

VILNIAUS UNIVERSITETAS
MATEMATIKOS IR INFORMATIKOS FAKULTETAS
INFORMATIKOS KATEDRA

**Daugiakriterinis optimizavimas NASDAQ Baltic prekybos
strategijoje: peroptimizavimo ir mokymosi iš naujo
problematika**

**Multicriteria optimization within NASDAQ Baltics trading
strategy: over-optimization and re-learning problem**

Magistro baigiamasis darbas

Atliko: Linas Danielius (parašas)

Darbo vadovas: Dr. Aistis Raudys (parašas)

Recenzentas: lekt. Arūnas Janeliūnas (parašas)

Vilnius – 2019

Turinys

Santrauka.....	3
Summary	4
Įvadas	5
1. Prekybos strategijos optimizavimo problematika	7
2. Tyrimo metodologija.....	14
2.1. Modelio apribojimai	15
2.2. Daugiakriterinis optimizavimas.....	16
2.3. Kriterijai	18
2.4. Klasifikavimo algoritmas	19
2.5. Slenkantys vidurkiai	21
2.6. Pradiniai duomenys	23
2.7. Laikotarpiai ir indikatoriai.....	23
2.8. Prekybos strategijos.....	25
2.9. Modelio įgyvendinimas	25
3. Rezultatai ir jų analizė.....	30
4. Praktinis pritaikymas ir rekomendacijos	40
Išvados	42
Šaltinių sąrašas	43

Santrauka

Šiame darbe lyginamos dvi prekybos strategijos daugiakriterinio optimizavimo kontekste. Tyrimo duomenys - Nasdaq Baltic trijų metų akcijų biržos uždarymo kainos, optimizavimo kriterijai: transakcijų skaičius ir portfelio vertė paskutiniu duomenų imties laikotarpiu.

Lyginamos dvi mokymosi strategijos: pirma - išmokus su mokomaisiais duomenimis tiesiog testuojama; antra – persimokanti iš naujo ir testuojanti žingsnio pirmyn metodu. Indikatoriai - parametrizuoti slenkančiųjų vidurkių ir akcijų kainos tarpusavio susikirtimai. Optimizavimas vyksta naudojantis NSGA-II¹ genetiniu algoritmu, su skirtingais parametrais: kryžminimas, mutavimas, kartų skaičius ir populiacijos dydis.

Darbe įrodoma, kad akcijų indeksai yra stochastiniai duomenys, ir kartu, kad persimokymo strategija yra vidutiniškai efektyvesnė, o efektyvumas auga esant dideliame kartų² skaičiui, tačiau tik pagal portfelio vertės kriterijų. Pagal transakcijų kriterijų nepersimokanti strategija buvo vidutiniškai našesnė.

¹ Angl. k. - *non-dominated sorting genetic algorithm*

² Angl. k - *generations*

Summary

This research is dedicated to comparing two trading strategies in the context of multi-criteria optimization. Input data – stock closing prices taken from Nasdaq Baltic over the span of three years. Optimization criteria: transaction count and portfolio value at the last time period.

One trading strategy simply trains from the training set and tests on the test data. While second – executes training and testing following the rolling walk-forward method. Indicators – cross-overs of closing price and parametrized moving averages. Optimization is achieved using NSGA-II algorithm with different input parameters: mutation, cross-over, number of generations and population size.

Within the research it is proved that financial data is stochastic and that re-learning (walk-forward) strategy is on average superior based on portfolio value criteria and superiority grows with the number of generations of genetic algorithm because of the overfitting observed by the non-relearning strategy. In regards to the number of transactions criteria, the non-relearning strategy was on average superior.

Ivadas

Šiame darbe nagrinėjama daugiakriterinio optimizavimo problematika stochastinių duomenų kontekste. Lyginamos dvi mokymosi strategijos bei įvertinamas jų efektyvumas su finansinių instrumentų istoriniais duomenimis.

Nasdaq Baltic - vertybinių popierių birža, kuri atsirado apjungus visas tris Nasdaq vertybinių popierių biržas Baltijos šalių sostinėse. Biržoje atskiri veikėjai prekiauja vertybiniais popieriais. Nasdaq Baltic internetinis portalas turi viešai prieinamus istorinius finansinių instrumentų vertės duomenis. Pagal istorinę kainą galima sukurti prekybos strategijas jas palyginti ir pateikti tendencijas atpažįstančius indikatorius, jeigu tam yra sukurtos tinkamos funkcijos ir struktūra.

Nepersimokanti prekybos strategija – tai strategija, kuri apsimoko pagal pradinę mokomąją imtį ir toliau tik testuoja. Persimokymo iš naujo strategija – tai strategija, kuri tam tikru testavimo momentu pamiršta išmokus duomenis, ir apsimoko iš naujo su nauja mokymosi imtimi, o tarp persimokymų iš naujo vyksta testavimas. Testavimo imties dydis lygus duomenų kiekiui tarp dviejų vienas po kito sekančių persimokymų iš naujo. Darbo rėmuose atliktame tyrime testavimo imties dydžiai bus vienodi (išskyrus paskutinį testavimą), nes mokymasis iš naujo vyksta žingsnio pirmyn metodu, o pati strategija taip pat gali būti vadinama žingsnio pirmyn strategija.

Darbo tikslas – palyginti nepersimokančią ir mokymosi iš naujo (žingsnio pirmyn metodu) strategijas pagal du optimizavimo kriterijus su Nasdaq Baltic trijų metų akcijų vertės istoriniais duomenimis.

Tyrimo Hipotezė - egzistuoja kiekybiniai indikatoriai pagal kuriuos galima sėkmingai persimokyti iš naujo, o persimokanti iš naujo strategija daugiau nei dvigubai padidins pelną lyginant su peroptimizuota, bet nesimokančia iš naujo.

Hipotezei patvirtinti arba paneigti atliksime daugiakriterinio optimizavimo problematikos analizę prekybos strategijos kontekste, bei remiantis ja, atliksime tyrimą. Tyrimo eigoje bus sukurtas abstraktus prekybos mechanizmas susidedantis iš įvado, apdorojimo funkcijų (ir svorių), apribojimų bei išvesties. Tai pat bus naudojamas jungiklis, kuris „įjungia“ persimokymą iš naujo (mokymosi iš naujo strategijos atveju), ir sureguliuoja funkcijų svorius pasinaudodamas genetiniu klasifikavimo algoritmu.

Įvestis – finansinių instrumentų kainos kreivė, o pagalbina duomenys sugeneruojami tyrimo eigoje - per slenkančiųjų vidurkių koncepcijas ir parametrizuotus laiko periodus. Apdorojimo funkcijų masyvas – aibė funkcijų su joms priklausančiais svoriais, kurie nurodo ar ši aktyvavimo funkcija turi būti naudojama ar ne. Apsimokant svoriai kinta bitų pagalba, t.y. 0 arba 1, priklausomai nuo genetinio algoritmo pateikto genetinio kodo. Išvada – funkcija turinti sekančias reikšmes konkrečiam instrumentui: pirkti, nevykdyti operacijų ir parduoti šiame laiko periode.

Tyrimė naudosome NSGA-II genetinį algoritmą ir jo implementacija jMetal³ bibliotekoje. Abstraktus prekybos mechanizmas tyrimo ribose įgyvendinamas taip pat Java programavimo kalba.

Šis darbas naujas, nes iki šiol dar nebuvo tyrimo skirto palyginti persimokančią iš naujo ir nepersimokančią prekybos strategijas optimizuojant pagal transakcijų skaičių ir galutinę portfelio vertę su Nasdaq Baltic duomenimis. Tyrimas aktualus nes jo eigoje gauti rezultatai gali būti panaudojami tolimesniems tyrimams arba praktiniam panaudojimui t.y. nepaisant to, jog finansiniai duomenys yra stochastiniai, metodologija gali būti taikoma ir kitų duomenų analizei.

Norint pradėti analizuoti uždavinių sprendimus, reiktų apžvelgti prekybos strategijų optimizavimo problematiką, bei apibrėžti modelio ribas. Modelis – supaprastintas tikrovės atvaizdas, o supaprastinimas leidžia atsisakyti tam tikrų sunkiai apskaičiuojamų, neprognozuojamų kintamųjų ir *force majeure*.

Siekiant, kad darbas būtų atkartojamas ir turėtų mokslinę vertę, po problematikos analizės bus pateikta tyrimo metodologija: kriterijai, indikatoriai. Vėliau atliksime gautų rezultatų analizę ir bandysime surasti tendencijas, bei patvirtinti (arba paneigti) išsikeltą hipotezę.

Darbo gale pagal gautus rezultatus bus teikiamos rekomendacijos ir patarimai praktiniam tyrimo metodologijos panaudojimui bei tolimesniems tyrimams atlikti.

³ Angl. k. - *Metaheuristic Algorithms in Java*

1. Prekybos strategijos optimizavimo problematika

Siekiant matematiškai apskaičiuoti bei palyginti parametrus ir galutinius rezultatus tarpusavyje turi būti užtikrinta, jog visi parametrai yra pamatuojami ir matematiškai apskaičiuojami. Tam pasitelkti jau atlikti tyrimai finansinės prekybos strategijų optimizavimo srityje.

Cornuejols ir Tutuncu perspėja, kad norint rasti patikimą optimizavimo formulę, susiduriama su įvesties neapibrėžtumo problema. Prekybos strategijos optimizavimo problemos yra susijusios su būsimomis vertybinių popierių kainomis, palūkanų normomis, prekybos mokesčiais, tarifais ir t.t., nes jie nėra žinomi iš anksto, tačiau gali būti tik prognozuojami. Tokios problemos puikiai apibrėžia patikimo optimizavimo sistemą. Tam tikra prasme optimizavimo sudėtingumas tiesiogiai proporcingas nuo parametrų kiekio [CT05]. Todėl prasminga tyrime sumažinti nežinomųjų kiekį ir tokiu būdu supaprastinti tyrimo modelį.

Vyrauja du apibrėžtų duomenų optimizavimo požiūriai: stochastinis programavimas, kai busima vertė apskaičiuojama pagal tikimybę iš esančios distribucijos ir tvirtas optimizavimas – kai apskaičiuojami visi galimi būsimos vertės scenarijai ir tikima, kad visos reikšmės yra galimos ir vienodai svarbios [CT05]. Šie požiūriai vienas kitam neprieštarauja, o tik atspindi skirtingas modeliavimo technikas neapibrėžtų duomenų prognozavimui [CT05].

Cornuejols ir Tutuncu pateikia vertybinių popierių portfelių optimizavimo metodų bei būdų apskaičiuoti planuojamą portfelio grąžos riziką ir kaip gauti optimalią portfelio grąžą. Reikia paminėti, kad tiriami visi vertybiniai popieriai, o ne išimtinai akcijos. Pavyzdžiui vyriausybės obligacijos yra pakankamai stabilios ir sumažina investavimo riziką. Šaltinyje pateikiami skirtingi optimizavimo metodai atskiriems vertybinių popierių tipams dėl jų specifinių papildomų parametrų, tokių kaip palūkanų norma, rizika ir kiti [CT05].

Gigarenzer ir Sturm išdėsto prekybos strategijos optimizavimo problematiką ir pateikia savo sprendimų būdus. Visus juos apžvelgus galima teigti, jog problemos, susijusios su daugybe pasirinkimų, kelia sunkumų optimizavimo metodams. Alternatyvos gali būti susijusios su atskirais objektais (pvz. fondais) ar finansinio instrumento vertės kreivių judesiais [GS11].

Autoriai pabrėžia kad yra sričių, kurios apamai yra sunkiai optimizuojamos (pavyzdžiui šachmatai). Tokiais atvejais nėra geriausiai optimizuoto sprendimo, kuris tiktų išimtinai visais atvejais ir siūloma tokiose srityse remtis neoptimizavimo metodais, tame tarpe heuristika, t.y. praktika arba sveika nuovoka suformuoto sprendimo metodu, o ne moksliniais tyrimais ir formulėmis [GS11].

Pagrindinis trūkumas, susijęs su įprastu optimizavimo metodų naudojimu, yra tai, kad dažnai reikia supaprastinti reiškinį į matematinį požiūriu patogų modelį, kurį galima optimizuoti [GS11].

Šaltinyje teigiama, kad optimizavimo metodai paprastai optimizuoja praeities įvykius ir, jei duomenys stochastiniai, t.y. ateities duomenys nėra tokie patys kaip ir praeities, duomenų prognozavimas skirstomas į tris būdus:

- Pagal mokomąją imtį (mokomoji imtis yra poaibis visų duomenų kuriuos reikės prognozuoti).
- Pagal pritaikymą (vieno finansinio instrumento vertės mokomoji imtis naudojama kitų finansinių instrumentų arba kitų biržų finansinių instrumentų vertėms prognozuoti).
- Pagal naujumą ir atsitiktinumą (gali atsirasti naujų kintamųjų: krizės, karai, apokalipsė ir pan.) [GS11]

Kaip matome trečiasis būdas praktiškai reikalauja naudoti heuristiką, o ne matematinius tyrimus, nes praeities duomenų optimizavimas neatneš reikiamo rezultato. To pasekmėje tyrimas būtų suparalyžiuotas ir reikėtų padaryti prielaidą, jog bus apsiribota nuo tokio *force majeure*. Kita vertus duomenų prognozavimas pagal mokomąją imtį bei pagal pritaikymą yra matematiškai apskaičiuojami, todėl yra vertingi tyrimui.

Apskritai optimizavimo modelis problemą apibrėžia nustatydamas keletą prielaidų, kurios palengvina skaičiavimus, ir tada įrodo, kad yra strategija optimizuoti pagal pasirinktus kriterijus, kas leidžia rasti optimalią strategiją. Bet kai ši strategija yra žinoma visiems, tuomet modelis gali keistis [GS11].

Raudys ir Raudys pateikia faktorius kurie įtakoja didelio dažnumo prekybos portfelio optimizavimą. Autoriai pabrėžia, kad finansinius ir žmogiškuosius faktorius reikia analizuoti kartu siekiant tirti investavimą. Tam pasitelkiama daug investavimo strategijų bei suskaičiuojamos jų virtualios pajamos. Išskiriamos dvi portfelio vadybos kryptys: pagal prekybos strategijų efektyvumą ir pagal vertybinius popierius [RR11].

Jensen bendrai aptaria vertės maksimizavimo būdus bei pabrėžia, jog daugelis tikslų yra ne tikslas, todėl rekomenduojama susikoncentruoti ties vienu. Tai pat patariama vengti neracionalių sprendimų susijusių, su artimos aplinkos įtaka, kaip žmonijos praeities reliktas, kuomet be savo genties jie būtų neišgyvenę [Jen02].

Aldrige aprašo didelio dažnumo prekybos strategija. Šios strategijos skiriamasis bruožas yra tai, jog didelio dažnumo prekybai būdinga didelė kapitalo apyvarta kurią suformuoja greita kompiuterizuota reakcija į besikeičiančias rinkos sąlygas. Didelio dažnio prekybos strategijos charakterizuojamos dideliu transakcijų skaičiumi ir mažesniu vidutiniu pelnu per transakciją [Ald10].

Pavyzdžiui tradiciniai investuotojai laukia savaites ir mėnesius kad padarytų vieną transakciją ir gautų poros procentų pelną. Didelio dažnumo prekiautojai padaro daug transakcijų per dieną, kurios kiekvienos pelnas gali sudaryti procento dalį, tačiau vien dėl didelio kiekio transakcijų pelnas bus didesnis [Ald10].

Didelio dažnumo prekyba turi papildomą pranašumą – jos strategijos neturi koreliacijos su ilgo laikotarpio pirk ir laikyk strategijomis, tai veikia kaip įrankis, skirtas diversifikuoti ilgalaikį portfelį. Didelio dažnumo strategijoms reikia trumpesnio įvertinimo laiko. Jeigu įprastoms strategijoms suformuoti bei patvirtinti veiksmingumą reikia nuo šešių mėnesių iki dviejų metų stebėjimo, didelio dažnumo strategijų veiksmingumas gali būti įvertintas jau per vieną mėnesį [Ald10].

Autorė pateikia būdus didelio dažnumo prekybos strategijai sukurti, pratestuoti, ir rizikai valdyti. Tačiau daugelis išvardintų rizikos valdymo būdų nėra aktualūs tyrimui, todėl mūsų tyrime bus atsirobojama nuo virtualios prekybos įmonės bei akcijų valdytojo operacinių rizikų.

Aldrige siūlo didelio dažnumo prekybos analizei naudoti skirtingus metodus nei kad esant tradicinei prekiavimo strategijai, nes transakcijos kaštai pirmoje strategijoje tampa pakankamai reikšmingi. Suprasti, paskaičiuoti ir valdyti susidariusius kaštus ir potencialų strategijos našumą yra svarbiausias didelio dažnumo strategijos pagrindas, o esant dideliui skaičiui didelio dažnumo strategijos naudotojų, bus didesnė konkurencija pasinaudoti trumpo laikotarpio kainų svyravimu, todėl prekiautojai su efektyviausiomis kaštų ir našumo struktūromis gaus didžiausią pelną [Ald10].

Tuo tarpu Li, Deng, Zhu, Wang, ir Xie tiria vienadienės rinkos formavimo prekybos strategijos sudarymą, pasinaudodami Tokijo ir Šanchajaus biržos akcijų kainų pokyčiais šešių

mėnesių periode ir įrodo, kad strategijos su signalais (indikatoriais) yra pelningesnės nei strategijos be signalų. Tai pastebima lyginant vidutinį kasdienį pelningumą, praradimus bei Sharpe santykį (santykis tarp portfelio gražos ir nerizikingos gražos skirtumo ir pelningumo standartinio nuokrypio). Autoriai taip pat įrodo, kad teisingas ateities verčių prognozavimas leidžia sumažinti praradimus prekybos strategijoje [LDZ+14].

Šaltinyje teigiama, kad reikia sekti ne tik indeksus bet ir rinkos naujienas, tarkim apie naujus JAV planuojamus tarifus Kinijos plieno pramonei, kas be abejo įtakos plieno įmonių akcijų vertes. Ši informacija yra renkama iš rinkos naujienų skilčių pavadinimų, tai be abejo yra ganėtinai sudėtingas mechanizmas ir gali turėti sunkiai klasifikuojamų atvejų, kas turės įtakos apskaičiuojant galutinius rezultatus.

Tyrime prekybos strategija koncentruojasi ties vienos dienos prekyba, kur dienos gale numatomas visų turimų akcijų pardavimas, kad nebūtų rizikos naktiniu periodu, kuomet birža neprekiauja. Tai vyksta nepaisant, ar tai duoda pelną ar patiriamas nuostolis. Paprastai rizikos valdymo praktikoje pasiekus tam tikrą turimų akcijų suminę vertę, prekyba nutraukiama ir išeinama iš rinkos. Tačiau turint nuostolių sustabdymo mygtuką, galima minimizuoti praradimus [LDZ+14].

Strategija pateikia du prekybos pasiūlymus ir atsiradus vienai transakcijai, rinkos formavimo strategija įrašo inventoriaus pokytį, įvertina kiek laiko nebuvo priimtas jos antras pasiūlymas, sukilibruoja savo kainos pasiūlymą ir pateikia du naujus prekybos pasiūlymus tada, kai laukimo laikas baigėsi. Tai veikia tuomet, kada rinkos tendencija yra auganti, ir kainos kyla. Tuo tarpu krentant kainai (indikatoriumi pasikeitus), pasiūlymai nutraukiami nesulaukus laiko limitu, kainos sureguliuojamos pagal naujus indikatorius ir duodami du nauji pasiūlymai. Autoriai nenori naudoti slenkančiųjų vidurkių, nes tendenciją įvertina per savo pateiktų pasiūlymų dinamiką ir rinkos naujienų pavadinimų klasifikavimą [LDZ+14].

Reikia paminėti, kad ši strategija įdomi, tačiau grindžiama tuo, kad rinkoje yra daugiau asmenų, kurie pasirinks pagal savo subjektyvius kriterijus vieną arba kitą kainos pasiūlymą, bei kad paties prekyba įtakoja rinką. Taip pat egzistuoja rizika nakties metu, tuo metu kai mūsų darbe nakties nėra, o tik nuosekli instrumento vertės kreivė su nustatyta pradžia ir pabaiga, bet be jokių kreivės nutraukimų ir atsinaujinimų.

Fortune savo publikacijoje išanalizavo tai kaip savaitgaliai ir švenčių dienos paveikia akcijų rinką. Savaitgaliais ir švenčių dienomis nevyksta akcijų prekyba ir instrumento kaina pasilieka tokia pati, tačiau pirmadienį biržai atsidarius pastebimas savaitgalio įtaka: pirmadieniais arba pirmą dieną po švenčių akcijų kainų svyravimai bent 10%-20% didesni nei paėmus bet kurią kita savaitės dieną [For98].

Savaitgalio efektas paaiškinamas tuo, jog savaitės eigoje investuotojai per daug pasitiki savo brokerių rekomendacijomis, kurie rekomenduoja pirkti. Tuo tarpu savaitgaliais investuotojas nedirba savo kasdienio darbo neturi ryšio su savo brokeriu ir gali pats įvertinti ir priimti sprendimą parduoti. To rezultate pirmadienį, atsidarius biržai, gaunamas didelis kiekis pardavimui siūlomų akcijų [For98].

Antras paaiškinimas yra tai, kad dividendų išmokos koncentruojasi pirmadieniais, todėl gavus dividendus galima parduoti akcijas kitiems rinkos dalyviams. Taip pat pastebima, kad šie svyravimai vis dar būdingi akcijų biržoms [For98].

Kaufman apibrėžia du laikotarpius, kurie labiausiai naudojami akcijų prekyboje. Pakilimo metu kainos gali kilti daug mėnesių ar net metus⁴. Nuosmukis – kai kainos krenta ilgą laiką⁵. Nepaisant to, kad kainų kitimai gali būti trumpi (nuo kelių minučių) ir ilgi (iki dešimt metų), svarbiausi yra laikotarpiai su pastoviu kilimu arba kritimu. Pagal šiuos periodus galima suformuoti prekybos sprendimus, kurie atskiria sėkmę nuo nesėkmės. Ilgo laikotarpio kainos yra priklausomos nuo sekančių faktorių:

1. Vyriausybės politikos. Kada vyriausybė planuoja metinį ekonomikos augimą keturiais procentais, o ji paauga tik vienu, centrinis bankas (Kaufman kalba apie Federalinį rezervą) sumažina palūkanų normą, kas automatiškai stimuliuoja verslą. Ir Atvirkščiai, kai reikia valdyti infliaciją, palūkanų norma padidinama. Palūkanų normos kaita turi didelę įtaką investicijoms, tarptautinei prekybai, valiutos kainai ir kitai verslo veiklai.
2. Tarptautinė prekyba. Kai Jungtinės Valstijos importuoja produktą, už jį moka doleriais, tai yra tas pats kas parduoti dolerių už prekę. Tai ilgainiui silpnina valiutą. Ir atvirkščiai, valstybė kuri daug eksportuoja stiprina savo ekonomiką ir valiutą.

⁴ Angl. k. - *bull market*

⁵ Angl. k. - *bear market*

3. Lūkesčiai. Jeigu investuotojai galvoja kad akcijų kainos kils, jie pirks, kas įtakos kainos išaugimą. Vartotojo pasitikėjimas yra geras būdas patikrinti ar žmonės gali išlaidauti. Stiprus vartotojo pasitikėjimas sąlygoja augančią, aktyvią ekonomiką, todėl manipuliacijos akcijomis gali numušti vartotojo pasitikėjimą, ir kas sąlygotų ekonomikos nuosmukį.
4. Paklausa ir pasiūla. Trūkumas arba numatomas trūkumas pakels bet kokio produkto kainą. Per daug produkto sąlygoja kainų kritimą. Paprastai tai atsitinka tada, kada naujienų kanalai viešai praneša apie esamą situaciją. Produkto, kurio negalima pakeisti trūkumas ilgainiui įtakoja jo kainą, nors kainos šuolis gali įvykti staigiai [Kau05].

Iš esmės norint nagrinėti šiuos faktorius reikia rinkti ir sekti istorines naujienas, o tai tyrime nenumatyta, todėl turėsime nusistatyti, kad šie faktoriai neegzistuoja.

Macijauskas ir Maditinos taip pat pabrėžia, kad rinkos dalyviai gali elgtis neracionaliai ir tuomet reiktų investavimo strategijas sieti su finansinės elgsenos idėjomis [MM14]. Todėl tyrime atsiribosime nuo kokybinių, neracionalių kriterijų ir įvairių *force majeure*.

Kalbant apie finansinių instrumentų kreivės interpretavimą Kaufman ir Hamilton siūlo naudotis Dow teoriją, kuri turi šešis fundamentalius principus:

1. Vidurkiai yra viskas (išskyrus „Dievo veiksmus“). Kadangi XX a. Finansinių rinkų reguliavimas buvo nuolaidesnis, manipuliacijos buvo įprastos, tačiau įvedus vidurkius, gali buvo išmesti nenormalius svyravimus kaip statistiškai nereikšmingus reiškinius, ir tokiu atveju tik „Dievo veiksmi“ gali ženkliai pakeisti akcijų vertes.
2. Instrumentų kreivės dinamikos tendencija į tris klases: pirminė tendencija, antriniai svyravimai ir minimalus dieninis nepastovumas.
 - a. Pirminė tendencija – dar vadinama banga yra didelė laiko periodų atžvilgiu. Bangą nurodo didelis pokytis per ilgą laiko tarpą, paprastai matuojamą metais. Pirminė tendencija skaidoma į tris fazes. Jos skirtingos esant pakilimui arba nuosmukiui. Pakilimo fazės:
 - i. Akumuliacija. Atsargūs investuotojai pasirenka tik geriausiai įkainotas akcijas pirkimui bei apsiriboja tik pirkdami akcijas nukainota kaina ir paprastai iš ekonomikos sferų susijusių su komunalinėmis paslaugomis.
 - ii. Daugiau investuotojų dalyvauja, pirkdami didesnę kiekį ir padidindami instrumento kainą.

- iii. Perdėta spekuliacija ir visuomenės pasitikėjimas sudaro paskutinį sprogstamąjį kilimą. Visur kalbama apie akcijas, ir visuomenė įsitikinusi, kad pelnai tęsis ir pradėdama skolintis papildomų akcijų įsigijimui.

Nuosmukio fazės:

- i. Distribucija. Profesionalai pradeda pardavinėti kai visuomenė dar perka. Akcijos pereina iš stipriųjų į silpnųjų rankas. To pasekmėje, nepatyrę investuotojai perka akcijas už neadekvačiai dideles kainas.
 - ii. Panika. Kainos toliau krenta, naujienos praneša apie gerų kainų pabaigą, investuotojai likviduoja savo akcijas (t.y. parduoda) kas dar labiau paspartina kainos kritimą.
 - iii. Pirkimo susidomėjimo trūkumas. Paskutinėje nuosmukio fazėje finansinio instrumento kainos kritimas sąlygotas pirkimo trūkumo. O investuotojai neseniai patyrę nuostolius nėra pasiruošę pirkti net labai nukainotomis kainomis, pesimizmas laimi. [Kau05]
- b. Antriniai svyravimai dar vadinami korekcijomis ir atsigavimais. Korekcijos esant rinkos pakilimui susiejami su investuotojais imančiais pelną dividendų ar kitokiu pavidalu. Antriniai svyravimai turi šias charakteristikas:
- i. Keletas aiškių kritimų.
 - ii. Judėjimas greitesnis ir didesnis atvirkštine puse nei pirminis pokytis.
 - iii. Tęsiasi nuo trijų savaitių iki trijų mėnesių.
 - iv. Jeigu prekybos apimtys, kainos kritimo atveju, lygios arba didesnės nei prieš pat antrinį svyravimą, reiškia kainos augs.
 - v. Svarbi atmosfera, jeigu bus daug spekuliacinio, kainos gali ilgainiui kilti.
- c. Minimalus dienis nepastovumas yra vienintelė tendencija kuri gali būti manipuluojama, ir paprastai trunka iki šešių dienų. Tai laikoma rinkos triukšmu, nes neįtakoja didelių kainų pokyčių.
3. Patikrinimo principas. Norint patikrinti rinkos pakilimą arba nuosmukį, reikia patikrinti vidurkius dviejų iš trijų svarbiausių sektorių (gamybą, transportas ir komunalinės paslaugos).

4. Prekybos apimtys eina su tendencija (kaina). Prekybos apimtys turi augti jeigu kaina kyla ir didžiausios per pakilimo piką ir per paniką esant nuosmukiui.
5. Tik rinkos uždarymo kainos naudojamos. Dow buvo įsitikinęs, kad užsidarius biržai esamos kainos yra svarbiausios kainos. Profesionalūs prekeiviai stengiasi parduoti savo akcijas prieš užsidarant rinkai.
6. Tendencija yra tęstinė, t.y. ji tęsiasi tol kol atsiranda atvirkštinė tendencija [Kau05].

Reikia paminėti, kad nepaisant to, kad Kaufman pateiktas modelis yra klasikinis, daugelis faktorių ir tendencijų išlieka nepakitusios tik adaptuotos, nes pavyzdžiui Dow teorija pateikiama geležinkelių kontekste, tuo tarpu dabar aktualūs visi logistikos būdai. Tačiau taip pat Kaufman prideda, kad paprastai norint suprasti einamąją kainos tendenciją, reikia analizuoti bent vieną pakilimą ir vieną nuosmukį, kas gali trukti kelis dešimtmečius [Kau05]. Reikia tikėtis, kad tyrimo eigoje pasirinkti indikatoriai patys atpažins tendencijas ir pasinaudos jomis optimizuojant pagal pasirinktus kriterijus.

Galima teigti, kad apžvelgti tyrimai turi pakankamai skirtingas strategijas ir metodus tikslams pasiekti bei naudojami skirtingi parametrai ir indikatoriai. Reikia pabrėžti, kad nėra universalus optimizavimo metodo visoms problemoms išspręsti, tačiau apribojus parametru skaičių supaprastintume mūsų tyrimo optimizavimo sudėtingumą. Visi autoriai bendrai rekomenduoja supaprastinti modelį simuliuojant prekybą.

2. Tyrimo metodologija

Siekiant atlikti tyrimą, reikia nusistatyti kokiais metodais jis bus atliekamas, todėl šiame skyriuje bus išdėstyti pagrindiniai tyrimo principai.

2.1. Modelio apribojimai

Kadangi dauguma pavyzdžių iš nagrinėtos prekybos strategijos optimizavimo problematikos pataria supaprastinti modelį, įvesime daugelį apribojimų. Tyrimo eigoje prekiaujama tik akcijomis, ignoruojant kitus finansinius instrumentus, kaip, tarkim, vyriausybines obligacijas, nes ten galioja kitokie dėsniai ir obligacijos naujieji savininkai gauna palūkanas iš obligacijų leidėjo (tarkim Lietuvos vyriausybės). Antras apribojimas – ignoruoti akcijų dividendus, antraip tektų skaičiuoti ir dividendus, bei laikyti akcijas iki dividendų mokėjimo laiko.

Akcijų prekyba yra pakankamai sudėtingas procesas, kuriame yra bent trys lygmenys ir trys arba daugiau veikėjų. Norint pradėti gilintis į prekybos strategijas, teks apibrėžti tyrimo virtualios prekybos procesą. Paprastai akcijų prekyba susideda iš trijų lygmenų:

- a) prekyba arba, tiksliau, prekybos sandorio sudarymas⁶ ;
- b) kliringas arba prekiaujančių pusių patikrinimas ir kontrakto sudarymas⁷ ;
- c) galutinis atsiskaitymas arba tiesioginis vertybinių popierių ir pinigų „vaikščiojimas“ į sąskaitas pagal paruoštą kontraktą⁸.

Dėl šio proceso sudėtingumo reiktų įvesti papildomų kintamųjų ir veiksmų bei apibrėžti tai, jog tyrimo kontekste prekyba bus supaprastinta iki vieno proceso. Pastaruoju atveju sandoriai nebus atmesti vien dėl to, kad pirkėjas neturi pinigų arba leidimo pirkti įmonės sąskaita, pardavėjas neturi akcijų, šventinė diena ir prekyba nevyksta ir kt. Numanoma, jog abstraktus prekybos mechanizmas žinos kokiu pinigų kiekiu jis disponuoja bet kuriuo laiko momentu, tam kad galėtų nuspręsti už kokią sumą nusipirkti akcijų.

Vertybinių popierių prekyba biržose paprastai vyksta darbo laiku, o kalbant apie tyrimo objektą – Nasdaq Baltic: 9:00 – 16.30. Didelio dažnumo⁹ prekybos strategijoje prekiaujama naudojantis akcijų kreivės pokyčiais įvykusiais tarp biržos atidarymo ir uždarymo, t.y. per vieną

⁶ Angl. k. - *trading*

⁷ Angl. k. – *clearing*

⁸ Angl. k. – *settlement*

⁹ Angl. k. – *high frequency trading*

dieną. Tačiau kainai dinamiškai kintant dažnai tenka teikti prekybos pasiūlymus¹⁰ kitokiomis kainomis nei kad tuometinė akcijų vertė, ypač, kai yra pakankamai didelis fizinis atstumas tarp pirkėjų ir biržos bei egzistuoja pastebimai didelis laiko tarpas kol internetu persiunčiami prekybos akcijomis pasiūlymai, arba rinkos kainos atnaujinimai, kas komplikuoja tyrimą.

Ilgą laikotarpio vertybinių popierių kainos analizei dažniausiai naudojamos kainos užsidarius biržai¹¹ [HR18] ir [Kau05], todėl jas naudosime modelyje. Duomenų imtis – trys kalendoriniai metai, kas yra virš 750 laiko periodų, kuomet vyksta prekyba ir, atitinkamai, kinta akcijų kainos indeksai. Tokios imties turėtų užtekti sėkmingai analizei atlikti. Tačiau padarysim prielaidą, kad tyrimo metu pateiktas pasiūlymas (biržos uždarymo kaina) bus priimtas iš karto ir akcijų ir pinigų mainai įvyks tuo pat metu kai pasiūlymas bus pateiktas. Antra, ne mažiau svarbi, prielaida: tyrimo metu vykdoma prekyba neįtakos istorinės kainų kreivės. Taip pat turėsime ignoruoti prekybos mokesčius, kurie Nasdaq Baltic svyruoja nuo €0,3 iki €150 už vieną transakciją, priklausomai nuo transakcijos vertės.

Egzistuoja daugelis biržos tendencijų kas gali įtakoti tyrimą, kaip pavyzdžiui „savaitgalio efektas“ [For98], tačiau tyrime naudojami vidurkiai turėtų atpažinti tendencijas ir prekybos strategijos - pasinaudoti jomis. Ne darbo dienomis, ir per šventes nepateikiama nauja kainos informacija, todėl šie laikotarpiai nebus fiksuojamos tyrime. Birža, kartu su akcijų kainomis, pateikia ir suprekiautų akcijų vertės rodiklius, tačiau mūsų tyrime, šių nenaudosime, nes imituosime prekybos procesą realiu laiku, kai nežinome šio laiko momento suprekiautų akcijų apimtį ir pinigų kiekio.

2.2. Daugiakriterinis optimizavimas

Kam tyrimui naudoti daugiakriterinį optimizavimą? Jeigu optimizuotume vien tik pagal vieną kriterijų, tarkim, portfelio galutinę vertę, tuomet susidurtume su problema, kad prekybos strategija pasinaudotų netipiniu akcijų kainos svyravimu, todėl nusipirktų vieną instrumentą ir jį

¹⁰ Angl. k. – *bid*

¹¹ Angl. k. - *closing price*

laikytų iki mokymosi pabaigos. Tokiu atveju, strategija peroptimizuotų portfelio vertę su mokomaisiais duomenimis, ir visiškai neatitiktų testavimo duomenų.

Pavyzdžiui, Vokietijos automobilių koncerno Volkswagen AG akcijų kainos, per penkių metų laikotarpį (2010 - 2015) pakilo 5 kartus nuo ~50 USD iki ~250 USD, tačiau po to sekė staigus kritimas iki ~109 USD, todėl jeigu bent viena iš tyrime naudojamų akcijų turės panašią dinamiką, apsimokymas gali privesti prie principo pirk ir laikyk, o tai bus galimai klaidingos žinios testuojant. Todėl darbe naudosime antrą kriterijų, kuris užtikrins kad principo pirk ir laikyk nebus vadovaujamas.

Vieno kriterijaus optimizavimas yra bandymas rasti mažiausią (arba didžiausią) funkcijos reikšmę pagal duotus duomenis. Vieno kriterijaus optimizavimo problemą galima suformuluoti tokiu būdu:

$$\min f(x) \text{ arba } \max f(x)$$

Kur f – funkcija nuo x , kur x priklauso aibei galimų reikšmių. Su reikšme x surasta mažiausia (arba didžiausia, kai $\max f(x)$) funkcijos reikšmė bus optimalus sprendimas. Kitais žodžiais: vieno kriterijaus optimizavimas vyksta aplinkoje, kurioje nėra kitų kriterijų į kuriuos reiktų atsižvelgti bei lengva įvertinti ar $f(x_i)$ funkcijos reikšmė yra geresnė už $f(x_j)$.

Daugiakriterinis optimizavimas yra optimizavimo metodas, kai yra bent du kriterijai pagal kuriuos optimizuojama. Paprastai, neįmanoma visiškai optimizuoti daug kriterijų vienu metu, nes vieno kriterijaus optimizavimas gali pabloginti kito kriterijaus optimizavimą. Todėl optimizavimo tikslas – surasti geriausias, dviejų (arba daugiau) funkcijų reikšmes tokiu būdu, kad bet kurios vienos funkcijos tolimesnis optimizavimas reikštų kitų funkcijų optimizavimo praradimu. Daugiakriterinio optimizavimo problemą galima išreikšti funkcija:

$$\max [f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)]$$

Kur $n > 1$, o f_1 - pirma funkcija, f_2 – antra funkcija ir t.t., x vėlgi priklauso galimų reikšmių aibe.

Kalbant apie daugiakriterinį optimizavimą, reikia apibrėžti Pareto optimumą. Tai – terminas apibūdinantis reikšmę x , kuomet negalima gauti geresnės vienos iš funkcijų reikšmių, nepabloginus kitų funkcijų reikšmių.

Iš esmės, reikšmė x' bus Pareto optimali daugiakriteriniam optimizavimui tada kai visos kitos reikšmės x , priklausančios galimų x reikšmių aibei turi blogesnes funkcijų reikšmes (mažesnes, jei užduotis yra maksimizuoti) pagal vieną ar daugiau funkcijų. Jei yra daugiau nei viena tokių reikšmių ir negalima teigti, kad viena reikšmė yra geresnė už kitą pagal visas funkcijų reikšmes, tuomet tokie sprendimai yra vadinami Pareto optimumais [DPA+02]. Pareto optimumų paprastai yra daug ir jų visuma yra vadinama Pareto frontu.

2.3. Kriterijai

Norint pradėti optimizuoti tyrimo eigoje naudosime du kriterijus :

- a) portfelio galutinės vertės – portfelyje esančių finansinių instrumentų galutinė vertė;
- b) transakcijų kiekis – pirkimo ir pardavimo sandorių kiekis.

Pagal šiuos kriterijus tyrimo eigoje bus optimizuojami aktyvavimo funkcijų svoriai. Pirmasis kriterijus - portfelio vertė apskaičiuojama sekančiu būdu:

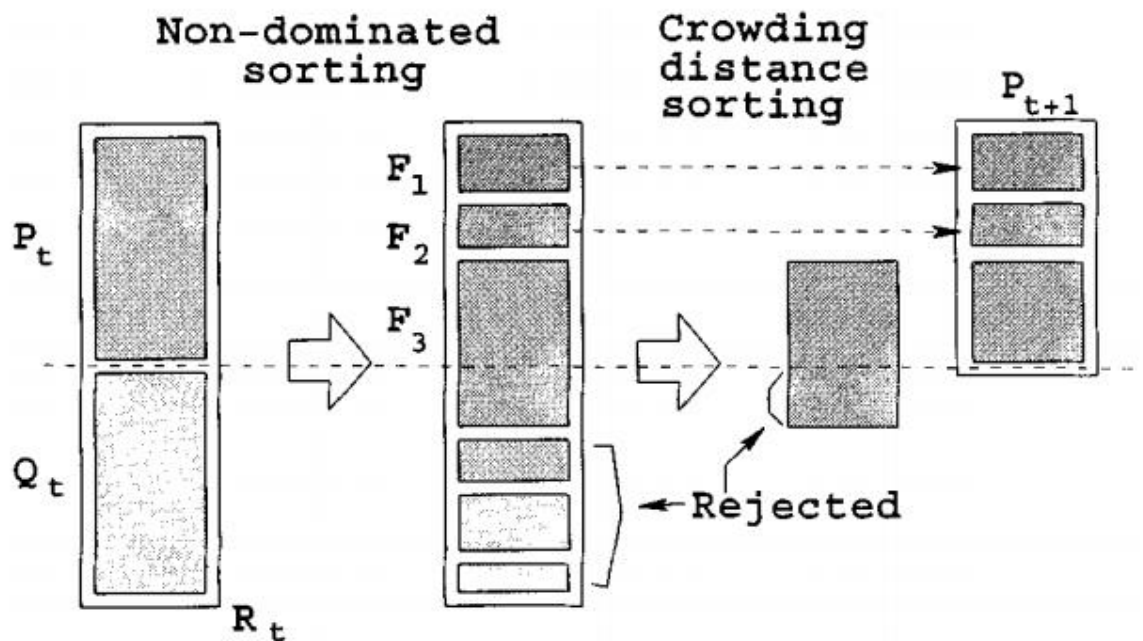
$$P_t = \sum_i p_{i_t} s_i + c$$

Kur P_t - visa portfelio vertė laiko momentu t , p_{i_t} – akcijos i kaina laiko momentu t , o s_i – akcijų i kiekis, o c – likę tariamieji pinigai. Taigi norint apskaičiuoti galutinę portfelio vertę, reikia imti visų instrumentų paskutinę kainą duotajame laikotarpyje, padauginus iš jų kiekio, ir prie sumos pridėti likusius pinigus.

Transakcijų kiekis apskaičiuojamas sekančiu būdu: visuomet kai įvyksta akcijų pirkimas arba pardavimas portfelyje, tuomet transakcijų skaičius padidinamas vienetu. Tai yra svarbus kriterijus, nes akcijų prekybose ganėtinai populiariau laikyti akcijas ilgą laiką neprekliaujant, ir jeigu transakcijų kiekis būtų labai mažas, negalėtume patikrinti persimokymo rezultatų.

2.4. Klasifikavimo algoritmas

Darbe naudojamas NSGA-II algoritmas. Tai - ne dominuotinas rūšiavimo genetinis algoritmas, skirtas daugiakriteriniam optimizavimui, kur kiekviena sekanti karta yra generuojama iš sėkmingiausių praeitos kartos individų. Tarkime jeigu R_t – visa populiacija, P_t – tėvų aibė, Q_t – vaikų aibė, tuomet naujai kartai pasirinkti, imami visi populiacijos individai ir išrūšiuojami pagal optimizavimo problemos sprendimo sėkmingumą (1 pav.).



1 pav. NSGA-II naujos kartos generavimas [DPA+02]

Individai surūšiuojami i frontus pagal dominavimą. Viena x reikšmė dominuoja kitos atžvilgiu ir kai optimizavimo problema yra maksimizuoti visų funkcijų reikšmes:

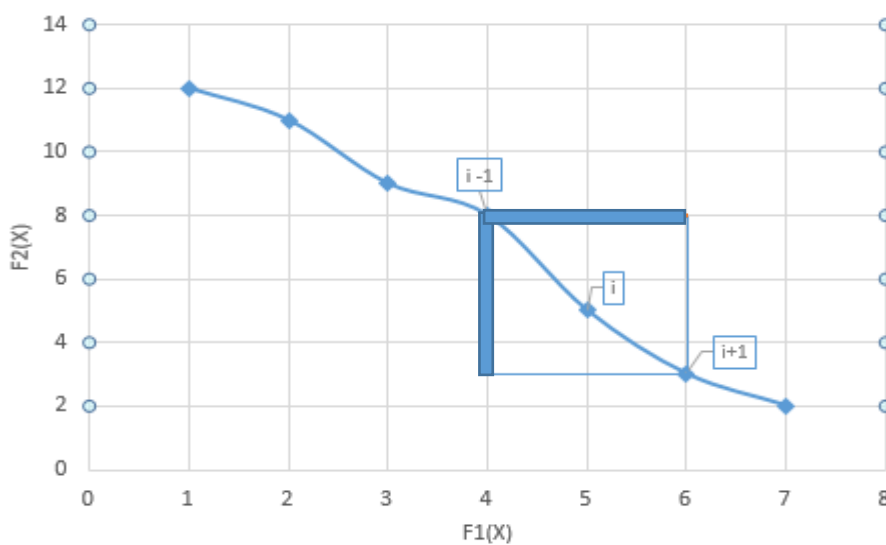
$$\max[f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)]$$

O su x reikšmėmis x_0 ir x_1 funkcijų reikšmės atitinka sekančią sąlygą: $f_1(x_0) > f_1(x_1)$, $f_2(x_0) > f_2(x_1) \dots$ ir $f_n(x_0) > f_n(x_1)$, tuomet galime teigti, kad x_0 dominuoja x_1 , todėl x_0 bus aukštesniame fronte x_1 atžvilgiu. Jeigu yra populiacijos individas, kurio nedominoja joks kitas

individas, tuomet jis priklausys pirmam frontui F_1 . Pagal tai kiek pasirinktas individas dominuoja kitų individų atžvilgiu, individai suskirstomi į frontus.

Tuo atveju kai $f_1(x_0) > f_1(x_1)$, bet $f_2(x_0) < f_2(x_1)$, negalima nuspręsti kuri x reikšmė yra geresnė, todėl jos abi gali būti priskirtos tam pačiam frontui. Viename fronte esantys individai taip pat rūšiuojami diversifikavimo palaikymo principu:

Pirma – išrūšiuojami visi individai sekančiu būdu: surikiuojami pagal vieną iš optimizavimo kriterijų $f(x)$, tada kiekvienam individui i apskaičiuojamas atstumas tarp gretimų kaimynų pagal visas optimizavimo funkcijas. Tarkime turint du optimizavimo kriterijus, individo i gretimų kaimynų atstumo sumai apskaičiuoti brėžiame stačiakampį, kurio priešingi kampai yra individai $i+1$ ir $i-1$, o kraštinės lygiagrečios koordinatinių ašims (funkcijoms). Tuomet atstumas tarp gretimų kaimynų bus lygus pusei šio stačiakampio perimetro, kai optimizavimo problemą sudaro tik dvi funkcijos (2 pav.). Pareto fronte individai surikiuojami pagal gretimų kaimynų atstumą nuo didžiausio iki mažiausio. Tokių būdu pirmenybę gauna labiau nuo gretimų taškų nutolusios vertės [DPA+02].



2 pav. Kaimynų atstumo skaičiavimas taškui i pagal funkcijas $f_1(x_i)$ ir $f_2(x_i)$

Nauja populiacija sudaroma paėmus pusę sėkmingiausių individų optimizavimo problemai spręsti, ir perkeltant juos į kitą tėvų populiaciją P_{t+1} . Ir iš jų generuojama vaikų populiacija Q_{t+1} .

Vaikų imtis yra generuojama pagal sekančius kriterijus:

- Vaikų aibė turi būti tokio pat dydžio kaip ir tėvų aibė.
- Turnyro selekcija: atsitiktiniu būdu imami du skirtingi individai iš tėvų aibės ir palyginamas jų fronto pirmumas, o laimi tas, kurio frontas pirmesnis, jeigu frontai lygūs, tada lyginami kaimynų atstumai. Individas, kuris laimi šią atranką, tampa pirmuoju tėvu, tada kartojama ta pati procedūra antram tėvui rasti.
- Kryžminimas: suradus abu tėvus kryžminimo algoritmas atsitiktinai paima pusę genetinio kodo pirmo tėvo, ir likusius genus užpildo kito tėvo genais.
- Mutacija: yra nustatytas mutacijos parametras, kuris nurodo tikimybę, kad vienas iš genų gali pasikeisti, tačiau to gali ir neįvykti, kadangi tai yra tikimybė.

Du tėvai generuoja du vaikus ir abu vaikai įdedami į vaikų aibę Q_{t+1} , bei kai baigiama generuoti nauja vaikų karta, visa populiacija vėl išrūšiuojama ir ciklas kartojasi tol kol pasiekiamas norimas kartų skaičius.

Taigi, NSGA-II yra nedeterministinis genetinis algoritmas, kuris net su tais pačiais parametrais gali sugeneruoti skirtingus rezultatus dėl savo atsitiktinai imamų individų, bei su tam tikra tikimybe genų kryžminimo ir mutavimo. Tai reiškia, kad norint patvirtinti arba paneigti keliamą hipotezę reiktų bent kelių iteracijų su tais pačiais parametrais ir duomenimis. Bei bent kelių skirtingų parametrų konfigūracijų.

2.5. Slenkantys vidurkiai

Slenkantys vidurkiai (toliau SV) - matavimas kuris naudojamas skaičiuojant einamąjį vidurkį tam tikram laiko periodui, ir kuris taikomas daugelyje sferų, įskaitant finansinių rodiklių analizei. Biržų finansiniai analitikai (makleriai), paprastai, naudoja SV kombinacijas kainoms stebėti, ir tokiu būdu su tam tikra tikimybe nuspėja kada vykdyti (ir kada nevykdyti) finansines operacijas. Dow teorija apskritai kalba apie vien vidurkius, nes jie panaikina netipinius svyravimus [HR18].

Kaufman teigia, kad SV yra daug rūšių ir nebūtinai vienas yra geresnis už kitą, tačiau jų kombinacija bei susikirtimai su akcijų vertės kreive arba su kitais slenkančiais vidurkiais yra tendencijos indikatoriai [Kau05]. Raudys, Malčius, ir Lenčiauskas patvirtina, kad naudojant

SV galima pasiekti pelno tiek esant rinkos pakilimui, tiek esant finansinei krizei. Tačiau reikia „atspėti“ teisingą konfigūraciją [RML13].

Patys slenkantys vidurkiai atlieka apibendrinimo funkciją ir suteikia galimybę pamatyti tendencijas o ne vienetinius vertės pokyčius.

Nors egzistuoja didelė SV įvairovė, darbe bus apsiribota ties sekančiais SV:

- a) paprastasis;
- b) linijinis svertinis;
- c) eksponentinis svertinis.

Paprastasis SV yra tiesiog paprastas vidurkis visų instrumento verčių duotaisiais laikotarpiais, ir apskaičiuojamas pagal šia formulę:

$$SV_{paprastasis} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T v_t$$

Kur T – laiko periodų skaičius, t – laiko periodas, v_t – instrumento vertė laiko periodu t .

Linijinis svertinis SV yra panašus į paprastąjį SV, tik kad prieš traukiant vidurkį, kiekvienam periodui suteikiamas tam tikras svoris, paprastai laikotarpiai artimesni dabartinei datai turi didesnę svorį, tarkime turime penkis laikotarpius ($T = 5$), ir paskutiniam laikotarpiui suteikiame svorį 5, prieš paskutiniam 4 ir t.t., visa svorių suma bus 15. Tada visa verčių ir svorių suma dalinama iš svorių sumos:

$$SV_{linijinis\ svertinis} = \frac{\sum_{t=1}^T v_t w_t}{\sum_{t=1}^T w_t}$$

Čia T – laiko periodų skaičius, t – vienas laiko periodas, v_t – instrumento vertė laiko periodu t , w_t – svoris laiko periodu t , kurio reikšmės: $w_1 = 1, w_2 = 2, \dots, w_T = T$.

Matome, kad paskutiniųjų laikotarpių vertė yra santykinai svaresnė, nei pirmųjų todėl šio svertinio vidurkio kreivė turėtų turėti mažesnę uždelsimą t.y. greičiau reaguoja į vertės pokyčius nei, tarkim, paprastasis SV.

Eksponentinis SV yra panašus į linijinį svertinį SV, bei jei pastarajame svorių reikšmė mažėjo tolygiai (linija), tai eksponentiniame SV svorių reikšmės mažėja eksponentiškai, ir niekada netampa lygia nuliui.

$$SV_t = \begin{cases} v_1, & \text{kai } t = 1 \\ \alpha \times v_t + (1 - \alpha) \times SV_{t-1}, & \text{kai } t > 1 \text{ ir } \alpha = \frac{2}{(N + 1)} \end{cases}$$

Čia α – svorių mažėjimo koeficientas kur $\alpha \in (0, 1)$, o t – vienas laiko periodas, v_t – instrumento vertė laiko periodu t , o N – periodų skaičius. Šis SV, kaip ir linijinis svertinis, greičiau reaguoja į instrumento vertės pokyčius, todėl duoda tikslesnę informaciją apie instrumento vertės tendencijas.

2.6. Pradiniai duomenys

Pradiniai duomenys – Nasdaq Baltic biržos akcijų uždarymo kainos trijų metų laikotarpyje (nuo 2015-01-02 iki 2017-12-29). Viso yra 59 finansiniai instrumentai, kurie tenkina sąlygą, kad būtų nepertraukiama prekyba visą šį laikotarpį. Duomenys yra vieši ir prieinami Nasdaq Baltic internetiniame portale.

Tyrimo šalia pradinių duomenų sugeneruojama vidurkių vertė ir išsaugoma atmintyje tam, kad galima būtų tikrinti indikatorius ir pagal juos vykdyti prekybą.

2.7. Laikotarpiai ir indikatoriai

Nusistatėme, kad kiekvieno finansinio instrumento SV bus skaičiuojamas du kartus pagal nustatytus (vidutinį ir ilgąjį) laikotarpius. Kadangi rezultatai gali skirtis dėl šių laikotarpių ilgio, tyrimo eigoje jie bus parametrizuojami.

Prekybos strategija turi turėti indikatorius, pagal kuriuos aktyvuojamos funkcijos. Tyrimo atveju SV susikirtus su finansinio instrumento kainos kreive arba kai vienas SV susikerta su kitu SV.

Tarsime, kad kreivės susikirto tarp praeito ir šio laiko periodo (indikatorius šiame laikotarpyje) jeigu:

$$V_t \geq U_t \text{ ir } V_{t-1} < U_{t-1}$$

Kur t – einamasis laikotarpis, $t-1$ – prieš tai sekęs laikotarpis, V_t – vieno iš parametrizuojamų SV arba instrumento kainos vertė laiko momentu, o U_t – kito parametrizuojamo SV arba kainos vertė laiko momentu. Aišku, tas pats SV arba kainos kreivė negali susikirsti pati su savimi ir tenkinti aukščiau išdėstytos sąlygos.

Dviejų kreivių susikirtimas gali būti dvejopas: pirma kreivė auga antros atžvilgiu arba mažėja, todėl čia yra du skirtingi indikatoriai. Taip pat kadangi mokomasi be mokytojo, turime įsivesti dar ir dvi sąlygines aktyvavimo funkcijas akcijų judėjimui: pirkimui arba pardavimui.

Iš viso turime tris vidurkių tipus po du laikotarpius ir kainos kreivę todėl turime 21 kreivių kombinacijas ($6+5+4+3+2+1$), tačiau kai viena kreivė didėja kitos atžvilgiu arba mažėja yra du skirtingi indikatoriai, todėl iš viso turime 42 indikatorius. Kiekvienam indikatoriui sukuriame po dvi aktyvavimo funkcijas: pirkti ir parduoti. Tokiu būdu turime 84 aktyvavimo funkcijas, todėl ir genetinis kodas tyrimo eigoje bus 84, po vieną 0 arba 1 kiekvienai iš aktyvavimų funkcijų. Norint kad aktyvavimo funkcijų svoriai kistų ne tik sveikais skaičiais, reikia išplėsti genetinį kodą, ir kiekvieno svorio generavimui skirti po kelis arba daugiau skaičius. Tai reiškia, kad genetinis kodas išaugtų keleriopai, bet ir tyrimų atlikimo laikas galimai išsitęstų.

Šalia kiekvienos aktyvavimo funkcijos pridedamas svoris, kuris yra generuojamas genetinio algoritmo. Jeigu svoris yra 1, tuomet atsitikus šiam indikatoriui, galima aktyvuoti funkciją ir vykdyti operacijas su instrumentu, aišku, tam tikrose ribose: norint pirkti, reikia, kad portfelyje būtų pinigai bent vienai akcijai nusipirkti, o norint parduoti, reikia, kad portfelis turėtų šio instrumento akcijų.

Analogiškai jeigu svoris 0, tuomet indikatorius praleidžiamas. Indikatoriai yra bendri visiems instrumentams, o instrumentai yra iteruojami abėcėline tvarka pagal instrumento trumpą pavadinimą¹². Tokiu būdu esant dviem indikatoriams skirtingiems instrumentams, pirmas bus patikrintas ir įgyvendintas tas, kurio instrumento trumpas vardas yra pirmesnis abėcėline tvarka. Tai galbūt nesąžininga kitų instrumentų atžvilgiu, tačiau tyrimo eigoje instrumento parinkimo parametrizavimas nėra numatytas.

¹² Angl. k. – *short name*

2.8. Prekybos strategijos

Tyrimo eigoje tiriame dvi prekybos strategijas. Pirma - nepersimokymo, kur imama mokymosi imtis ir apsimokama genetinio algoritmo pagalba, vėliau testuojami likę duomenys su visais paskutinės kartos išrinktais tėvais. Pasirinktas mokomosios imties dydis – 500 laiko periodų, kas yra apie 2/3 visų duomenų.

Antroji strategija yra mokymosi iš naujo strategija žingsnio pirmyn metodu¹³. Pradinės sąlygos vienodos, naudojame tą pačią mokomąją imtį. Apsimokius analogiškai pirmai strategijai, vyksta testavimas tačiau šiuo atveju tik n laikotarpių¹⁴ pagal išmokus duomenis. Po n laiko periodų mokamasi iš naujo su naujais duomenimis, t.y. mokomoji imtis išmeta seniausius n laiko periodų reikšmes ir įtraukia tiek pat naujausių laiko periodų reikšmių ir vėl mokosi iš naujo bei testuoja n laiko periodų iki duomenų imties pabaigos.

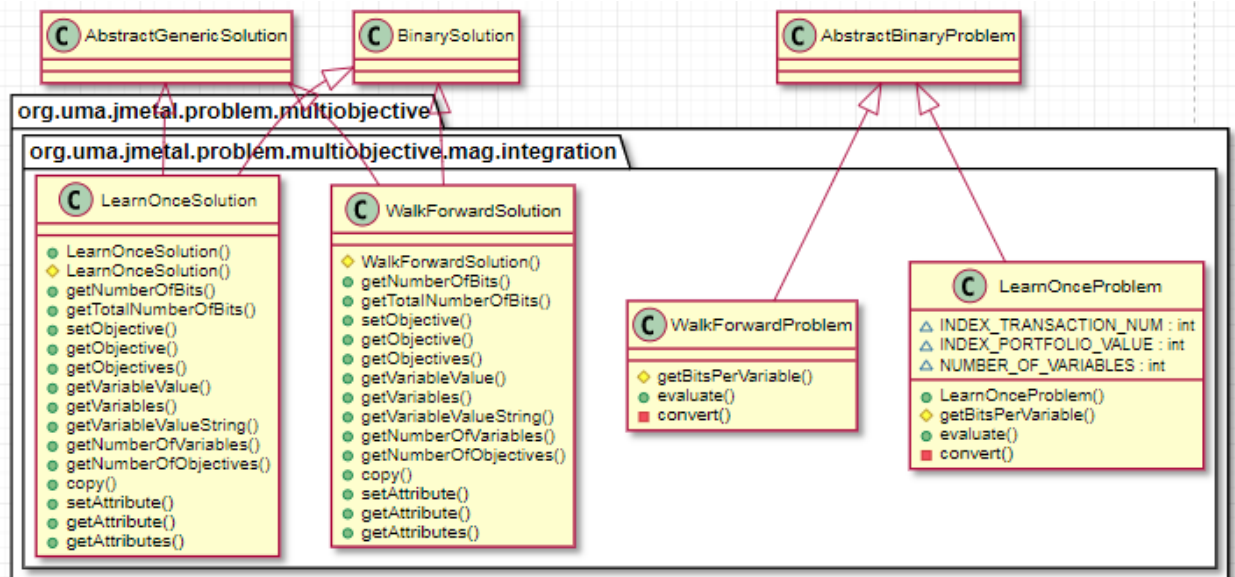
Tyrimai atliekami kelis kartus, bei iš visų mokymosi rezultatų išvedamas vidurkis. Tas pats atliekama su testavimo rezultatais. Abi prekybos strategijos taip pat startuoja su vienodu tariamų pinigų kiekiu – 10 000, kurie bus panaudoti akcijoms nusipirkti.

2.9. Modelio įgyvendinimas

Pagal funkcionalumą išvardintą ankstesniuose skyriuose, turime visų pirma įgyvendinti sąsają su jMetal biblioteka. Norint, kad NSGA-II keistų genetinį populiacijos kodą, reikia, suteikti jam funkcijų reikšmes pagal kurias algoritmas galėtų optimizuoti. Tai daroma sukuriant kiekvienai strategijai po dvi integravimo klases. Pirma (problemos klasė) skirta įvertinti abu kriterijus su duotu genetiniu kodu, antra (sprendimo arba angliškai - *solution* klasė) – skirta atiduoti rezultatus atgal į NSGA-II. Visos klasės turi tėvinę klasę, aprašytą jMetal bibliotekoje (3 pav.)

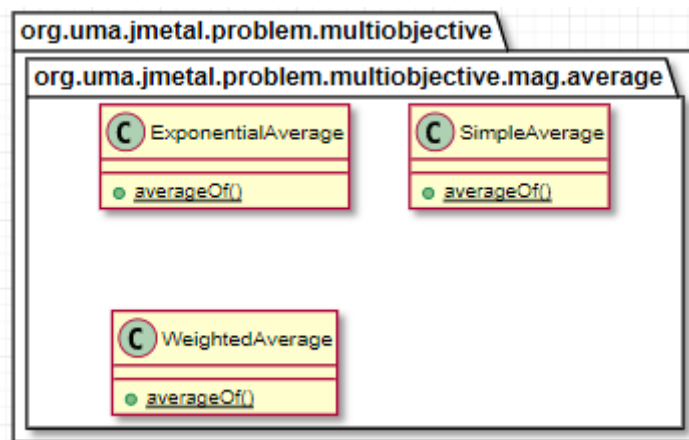
¹³ Angl. k. - *rolling walk forward training*

¹⁴ T.y. žingsnis



3. pav. Integravimo su jMetal klasių diagrama

Tyrimui atlikti reikalingos vidurkių apskaičiavimo pagalbinės klasės. Jos skirtos generuoti slenkančiųjų vidurkių vertes pagal paduotą instrumento verčių sąrašą (paprastojo ir linijinio svertinio vidurkių atveju). Eksponentiniam vidurkiui apskaičiuoti reikia jau paduoti tris argumentus: praeitos dienos eksponentinį vidurkį, dabartinę kainą ir periodų skaičių (4 pav).



4. pav. Vidurkių apskaičiavimo klasių diagrama

Toliau turime eilę pagalbinių klasių skirtų objektams identifikuoti:

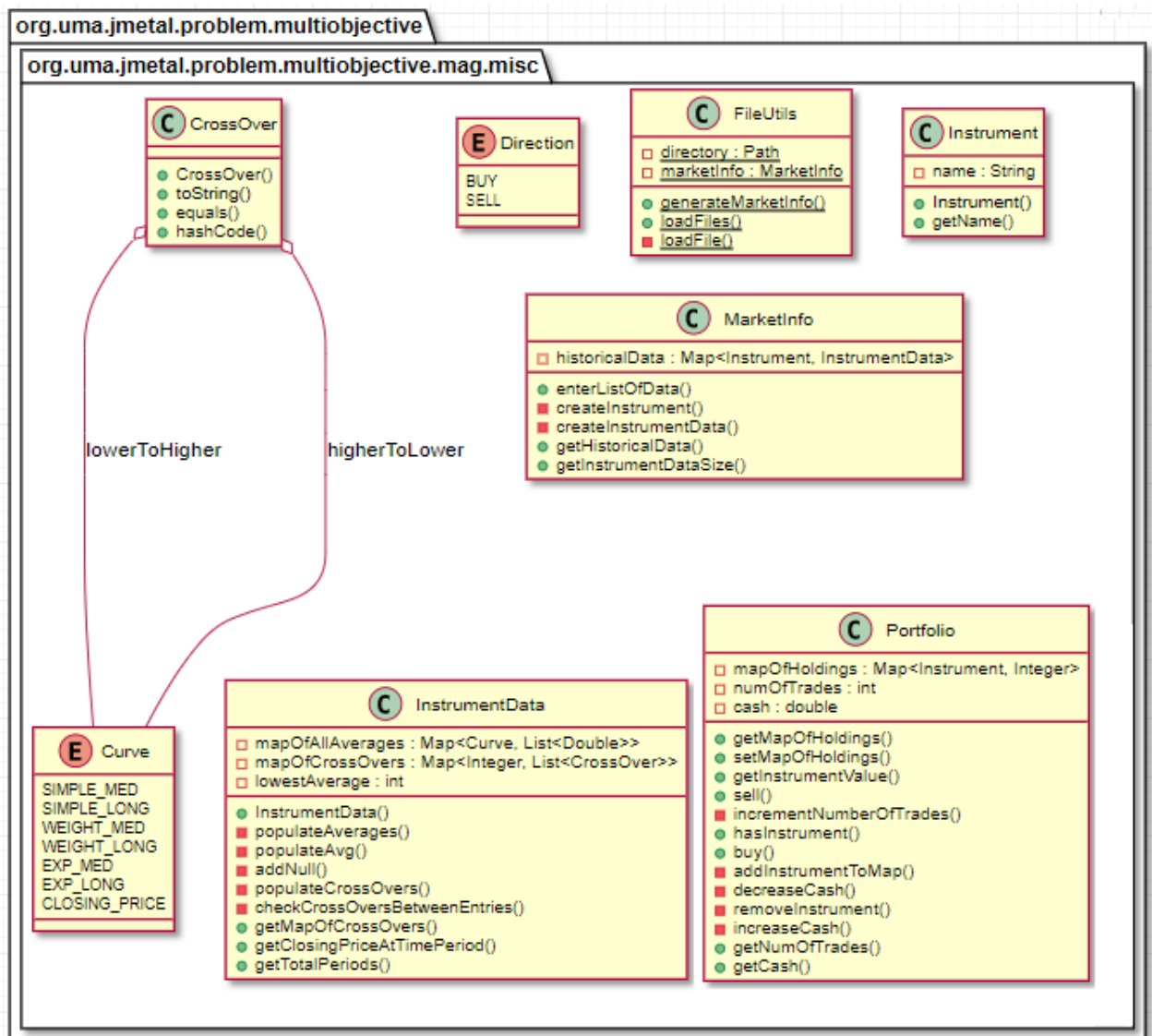
- akcijų judėjimo kryptis,
- kreivei (instrumento kainos arba vidurkio),
- susikirtimui,
- instrumentui,

- portfeliui,
- instrumento duomenys (skirta vidurkiams ir uždarymo kainų reikšmėms saugot, taip pat apskaičiuoti susikirtimus visuose laiko perioduose),
- rinkos informacija – istorinė visų instrumentų informacija,
- ir atskirai pagalbinė failų valdymo klasė, skirta įkrauti duomenis į modelį iš CSV¹⁵ formato failų.

Iš pradžių failų valdymo klasė skaitant esančius duomenis ir konvertuojant juos į instrumento duomenis, tokiu būdu apskaičiuojami visi vidurkiai ir surandami visi susikirtimai tarp kreivių visiems periodams konkrečiam instrumentui. Šie instrumento duomenys patalpinami į rinkos informacijos klasės žemėlapi, kiekvienam instrumentui sugeneruojami instrumento duomenys. Į rinkos informacijos klasę bus kreipiamasi tiek mokantis, tiek persimokant iš naujo, tiek testuojant.

Portfelio klasė skirta saugoti nusipirktas akcijas, valdyti tariamus pinigus bei apskaičiuoti portfelio vertę duotuoju laiko momentu. Portfelio klasė taip pat turi skaitiklį, skaičiuojanti transakcijų kiekį (5 pav).

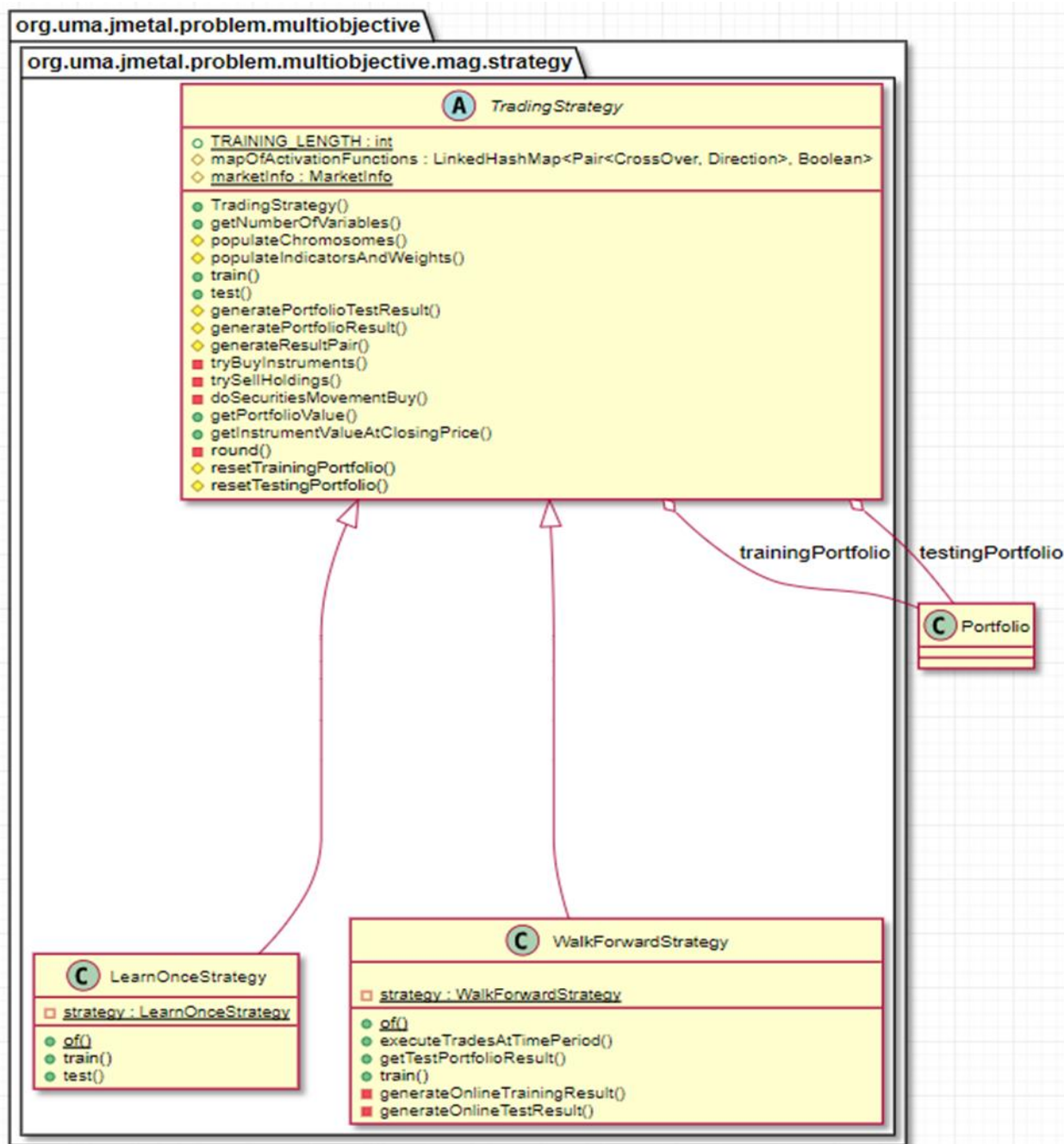
¹⁵ Angl. k. – *comma-separated values*



5. pav. Pagalbinių klasių diagrama

Prekybos strategijos pagrindas – aktyvavimo funkcijų žemėlapis, kuris įgyvendintas *LinkedHashMap* klasės pagalba, siekiant išlaikyti įvedimo eiliškumą, nes pavyzdžiui paprastas Java programavimo kalbos žemėlapis *HashMap* gali iteruoti reikšmes skirtingai kiekvieną kartą paleidus, nepriklausomai nuo įvedimo eiliškumo ir pastaruoju atveju optimizavimas būtų neįmanomas. Aktyvavimo funkcijos žemėlapio raktas – susikirtimo ir akcijų judėjimo krypties pora o vertė – *Boolean* tipo funkcija, kuri parodo ar esant susikirtimui reikia aktyvuoti šią funkciją. *Boolean* vertė priskiriama pagal genetinį kodą, principu 0 = false ir 1 = true, išsaugant eiliškumą.

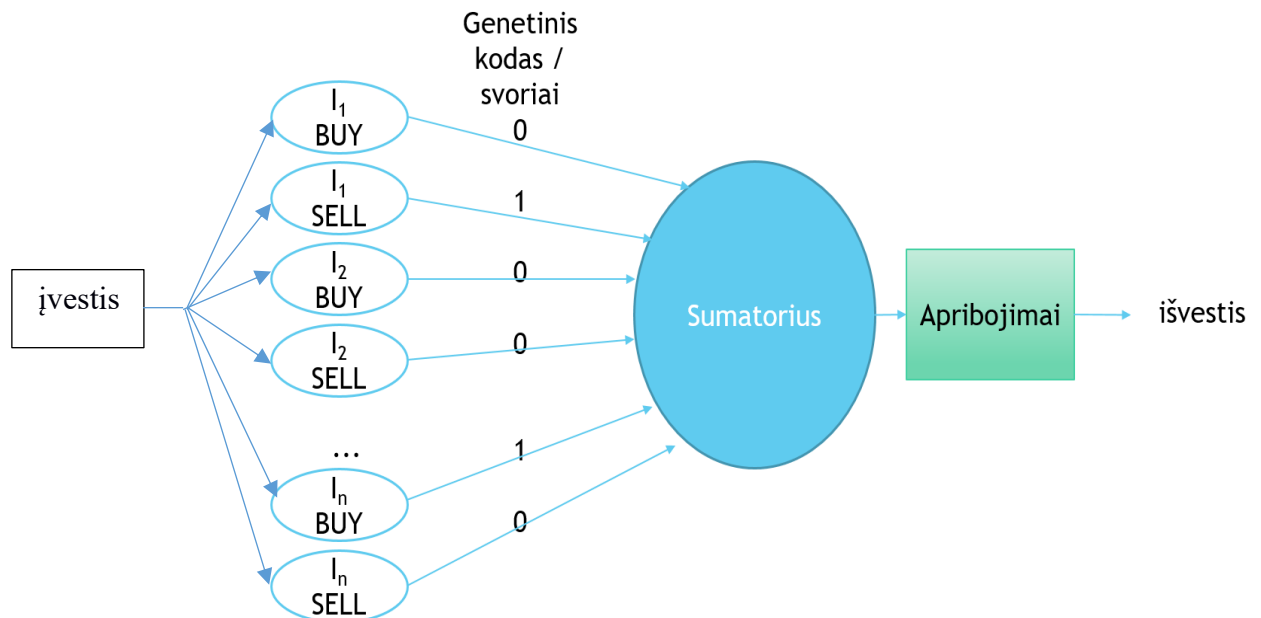
Prekybos strategijos tėvinė klasė turi du portfelius – mokamąjį ir testavimo. Pagal mokamojo portfelio rezultatus esančius konkrečioje strategijoje ir perduotus per integracines klases į NSGA-II algoritmą, optimizuojamas genetinis kodas (6 pav).



6. pav. Prekybos strategijų klasių diagrama

Vaikų klasės jau yra konkrečios prekiavimo strategijos implemetacijos, kurios sugeneruoja rezultatą pagal abu kriterijus pateikus genetinį kodą. Prieš kiekvieną mokymą arba testavimą sukuriama nauji portfeliai, o žingsnio pirmyn strategijos atveju testavimo portfelis sukuriama

pradžioje o vėliau naudojamas tas pats portfelis akcijoms pirkti ir parduoti. Pirkimo arba pardavimo sprendimas priimamas tuomet kai duotu laiko momentu atsiranda indikatorius, jis nurodo kokį veiksma atlikti ir aktyvavimo funkcija yra aktyvuota genetinio kodo pagalba. Apribojimai šiuo atveju reiškia nieką kita kaip kad negalima parduoti akcijų kurių neturi, bei negalima pirkti akcijų, jeigu neturi pakankamai pinigų (7 pav).



7. pav. Pirkimo – pardavimo sprendimų priėmimas

3. Rezultatai ir jų analizė

Tyrimo eigoje buvo atlikti 110 bandymų parametrizuojant pagal šiuos parametrus:

- NSGA-II populiacijos dydis;
- NSGA-II kartų skaičius;
- NSGA-II kryžminimosi tikimybė;
- NSGA-II mutavimo tikimybė;
- SV vidutinio ir ilgojo laikotarpio dydžiai;
- žingsnio pirmyn strategijos atveju – žingsnio dydis.

Parametruoti bandymai atlikti po kelis kartus, o iš rezultatų ištrauktas aritmetinis vidurkis. Pradinis portfelio kapitalas – 10 000, pokytis – tai kiek teigiamai arba neigiamai pakito portfelio vertė galutiniu apmokymo arba testavimo laiko momentu procentine išraiška. Lentelėje (8 lentelė) pateikiami atlikti tyrimai surikiuoti pagal NSGA-II parametrus, su kryžminimosi tikimybe 0,7, mutavimo 0,03, vidurkių dydžiais 10 ir 20. Kiekviena eilutė dalinama į dvi dalis: pirma – parodo vidutinius apsimokymo rezultatus, antra – testavimo. Geriau optimizuotų kriterijų reikšmės paryškintos.

8. lentelė. Rezultatai su kryžminimo parametru 0,7 ir mutavimo 0,03, vidurkių dydžiai 10 ir 20

Tyrimų skaičius	Parametrai			Vidutiniai prekybos strategijų rezultatai					
	Kartos	Populiacija	Mokymasis(M) Testavimas(T)	Nepersimokoma			Mokomasi iš naujo Žingsnio dydis 20		
				Transakcijų skaičius	Portfelio vertė	Portfelio vertės pokytis	Transakcijų skaičius	Portfelio vertė	Portfelio vertės pokytis
3	20	20	M	1771	25052	151%	1824	32880	229%
			T	862	17065	71%	907	10266	3%
3	50	20	M	1923	29571	196%	1882	47643	376%
			T	912	12795	28%	924	17119	71%
3	100	20	M	1771	58887	489%	1903	42357	324%
			T	894	13721	37%	908	12306	23%
2	1000	20	M	1808	191184	1812%	1856	80921	709%
			T	949	11223	12%	906	15208	52%
3	20	40	M	1915	31271	213%	1852	40978	310%
			T	940	13854	39%	912	13002	30%

Pagal lentelės duomenis negalime vienareikšmiškai teigti kad viena strategija yra geresnė kitos atžvilgiu pagal pasirinktus parametrus ir kriterijus. Tačiau pastebime, kad apsimokymo našumas yra vienas didžiausių tuomet, kai kartų skaičius yra didžiausias, tačiau, kaip ir įtarime, tokiu būdu yra peroptimizuojama, nes testavimo duomenys parodo, kad vieną kartą išmokus su

populiacijos dydžiu 20 per 1000 kartų, SV vidurkių dydžiams esant 10 ir 20, prekybos strategija, kuri nepersimokė vidutiniškai geriau optimizavo su mokymosi imtimi: 1812% prieš 709%, ir kur kas blogiau atspėjo testavimo duomenis: 12% prieš 52% pagal portfelio vertės kriterijų. Tuo pat metu pagal antrąjį optimizavimo kriterijų, žingsnio pirmyn strategijai mokytis sekėsi geriau 1856 prieš 1808, bet testavimo duomenis atspėjo neženkliai blogiau: 906 prieš 949.

9. Lentelė. Rezultatai su kryžminimo parametru 0,7 ir mutavimo 0,03, vidurkių dydžiai 15 ir 30

Tyrimų skaičius	Parametrai			Vidutiniai prekybos strategijų rezultatai					
	Kartos	Populiacija	Mokymasis(M) Testavimas(T)	Nepersimokoma			Mokomasi iš naujo Žingsnio dydis 20		
				Transakcijų skaičius	Portfelio vertė	Portfelio vertės pokytis	Transakcijų skaičius	Portfelio vertė	Portfelio vertės pokytis
3	20	20	M	1585	213289	2033%	1601	103041	930%
			T	867	10739	7%	814	10969	10%
3	50	20	M	1721	118014	1080%	1653	105691	957%
			T	890	13113	31%	848	12881	29%
3	100	20	M	1643	84192	742%	1655	126482	1165%
			T	879	13349	33%	855	11453	15%
2	1000	20	M	1563	197468	1875%	1651	255115	2451%
			T	827	14355	44%	858	24770	148%
3	20	40	M	1624	139689	1297%	1616	150707	1407%
			T	890	15294	53%	855	13454	35%

Sekančioje lentelėje (9 lentelė) pateikiami analogiški duomenys su vidurkių dydžiais 15 ir 30. Vėlgi matome, kad vienareikšmiškai nėra geresnės strategijos, tačiau kai kartų skaičius yra 1000, matome akivaizdų persimokančios iš naujo strategijos pranašumą pagal abu optimizavimo kriterijus: ~3% pirmojo kriterijaus atžvilgiu (858 prieš 827) ir net 103% antrojo kriterijaus atžvilgiu (148% prieš 44%). Tuo tarpu kituose atvejuose, kai kartų skaičius ženkliai mažesnis,

negalima vienareikšmiškai teigti, kuri iš strategijų duoda geresnį našumą. Tačiau galima pastebėti tendenciją, kad persimokanti strategija vidutiniškai blogiau mokėsi, bet teisingiau spėjo testavimo duomenis remiantis portfelio vertės kriterijumi, tuo pat metu pagal kitą kriterijų (transakcijas), ji geriau mokėsi, bet blogiau spėjo lyginant testavimo duomenis su nepersimokančia strategija.

Su kryžminimosi ir mutavimo parametrais 0,9 ir 0,01 atitinkamai (10 lent.). Matome, kad kuo didesnis NSGA-II kartų skaičius, tuo didesnė tikimybė, kad strategija, kuri mokosi iš naujo geriau optimizavo pagal portfelio vertės kriterijų, išskyrus tuo atveju, kai kartų skaičius buvo 750. Čia nepersimokanti strategija buvo pranašesnė. Rezultatai kitokie optimizuojant pagal pirmą kriterijų. Visuose atvejuose išskyrus 750 kartų, nepersimokanti strategija geriau optimizuoti transakcijų kiekį. Tai dar kartą įrodo, kad negalima vienareikšmiškai teigti, kad mokymosi iš naujo strategija geriau optimizuoja prieš nepersimokančią abejais kriterijais, su kryžminimo parametru 0,9, o mutavimo 0,01, tačiau portfelio vertės optimizavimas pastebimai pranašesnis strategijos, kuri mokosi iš naujo.

10 Lentelė. Vidutinių prekybos rezultatų palyginimas su parametrais: kryžminimo 0,9 ir mutavimo 0,01, vidurkių dydžiai 10 ir 20

Tyrimų skaičius	Parametrai			Vidutiniai prekybos strategijų rezultatai					
	Kartos	Populiacija	Mokymasis(M) Testavimas(T)	Nepersimokoma			Mokomasi iš naujo Žingsnio dydis 20		
				Transakcijų skaičius	Portfelio vertė	Portfelio vertės pokytiš	Transakcijų skaičius	Portfelio vertė	Portfelio vertės pokytiš
3	20	20	M	1864	51744	417%	1878	43427	334%
			T	913	12297	23%	911	10937	9%
3	50	20	M	1975	32716	227%	1943	35612	256%
			T	950	11055	11%	940	12847	28%
3	100	20	M	1961	43249	332%	1935	47041	370%
			T	912	14403	44%	934	12665	27%
3	250	20	M	1999	32008	220%	1910	55730	457%
			T	898	13370	34%	903	20534	105%
3	500	20	M	2026	29759	198%	1612	261488	2515%
			T	937	12463	25%	749	14311	43%
3	750	20	M	1854	78740	687%	1929	61259	513%
			T	907	12717	27%	926	10693	7%
3	1000	20	M	1909	69709	597%	1932	54833	448%
			T	939	11980	20%	893	15298	53%

Sekančioje lentelėje (11 lentelė) palyginamos mokymosi iš naujo prekybos strategijos pagal žingsnio dydį, su sekančiais parametrais: kryžminimas – 0,7, mutavimas – 0,03, vidurkiai 15 ir 30. Remiantis testavimo duomenimis, ilgesnio žingsnio mokymosi iš naujo strategija su pastebimai vidutiniškai geriau optimizavo antrąjį kriterijų, tuo pat metu tik nežymiai geriau pirmąjį kriterijų.

Tai reiškia, kad ilgesnio žingsnio mokymosi iš naujo strategija turėtų potencialiai dar geriau optimizuoti lyginant su nepersimokančią strategiją, esant didesniai kartų skaičiui.

11 Lentelė. Žingsnio pirmyn mokymosi iš naujo strategijų rezultatų palyginimas pagal žingsnio dydį, su parametrais kryžminimas – 0,7, mutavimas – 0,03, vidurkiai 15 ir 30

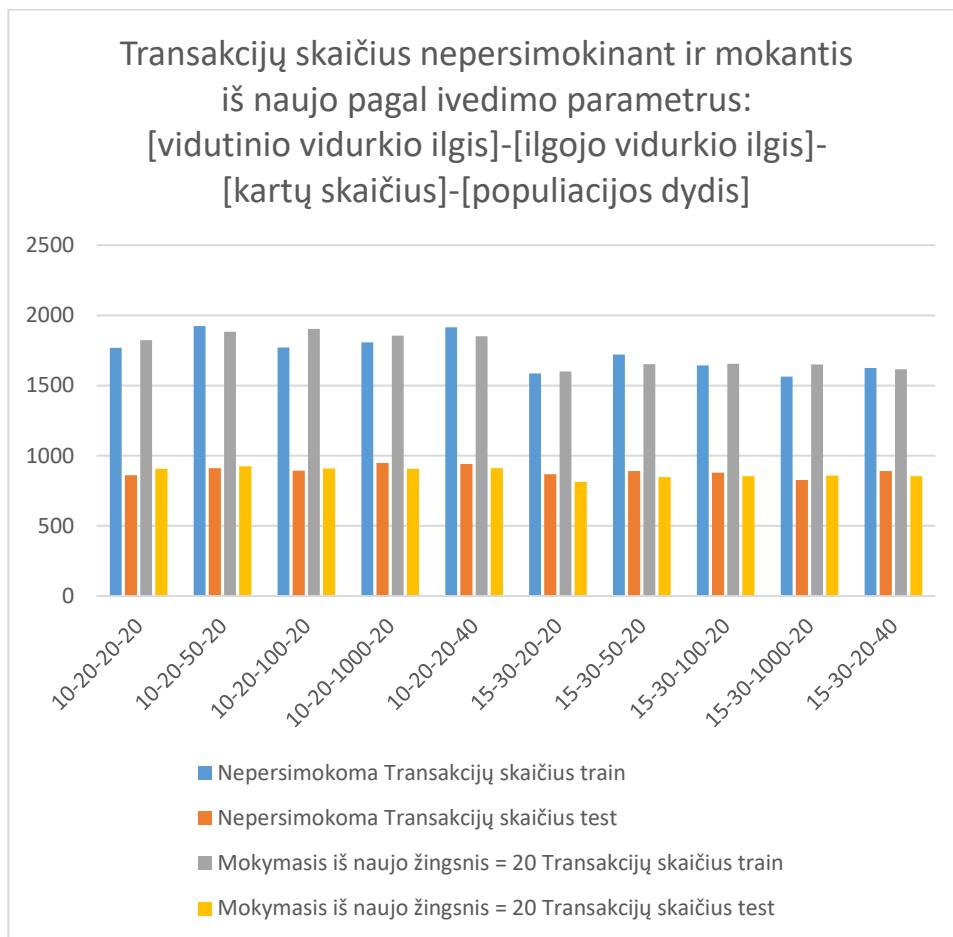
Tyrimų skaičius	Parametrai			Vidutiniai mokymosi iš naujo prekybos strategijų rezultatai					
	Kartos	Populiacija	Mokymasis(M) Testavimas(T)	Žingsnis 20			Žingsnis 50		
				Transakcijų skaičius	Portfelio vertė	Portfelio vertės pokytis	Transakcijų skaičius	Portfelio vertė	Portfelio vertės pokytis
3	20	20	M	1601	103041	930%	1606	77711	677%
			T	814	10969	10%	820	13194	32%
3	50	20	M	1653	105691	957%	1667	95862	859%
			T	848	12881	29%	875	18877	89%
3	100	20	M	1655	126482	1165%	1649	122307	1123%
			T	855	11453	15%	846	10792	8%
3	20	40	M	1616	150707	1407%	1486	649875	6399%
			T	855	13454	35%	779	14897	49%

Reikia pripažinti kad atliktus visus tyrimus tyrimus, vidutiniškai nei viena iš strategijų nepateikė neigiamo portfelio vertės pokyčio. Tai gali būti dėl to, kad tyrimo duomenys priklauso stabilaus pakilimo laikotarpiui ir akcijų vertės stabiliai kyla. Transakcijų skaičius praktiškai išliko santykinai mažam intervale 790-950. Tačiau prieš išvedant vidurkį, buvo ir netipinių atvejų¹⁶, kuomet pirmas kriterijus buvo 40, o antrasis neigiamas -50%, arba teigiamas virš milijono su pokyčiu virš 10 000 %. Tačiau vidurkių pagalba išvengėme šių anomalinių kriterijų reikšmių.

Stulpelinėje diagramoje (12 diagrama) galima matyti palyginimą nepersimokančios ir mokymosi iš naujo strategijų palyginimus pagal transakcijų skaičiaus maksimizavimo kriterijų

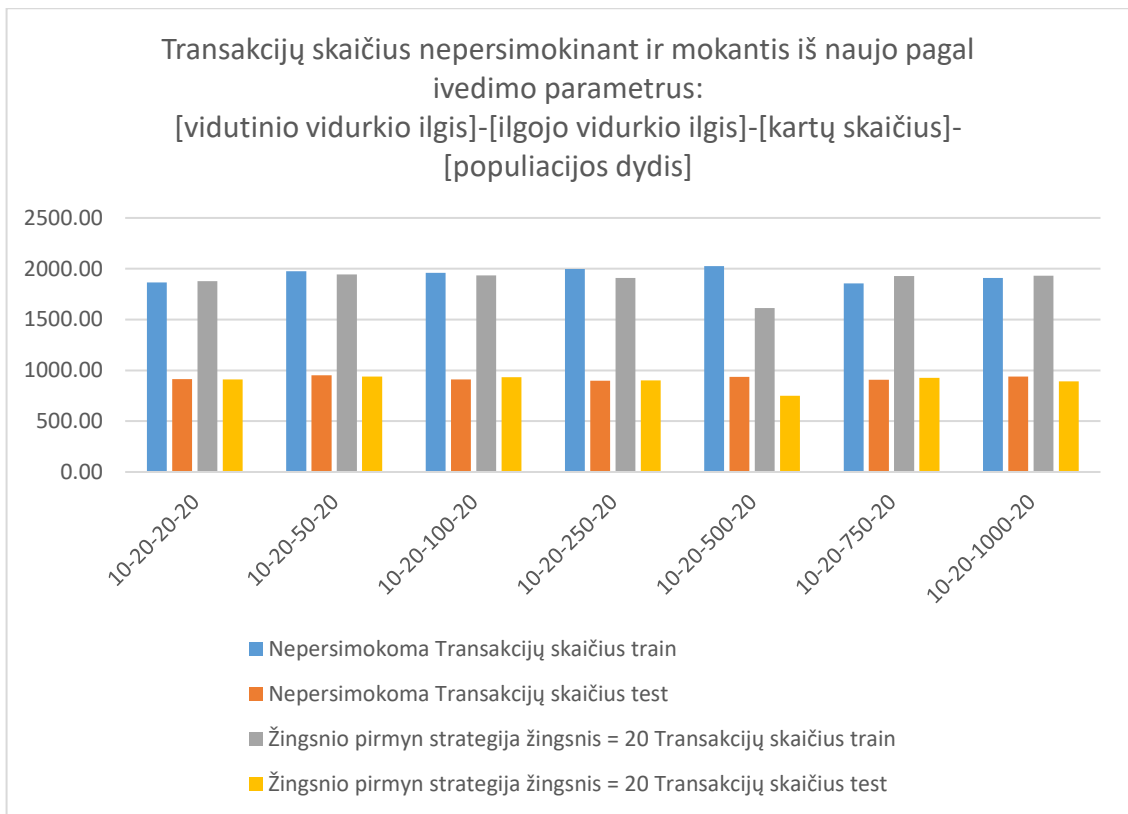
¹⁶ T.y. - triukšmo

esant kryžminimo parametru 0,7 ir mutavimo 0,03. Matome, kad dydžiai santykinai vienodi su minimaliais pokyčiais. Taipogi, palyginus su apsimokymu, transakcijų kiekio testavimas yra pakankamai normalus, turint omeny kad mokomųjų duomenų kiekio ir testavimo kiekio santykis yra beveik 2:1.



12 Diagrama. Transakcijų kiekis apsimokant ir testuojant skirtingose strategijose, naudojant parametrus: kryžminimo 0,7 ir mutavimo 0,03

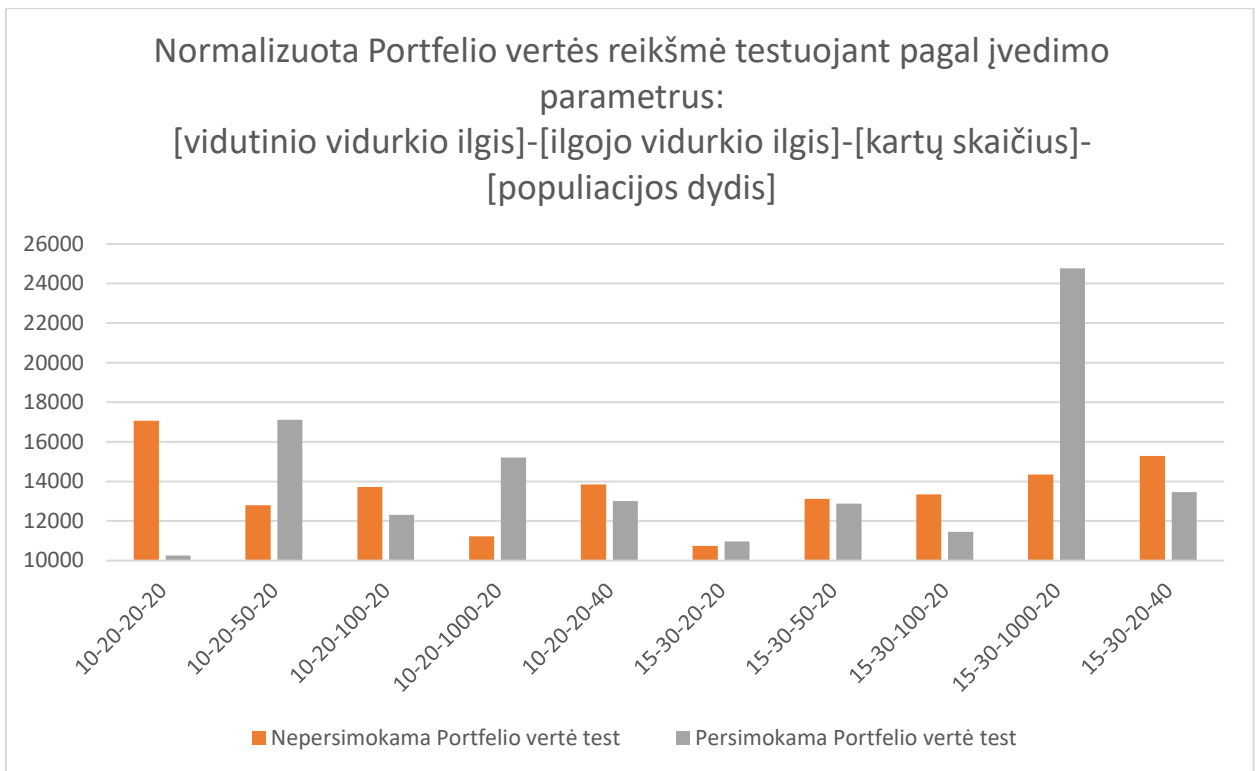
Palyginimui panašūs rezultatai pagal pirmąjį optimizavimo kriterijų gauti su kryžminimo parametru 0,9 ir mutavimo 0,01 (13 diagrama). Matome, kad išskyrus su parametru 500 NSGA-II kartų, duomenys labai panašūs, tačiau ties 500 kartų atsirado mokymosi iš naujo strategijos pastebima blogesnė optimizacija pagal transakcijų skaičiaus kriterijų. Nors tyrimai atlikti po 3 kartus su kiekviena konfiguracija, dėl genetinio algoritmo nedeterministiškumo, galima suabejoti šiuo atveju.



13 Diagrama. Transakcijų kiekis apsimokant ir testuojant skirtingose strategijose, naudojant kryžminimo parametą 0,9 ir mutavimo 0,01.

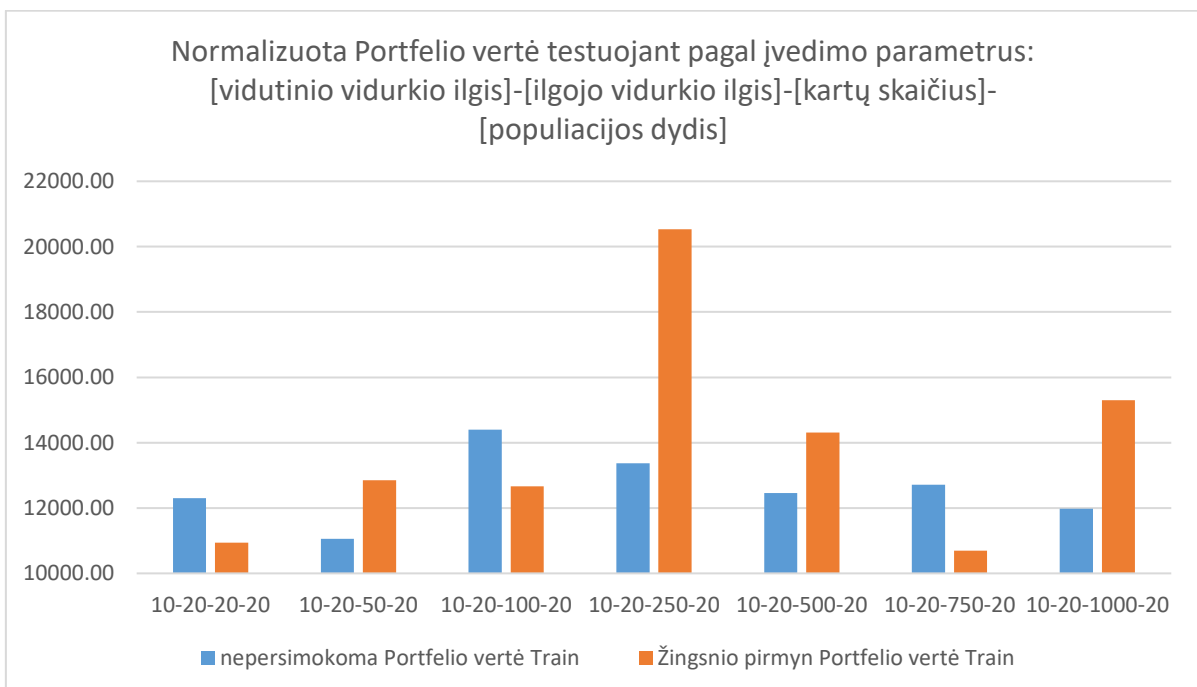
Tuo tarpu pagal antrąją optimizavimo kriterijų – portfelio vertę, pastebimas akivaizdus mokymosi iš naujo strategijos pranašumas didelio kartų¹⁷ skaičiaus atvejais(14 diag.). Tai pat matomas akivaizdus skirtumas tarp išmoktų duomenų ir testavimo, kas dar kartą partvirtina tyrimo pradžioje darytą prielaidą, kad finansiniai duomenys yra stochastiški.

¹⁷ Angl. k. - generation



14 Diagrama. Normalizuota Portfelio vertė per skirtingas strategijas su parametrais: kryžminimo 0,7 ir mutavimo 0,03

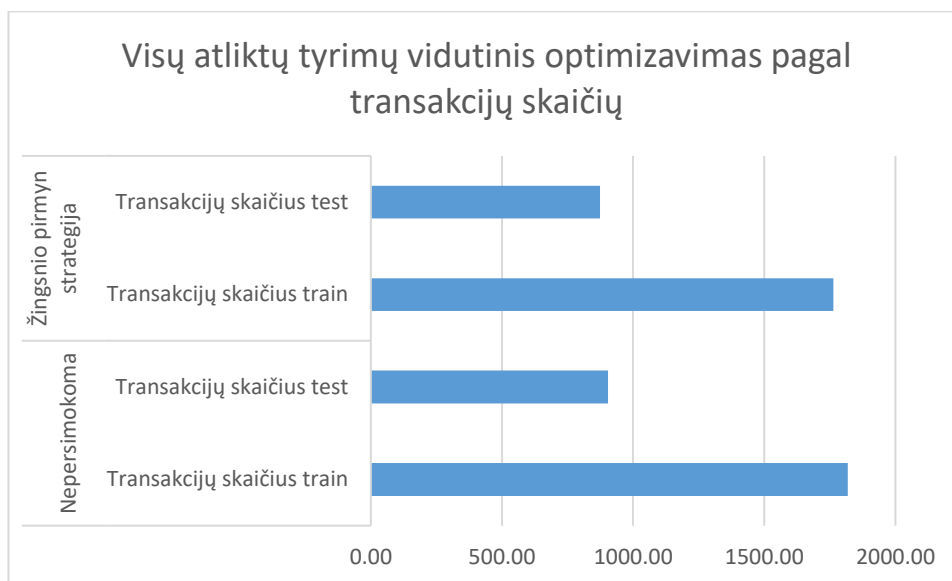
Palygimui sekančioje diagramoje (15 diag.) pateikiama analogiškas palyginimas parametrizuotų tyrimų, kuomet kryžminimo parametras 0,9, o mutavimo 0,01.



15 Diagrama. Normalizuota Portfelio vertė per skirtingas strategijas ir parametrus, esant kryžminimo parametru 0,9 ir mutavimo 0,01.

Matome, kad išskyrus atvejį, kuomet kartų skaičius buvo 750, portfelio vertė labiau nei dvigubai optimizuota esant dideliame kartų kiekiui (kai kartų kiekis viršija 100), o tai patvirtina tyrimo iškeltą hipotezę. Beje, portfelio vertės pokytis vėlgi buvo vidutiniškai teigiamas visais tyrimų atvejais

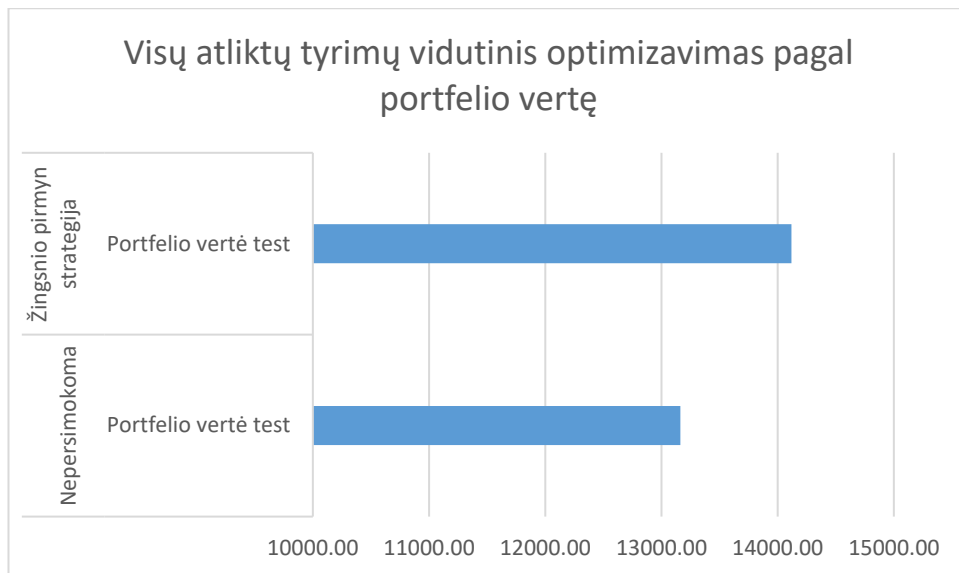
Išvedus visų atliktų tyrimų bendrą vidurkį visiems atvejams, galima teigti, kad nepersimokanti strategija atliko neženkliai geresnį vidutinį optimizavimą tiek mokantis, tiek testuojant, pagal transakcijų skaičių (16 diag).



16 Diagrama. Visų atliktų tyrimų vidutinis optimizavimas pagal transakcijų skaičių.

Tuo pat metu pagal antrąjį optimizavimo kriterijų matome (17 diag.) akivaizdų pranašumą (apie 10%) mokymosi iš naujo (žingsnio pirmyn metodu) strategija, nors rezultatai dar geresni esant didesniai nei 100 kartų skaičiui kuomet nepersimokanti strategija persioptimizuoja, ir nesugeba gerai atspėti testavimo duomenis ir kas jau buvo apžvelgta šiame skyriuje.

Reikia paminėti, kad vidutinė optimizavimo reikšmė pagal portfelio vertę yra didesnė, nei pradiniai tariamieji pinigai, reiškia, kad nepaisant kurią strategija remsimės, vidutiniškai turėtų būti sėkminga, tačiau tik su duomenimis naudotais tyrimui.



17 Diagrama. Visų atliktų tyrimų vidutinis optimizavimas pagal portfelio vertę.

4. Praktinis pritaikymas ir rekomendacijos

Šiame darbe tyrimai atlikti aiškiuose rėmuose ir apribojimuose. Kadangi nebuvo pašalinio poveikio, gavome rezultatus, kurie viena prasme yra teigiami ir optimistiški, tačiau neatsižvelgia į kitus rinkos veiksnius, kurie galėtų neigiamai įtakoti gautus rezultatus.

Vienas iš kriterijų – transakcijų skaičius mums sukūrė daug transakcijų, tačiau tikrame pasaulyje, už kiekvieną transakciją, reikia mokėti mokestį, todėl norint sukurti realiai veikiančią, ir pelną nesančią prekybos strategiją, rekomenduotina arba pasirinkti kitą optimizavimo kriterijų, arba įsivesti transakcijos kainos sąvoką ir portfelio vertę kistų atsižvelgiant į transakcijų kaštus.

Naudojant genetinį algoritmą, rezultatai yra nedeterministiniai, todėl reiktų bent kelių tyrimų su viena konfigūracija idant negauti netipinių reikšmių. Gerai būtų panaudoti genetinius algoritmus svoriams kalibruoti, arba praplėsti genetinio kodo ilgį tam, kad aktyvavimo funkcijų svorių reikšmė keistųsi ne iš 0 į 1 ir iš 1 į 0, bet praktiškai bet kuriuo skaičiumi tarp 0 ir 1 imtinai, priklausomai nuo optimizavimo algoritmo poreikio. Tai, aišku, kainuoja dar daugiau apskaičiavimo laiko, tačiau, tikėtina, gali geriau atpažinti tendencijas.

Tai pat nereiktų sustoti ties vienu genetiniu algoritmu ir palyginti kelių algoritmų sugeneruotus rezultatus. Yra daugybė kitų SV, kurių kombinacijas ir ilgus sukonfigūravus galima

gauti geresnius rezultatus. Būtų tikslinga patikrinti gautus duomenis su kitų biržų duomenimis, pakilimo ir nuosmukio laikotarpiais.

Visi praktiniai patarimai remiasi prielaida, kad egzistuoja kiti metodai, kitos konfigūracijos su kuriomis tiek tyrimo duomenys, tiek realūs finansiniai rodikliai duos geresnį norimą rezultatą, nei kad tyrime pasiūlytos, tačiau tam reikia papildomo kompiuterio veikimo laiko ir tyrimų skirtų paneigti arba patvirtinti šias prielaidas. Rekomenduotina neskubėti naudoti šios metodologijos realiams veiksams akcijų biržoje atlikti, o naudoti savo išdirbtą ir, geriausia būtų, laiko ir tyrimų patvirtintą metodą. Tačiau jo paieškos, yra kaip kad filosofo akmens paieškos, kuris bet kokią medžiagą turėtų transformuoti į auksą, o strategija - bet kokius biržos duomenis transformuoti į pelningas transakcijas.

Išvados

1. Finansiniai rodikliai yra stochastiniai ir nuolat kinta, todėl nebūtinai šios strategijos turės vienodus rezultatus su kitais finansiniais duomenimis.
2. Vidurkiai panaikina anomalines reikšmes.
3. Genetinio algoritmo kartų kiekis turi įtakos apsimokymo duomenims – kuo didesnis kartų skaičius, tuo vidutiniškai geresni optimizavimo rodikliai, tačiau nebūtinai taip yra su testavimo duomenimis.
4. Prekybos strategija, kuri persioptimizuoja ir nesimoko iš naujo vidutiniškai blogiau spėja testavimo duomenis esant dideliame genetinio algoritmo kartų skaičiui.
5. Nepersimokanti strategija vidutiniškai geriau optimizavo testavimo duomenis esant mažiems genetinio algoritmo kartų ir populiacijos parametrų.
6. Mokymosi iš naujo prekybos strategija, su žingsniu 50 geriau atspėja testavimo duomenis, nei ta pati strategija su žingsniu 20.
7. Transakcijų kiekis buvo vidutiniškai nežymiai labiau optimizuojamas nepersimokančios strategijos.
8. Portfelio vertė buvo vidutiniškai labiau optimizuota mokymosi iš naujo strategijos, tačiau tik 10%. Augant genetinio algoritmo kartų kiekiui, didėjo ir skirtumas, tarp nepersimokančios ir mokymosi iš naujo strategijos, kur pastaroji daugiau nei du kartus geriau optimizavo pagal portfelio vertę.

Šaltinių sąrašas

- [Ald10] I. Aldrige. High-Frequency Trading, A practical guide to Algorithmic Strategies and Trading Systems, John Wiley & Sons, INC., Hoboken, New Jersey, 2010.
- [CT05] G.Cornuejols, R.Tutuncu. Optimization Methods in Finance, Carnegie Mellon University, 2005.
- [DPA+02] K. Deb, A. Prapat, S. Agarwal, T. Meyerivan, A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm, IEEE transactions and evolutionary computation, Vol.6, No.2, 2002.
- [For98] P. Fortune. Weekends Can Be Rough: Revisiting the Weekend Effect in Stock Prices, Federal Reserve Bank of Boston, 1998
- [GS11] G.Gigerenzer, T.Sturm. How(far) can rationality be naturalized? Springer Science+Business Media B.V. 2011, p. 260.
- [HR18] W. P. Hamilton, R. Rhea. The Dow Theory, Horizon Publishing Company, 2018
- [Jen02] M.C. Jensen. Value Maximization, Stakeholder theory, and the corporate objective function, Business Ethics Quarterly, vol. 12, No. 2 (Apr., 2002) p. 235-256
- [Kau05] P. J. Kaufman. New Trading Systems and Methods, Fourth Edition, John Wiley & Sons, 2005.
- [LDZ+14] X. Li, X. Deng, S. Zhu, F. Wang, H. Xie. An intelligent market making strategy
in algorithmic trading, Higher Education Press and Springer-Verlag, 2014
- [MM14] L. Macijauskas, D.I. Maditinos. Looking for Synergy with Momentum in Main Asset Classes, European Research Studies Vol XVII, Issue (3), 2014.
- [RML13] A. Raudys, E. Malčius, V. Lenčiauskas, Moving averages for Financial Data Smoothing, Springer, 2013.

[RR11]

Š. Raudys, A. Raudys. High Frequency Trading Portfolio Optimisation: Integration of financial and human factors, 2011 11th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, 2011.