивни фази систем за алгоритамско трговање који је тестиран на америчком берзанском и међународном девизном тржишту. Конструисани адаптивни фази систем може самостално да открије успешне стратегије, примени их за алгоритамско трговање и да се адаптира у случају пада њихових перформанси. Успешност система тестирана је на историјским подацима са америчког тржишта акција, међународног девизног тржишта и тржишта криптовалута.

Предложени интерполативни логички модели графичких образаца јапанских свећица омогућавају градуирано (фази) препознавање ценовних образаца и једноставнији су за подешавање од класичних фази система. То их чини погодним за препознавање ценовних образаца у алгоритамском трговању.

Предложена логичка структура података у логичком ДуПонт методу омогућава да се анализа и интерпретација профитабилности пословања предузећа врше аутоматизовано. Делотворност предложеног метода у избору акција доказана је на подацима са америчког тржишта. Такође, извршена је генерализација предложеног метода која се може користити за аутоматизовану анализу и интерпретацију података у било којој области, не само финансијској фундаменталној анализи.

Предложени интерполативни фази контролер (ИФК) користи генетски алгоритам за откривање стратегија „извлачењем“ правила за трговање из тржишних података. За разлику од класичних фази контролера, ИФК је заснован на интерполативној Буловој алгебри која му омогућава да логичка правила израчунава у Буловом логичком оквиру. Тестирањем на подацима са америчког берзанског тржишта показано је да могу да се открију високоефективне стратегије засноване на ценовним рацијима. Детаљна анализа структуре најуспешнијих стратегија показала је да мање рестриктивни услови при куповини и више

рестриктивни при продаји воде у просеку ка вишим приносима, тј. успешнијој стратегији. Због тога је најбоље да се акције не „шортују“ и да се избегава трговина – једном купљену акцију треба држати „до краја“. Тестирањем модела на подацима са америчког тржишта акција показало је да је коришћењем ценовних рација као управљачких варијабли у трговању могуће „победити тржиште“, тј. надмашити стратегију „купи и држи“.

Уведен је адаптиван фази систем за алгоритамско трговање који се састоји од подсистема за анализу података, подсистема за трговање, подсистема за обучавање и подсистема за извештавање. Новопредложени адаптивни систем може да се самостално обучи и да обучавање понавља сваки пут када перформансе система падну испод прихватљивог нивоа. Предложени систем тестиран је на подацима са америчког тржишта акција, међународног девизног тржишта и тржишта криптовалута. На америчком тржишту акција систем је показао слабије перформансе. Иако је остварио зараду, није успео да надмаши реперну „купи и држи“ стратегију која симулира приносе целог тржишта. Међутим, на тржишту валута и криптовалута предложени систем успео је да надмаши реперну стратегију, најчешће успевајући да постигне позитиван принос.

Током тестирања уочена су одређена ограничења. Критеријум који активира адаптацију система дефинисан је коришћењем максимално дозвољеног губитка портфолија. Тестирањем је утврђено да је тако дефинисан критеријум озбиљан недостатак код тржишта у снажном растућем тренду. Америчко тржиште акција у другој деценији XX века управо карактерише најдужа забележена експанзија у историји. На таквом тржишту, критеријум максимално дозвољеног губитка никада се неће активирати. Због тога, може да се догоди да успешност система значајно заостаје у односу на реперну стратегију, јер његов механизам адаптације (поновног обучавања) остаје пасиван. У наредном периоду, очекује се да ће тржишта доживети нагле и неочекиване промене и да ће се адаптивни фази систем за алгоритамско трговање боље показати.

9.1. Осврт на постављене хипотезе и остварене доприносе

Са гледишта постављених **помоћних хипотеза** изведени су следећи закључци:

- *може се конструисати фази систем за алгоритамско трговање*

Преглед доступне литературе (Глава 5) указао је на постојање студија које су се бавиле развојем фази система за алгоритамско трговање. Посебно је видљив раст интересовања за ове системе почевши од половине прве деценије овог века. Предложени системи су тестирани на различитим типовима финансијских тржишта и у различитим периодима, чиме је потврђено да је могуће конструисати фази системе за алгоритамско трговање.

- *могуће је развити нов начин фази моделовања ценовних образаца увођењем интерполативног Буловог приступа*

У Поглављу 7.1 предложени су интерполативни логички модели образаца јапанских свећица – метода за препознавања ценовних образаца. Предложени модели заснивају се на интерполативним логичким релацијама и омогућавају градуирано (фази) препознавање образаца. Иако су једноставнији за подешавање од класичних фази модела, они могу да изврше фину градацију. То их чини погодним за примену у препознавању ценовних образаца и алгоритамском трговању.

- *могуће је развити фази систем за аутоматизовану фундаменталну финансијску анализу увођењем интерполативног Буловог приступа*

Предложени логички ДуПонт метод за анализу и интерпретацију профитабилности компаније (Поглавље 7.2) нема адекватан пандан у класичном фази приступа. Логички ДуПонт метод је тестиран помоћу алгоритма за трговање на подацима са америчког тржишта акција. Сви добијени резултати потврђују да се предложени метод може успешно користити за аутоматизовану финансијску фундаменталну анализу пословања компанија.

- *могуће је аутоматизовати откривање знања из података и конструисати адаптивни фази систем за алгоритамско трговање применом интерполативног Буловог приступа и генетског алгоритма*

У оквиру Поглавља 7.4 предложен је генетски алгоритам за обучавање интерполативног фази контролера ради откривања знања (стратегија) из података. Добијени резултати са америчког тржишта акција показују да је могуће открити стратегије за трговање које надмашују приносе реперне стратегије „купи и држи“. Имајући у виду да су откривене стратегије надмашиле „тржиште“, оне се могу укључити у постојећу базу инвестиционог знања. Предложени генетски алгоритам, коришћен у оквиру адаптивног фази система за алгоритамско трговање (Глава 8), успешно је тестиран на подацима са америчког тржишта акција, међународног девизног тржишта и тржишта криптовалута. Добијени резултати указују да предложени систем може да оствари позитивне приносе на свим тржиштима, посебно на девизном тржишту и тржишту криптовалута где је надмашио реперну „купи и држи“ стратегију.

На основу аргумената који потврђују помоћне хипотезе може се закључити да је потврђена и **основна хипотеза:**

- *могуће је унапредити фази системе за алгоритамско трговање увођењем интерполативног Буловог приступа у финансијско моделовање, анализу података и управљање.*

Међу оствареним научним и стручним доприносима издвајају се:

- преглед и систематизација основних теорија финансијских тржишта;
- преглед и систематизација појмова система за алгоритамско трговање;
- преглед и систематизација теоријских концепата фази логике и интерполативне Булове алгебре;
- преглед праваца развоја фази система за алгоритамско трговање, са посебним нагласком на адаптивне системе;
- увођење интерполативних логичких модела јапанских свећица за аутоматизовано препознавање ценовних образаца;
- развој и примена логичког ДуПонт метода за аутоматизовану финансијску анализу профитабилности компанија;
- развој и примена интерполативног фази контролера за управљање трговањем на финансијским тржиштима;
- развој и примена генетског алгоритма за обучавање интерполативног фази контролера ради откривања трговачких стратегија из података;

- увођење, развој и примена адаптивног фази система за алгоритамско трговање, који самостално открива (из података) добитне стратегије, примењује их за алгоритамско трговање и адаптира се у складу са променама на финансијском тржишту.
- Практични допринос могуће примене предложених модела и система у различитим областима.

9.2. Могући правци будућих истраживања

Првобитна идеја аутора била је да у предложени адаптивни фази систем за алгоритамско трговање интегрише све моделе и методе из представљеног интерполативног Буловог приступа финансијском моделовању, анализи података и управљању. Будући правац истраживања укључиће интеграцију предложеног приступа у оквиру једног система за алгоритамско трговање.

Предложени систем за алгоритамско трговање тестиран је на, показало се, недовољно великом узорку података који би омогућио да адаптивност система дође до изражаја. Симулација са валутним подацима (ценовна серија од 15 година података) показала је да је систем у стању да надмаши реперну инвестициону стратегију „купи и држи“. Ипак, резултати симулација са берзанским подацима (ценовна серија од 9 година података) нису показали позитивне ефекте адаптивности система, због чега је потребно додатно проширити узорак и поновити тестирање у будућим истраживањима.

Један од могућих узрока неиспуњених очекивања при симулацији са берзанским подацима јесте предложени критеријум за поновно обучавање (адаптацију) система. Услов који активира процес адаптације дефинисан је коришћењем максимално дозвољеног губитка портфолија, који се у случају америчког берзанског тржишта није десио у анализираном периоду – стога се систем није ни адаптирао. Овај проблем се може превазићи увођењем новог услова за адаптацију, који би био дефинисан као опортунитентни губитак у односу на перформансе стратегије „купи и држи“.

У оквиру изведених симулација система тестиране су различите вредности (параметара) прага активације (за доношење куповне/продајне одлуке), максимално дозвољеног губитка позиције (као услова за њено затварање) и максимално дозвољеног губитка портфолија (као услова за заустављање трговања и поновно обучавање система). Поред ових, предложени систем има још параметара чији је утицај на успешност система потребно испитати: параметри техничких индикатора у оквиру подсистема за анализу података, временски прозор динамичке нормализационе функције у подсистему за трговање, затим период обучавања и остали параметри генетских алгоритама у подсистему за обучавање. Будући правац истраживања обухватиће проверу утицаја ових параметара на успешност предложеног система.

У оквиру подсистема за обучавање вршено је откривање профитабилних стратегија из историјских података помоћу генетског алгоритма ради подешавања структуре ИФК који управља трговањем. Избор одговарајуће структуре вршен је на основу критеријума профитабилности – бирана је најпрофитабилнија комбинација куповног и продајног правила. Као будући правац истраживања намеће се развој посебног алгоритма за избор одговарајуће структуре ИФК. Конкретно, нови алгоритам за селекцију правила би могао да се заснива на мерењу сличности најуспешнијих стратегија у популацији. Уместо оних са највећом зарадом у периоду обучавања, алгоритам би бирао она правила која су најсличнија осталим правилима у првих X% популације.

У оквиру предложеног интерполативног Буловог приступа финансијском моделовању, анализи и управљању, предложени су интерполативни модели за препознавање образаца

јапанских свећица у ценовним серијама. Будућа истраживања аутора обухватиће и тестирање успешности примене ових модела у алгоритамском трговању. У оквиру истог приступа, предложен је и логички ДуПонт метод за (машинску) анализу профитабилности компанија. Даља истраживања аутора обухватиће примену генетских алгоритама за обучавање/оптимизацију интерпретационе структуре. Уз предложени логички ДуПонт метод дате су и смернице за његову генерализацију у општи метод машинске анализе и интерпретације података. Један од праваца будућих истраживања укључиће његову реализацију и примену у другим областима.

10. ЛІТЕРАТУРА

Aite Group (2018, June 12). Machines in the markets. *Top of Mind* (Goldman Sachs Research Newsletter). Goldman Sachs.

Aldridge, I. (2010). *High-frequency trading: A practical guide to algorithmic strategies and trading systems* (Vol. 604). John Wiley & Sons.

Alexander, S. S. (1961). Price movements in speculative markets: Trends or random walks. *Industrial Management Review*, 2, 7-26.

Alexander, S. S. (1964). Price movements in speculative markets: Trends or random walks, Number 2. *Industrial Management Review*, 5, 25-46.

Allen, F., & Karjalainen, R. (1999). Using genetic algorithms to find technical trading rules. *Journal of Financial Economics*, 51(2), 245-271.

Almgren, R., & Chriss, N. (2001). Optimal execution of portfolio transactions. *Journal of Risk*, 3(2), 5-39.

Atanassov, K. T. (2012). *On intuitionistic fuzzy sets theory* (Vol. 283). Springer.

Atsalakis, G. S., Dimitrakakis, E. M., & Zopounidis, C. D. (2011). Elliott Wave Theory and neuro-fuzzy systems, in stock market prediction: The WASP system. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 9196-9206.

Bacry, E., Iuga, A., Lasnier, M., & Lehalle, C.-A. (2015). Market impacts and the life cycle of investors orders. *Market Microstructure and Liquidity*, 1(02), 1550009.

Bank for International Settlement (2018). *Monitoring of fast-paced electronic markets Markets Committee*. Bank for International Settlement.

Bank for International Settlement (2019). *Foreign exchange turnover in April 2019 Triennial Central Bank Survey*. Bank for International Settlement.

Bekiros, S. D. (2010a). Fuzzy adaptive decision-making for boundedly rational traders in speculative stock markets. *European Journal of Operational Research*, 202(1), 285-293.

Bekiros, S. D. (2010b). Heterogeneous trading strategies with adaptive fuzzy actor-critic reinforcement learning: A behavioral approach. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 34(6), 1153-1170.

Benou, G., & Richie, N. (2003). The reversal of large stock price declines: The case of large firms. *Journal of Economics and Finance*, 27(1), 19-38.

Bertsimas, D., & Lo, A. W. (1998). Optimal control of execution costs. *Journal of Financial Markets*, 1(1), 1-50.

Blackburn, S. (2005). *The Oxford dictionary of philosophy (2d ed.)*. Oxford: Oxford University Press.

Brock, W., Lakonishok, J., & LeBaron, B. (1992). Simple technical trading rules and the stochastic properties of stock returns. *The Journal of Finance*, 47(5), 1731-1764.

Brogaard, J. (2010). High frequency trading and its impact on market quality. *Northwestern University Kellogg School of Management Working Paper*, 66.

- Brown, D. P., & Jennings, R. H. (1989). On technical analysis. *The Review of Financial Studies*, 2(4), 527-551.
- Brown, R. G. (1957). Exponential smoothing for predicting demand. Massachusetts: Arthur D. Little Inc.
- Buckley, J. J. (1993). Sugeno type controllers are universal controllers. *Fuzzy sets and systems*, 53(3), 299-303.
- Bulkowski, T. N. (2012). *Encyclopedia of candlestick charts* (Vol. 332). John Wiley & Sons.
- Cao, L., Luo, D., & Zhang, C. (2006, August). Fuzzy genetic algorithms for pairs mining. In *Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence* (pp. 711-720). Berlin: Springer.
- Casanova, I. J. (2012). Portfolio investment decision support system based on a fuzzy inference system. In *Computational intelligence* (pp. 183-196). Berlin: Springer.
- Chaboud, A. P., Chiquoine, B., Hjalmarsson, E., & Vega, C. (2014). Rise of the machines: Algorithmic trading in the foreign exchange market. *The Journal of Finance*, 69(5), 2045-2084.
- Chan, L. K., Jegadeesh, N., & Lakonishok, J. (1996). Momentum strategies. *The Journal of Finance*, 51(5), 1681-1713.
- Charles, A., Darné, O., & Kim, J. H. (2012). Exchange-rate return predictability and the adaptive markets hypothesis: Evidence from major foreign exchange rates. *Journal of International Money and Finance*, 31(6), 1607-1626.
- Chavarnakul, T., & Enke, D. (2009). A hybrid stock trading system for intelligent technical analysis-based equivolume charting. *Neurocomputing*, 72(16-18), 3517-3528.
- Chen, G., & Pham, T. T. (2000). *Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems*. CRC Press.
- Cheng, C.-H., Wei, L.-Y., & Chen, Y.-S. (2009). Fusion ANFIS models based on multi-stock volatility causality for TAIEX forecasting. *Neurocomputing*, 72(16-18), 3462-3468.
- Cheung, W. M., & Kaymak, U. (2007, November). A fuzzy logic based trading system. In *Proceedings of the Third European Symposium on Nature-inspired Smart Information Systems* (Vol. 59, pp. 1-60).
- Cheung, Y.-W., & Wong, C. Y.-P. (1997). The performance of trading rules on four Asian currency exchange rates. *Multinational Finance Journal*, 1(1), 1-22.
- Chlistalla, M. (2012). *High-frequency trading: Better than its reputation?* (Research Briefing). Deutsche Bank Research, Frankfurt am Main.
- Chopra, N., Lakonishok, J., & Ritter, J. R. (1992). Measuring abnormal performance: Do stocks overreact? *Journal of Financial Economics*, 31(2), 235-268.
- Chourmouziadis, K., & Chatzoglou, P. D. (2016). An intelligent short term stock trading fuzzy system for assisting investors in portfolio management. *Expert Systems with Applications*, 43, 298-311.
- Conrad, J., & Kaul, G. (1998). An anatomy of trading strategies. *The Review of Financial Studies*, 11(3), 489-519.
- Cootner, P. H. (1962). Stock prices: Random vs. systematic changes. *Industrial Management Review*, 3, 24-45.

- Courtault, J.-M., Kabanov, Y., Bru, B., Crépel, P., Lebon, I., & Le Marchand, A. (2000). Louis Bachelier On the centenary of Théorie de la spéculation. *Mathematical Finance*, 10(3), 339-353.
- Cummings, J. R., & Frino, A. (2011). Index arbitrage and the pricing relationship between Australian stock index futures and their underlying shares. *Accounting & Finance*, 51(3), 661-683.
- De Bondt, W. F., & Thaler, R. (1985). Does the stock market overreact? *The Journal of Finance*, 40(3), 793-805.
- Dempster, M. A., & Jones, C. M. (2001). A real-time adaptive trading system using genetic programming. *Quantitative Finance*, 1(4), 397-413.
- Dong, C., & Wan, F. (2009). A fuzzy approach to stock market timing. In *7th International Conference on Information, Communications and Signal Processing (ICICS 2009)* (pp. 1-4). IEEE.
- Dong, M., & Zhou, X.-S. (2005). Mining technical patterns in the US stock market through soft computing computational intelligence for modelling and prediction. In *Computational Intelligence for Modelling and Prediction* (pp. 247-263). Berlin: Springer.
- Dourra, H., & Siy, P. (2002). Investment using technical analysis and fuzzy logic. *Fuzzy sets and systems*, 127(2), 221-240.
- Dragović, I., Turajlić, N., Pilčević, D., Petrović, B., & Radojević, D. (2015). A Boolean consistent fuzzy inference system for diagnosing diseases and its application for determining peritonitis likelihood. *Computational and mathematical methods in medicine*, 2015.
- Duhigg, C., & Kurzweil, R. (2006, November 24). A smarter computer to pick stocks. *New York Times*. Retrieved from <https://www.nytimes.com/2006/11/24/business/24trading.html>
- Dymova, L., Sevastianov, P., & Bartosiewicz, P. (2010). A new approach to the rule-base evidential reasoning: Stock trading expert system application. *Expert Systems with Applications*, 37(8), 5564-5576.
- Dymova, L., Sevastianov, P., & Kaczmarek, K. (2012). A stock trading expert system based on the rule-base evidential reasoning using Level 2 Quotes. *Expert Systems with Applications*, 39(8), 7150-7157.
- Dymova, L., Sevastjanov, P., & Kaczmarek, K. (2016). A Forex trading expert system based on a new approach to the rule-base evidential reasoning. *Expert Systems with Applications*, 51, 1-13.
- Evans, C., Pappas, K., & Xhafa, F. (2013). Utilizing artificial neural networks and genetic algorithms to build an algo-trading model for intra-day foreign exchange speculation. *Mathematical and Computer Modelling*, 58(5-6), 1249-1266.
- Fama, E. F. (1965). The behavior of stock-market prices. *The Journal of Business*, 38(1), 34-105.
- Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *The Journal of Finance*, 25, 383-417.
- Fama, E. F., Fisher, L., Jensen, M. C., & Roll, R. (1969). The adjustment of stock prices to new information. *International Economic Review*, 10(1), 1-21.
- Fang, Y., Lai, K. K., & Wang, S.-Y. (2006). Portfolio rebalancing model with transaction costs based on fuzzy decision theory. *European Journal of Operational Research*, 175(2), 879-893.

- Farmer, J. D., Gerig, A., Lillo, F., & Waelbroeck, H. (2013). How efficiency shapes market impact. *Quantitative Finance*, 13(11), 1743-1758.
- Fasanghari, M., & Montazer, G. A. (2010). Design and implementation of fuzzy expert system for Tehran Stock Exchange portfolio recommendation. *Expert Systems with Applications*, 37(9), 6138-6147.
- Fenn, D. J., Howison, S. D., McDonald, M., Williams, S., & Johnson, N. F. (2009). The mirage of triangular arbitrage in the spot foreign exchange market. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 12(08), 1105-1123.
- Fong, S., Si, Y. W., & Tai, J. (2012). Trend following algorithms in automated derivatives market trading. *Expert Systems with Applications*, 39(13), 11378-11390.
- Gatev, E., Goetzmann, W. N., & Rouwenhorst, K. G. (2006). Pairs trading: Performance of a relative-value arbitrage rule. *The Review of Financial Studies*, 19(3), 797-827.
- Ghandar, A., Michalewicz, Z., Schmidt, M., Tô, T. D., & Zurbrugg, R. (2009). Computational intelligence for evolving trading rules. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 13(1), 71-86.
- Goldberg, D. E. (2006). *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning (2nd ed.)*. Pearson Education India.
- Gomber, P., Arndt, B., Lutat, M., & Uhle, T. (2011). *High frequency trading*. Frankfurt: House of Finance, Goethe-Universität.
- Gradojevic, N., & Gençay, R. (2013). Fuzzy logic, trading uncertainty and technical trading. *Journal of Banking & Finance*, 37(2), 578-586.
- Granger, C. W., & Morgenstern, O. (1963). Spectral analysis of New York stock market prices. *Kyklos*, 16(1), 1-27.
- Grossman, S. J., & Stiglitz, J. E. (1980). On the impossibility of informationally efficient markets. *The American economic review*, 393-408.
- Guéant, O. (2015). Optimal execution and block trade pricing: a general framework. *Applied Mathematical Finance*, 22(4), 336-365.
- Guo, X., Shek, H., Lai, T. L., & Wong, S. P.-S. (2017). *Quantitative trading: Algorithms, analytics, data, models, optimization*. Chapman and Hall/CRC.
- Hajek, P. (1998). *Metamathematics of fuzzy logic (Vol. 4)*. Springer Science & Business Media.
- Hernandez-Aguila, A., Garcia-Valdez, M., & Castillo, O. (2018). Money management for a foreign exchange trading strategy using a fuzzy inference system. In *Fuzzy Logic Augmentation of Neural and Optimization Algorithms: Theoretical Aspects and Real Applications* (pp. 275-286). Springer.
- Higgins, R. C. (2007). *Analysis for financial management (8th ed.)*. New York: McGraw-Hill Irwin.
- Houthakker, H. S. (1961). Systematic and Random Elements in Short-Term Price Movements. *The American economic review*, 51(2), 164-172.
- Hu, T., Payne, J. L., Banzhaf, W., & Moore, J. H. (2012). Evolutionary dynamics on multiple scales: a quantitative analysis of the interplay between genotype, phenotype, and fitness in linear genetic programming. *Genetic Programming and Evolvable Machines*, 13(3), 305-337.

- Huang, H., Pasquier, M., & Quek, C. (2009). Financial market trading system with a hierarchical coevolutionary fuzzy predictive model. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 13(1), 56-70.
- International Monetary Fund (2019). *The Currency Composition of Official Foreign Exchange Reserves (COFER)*. International Monetary Fund. Retrieved February, 2020, from <http://data.imf.org/?sk=E6A5F467-C14B-4AA8-9F6D-5A09EC4E62A4&sId=1408202647052>
- Jacobs, B. I., & Levy, K. N. (2016). *Equity Management: The Art and Science of Modern Quantitative Investing (2nd ed.)*. McGraw Hill Professional.
- Jain, P. K. (2005). Financial market design and the equity premium: Electronic versus floor trading. *The Journal of Finance*, 60(6), 2955-2985.
- Javaheri, A. (2011). *Inside Volatility Arbitrage: The Secrets of Skewness* (Vol. 317). John Wiley & Sons.
- Javanbarg, M. B., Scawthorn, C., Kiyono, J., & Shahbodaghkhan, B. (2012). Fuzzy AHP-based multicriteria decision making systems using particle swarm optimization. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 960-966.
- Jensen, M. C., & Benington, G. A. (1970). Random walks and technical theories: Some additional evidence. *The Journal of Finance*, 25(2), 469-482.
- Jegadeesh, N., & Titman, S. (1993). Returns to buying winners and selling losers: Implications for stock market efficiency. *The Journal of Finance*, 48(1), 65-91.
- Jegadeesh, N., & Titman, S. (2001). Profitability of momentum strategies: An evaluation of alternative explanations. *The Journal of Finance*, 56(2), 699-720.
- Johnson, B. (2010). *Algorithmic trading & DMA: An introduction to direct access trading strategies* (Vol. 200). 4Myeloma Press, London.
- Kablan, A. (2010, June). A fuzzy logic momentum analysis system for financial brokerage. In *2010 International Conference on Financial Theory and Engineering* (pp. 57-61). IEEE.
- Karnik, N. N., Mendel, J. M., & Liang, Q. (1999). Type-2 fuzzy logic systems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 7(6), 643-658.
- Kendall, M. G. (1953). The analysis of economic time-series - part I: Prices. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 116(1), 11-34.
- Kim, J. H., Shamsuddin, A., & Lim, K. P. (2011). Stock return predictability and the adaptive markets hypothesis: Evidence from century-long US data. *Journal of Empirical Finance*, 18(5), 868-879.
- Kissell, R. (2014). *The Science of Algorithmic Trading and Portfolio Management*. Oxford (UK): Academic Press.
- Klement, E. P., Mesiar, R., & Pap, E. (2000). *Triangular Norms*. Springer Science & Business Media.
- Koller, T., Goedhart, M., & Wessels, D. (2010). *Valuation: Measuring and Managing the Value of Companies*. Hoboken, New Jersey (USA): John Wiley and Sons, Inc.
- Korczak, J., Hernes, M., & Bac, M. (2015, September). Fuzzy logic in the multi-agent financial decision support system. In *2015 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)* (pp. 1367-1376). IEEE.

- Kosko, B. (1994). Fuzzy systems as universal approximators. *IEEE Transactions on Computers*, 43(11), 1329-1333.
- Kovačević, D., Sekulić, P., & Rakićević, A. (2011, 22 Jun). Consistent interpolative fuzzy logic and investment decision-making. In *The First Annual Conference of Young Serbian Economists*. National Bank of Serbia.
- Kuo, R. J., Chen, C., & Hwang, Y. (2001). An intelligent stock trading decision support system through integration of genetic algorithm based fuzzy neural network and artificial neural network. *Fuzzy Sets and Systems*, 118(1), 21-45.
- Kyle, A. S. (1985). Continuous auctions and insider trading. *Econometrica*, 53(6), 1315-1335.
- Lambert, D. R. (1983). Commodity channel index: Tool for trading cyclic trends. *Technical Analysis of Stocks & Commodities*, 1, 47.
- Lan, Q., Zhang, D., & Xiong, L. (2011). Reversal pattern discovery in financial time series based on fuzzy candlestick lines. *Systems Engineering Procedia*, 2, 182-190.
- Latinovic, M., Dragovic, I., Arsic, V. B., & Petrovic, B. (2018). A fuzzy inference system for credit scoring using Boolean consistent fuzzy logic. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 11(1), 414-427.
- LeBaron, B. (2000). The stability of moving average technical trading rules on the Dow Jones Index. *Derivatives Use, Trading and Regulation*, 5(4), 324-338.
- Lee, C. C. (1990). Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller, Part II. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 20(2), 419-435.
- Lee, C.-H. L., Liu, A., & Chen, W.-S. (2006). Pattern discovery of fuzzy time series for financial prediction. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 18(5), 613-625.
- Leinweber, D. (2009). *Nerds on Wall Street: Math, machines and wired markets*: John Wiley and Sons.
- Levy, R. A. (1967a). Relative strength as a criterion for investment selection. *The Journal of Finance*, 22(4), 595-610.
- Levy, R. A. (1967b). Random walks: Reality or myth. *Financial Analysts Journal*, 23(6), 69-77.
- Levy, R. A. (1968). Random walks: Reality or myth - Reply. *Financial Analysts Journal*, 24(1), 129-132.
- Lewis, M. (2014). *Flash Boys: A Wall Street Revolt*. New York: W. W. Norton & Company, Inc.
- Lincy, G. R. M., & John, C. J. (2016). A multiple fuzzy inference systems framework for daily stock trading with application to NASDAQ stock exchange. *Expert Systems with Applications: An International Journal*, 44(C), 13-21.
- Liu, X., An, H., Wang, L., & Guan, Q. (2017). Quantified moving average strategy of crude oil futures market based on fuzzy logic rules and genetic algorithms. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 482, 444-457.
- Liu, Y.-J., & Zhang, W.-G. (2015). A multi-period fuzzy portfolio optimization model with minimum transaction lots. *European Journal of Operational Research*, 242(3), 933-941.

- Lo, A. W. (2004). The adaptive markets hypothesis. *The Journal of Portfolio Management*, 30(5), 15-29.
- Lo, A. W. (2005). Reconciling efficient markets with behavioral finance: the adaptive markets hypothesis. *Journal of Investment Consulting*, 7(2), 21-44.
- Lo, A. W., & MacKinlay, A. C. (1988). Stock market prices do not follow random walks: Evidence from a simple specification test. *The Review of Financial Studies*, 1(1), 41-66.
- Lo, A. W., & MacKinlay, A. C. (1990). When are contrarian profits due to stock market overreaction? *The Review of Financial Studies*, 3(2), 175-205.
- Lo, A. W., Mamaysky, H., & Wang, J. (2000). Foundations of technical analysis: Computational algorithms, statistical inference, and empirical implementation. *The Journal of Finance*, 55(4), 1705-1765.
- Malkiel, B. G. (2019). *A Random Walk Down Wall Street: The Time-Tested Strategy for Successful Investing (12th ed.)*. New York: WW Norton & Company.
- Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13.
- Mandelbrot, B. B. (1963). The variation of certain speculative prices. *The Journal of Business*, 36(4), 394-419.
- Marshall, B. R., Nguyen, N. H., & Visaltanachoti, N. (2013). ETF arbitrage: Intraday evidence. *Journal of Banking & Finance*, 37(9), 3486-3498.
- Marszałek, A., & Burczyński, T. (2014). Modeling and forecasting financial time series with ordered fuzzy candlesticks. *Information sciences*, 273, 144-155.
- Mattli, W. (2019). *Darkness by Design: The Hidden Power in Global Capital Markets*. Princeton University Press.
- McGowan, M. J. (2010). *The Rise of Computerized High Frequency Trading: Use and Controversy*. Duke University. Retrieved from <https://scholarship.law.duke.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1211&context=dltr>
- Milić, M., Rakićević, A., Milošević, P., & Simeunović, V. (2019). Veb aplikacija za fazi prepoznavanje cenovnih obrazaca na finansijskim tržištima. *INFO M*, 69, 23-29. ISSN:1451-4397.
- Milošević, P., Petrović, B., Radojević, D., & Kovačević, D. (2014). A software tool for uncertainty modeling using Interpolative Boolean algebra. *Knowledge-Based Systems*, 62, 1-10.
- Milošević, P., Poledica, A., Rakićević, A., Dobrić, V., Petrović, B., & Radojević, D. (2018). IBA-based framework for modeling similarity. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 11(1), 206-218.
- Moosa, I. (2001). Triangular arbitrage in the spot and forward foreign exchange markets. *Quantitative Finance*, 1(4), 387-390.
- Morgan, D. (2013). *Algorithmic Trading: A Complex Map*. SunGard.
- Morris, G. L. (2006). *Candlestick Charting Explained (3rd ed.)*. McGraw Hill Professional.
- Naranjo, R., Arroyo, J., & Santos, M. (2018). Fuzzy modeling of stock trading with fuzzy candlesticks. *Expert Systems with Applications*, 93, 15-27.

- Neely, C. J., Weller, P. A., & Ulrich, J. M. (2009). The adaptive markets hypothesis: evidence from the foreign exchange market. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 44(2), 467-488.
- Nešić, I., Milošević, P., Rakićević, A., Petrović, B., & Radojević, D. (2013, August). Modeling Candlestick Patterns with Interpolative Boolean Algebra for Investment Decision Making. In *Soft Computing Applications: Advances in Intelligent Systems and Computing 195* (Proceedings of the 5th International Workshop Soft Computing Applications SOFA) (pp. 105-115). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Nison, S. (1991). *Japanese Candlestick Charting Techniques: A Contemporary Guide to the Ancient Investment Techniques of the Far East*. New York Institute of Finance.
- Nuti, G., Mirghaemi, M., Treleaven, P., & Yingsaeree, C. (2011). Algorithmic trading. *Computer*, 44, 61-69.
- Olson, D. (2004). Have trading rule profits in the currency markets declined over time? *Journal of Banking & Finance*, 28(1), 85-105.
- Osborne, M. F. (1959). Brownian motion in the stock market. *Operations Research*, 7(2), 145-173.
- Osipovich, A. (2017, Mar 21). High-frequency traders fall on hard times. *The Wall Street Journal*.
- Palepu, K. G., & Healy, P. M. (2013). *Business Analysis Valuation: Using Financial Statements (5th ed.)*. South-Western, Cengage Learning.
- Patterson, S. (2014, Feb 11). High-speed stock traders turn to laser beams. *The Wall Street Journal*.
- Perold, A. F. (1988). The implementation shortfall: Paper versus reality. *Journal of Portfolio Management*, 14(3), 4. doi: <https://doi.org/10.3905/jpm.1988.409150>
- Pierron, A. (2017). *Artificial Intelligence in Capital Markets: The Next Operational Revolution*. OPIMAS.
- Pinto, J. E., Henry, E., Robinson, T. R., & Stowe, J. D. (2010). *Equity asset valuation (2nd ed.)*. John Wiley and Sons.
- Prix, J., Loistl, O., & Huetl, M. (2007). Algorithmic trading patterns in Xetra orders. *The European Journal of Finance*, 13(8), 717-739.
- Radojević, D. (2000). [0, 1]-valued logic: A natural generalization of Boolean logic. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 10(2), 185-216.
- Radojević, D. (2005). Interpolative relations and interpolative preference structures. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 15(2), 171-189.
- Radojević, D. (2008a). Interpolative realization of Boolean algebra as a consistent frame for gradation and/or fuzziness. In *Forging New Frontiers: Fuzzy Pioneers II* (pp. 295-317). Springer.
- Radojević, D. (2008b). Fuzzy Set Theory in Boolean Frame. *International Journal of Computers, Communications & Control*, 3(3).
- Radojevic, D. (2008c). Logical aggregation based on interpolative. *Mathware & Soft Computing*, 15(1), 125-141.
- Rakićević, A., & Milošević, P. (2017). IBA sistem za automatizovano trgovanje na berzi. In *InfoTech 2017*. <http://www.infotech.org.rs/pdf/052.pdf>

- Rakićević, A., Milošević, P., Petrović, B., & Radojević, D. (2016). DuPont Financial Ratio Analysis Using Logical Aggregation. In *Soft Computing Applications - Proceedings of the 6th International Workshop Soft Computing Applications (SOFA 2014)* (Vol. 2, pp. 727-739). Springer International Publishing Switzerland.
- Rakićević, A., Milošević, P., & Poledica, A. (2014). Sistem za evaluaciju finansijskih performansi kompanije zasnovan na logičkom pristupu. *INFO M*, 51(13), 48-54.
- Rakićević, A., Milošević, P., Poledica, A., Dragović, I., & Petrović, B. (2019). Interpolative Boolean Approach for Fuzzy Portfolio Selection. In *Applying Fuzzy Logic for the Digital Economy and Society* (pp. 23-46). Springer, Cham.
- Rakićević, A., Nešić, I., & Radojević, D. (2013). A novel approach to hierarchical clustering based on logical measure of dissimilarity. In *Proceedings of the 11th Balkan Conference on Operational Research (BALCOR 2013)*, (pp. 147-155). Faculty of Organizational Sciences: Belgrade.
- Rakićević, A., Nešić, I., Radojević, D., & Petrović, B. (2012). Identifikacija cenovnog trenda korišćenjem realno-vrednosne logike zasnovane na interpolativnoj Bulovoj algebri. In *Zbornik XXXIX Simpozijuma o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2012)* (pp. 365-368). Visoka građevinsko-geodetska škola: Beograd.
- Rakićević, A., Simeunović, V., Petrović, B., & Milić, S. (2018). An Automated System for Stock Market Trading Based on Logical Clustering. *Tehnički vjesnik - Technical Gazette*, 25(4), 970-978.
- Rao, S. K. (2010). *Algorithmic Trading: Pros and Cons*. TATA Consultancy Services.
- Ready, M. J. (2002). Profits from technical trading rules. *Financial Management*, 3(31), 43-61.
- Richie, N., Daigler, R. T., & Gleason, K. C. (2008). The limits to stock index arbitrage: Examining S&P 500 futures and SPDRS. *Journal of Futures Markets*, 28(12), 1182-1205.
- Roberts, H. V. (1959). Stock-Market "Patterns" and Financial Analysis: Methodological Suggestions. *The Journal of Finance*, 14(1), 1-10.
- Robinson, T. R., Henry, E., Pirie, W. L., & Broihahn, M. A. (2015). *International Financial Statement Analysis (3rd ed.)*. John Wiley & Sons.
- Ross, T. J. (2010). *Fuzzy Logic with Engineering Applications (3rd ed.)*. John Wiley & Sons.
- Safe, M., Carballido, J., Ponzoni, I., & Brignole, N. (2004, September). On stopping criteria for genetic algorithms. In *Brazilian Symposium on Artificial Intelligence* (pp. 405-413). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Samuelson, P. A. (1965). Proof that properly anticipated prices fluctuate randomly. *Management Review*, 6(2), 41-49.
- Schmidt, A. (2011). *Financial Markets and Trading: An Introduction to Market Microstructure and Trading Strategies*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Shiller, R. J. (1999). Human behavior and the efficiency of the financial system. *Handbook of macroeconomics*, 1, 1305-1340.
- Singh, H., Gupta, M. M., Meitzler, T., Hou, Z.-G., Garg, K. K., Solo, A. M. G., & Zadeh, L. A. (2013). Real-Life Applications of Fuzzy Logic. *Advances in Fuzzy Systems*, 2013, 581879.
- Sugeno, M. (1985). An introductory survey of fuzzy control. *Information Sciences*, 36(1-2), 59-83.

- Szakmary, A. C., & Lancaster, M. C. (2015). Trend-following trading strategies in US stocks: A revisit. *Financial Review*, 50(2), 221-255.
- Szakmary, A. C., Shen, Q., & Sharma, S. C. (2010). Trend-following trading strategies in commodity futures: A re-examination. *Journal of Banking & Finance*, 34(2), 409-426.
- Takagi, T., & Sugeno, M. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-15(1), 116-132.
- Tan, Z., Quek, C., & Cheng, P. Y. (2011). Stock trading with cycles: A financial application of ANFIS and reinforcement learning. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 4741-4755.
- Treleaven, P., Galas, M., & Lalchand, V. (2013). Algorithmic trading review. *Communications of the ACM*, 56(11), 76-85.
- Treynor, J. L., & Ferguson, R. (1985). In defense of technical analysis. *The Journal of Finance*, 40(3), 757-773.
- Troiano, L., & Kriplani, P. (2011). Supporting trading strategies by inverse fuzzy transform. *Fuzzy Sets and Systems*, 180(1), 121-145.
- Tung, W. L., & Quek, C. (2011). Financial volatility trading using a self-organising neural-fuzzy semantic network and option straddle-based approach. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 4668-4688.
- Urquhart, A., & Hudson, R. (2013). Efficient or adaptive markets? Evidence from major stock markets using very long run historic data. *International Review of Financial Analysis*, 28, 130-142.
- U.S. Securities and Exchange Commission (1994). *Market 2000: An Examination of Current Equity Market Developments*. Retrieved from <https://www.sec.gov/divisions/marketreg/market2000.pdf>.
- U.S. Securities and Exchange Commission (2010). *Concept Release on Equity Market Structure* (Release No. 34-61358). Retrieved from <https://www.sec.gov/rules/concept/2010/34-61358.pdf>.
- Vella, V., & Ng, W. L. (2014). Enhancing risk-adjusted performance of stock market intraday trading with neuro-fuzzy systems. *Neurocomputing*, 141, 170-187.
- Vella, V., & Ng, W. L. (2016). Improving risk-adjusted performance in high frequency trading using interval type-2 fuzzy logic. *Expert Systems with Applications*, 55, 70-86.
- Wilder, J. W. (1978). New concepts in technical trading systems. *Trend Research*.
- Working, H. (1934). A random-difference series for use in the analysis of time series. *Journal of the American Statistical Association*, 29(185), 11-24.
- Wu, Y. (2011). Momentum trading, mean reversal and overreaction in Chinese stock market. *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 37(3), 301-323.
- Yunusoglu, M. G., & Selim, H. (2013). A fuzzy rule based expert system for stock evaluation and portfolio construction: An application to Istanbul Stock Exchange. *Expert Systems with Applications*, 40(3), 908-920.
- Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353.
- Zadeh, L. (1988). Fuzzy logic. *Computer*, 21(4), 83-93.
- Zadeh, L. (2008). Is there a need for fuzzy logic? *Information Sciences*, 178(13), 2751-2779.

Zhou, X.-S., & Dong, M. (2004). Can fuzzy logic make technical analysis 20/20? *Financial Analysts Journal*, 60(4), 54-75.

Zimmermann, H. J. (2010). Fuzzy set theory. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2(3), 317-332.

Zuckerman, G., & Hope, B. (2017). The quants run Wall Street now. *The Wall Street Journal*.

ПРИЛОГ 1

Табела: Списак компанија из коришћеног узорка са америчког тржишта капитала

| Бр. | Симбол | Име компаније | Сектор |
|-----|--------|--------------------------------------|------------------------|
| 1 | MMM | 3M Company | Industrials |
| 2 | AOS | A.O. Smith Corporation | Industrials |
| 3 | ABT | Abbott Laboratories | Health Care |
| 4 | ACN | Accenture Plc. (Class A) | Information Technology |
| 5 | AYI | Acuity Brands Inc. (Holding Company) | Industrials |
| 6 | ADBE | Adobe Systems Incorporated | Information Technology |
| 7 | AMD | Advanced Micro Devices Inc. | Information Technology |
| 8 | A | Agilent Technologies Inc. | Health Care |
| 9 | APD | Air Products and Chemicals Inc. | Materials |
| 10 | AKAM | Akamai Technologies Inc. | Information Technology |
| 11 | ALK | Alaska Air Group Inc. | Industrials |
| 12 | ALB | Albemarle Corporation | Materials |
| 13 | ALXN | Alexion Pharmaceuticals Inc. | Health Care |
| 14 | AGN | Allergan Plc. | Health Care |
| 15 | ADS | Alliance Data Systems Corporation | Information Technology |
| 16 | MO | Altria Group Inc. | Consumer Staples |
| 17 | AMZN | Amazon.com Inc. | Consumer Discretionary |
| 18 | AEE | Ameren Corporation | Utilities |
| 19 | AEP | American Electric Power Company Inc. | Utilities |
| 20 | AWK | American Water Works Company Inc. | Utilities |
| 21 | ABC | AmerisourceBergen Corporation | Health Care |
| 22 | AME | AMETEK Inc. | Industrials |
| 23 | AMGN | Amgen Inc. | Health Care |
| 24 | APH | Amphenol Corporation | Information Technology |
| 25 | ADI | Analog Devices Inc. | Information Technology |
| 26 | ANTM | Anthem Inc. | Health Care |
| 27 | ADM | Archer-Daniels-Midland Company | Consumer Staples |
| 28 | ADP | Automatic Data Processing Inc. | Information Technology |
| 29 | AVY | Avery Dennison Corporation | Materials |
| 30 | BLL | Ball Corporation | Materials |
| 31 | BAX | Baxter International Inc. | Health Care |
| 32 | BDX | Becton Dickinson and Company | Health Care |
| 33 | BBY | Best Buy Co. Inc. | Consumer Discretionary |
| 34 | BIIB | Biogen Inc. | Health Care |
| 35 | BKNG | Booking Holdings Inc. | Consumer Discretionary |
| 36 | BSX | Boston Scientific Corporation | Health Care |
| 37 | BMJ | Bristol-Myers Squibb Company | Health Care |
| 38 | AVGO | Broadcom Limited | Information Technology |
| 39 | CHRW | C.H. Robinson Worldwide Inc. | Industrials |
| 40 | COG | Cabot Oil & Gas Corporation | Energy |
| 41 | CDNS | Cadence Design Systems Inc. | Information Technology |

| | | | |
|----|-------|--|------------------------|
| 42 | CPB | Campbell Soup Company | Consumer Staples |
| 43 | CAH | Cardinal Health Inc. | Health Care |
| 44 | KMX | CarMax Inc. | Consumer Discretionary |
| 45 | CAT | Caterpillar Inc. | Industrials |
| 46 | CNC | Centene Corporation | Health Care |
| 47 | CNP | CenterPoint Energy Inc. (Holding Company) | Utilities |
| 48 | CTL | CenturyLink Inc. | Communication Services |
| 49 | CERN | Cerner Corporation | Health Care |
| 50 | CF | CF Industries Holdings Inc. | Materials |
| 51 | CHTR | Charter Communications Inc. | Communication Services |
| 52 | CVX | Chevron Corporation | Energy |
| 53 | XEC | Cimarex Energy Co. | Energy |
| 54 | CTAS | Cintas Corporation | Industrials |
| 55 | CSCO | Cisco Systems Inc. | Information Technology |
| 56 | CMS | CMS Energy Corporation | Utilities |
| 57 | KO | Coca-Cola Company (The) | Consumer Staples |
| 58 | CTSH | Cognizant Technology Solutions Corporation | Information Technology |
| 59 | CMCSA | Comcast Corporation (Class A) | Communication Services |
| 60 | CAG | ConAgra Brands Inc. | Consumer Staples |
| 61 | COP | ConocoPhillips | Energy |
| 62 | ED | Consolidated Edison Inc. | Utilities |
| 63 | STZ | Constellation Brands Inc. | Consumer Staples |
| 64 | GLW | Corning Inc. | Information Technology |
| 65 | COST | Costco Wholesale Corporation | Consumer Staples |
| 66 | CSX | CSX Corporation | Industrials |
| 67 | CMI | Cummins Inc. | Industrials |
| 68 | DHR | Danaher Corporation | Health Care |
| 69 | DRI | Darden Restaurants Inc. | Consumer Discretionary |
| 70 | DVA | DaVita Inc. | Health Care |
| 71 | DAL | Delta Air Lines Inc. | Industrials |
| 72 | XRAY | DENTSPLY SIRONA Inc. | Health Care |
| 73 | DVN | Devon Energy Corporation | Energy |
| 74 | DISH | DISH Network Corporation | Communication Services |
| 75 | DG | Dollar General Corporation | Consumer Discretionary |
| 76 | DLTR | Dollar Tree Inc. | Consumer Discretionary |
| 77 | D | Dominion Energy Inc. | Utilities |
| 78 | DOV | Dover Corporation | Industrials |
| 79 | DTE | DTE Energy Company | Utilities |
| 80 | DUK | Duke Energy Corporation (Holding Company) | Utilities |
| 81 | EMN | Eastman Chemical Company | Materials |
| 82 | ETN | Eaton Corporation Plc. | Industrials |
| 83 | EBAY | eBay Inc. | Consumer Discretionary |
| 84 | ECL | Ecolab Inc. | Materials |
| 85 | EW | Edwards Lifesciences Corporation | Health Care |
| 86 | EA | Electronic Arts Inc. | Communication Services |
| 87 | EMR | Emerson Electric Company | Industrials |
| 88 | EQT | EQT Corporation | Energy |
| 89 | EFX | Equifax Inc. | Industrials |

| | | | |
|-----|------|---|------------------------|
| 90 | EL | Estee Lauder Companies Inc. (The) | Consumer Staples |
| 91 | EXC | Exelon Corporation | Utilities |
| 92 | EXPE | Expedia Inc. | Consumer Discretionary |
| 93 | XOM | Exxon Mobil Corporation | Energy |
| 94 | FDX | FedEx Corporation | Industrials |
| 95 | FIS | Fidelity National Information Services Inc. | Information Technology |
| 96 | FE | FirstEnergy Corporation | Utilities |
| 97 | FLIR | FLIR Systems Inc. | Information Technology |
| 98 | FLS | Flowserve Corporation | Industrials |
| 99 | FLR | Fluor Corporation | Industrials |
| 100 | FL | Foot Locker Inc. | Consumer Discretionary |
| 101 | FCX | Freeport-McMoRan Inc. | Materials |
| 102 | GPS | Gap Inc. (The) | Consumer Discretionary |
| 103 | GD | General Dynamics Corporation | Industrials |
| 104 | GIS | General Mills Inc. | Consumer Staples |
| 105 | GM | General Motors Company | Consumer Discretionary |
| 106 | GPC | Genuine Parts Company | Consumer Discretionary |
| 107 | GILD | Gilead Sciences Inc. | Health Care |
| 108 | GT | The Goodyear Tire & Rubber Company | Consumer Discretionary |
| 109 | GWW | W.W. Grainger Inc. | Industrials |
| 110 | HAL | Halliburton Company | Energy |
| 111 | HBI | Hanesbrands Inc. | Consumer Discretionary |
| 112 | HOG | Harley-Davidson Inc. | Consumer Discretionary |
| 113 | HAS | Hasbro Inc. | Consumer Discretionary |
| 114 | HP | Helmerich & Payne Inc. | Energy |
| 115 | HES | Hess Corporation | Energy |
| 116 | HOLX | Hologic Inc. | Health Care |
| 117 | HD | Home Depot Inc. (The) | Consumer Discretionary |
| 118 | HON | Honeywell International Inc. | Industrials |
| 119 | HRL | Hormel Foods Corporation | Consumer Staples |
| 120 | HUM | Humana Inc. | Health Care |
| 121 | ILMN | Illumina Inc. | Health Care |
| 122 | INTC | Intel Corporation | Information Technology |
| 123 | IBM | International Business Machines Corporation | Information Technology |
| 124 | IP | International Paper Company | Materials |
| 125 | IPG | Interpublic Group of Companies Inc. (The) | Communication Services |
| 126 | IFF | International Flavors & Fragrances Inc. | Materials |
| 127 | ISRG | Intuitive Surgical Inc. | Health Care |
| 128 | IPGP | IPG Photonics Corporation | Information Technology |
| 129 | JBHT | J.B. Hunt Transport Services Inc. | Industrials |
| 130 | JNJ | Johnson & Johnson | Health Care |
| 131 | JCI | Johnson Controls International Plc. | Industrials |
| 132 | JNPR | Juniper Networks Inc. | Information Technology |
| 133 | KSU | Kansas City Southern | Industrials |
| 134 | K | Kellogg Company | Consumer Staples |
| 135 | KMI | Kinder Morgan Inc. | Energy |
| 136 | KLAC | KLA-Tencor Corporation | Information Technology |
| 137 | LRCX | Lam Research Corporation | Information Technology |

| | | | |
|-----|------|--|------------------------|
| 138 | LEG | Leggett & Platt Incorporated | Consumer Discretionary |
| 139 | LKQ | LKQ Corporation | Consumer Discretionary |
| 140 | LMT | Lockheed Martin Corporation | Industrials |
| 141 | LOW | Lowe's Companies Inc. | Consumer Discretionary |
| 142 | MRO | Marathon Oil Corporation | Energy |
| 143 | MLM | Martin Marietta Materials Inc. | Materials |
| 144 | MA | Mastercard Incorporated | Information Technology |
| 145 | MAT | Mattel Inc. | Consumer Discretionary |
| 146 | MKC | McCormick & Company Incorporated | Consumer Staples |
| 147 | MCK | McKesson Corporation | Health Care |
| 148 | MTD | Mettler-Toledo International Inc. | Health Care |
| 149 | MGM | MGM Resorts International | Consumer Discretionary |
| 150 | MCHP | Microchip Technology Incorporated | Information Technology |
| 151 | MU | Micron Technology Inc. | Information Technology |
| 152 | MHK | Mohawk Industries Inc. | Consumer Discretionary |
| 153 | TAP | Molson Coors Brewing Company (Class B) | Consumer Staples |
| 154 | MDLZ | Mondelez International Inc. | Consumer Staples |
| 155 | MYL | Mylan N.V. | Health Care |
| 156 | NOV | National Oilwell Varco Inc. | Energy |
| 157 | NTAP | NetApp Inc. | Information Technology |
| 158 | NFLX | Netflix Inc. | Communication Services |
| 159 | NWL | Newell Brands Inc. | Consumer Discretionary |
| 160 | NEM | Newmont Mining Corporation | Materials |
| 161 | NEE | NextEra Energy Inc. | Utilities |
| 162 | NKE | Nike Inc. | Consumer Discretionary |
| 163 | NI | NiSource Inc. | Utilities |
| 164 | NBL | Noble Energy Inc. | Energy |
| 165 | JWN | Nordstrom Inc. | Consumer Discretionary |
| 166 | NOC | Northrop Grumman Corporation | Industrials |
| 167 | NRG | NRG Energy Inc. | Utilities |
| 168 | NUE | Nucor Corporation | Materials |
| 169 | NVDA | NVIDIA Corporation | Information Technology |
| 170 | ORLY | O'Reilly Automotive Inc. | Consumer Discretionary |
| 171 | OXY | Occidental Petroleum Corporation | Energy |
| 172 | OMC | Omnicom Group Inc. | Communication Services |
| 173 | OKE | ONEOK Inc. | Energy |
| 174 | ORCL | Oracle Corporation | Information Technology |
| 175 | PCAR | PACCAR Inc. | Industrials |
| 176 | PH | Parker-Hannifin Corporation | Industrials |
| 177 | PNR | Pentair Plc. | Industrials |
| 178 | PEP | PepsiCo Inc. | Consumer Staples |
| 179 | PKI | PerkinElmer Inc. | Health Care |
| 180 | PFE | Pfizer Inc. | Health Care |
| 181 | PCG | Pacific Gas & Electric Co. | Utilities |
| 182 | PNW | Pinnacle West Capital Corporation | Utilities |
| 183 | RL | Ralph Lauren Corporation | Consumer Discretionary |
| 184 | PPG | PPG Industries Inc. | Materials |
| 185 | PPL | PPL Corporation | Utilities |

| | | | |
|-----|------|--|------------------------|
| 186 | PG | Procter & Gamble Company (The) | Consumer Staples |
| 187 | PEG | Public Service Enterprise Group Incorporated | Utilities |
| 188 | PHM | PulteGroup Inc. | Consumer Discretionary |
| 189 | PVH | PVH Corp. | Consumer Discretionary |
| 190 | QCOM | QUALCOMM Incorporated | Information Technology |
| 191 | PWR | Quanta Services Inc. | Industrials |
| 192 | DGX | Quest Diagnostics Incorporated | Health Care |
| 193 | RRC | Range Resources Corporation | Energy |
| 194 | RTN | Raytheon Company | Industrials |
| 195 | REGN | Regeneron Pharmaceuticals Inc. | Health Care |
| 196 | RSG | Republic Services Inc. | Industrials |
| 197 | RMD | ResMed Inc. | Health Care |
| 198 | RHI | Robert Half International Inc. | Industrials |
| 199 | ROK | Rockwell Automation Inc. | Industrials |
| 200 | ROP | Roper Technologies Inc. | Industrials |
| 201 | ROST | Ross Stores Inc. | Consumer Discretionary |
| 202 | RCL | Royal Caribbean Cruises Ltd. | Consumer Discretionary |
| 203 | CRM | Salesforce.com Inc | Information Technology |
| 204 | SLB | Schlumberger N.V. | Energy |
| 205 | STX | Seagate Technology Plc. | Information Technology |
| 206 | SEE | Sealed Air Corporation | Materials |
| 207 | SRE | Sempra Energy | Utilities |
| 208 | SHW | Sherwin-Williams Company (The) | Materials |
| 209 | SWKS | Skyworks Solutions Inc. | Information Technology |
| 210 | SNA | Snap-On Incorporated | Industrials |
| 211 | LUV | Southwest Airlines Company | Industrials |
| 212 | SWK | Stanley Black & Decker Inc. | Industrials |
| 213 | SBUX | Starbucks Corporation | Consumer Discretionary |
| 214 | SRCL | Stericycle Inc. | Industrials |
| 215 | SYK | Stryker Corporation | Health Care |
| 216 | SYY | Sysco Corporation | Consumer Staples |
| 217 | TTWO | Take-Two Interactive Software Inc. | Communication Services |
| 218 | TPR | Tapestry Inc. | Consumer Discretionary |
| 219 | TGT | Target Corporation | Consumer Discretionary |
| 220 | TEL | TE Connectivity Ltd. New Switzerland Registered Shares | Information Technology |
| 221 | TXN | Texas Instruments Incorporated | Information Technology |
| 222 | TXT | Textron Inc. | Industrials |
| 223 | COO | The Cooper Companies Inc. | Health Care |
| 224 | HSY | The Hershey Company | Consumer Staples |
| 225 | MOS | Mosaic Company (The) | Materials |
| 226 | DIS | The Walt Disney Company | Communication Services |
| 227 | TMO | Thermo Fisher Scientific Inc. | Health Care |
| 228 | TIF | Tiffany & Co. | Consumer Discretionary |
| 229 | ULTA | Ulta Beauty Inc. | Consumer Discretionary |
| 230 | UAA | Under Armour Inc. (Class A) | Consumer Discretionary |
| 231 | UNP | Union Pacific Corporation | Industrials |
| 232 | UAL | United Continental Holdings | Industrials |

| | | | |
|-----|------|--|------------------------|
| 233 | UNH | UnitedHealth Group Incorporated (DE) | Health Care |
| 234 | UPS | United Parcel Service Inc. | Industrials |
| 235 | URI | United Rentals Inc. | Industrials |
| 236 | UTX | United Technologies Corporation | Industrials |
| 237 | UHS | Universal Health Services Inc. | Health Care |
| 238 | VFC | V.F. Corporation | Consumer Discretionary |
| 239 | VLO | Valero Energy Corporation | Energy |
| 240 | VAR | Varian Medical Systems Inc. | Health Care |
| 241 | VRSK | Verisk Analytics Inc. | Industrials |
| 242 | VZ | Verizon Communications Inc. | Communication Services |
| 243 | VRTX | Vertex Pharmaceuticals Incorporated | Health Care |
| 244 | VMC | Vulcan Materials Company (Holding Company) | Materials |
| 245 | WMT | Walmart Inc. | Consumer Staples |
| 246 | WM | Waste Management Inc. | Industrials |
| 247 | WDC | Western Digital Corporation | Information Technology |
| 248 | WHR | Whirlpool Corporation | Consumer Discretionary |
| 249 | WMB | Williams Companies Inc. (The) | Energy |
| 250 | XEL | Xcel Energy Inc. | Utilities |
| 251 | XRX | Xerox Corporation | Information Technology |
| 252 | XLNX | Xilinx Inc. | Information Technology |

БИОГРАФИЈА АУТОРА

Александар Ракићевић рођен је 30. јула 1984. године у Ужицу, Република Србија. Основне студије завршио је 2008. године на Факултету организационих наука, одсек информациони системи, са просечном оценом 9,23. Дипломирао је одбранивши рад на тему „Анализа девизног ризика применом Монте Карло симулације“. Током студија био је стипендиста Републичке фондације за развој научног и уметничког подмлатка.

Након завршених основних студија, уписује Школу за резервне официре Војске Србије при Војној Академији, као слушаца 95. класе Техничке службе. Промовисан је у чин резервног потпоручника Војске Србије у фебруару 2009. године, као први у рангу са оствареном просечном оценом 9,46.

Мастер академске студије завршио је 2012. године на Факултету организационих наука, студијски програм Електронско пословање и управљање системима, са просечном оценом 10,00. Одбранио је завршни мастер рад на тему „Логичко кластеровање – хијерархијски приступ“. Докторске академске студије уписао је на Факултету организационих наука, студијски програм Управљање системима. Положио је све испите, остваривши просечну оценоу 9,78.

Радно искуство

Од 2010. године Александар је запослен на Факултету организационих наука при Катедри за управљање системима и Лабораторији за системе. У звање асистента изабран је 2012. године. Више пута је награђиван за педагошки рад.

Научноистраживачки рад

Александрова научноистраживачка интересовања усмерена су ка управљању системима, рачунарској интелигенцији и машинском учењу, а нарочито њиховој примени у финансијском инжењерингу. Током досадашњег рада објавио је више од 50 научних радова. На међународној конференцији *5th International Workshop Soft Computing Applications – SOFA 2012* одржаној у Мађарској, награђен је за најбољи студентски рад. Члан је међународне инжењерске асоцијације *IEEE* и Европског друштва за фази логику и технологију *EUSFLAT*.

Преглед објављених радова

Радови у монографијама од међународног значаја (M13):

1. **Rakićević, A.**, Milošević, P., Poledica, A., Dragović, I., & Petrović, B. (2019). Interpolative Boolean approach for fuzzy portfolio selection. In E. Portman, A. Meier & L. Teran (Eds.), *Applying Fuzzy Logic for the Digital Economy and Society (Fuzzy Management Methods Book Series)* (pp. 23-46). Berlin: Springer. ISSN: 2196-4130. DOI: 10.1007/978-3-030-03368-2_2.

Радови у истакнутим међународним часописима (M21a):

2. Dobrić, V., Milošević, P., **Rakićević, A.**, Petrović, B., & Poledica, A. (2017). Interpolative Boolean networks. *Complexity*, 2017, Article ID 2647164. DOI: 10.1155/2017/2647164 (IF2016: 4.621)

Радови у истакнутим међународним часописима (M22):

3. Milošević, P., Poledica, A., **Rakićević, A.**, Dobrić, V., Petrović, B., & Radojević, D. (2018). IBA-based framework for modeling similarity. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 11(1), pp. 206-218. DOI: 10.2991/ijcis.11.1.16. (IF2018: 2.153)

Радови у међународним часописима (M23):

4. **Rakićević, A.**, Simeunović, V., Petrović, B., & Milić, S. (2018). An Automated System for Stock Market Trading Based on Logical Clustering. *Tehnički vjesnik - Technical Gazette*, 25(4), 970-978. ISSN 1330-3651 (Print). ISSN 1848-6339 (Online). DOI: 10.17559/TV-20160318145514. (IF2017: 0.686)

Радови у националним часописима међународног значаја (M24):

5. Jeremić, M., **Rakićević, A.**, & Dragović, I. (2015) Interpolative Boolean algebra based multi-criteria routing algorithm. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 25(3), 397-410. DOI:10.2298/YJOR140430029J

Радови саопитени на скупу међународног значаја штампани у целини (M33):

6. Rakićević, J., **Rakićević, A.**, & Poledica, A. (2019). Logical clustering approach for analysing digital economy and society performance of countries. In V. Novák, V. Mařík, M. Štěpnička, M. Navara & P. Hurtík (Eds.), *Proceedings of the 11th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT 2019)*. Held: Prague, Czech Republic, September 9-13, 2019 Atlatis Press. ISBN: 978-94-6252-770-6. ISSN: 2589-6644. DOI: 10.2991/eusflat-19.2019.76
7. Milekić, M., **Rakićević, A.**, & Milošević, P. (2018). Neural networks in market sentiment analysis for automated trading: The case of Bitcoin. In N. Žarkić-Joksimović, & S. Marinković (Ed.), *Proceedings of the XVI International Symposium SymOrg 2018 – Doing Business in the Digital Age: Challenges, Approaches and Solutions* (pp. 305-312). Zlatibor, 07-10 June 2018. University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences. ISBN: 978-86-7680-361-3.
8. Bjelotomić, A., **Rakićević, A.**, & Dragović, I. (2018). Decision tree-based algorithm for the classification of musical instruments. In N. Žarkić-Joksimović, & S. Marinković (Ed.), *Proceedings of the XVI International Symposium SymOrg 2018 – Doing Business in the Digital Age: Challenges, Approaches and Solutions* (pp. 284-291). Zlatibor, 07-10 June 2018. University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences. ISBN: 978-86-7680-361-3.
9. **Rakićević, A.**, Milošević, P., Petrović, B., & Radojević, D. (2016). DuPont Financial Ratio Analysis Using Logical Aggregation. In V. E. Balas, L. C. Jain & B. Kovačević (Eds.), *Soft Computing Applications. Advances in Intelligent Systems and Computing 357 (Proceedings of the 6th International Workshop Soft Computing Applications SOFA)*, Timisoara (Romania), July 24-26, 2014 (pp. 727-739). Berlin: Springer. ISBN: 978-3-319-18415-9, DOI: 10.1007/978-3-319-18416-6_57.
10. **Rakićević, A.**, Milovanović, A., & Aničić, R. (2016). An application of neural networks and fundamental analysis for automated trading: Belgrade stock exchange case. In O. Jaško & S. Marinković (Eds.), *Proceedings of the XV International Symposium SymOrg 2016: Reshaping the Future through Sustainable Business Development and Entrepreneurship*, Zlatibor (Serbia), June 10-13, 2016 (pp. 626-634). Faculty of Organizational Sciences, Belgrade. ISBN: 978-86-7680-326-2.

11. Jovanović, P., **Rakićević, A.**, & Petrović, B. (2016). Application of genetic algorithm in automated trading. In O. Jaško & S. Marinković (Eds.), *Proceedings of the XV International Symposium SymOrg 2016: Reshaping the Future through Sustainable Business Development and Entrepreneurship*, Zlatibor (Serbia), June 10-13, 2016 (pp. 626-634). Faculty of Organizational Sciences, Belgrade. ISBN: 978-86-7680-326-2.
12. Milovanović, J., Mešić, T., & **Rakićević, A.** (2016). Using financial statement data to explain stock price movements – Belgrade stock exchange case. In O. Jaško & S. Marinković (Eds.), *Proceedings of the XV International Symposium SymOrg 2016: Reshaping the Future through Sustainable Business Development and Entrepreneurship*, Zlatibor (Serbia), June 10-13, 2016 (pp. 626-634). Faculty of Organizational Sciences, Belgrade. ISBN: 978-86-7680-326-2.
13. Milošević, P., Poledica, A., **Rakićević, A.**, Petrović, B., & Radojević, D. (2015). Introducing Interpolative Boolean algebra into Intuitionistic fuzzy sets. In J. M. Alonso, H. Bustince & M. Reformat (Eds.), *Proceedings of the 2015 Conference of the International Fuzzy Systems Association and the European Society for Fuzzy Logic and Technology (IFSA-EUSFLAT-15)*, Gijon (Spain), June 30 – July 3, 2015 (pp. 1389-1394). Amsterdam: Atlantis Press. ISBN: 978-94-62520-77-6. ISSN: 1951-6851 DOI:10.2991/ifsa-eusflat-15.2015.196.
14. **Rakićević, A.**, Končarević, R., & Petrović, B. (2014). Comparison of moving averages for trading trends: The case of the Belgrade Stock Exchange. In A. Marković & S. Barjaktarović Rakočević (Eds.), *Proceedings of the 14th International Symposium SymOrg 2014*, Zlatibor (Serbia), June 6-10, 2014 (pp. 688-695). Faculty of Organizational Sciences, Belgrade. ISBN:978-86-7680-295-1.
15. Jovović, A., Jelinek, S., & **Rakićević, A.** (2014). Sovereign credit rating prediction using fuzzy logic. In A. Marković & S. Barjaktarović Rakočević (Eds.), *Proceedings of the 14th International Symposium SymOrg 2014*, Zlatibor (Serbia), June 6-10, 2014 (pp. 688-695). Faculty of Organizational Sciences, Belgrade. ISBN:978-86-7680-295-1.
16. **Rakićević, A.**, Nešić, I., & Radojević, D. (2013). A novel approach to hierarchical clustering based on logical measure of dissimilarity. In N. Mladenović, G. Savić, M. Kuzmanović, D. Makajić-Nikolić & M. Stanojević (Eds.), *Proceedings of the 11th Balkan Conference on Operational Research (BALCOR 2013)*, Belgrade-Zlatibor (Serbia), September 7-11, 2013 (pp. 147-155). Faculty of Organizational Sciences, Belgrade. ISBN: 978-86-7680-285-2
17. Jeremić, M., Kovačević, J., **Rakićević, A.**, & Dragović, I. (2013). Multi-criteria routing algorithm based on interpolative Boolean algebra. In N. Mladenović, G. Savić, M. Kuzmanović, D. Makajić-Nikolić & M. Stanojević (Eds.), *Proceedings of the 11th Balkan Conference on Operational Research (BALCOR 2013)*, Belgrade-Zlatibor (Serbia), September 7-11, 2013 (pp. 147-155). Faculty of Organizational Sciences, Belgrade. ISBN: 978-86-7680-285-2.
18. **Rakićević, A.**, Nešić, I., & Poledica, A. (2012). Forecasting stock performance using multi-layer feed-forward neural network – Belgrade Stock Exchange case. In M. Levi Jakšić & S. Barjaktarević Rakočević (Eds.), *Proceedings of the 13th International Symposium SymOrg 2012*, Zlatibor (Serbia), June 5-9, 2012 (pp. 802-808). Faculty of Organizational Sciences, Belgrade. ISBN: 978-86-7680-255-5.
19. Poledica, A., **Rakićević, A.**, & Radojević, D. (2012). Multi-expert decision making using logical aggregation. In C. Kahraman, E. E. Kerre, F. T. Bozbura (Eds.), *World Scientific Proceedings Series on Computer Engineering and Information Science 7 (Uncertainty Modeling in Knowledge Engineering and Decision Making: Proceedings of the 10th International FLINS Conference)*, Istanbul (Turkey), August 26-29, 2012 (pp. 561-566). World Scientific Publishing, Singapore. ISBN: 978-981-4417-73-0. DOI: 10.1142/9789814417747_0092.

20. Nešić, I., **Rakićević, A.**, Petrović, B., & Radojević, D. (2012). Logical aggregation for modular neural networks in currency exchange rate forecasting. In C. Kahraman, E. E. Kerre, F. T. Bozbura (Eds.), *World Scientific Proceedings Series on Computer Engineering and Information Science 7 (Uncertainty Modeling in Knowledge Engineering and Decision Making: Proceedings of the 10th International FLINS Conference)*, Istanbul (Turkey), August 26-29, 2012 (pp. 561-566). World Scientific, Singapore. ISBN: 978-981-4417-73-0. DOI: 10.1142/9789814417747_0092.
21. Nešić, I., **Rakićević, A.**, Poledica, A., & Petrović, B. (2012). Gaussian variable neighborhood search and enhanced genetic algorithm for continuous optimization. In A. Sifaleras, D. Urošević, N. Mladenović (Eds.), *Conference Proceedings of the EURO Mini Conference XXVIII on Variable Neighbourhood Search*, Herceg Novi (Montenegro), October 4-7, 2012 (pp. 257-264). Faculty of Organizational Sciences, Belgrade. ISBN: 978-86-7680-260-9.
22. Simeunović, V., **Rakićević, A.**, & Radojević, D. (2012). Analyzing the effectiveness of measures for energy management in local communities using logical aggregation approach. In M. Levi Jakšić & S. Barjaktarević Rakočević (Eds.), *Proceedings of the 13th International Symposium SymOrg 2012*, Zlatibor (Serbia), June 5-9, 2012 (pp. 1267-1272). Faculty of Organizational Sciences, Belgrade. ISBN: 978-86-7680-255-5.
23. Dobrić, V., **Rakićević, A.**, & Radojević, D. (2010). Logical aggregation in portfolio matrix analysis. In D. Ruan, T. Li, Z. Xu, G. Chen & E. E. Kerre (Eds.), *World Scientific Proceedings Series on Computer Engineering and Information Science 4 (Computational Intelligence: Foundations and Applications, Proceedings of the 9th International FLINS Conference)*, Chengdu (China), August 2-4, 2010 (pp. 553-558). World Scientific Publishing, Singapore. ISBN: 978-981-4324-69-4. eISBN: 978-981-4462-83-9.
24. **Rakićević, A.**, Petrović, B., & Dragović, I. (2010) Logical aggregation for strategic management, Computational Intelligence: Foundations and Applications, In D. Ruan, T. Li, Z. Xu, G. Chen & E. E. Kerre (Eds.), *World Scientific Proceedings Series on Computer Engineering and Information Science 4 (Computational Intelligence: Foundations and Applications, Proceedings of the 9th International FLINS Conference)*, Chengdu (China), August 2-4, 2010 (pp. 622 – 627), 978-981-4324-69-4
25. **Rakićević, A.**, Dobrić, V., & Radojević, D. (2010). Selection of equity securities with logical aggregation. In D. Ruan, T. Li, Z. Xu, G. Chen & E. E. Kerre (Eds.), *World Scientific Proceedings Series on Computer Engineering and Information Science 4 (Computational Intelligence: Foundations and Applications, Proceedings of the 9th International FLINS Conference)*, Chengdu (China), August 2-4, 2010 (pp. 603-609). World Scientific Publishing, Singapore. ISBN: 978-981-4324-69-4. eISBN: 978-981-4462-83-9.
26. **Rakićević, A.**, Nikolić, N., & Petrović, B. (2009). Foreign exchange risk analysis using Monte Carlo simulation: Value at Risk approach. In V. Preda & I. Mierlus-Mazilu (Eds.), *Proceedings of the 9th Balkan Conference on Operational Research (BALCOR 2009)*, Constanta (Romania), September 2-6, 2009. EUROGEMA EXIM SRL, Bucharest. ISBN: 973-86979-9-9.

Радови саопштени на скупу међународног значаја штампани у изводу (M34):

27. Milošević, P., Poledica, A., Dragović, I., **Rakićević, A.**, & Petrović, B. (2018). VNS for optimizing the structure of a logical function in IBA framework. *Book of abstracts of the 6th International Conference on Variable Neighbourhood Search*, School of Information Sciences Thessaloniki, pp. 44, Grčka, 4. - 7. Oct.
28. Milošević, P., **Rakićević, A.**, Poledica, A. & Petrović, B. (2018). Mathematical properties and possible applications of IFS-IBA approach, *Conference Handbook of 29th European*

Conference on Operational Research (EURO2018), EURO2018, pp. 129 - 130, 978-84-09-02938-9, Španija, 8. - 11. Jul.

29. Milošević, P., Poledica, A., **Rakićević, A.**, Dobrić, V., & Petrović B. (2016). A logic-based framework for modeling similarity. *Book of Abstracts of the International Student Conference on Applied Mathematics and Informatics (ISCAMI 2016)*, Malenovice (Slovakia), May 12-15, 2016 (pp. 44-44). Ostrava: University of Ostrava - Institute for Research and Application of Fuzzy Modeling.

Радови у водећим часописима националног значаја (M51):

30. Nešić, I., **Rakićević, A.**, Poledica, A., & Petrović, B. (2012). Gaussian variable neighborhood search and enhanced genetic algorithm for continuous optimization. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 39, 273-280. ISSN: 1571-0653. ISBN: 1571-0653. DOI: 10.1016/j.endm.2012.10.036.

Радови у часописима националног значаја (M52):

31. Milošević, P., Jelinek, S., **Rakićević, A.**, & Poledica, A. (2018). Primena neuronskih mreža i metode nosećih vektora za identifikaciju lica. *INFO M*, 66(17), 20-25.
32. Jelinek, S., **Rakićević, A.**, & Milošević, P. (2018). Sistem za analizu i simulaciju triangularnih arbitražnih strategija na međunarodnom deviznom tržištu. *INFO M*, 65(17), 31-39.
33. **Rakićević, A.**, Milošević, P., & Poledica, A. (2014). Sistem za evaluaciju finansijskih performansi kompanije zasnovan na logičkom pristupu. *INFO M*, 51(13), 48-54.

Радови у часописима националног значаја (M53):

34. Milić, M., **Rakićević, A.**, Milošević, P., & Simeunović, V. (2019). Veb aplikacija za fazi prepoznavanje cenovnih obrazaca na finansijskim tržištima. *INFO M*, 69, 23-29. ISSN:1451-4397.

Радови саопштени на скупу националног значаја штампани у целини (M63):

35. Rajić, V., Jovanić, N., Milošević, P., **Rakićević, A.**, & Petrović, B. (2019). Sistem za algoritamsko trgovanje zasnovan na fazi kontroleru. In M. Martić, D. Makajić-Nikolić & G. Savić (Ed.), *Zbornik radova XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2019)*. Held: Kladovo, Serbia, September 15-18, 2019.
36. Ljubisavljević, V., Lukić, M., Milošević, P., **Rakićević, A.**, & Stupar, M. (2019). Poređenje algoritama mašinskog učenja na primeru klasifikacije vozača. In M. Ivković (Ed.), *Zbornik radova YUINFO 2019*, Kopaonik, Serbia, Mart 10-13, 2019(pp. 401-406). Beograd: Društvo za informacione sisteme i računarske mreže. ISBN: 978-86-85525-23-0.
37. Milošević, P., Jelinek, S., **Rakićević, A.**, & Poledica, A. (2018). Model za identifikaciju lica zasnovan na tehnikama mašinskog učenja, *Zbornik radova konferencije Infotech 2018*, Srbija, 6. - 7. Jun.
38. **Rakićević, A.**, & Milošević, P. (2017). IBA sistem za automatizovano trgovanje na berzi. In *Zbornik radova Infotech 2017 - ICT conference and exhibition*. Aranđelovac (Srbija), 7-8 Jun 2017.
39. Milovanović, A., Aničić, R., **Rakićević, A.**, & Đoković, A. (2017). Forecasting volatility of Belex15 market index using a hybrid ANN-GARCH model. In G. Čirović (Eds.), *Zbornik radova XLIV Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2017)*, Tara (Srbija), 20-23 Septembar 2017 (pp. 401-404). Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd. ISBN: 978-86-7488-135-4.

40. Živančević, S., Marković, D., Milošević, P., **Rakićević, A.**, & Petrović, B. (2016). Intuicionističko fazi hijerarhijsko klasterovanje: primer srpskih srednjih preduzeća. In A. Ilić, D. Petrović & D. Stojković (Eds.), *Zbornik radova XLIII Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2016)*, Tara (Srbija), 20-23 Septembar, 2016 (pp. 401-404). Beograd: Medija centar Odbrana. ISBN: 978-86-335-0535-2.
41. Milošević, P., Poledica, A., **Rakićević, A.**, Petrović, B., & Radojević, D. (2015). Grafička interpretacija IFS-IBA pristupa. In N. Mladenović, D. Urošević & Z. Stanimirović (Eds.), *Proceedings of the 42nd International Symposium on Operations Research (SYM-OP-IS 2015)*, Srebrno Jezero (Srbija), 16-19 Septembar, 2015 (pp. 358-361). Beograd: Matematički Institut SANU. ISBN: 978-86-80593-55-5.
42. **Rakićević, A.**, Nešić, I., Milošević, P., Petrović, B., & Radojević, D. (2015). Izbor investicionog portfolija primenom logičkog hijerarhijskog klasterovanja. In N. Mladenović, D. Urošević & Z. Stanimirović (Eds.), *Proceedings of the 42nd International Symposium on Operations Research (SYM-OP-IS 2015)*, Srebrno jezero (Srbija), 15-18 Septembar, 2015 (pp. 362-365). Beograd: Matematički Institut SANU. ISBN: 978-86-80593-55-5.
43. Kovačević, J., Jeremić, M., Dragović, I., & **Rakićević, A.** (2013). Korišćenje neuronskih mreža za predviđanje pravca kretanja indeksa na finansijskom tržištu. In M. Martić, M. Vujošević, D. Makajić-Nikolić, M. Kuzmanović & G. Savić (Eds.), *Zbornik XL Simpozijuma o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2013)*, Zlatibor (Srbija), 9-12 Septembar, 2013 (str. 663-668). Fakultet organizacionih nauka, Beograd. ISBN: 978-86-7680-286-9.
44. **Rakićević, A.**, Nešić, I., Radojević, D., & Petrović, B. (2012). Identifikacija cenovnog trenda korišćenjem realno-vrednosne logike zasnovane na interpolativnoj Bulovoj algebri. In G. Čirović (Eds.), *Zbornik XXXIX Simpozijuma o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2012)*, Tara (Srbija), 25-28 Septembar, 2012 (str. 365-368). Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd. ISBN:978-86-7488-086-9.
45. **Rakićević, A.**, Nešić, I., Radojević, D., & Petrović, B. (2011). Hierarchical clustering using consistent fuzzy technique. In J. Vuleta, M. Backović & Z. Popović (Eds.), *Zbornik XXXVIII Simpozijuma o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2011)*, Zlatibor (Srbija), 4-7 Oktobar, 2011 (str. 418-420). Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet, Beograd. ISBN:978-86-403-1168-7.
46. Nešić, I., **Rakićević, A.**, Radojević, D., & Petrović, B. (2011). Genotypic diversity measure using consistent fuzzy technique. In J. Vuleta, M. Backović & Z. Popović (Eds.), *Zbornik XXXVIII Simpozijuma o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2011)*, Zlatibor (Srbija), 4-7 Oktobar, 2011 (str. 429-432). Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet, Beograd. ISBN: 978-86-403-1168-7.
47. Kovačević, D., Sekulić, P., & **Rakićević, A.** (2011). Consistent interpolative fuzzy logic and investment decision making. In *Prva godišnja konferencija mladih srpskih ekonomista*, Beograd (Srbija), 22 Jun, 2011. Narodna Banka Srbije, Beograd.
48. **Rakićević, A.**, Dobrić, V., & Kovačević, D. (2010). Investiciono odlučivanje zasnovano na logičkoj agregaciji finansijskih pokazatelja. In B. Forca, M. Kovač, O. Čabarkapa & D. Petrović (Eds.), *Zbornik XXXVII Simpozijuma o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2010)*, Tara (Srbija), 21-24 Septembar, 2010 (str. 455-458). Vojna Akademija, Beograd. ISBN: 978-86-335-0299-3.
49. Dragović, I., **Rakićević, A.**, & Petrović, B. (2010). Unapređenje BCG portfolio matrične analize primenom logičke agregacije. In B. Forca, M. Kovač, O. Čabarkapa & D. Petrović (Eds.), *Zbornik XXXVII Simpozijuma o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2010)*, Tara

- (Srbija), 21-24 Septembar, 2010 (str. 455-458). Vojna Akademija, Beograd. ISBN: 978-86-335-0299-3
50. Milićević, M., Vukadinović, S., & Rakićević, A. (2010). Logical aggregation in creditworthiness evaluation. In V. Damnjanović (Eds.), *Proceedings of 12th International Symposium SymOrg 2010*, Zlatibor (Serbia), June 9-12, 2010. Faculty of Organizational Sciences, Belgrade. ISBN: 978-86-7680-216-6.
 51. Spasić, J., Pilipović, L., Rakićević, A. (2010). Implementation of logical aggregation in the process of job applicant selection. In V. Damnjanović (Eds.), *Proceedings of 12th International Symposium SymOrg 2010*, Zlatibor (Serbia), June 9-12, 2010. Proceedings of the 12th International Symposium SymOrg 2010, Faculty of Organizational Sciences, Belgrade. ISBN: 978-86-7680-216-6.

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Име и презиме аутора: Александар Ракићевић

Број индекса: 5056 / 2016

Изјављујем

да је докторска дисертација под називом:

АДАПТИВНИ ФАЗИ СИСТЕМ ЗА АЛГОРИТАМСКО ТРГОВАЊЕ: ИНТЕРПОЛАТИВНИ БУЛОВ ПРИСТУП

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

У Београду, _____

Потпис аутора

ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ДОКТОРСКОГ РАДА

Име и презиме аутора: Александар Ракићевић
Број индекса: 5056 / 2016
Студијски програм: Информациони системи и квантитативни менаџмент,
изборно подручје Управљање системима
Наслов рада: Адаптивни фази систем за алгоритамско трговање:
Интерполативни Булов приступ
Ментор: др Братислав Петровић, редовни професор

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао ради похрањивања у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

У Београду, _____

Потпис аутора

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

АДАПТИВНИ ФАЗИ СИСТЕМ ЗА АЛГОРИТАМСКО ТРГОВАЊЕ:
ИНТЕРПОЛАТИВНИ БУЛОВ ПРИСТУП

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио.

1. Ауторство (CC BY);
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC);
- ③ Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND);
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA);
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND);
6. Ауторство – делити под истим условима.

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.

Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

У Београду, _____

Потпис аутора

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.