

МАТЕМАТИЧКА ГИМНАЗИЈА

МАТУРСКИ РАД
из предмета
анализа са алгебром
на тему

Стратегије за трговину акцијама

Ученик:
Јован Самарџић, IV_ц

Ментор:
Никола Митриновић

Београд, Јун 2019.

Садржај

1	Увод	3
2	Алгоритамско трговање	4
2.1	Начини трговања акцијама	4
2.2	Шта је алгоритамско трговање?	5
2.3	Историјат алгоритамског трговања	6
2.4	Предности и мане алгоритамског трговања	7
3	Бектестинг	9
3.1	Предности и мане бектестинга	9
3.2	Историјски подаци	10
3.3	Излази бектестинга	12
3.3.1	Добит	12
3.3.2	Колебљивост	13
3.3.3	Шарпов коефицијент	13
3.3.4	Падови добити	14
3.4	Имплементација бектестинга	14
4	Стратегије	17
4.1	Trend following	17
4.1.1	Simple moving average	17
4.1.2	Опис стратегије	18
4.1.3	Нумерички резултати	19
4.2	Mean Reversion	20
4.2.1	Опис стратегије	20
4.2.2	Нумерички резултати	20
4.3	Pair trading	21
4.3.1	Опис стратегије	21
4.3.2	Нумерички резултати	22
5	Закључак	24

Глава 1

Увод

Са трговином се сусрећемо сваког дана - када купујемо намирнице, одећу или размењујемо сличице. Једна од врсти трговине јесте и трговина на берзи (трејдовање), где се тргује хартијама од вредности – **акцијама** (деоницама), или другим финансијским инструментима [5]. Они имају своју вредност и зарађује се на променама тих вредности. Трговина акцијама се обавља преко берзанских посредника - **брокера** и **дилера**. Брокери су лица која обављају трансакције за особу или компанију која их је унајмила, а потом од посредовања у трансакцијама узимају одређени део. Дилери су лица која трансакције врше у своје име. У данашње време, посредници обично обављају обе улоге, најчешће у оквиру одговарајућих компанија – **брокерско-дилерских друштава**.

Данас је трговање акцијама јако популарно. У 2013. години на Њу-јоршкој берзи дневно се просечно размењивала вредност од преко 169 милијарди америчких долара. Цене акција су подложне честим променама, на које је потребно реаговати веома брзо. Зато се у трговини акцијама интензивно користе компјутери, као помоћ при израчунавању и доношењу одлука на берзи. Напретком технологије, компјутери су временом стицали све битнију улогу у трговању. Неретко, они у потпуности извршавају стратегије трговања које трговци (**трејдери**) претходно осмисле, што је познато као **алгоритамско трговање** [2].

Овај рад посвећен је управо алгоритамском трговању. Приказано је неколико различитих стратегија и описане су главне идеје које стоје иза сваке од њих. Помоћу одговарајућих параметара, стратегије су формулисане. Стратегије су симулиране користећи податаке о ценама акција са сајта *Yahoo Finance* [12]. Резултати су приказани табеларно и графички, а потом дискутовани. Стратегије су имплементиране у *MATLAB*-у [4], који је једно од најчешће коришћених програмских окружења у финансијској математици.

Глава 2

Алгоритамско трговање

2.1 Начини трговања акцијама

Постоје два основна начина трговања акцијама – тзв. long позиција и short позиција.

Трејдер заузима **long позицију** ако процени да ће вредност одређене акције порасти (слика 1). Тада он купује те акције, а касније их продаје по вишој цени. У разлици између вредности акције пре куповине и после продаје, остварује се профит.

Са друге стране, трејдер заузима **short позицију** ако процењује да ће вредност одређене акције опасти. Нека је цена неке акције данас 100 динара. Трејдер А предвиђа да ће вредност те акције сутра бити мања него данас. Он потом позајми акцију од неког другог трејдера Б уз малу накнаду, нпр. 1 динар, и обавезе се да ће акцију вратити у одређеном року, рецимо за један дан. Трејдер А позајмљену акцију одмах прода трећем трговцу, за 100 динара. Наредног дана, цена акције падне са



Слика 1: Кретање цена акција компаније *Google* у периоду 2004-2014

100 на 97 динара. Трејдер А сада купи акцију по новој цени и врати је трејдеру Б, уз договорену накнаду, 1 динар. Тако је трејдер А збирно профитирао 2 динара.

Шта би се десило да је процена трејдера била погрешна, нпр. да је претпоставио да ће вредност акције да порасте, међутим она опадне? Трејдерима се дешавају грешке у проценама, предвиђањима кретања вредности акције и они тада губе новац. Уколико би сваки трејдер увек зарађивао, трговање акцијама било би немогуће. У циљу остваривања што веће зараде, трејдери развијају различите стратегије на основу којих доносе одлуке у ком тренутку да тргују и на који начин.

Треба уочити да је највећи могући губитак код заузимања long позиције једнак цени акције, и то у случају када акција у потпуности изгуби вредност (нпр. компанија банкротира). Када је у питању заузимање short позиције, највећи могући губитак је неограничен, у случају да акција која је позајмљена стекне огромну вредност. Због овога, трејдери у стратегије које примењују обично укључују и контролу ризика. То значи да уколико за заузету позицију губитак превазиђе унапред задату вредност, та позиција се терминира.

2.2 Шта је алгоритамско трговање?

Када се почело трговањем акцијама, трејдери су сами на основу своје интуиције и прорачуна доносили одлуке на берзи. Међутим, као што је речено, цене акција су веома променљиве и на те промене потребно је реаговати брзо. Ако је циљ остварити значајнији профит, брзина реаговања је ван домашаја способности једног човека. Зато се израчунавања препуштају рачунару (слика 2), па је та брзина подигнута за један степен више. Рачунари су се годинама толико развили, да су они сада способни да као резултате обраде података дају потезе које трејдер треба да повуче на берзи. Начин трговања акцијама у којем се аутоматизовано тргује по већ осмишљеном програмском алгоритму зове се **алгоритамско трговање**.



Слика 2: Трејдери се свакодневно сусрећу са великим бројем података

2.3 Историјат алгоритамског трговања

Усвајање алгоритамског трговања почело је 70-их година прошлог века, тако што је *NYSE* (Њујоршка берза, слика 3) креирала електронски *DOT* систем, чија је улога била да прати, контролише и ограничава трансакције на берзи. Аутоматизовање се константно унапређивало, али највећи подстрек за усвајање алгоритамског трговања десио се 2001. године, када је компанија *IBM* објавила рад [8] у којем је представила две алгоритамске стратегије. Та компанија је истакла да би ове стратегије донеле профит од више милијарди америчких долара у односу на стратегије које су се ручно примењивале до тада. Ови резултати су мотивисали развој нових алгоритамских стратегија, као што су *trend following*, *mean reversion*, *pair trading*, а данас их постоји још више.



Слика 3: Њујоршка берза, у Вол Стриту

Некада су на берзи трговале искључиво компаније које улажу велики новац, међутим последица развитка алгоритамског трговања јесте то да свима пружа могућност да уђу у ове воде. Многи људи улазе на берзу са својим личним капиталом и од тога живе и прехрањују своје породице. Трејдери се оквирно могу поделити у три групе. Прву групу чине трејдери који располажу искључиво личним капиталом. Другу групу чине трејдери који поред свог капитала, добијају и одређен новац на располагање од фирме која их запошљава, али евентуални губици се покривају прво од личног капитала. Трећа група јесу трејдери који раде у некој компанији за унапред одређену плату и не носе никакве губитке, али су ограничени са добицима.

2.4 Предности и мане алгоритамског трговања

Алгоритамско трговање максимално искоришћава брзину данашњих рачунара, који могу да изврше операције за време реда величине наносекунде. Тако се ефикасно, у кратком року, може извршити велики број трансакција. На тај начин, профити који се остварују алгоритамским трговањем су вишеструко већи него када би се цео процес ручно изводио. Стога је улога људи у овој делатности данас углавном сведена на осмишљавање стратегија. Штавише, има мишљења да ће у блиској будућности рачунари у потпуности преузети све аспекте обављања овог посла.

Људски уплив је ипак неопходан, незаменљив. Рецимо да неку компанију оптуже за утају пореза и зато вредност акције те компаније ођедном вишеструко опадне. Да ли је рачунар могао да предвиди овакав след догађаја? Стратегије се, наиме, ослањају искључиво на историјске податке и њиховом обрадом дају предлоге за потезе на берзи, али оне не могу препознати неки изненадни догађај који може у потпуности да потресе берзу и да поремети цене акција на њој, као у датом примеру.

Исто тако, људска одговорност у берзанском трговању је и даље велика. Последице грешака могу бити веома штетне. У САД, криза стамбених кредита, која је у периоду од 2007-2010. године уздрмала комплетну економију ове светске силе, изазвана је управо недовољном контролом ризика. Наиме, банке су масовно одобравале стамбене кредите без плана за ситуацију да велики број дужника банкротира, а некретности којима су гарантовани њихови кредити опадне цена на тржишту.



Слика 4: Сливовити приказ економске кризе из прошле деценије

Слично, проблеми могу настати уколико програмери који су имплементирали стратегију, направе грешке у коду. Такве грешке могу да доведу до огромних новчаних губитака. На пример, 2012. године, компанија *Knight Capital Group* је баш због оваквог превида за само један дан изгубила преко 400 милиона америчких долара (слика 5).



Слика 5: Пропаст компаније *Knight Capital Group*

Глава 3

Бектестинг

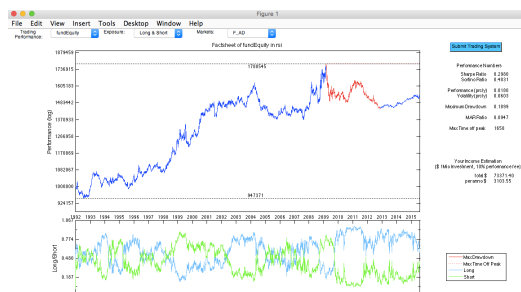
Сваки производ пре него што се избаци на тржиште мора да се подвргне одређеним тестирањима, на којима се утврђује да ли је производ спреман да буде коришћен и у коликој мери. На пример, уколико нека компанија производи телефоне, уређај који направе неће одмах бити у продавницама, него се прво утврђује да ли му све основне команде раде, да ли се прегрева, да ли му батерија траје довољно и слично. Уколико се испостави да телефон не испуњава одређене критеријуме, онда се мора унапређивати све док не буде задовољио све услове да се нађе у продавници. Кроз сличан процес пролазе и стратегије за трговање акцијама. У овом случају, процес тестирања назива се **бектестинг** (енг. backtesting). Оно подразумева да се стратегија симулира на историјским подацима. Када се симулација заврши, израчунавају се одређене вредности које одређују колико је стратегија добра. Уколико резултати нису задовољавајући, онда се стратегија побољшава, све док не буде довољно добра.

3.1 Предности и мане бектестинга

Већина стратегија које се примењују на тржишту су опште познате, односно публиковане у релевантним часописима. Трејдери често раде минорне промене тих стратегија, у циљу њиховог усавршавања. Како би се утврдило да ли је стратегија заиста боља након промена, измењена стратегија се опет бектестира. Историјски подаци који се користе у ову сврху су у ограниченој мери јавно расположиви – већина се може преузети бесплатно са интернета, а постоје и они који садрже детаљније информације, па се плаћају. Тако се две стратегије могу под истим условима, односно над истим подацима, симулирати и онда се упоређивањем резултата које бектестинг даје може утврдити која стратегија је боља.

Постоје компаније које нуде платформе за бектестирање. Стратегије се на њима симулирају и трејдер добија поменуте вредности на основу којих он може да утврди колико је стратегија добра. Уочљиво је да овде постоји ризик да стратегије могу бити украдене, па зато многи трејдери избегавају ову варијанту. Још једна мана овог начина бектестирања јесте и то што већина компанија наплаћује услуге коришћења њихових платформи.

Једна од онлајн платформи за бектестинг јесте *Quantiacs* [9] (слика 6). Истиче се по томе што сваког квартала организује конкурс (такмичење), у коме најбоље стратегије добијају стварни капитал којим победници конкурса тргују, примењујући своју стратегију.



Слика 6: *Quantiacs* платформа за бектестинг

Алтернативно решење јесте да трејдер сам имплементира бектестинг, тако што креира програм у било ком окружењу (нпр. *C/C++*, *Python* или *MATLAB*) који тестира његову стратегију. За потребе овог рада, одлучио сам се за овај приступ, при чему сам следио начин бектестинга као на *Quantiacs* платформи.

3.2 Историјски подаци

Трејдери зарађују тако што процењују колика ће вредност акције бити у будућности у односу на тренутну вредност акције. Они се служе вредностима акција из прошлости – обично се претпоставља да ће се кретања акција из прошлости на сличан начин одвијати и у будућности. На крају сваког дана, цене акција се записују и остају трајно запамћене као **историјски подаци**.

Историјски подаци се најчешће излажу у форми табеле (слика 7) у којој сваки ред представља један дан. Пошто се цене акција мењају и у току дана, у табеле се минимално уписује 5 различитих цена акција. То су:

- **open** – цена на почетку дана
- **close** – цена на крају дана
- **low** – најнижа цена у току дана
- **high** – највиша цена у току дана

Пета цена која се бележи јесте **adjusted close** цена, која је иста као close цена, осим када дође до тзв. сплитовања. То значи да се сваком трејдеру удвостручи број акција које поседује, али њихова вредност се преполови.

Свака од претходно наведених цена записује се у посебној колони. Поред тих 5 колона, наравно, постоји и колона у коју се уписује датум, како би се знало из ког дана су подаци у којем реду. На крају, колона **volume** представља број трансакција у току једног дана, односно колико пута је акција неке компаније продавана или купована у току једног дана.

AAPL

Date	Open	High	Low	Close	Adj Close	Volume
2013-12-31	79.167145	80.182854	79.14286	80.145714	67.919533	55771100
2014-01-02	79.382858	79.575714	78.860001	79.01857	66.964325	58671200
2014-01-03	78.980003	79.099998	77.204285	77.28286	65.493416	98116900
2014-01-06	76.778572	78.114288	76.228569	77.704285	65.850533	103152700
2014-01-07	77.760002	77.994286	76.845711	77.148575	65.379593	79302300
2014-01-08	76.972855	77.937141	76.955711	77.637146	65.793633	64632400
2014-01-09	78.114288	78.122856	76.478569	76.645714	64.953445	69787200
2014-01-10	77.118568	77.257141	75.872856	76.134285	64.520035	76244000
2014-01-13	75.701431	77.5	75.697144	76.53286	64.857819	94623200
2014-01-14	76.888573	78.104286	76.808571	78.055717	66.148376	83140400
2014-01-15	79.074287	80.028572	78.808571	79.622856	67.476418	97909700
2014-01-16	79.271431	79.550003	78.811432	79.178574	67.099922	57319500
2014-01-17	78.78286	78.867142	77.128571	77.238571	65.455879	106684900
2014-01-21	77.284286	78.581429	77.202858	78.438568	66.472824	82131700
2014-01-22	78.701431	79.612854	78.258568	78.78714	66.768219	94996300
2014-01-23	78.562859	79.5	77.830002	79.454285	67.333588	100809800
2014-01-24	79.14286	79.374283	77.821426	78.010002	66.109619	107338700

Слика 7: Историјски подаци за компанију *Apple* из 2014. године

Наведене цене акција се графички најчешће представљају као **candlestick chart** (слика 8), што у буквалном преводу значи „свећа” дијаграм. Када погледамо како тај график изгледа, јасно је и одакле такво име. Сваки дан, на дијаграму је представљен тзв. свећом (слика) која се састоји два дела – правоугаоника и линије. Врх и дно линије респективно представљају high и low цену, док крајеви правоугаоника представљају open

и close цену. Уколико је правоугаоник обојен зеленом, то значи да је close цена већа од орен цене тог дана, а уколико је правоугаоник обојен црвеном, онда важи обрнуто – орен цена је већа од close цене тог дана. Некада, уместо зеленог и црвеног бојења, користе се редом празан и попуњен правоугаоник.



Слика 8: Candlestick chart

3.3 Излази бектестинга

Резултати бектестинга су разне величине које одређују перформансе стратегије. Свака од тих величина биће укратко дефинисана, а касније ће бити описан и начин на који се рачуна.

3.3.1 Добит

Добит (енг. return) је величина која показује однос зараде и почетног капитала. Она се најчешће рачуна на дневном или годишњем нивоу.

Нека је n број дана за које је бектестингом стратегија симулирана. Нека низ R дужине n садржи вредности дневних добити за тај период. **Средња дневна добит** R_d (енг. return daily) се рачуна по формули:

$$R_d = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n (1 + R_i)} - 1$$

По конвенцији, узима се да берза ради 252 дана годишње (не ради викендом и државним празницима). Зато се **средња годишња добит** R_a (енг. return annualy) рачуна по формули:

$$R_a = (1 + R_d)^{252} - 1$$

3.3.2 Колебљивост

Колебљивост (енг. volatility) је величина која показује меру дисперзије добити, тиме и ризик улагања. Као оцена колебаљивости, узима се стандардна девијација добити.

Стандардна девијација (σ) читавог низа добити R се рачуна по познатој формули:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}$$

где је \bar{R} средња вредност низа R :

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$$

Колебљивост на годишњем нивоу се рачуна на следећи начин [7]:

$$V_a = \sigma \sqrt{252}$$

3.3.3 Шарпов коефицијент

Шарпов коефицијент [10] (енг. Sharpe ratio) је стандардно мерило перформанси стратегије. Добио је име по америчком економу Вилијаму Шарпу, добитнику Нобелове награде за економију 1990. године.

Средња добит, сама по себи, не одражава перформансе стратегије. Прво, од ње треба одузети **средњу каматну стопу** (енг. risk free return), зато што се претпоставља да је то гарантована добит, која се може остварити и улагањем капитала у банку. Друго, средња добит не приказује флукуацију зараде. Зато је делимо са вредношћу колебаљивости и на тај начин урачунавамо и ризик који стратегија са собом носи.

Зато, коефицијент (SR) се рачуна се на годишњем нивоу по следећој формули:

$$SR = \frac{R_a - R_{rf}}{V_a}$$

где је R_{rf} средња каматна стопа на годишњем нивоу.

Према томе, Шарпов коефицијент је директно сразмеран добити, а супротно сразмеран колебаљивости. Сматра се да је стратегија која даје Шарпов коефицијент већи од 1 врло добра, већи од 2 одлична, а уколико је већи од 3, онда је стратегија заиста извандредна.

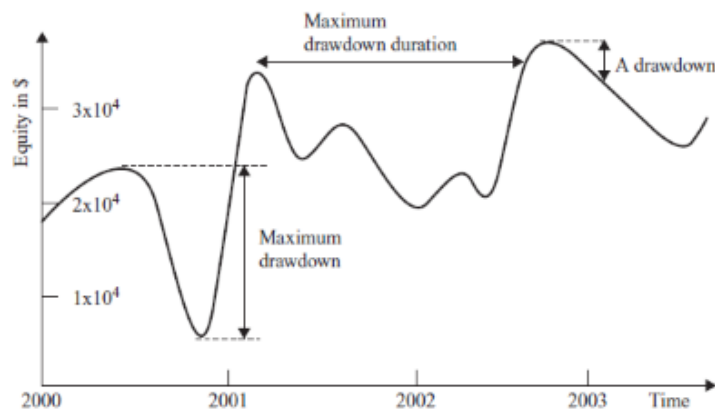
3.3.4 Падови добити

Бектестинг обично рачуна још две величине, које се односе на падове добити. То су **највећи пад** (енг. maximum drawdown) и **најдужи пад** (енг. maximum drawdown duration) добити.

Слика 9 приказује кретање уложеног капитала приликом трговања неком стратегијом на берзи, као и вредности поменутих величина за ту стратегију.

Приликом трејдовања, падом (енг. drawdown) се означава сваки губитак капитала у односу на претходни максимални капитал. Највећи пад представља максимални количник губитка (у односу на претходни максимални капитал) и тог максималног капитала.

Највећи и најдужи пад су помоћне величине, које служе при одабиру међу стратегијама које имају сличан Шарпов коефицијент.



Слика 9: Пример рачунања највећег и најдужег пада

3.4 Имплементација бектестинга

Као што је већ речено, бацктестинг је ручно имплементиран по узору на *Quantiacs* платформу.

Функција `backtesting` као улаз прима функцију која имплементира стратегију и опционо још неке параметре, који су испод набројани. Свака стратегија је имплементирана као засебна функција, али све имају идентичан интерфејс – улазни аргументи су структура која садржи параметре дате стратегије, матрица са close ценама и вектор са претходним вредностима позиција (овај аргумент је истовремено и излазни аргумент,

детаљније је објашњен ниже). Елементи структуре са параметрима се разликују у зависности од стратегије, осим низа са именима финансијских инструмената којима се тргује, који је обавезан. Финансијски инструмент може бити нпр. акција неке компаније чијим се акцијама тргује, роба попут злата или нафте, страна валута итд.

Параметри стратегије могу бити фиксирани и у самој функцији, тако да је поменута структура са параметрима истовремено и резултат који враћа функција. Други резултат је вектор позиција, по једна вредност за сваки финансијски инструмент којим стратегија оперише. Функција поставља позитивну вредност уколико треба да се заузме long позиција, негативну вредност за short позицију и вредност 0 уколико капитал не треба да се улаже у дати инструмент.

Наиме, да би трејдер што боље искористио расположиви капитал, он га дели на више делова, а сваким од тих делова он тргује различитим финансијским инструментом. Зато функција **backtesting** нормализује вектор позиција и на тај начин се добија други вектор са процентима капитала које треба уложити у одређени финансијски инструмент, тзв. **вектор алокације** (енг. allocation).

Главна петља функције **backtesting** веродостојно симулира дешавања на берзи. На почетку сваке итерације алокације капитала и жељене позиције смештене су у одговарајућим векторима, који су иницијално постављени на нула векторе.

Свака итерација ажурира вредност добити. То се постиже у три корака:

1. Израчунава добит на основу промене цена на берзи у току ноћи. Иако берза не ради у току ноћи, орен цене нису исте као close цене из претходног дана, већ се формирају на основу потражње или неких других фактора.
2. Израчунава се губитак услед неликвидности, тзв. **slippage**. Неликвидност подразумева да датих финансијских инструмената можда нема довољно на тржишту, било у смислу потражње или понуде. Због тога, трејдер неће моћи њима да тргује по орен цени, већ по некој другој цени током дана. Зато се у симулацијама урачунава губитак по том основу који стандардно износи 5% од разлике high и low цена за тај дан. Након тога, ажурира се вектор алокација.
3. Израчунава добит на основу промене цена на берзи од отварања до затварања берзе, тј. од орен до close цена за тај дан.

На крају главне петље, покреће се функција која имплементира стратегију, што се типично ради у току ноћи, док берза не ради. Резултати

овог израчунавања су нове позиције које се примењују у наредном дану.

Помињани опциони аргументи функције `backtesting` су:

- структура са параметрима стратегије
- вредност средње каматне стопе
- проценат разлике између high и low цене за одређени дан, који се користи за израчунавање неликвидности, уколико се разликује од стандардних 5%
- распон дана у расположивим историјским подацима који се користи за потребе бектестинга

За тестирање сваке од стратегије, имплементирана је посебна процедура. У свакој од њих се варирају параметри стратегија и репетативно позива бектестинг процедура над датом стратегијом, у циљу проналажења оптималне комбинације параметара, која даје максимални Шарпов коефицијент. За ове потребе, користи се првих 80% историјских података. Оптималне вредности параметара стратегије су потом уписане у код одговарајуће функције стратегије. Потом се процедура `backtesting` поново покреће над стратегијом, овај пут над преосталих 20% историјских података и резултујући Шарпов коефицијент је финални индикатор успешности стратегије.

Комплетни *MATLAB* програмски код приложен је уз рад.

Глава 4

Стратегије

4.1 Trend following

Када цена акције неко време континуално расте, каже се да је тренд те акције растући. У супротном, каже се да је тренд опадајући. **Trend following** [1] је стратегија која прати тренд, односно акције се купују када је тренд растући, а када је тренд опадајући акције се продају. Ова стратегија, ослањајући се на тренутни тренд, доноси мање добитке, који се временом акумулирају и доносе значајнију зараду. Када цена акције крене да расте, трејдер прати тренд, одн. купује те акције, јер тренд указује да ће цена акције бити још виша у блиској будућности. Уколико цена акције крене да опада, трејдер продаје те акције, јер тренд указује да ће цена акције бити још нижа. Циљ је продати акцију по што вишој цени, одн. пре него што цена крене да јој пада, а купити је по што нижој цени, одн. пре него што цена крене да јој расте.

4.1.1 Simple moving average

Оптималан приступ би био када би стратегија могла да предвиди промене монотоности кретања цене акције. Наравно, то је немогуће, па се зато стратегија базира на редуковању размака између тренутка промене монотоности и тренутка регистровања те промене.

У том циљу, стратегија користи помоћну варијаблу **simple moving average** (скраћено *SMA*), што би у буквалном преводу значило – прости покретни просек. *SMA* се рачуна као аритметичка средина цена акција у одређеном периоду. Уколико су $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ цене акције у претходних

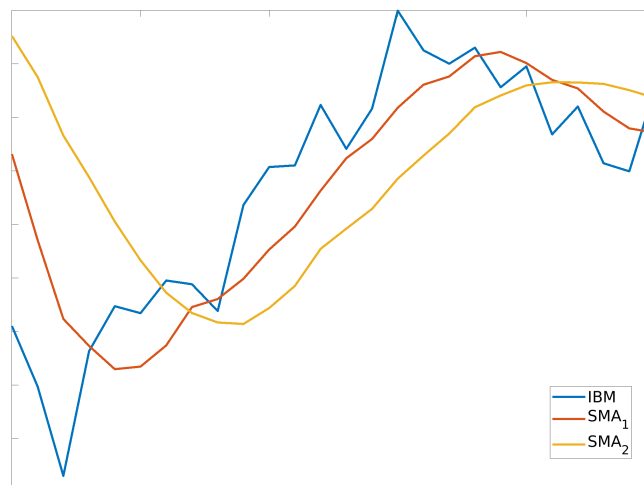
n дана, онда је SMA одређен следећом формулом:

$$SMA(n) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n p_i$$

Променљива n назива се **период**. Што је период већи, то ће зависност SMA од времена бити „глађа” у односу на кретање цене акције, односно мање ће се мењати, а ако посматрамо краћи период иста зависност ће се чешће мењати, одн. прецизније ће пратити цене акције.

4.1.2 Опис стратегије

Посматрајмо SMA за два различита периода n , означена са n_1 и n_2 ($n_1 < n_2$). Стратегија trend following узима за промену тренда тренутак у којем вредност $SMA(n_1)$ постаје већа или мања од $SMA(n_2)$. Уколико $SMA(n_1)$ постане веће од $SMA(n_2)$, тренд је растући, док у обрнутом случају тренд је опадајући.



Слика 10: Графички приказ величине SMA

Слика 10 илуструје стратегију на примеру акција компаније *IBM*, са параметрима $n_1 = 5$ и $n_2 = 10$. Плавом бојом приказана је цена акција, црвеном $SMA(n_1)$ и жутом $SMA(n_2)$. На почетку све три вредности опадају. Када цена акције почне да расте, $SMA(n_1)$ ће брже регистровати промену, па ће почети да расте раније у односу на $SMA(n_2)$. Стратегија

заузима long позицију у тренутку када $SMA(n_1)$ постане веће $SMA(n_2)$. Након извесног времена, цена акције почиње да опада и $SMA(n_1)$ опет брже региструје промену у односу на $SMA(n_2)$. Када $SMA(n_1)$ постане мање од $SMA(n_2)$, стратегија заузима short позицију.

4.1.3 Нумерички резултати

За различито изабране вредности n_1 и n_2 , стратегија даје различите резултате. Кроз бектестинг се испробавају одређене комбинације у оквиру неког интервала, па се бирају оне вредности за n_1 и n_2 које дају максималан Шарпов коефицијент.

У табели 1 су издвојени релевантни резултати тестирања, односно Шарпови коефицијенти, за првих 80% података на скупу акција компанија *Apple*, *Amazon* и *Facebook* за дате вредности n_1 и n_2 .

$n_1 \backslash n_2$	40	44	48	52	56
8	-0.0194	0.0004	-0.1055	0.0300	0.0744
12	0.3424	0.2140	0.4947	0.5360	0.3902
16	0.4470	0.5258	0.8551	0.5324	0.3995
20	0.7351	0.4880	0.3188	0.3801	0.3216
24	0.2521	0.2469	0.2918	0.4527	0.2186

Табела 1: Вредности Шарповог коефицијента за одређене n_1 и n_2

Уочава се да је максимални Шарпов коефицијент у табели једнак 0.855067, за $n_1 = 16$ и $n_2 = 48$. Када се те вредности уврсте у бектестинг за преосталих 20% података, добијају се следећи резултати:

- Шарпов коефицијент: 0.654179
- Највећи пад: 0.155734
- Најдужи пад: 171

4.2 Mean Reversion

У стратегију trend following, трејдер је претпостављао да ће цена акције да настави да се креће у истом смеру као до тада, било да цена акције расте, било да опада. Са друге стране, неки трејдери ситуацију посматрају из супротног угла. Уколико цена акције значајније порасте, они крећу од претпоставке да ће у блиској будућности променити смер кретања, одн. да ће након скока доћи до пада. Исто важи и у супротном случају – уколико се цена акције значајније смањи, трејдери претпостављају да ће се у скорије време цена акције повећати. Овакав приступ резултује стратегијом која се назива **mean reversion** [3].

4.2.1 Опис стратегије

Ова стратегија, као и trend following, користи величину SMA , која је већ дефинисана и описана у поглављу 4.1.1. Поново се посматрају два периода, нпр. n_1 и n_2 ($n_1 < n_2$). Количник $SMA(n_1)/SMA(n_2)$ показује колико је цена акције дивергирала. Уколико је овај количник већи од 1, трејдер онда очекује да ће се она смањити у блиској будућности, па је та акција кандидат за заузимање схорт позиције. Еквивалентно, уколико је овај количник мањи од 1, претпоставља се да ће цена акције да порасте у скорије време, па је онда та акција кандидат за заузимање long позиције. Од свих кандидата за short позицију, бира се онај, један или више, који има максималну вредност, док се од свих кандидата за long позицију бира онај, један или више, који има минималну вредност количника $SMA(n_1)/SMA(n_2)$. У остале акције се у датом тренутку не улаже капитал.

4.2.2 Нумерички резултати

Бектестинг ће поново бити извршен над 3 компаније, али овај пут то ће бити *Coca-Cola*, *McDonalds* и *Starbucks*. За различито изабране вредности променљивих, стратегија даје различите резултате. Као код trend following стратегије, Шарпов коефицијент зависи од избора периода n_1 и n_2 . У табели 2 издвојени су релевантни резултати бектестирања над првих 80% историјских података:

Оптимални резултат добијен је за $n_1 = 11$, $n_2 = 29$. Вредност Шарповог коефицијента за овако изабране вредности је 0.645389. Резултати бектестинга за преосталих 20% података су следећи:

$n_1 \backslash n_2$	25	26	27	28	29
10	0.2402	0.3072	0.4262	0.4063	0.4728
11	0.3395	0.4375	0.3578	0.5609	0.6454
12	0.2627	0.4574	0.4534	0.5384	0.5980
13	0.2669	0.5095	0.4814	0.4576	0.4076
14	0.1155	0.1554	0.2764	0.3667	0.5436

Табела 2: Вредности Шарповог коефицијента за одређене n_1 и n_2

- Шарпов коефицијент: 0.538640
- Највећи пад: 0.093748
- Најдужи пад: 141

4.3 Pair trading

Ова стратегија се значајно разликује од претходне две, како по помоћним величинама које се користе, тако и по сложености. Идеја ове стратегије јесте да се уоче две акције чије се цене мењају на сличан начин, а то су обично компаније из исте индустрије. На пример, вредности компаније *Coca-Cola* и *Pepsi* се слично крећу, зато што користе исте сировине за производњу пића, а имају и исто циљно тржиште. Дакле, не посматрају се појединачне акције, већ у паровима, па се ова стратегија назива **pair trading** [6].

4.3.1 Опис стратегије

У основној варијанти ове стратегије претпоставља се линеарна пропорционалност између акција који сачињавају пар. У оквиру пара, једном акцијом се тргује, док друга служи као оријентир.

Прво се нумеричком методом најмањих квадрата израчунава коефицијент пропорционалности a акција једног пара, на основу претходних m дана. Потом се израчунава вектор одступања (eng. **spread**) у односу на референтну акцију, такође за претходних m дана. То се постиже тако што се од вредности референтне акције за сваки дан одузима вредност друге акције за исти дан помножена претходно израчунатим коефицијентом. Средња вредност и стандардна девијација тог вектора се онда одреде по формулама из поглавља 3.3.2.

Потом се рачуна вредност одступања за текући дан (eng. **spread current**) и пореди са две границе. Лева граница једнака је збиру аритметичке средине са производом стандардне девијације и негативне величине **lomark**, која је параметар стратегије. Уколико је *spread current* мањи од те границе, онда се заузима long позиција, зато што се очекује да ће се цене посматраних акција вратити на линеарну пропорционалност. Аналогно, десна граница је једнака збиру аритметичке средине са производом стандардне девијације и позитивном величином **himark**, која је такође параметар стратегије. Уколико је *spread current* већи од те границе, заузима се short позиција. Уколико се *spread current* налази између те две границе, онда се заузима иста позиција као и претходни дан, све док *spread current* не пређе на другу страну у односу на средину. Тада се у дату акцију из пара тог дана не улаже капитал.

4.3.2 Нумерички резултати

Бектестинг је извршен над 2 пара компанија. Први пар чине *General Motors* и *Ford*, компаније из ауто индустрије, док други пар чине *The Procter & Gamble Company* и *Johnson & Johnson*, компаније из фармацеутске индустрије. С обзиром да су резултати ове стратегије одређени са три помоћне величине, бектестирање ће давати доста већи број резултата него у претходним тестирањима, па ће они бити презентирани кроз три табеле (табеле 3, 4 и 5) где је свака од њих одређена различитом вредношћу за период m . У табелама су издвојени релевантни резултати бектестирања над првих 80% историјских података:

$himark \backslash lomark$	-0.8	-1.0	-1.2	-1.4	-1.6
1.2	0.4735	0.3652	0.3074	0.3452	0.2481
1.4	0.3101	0.2047	0.1543	0.1897	0.0954
1.6	0.5038	0.3979	0.3403	0.3761	0.2843
1.8	0.5993	0.5165	0.4527	0.4926	0.3977
2.0	0.6997	0.6177	0.5505	0.5884	0.4858

Табела 3: Вредности Шарповог коефицијента за $m = 26$

$himark \backslash lomark$	-0.8	-1.0	-1.2	-1.4	-1.6
1.2	0.4789	0.5438	0.4139	0.4064	0.2853
1.4	0.4624	0.5252	0.3972	0.3898	0.2699
1.6	0.6563	0.7193	0.5854	0.5780	0.4576
1.8	0.7630	0.8333	0.6917	0.6838	0.5600
2.0	0.6842	0.7800	0.6400	0.6323	0.4128

Табела 4: Вредности Шарповог коефицијента за $m = 28$

$himark \backslash lomark$	-0.8	-1.0	-1.2	-1.4	-1.6
1.2	0.4887	0.4460	0.3303	0.2327	0.1842
1.4	0.5065	0.4638	0.3495	0.2135	0.1657
1.6	0.8114	0.7678	0.6481	0.5045	0.4560
1.8	0.7100	0.6669	0.5506	0.4103	0.3623
2.0	0.7350	0.6916	0.5038	0.3618	0.2792

Табела 5: Вредности Шарповог коефицијента за $m = 30$

Оптимални резултат добијен је за $m = 28$, $lomark = -1$ и $himark = 1.8$. Вредност Шарповог коефицијента за овако изабране вредности је 0.833341. Резултати бацктестинга за преосталих 20% података су следећи:

- Шарпов коефицијент: 0.766101
- Највећи пад: 0.083904
- Најдужи пад: 74

Глава 5

Закључак

Бити трејдер данас је популарно и њихов број је велик. Иако компјутери добијају све већу улогу у овом послу, увек се траже нове идеје које могу донети што већу зараду. У оквиру овог рада, представљене су и имплементирани неке од основних стратегија за алгоритамско трговање. Свака сложенија стратегија углавном настаје композицијом или прерадом једноставнијих, најчешће полазећи од trend following или mean reversion стратегија.

Осим стратегија, имплементиран је и бектестинг. За први део бектестирања, којим се одређују оптимални параметри стратегије на првих 80% историјских података добија се очекиван Шарпов коефицијент који се креће око 0.75. За бектестирање преосталих 20% историјских података, такође очекивано добија се мало мањи Шарпов коефицијент.

Свакако, имплементација стратегија и бектестинга оставља простор за могућа унапређења, као на пример:

- модификације постојећих стратегија
- додавање контроле ризика, нпр. коришћењем најдуже и највећег пада који се већ рачунају
- паралелизација, која би омогућила тестирање ширег опсега за параметре
- темељнији приступ избору компанија чијим акцијама се тргује, нпр. разматрањем коефицијента корелације у pair trading стратегији, који одређује колико слично се крећу цене акција двеју компанија
- неравномерна расподела капитала по финансијским инструментима

Библиографија

- [1] Kedrick Brown, *Trend Trading: Timing Market Tides*, John Wiley & Sons, 2006
- [2] Ernest P. Chan, *Quantitative Trading – How to Build Your Own Algorithmic Trading Business*, John Wiley & Sons, 2009
- [3] Babak Mahdavi Damghani, *The Non-Misleading Value of Inferred Correlation: An Introduction to the Cointelation Model*, Wilmott, Vol. 2013, No. 1, 50–61
- [4] Desmond J. Higham, Nicholas J. Higham, *MATLAB Guide*, SIAM, 2017
- [5] John C. Hull, *Options, Futures, and Other Derivatives*, Pearson, 2018
- [6] Takashi Kanamura, Svetlozar T. Rachev, Frank J. Fabozzi, *The Application of Pairs Trading to Energy Futures Markets*, Technical report, University of arlsruhe Institute of Technology, 2008
- [7] Andrew W. Lo, *The Statistics of Sharpe Ratios*, Financial Analysts Journal, Vol. 58, No. 4, 36–52
- [8] Gerald Tesauero, Rajarshi Das, *High-performance bidding agents for the continuous double auction*, Proceedings of the 3rd ACM conference on Electronic Commerce, 2001, 206–209
- [9] <https://www.quantiacs.com/>
- [10] William F. Sharpe, *The Sharpe Ratio*, The Journal of Portfolio Management, Vol. 21, No. 1, 49–58
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Algorithmic_trading
- [12] <https://finance.yahoo.com/>