



VILNIAUS UNIVERSITETAS
MATEMATIKOS IR INFORMATIKOS FAKULTETAS
INFORMACINIŲ SISTEMŲ INŽINERIJOS STUDIJŲ PROGRAMA

Algoritminės prekybos strategijų efektyvumo stebėjimo įrankis **Performance Tracking Tool of Algorithmic Trading Strategies**

Baigiamasis bakalauro darbas

Atliko: Antanas Valenčius

VU el. p.: antanas.valencius@mif.stud.vu.lt

Vadovas: j. asistentas dr. Igor Katin

Vilnius
2022

TURINYS

SANTRAUKA.....	4
SUMMARY	5
1. ĮVADAS.....	6
1.1. Tikslas	7
1.2. Darbo uždaviniai.....	7
1.3. Darbo struktūra	7
2. ANALITINĖ DALIS	8
2.1. Atgalinio bei priekinio patikrinimų metrikos.....	8
2.1.1. Pelno metrikos	8
2.1.2. Rizikos metrikos.....	9
2.1.3. Mišrios metrikos.....	9
2.2. Metrikų reikšmės.....	9
2.2.1. Pelno faktorius	9
2.2.2. Didžiausias pralaimėtojas.....	10
2.2.3. Šarpė santykis.....	10
2.3. Techninės analizės įrankiai	12
2.3.1. Slankieji vidurkiai.....	12
2.3.2. Reliatyvaus stiprumo indeksas	12
3. Metodinė dalis.....	14
3.1. Sistemų architektūra	14
3.2. Prekybos strategijų valdymo įrankis.....	15
3.2.1. Brokerio sąsajos modulis.....	16
3.2.2. Užsakymų vykdymo modulis	16
3.2.3. Strategijų pozicijų kiekio valdymo modulis	17
3.2.4. Strategijų taisyklių bei vykdymo moduliai.....	17
3.3. Algoritminės prekybos strategijų efektyvumo stebėjimo įrankis.....	18
3.3.1. Grafikų dalis.....	18
3.3.2. Metrikų dalis.....	18
3.3.3. Skaičiavimų dalis.....	18
3.3.4. Atgalinio testavimo modulis.....	18
3.4. Pasirinktosios strategijos.....	19
3.4.1. Eksponentinių slankiųjų vidurkių kirtimo strategija	19
3.4.2. RSI tendencijų strategija.....	19
3.4.3. RSI perpirktų ir perparduotų instrumentų strategija	20
4. Įgyvendinimo dalis.....	21

4.1.	Testavimas.....	21
4.1.1.	Aplinka ir kontekstas	21
4.1.2.	Priekinis testavimas.....	21
4.1.3.	Atgalinis testavimas.....	22
4.2.	Priekinio ir atgalinio testavimų palyginimas	23
4.2.1.	Metrikų palyginimas.....	23
4.2.2.	Kapitalo palyginimas.....	24
4.2.3.	Ritančio Šarpė santykio palyginimas	25
5.	Rezultatai ir apibendrinimas	27
5.1.	Rezultatai.....	27
5.2.	Išvados.....	27
5.3.	Pasiūlymai ir tobulinimai	27
	LITERATŪRA.....	28
	1 PRIEDAS	29

SANTRAUKA

Pagrindinis baigiamojo darbo tikslas – sukurti algoritminės prekybos strategijų efektyvumo stebėjimo sistemą. Darbe nagrinėjami skirtumai tarp priekinio testavimo (angl. *Forward Testing*) ir atgalinio testavimo (angl. *Backtesting*) algoritminės prekybos strategijose. Sukurta programinė, leidžianti prekiauti išvestiniais finansiniais instrumentais algoritminėmis strategijomis tiek paties įrankiu suprogramuotomis strategijomis, tiek trečių šalių strategijų valdymo įrankiais. Taip pat, programų sistemoje yra grafikų bei metrikų vaizdavimo įrankiai. Sukurtame įrankyje matomi priekinio testavimo rezultatai bei atvaizduojami to paties laikotarpio atgalinio testavimo rezultatai, todėl galima patvirtinti, ar strategija veikia taip, kaip buvo tikimasi, ar ne.

Raktiniai žodžiai: algoritminė prekyba, finansų rinka, priekinis ir atgalinis testavimas, metrikos.

SUMMARY

In this thesis, an algorithmic trading performance tracking tool system was created. The differences of forward testing and backtesting for algorithmic trading strategies were investigated. The tool allows to control different algorithmic strategies and confirm, whether the trading algorithm performs as expected. The tool allows the user to trade financial derivatives using algorithmic trading strategies created either in the application or in a third party software. Graphs and metrics viewers were implemented that allows monitoring trading performance of strategies. The tool shows the results of forward testing and then displays the results of backtesting for the same period. Therefore, it is easy to see if the trading strategy works as intended.

Keywords: Algorithmic Trading, Financial Markets, Backtesting and Forward Testing, Metrics.

1. ĮVADAS

Finansų rinkose yra prekiaujama įvairiais finansiniais instrumentais ir sunku surasti persvarą, kad uždirbti iš jų pinigų. Atrodo, kad tai nulinės sumos žaidimas, kadangi viename sandorio gale yra pirkėjas, o kitame pardavėjas. Tačiau, tai yra neigiamos sumos žaidimas [1] dėl brokerių siūlomų paslaugų, kurios kainuoja komisinius mokesčius sandoriams sudaryti, dėl praslydimų, aukšto dažnio prekybos (angl. *High Frequency Trading*), kuri nanosekundiniu skirtumu randa kainų arbitražus ir iš to pelnosi, ir kitų priežasčių.

Darant atgalinį patikrinimą (angl. *Backtesting*) strategijos nuosavybės (angl. *Equity*) kreivė yra super tolygi ir teigiama, o atliekant priekinį patikrinimą (angl. *Forward Testing*) nuosavybės kreivė įgauna daug nepastovumo [2]. Atgalinio tikrinimo atveju strategijos parametrai dažnai būna pritaikyti praeities duomenimis, o paleidus strategiją prekiauti gyvai, dar nematytais duomenimis, strategijos rezultatai ir nuosavybės kreivė pasikeičia. Šias problemas atgaliniams patikrinimams sprendžia įvairūs metodai [3], tačiau tai vis tiek negarantuoja tolimesnių strategijos rezultatų.

Ši problema yra svarbi ne tik prekybos strategijų rizikos valdymo algoritmams sudaryti, tačiau ir viso investicinio ar prekybos portfelio valdymui. Siekiant palyginti ir sudaryti taisyklės, kaip valdyti prekybos strategijų portfelį, reikalinga išanalizuoti, kaip keičiasi strategijų rezultatai pereinant nuo atgalinio patikrinimo į priekinį patikrinimą.

Nors fundamentaliai prekybos strategija nuo viso strategijų portfelio skiriasi, tačiau portfelio valdymas irgi turi būti paremtas strategija. Atskiros strategijos dalys sudaro vieną aukštesnio lygio strategiją, kurios nevaldymas negarantuoja teigiamų rezultatų, bet garantuoja nepastovumą tiek nuosavybės, tiek nuosmukio (angl. *Drawdown*), tiek kitokių metrių grafikuose.

1.1. Tikslas

Šio biagiamojo darbo tikslas yra sukurti algoritminės prekybos strategijų vykdymo ir algoritminės prekybos strategijų efektyvumo stebėjimo įrankius.

1.2. Darbo uždaviniai

1. Apžvelgti atgalinio patikrinimo (angl. *Backtesting*) bei priekinio patikrinimo (angl. *Forward Testing*) svarbias matuojamas metrikas algoritminėms prekybos strategijoms.
2. Suprojektuoti informacinių sistemų architektūrą ir tarpusavio sąveikavimą.
3. Sukurti algoritminės prekybos strategijų vykdymo įrankį.
4. Sukurti algoritminės prekybos strategijų efektyvumo stebėjimo įrankį.
5. Sukurti tris paprastas strategijas, atlikti jų atgalinį bei priekinį patikrinimą.
6. Išanalizuoti panašumus bei skirtumus tarp atgalinio ir priekinio patikrinimo.
7. Įvertinti atgalinio ir priekinio patikrinimų metrikų svarbą.
8. Pateikti portfelio strategijų analizės rezultatus ir suformuluoti išvadas ir pasiūlymus valdymui pagerinti.

1.3. Darbo struktūra

Baigiamąjį darbą sudaro analitinė, metodinė, įgyvendinimo ir išvadų dalys. Analitinę dalį sudarys atgalinio testavimo (angl. *Backtesting*) bei priekinio testavimo (angl. *Forward Testing*) metrikų analizė ir kuriamų informacinių sistemų architektūros aprašymas. Metodinę dalį sudarys algoritminės prekybos strategijų vykdymo įrankio, strategijų efektyvumo stebėjimo įrankio, strategijų algoritmų aprašymai. Įgyvendinimo dalis bus sudaryta iš gautų duomenų pirminės analizės. Galiausiai, išvadose aprašomi darbo rezultatai, pateiktas apibendrinimas ir pasiūlymai.

2. ANALITINĖ DALIS

Rinkos prekybos algoritmai gali būti subjektyvūs arba objektyvūs. Subjektyvus algoritmai yra tie, kurie remiasi neryškia (angl. *fuzzy*) logika. Neryški logika remiasi ne konkrečiomis vertėmis, o apytikrėmis vertėmis [4]. Dažniausiai neryški logika pasireiškia, kai žmogus apsiraso nekonkrečias taisykles, palieka vietos savo nuojautai. Tokia prekybos strategija gali būti pvz. pirkimas akcijos, kuri prekiautojui patinka tais metais. Kadangi ši strategija priklauso tiesiogiai nuo konkretaus prekiautojo, sudėtinga būtų įvertinti jos efektyvumą. Prekybos strategijos efektyvumui įvertinti reikia konkretumo – aiškių, objektyvių taisyklių prekybos instrumentui pirkti ir parduoti.

Techninės arba algoritminės prekybos strategijos yra objektyvesnės, kadangi algoritmas yra seką turinčių taisyklių ar instrukcijų rinkinys. Tačiau, neteisinga manyti, kad jos yra visada objektyvios, kadangi strategijas sudarė žmogus, kuris ir arba metodiškai, ir arba empiriškai parinko strategijos taisykles bei jos parametrus. Iš dalies, rinkos prekybos strategijų kūrimas primena dirbtinio intelekto modelio mokymosi procesą – parenkami algoritmo žingsniai ir tada optimizuojami jų parametrai. Tokio proceso metu tikimasi, kad algoritmas bus generalizuotas ir nebus per daug pritaikytas (angl. *overfitted*) praeities duomenims.

Algoritminės prekybos strategijos parametrų pritaikymas praeities duomenims yra problema, kurią sudėtinga išspręsti. Yra nemažai metodų [5] - [6], kurie padeda išvengti per didelio pritaikymo, pagrinde naudojant atrinktus (angl. *in-sample*) ir neatrinktus (angl. *out-of-sample*) duomenis. Atgalinis patikrinimas yra realistiškas, kai strategijos efektyvumas atrinktais duomenimis yra panašus į strategijos efektyvumą neatrinktais duomenimis. [6]. Kadangi siekiama sukurti algoritminės prekybos strategijų efektyvumo stebėjimo įrankį, tai šiame darbe atrinkti duomenys bus praeities duomenys, o neatrinkti duomenys bus ateities duomenys.

2.1. Atgalinio bei priekinio patikrinimų metrikos

Yra sugalvota įvairių metrikų siekiant stebėti ir įvertinti prekybos strategijos efektyvumą. Pagrindinės trys yra: metrikos orientuotos į pelną, metrikos orientuotos į riziką, ir mišrios. Be jų, yra ir kitų metrikos rūšių, tokių, kaip orientuotos į laiką [7], pvz. atidarytos pozicijos trukmę [7], nedalyvavimo prekyboje trukmę, ir kt. Šiame darbe apsistosime tik ties pelno, rizikos ir mišriosiomis metrikomis.

2.1.1. Pelno metrikos

Paprasčiausios ir lengviausiai suprantamos metrikos yra orientuotos į pelną – kiek pelno uždirbo prekybos strategija? Šios metrikos investuotojui ar prekiautojui yra labai svarbios – jeigu strategija neuždirba pinigų, ja prekiauti nėra tikslo.

Yra įvairių pelno metrikų:

- grynasis pelnas;
- pelno faktorius;
- laimėjimo dažnis;
- vidutinis laimėtojas;
- didžiausias laimėtojas;

- laimėjimų serija ir kt.

2.1.2. Rizikos metrikos

Kita metrikų rūšis yra rizikos metrikos. Daugelis investuotojų ir prekyautojų mano, kad šios metrikos yra svarbesnės nei pelno metrikos, nes nevaldant rizikos, anksčiau ar vėliau pelną prekyautiojas praras. Dėl šios priežasties, ilgajame prekyavimo laikotarpyje, rizikos metrikos yra svarbiausios.

Yra įvairių rizikos metrikų:

- pralaimėjimo dažnis;
- vidutinis pralaimėtojas;
- didžiausias pralaimėtojas;
- pralaimėjimų serija;
- Pozicijų standartinis nuokrypis;
- Maksimalus nuosmukis (angl. *Max drawdown*) ir kt.

2.1.3. Mišrios metrikos

Mišrios metrikos susideda tiek iš pelno, tiek iš rizikos, ar dar kitų metrikų kombinacijos. Šios metrikos gali parodyti tiek pelno grąžą, tiek patiriama strategijos riziką. Šios metrikos investuotojui ar prekyautojui yra svarbios dėl savo informatyvumo – viename matavime slypi informacija apie bendrą strategijos pelningumo, rizikos vaizdą.

Štai kelios mišrios metrikos:

- Šarpė santykis (angl. *Sharpe ratio*);
- Sortino santykis (angl. *Sortino ratio*);
- rizikos vertė (angl. *Value at Risk*);
- rizikos sąlyginė vertė (angl. *Conditional Value at Risk*);
- Kalmaro santykis (angl. *Calmar ratio*) ir kt.

2.2. Metrikų reikšmės

Metrikų matavimas strategijos efektyvumui yra toks procesas, kuris gali atnešti objektyvumo strategijų pasirinkimui ar jų diversifikavimui. Taip, kaip gali būti diversifikuojami akcijų ar kitų vertybinių popierių portfeliai, taip gali būti diversifikuojami ir strategijų portfeliai. Todėl sekti metrikos reikšmės yra itin svarbu, nes kitaip strategijos vertė lieka paslaptimi.

2.2.1. Pelno faktorius

Pelno faktorius yra viena iš pelno metrikų. Pelno faktorius parodo vidutinę prekybos grąžą per vienetinį pirkimą ar pardavimą. Kitais žodžiais, ši metrika parodo, koks pelnas yra gaunamas per rizikos vienetą. Pelno faktoriaus formulė yra:

$$PF = \frac{\text{Bendrasis pelnas}}{\text{Bendrasis nuostolis}} \quad (2.1)$$

Pelno faktorius yra santykinis dydis, gaunamas bendrąjį pelną padalinus iš bendrojo nuostolio. Dydis didesnis už vienetą reiškia, kad yra uždirbama iš strategijos, o dydis žemesnis už

vienetą reiškia, kad patiriami nuostoliai iš strategijos. Taip pat, galima suprasti, kad pelno faktorius parodo vidutinę grąžą už rizikos vienetą [8]. Ši matavimo metrika reikšmingesnė nei grynasis pelnas, nes į grynąjį pelną orientuotos strategijos, kurių pozicijos kintamos, „pamirštų“ senesnių prekybų rezultatų duomenis. Tai yra todėl, kad tokia strategija po kiekvienos pergalės perka vis didesnę kiekį vertybinių popierių, o tai ir lemia didesnę pelną, tačiau reikia nepamiršti, kad rizika taip pat didesnė.

2.2.2. Didžiausias pralaimėtojas

Didžiausio pralaimėtojo metrika parodo, koks didžiausias vieno pirkimo ar pardavimo nuostolis buvo patirtas. Dažniausiai ši metrika yra prasminga, kai nėra nustatytos numatytosios rizikos strategijai, t.y. kai nėra nustatyti numatyti prekybos stabdžiai (angl. *Stop Loss Orders*). Prekybos stabdžiai yra skirti siekiant apsaugoti prekybos portfeli nuo didesnių nenorimų nuostolių. Kadangi tokiose strategijose numatyta rizika automatiškai pasako, kokį didžiausią pralaimėjimą gali patirti prekiautojas vienos prekybos metu, tai ši metrika tokiose strategijose neturi didelės vertės, nes kiekvienas pralaimėtojas yra konstanta.

Kitu atveju, kai nėra nustatytų numatytų prekybos stabdžių, ši metrika yra itin svarbi, nes ji gali padėti nustatyti, kur dėti apsaugomuosius stabdžius, jeigu rinkla netikėtai apsisuks ne prekiautojui tinkama linkme. Juk tikimybė, kad vertybinio popieriaus vertė netikėtai pasieks nulį nėra nulinė, todėl verta apsisaugoti nuo netikėtų kainų pokyčių. Taip pat, prekiautojas žinantis didžiausią pralaimėtoją, žinos, ties kokiu pralaimėtoju jau gali būti reikalingi strategijos optimizavimo pokyčiai, o ties kuriuo ne.

Pralaimėjimas (kaip ir laimėjimas) tiesiogiai priklauso nuo dviejų dydžių: pozicijos dydžio ir kainų pokyčio. Vadinasi, iš tikro, reikia stebėti ir fiksuoti pozicijų dydžius ir kainų pokyčius, iš kurių apskaičiuojamas pralaimėjimas P :

$$P = \text{Pozicijos dydis} * (\text{Pirkimo kaina} - \text{Pardavimo kaina}) \quad (2.2)$$

Reikia nepamiršti, kad pralaimėtojus pavojainga skaičiuoti pralaimėtų pinigų kiekiu. Svarbu suprast, kaip veikia strategija. Jeigu strategija neatsižvelgia į rinkos nepastovumą (angl. *Volatility*) ir rizikuoja tą patį kiekį vertybinių popierių vienetų, tačiau netikrina portfelio balanso, tai padidėjus nepastovumui, didėja šansai patirti didesnius pralaimėjimus. Todėl naudinga pralaimėtojus skaičiuoti procentais nuo viso portfelio balanso, taip pat nuo instrumento kainų pokyčių, o jei strategijos pozicijos dydis yra dinaminis, tai dar ir bendrą prarastą pinigų kiekį.

2.2.3. Šarpė santykis

Šarpė santykis yra viena iš populiariausių metrikų tiek tarp investuotojų, tiek tarp ribotos rizikos fondų siekiant gerinti portfelių valdymą, strategijų ir turto vienetų ar jų klasių pasirinkimą portfelyje. Šarpė santykis yra vienas iš pagrindinių įrankių rizikai koreguoti. Yra išvesta daug įvairių koreguotų, modifikuotų ir patobulintų Šarpė santykių [9]. Originali Šarpė santykio formulė yra:

$$\text{Šarpė santykis} = \frac{\text{Koreguota strategijos grąža}}{\text{Strategijos nepastovumas}} \quad (2.3)$$

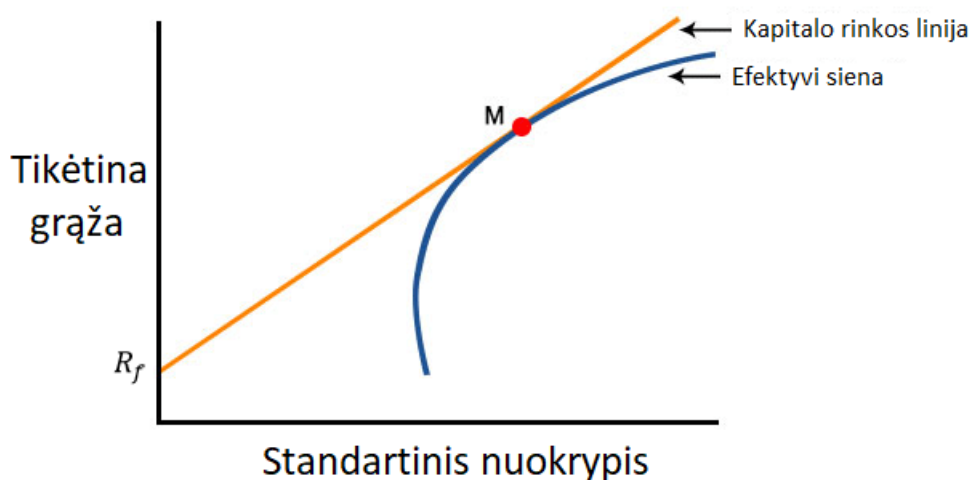
Koreguota strategijos grąža yra skirtumas, gautas iš strategijos grąžos atėmus nerizikingos strategijos vertę, kuri dažniausiai yra kaip valstybinio banko išduodamų obligacijų palūkanos. O

strategijos nepastovumas yra tas pats, kas strategijos grąžos standartinis nuokrypis. Taigi, Šarpė santykis apskaičiuojamas taip:

$$S_i = \frac{R_i - R_f}{\sigma_i} \quad (2.4)$$

Kur S_i – strategijos Šarpė santykis, R_i – strategijos grąža, R_f – nerizikingos strategijos grąža (angl. *Risk-Free Rate*), σ_i – strategijos standartinis nuokrypis.

Šarpė santykis yra naudingas tuo, kad jis apima tiek riziką, tiek grąžą – nesvarbu ar tikrą, ar tą, kurios yra tikimasi gauti, vienoje formulėje [9]. Kadangi grąža yra aprašyta skaitiklyje, o rizika vardiklyje, tai tikimasi grąžą (skaitiklį) padidinti, o riziką (vardiklį) sumažinti. Vadinasi, kuo didesnis Šarpė santykis – tuo stipresnė ir geresnė yra strategija, nes ji uždirba daugiau, rizikuojant mažiau.



2.1 pav. Kapitalo rinkos linija

Šarpė santykis yra svarbus modeliuojant optimaliausią strategijų portfelį. Naudojant kapitalo rinkos liniją (angl. *Capital Market Line*) yra kuriamas strategijų portfelis, susidedantis iš dviejų komponentų: rizikingų ir nerizikingos strategijų. Paveikslėlyje (žr. pav. 2.1) pavaizduota kapitalo rinkos linija ir efektyvi siena. Kapitalo rinkos linija parodo, kad norint tikėtis didesnės grąžos, reikia rizikuoti daugiau [10]. Teigiama, kad yra begalo daug portfelių, susidedančių iš įvairių strategijų kombinacijų ir visos jos yra žemiau ir į dešinę nuo efektyvios sienos. O efektyvi siena – tai tokie ribiniai portfeliai, kurie yra efektyviausi rizikos ir grąžos prasme. Taigi, taškas M, kur rinkos kapitalo linija liečiasi su efektyvia siena, yra optimaliausia strategijų kombinacija. Ir, taip pat, šis taškas turi didžiausią Šarpe santykį.

Šarpė santykis gali būti tiek teigiamas, tiek neigiamas. Jeigu strategijos grąža yra mažesnė už nerizikingos strategijos grąžą, tai reiškia, kad jų skirtumas yra neigiamas, ko pasekoje, gaunamas neigiamo dydžio Šarpė santykis. Nors pati strategija gali būti pelninga, tačiau tai rodo, kad analizuojama strategija yra kapitalo ir laiko gaišimas nerizikingos strategijos atžvilgiu – nerizikinga strategija arba uždirba didesnį pelną, arba patiria mažesnį nuostolį.

2.3. Techninės analizės įrankiai

2.3.1. Slankieji vidurkiai

Pirmoji techninės analizės strategija remsis eksponentinių slankiųjų vidurkių (angl. *Exponential Moving Averages*) sankirta. Slankiuosius vidurkius laiko eilučių analizei pirmą kartą aprašė Hukeris [11]. Slankieji vidurkiai matuoja paskutinių N laiko eilučių vidurkį paskutinei uždarytai laiko eilutei. Dažniausiai yra imamos uždarymo kainos slankiesiems vidurkiams nustatyti, tačiau slankiuosius vidurkius galima skaičiuoti bet kokiam skaitinė vertę turinčiam duomenų masyvui. Paprastųjų slankiųjų vidurkių (angl. *Simple Moving Averages*) formulė:

$$MA = \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{N} \quad (2.5)$$

Čia MA – slankiojo vidurkio reikšmė skaičiuojamai žvakei, C_i – i-tosios laiko eilutės uždarymo kaina, N – slankiojo vidurkio ilgis. Šie slankieji vidurkiai turi didelę problemą: kiekvienos laiko eilutės svoris yra vienodas. Dėl to, pasitaikius tokiai laiko eilutei, kuri stipriai nukrypsta nuo standartinio nuokrypio, vidurkiai smarkiai reaguoja ir kinta. Tai vyksta net du kartus – kai ši reikšmė patenka į skaičiavimus ir kai iš jų išeina. Dėl šio paprastųjų slankiųjų vidurkių trūkumo yra sukurti svoriniai slankieji vidurkiai, tokie kaip eksponentiniai slankieji vidurkiai.

Eksponentiniai slankieji vidurkiai skiriasi nuo paprastų slankiųjų vidurkių tuo, kad matuojamų vidurkių svoriai skiriasi. Šių vidurkių formulė:

$$EMA(i) = C_i * k + EMA(i - 1) * (1 - k) \quad (2.6)$$

Čia EMA – Eksponentinis slankusis vidurkis, i – naujausios laiko eilutės žyma, C – uždarymo kaina, k – koeficientas, apskaičiuojamas pagal formulę:

$$k = \frac{2}{N + 1} \quad (2.7)$$

Kur N – eksponentinio slankiojo vidurkio ilgis. Eksponentiniuose slankiuosiuose vidurkiuose didžiausią svorį turi paskiausias elementas. Pavyzdžiui, jei eksponentinio slankiojo vidurkio ilgį parinkti 10, tai naujausia reikšmė turės $k = \frac{2}{10+1} \approx 18\%$ svorio – beveik penktadalis. Tą lemia dvejetas skaitiklį – naujausia vidurkio reikšmė sudarys apytiksliai ilgį padalinus iš dviejų. Jeigu ilgis 20, tai naujausia reikšmė turės beveik dešimtadalį viso svorio. Kita vertus, teoriškai, eksponentiniame slankiajame vidurkyje nėra seniausios reikšmės, dėl savo iteracinės formulės prigimties. Jeigu imti pavyzdį, kur eksponentinio slankiojo vidurkio ilgis $N = 10$, tai po 10-ies iteracijų svoris nuo 18% nukris iki: $k * (1 - k)^N \approx 0.18 * (1 - 0.18)^{10} \approx 2.5\%$. Todėl šio svorio paskirstymo eksponentinis slankusis vidurkis yra populiariesnis nei paprastasis slankusis vidurkis.

2.3.2. Reliatyvaus stiprumo indeksas

Reliatyvaus stiprumo indeksas (angl. *Relative Strength Index*, sutr. – RSI) yra populiarus indikatorius prekybos impulsui matuoti. Šis osciliatorius sukurtas matuoti paskiausius kainų pasikeitimus ir lyginti juos su praities kainų vidurkių santykiais. Savo originaliojo knygoje Vilderis [12] pristatė šį indikatorį kaip sprendimą į tris osciliatorių problemas: klaidingai per aukštą ar per žemą reikšmių gavimą, reliatyvumo tarp aukščių ir žemumų trūkumą, ir indikatoriaus

apskaičiavimo sudėtingumo. Reliatyvaus stiprumo indekso reikšmė, pasak Vilderio, virš 70 fiksuoja perpirktą instrumentą, o reikšmė žemiau 30 – perparduotą instrumentą [12]. Tačiau taip pat reliatyvaus stiprumo indeksas gali būti interpretuojamas kaip palaikymo (angl. *Support*) ir pasipriešinimo (angl. *Resistance*) zonų susidarymu, grafikų formų susidarymu, divergencijų signalų davimu ir kt.

Reliatyvaus stiprumo indeksas yra apskaičiuojamas pagal formulę:

$$RSI = 100 - \frac{100}{1 + RS} \quad (2.8)$$

$$RS = \frac{\text{Vidutinis pakilimas}}{\text{Vidutinis nusmukimas}} \quad (2.9)$$

$$\text{Vidutinis pakilimas} = \frac{\text{Pakilimų suma periodui } N}{N} \quad (2.10)$$

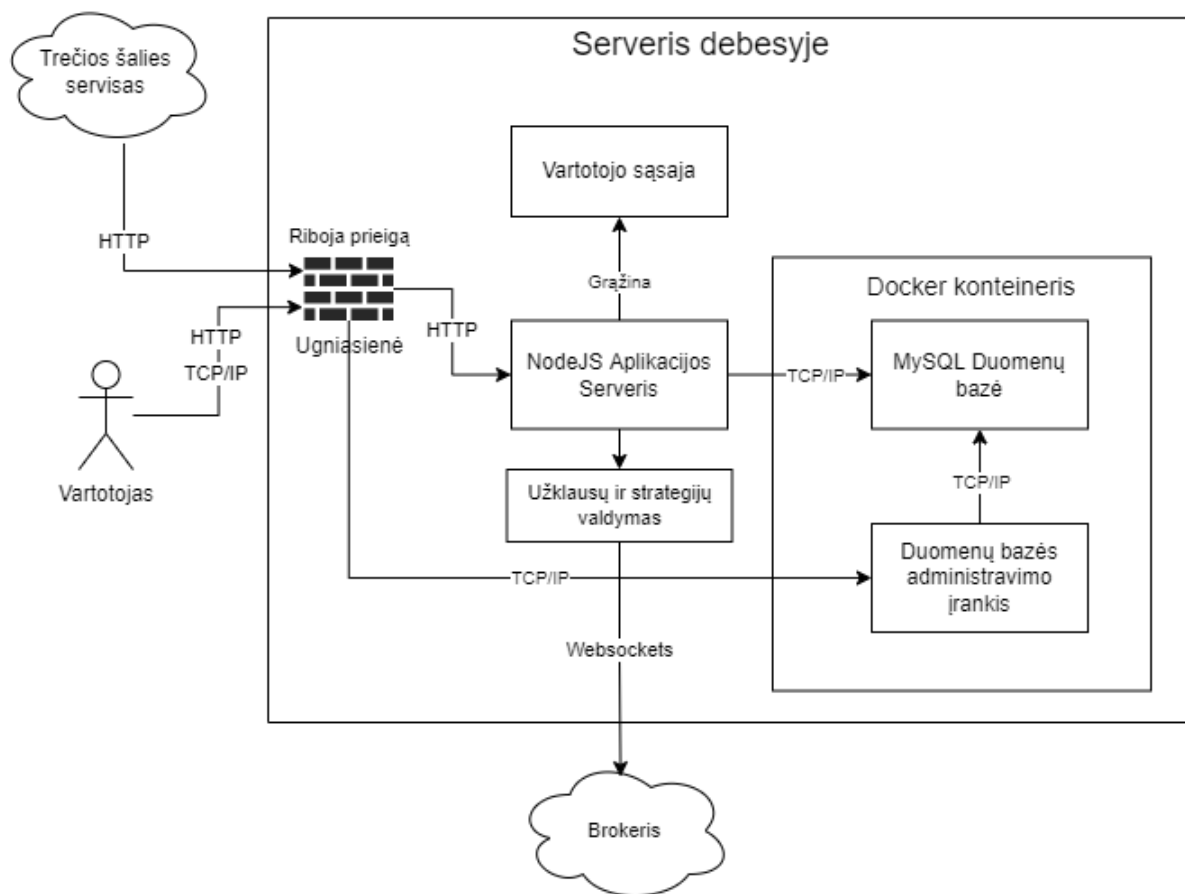
$$\text{Vidutinis nusmukimas} = \frac{\text{Nusmukimų suma periodui } N}{N} \quad (2.11)$$

Pakilimai yra skaitomi, kai žvakės uždarymo kaina yra didesnė už atidarymo, o nusmukimai yra skaitomi, kai žvakės uždarymo kaina yra žemesnė už atidarymo. Taigi formulėje reliatyvus stiprumas (angl. *Relative Strength*) parodo teigiamų žvakių santykinį su neigiamomis žvakėmis. Kuo daugiau buvo teigiamų žvakių periode, tuo didesnis reliatyvus stiprumas ir tuo didesnis reliatyvaus stiprumo indeksas, o kuo periode buvo daugiau neigiamų žvakių, tuo mažesnis reliatyvus stiprumas ir tuo mažesnis reliatyvus stiprumo indeksas.

3. METODINĖ DALIS

3.1. Sistemų architektūra

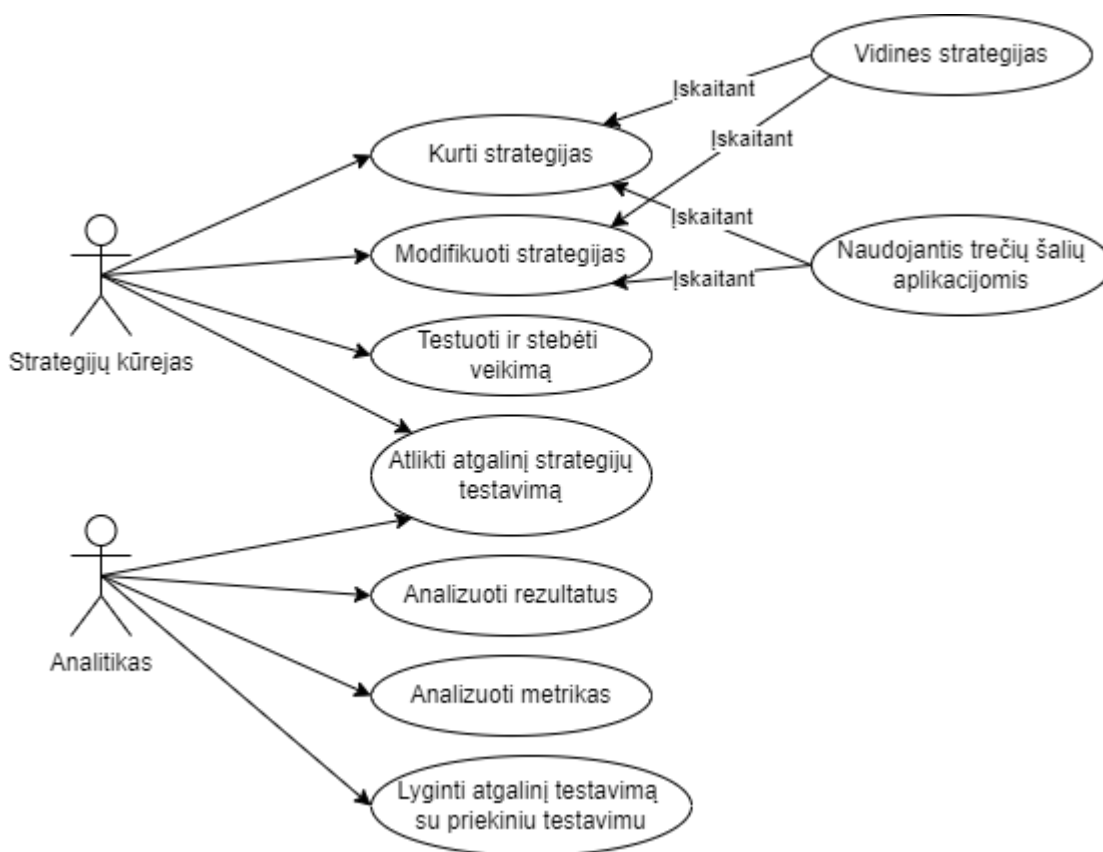
Šiame darbe yra kuriama viena sistema su dviem įrankiais – algoritminės prekybos strategijų valdymo įrankis bei algoritminės prekybos strategijų efektyvumo stebėjimo įrankis. Šie įrankiai yra persipynę tarpusavyje, tačiau, manome, kad svarbu, bent teoriškai, atskirti juos į dvi dalis, nes algoritminės prekybos strategijų valdymo įrankis renka duomenis, o algoritminės prekybos strategijų efektyvumo įrankis juos atvaizduoja. Todėl šiame darbe jie minimi tarsi būtų atskiri įrankiai.



3.1 pav. Sistemos ir aplinkos architektūra

Paveikslėlyje (žr. pav. 3.1) pavaizduota abstrakti programų sistemos ir jos aplinkos architektūra. Programų sistema susideda iš NodeJS aplikacijos serverio, kuris valdo gaunamas užklausas bei strategijas ir grąžina vartotojo sąsają HTML dokumentų pavidalu, ir duomenų bazės. Duomenų bazė yra Docker konteinerio virtualioje mašinoje su duomenų bazės administravimo įrankių, kuris leidžia lengvai stebėti duomenų bazės lenteles bei jų įrašus. Vartotojas gali pasiekti duomenų bazės administravimo įrankį nurodžius atitinkamą prievadą (angl. *Port*). Kadangi aplikacija yra skirta tik keliems vartotojams ir arba trečių šalių aplikacijoms pasiekti, tai yra blokuojamos visos įeinančios užklausos, išskyrus užklausas ateinančias iš leidžiamojo sąrašo (angl. *Whitelist*). Visi bendravimai tarp sistemų ir vartotojų vyksta TCP/IP protokolais žemiausiame lygmenyje, aukščiausiame – HTTP arba Websockets protokolais.

Pagrindiniai programų sistemos panaudos atvejai pavaizduoti paveikslėlyje (žr. pav. 3.2). Strategijų kūrėjas gali naudotis algoritminės prekybos strategijų valdymo įrankiu, kad kurtų, modifikuotų ir testuotų naujas ar esamas strategijas. Analitikas gali naudotis algoritminės prekybos strategijų efektyvumo stebėjimo įrankiu ir analizuoti strategijų rezultatus, gautas metrikas, lyginti atgalinį testavimą su priekiniu testavimu. Abudu vartotojai gali atlikti atgalinį strategijų testavimą.



3.2 pav. Sistemos panaudos atvejų schema

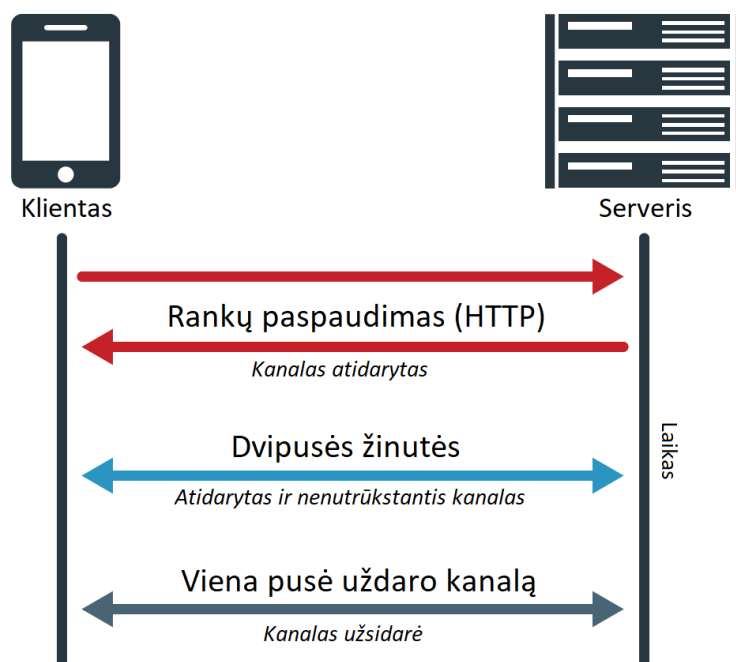
3.2. Prekybos strategijų valdymo įrankis

Algoritminės prekybos strategijų vykdymo įrankis bus sudarytas iš kelių dalių:

1. Brokerio sąsajos modulio;
2. Užsakymų (angl. *Orders*) vykdymo modulio;
3. Strategijų pozicijų dydžio valdymo modulio;
4. Strategijų taisyklių bei vykdymo modulių;

3.2.1. Brokerio sąsajos modulis

Šis modulis yra skirtas bendravimui su brokeriu. Brokeris yra tiek duomenų tiekėjas, tiek platforma, kurioje užsakymai yra vykdomi. Pasirinktas brokeris yra FXCM (Forex Capital Markets). Šis brokeris leidžia prekiauti užsienio valiutų ir CFD (angl. *Contract for Difference*) išvestiniais instrumentais. Brokeris turi prieigą prie daugumos užsienio valiutų, populiariausių akcijų bei indeksų. Tačiau svarbiausia, kad šis brokeris turi nemokamą API (angl. *Application Programming Interface*). Brokeris turi savo viršelius (angl. *Wrapper*) Python, JAVA programavimo kalbomis, taip pat atvirą REST (angl. *Representational State Transfer*) sąsają. Šiame darbe yra naudojamas NodeJS aplinkos variklis su JavaScript programavimo kalba, naudojama REST sąsaja su brokeriu.



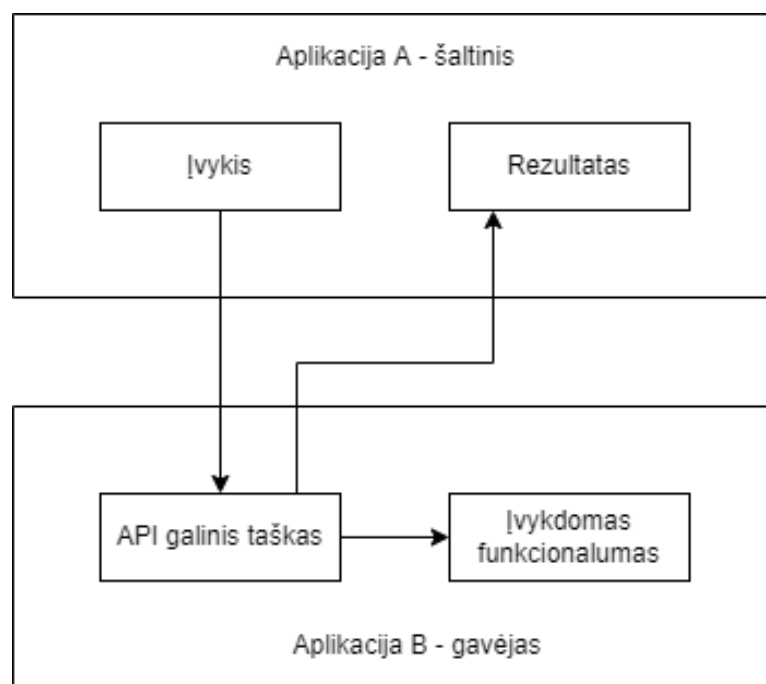
3.3 pav. Websocket komunikacijos ryšys

FXCM brokeris naudoja REST API vienkartiniais duomenimis gauti, įvykdyti POST tipo HTTP (angl. *Hypertext Transfer Protocol*) užklausas, kaip užsakymų pateikimui arba pozicijai uždaryti. Taip pat, yra galimybė pateikti užklausą, kad norima užsiprenumeruoti duomenis. Prenumeracija vykdoma HTTP protokolu, o šių duomenų gavimas perduodamas per WebSocket protokolą. Tokiu būdu galima gauti duomenis apie įvairias pozicijas, portfelio statusą, žvakių (angl. *Candlesticks*) duomenis gyvai. WebSocket veikia įvykių klausytojo (angl. *Event Listener*) principu (žr. pav. 3.1) – užmezgamas ryšys tarp abiejų šalių siunčiant užklausą ir gaunant atsakymą, o nuo to laiko, bet kuri šalis gali siųsti duomenis kitai. Skirtingai nuo HTTP protokolo, kuriame klientas pateikia užklausą, o tik tada gauna atsakymą, WebSocket protokolu siųsti duomenis abiem šalims galima betkada tol, kol kanalas yra atidarytas, o duomenų siuntėjas atsakymo nesitiki.

3.2.2. Užsakymų vykdymo modulis

Užsakymų vykdymo modulis priima užklausas ir, pagal paduotus parametrus, atlieką užsakymų vykdymą. Realizacijai reikalingi tokie užsakymai, kaip pozicijos atidarymas, pozicijos uždarymas, visų pozicijų instrumentui uždarymas, užsakymų siuntimas, užsakymų koregavimas.

Kadangi NodeJS palaiko REST naudojant Express biblioteką, tai galima aplikaciją padaryti kaip REST tinklo kabliuko (angl. *Webhook*) servisą, kuris priims užklausas iš trečių šalių aplikacijų (žr. pav 3.2). Tokiu būdu, galima susieti aplikaciją su kitomis aplikacijomis, pvz.: TradingView, kurioje galima rašyti savo algoritmus PineScript skriptine programavimo kalba ir atlikti vertybinių popierių pirkimus bei pardavimus, kurie generuotų įvykius, kaip pirkimo ar pardavimo signalus. Triggeris sugeneruotų įvykį, kuris išsiųstų iš šaltinio POST užklausą į servisą, gavus užklausą, aplikacija atliktų prekybos pirkimą ar pardavimą, priklausomai nuo gauto signalo. Tokiu būdu veikia užsakymų gavimo modulis. Tačiau, kabliuko signalas nėra būtinas – galima kviesti užsakymų apdorojimo funkciją tiesiai kode.



3.4 pav. Kabliuko veikimo principas

3.2.3. Strategijų pozicijų kiekio valdymo modulis

Strategijų pozicijų kiekio valdymo modulis skirtas naujai atidaromų pozicijų dydžiui apskaičiuoti, remiantis konkrečiomis strategijos taisyklėmis bei jų implementacijomis. Šis modulis yra reikalingas tam, kad teisingai apskaičiuoti, kokią kiekį instrumento pirkti ar parduoti, tam kad pereiti iš ilgos (angl. *Long*) pozicijos į trumpąją (angl. *Short*) remiantis esamu portfelio balansu. Jis taip pat skirtas suskaičiuoti reikalingą prekybos kiekį, kai yra uždaromos tarpinės (angl. *Partial*) pozicijos. Sudėtingėja skaičiavimai, jeigu strategija yra paremta ribavimo (angl. *Hedging*) strategijomis, kurios leidžia atidaryti priešingas, ir ilgas, ir trumpas, pozicijas vienam instrumentui vienu metu, taip ribojant riziką.

3.2.4. Strategijų taisyklių bei vykdymo moduliai

Strategijų taisyklių modulis yra skirtas strategijų algoritmams rašyti, kuriame skaičiuojama, ar paskausiais žvakės duomenimis atlikti pirkimą arba pardavimą, ar ne. Šiame modulyje aprašomi algoritmo sąlygų žingsniai, skaičiuojami techninės analizės algoritmai, sprendžiama, kokią veiksmą atlikti gavus naujausius žvakių duomenis.

Strategijų vykdymo modulis atsakingas už pakartotinių užklausų vykdymą: gauti žvakių istoriją strategijai reikalingai laiku, gauti atsaką, ar strategija atlieka veiksmą, ir jį įvykdyti.

3.3. Algoritminės prekybos strategijų efektyvumo stebėjimo įrankis

Prekybos strategijų efektyvumo stebėjimo įrankis yra HTML dokumentais atvaizduota svetainė, kuri susideda iš šių dalių:

1. Grafikų dalis;
2. Metrikų dalis;
3. Skaičiavimų dalis;
4. Atgalinio testavimo modulis.

Kadangi prekybos strategijų efektyvumo stebėjimo įrankis persilieja su prekybos strategijų valdymo įrankiu, šis įrankis skirtas surinktus duomenis atvaizduoti žmogui suprantamais būdais: grafikais bei metrikų rodikliais.

3.3.1. Grafikų dalis

Grafikų dalis yra skirta grafikams brėžti, kuriuos būtų galima bent akimi lyginti tarpusavyje. Šie grafikai yra skirti atvaizduoti dviem duomenų tipams: teoriniams ir praktiniams. Teorinius duomenis sudaro strategijos atgalinio testavimo duomenys, o praktinius duomenis sudaro gyvai vykdyti instrumentų pirkimai bei pardavimai testinėje brokerio aplinkoje. Naudojantis JavaScript bibliotekos CanvasJS demonstracine versija, galima atvaizduoti surinktus duomenis apie strategijos pelningumą ir efektyvumą. Ši biblioteka turi galimybę atvaizduoti tiek įprastus duomenis, tiek laiko eilučių duomenis. Šiame darbe laiko eilučių neatvaizduosime, todėl pakaks tik pastarojo bibliotekos modulio.

3.3.2. Metrikų dalis

Metrikų dalis atvaizduos strategijų rezultatų metrikas: pelno faktorių, didžiausią praradimą, didžiausią procentinį praradimą, Šarpė santykį. Metrikos yra skaičiuojamos abiejų tipų duomenims – tiek atgalinio, tiek priekinio testavimo. Gautos metrikų reikšmės yra atvaizduojamos šalia grafikų HTML dokumente.

3.3.3. Skaičiavimų dalis

Skaičiavimų dalis yra skirta atlikti tiek atgalinio testavimo, tiek priekinio testavimo rezultatų metrikų skaičiavimams. Šioje dalyje yra aprašytos funkcijos, kurios suskaičiuoja ir gražina metrikų rezultatus. Šios funkcijos yra kviečiamos iš grafikų ir metrikų atvaizdavimo dalių. Paruošiami ir suformatuojami duomenys metrikoms bei grafikams.

3.3.4. Atgalinio testavimo modulis

Atgalinio testavimo modulyje aprašyta atgalinio testavimo eiga. Gaunami praeities žvakių duomenys, kurie siunčiami strategijos taisyklių moduliui. Gaunamas įvykių istorijos atsakymas, kuris vėliau naudojamas prekybos simuliacijai praeities duomenimis atlikti. Atliekami simuliaciniai pirkimai bei pardavimai, skaičiuojama portfelio vertė, simuliuojami praplatintos kainos (angl. *Spread*) mokesčiai. Galiausiai, grąžinami rezultatai apie simuliacijos prekybą. Naudojant šiuos rezultatus, pateikus juos metrikų skaičiavimo funkcijoms, gaunamos prekybos simuliacijos strategijos metrikos, kurios vėliau atvaizduojamos priekinėje programų sistemos dalyje.

3.4. Pasirinktosios strategijos

Šis darbas skirtas programinei įrangai kurti, o ne ieškoti pelningų strategijų, todėl remsimės empiriniais techninės analizės metodais algoritminės prekybos strategijoms kurti. Bus naudojamos klasikinės techninės analizės strategijos, sukurtos XX a.

3.4.1. Eksponentinių slankiųjų vidurkių kirtimo strategija

Pirmoji strategija yra eksponentinių slankiųjų vidurkių kirtimo strategija. Strategijos taisyklės:

1. Žvakės laikotarpis – 1 minutė.
2. Skaičiuojamas trumpas ir ilgas eksponentiniai vidurkiai (trumpojo ilgis 2 periodai, ilgojo – 5 periodai) žvakės uždarymo kainai;
3. Generuojamas ilgas (pirkimo) signalas, kai trumpas eksponentinis vidurkis kirto aukščiau ilgąjį eksponentinį vidurkį;
4. Generuojamas trumpas (pardavimo) signalas, kai trumpas eksponentinis vidurkis kirto žemiau ilgąjį eksponentinį vidurkį.

Strategija skaičiuoja eksponentinius slankiuosius vidurkius, kurių kodas yra:

```
const ema = (dataSource, length) => {  
  const k = 2 / (length + 1);  
  const emaArray = [dataSource[0] * (1 - k)];  
  let previous = emaArray[0];  
  for (let i = 1; i < dataSource.length; i++) {  
    const current = k * dataSource[i] + previous;  
    emaArray.push(current);  
    previous = current * (1 - k);  
  }  
  return emaArray;  
};
```

Kodo iškarpoje yra paduodamas žvakių šaltinio masyvas, kurį sudaro vienas pasirinktas elementas, pvz.: uždarymo kaina, ir skaičiuojamo ilgio periodas, o funkcija grąžina masyvą su eksponentinio slankiojo vidurkio reikšmėmis.

3.4.2. RSI tendencijų strategija

Antroji strategija naudoja reliatyvaus stiprumo indeksą. Šios strategijos taisyklės yra tokios:

1. Žvakės laikotarpis – 1 minutė.
2. Skaičiuojamas reliatyvaus stiprumo indeksas, kurio periodas yra 5 žvakės.
3. Generuojamas ilgas (pirkimo) signalas, kai reliatyvaus stiprumo indeksas peržengia aukščiau 50.
4. Generuojamas trumpas (pardavimo) signalas, kai reliatyvaus stiprumo indeksas nukrenta žemiau 80.

Skaičiuojamas reliatyvaus stiprumo indeksas naudojantis ritančiojo slankiojo vidurkio (angl. *Rolling Moving Average*) formulę:

```
const rma = (dataSource, length) => {  
  const rmaArray = [0];  
  const alpha = 1 / length;  
  for (let i = 1; i < dataSource.length; i++) {  
    rmaArray.push(alpha * dataSource[i] + (1 - alpha) * rmaArray[i - 1]);  
  }  
  return rmaArray;  
};
```

Ritantis slankusis vidurkis yra svorinis slankusis vidurkis, panašus į eksponentinį slankųjį vidurkį ir, iš esmės, skiriasi tik svoriniu koeficientu savo formulėje. Ritančiojo slankiojo vidurkio formulė:

$$RMA(i) = C_i * \alpha + RMA(i - 1) * (1 - \alpha) \quad (3.1)$$

Čia RMA – ritantis slankusis vidurkis, i – naujausios laiko eilutės žyma, C – uždarymo kaina, k – koeficientas, apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\alpha = \frac{1}{N} \quad (3.2)$$

Ritantis slankusis vidurkis yra naudojamas siekiant sulygtinti reliatyvaus stiprumo indekso reikšmes. Ritantis slankusis vidurkis naudojamas tiek vidutinio pakilimo, tiek vidutinio nukritimo masyvams skaičiuoti, kurie yra naudojami stiprumo indeksui apskaičiuoti, kuris naudojamas reliatyvaus stiprumo indeksui apskaičiuoti.

3.4.3. RSI perpirtų ir perparduotų instrumentų strategija

Trečioji strategija taip pat yra paremta reliatyvaus stiprumo indikatoriumi. Strategijos taisyklės tokios:

1. Žvakės laikotarpis – 1 minutė.
2. Skaičiuojamas reliatyvaus stiprumo indeksas, kurio periodas yra 5 žvakės.
3. Generuojamas ilgas (pirkimo) signalas, kai reliatyvaus stiprumo indeksas nukrenta žemiau 20.
4. Generuojamas trumpas (pardavimo) signalas, kai reliatyvaus stiprumo indeksas perkopia 80 ribą.

Ši strategija yra klasikinė Vilderio strategija [12] su modifikuotais parametrais: vietoje Vilderio siūlyto 14 dienų periodo, naudojamas 5 periodas minutiniam žvakių laikotarpiui, o, vietoje 30 ir 70 reliatyvaus stiprumo indekso ribų, naudojamas 20 ir 80 lygiai.

4. ĮGYVENDINIMO DALIS

Šiame skyriuje pateikti sukurtieji įrankiai ir programinė sistema, atliktas testavimas nedideliame laiko imtyje ir nedideliais duomenų kiekiais funkcionalumui ištestuoti.

4.1. Testavimas

4.1.1. Aplinka ir kontekstas

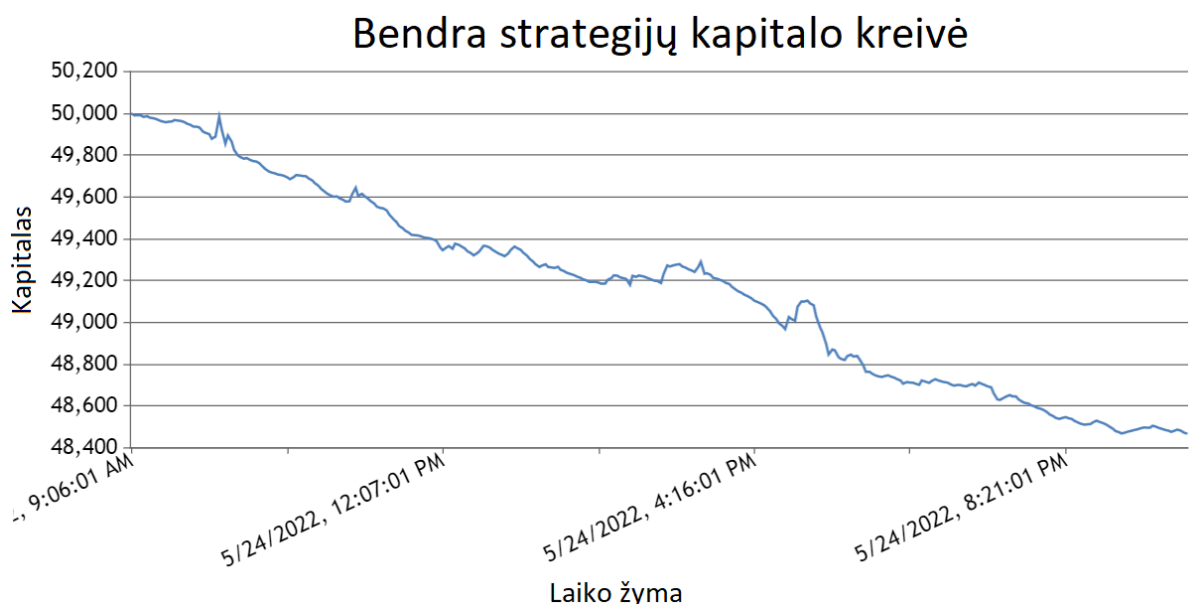
Darbo metu sukurta programų sistema apimanti algoritminės prekybos strategijų valdymo įrankį bei algoritminės prekybos strategijų efektyvumo stebėjimo įrankį. Algoritminės prekybos strategijų valdymo įrankis leidžia rašyti strategijas ir jomis prekiauti finansų rinkoje išvestinėmis priemonėmis. Prekyba yra vykdoma FXCM brokery demonstracinėje paskyroje. Šioje paskyroje yra 50000 eurų kapitalas, leidžiama prekiauti visais instrumentais, kuriais tą daryti leidžia brokeris. Visos strategijos prekiauja EURUSD valiutų pora, nes ji yra pati populiariausia ir turi didžiausią apyvartą, kas reiškia – mažiausi mokesčiai bei praslydimai.

4.1.2. Priekinis testavimas

Atliktas testavimas su programinę įrangą gyvai dar nematytais duomenimis. Testavimo sąlygos:

1. Prekybos laikas: 09:00 – 22:00 Lietuvos laiku;
2. Vykdomos visos 3 strategijos vienu metu;
3. Testavimo data: 2022-05-24.
4. Kiekvienas sandoris yra vertas 1,9% viso turimo kapitalo vertės.

Paveikslėlyje (žr. pav. 4.1) pavaizduotas visų trijų strategijų bendras kapitalo kreivės grafikas. Grafike yra pavaizduota, kaip kinta kapitalo kreivė naudojant visas tris strategijas vienu metu. Iš viso yra įvykdyta 340 prekybos sandorių. Pirmasis sandoris įvyko 2022-05-24 9:06:01 ryte Lietuvos laiku, o paskutinis 2022-05-24 21:59:01. Iš grafiko, matosi, kad visos trys strategijos bendrai yra nuostolingos, kreivė gana tiesi ir tolygi. Lentelėje (žr. lentelė 4.1) pavaizduotos visų trijų strategijų bendro rezultato gautos metrikos. Vien tik pažiūrėjus į Šarpė santyki ir pelno



4.1 pav. Visų trijų strategijų bendras kapitalo kreivės grafikas. Priekinio testavimo duomenys

faktorių lengva pastebėti, kad strategijos neatnešė pelno, nes Šarpė santykis neigiamas, o pelno faktorius žemesnis už vienetą. Didžiausias pralaimėjimas sudarė beveik 0,14%.

Atliekant testavimą, pastebėta, kad ne visi prekybos veiksmai buvo atlikti. Atlikus analizę, pastebėta, kad sistema neįdeliai valdo sąsają su brokeriu: siunčiant užklausas brokeriui, gaunamas atsakas, kad pardavimo srautas yra neautorizuotas, nors veiksmus su brokeriu galima atlikti. Tai dviprasmybė, kai viena pusė laiko, kad srautas yra atidarytas, o kita pusė laiko, kad srautas uždarytas. Tam išspręsti, reikėtų patobulinti klaidų valdymą ir implementuoti neteisingo srauto uždarymą ir naujo srauto sukūrimą tada, kai gaunama klaida, kad užklausa yra neautorizuota.

4.1. lentelė. Metrikų verčių lentelė visoms trimis strategijoms. Priekinio testavimo duomenys.

Metrika	Vertė
Pelno faktorius	0,40510
Šarpė santykis	-0,29574
Didžiausias pralaimėjimas	-68,24
Didžiausias pralaimėjimas %	-0,13669%

4.1.3. Atgalinis testavimas

Atliktas testavimas su programinę įrangą praeities duomenimis. Testavimo sąlygos:

1. Simuliuojamas prekybos laikas: nuo priekinio testavimo pradžios laiko iki jo pabaigos laiko;
2. Vykdoma atskirai kiekvienai strategijai;
3. Kiekvienas sandoris yra vertas 1,9% viso turimo kapitalo vertės.

Prieduose (žr. 1 priedą) pateikti strategijų priekinio bei atgalinio testavimo kapitalo grafikai. Lyginant juos akimis, matosi, kad priekinio testavimo kapitalo prieaugio kreivė skiriasi nuo atgalinio testavimo kreivės. Tačiau šie skirtumai nėra kardinalūs ir šiuo atveju nebūtina tikrinti, ar strategijos veikia taip, kaip ir buvo tikimasi.

Verta paminėti, kad paveiksluose (žr. 1 priedą) pavaizduotose grafikuose nesutampa vienas parametras, kuris yra svarbus lygiavertiškam palyginimui – sandorių skaičius. Sandorių skaičius antrosios strategijos priekiniame testavime buvo 153, o atgaliniame testavime – 164. Tai nutiko dėl to, kad strategijų modulis užfiksavo strategijos pirkimo ar pardavimo signalą, tačiau programa negavo atsakymo į siunčiamą užklausą brokerio serveriui ir gavo pasibaigusio laiko (angl. *Timeout*) klaidą. Kad tai pataisyti, reikėtų sukontroliuoti šią klaidą ir pabandyti išnaujo siųsti užklausą į serverį ir toliau tęsti procesus.

4.2. Priekinio ir atgalinio testavimų palyginimas

4.2.1. Metrikų palyginimas

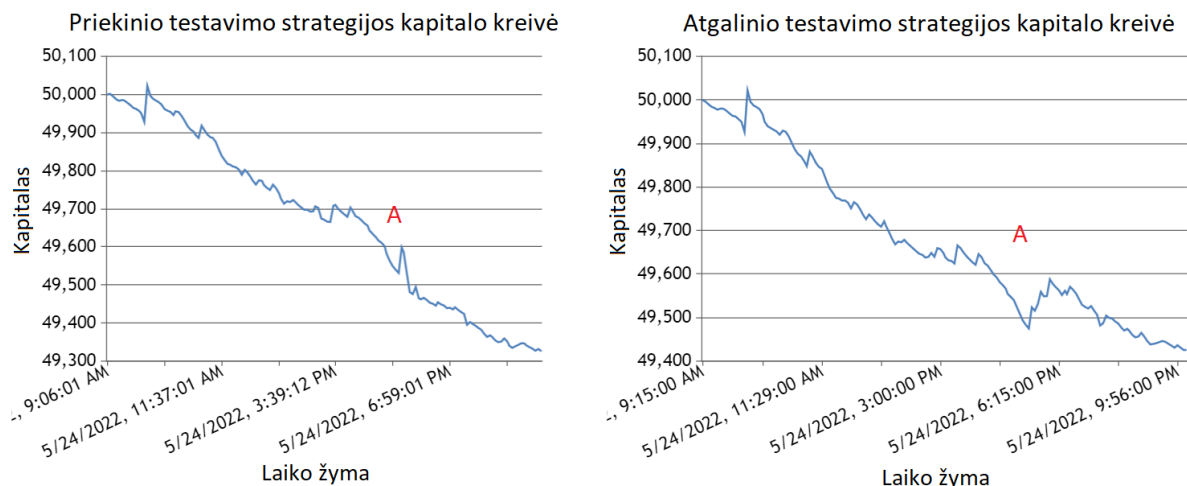
4.2. lentelė. Priekinio ir atgalinio testavimo metrikų verčių lentelė strategijoms.

Metrika	Pirmosios strategijos vertės	Antrosios strategijos vertės	Trečiosios strategijos vertės
Priekinis testavimas			
Pelno faktorius	0,34110	0,37917	0,63336
Šarpė santykis	-0,35257	-0,30303	-0,16758
Didžiausias pralaimėjimas	-68,24	-53,12	-60,41
Didžiausias pralaimėjimas %	-0,13658%	-0,10713%	-0,1208%
Atgalinis testavimas			
Pelno faktorius	0,43087	0,46287	0,80027
Šarpė santykis	-0,30986	-0,26589	-0,08620
Didžiausias pralaimėjimas	-61,33	-26,65	-53,31
Didžiausias pralaimėjimas %	-0,12279%	-0,05328%	-0,10659%

Gauti strategijų priekinio ir atgalinio testavimo metrikų rezultatai pateikti lentelėje (žr. lentelė 4.2). Iš lentelės matosi, kad geriausia strategija, tiek atgaliniame, tiek priekiniame testavime buvo trečioji, nes pelno faktorius bei Šarpė santykis buvo didžiausias. Tačiau mažiausią didžiausią pralaimėjimą turėjo antroji strategija, kuri patyrė tik apie 0,11% pralaimėjimą. Tačiau jis gerokai nesutapo su atgaliniais duomenimis ištestuotu pralaimėjimu, kurio vertė apie 0,054%. Buvo tikėtasi dvigubai mažesnio didžiausio pralaimėjimo, tačiau taip nėra. Būtent dėl tokių galimų stiprių nesutapimų svarbu per daug nepasikliauti atgaliniu testavimu. Taip pat, Šarpė santykis trečiojoje strategijoje buvo tikėtasi dvigubai didesnis, nei gavosi. Tai reiškia, kad strategija yra rizikingesnė nei buvo tikėtasi.

Siekiant palyginti, kiek stipriai skiriasi priekinis ir atgalinis testavimas, galima išvesti šių metrikų skirtumų vidurkį procentine išraiška. Reliatyvus vidurkis skaičiuojamas padalinus mažesnės vertės testavimo rezultatą strategijai iš didesnės vertės testavimo rezultato ir išvedus vidurkį. Gautas dalybos vidurkis – apie 23%, standartinis nuokrypis – apie 16,5%. Tai reiškia, kad kai kurios metrikos gana gerai sutampa tiek priekinio, tiek galinio testavimo grafikuose. Nors vien tik jomis aklaui pasikliauti neverta, manome, kad šios metrikos yra naudingos patikrinti priekinio ir atgalinio testavimo panašumus ir skirtumus.

4.2.2. Kapitalo palyginimas



4.2 pav. Antrosios reliatyvaus stiprumo tendencijų sekimo strategijos kapitalo kreivės grafikai.
Kairėje – priekinio testavimo duomenys, dešinėje – atgalinio testavimo duomenys.

Paveikslėlyje (žr. pav. 4.2) pavaizduoti reliatyvaus stiprumo indekso tendencijų sekimo strategijos (antroji strategija) priekinio bei galinio testavimo grafikai. Abudu grafikai atitinka tą patį laiko tarpą. Grafikai yra gana panašūs, kas reiškia, kad strategija gana neblogai atitinka lūkesčius. Iš grafikų matosi, kad nors ir globaliai grafikai gana panašūs, tačiau lokaliuose taškuose yra nesutapimų. Tai aiškiausiai matosi taškuose pažymetuose A raide: tiek priekiniame testavime, tiek galiniame yra kelių nemažų pralaimėjimų serija, po kurios kreivė staigiai šauna į viršų, o po to vėl krenta žemyn. Kas ryškiai skiriasi, tai kad priekinio testavimo grafike pirminis kritimas ir kilimas yra trumpesniame laikotarpyje, nei atgalinio testavimo grafike. Taškas A priekiniame testavime net turėjo persvarą prieš atgalinį testavimą, nes įduba priekiniame testavime buvo aukščiau 49500 linijos, o atgaliniame – žemiau jos. Taip pat, kapitalas prieš šį tašką priekiniame testavime buvo šiek tiek didesnis, nei atgaliniame. Tačiau už šio taško, atgalinis testavimas parodė geresnius rezultatus, nei priekinis. Tikėtis geresnių rezultatų priekiniame testavime nereikėtų, tačiau visada naudinga tikėtis bent šiek tiek prastesnių. Būtent todėl, aklaai pasitikėti tik atgaliniu testavimu nėra išmintinga.

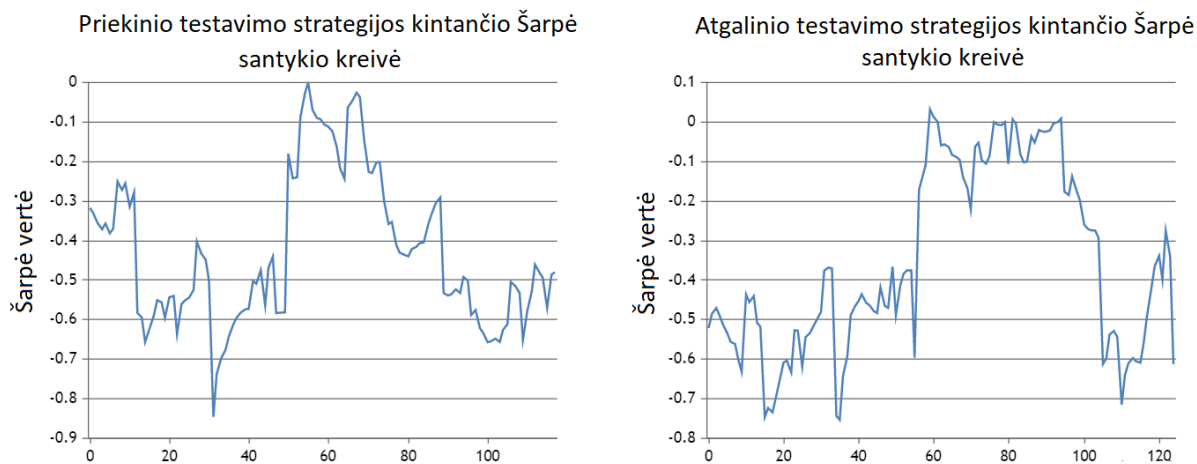
Priekinio ir atgalinio testavimo palyginimui naudosime Pirsono koreliaciją, kadangi bent pirmieji du strategijų grafikai yra panašūs į tieses. Lentelėje (žr. lentelė 4.3) pavaizduoti Pirsono koreliacijos rezultatai visoms trimis strategijoms priekinio ir atgalinio testavimo kapitalo grafikams. Gauta statistiškai reikšminga ($p < 0,05$) koreliacija tarp visų strategijų priekinio ir atgalinio testavimo grafikų, todėl nulinė hipotezė atmetama. Tai reiškia, kad atgalinis ir priekinis testavimas koreliuoja tarpusavyje. Pirmosios ir antrosios strategijų priekinis ir atgalinis testavimas koreliuoja itin stipriai, todėl tai leidžia daryti prielaidą, kad strategijos veikia taip, kaip ir buvo

4.3. lentelė. Priekinio ir atgalinio testavimo kapitalo grafikų Pirsono koreliacijos verčių lentelė strategijoms.

	Pirmosios strategijos kapitalo vertės	Antrosios strategijos kapitalo vertės	Trečiosios strategijos kapitalo vertės
Pirsono koreliacija	$r(148) = 0,9457, p < 0,05$	$r(164) = 0,9720, p < 0,05$	$r(46) = 0,7439, p < 0,05$

tikėtasi. Trečiosios strategijos priekiniai ir atgaliniai testavimai koreliuoja mažiau, tačiau jų duomenų imtis buvo mažesnė. Taip pat, šios strategijos kapitalo grafikai nebuvo itin tiesiški, dėl to ir krito Pirsono koreliacijos reikšmė. Todėl, manome, kad verta pasikliauti gautomis metrikomis, kai iš akies nelabai matosi rezultatų skirtumai.

4.2.3. Ritančio Šarpė santykio palyginimas



4.3 pav. Pirmosios eksponentinių slankiųjų vidurkių kirtimo strategijos ritančio Šarpės santykio grafikai. Kairėje – priekinio testavimo duomenys, dešinėje – atgalinio testavimo duomenys. Lango ilgis – 25 sandoriai.

Ritantis Šarpės santykis, kaip ir kitos ritančios metrikos, parodo, kaip kinta Šarpė santykis tarp sandorių. Ritantis Šarpė santykis yra tiesiog mažesnės imties Šarpės verčių langas duomenų rinkiniui. Paveikslėlyje (žr. pav. 4.3) pavaizduotas eksponentinių slankiųjų vidurkių kirtimo (pirmosios) strategijos ritančio Šarpės santykio grafikai. Grafikuose matosi, kaip kinta Šarpės santykis bėgant sandoriams. Priekinio testavimo grafike matosi, kad Šarpė santykis kinta pastoviai ir ilgai neužsibūna vienos reikšmės. Atgaliniame testavime galima įžiūrėti, kad langui slenkant, šarpė santykis ilgiau pasilieka viename lygyje, tačiau kai įvyksta pasikeitimas, jis yra staigus. Šis kintantis Šarpė santykis gali padėti izoliuoti mažai efektyvius prekybai periodus nuo efektyvių ir taip leistų patobulinti algoritmo strategiją. Svarbiausia, kad šie grafikai vis tiek yra gana panašūs, tik šiek tiek jų forma skiriasi. Kuo labiau sutampa šie grafikai – tuo patikimesnė strategijos implementacija.

Lentelėje (žr. lentelė 4.4) pateikti Pirsono koreliacijos rezultatai strategijų priekiniam ir atgaliniam testavimui ritančio Šarpės santykio vertėms, kai lango ilgis – 25. Pirmosios ir antrosios strategijų koreliacijos nėra itin aukštos, tačiau vis tiek statistiškai reikšmingos ($p < 0,05$). Trečiosios strategijos koreliacija gavosi didžiausia, todėl statistiškai reikšmingai ($p < 0,05$) sutampa priekinio ir atgalinio testavimo ritančio Šarpės santykio grafikai. Dėl to, nulinė hipotezė

4.4. lentelė. Priekinio ir atgalinio testavimo ritančio Šarpės santykio grafikų Pirsono koreliacijos verčių lentelė strategijoms.

	Pirmosios strategijos ritančio Šarpės santykio vertės (lango ilgis – 25)	Antrosios strategijos ritančio Šarpės santykio vertės (lango ilgis – 25)	Trečiosios strategijos ritančio Šarpės santykio vertės (lango ilgis – 25)
Pirsono koreliacija	$r(125) = 0,4027, p < 0,05$	$r(126) = 0,4334, p < 0,05$	$r(23) = 0,7067, p < 0,05$

yra atmetama. Vadinasi, rezultatai tarp priekinio ir atgalinio testavimo gana panašūs, tačiau, į pirmąją ir antrąją strategijas vertėtų atkreipti didesnę dėmesį, siekiant būti užtikrintam, kad strategijos ir toliau dirbs pagal planą.

5. REZULTATAI IR APIBENDRINIMAS

Šiame darbe buvo aprašyta programų sistema skirta algoritminės prekybos strategijų efektyvumui stebėti. Buvo sukurtas algoritminės prekybos strategijų valdymo įrankis bei algoritminės prekybos efektyvumo stebėjimo įrankis.

5.1. Rezultatai

Igyvendinti uždaviniai bei pasiekti rezultatai:

1. Sukurtas algoritminės prekybos strategijų valdymo įrankis;
2. Sukurtas algoritminės prekybos strategijų efektyvumo stebėjimo įrankis;
3. Sistema ištestuota naudojant tris algoritminės prekybos strategijas realizuotas klasikiniais techninės analizės įrankiais;
4. Sukurta galimybė naudotis trečių šalių strategijų sistemomis;
5. Išanalizuoti bei palyginti priekinio testavimo (angl. *Forward Testing*) ir atgalinio testavimo (angl. *Backtesting*) prekybos rezultatų skirtumai.

5.2. Išvados

Remiantis rezultatais padarytos išvados:

1. Įrankis parodo, kad priekinio ir galinio testavimo rezultatai toje pačioje laiko imtyje strategijoms nesutampa prekybos kiekiu bei kapitalo prieaugiu. Kartu su šiais skirtumais nesutampa ir matuojamos metrikos;
2. Pirminėje analizėje pastebėta, kad norint patvirtinti apytikslį sutapimą, gali užtekti tik strategijos kapitalo kreivės grafiką išanalizuoti akimi;
3. Įrankiu analizuojant gautos metrikas pastebėta, kad priekinio testavimo rezultatai keliuose prekybos laikotarpiuose pranoko galinio testavimo rezultatus. Tokias įžvalgas įmanoma išnaudoti kuriant didesnę pelną generuojančias strategijas.

5.3. Pasiūlymai ir tobulinimai

Sukūrus programinę įrangą, galime rekomenduoti naudoti visas darbe naudotas metrikas ir metodus, siekiant įsitikinti, kad tiek priekinis, tiek atgalinis patikrinimai kuo labiau sutaptų. Skirtumai, tokie kaip neįvykę sandoriai, praslydimai, technologinės ar ryšio problemos yra neišvengiami ar beveik neišvengiami, todėl jų reikia tikėtis. Prekybos sistemos nėra tobulos, tačiau, svarbiausia, kad nebūtų visiškai netikėtų rezultatų testavimo ar realių sandorių kūrimo procese.

Galimi projekto patobulinimai:

1. Ištestuoti sistemą su manualia prekyba, taip pat ištestuoti didesniais duomenų kiekiais, naudoti strategijas naudojančias ilgesnio laikotarpio (pvz. valandinius) žvakių duomenis.
2. Pridėti daugiau metrikų, grafikų ir kitų įrankių skirtų analizei tobulinti.
3. Patobulinti vartotojo sąsają pridėdant daugiau informacijos apie vartotojo brokerio paskyrą, pridėti galimybę atsisiųsti duomenis ir metrikas CSV formatu.
4. Patobulinti sistemos klaidų valdymą, kad būtų kuo labiau sumažintas nepasiekiamumas.

LITERATŪRA

- [1] G. Warren, „Active Investing as a Negative Sum Game: A Critical Review,” *Journal of Investment Management, Forthcoming*, p. 20, 2020.
- [2] M. Davidsson, „Portfolio Theory Forward Testing,” įtraukta *Advances in Management and Applied Economics*, Independent, 2013, p. 20.
- [3] V. Zakamulin, „Testing Profitability of Technical Trading Rules,” įtraukta *Market Timing with Moving Averages. New Developments in Quantitative Trading and Investment.*, Cham, Palgrave Macmillan, 2017, pp. 129-140.
- [4] L. A. Zadeh, „Fuzzy logic,” įtraukta *Computer*, Berkeley, IEEE, April 1988, pp. 83-93.
- [5] D. M. Hawkins, „The Problem of Overfitting,” *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*, t. 44, nr. 1, pp. 1-12, 2004.
- [6] D. H. Bailey, „Pseudo-mathematics and financial charlatanism: The effects of backtest overfitting on out-of-sample performance,” *Notices of the American Mathematical Society*, t. 61, nr. 5, pp. 458-471, 2014.
- [7] W. L. N. Vince Vella, „Enhancing risk-adjusted performance of stock market intraday trading with Neuro-Fuzzy systems,” *Neurocomputing*, t. 141, pp. 170-187, 2 October 2014.
- [8] Z. H. & F. Martin, „Pairs trading strategies in a cointegration framework: back-tested on CFD and optimized by profit factor,” *Applied Economics*, t. 51, nr. 22, pp. 2436-2452, 2019.
- [9] K. Dowd, „Adjusting for risk: An improved Sharpe ratio,” *International Review of Economics and Finance*, t. 9, nr. 3, pp. 209-222, July 3, 2000.
- [10] W. F. Sharpe, „CAPITAL ASSET PRICES: A THEORY OF MARKET EQUILIBRIUM UNDER CONDITIONS OF RISK,” *The Journal of Finance*, t. 19, nr. 3, pp. 425-442, September 1964.
- [11] R. H. Hooker, „Correlation of the Marriage-Rate with Trade,” *Journal of the Royal Statistical Society*, t. 64, nr. 3, pp. 485-492, September 1901.
- [12] J. W. W. Jr., *New Concepts in Tehcnical Trading Systems*, Trend Research, 1978.

1 PRIEDAS



1 pav. Pirmosios strategijos kapitalo kreivės grafikas. Kairėje – priekinio testavimo duomenys, dešinėje – galinio testavimo duomenys.



2 pav. Antrosios strategijos kapitalo kreivės grafikas. Kairėje – priekinio testavimo duomenys, dešinėje – galinio testavimo duomenys.



3 pav. Trečiosios strategijos kapitalo kreivės grafikas. Kairėje – priekinio testavimo duomenys, dešinėje – galinio testavimo duomenys.