



UNIVERZITET U NOVOM ŠADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA MATEMATIKU I
INFORMATIKU



Ana Pavlović

PROCENA PARAMETARA ZA MODEL DINAMIKE TRŽIŠTA SA RAZLIČITIM STANJIMA

- MASTER RAD -

Novi Sad, 2017.

Sadržaj

Predgovor	7
1 Pregled osnovnih definicija i teorema	9
2 Struktura tržišta	15
2.1 Likvidnost i transparentnost	16
2.2 Učesnici na tržištu	16
2.2.1 Kupovna strana	17
2.2.2 Prodajna strana	17
2.3 Vrste finansijskih tržišta	18
2.4 Mikrostruktura tržišta	19
2.4.1 Nalozi	20
2.4.2 Knjiga naloga	21
2.4.3 Razlika kupovne i prodajne cene	22
2.4.4 Dubina i detalji tržišta	22
2.5 Tržišni impakt	23
3 Algoritamsko trgovanje	25
3.1 Proces trgovanja	26
3.2 Definisanje strategije trgovanja	27
3.2.1 Dinamika cene	27
3.3 Vrste algoritama	28
3.3.1 Algoritmi koji prate referentnu vrednost	29
3.3.2 Algoritmi koji minimiziraju troškove	33
3.4 Visokofrekventna trgovina	34
4 Postavljanje problema i analiza podataka	35
4.1 Pretpostavke o stanjima i pregled strukture podataka	35
4.1.1 Podaci	36
4.2 Standardna devijacija uzorka i pokretni prosek (MA) kao parametri za generisanje stanja	39

4.2.1	Definisanje stanja	40
4.2.2	Određivanje nepoznatih veličina	41
5	Ostvareni rezultati	45
5.1	Osnovni cilj	45
5.2	Empirijski rezultati	47
5.3	Rezultati kao osnova za dalja istraživanja	51
	Zaključak	53
	Prilozi	54
	Literatura	59

Popis slika

2.4.1 Tipična knjiga naloga.	21
3.3.1 VWAP profil izvršenja	31
3.3.2 IS profil izvršenja	34
4.1.1 Stanja na tržištu	36
4.1.2 Struktura podataka	37
4.1.3 Primer homogenizacije podataka	38
4.2.1 Primer generisanja stanja nad podacima	42
4.2.2 Primer M1 segmenta	43
4.2.3 Primer M3 segmenta	43
5.1.1 Verovatnoće nastupanja određenog segmenta (a) i određenog stanja (b).	46
5.2.1 Ostvarene verovatnoće prelaza iz M1 segmenta.	48
5.2.2 Ostvarene verovatnoće prelaza iz M2 segmenta.	49
5.2.3 Ostvarene verovatnoće prelaza iz M3 segmenta.	49
5.2.4 Primer prelaza tržišta iz stanja M1 u stanje M3.	50
5.2.5 Primer prelaza tržišta iz stanja M2 u stanje M1.	50

Predgovor

“Ako sam video dalje od drugih, to je zato što sam stajao na ramenima divova.”

Isak Njutn (1643 - 1727) - engleski fizičar, matematičar, astronom, alhemičar i filozof prirode

Primenjena matematika je zastupljena u svim sferama našeg života, a njeno razumevanje otvara vrata sasvim drugačijem pogledu na svet koji nas okružuje. U spektru primene koju matematika nudi teško je ne pronaći svoje polje interesovanja, a za mene je to definitivno primena matematike u ekonomiji i finansijama.

Finansijska tržišta predstavljaju veoma dinamično okruženje koje povezuje dve značajne makroekonomske kategorije, štednju i investicije. Pored toga što aktivnosti na ovim tržištima imaju direktan učinak na bogatstvo pojedinca, preduzeća, finansijske institucije, ona direktno utiču i na ukupan rezultat cele privrede. Finansijska tržišta predstavljaju najznačajniji i najose-tljiviji deo ukupnog ekonomskog i finansijskog sistema svake zemlje.

Razvoj tehnologije je proširio obim finansijskih tržišta van svih regiona i državnih granica, povezujući investitore sa svih tržišta i tako pojačavajući konkurenciju na postojećim tržišnim centrima. Moderne tehnike algoritamskog trgovanja danas predstavljaju jedan od sektora u koji se najviše ulaže, a samom razvoju ovih tehnika doprinose znanja iz mnogih nauka i sfera.

Master rad se bavi problemom prepoznavanja različitih uslova koji vladaju na finansijskim tržištima, njihovim analiziranjem i predviđanjem. Osnovni ciljevi učesnika na finansijskim tržištima se ogledaju u maksimizaciji profita i dobrom upravljanju portfoliom. Kako bi ostvarili ove ciljeve učesnici moraju dobro da poznaju samo tržište, sve uslove koji vladaju na njemu i da budu u stanju da se konstantno prilagođavaju promenama koje se na njemu dešavaju.

Prvo poglavlje daje osvrt na deo matematičke osnove koja je korišćena u samoj izradi rada.

Drugo poglavlje opisuje finansijska tržišta: njihove najvažnije karakteristike, vrste, ko su učesnici na njima, šta su nalozi i kakve vrste naloga postoje. Finansijska tržišta se nalaze u stanju konstantne adaptacije i razvoja, i zato je jako bitno razumeti sve komponente koje ih čine.

Nova, elektronska tržišta obezbeđuju učesnicima trgovanje sa niskim troškovima i time postavljaju pritisak na postojeća tržišta. Algoritamsko trgovanje utiče pozitivno na efikasnost i likvidnost tržišta i olakšava ostvarivanje dobiti od trgovine. Više od 50% izvršenih trejdova na američkim berzama su izvršeni algoritamskim trgovanjem. Tehnike algoritamskog trgovanja predstavljaju novu realnost koja će oblikovati procese trgovanja u godinama koje dolaze. Osnovne karakteristike ovog vida trgovanja, definisanje strategije trgovanja kao i vrste algoritama koje su zastupljenje opisane su u trećem poglavlju.

Naredno poglavlje definiše osnovu za postizanje željenih rezultata. U ovom poglavlju su postavljene osnovne pretpostavke i opisani podacima na kojima se zasniva ceo rad. Najveći deo poglavlja je posvećen tehnikama koje su korišćene prilikom generisanja stanja na finansijskim tržištima i tako ostvarenim rezultatima.

Peto, poslednje poglavlje sadrži detaljno postavljanje cilja i ostvarene rezultate, kao i njihovo tumačenje. Prilikom izrade samog rada javljale su se mnogobrojne ideje daljih analiza koje mogu da se sprovode na osnovu dobijenih rezultata, koje su takođe pomenute u ovom poglavlju.

Studiranje za mene predstavlja ključan korak u oblikovanju mladog čoveka, a pronalaženje sebe u onome što učiš i uživanje u tome je velika privilegija. Studiranje primenjene matematike je za mene bilo upravo to. Iz tog razloga želim da iskažem ogromnu zahvalnost svima koji su mi to omogućili.

Najveću zahvalnost dugujem mojoj majci, za безусловnu podršku, za svu ljubav i sva odricanja koja je podnela da bih ja postala ovo što jesam. Jeleni i Mirku koji su nepresušan izvor motivacije, hrabrosti i smeha.

Posebnu zahvalnost dugujem mojoj mentorki, prof. dr Nataši Krejić, za sve nesebične savete i smernice, posvećeno vreme, podsticanje i podršku kako tokom pisanja rada, tako i tokom studiranja.

Takođe, zahvalila bih se svim profesorima i asistentima koji su bili deo mog studiranja, svi su ostavili trag i pomogli mi da bolje upoznam sebe. Posebno hvala dr Ivani Vojnović, njena posvećenost i podrška su u velikoj meri uticali na moje studiranje.

Zahvalnost dugujem i dr Miles Kumaresan-u za formulisanje problema, podatke, ali i za svo posvećeno vreme.

Glava 1

Pregled osnovnih definicija i teorema

U cilju što boljeg razumevanja rada, postavljanja problema i korišćenih metodologija izdvojene su osnovne definicije, teoreme i pojmovi korišćeni prilikom izrade rada.

Definicija 1.0.1 *Slučajan događaj A (ili samo događaj A) je podskup skupa elementarnih događaja Ω . On se sastoji od onih elementarnih događaja ω koji imaju svojstvo kojim se događaj A definiše.*

Aksioma 1.0.1 (Aksioma σ -polja)

Podskup \mathcal{F} partitivnog skupa $\mathcal{P}(\Omega)$ je σ -polje (σ -algebra) nad Ω ako važe uslovi:

1. $\Omega \in \mathcal{F}$,
2. ako $A \in \mathcal{F}$, onda $\bar{A} \in \mathcal{F}$, pri čemu je \bar{A} komplement skupa A ,
3. ako $\{A_i\}_{i \in \mathbb{N}} \subseteq \mathcal{F}$, onda $\bigcup_{i=1}^{\infty} A_i \in \mathcal{F}$.

Definicija 1.0.2 *Borelovo σ -polje $\mathcal{B} = \mathcal{B}(\mathbb{R})$ je σ -polje definisano nad skupom realnih brojeva. Formira se pomoću familije poluotvorenih intervala $[a, b)$, $a, b \in \mathbb{R}$ i sadrži sve skupove koji se dobijaju kao konačne ili prebrojive unije ili preseki te familije, kao i skupove koji se dobijaju uzimanjem komplementa. Borelova σ -algebra $\mathcal{B}(\mathbb{R})$ je najmanja σ -algebra koja sadrži sve otvorene podskupove skupa realnih brojeva.*

Aksioma 1.0.2 (Aksioma verovatnoće)

Neka je Ω skup elementarnih događaja i \mathcal{F} σ -polje nad Ω . Funkcija $P : \mathcal{F} \rightarrow [0, 1]$ se zove verovatnoća na prostoru (Ω, \mathcal{F}) ako zadovoljava sledeće uslove:

1. $P(\Omega) = 1$,
2. Ako $\{A_i\}_{i \in \mathbb{N}} \subseteq \mathcal{F}$, $A_i \cap A_j = \emptyset$, $i \neq j$, $i, j = 1, 2, \dots$, onda

$$P\left(\sum_{i=1}^{\infty} A_i\right) = \sum_{i=1}^{\infty} P(A_i).$$

Prostor verovatnoća je uređena trojka (Ω, \mathcal{F}, P) , gde je Ω skup svih elementarnih događaja, \mathcal{F} je σ -polje nad Ω , a P je verovatnoća na (Ω, \mathcal{F}) .

Definicija 1.0.3 Neka je (Ω, \mathcal{F}, P) prostor verovatnoća i $A, B \in \mathcal{F}$, pri čemu je $P(B) > 0$. Uslovna verovatnoća $P(A|B)$ (verovatnoća događaja A pod uslovom da se realizovao događaj B) je

$$P(A|B) = \frac{P(AB)}{P(B)}.$$

Definicija 1.0.4 Preslikavanje $X : \Omega \rightarrow \mathbb{R}$ je slučajna promenljiva nad prostorom verovatnoća (Ω, \mathcal{F}, P) ako $X^{-1}(S) \in \mathcal{F}$ za svako $S \in \mathcal{B}$, gde je $\mathcal{B} = \mathcal{B}(\mathbb{R})$ Borelovo σ -polje. Ekvivalentno, kažemo da je X \mathcal{F} -merljivo.

Definicija 1.0.5 Slučajna promenljiva X je diskretna (diskretnog tipa) ako postoji prebrojiv skup brojeva R_X takav da je $P\{X \in \overline{R_X}\} = 0$, odnosno ako je skup slika od X najviše prebrojiv skup.

Ako je $R_X = \{x_1, x_2, \dots\}$ skup različitih vrednosti slučajne promenljive X diskretnog tipa, tada sa $p(x_i)$, $i = 1, 2, \dots$, označavamo verovatnoću događaja $\{X = x_i\} = \{\omega | X(\omega) = x_i\}$:

$$p(x_i) = P\{\omega \in \Omega | X(\omega) = x_i\} = P\{X = x_i\}, \quad i = 1, 2, \dots$$

Obzirom da je

$$\{X = x_i\} \cap \{X = x_j\} = \emptyset, \quad i \neq j, \quad i, j \in \mathbb{N},$$

očigledno je da važi

$$\Omega = \sum_{n \in \mathbb{N}} \{X = x_n\}.$$

Zato je

$$\sum_{i \in \mathbb{N}} p(x_i) = \sum_{i \in \mathbb{N}} P\{X = x_i\} = P\left(\sum_{i \in \mathbb{N}} \{X = x_i\}\right) = P(\Omega) = 1.$$

Definicija 1.0.6 Funkcija $F_X(x) : \mathbb{R} \rightarrow [0, 1]$ definisana sa

$$F_X(x) = P_X((-\infty, x)) = P\{\omega \in \Omega | X(\omega) < x\},$$

naziva se funkcija raspodele slučajne promenljive X .

Definicija 1.0.7 Očekivanje $E(X)$ diskretne slučajne promenljive X sa raspedelom $p(x_k)$, $k = 1, 2, \dots$, definiše se sa:

$$E(X) = \sum_{k=1}^{\infty} x_k p(x_k),$$

i postoji ako i samo ako

$$\sum_{k=1}^{\infty} |x_k| p(x_k) < \infty.$$

Definicija 1.0.8 Momenat reda k , $k \in \mathbb{N}$, slučajne promenljive X je $E(X^k)$.
Centralni momenat reda k , $k \in \mathbb{N}$, slučajne promenljive X je

$$E((X - E(X))^k).$$

Dakle, matematičko očekivanje je momenat reda 1.

Definicija 1.0.9 Centralni momenat reda 2 slučajne promenljive X zove se disperzija (varijansa) slučajne promenljive X i označava se sa $D(X)$ ili $\sigma^2(X)$.

Dakle,

$$D(X) = E((X - E(X))^2).$$

Za izračunavanje disperzije često se koristi izraz u sledećoj formi:

$$D(X) = E(X^2) - E^2(X).$$

Definicija 1.0.10 Standardna devijacija (standardno odstupanje, prosečno odstupanje) slučajne promenljive X se definiše kao

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)}.$$

Definicija 1.0.11 Neka je S skup elementarnih događaja nekog eksperimenta E i neka se svakom elementu tog skupa, $s \in S$, pridruži funkcija $X(t, s)$, pri čemu t pripada skupu $T \in \mathbb{R}$. Skup $\{X(t, s), t \in T\}$ naziva se stohastički (slučajni) proces.

Funkcija $X(t, s)$ je slučajna promenljiva za bilo koju vrednost t .

Definicija 1.0.12 (i) Ukoliko je T beskonačan prebrojiv skup, skup $\{X(t, s), t \in T\}$ naziva se diskretni stohastički proces.

(ii) Ukoliko je T interval (ili skup intervala), skup $\{X(t, s), t \in T\}$ naziva se neprekidni stohastički proces.

Uobičajeno je da se za stohastički proces $\{X(t, s), t \in T\}$ koristi oznaka $\{X(t), t \in T\}$ ili $\{X_t, t \in T\}$.

Definicija 1.0.13 Skup vrednosti $S_X(t)$ koje mogu uzeti slučajne promenljive $X(t)$ se naziva skup stanja stohastičkog procesa $\{X(t), t \in T\}$.

U zavisnosti od toga da li je $S_X(t)$ konačan (ili beskonačan prebrojiv skup) ili beskonačan neprebrojiv skup, stohastički proces $\{X(t), t \in T\}$ je diskretan ili neprekidan, respektivno.

Definicija 1.0.14 Slučajan proces je stacionaran ako su njegove konačno dimenzionalne raspodele invarijantne u odnosu na raspored u vremenu, odnosno ako, za sve t_i , $t_i + t \in [t_0, T]$, važi

$$F_{t_1+t, \dots, t_n+t}(x_1, \dots, x_n) = F_{t_1, \dots, t_n}(x_1, \dots, x_n).$$

Definicija 1.0.15 *Ukoliko su slučajne promenljive $X(t_4) - X(t_3)$ i $X(t_2) - X(t_1)$ nezavisne za svako $t_1 < t_2 \leq t_3 < t_4$, kažemo da je stohastički proces $\{X(t), t \in T\}$ proces sa nezavisnim priraštajima.*

Definicija 1.0.16 *Očekivanje (srednja vrednost) stohastičkog procesa $X(t), t \in T$ je data sa:*

$$\mu_X(t) = \mu(t) = E(X(t)), \quad t \in T.$$

Definicija 1.0.17 *Disperzija stohastičkog procesa $X(t), t \in T$ data je sa:*

$$\sigma_X^2(t) = E((X_t - \mu(t))^2) = E(X_t^2) - E^2(X_t), \quad t \in T.$$

Definicija 1.0.18 *Vinerov proces (Wiener process) W_t je slučajan proces sa nezavisnim, stacionarnim i $N(0, t - s)$ - raspodeljenim priraštajima $W_t - W_s$, sa početnom vrednošću $W_0 = 0$ i skoro neprekidnim trajektorijama.*

Definicija 1.0.19 *Vremenski niz ili vremenska serija je skup hronološki uređenih vrednosti promenljive, koja predstavlja pojavu ili stohastički proces u vremenu.*

Vremenska serija se može posmatrati kao jedna realizacija stohastickog procesa. Odnos vremenske serije i stohastickog procesa odgovara odnosu uzorka i populacije u standardnoj teoriji statistickog zakljucivanja. Kao što uzorak predstavlja deo populacije na osnovu kojeg se izvode zaključci o karakteristikama populacije, tako i analiza konkretne vremenske serije mora omogućiti sagledavanje karakteristika stohastičkog procesa.

Neka je vremenska serija $X = \{X_1, \dots, X_T\}$ slučajni uzorak, uzet iz populacije X , koji ima T vrednosti. Tada je:

- Uzoračko očekivanje

$$\hat{\mu}_X = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T X_t$$

- Uzoračka disperzija

$$\hat{\sigma}_X^2 = \frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (X_t - \hat{\mu}_X)^2$$

- Standardna devijacija uzorka

$$\hat{\sigma}_X = \sqrt{\hat{\sigma}_X^2}.$$

Normalna raspodela

Slučajna promenljiva X ima normalnu raspodelu, u oznaci $X : \mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$ gde $\mu \in \mathbb{R}$, a $\sigma > 0$. U slučaju kada su parametri $\mu = 0$ i $\sigma = 1$, dobija se $\mathcal{N}(0, 1)$ raspodela, koja se još naziva i standardizovana normalna raspodela. Ova raspodela se često koristi u teoriji verovatnoće i statistici zbog svojih lepih osobina.

Funkcija gustina normalne raspodele je data sa:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, x \in \mathbb{R}.$$

Može se pokazati da je μ matematičko ožekivanje, a σ standardno odstupanje slučajne promenljive X . Funkcija raspodele promenljive X sa normalnom $\mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$ raspodelom je data sa:

$$F_X(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt, x \in \mathbb{R}.$$

Geometrijsko Braunovo kretanje

Geometrijsko Braunovo kretanje je neprekidan stohastički proces koji se često koristi kao aproksimacija dinamike cena akcija. Iako su cene akcija stohastički procesi u diskretnom vremenu, aproksimacija pomoću geometrijskog Braunovog kretanja najčešće se koristi za predviđanje cena u bliskoj budućnosti. Formalno, stohastički proces $\{Y_t\}_t$ prati geometrijsko Braunovo kretanje ukoliko zadovoljava sledeću stohastičku diferencijalnu jednačinu:

$$dY_t = \mu Y_t dt + \sigma Y_t dW_t,$$

pri čemu je W_t Wiener-ov proces.

Za parametre μ (drift) i σ (volatilnost) važi da su konstantni. Jednačina ima sledeće analitičko rešenje, pri čemu je Y_0 inicijalna vrednost procesa u $t = 0$:

$$Y_t = Y_0 e^{(\mu - \frac{\sigma^2}{2})t + \sigma W_t}.$$

Nedostatak modela leži u tome što u datoj formi nije moguće predvideti fenomene na finansijskom tržištu poput ekstremnih događaja i grupisanja volatilnosti.

Glava 2

Struktura tržišta

Tržište se može definisati kao uređen skup pravila koja omogućavaju učesnicima da dobrovoljno, međusobno sklapaju i izvršavaju različite vrste ugovora. U ovom radu najveća pažnja je posvećena finansijskim tržištima, koja predstavljaju najznačajniji faktor ukupnog ekonomskog i privrednog sistema jedne zemlje.

Jedna od osnovnih funkcija tržišta jeste povezivanje kupaca i prodavaca, odnosno, posmatrano sa aspekta finansijskih tržišta, povezivanje finansijski suficitarnih i finansijski deficitarnih subjekata, tj. štednje i investicija. Svako tržište, pored osnovne funkcije povezivanja učesnika, mora da obavlja i druge bitne funkcije:

1. Obezbeđivanje pristupa informacijama, posebno informacijama koje su vezane za cenu (informativna funkcija);
2. Uspostavljanje odgovarajućih mehanizama trgovanja;
3. Omogućavanje izvršenja sklopljenih ugovora.

Finansijska tržišta se razlikuju u organizaciji i u pravilima trgovanja koja su na njima uspostavljena.

Vrste finansijskih tržišta koja imaju visok nivo organizacije i regulisana su od strane vladinih organizacija nazivaju se *berze*. Uloga berzi je od velikog značaja, jer one omogućavaju kompanijama da prikupe neophodni kapital za poslovanje, mobilišu sredstva za štednju u sredstva za investicije, potpomažu rast i razvoj kompanija i oslikavaju celokupno privredno stanje u zemlji. Neke od svetski najpoznatijih, i ujedno najvećih berzi su *New York Stock Exchange (NYSE)*, *NASDAQ*¹, *Japan Exchange Group*, *Shanghai Stock Exchange*, *London Stock Exchange (LSE)*, *Euronext* itd.

Londonska berza (LSE) je jedina globalna berza u Evropi i ujedno predstavlja i najveće evropsko tržište tog tipa. Pored nje, u Evropi su smestene jos dve velike berze: Euronext, čije je sedište u Amsterdamu i sastoji se od berzi u Belgiji, Francuskoj, Holandiji i Portugalu, i druga po veličini berza u Evropi je OMX² koja predstavlja spoj skandinavske i baltičke berze.

¹National Association of Securities Dealers Automated Quotations

²Offset Market Exchange

2.1 Likvidnost i transparentnost

Likvidnost tržišta predstavlja jednu od njegovih osnovnih karakteristika. Za određeno sredstvo kažemo da je likvidno ako možemo brzo i bez dodatnih troškova da ga zamenimo za novac. U kontekstu trgovanja na berzama, likvidnost zapravo predstavlja mogućnost trgovanja određenim finansijskim instrumentom bez značajne promene u njegovoj ceni. To zapravo znači da male promene u tražnji ili ponudi ne rezultiraju velikim promenama u cenama odgovarajućih instrumenata.

Tržišna likvidnost se često poistovećuje sa *širinom*, *dubinom* i *otpornošću* (eng. *breadth, depth and resiliency*) tržišta [6]. Pod pojmom širine tržišta podrazumeva se broj učesnika na tržištu, što je taj broj veći, odnosno što je tržište "šire" to je pojedinačni uticaj svakog od učesnika na tržišna dešavanja manji. Širina tržišta zapravo obezbeđuje da niko nema značajnu tržišnu moć kojom bi mogao da utiče na različita kretanja. Ova karakteristika se ogleda i u činjenici da je na tržištima sa velikim brojem učesnika razlika između kupovne i prodajne cene istih likvidnih sredstava mala. Za finansijsko tržište kažemo da je duboko³ ukoliko na njemu postoji veliki broj naloga, koji su izdati od strane različitih učesnika, tako da njihovo povlačenje ili izvršenje ne ostavlja veliki trag na ukupnu količinu sredstava koja učestvuju u trgovini. Nedovoljna dubina tržišta se negativno odražava na njegovu stabilnost i otežava dugoročno planiranje. Na tržištima koje karakteriše visok nivo otpornosti, promene cena koje se javljaju kao posledica procesa trgovanja nemaju dugoročni uticaj.

Berze predstavljaju najlikvidniji oblik tržišta. Ukoliko je obim trgovanja na berzi velik, cena koju je kupac spreman da ponudi (engl. *bid price*) i cena koju je prodavac spreman da prihvati (engl. *ask price*) će biti relativno blizu. Sa druge strane, što je razlika u kupovnoj i prodajnoj ceni veća, likvidnost tržišta je manja.

Transparentnost tržišta predstavlja meru dostupnosti informacija o procesu trgovanja učesnicima i potencijalnim učesnicima na tržištu. Najvišji nivo transparentnosti je zastupljen na elektronskim berzama, dok tržišta sa niskim nivoom transparentnosti imaju jako slab sistem izveštavanja. Prednosti visokog nivoa transparentnosti su mnogostruke:

- ubrzava proces uspostavljanja cene i podiže nivo efikasnosti tržišta;
- omogućava učesnicima da prate i kontrolišu rad brokera;
- podstiče konkurentnost.

2.2 Učesnici na tržištu

Jedan od ključnih elemenata svakog tržišta su njegovi učesnici, koji na određen način realizuju funkcije tržišta i kreiraju njegovu likvidnost. U zavisnosti od razvijenosti samog finansijskog tržišta razlikuje se i broj učesnika na njemu. S' obzirom da se u centru istraživanja nalaze finansijska tržišta, najznačajniju kategoriju učesnika predstavljaju trgovci (engl. *traders*), koji na tržištu obavljaju trgovinske operacije.

Podela na (1) *trgovce motivisane profitom* i (2) *utilitariste* (engl. *profit-motivated traders and utilitarian traders*) čini jednu od osnovnih podela učesnika na tržištu [8]. Prva grupa se

³pogledati poglavlje 2.4.4 Dubina i detalji tržišta.

sastoji od trgovaca koji ulaze u proces trgovanja samo kada objektivno očekuju da će trgovanjem ostvariti profit. Utilitaristi, sa druge strane, očekuju da ostvare neku dodatnu korist pored profita. Oni trguju na primer radi upravljanja svojim novčanim tokovima. Tipičnu grupu utilitarista čine hedžeri (engl. *hedgers*) čiji je glavni cilj trgovanja smanjenje rizika. Oni poseduju sredstva koja se odlikuju visokom stopom rizika, u smislu da su prognoze kretanja njegove cene skoro nemoguće, pa trgovinom na berzi žele da umanje potencijalne negativne efekte posedovanja takvog sredstva.

Na svakom tržištu razlikujemo kupovnu i prodajnu stranu.

2.2.1 Kupovna strana

Kupovna strana obuhvata fondove, firme, individualne učesnike koji kupuju finansijske instrumente sa ciljem pomeranja (prenosa) današnjeg prihoda u budućnost. Učesnici sa ove strane tržište često izvršavaju obimne kupovine sa ciljem dobrog upravljanja novčanim tokovima. Neki od tipičnih predstavnika su penzioni fondovi, osiguravajuće kuće, investicioni fondovi⁴ kao i različite kompanije koje se bave investiranjem.

2.2.2 Prodajna strana

Prodajna strana tržišta se sastoji od dilera (engl. *dealers*) i brokera (engl. *brokers*) koji omogućavaju proces razmene učesnicima na suprotnoj strani tržišta. Glavna razlika između dilera i brokera leži u činjenici da dileri trguju sa svojim klijentima i ostvaruju profit kada kupe od klijenta po niskoj ceni i prodaju po višoj, dok brokeri trguju za svoje klijente i njihov profit je zapravo provizija koju dobijaju za ugovorenu trgovinu. Prostije rečeno, brokeri su posrednici u trgovanju, trguju u svoje ime i za račun klijenta, a dileri u svoje ime i za svoj račun.

Dileri predstavljaju učesnike koji su motivisani profitom i pasivno deluju na tržištu, što znači da nemaju kontrolu nad vremenskim momentom izvršenja trgovine. Pored trgovanja finansijskim instrumentima dileri osiguravaju sredstva i pružaju usluge investicione prirode investitorima.

Brokeri najčešće mogu da ugovore trgovinu po mnogo nižoj ceni, tj. sa mnogo manjim troškovima, nego što klijent to može samostalno da sprovede, pa je to jedan od osnovnih razloga zašto ih klijenti unajmljuju. Tipičan spektar usluga koje brokersko društvo pruža se sastoji iz ostvarivanja podudaranja kupovnih i prodajnih naloga različitih klijenata, povezivanja sa tržištem, kliringa⁵ (engl. *clearing*) i poravnanja⁶ (engl. *settlement*) i obezbeđivanja relevantnih podataka.

Mnoge firme koje se nalaze sa prodajne strane tržišta zapošljavaju trejdere koji deluju i kao dileri i kao brokeri. Ovakve firme su poznate pod nazivom brokersko-dilerska društva ili dualni trejderi.

⁴finansijske institucije koje prikupljaju sredstva manjih individualnih investitora i ta sredstva plasiraju na finansijskom tržištu;

⁵funkcija koja garantuje da je trgovina uspešno sprovedena i izvršena na odgovarajući način, u skladu sa zakonima koji vladaju na tržištu; takođe se odnosi i na upoređivanje kupovnih i prodajnih naloga koje je učesnik izvršio u određenom periodu, kako bi se znao bilans, trenutno stanje.

⁶prenos vlasništva i dostavljanje sredstava koja su bila predmet trgovine kupcu/prodavcu.

Još jedan način podele je podela na učesnike koji tržište snabevaju likvidnošću i na one koji povlače likvidnost sa tržišta. Prvi se najčešće nalaze na prodajnoj strani, tj. brokери i dileri, dok su drugi najčešće kupci, individualni ili institucionalizovani investitori, tj. kupovna strana tržišta. Ova podela se može interpretirati i na drugi način: učesnici koji “donose” likvidnost na tržište se smatraju pasivnim jer oni iniciraju proces trgovine, dostupni su za trgovinu. Sa druge strane učesnici koji povlače likvidnost sa tržišta se najčešće spontano odlučuju na trgovinu, traže neposrednost i guraju cenu u svom pravcu, pa se smatraju aktivnim učesnicima. Aktivna strana zatvara trgovinu prihvatanjem uslova koje je pasivna strana postavila, pa zbog toga pasivne učesnike nazivamo još i kreatorima tržišta.

Specifičnu vrstu učesnika na tržištu čine i centralne banke. One imaju posebnu ulogu na finansijskim tržištima, jer preko mera kreditno-monetarne politike utiču na finansijska kretanja. Operacijama na otvorenom tržištu, odnosno kupovinom i prodajom hartija od vrednosti, centralna banka najdirektnije moguće utiče na finansijsko tržište, a sve u cilju regulacije novčane mase u prometu.

2.3 Vrste finansijskih tržišta

Pored likvidnosti, nivoa automatizacije, stepena transparentnosti, finansijska tržišta određuju i mnoge druge karakteristike. Jedna od najrelevantnijih karakteristika tržišta jeste njegov tip, odnosno vrsta kojoj pripada. Zbog uticaja koji može da ima na troškove transakcije, i posledično na profitabilnost izvršene trgovine, analiza različitih vrsta tržišta je od velikog značaja. Uprkos činjenici da danas većina tržišta zapravo predstavlja svojevrsnu mešavinu različitih tipova tržišta korisno je razlikovati najveće grupe. Najčešće podele tržišta su prema mehanizmu trgovanja koji je na njima uspostavljen i prema učestalosti trgovanja.

Prema **mehanizmu trgovanja** razlikujemo tri grupe:

- Aukcijska tržišta zasnovana na nalogima (engl. *order-driven*),
- Dilerska tržišta zasnovana na kotaciji (engl. *quote-driven*),
- Hibridna tržišta.

Tržišta na kojima investitori međusobno direktno trguju bez posrednika predstavljaju čista aukcijska tržišta. Na ovakvim tržištima zainteresovane strane podnose svoje konkurentne ponude u isto vreme. Cena po kojoj se izvrši trgovina oslikava najvišu cenu koju je kupac spreman da plati i najnižu cenu koju je prodavac spreman da prihvati. Pravi predstavnik ove kategorije tržišta je Njuroška berza (NYSE).

U sistemu trgovine koji se bazira na kotacijama dileri kotiraju cene po kojima su voljni da kupe/prodaju određeni finansijski instrument. Na ovakvim tržištima investitori ne mogu direktno da trguju jedni sa drugima, umesto toga oni moraju da kupe po kupovnoj ceni koju je istakao diler, odnosno da prodaju po istaknutoj prodajnoj ceni. NASDAQ je predstavnik ove grupe tržišta.

Hibridna tržišta nisu ništa drugo nego “mešavina” prethodne dve grupe. Odlikuju se karakteristikama sistema na bazi naloga i sistema na bazi kotacija.

Različiti tržišni mehanizmi se često upoređuju prema likvidnosti i transparentnosti. U uslovima javne trgovine aukcijska i dilerska tržišta bi trebala da uspostave istu cenu određenog sredstva, međutim sistemi na bazi kotacija su često više fregmentirani. Različiti dileri kotiraju različite kupovne i prodajne cene, i trgovine koje se izvrše nisu uvek date javnosti na uvid, ili su date sa određenim zakašnjenjem. Zbog toga tržišta zasnovana na naložima imaju viši stepen transparentnosti od tržišta zasnovanih na kotacijama. Teško je proceniti koji tip tržišta je likvidniji, jer to zavisi od mnogobrojnih faktora (učestalosti trgovine, mogućnosti pregovora, anonimnosti, itd.), ali aukcijska tržišta obezbeđuju vidljivu likvidnost i veći izbor prilikom izdavanja naloga (po bilo kojoj ceni i bilo koje veličine). Uprkos tome ne sme se odbaciti činjenica da na aukcijskim tržištima izvršenje naloga nije zagarantovano.

Prema **učestalosti trgovanja** takođe razlikujemo tri grupe:

- kontinuirano trgovanje,
- periodično trgovanje
- trgovanje zasnovano na zahtevima (engl. *request-driven trading*).

Na tržištima koja se odlikuju kontinuiranim trgovanjem trejderi mogu da izdaju nalog u bilo kom momentu kada je berza otvorena. Ovakvo trgovanje uključuje izvršenje naloga odmah po prijemu istog. Na primer, ukoliko učesnik izda limit nalog za prodaju određenog instrumenta, on će biti vidljiv dok god ne istekne ili se ne izvrši.

Za periodično trgovanje je karakteristično da se trgovina odvija samo u određeno vreme i na određenom mestu, i svi učesnici samo tada mogu da izdaju i izvrše svoje naloge. Tokom perioda u kojem je trgovanje omogućeno tržište je veoma likvidno, što je logična posledica činjenice da svi učesnici tada pokušavaju da izvrše svoje naloge. Ovakav sistem trgovanja se najčešće koristi u organizaciji malih tržišta, ili od strane vlade kada prodaje svoje finansijske instrumente.

Glavna prednost prve grupe jeste fleksibilnost, jer svi učesnici mogu da izdaju naloge kada god žele, ali mana ovakvog sistema je potencijalna volatilnost cene. Takođe kontinuirano trgovanje odlikuju manji transakcioni troškovi u poređenju sa periodičnim trgovanjem. Najveća prednost periodičnog trgovanja je obezbeđivanje visokog stepena likvidnosti, ali bez obzira na to rizik izvršenja naloga može biti visok.

Kod trgovanja zasnovanog na zahtevima učesnici traže kotaciju od strane dilera, tj. pasivnih učesnika.

2.4 Mikrostruktura tržišta

Mikrostruktura tržišta se prvenstveno vezuje za trgovinu finansijskim instrumentima, kao što su akcije ili obveznice. Uključuje ulogu informacija vezanih za proces otkrivanja cene, mere i kontrolu troškova transakcije i njihov uticaj na efikasnost. Prema rečima Harrisa [18] mikrostruktura tržišta je “deo finansijske ekonomije koji istražuje trgovanje na berzama i njihovu organizaciju”, dok je Maureen O’Hara definiše kao “proučavanje procesa i rezultata trgovine finansijskim instrumentima pod eksplicitno definisanim pravilima trgovanja.”

2.4.1 Nalozi

Nalozi na finansijskim tržištima predstavljaju instrukcije za trgovanje koje klijenti daju brokerima. U njima se navodi instrument koji klijent želi da kupi ili da proda, koliko jedinica tog instrumenta, kada i pod kojim uslovima. Kada se na tržištu pojavi suprotna strana, transakcija se dogodi i kaže se da je nalog ispunjen. Korišćenje prave vrste naloga u pravom trenutku može da napravi veliku razliku između dobre i skupe (loše) trgovine.

Trejderi ukazuju da su voljni da kupe ili prodaju sredstvo tako što podnose ponude sa odgovarajuće strane tržišta (engl. *bids and offers*). Ponude najčešće sadrže informacije o ceni i količini koju je trejder spreman da prihvati. Najbolja kupovna cena (engl. *best bid*) predstavlja najvišu kupovnu cenu na tržištu, dok najbolja prodajna (engl. *best ask*) ukazuje na najnižu ponuđenu prodajnu cenu.

Postoji više različitih karakteristika prema kojima se nalozi mogu razvrstati. Osnovna i najjasnija podela je na prodajne i kupovne naloge. Zatim postoji podela u odnosu na vreme trajanja naloga, u okviru koje razlikujemo dnevne naloge i naloge do opoziva. Ukoliko se nalozi ne realizuju, oni ostaju aktivni sve do isteka navedenog perioda ili do opoziva datog naloga u međuperiodu.

Najznačajnija je podela na:

- tržišne naloge (engl. *market orders*) i
- limit naloge (engl. *limit orders*)

jer oni određuju uslove, odnosno cene, po kojima će se trgovanje obaviti.

Tržišni nalozi

Za ovu vrstu naloga cena nije definisana prilikom izdavanja, nalozi se izvršavaju po najboljoj mogućoj ceni u datom momentu. Najprostije rečeno, tržišni nalozi upućuju brokere da odmah pristupe njihovom izvršenju i zakluče trgovinu po najboljoj mogućoj ceni na berzi. Ovi nalozi su najčešće izbor učesnika koji žele da se osiguraju da će se nalog izvršiti i da izbegnu rizik promene cena.

Limit nalozi

Kod limit naloga nalogodavac određuje maksimalnu cenu koju je spreman da plati za kupovinu određenog instrumenta, odnosno minimalnu cenu koju je spreman da prihvati za prodaju instrumenta. Posmatrajući sa te strane može se reći da su limit nalozi precizniji, jer daju klijentu određeni nivo kontrole nad cenom po kojoj će nalog biti izvršen. Kupovni limit nalog će se realizovati po limit ceni ili nižoj ceni od nje, dok će se prodajni limit nalog realizovati po limit ceni ili višoj od nje. Najveća mana ove vrste naloga jeste nepouzdanost njihovog izvršenja. Na primer, ukoliko je izdat prodajni limit nalog sa cenom višljom od najbolje prodajne, a cena nikad ne poraste toliko, nalog neće biti izvršen. Umesto toga on će biti sačuvan u knjizi limit naloga (engl. *limit order book-LOB*) dok se ne izvrši ili ne otkaže. Limit nalozi su posebno korisni kod malog obima trgovanja ili kod akcija sa velikim i naglim oscilacijama u ceni.

Izbor između ove dve vrste naloga nije nimalo jednostavan. On zavisi od mnogobrojnih faktora, kao što su stepen averzije prema riziku, da li je učesnik aktivan ili pasivan, koji su motivi trgovine itd. Tržišni nalozi pružaju sigurnost u smislu izvršenja, ali ukoliko se cena kreće u našem pravcu limit nalozi su bolji izbor jer bi u tom slučaju obezbedili bolju cenu [8].

Naloge možemo razvrstati i prema njihovoj veličini. Mali i obimom srednji nalozi se najčešće izvršavaju po standardnim procedurama na berzama, dok obimom veliki nalozi zahtevaju specijalan način obrade, tzv. blok trgovanje.

2.4.2 Knjiga naloga

Knjiga naloga (engl. *order book*) je lista, popis svih kupovnih i prodajnih naloga (fizičkih ili elektronskih) vezanih za određen finansijski instrument. Knjiga naloga učesnicima pruža veliki broj korisnih informacija vezanih za cene, količine i ostale učesnike na tržištu, pa samim tim pomaže i u procesu odlučivanja. Na jedan način se kroz knjigu naloga ogleda i sama transparentnost berze, jer se iz nje čitaju svi relevantni podaci. Ona se konstantno ažurira u realnom vremenu, s' ciljem da tokom celog dana verodostojno oslikava situaciju na berzi. Primer tipične knjige naloga je prikazan na Slici 2.4.1.

Obim	Broj naloga	Kupovni nalozi	Cena	Prodajni nalozi	Broj naloga	Obim
			...			
			50		3	650
			49.75		1	750
			49.50		2	750
			49.25		3	600
		Najbolja kupovna cena (engl. <i>best bid</i>) ↙				
800	4		48.75			
600	2		48.50			
630	3		48.25			
800	5		48			
			...			
				Najbolja prodajna cena (engl. <i>best ask</i>) ↖		

Slika 2.4.1: Tipična knjiga naloga.

Određivanje prioriteta

Tipično pravilo koje se primenjuje prilikom kreiranja knjige naloga je da se kao prvi prioritetni faktor posmatraju cene, a kao drugi vremenski trenutak izdavanja naloga [10]. To ustvari znači da prioritet ima nalog sa boljom cenom, a u okviru grupe naloga sa istim cenama prednost ima nalog koji je prvi izdat. Ovakav prioritetni mehanizam je poznat kao FIFO metod (engl. *first in first out*). Sprovođenje ovog metoda je usko vezano sa veličinom najmanje promene u ceni (engl. *tick size*). Najmanja moguća promena u ceni zapravo predstavlja najmanju moguću razliku dve susedne cene⁷. Kada je ova veličina jako mala prioritet koji se ostvaruje po

⁷Ukoliko posmatramo primer na Slici 2.4.1 ta veličina je 0.25 novčanih jedinica.

vremenskom trenutku izdavanja naloga je beznačajan. Na primer, pretpostavimo da je trejder izdao prodajni limit nalog za prodaju 1000 akcija po ceni od 50€, pretpostavimo još i da je najmanja moguća promena u ceni samo 0.01€. Ovakva situacija omogućava da drugi učesnik sa nalogom za istu količinu i sa cenom od 49.99€ na tržištu zauzme bolju poziciju, tj. da njegov nalog ima prioritet uz gubitak od samo 10€.

Neželjena situacija iz primera se može izbeći korišćenjem tržišnog naloga, ali ovi nalozi ne kreiraju likvidnost na tržištu, što dovodi do zaključka da male razlike u cenama utiču na likvidnost berze.

2.4.3 Razlika kupovne i prodajne cene

Razlika kupovne i prodajne cene (engl. *bid-ask spread*) zapravo predstavlja razliku između najbolje prodajne i najbolje kupovne cene. Ove dve najbolje cene su određene tržišnim zakonima *ponude* i *tražnje*, pa njihova razlika može da se interpretira i kao raskorak između ponude i tražnje. U Evropi i Aziji ova veličina se najčešće prikazuje u baznim poenim⁸ (engl. *basis points - bps*), dok se u SAD najčešće obračunava u centima ili čak u delovima akcija.

Na primer, ukoliko je najbolja kupovna cena 50€ i najbolja prodajna 50.50€, razlika je 0.50€ ili 0.1% ili 10 baznih poena.

Veličina razlike između najbolje kupovne i najbolje prodajne cene se razlikuje od sredstva do sredstva, najčešće zbog različitog nivoa likvidnosti koji svako od tih sredstava ima. Finansijski instrumenti sa najnižom razlikom kupovne i prodajne cene su najlikvidniji, odnosno lako se konvertuju u gotov novac. Kod ovakvih sredstava razlika između najbolje kupovne i najbolje prodajne cene je najčešće jednaka veličini jedne jedinice najmanje moguće promene u ceni⁹. Ova razlika kod finansijskih instrumenta na razvijenim berzama obično se kreće između jedne do tri jedinice najmanje moguće promene, dok sredstva koja odlikuje nizak stepen likvidnosti imaju razliku koja se sastoji od deset, ili čak i više jedinica najmanje promene.

Razlika najbolje kupovne i najbolje prodajne cene je jedan od osnovnih parametara koji učesnici razmatraju prilikom odluke koju vrstu naloga da izdaju na tržištu. Kada je razlika velika izdavanje tržišnog naloga je skupo, što čini limit naloge atraktivnijim pri ovakvom scenariju. Sa druge strane, kada je razlika mala izdavanje tržišnog naloga je bolja strategija.

2.4.4 Dubina i detalji tržišta

Dubina tržišta (engl. *market depth*) pokazuje koliko se aktivnih kupovnih i prodajnih naloga nalazi na različitim nivoima cene za određeni finansijski instrument. Nivoi dubine su za svaku cenu označeni sa brojevima $1, \dots, n$, gde 1 predstavlja nabolju kupovnu/prodajnu cenu. Što je veći broj izdatih kupovnih i prodajnih naloga za različite nivoe cena to je tržište dublje. To zapravo znači da na tržištu koje je duboko postoji veliki broj zainteresovanih kupaca/prodavaca na različitim cenovnim nivoima, odnosno veliki broj naloga u knjizi naloga. Na primer, na Slici 2.4.1 pri cenovnom nivou 49.25 dubina tržišta (broj naloga) je 3.

Pojam dubine tržišta je povezan sa likvidnošću na njemu. Naime, ukoliko se na tržištu nalazi veliki broj učesnika zainteresovanih za trgovinu različitim instrumentima, po različitim

⁸1 bazni poen je 1/100 procenta.

⁹Primer: Za sredstvo visokog stepena likvidnosti čija je najmanja promena u ceni 0.25€, razlika između najbolje prodajne i najbolje kupovne cene će takođe biti 0.25€.

cenama, dubina tržišta je veća, a samim tim i likvidnost.

Kada se na određenom cenovnom nivou desi smanjenje broja naloga, tj. dubina tržišta opadne, trejderi ne znaju da li se ta promena desila kao posledica izvršenja naloga ili njegovog otkazivanja. Ovakav tip informacija je veoma koristan za učesnike i zapravo predstavlja tržišne detalje. Zahvaljujući njima trejderi mogu da prate količinu naloga koji se nalaze ispred njihovog naloga. Ukoliko učesnik koji nudi najbolju kupovnu/prodajnu cenu, tj. učesnik koji je “prvi u redu”, otkáže svoj nalog to može da ukazuje da on poseduje određenu prednost u vidu informacija, i otkazivanjem svog naloga čini tu cenu manje atraktivnom ostalim učesnicima. Sa druge strane, otkazivanje naloga od strane učesnika koji se nalazi na “kraju reda” ne ukazuje na potencijalnu prednost. S’ obzirom da nalozi koji imaju lošiju poziciju u knjizi naloga imaju u manju verovatnoću izvršavanja njihovo otkazivanje pre upućuje da učesnik želi da osigura trgovinu pa povlači trenutni nalog i izdaje tržišni.

Uprkos činjenici da poznavanje dubine tržišta otkriva korisne informacije, one nisu dovoljno precizne. Detalji knjige naloga pružaju sveobuhvatniji uvid u ponašanje učesnika i korisniji su prilikom donošenja različitog tipa odluka.

2.5 Tržišni impakt

Tržišni uticaj (engl. *market impact*) se može definisati kao uticaj koji trejder ima na cenu određenog instrumenta, koji je predmet trgovine, kada se njegov nalog izda. Sastoji se od *privremenog* i *trajnog uticaja*.

Svi nalozi zavedeni u knjizi naloga, bez obzira na njihovu kategoriju će imati neku vrstu uticaja na kretanje cene određenog sredstva, dok je sam nivo uticaja najčešće proporcionalan veličini naloga. Kada učesnik izda prodajni limit nalog velikog obima, učesnici sa suprotne strane tržišta mogu da “udalje” svoje naloge od najbolje kupovne cene sa ciljem da zarade više (potroše manje). Situacija je slična i kada se izda tržišni nalog velikog obima. Pojam tržišnog impakta je tesno povezan sa likvidnošću tržišta i kao što je objašnjeno ranije, izvršenje tržišnog naloga “povlači” likvidnost sa tržišta. Zbog ovoga se često veliki tržišni nalozi dele u blokove i onda njihovo izvršenje traje određeni vremenski period. Trgovina svakim od blokova će prouzrokovati pomeranje cene u suprotnom pravcu od trejdera. Ovakva vrsta uticaja je tipičan primer privremenog uticaja, jer se kroz vreme ovakva pomeranja cene stabilizuju u novoj tački ravnoteže. Trajni uticaj takođe označava promene u tački ravnoteže prouokovane trgovinom, ali je period neravnoteže duži, odnosno traje barem do kraja izvršenja celokupnog naloga.

Glava 3

Algoritamsko trgovanje

Algoritamsko ili automatsko trgovanje (engl. *Algorithmic trading/Automated trading*) je vid trgovanja na berzama koje se sprovodi putem softvera koji izvršavaju implementiranu strategiju trgovanja. Softveri se programiraju tako da mogu da izvršavaju kompleksne matematičke algoritme u realnom vremenu, donose odgovarajuće odluke na osnovu definisane strategije, bez ljudske intervencije i izdaju naloge na berzama. Kako računari mogu da izvode veliki broj operacija istovremeno, ovaj vid trgovanja omogućava mnogo veću pokrivenost informacijama i učešće na velikom broju tržišta.

Učesnici na tržištu često žele da izvrše naloge velikog obima, međutim ta veličina je često mnogo veća od onoga što tržište može da apsorbuje bez velikog uticaja na cenu. Visoka tražnja za likvidnošću utiče na troškove same trgovine u negativnom smeru, zbog toga veliki nalozi moraju da budu podeljeni na obimom manje, koje će softveri da izvršavaju kroz određeni vremenski period. Algoritamsko trgovanje detaljno prati tržišna kretanja i sa velikom brzinom reaguje na njihove promene. Glavni cilj algoritamskog trgovanja nije obavezno maksimizacija profita, već i uspostavljanje određenog vida kontrole nad procesom troškova izvršavanja naloga i nad tržišnim rizikom.

Višestruke prednosti koje čine algoritamsko trgovanje atraktivnim su:

- smanjenje troškova,
- bolja kontrola,
- redukcija troškova prouzrokovanih tržišnim uticajem,
- veća verovatnoća uspešno izvršene trgovine,
- brže trgovanje,
- otklanjanje negativnog ljudskog faktora,
- globalizacija i porast konkurencije i
- korišćenje napredne i sofisticirane tehnologije.

Sve ove prednosti koje algoritamsko trgovanje nudi svojim korisnicima su doprinele njegovoj popularnosti u savremenom svetu. Algoritamsko trgovanje je trenutno najaktuelniji vid trgovanja i svakodnevno se radi na njegovom usavršavanju. Velike banke, brokerske kuće, investicioni fondovi kao i drugi učesnici na finansijskim tržištima prepoznali su algoritamsko trgovanje kao jedan od faktora koji donosi veliku kompetitivnu prednost. Sve ove firme danas vrše najviša ulaganja upravo u ovu oblast.

Radi lakše analize samih strategija trgovanja i njihovih uticaja, uvodimo osnovne oznake koje će biti korišćene.

Posmatramo vremenski interval $[0, T]$ u okviru kojeg izdvajamo vremenske trenutke t_0, \dots, t_N pri čemu važi $0 = t_0 < t_1 < \dots < t_N = T$. Drugim rečima, početni interval $[0, T]$ je moguće podeliti na N vremenskih intervala, $[t_0, t_1), [t_1, t_2), \dots, [t_{N-1}, t_N]$.

Neka je P_i cena finansijskog instrumenta u vremenskom momentu i koja prati Braunovo geometrijsko kretanje, sa volatinošću σ i driftom μ .

$$P_i = P_0 e^{(\mu - \frac{\sigma^2}{2})i + \sigma W_i}$$

pri čemu je P_0 inicijalna, početna cena.

3.1 Proces trgovanja

Proces trgovanja može da se podeli na četiri komponente, [10]:

- informacije,
- izdavanje naloga,
- izvršenje naloga i
- kliring i poravnanje.

Samo tržište obezbeđuje različite vrste informacija o prethodno ostvarenim, kao i o trenutnim cenama. Ranije je Njujorška berza čuvala informacije o cenama kao poverljive i one su bile dostupne samo njenim članovima ili licenciranim korisnicima, međutim danas su informacije o cenama dostupne u realnom vremenu preko CTS-a (engl. *Consolidated Tape System*), konsolidovanog sistema trgovine i CQS-a (engl. *Consolidated Quotation System*), konsolidovanog kvotnog sistema¹. Dostupnost ovih informacija povećava nivo transparentnosti i omogućava investitorima da upoređuju tržišta u potrazi za što boljom cenom, što dovodi do jačanja konkurencije.

Na svakom tržištu potrebno je uspostaviti mehanizam za izdavanje naloga. Najčešće brokeri preuzimaju naloge i izdaju ih na berzama ili drugim tržišnim centrima. Na primer, najveći broj naloga poslatih na Njujoršku berzu se šalje preko DOT-a, (engl. *Designated Turnaround System*), elektronskog sistema koji direktno prosleđuje naloge specijalistima.

Treća, ključna faza, jeste samo izvršavanje naloga, odnosno trgovine. Iako je automatizacija sveprisutna, proces izvršavanja naloga se ne sastoji samo iz podudaranja kupovnog i prodajnog naloga na tržištu, već naprotiv, predstavlja veoma kompleksan proces. Dok automatizovani sistemi nisu bili rasprostranjeni proces donošenja odluke o zatvaranju trgovine je bio duži. Sami učesnici su uvek bili na oprezu od bolje informisanih konkurenata i uvek su čekali na dodatnu informaciju pre donošenja konačne odluke. Sa pojavom i ekspanzijom automatizovanih sistema izvršenja naloga, ovaj proces je znatno ubrzan i unapređen u celosti.

Kliring i poravnanje predstavljaju poslednji, ali podjednako bitan element u procesu trgovanja. Kliring uključuje poređenje kupovnih i prodajnih transakcija od strane brokera najčešće na

¹Od 1970. godine sve berze koje trguju sa instrumentima navedenim na Njujorškoj ili Američkoj berzi su dužne da dostavljaju informacije o cenama, CTS i CQS ih obrađuju i distribuiraju širom sveta. CTA je organ koji upravlja CTS-om i CQS-om. CTA - Consolidated Tape Association nadgleda distribuciju podataka o trgovini, u realnom vremenu, svim finansijskim instrumentima sa Njujorške i Američke berze.

dnevnom nivou. Poravnanje, odnosno prenos finansijskih instrumenata, se realizuje u definisanom vremenskom periodu od momenta sklapanja trgovine. Ovaj proces se sprovodi elektronski, putem prenosa vlasništva u knjigama hartija od vrednosti i gotovinskim plaćanjem neto iznosa, utvrđenim kliringom.

3.2 Definisanje strategije trgovanja

Strategije trgovanja se kreiraju u cilju postavljanja određenih ciljeva trgovanja u budućem vremenskom intervalu u odnosu na dostupne informacije u datom momentu. Tačnije, postavljaju se ciljevi za vremenski interval $[t_i, t_{i+1})$ na osnovu informacija dostupnih do vremenskog trenutka t_i .

Osnovna podela strategija trgovanja je na:

- dinamičke i
- statičke.

Dinamičke strategije se odlikuju time što zavise od svih prikupljenih informacija do trenutka t_i , uključujući i njega. Dok statičke strategije podrazumevaju postavljanje strategije trgovanja za sve buduće intervale na osnovu informacija poznatih na samom početku trgovanja, odnosno u trenutku t_0 .

Pretpostavimo da posedujemo X jedinica određenog finansijskog instrumenta i da želimo da prodamo celokupnu količinu pre isteka vremenskog perioda T . Vremenski period T podelimo na N jednakih vremenskih intervala², čija je dužina $\tau = T/N$ i definišemo diskretne vremenske trenutke $t_i = i\tau$, za $i = 0, \dots, N$. Definišemo trajektoriju trgovanja, [14] kao niz x_0, \dots, x_N , gde je x_i obim, broj jedinica finansijskog instrumenta koji planiramo da posedujemo u momentu t_i . U momentu započinjanja procesa trgovine u vlasništvu imamo $x_0 = X$, a postizanje željenog cilja, odnosno prodaja celokupnog obima instrumenta podrazumeva $x_N = 0$.

Strategija se može definisati i na drugi način, korišćenjem "liste trgovanja" n_1, \dots, n_N , gde je $n_i = x_{i-1} - x_i$ zapravo broj jedinica koje želimo da prodamo između vremenskog trenutka t_{i-1} i t_i . Povezanost x_i i n_i se može prikazati izrazom:

$$x_i = X - \sum_{j=1}^i n_j = \sum_{j=i+1}^N n_j, \quad i = 0, \dots, N.$$

3.2.1 Dinamika cene

Ako cenu u početnom trenutku t_0 označimo sa P_0 onda je tržišna vrednost naše pozicije na tržištu XP_0 . Cena finansijskog instrumenta zavisi od dva spoljašnja faktora: drifta i volatnosti i jednog unutrašnjeg: tržišnog impakta, [14]. Za volatnost i drift se pretpostavlja da su rezultat tržišnih kretanja koja se dešavaju nezavisno od naše trgovine. Sa druge strane faktor tržišnog impakta je potpuno određen akcijama samog učesnika na tržištu. Kao što je i ranije

²Vremenski intervali u opštem slučaju ne moraju da imaju jednake dužine, ovde se ta osobina koristi radi jednostavnosti.

pomenuto, ukoliko učesnici prepoznaju međusobne obime trgovanja oni prilagođavaju cene tim informacijama, 2.5.

Pretpostavimo da cena prati diskretan aritmetički slučajan hod³,

$$P_i = P_{i-1} + \sigma\sqrt{\tau}\xi_i - \tau g\left(\frac{n_i}{\tau}\right), \quad i = 1, \dots, N.$$

gde je

σ volatilitnost finansijskog instrumenta,

ξ_i su izvučeni iz nezavisnih slučajnih promenljivih, svaka sa očekivanjem 0 i jediničnom varijansom,

trajni impakt, $g(v)$, je funkcija prosečne stope trgovanja, $v = n_i/\tau$ u toku vremenskog intervala $[t_{i-1}, t_i)$.

Vidimo da u samom izrazu nije uključen drift, ali se to opravdava pretpostavkom da nemamo informacije o smeru budućeg kretanja cene, [14].

Trenutni tržišni impakt

U cilju prodaje n_i jedinica određenog finansijskog instrumenta, u periodu $[t_{i-1}, t_i)$ učesnik će možda morati da podeli svoj prvobitan nalog na manje naloge u cilju postizanja maksimalne likvidnosti i minimiziranja trenutnog tržišnog impakta. Ukoliko je obim naloga, tj. broj jedinica koji želimo da prodamo, n_i , velik, moguće je da dođe do opadanja cene po kojoj se vrši prodaja instrumenta, kao posledica snadbevanja tržišta likvidnošću⁴, odnosno kao posledica trenutnog tržišnog uticaja.

Ovaj efekat se može modelirati korišćenjem funkcije trenutnog tržišnog uticaja $h(v)$, koja predstavlja trenutni pad prosečne cene finansijskog instrumenta prouzrokovan prosečnom stopom trgovanja v u toku jednog vremenskog intervala. Uključivanjem i ovog faktora, dobijamo da je stvarna cena koja će se ostvariti prilikom prodaje instrumenta data izrazom:

$$\tilde{P}_i = P_{i-1} - h\left(\frac{n_i}{\tau}\right),$$

ali se efekat $h(v)$ ne pojavljuje u narednoj tržišnoj ceni P_i .

Funkcije $g(v)$ i $h(v)$ se definišu na različite načine, u zavisnosti od modela koji konkretan učesnik korsiti za analizu tržišnih uslova.

3.3 Vrste algoritama

Algoritamsko trgovanje omogućava korisnicima da postignu ravnotežu između troškova i rizika povezanog sa izvršavanjem naloga. Takođe ono što mnogi korisnici žele da postignu ovim vidom trgovanja jeste izvršenje naloga bez velikog uticaja, anonimno i brzo. Osnovni ciljevi algoritamskog trgovanja jesu dostizanje granice (engl. *benchmark*), odnosno što manja udaljenost od definisane referentne tačke, koja je najčešće predstavljena cenom i minimizacija ukupnih transakcionih troškova. Na osnovu ova dva cilja definisane su dve velike grupe algoritama:

³Strategije trgovanja dele velike naloge na manje i samim tim smanjuju vreme potrebno za izvršenje naloga. U kratkim vremenskim intervalima razlika između geometrijskog i aritmetičkog Braunovog kretanja je zanemarljiva.

⁴Pojam snadbevanja tržišta likvidnošću i povlačenja likvidnosti je detaljnije objašnjen u poglavlju 2.2

- Algoritmi koji prate referentnu vrednost⁵ i
- algoritmi koji minimiziraju troškove⁶.

Uspešnost algoritma, odnosno njegov performans se najčešće meri prosečnim odsutpanjem od postavljene referentne tačke, ali i praćenjem varijacije u odstupanju.

3.3.1 Algoritmi koji prate referentnu vrednost

Cilj ovakvog algoritma je minimizacija odstupanja (engl. *slippage*) posmatranog pokazatelja od odgovarajuće granice. Ova grupa algoritama se češće bavi merenjem različitih pokazatelja dinamike tržišta nego eksplicitnom optimizacijom. Najrasprostanjeniji algoritmi iz ove grupe su:

- količinski ponderisana prosečna cena (VWAP⁷),
- vremenski ponderisana prosečna cena (TWAP⁸) i
- procenat od obima (POV⁹).

Ove tri vrste strategije se oslanjaju na isti mehanizam podele velikih naloga na manje delove, atomske naloge (engl. *atomic orders, child orders*) sa ciljem smanjenja ukupnog tržišnog uticaja.

Količinski ponderisana prosečna cena (VWAP)

Ponderisana prosečna cena, VWAP, je jedan od najstarijih i najčešće korišćenih algoritama. VWAP predstavlja odnos vrednosti sa kojom je trgovano i ukupnog obima trgovanja tokom određenog vremenskog perioda. To je mera prosečne cene po kojoj se trguje određenim finansijskim instrumentom u definisanom vremenskom intervalu. Osnovni cilj modela je da se smanji odstupanje od VWAP-a kao referentne tačke, ovako definisane:

$$VWAP = \frac{\sum_{i=1}^n V_i P_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

gde je

V_i obim izvršenog naloga, $i = 1, 2 \dots n$

P_i cena po kojoj je trgovanje izvršeno, $i = 1, 2 \dots n$

n broj izvršenih naloga u posmatranom vremenskom periodu.

⁵engl. *Benchmark-driven algorithms*

⁶engl. *Cost-driven algorithms*

⁷engl. *Volume Weighted Average Price*

⁸engl. *Time Weighted Average Price*

⁹engl. *Percentage of Volume*

Za ovaj jednostavni algoritam postoji veliki broj varijacija koje su korisnici razvili tokom vremena, u zavisnosti od cilja koji žele da postignu.

VWAP algoritmi koriste podatke u realnom vremenu i istorijske podatke kao kriterijume za deljenje velikih naloga tokom određenog vremenskog perioda ili tokom sesije trgovanja u odnosu na likvidnost samog instrumenta, [1]. Kod većine VWAP algoritama se kao šablon ponašanja obima trgovanja koriste podaci iz ekvivalentnog istorijskog perioda. Kod kreiranja VWAP strategije izvršenja trgovci najčešće odrede vremenske intervale, talase (engl. *waves*), u kojima će algoritam da trguje sa količinom akcija koja je direktno proporcionalna obimu tržišta u tom vremenskom periodu.

Prvo se dan trgovanja podeli u k vremenskih intervala, talasa, sa količinski ponderisanom prosečnom cenom \bar{P}_j i obimom trgovanja u tom intervalu \hat{V}_j . Tada se VWAP može zapisati u sledećem obliku:

$$VWAP = \frac{\sum_{j=1}^k \hat{V}_j}{\sum_{j=1}^k \hat{V}_j} \bar{P}_j = \sum_{j=1}^k u_j \bar{P}_j$$

gde je u_j procenat dnevnog obima trgovanja u j – tom talasu. Ako je y strategija za kreiranje atomskih naloga, onda je prosečna ostvarena cena

$$\sum_{j=1}^k y_j \bar{P}_j$$

Strategija koja minimizira očekivano odstupanje od VWAP granice je ona u kojoj je $y_j = u_j$, a kao najčešća aproksimacija za u_j se koriste baš istorijski podaci o obimu trgovanja.

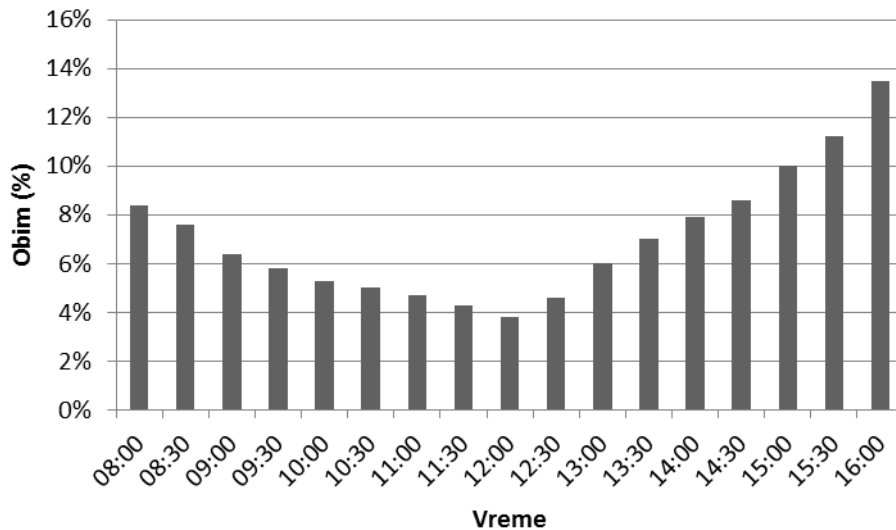
Često je glavni izazov kreirati nalog koji prati VWAP tokom dužeg vremenskog perioda. Kako su odstupanja od istorijskih podataka ne samo moguća već se i neretko dešavaju neophodno je pratiti dešavanja na tržištu. Kod ovakvih naloga, koji se prate po nekoliko sati, automatizacija VWAP algoritma omogućava veliku uštedu novca i resursa. Zbog toga se ova strategija najčešće koristi za naloge dužeg trajanja, tj. većeg obima trgovanja. Osnovni cilj koji korisnici VWAP algoritma žele da postignu prilikom izvršenja atomskog naloga jeste da ostvare najbolju moguću cenu, a uporedo sa tim i da smanje tržišni uticaj prouzrokovan izvršenjem naloga.

Nakon definisanja VWAP cene moguće je kvantitativno objasniti tržišni impakt, [16]. Kvantitativan uticaj na tržište se definiše i kao interakcija naloga učesnika sa tržištem, tj. kolika promena u ceni je prozrokovana izdavanjem tog naloga. Posmatramo relativnu promenu u ceni r_s između prosečne ostvarene cene P_{vwap} i početne cene P_0 :

$$r_s = d \frac{P_{vwap} - P_0}{P_0}$$

gde je d parametar koji pokazuje smer trgovine, jednak je 1 za svaku ostvarenu kupovinu i -1 za svaku prodaju. Početna cena, P_0 , je validna cena finansijskog instrumenta na tržištu u momentu pre izdavanja naloga. Što je razlika između prosečne ostvarene i početne cene manja, to je uticaj na tržište manji.

Pored toga što deljenje velikih naloga na manje blokove smanjuje rizik od visokih troškova koji se javljaju kao posledica tržišnog uticaja, ono takođe omogućava učesnicima da ostanu manje primetni u samom procesu trgovanja. Na Slici 3.3.1 je prikazan tipičan VWAP profil izvršenja.



Slika 3.3.1: VWAP profil izvršenja

Na koji god način da se vrši primena ovog algoritma ne sme se zaboraviti činjenica da je cilj promenljiva varijabla, tj. šablon kretanja cene nekog finansijskog instrumenta u toku jednog dana može mnogo da varira od njenog prosečnog istorijskog kretanja. Naravno to zavisi ne samo od vrste proseka, već i od tog koliko je dugačak istorijski period koji se koristi. Postoje i VWAP modeli koji se ne oslanjaju samo na istorijske podatke, već se ažuriraju na dnevnoj bazi sa podacima o izvršenim naložima u toku dana. Funkcija raspodele obima varira u zavisnosti za koji instrument se posmatra. Veće varijacije se očekuju kod naloga manjih obima i kod finansijskih instrumenta koji se odlikuju niskim nivoom likvidnosti jer je i samo predviđanje iz istorijski podataka za ovakve naloge i instrumente često nepouzđano.

Vremenski ponderisana prosečna cena (TWAP)

Cilj ovih algoritama je dostizanje TWAP granice, koja predstavlja prosečnu cenu po kojoj je trgovanje izvršeno u vremenskom periodu od momenta kada je nalog izdat do momenta kada je potpuno izvršen. Strategija TWAP algoritma leži u tome da se nalog podeli na približno jednake manje delove u okviru definisanog vremenskog okvira. Takođe se i vremenski period deli na manje jedinice, talase, u kojima se nalozi izvršavaju.

$$TWAP = \frac{\sum_{i=1}^n n_i P_i}{\sum_{i=1}^n n_i}$$

gde je

n_i obim izvršenog atomskog naloga, $i = 1, 2 \dots n$

P_i cena po kojoj je trgovanje izvršeno, $i = 1, 2 \dots n$

n broj atomskih naloga na koje je podeljen nalog velikog obima.

Najjednostavniji TWAP algoritam funkcioniše tako što se data veličina naloga Q , sa kojom će se trgovati u periodu T , podeli na n atomskih naloga. Veličina svakog naloga je $\frac{Q}{n}$, i sa njima se trguje u talasima na svakih $\Delta t = \frac{T}{n}$ minuta.

Jedan od nedostataka ovih algoritama je pre svega činjenica da se prilikom podele velikog naloga na manje delove ne uzima u obzir cena, kao ni obim tržišta. Iako se ova strategija smatra dosta praktičnom za njenog korisnika, ona može da ga izloži drugim učesnicima na tržištu čiji algoritmi traže baš ovakvu vrstu predviljivosti kod konkurenta, [1]. Zbog predvidljivosti u načinu trgovanja konkurenti su u mogućnosti da brzo ostvare prednost samo bržim sprovođenjem strategije. Ovo često rezultuje preskakanjem talasa ili korišćenjem nejasnih vremenskih razmaka, ili čak trgovanjem nejasnim brojem akcija po talasu. Sofisticiraniji način sprovođenja ove strategije je korišćenje generatora slučajnih brojeva kako za veličinu atomskih naloga, tako i za određivanje vremenskih talasa u kojima će oni biti izvršeni.

Procenat od obima (POV)

Osnovni cilj POV modela je da se ostane "ispod radara", tj. ostvariti učešće u dovoljno malom procentu od ukupnog obima kako bi aktivnosti ostale nevidljive za ostale učesnike na tržištu. POV algoritmi su bazirani na ideji da se trguje u određenom, unapred definisanom procentu p od ukupnog obima. Taj procenat se naziva još i stopa učešća (engl. *participation rate*).

Veličina atomskog naloga q_k u vremenskom intervalu k koji ima ukupan obim trgovanja Q_k se računa tako da važi:

$$p = \frac{q_k}{Q_k + q_k},$$

odnosno

$$q_k = \frac{p}{1-p} Q_k.$$

Iako omogućava učesniku da na određeni način prikrije velike naloge, ova strategija ne garantuje izvršenje naloga koji su vezani za likvidne finansijske instrumente, ili za instrumente čije je kretanje cene dosta predvidljivo. Tražnja za ovakvim finansijskim instrumentima je najčešće visoka, odnosno konkurencija je velika, pa samim tim izvršenje naloga velikog obima je često nepouzđano.

3.3.2 Algoritmi koji minimiziraju troškove

Osnovni cilj algoritama koji pripadaju ovoj grupi jeste smanjenje transakcionih troškova, koji obuhvataju:

- provizije koje naplaćuju brokeri i dileri;
- poreze i troškove transfera koji su propisani zakonom;
- troškove dobijanja informacija;
- troškove ugovaranja i
- troškove otkrivanja cena.

Ovi algoritmi su poznati još i pod engleskim nazivima *Implementation Shortfall algorithms* ili skraćeno IS i *Arrival price* algoritmi. Formula koju algoritmi koriste zapravo upoređuje cenu po kojoj je trgovina izvršena sa cenom tog istog instrumenta koja je podstakla trejdera na trgovinu. Cena koja je navela učesnika na trgovinu se naziva još i cena odluke (engl. *decision price*). Ta cena je najčešće poslednja cena¹⁰, tj. cena određenog instrumenta ostvarena u poslednjoj trgovini tim instrumentom prethodnog dana ili cena otvaranja, početna cena¹¹, tj. cena po kojoj je izvršena prva trgovina u danu, određenim finansijskim instrumentom.

Posmatrajmo ukupan prihod ostvaren izvršenjem prodajnog naloga, obima X . Taj prihod zapravo predstavlja sumu proizvoda obima i ostvarenih cena svakog atomskog naloga, [14] tj.

$$\sum_{i=1}^N n_i \tilde{P}_i = XP_0 + \sum_{i=1}^N \left(\sigma \sqrt{\tau} \xi_i - \tau g \left(\frac{n_i}{\tau} \right) \right) x_i - \sum_{i=1}^N n_i h \left(\frac{n_i}{\tau} \right).$$

gde je

XP_0 početna tržišna vrednost naše pozicije,

$\sum \sigma \sqrt{\tau} \xi_i x_i$ ukupan efekat volatnosti,

$-\sum \tau g \left(\frac{n_i}{\tau} \right)$ trajni tržišni impakt, odnosno gubitak vrednosti, prouzrokovan trajnim padom cene, koji se javlja kao posledica izvršenja atomskih naloga,

$\sum n_i h \left(\frac{n_i}{\tau} \right)$ trenutni tržišni impakt.

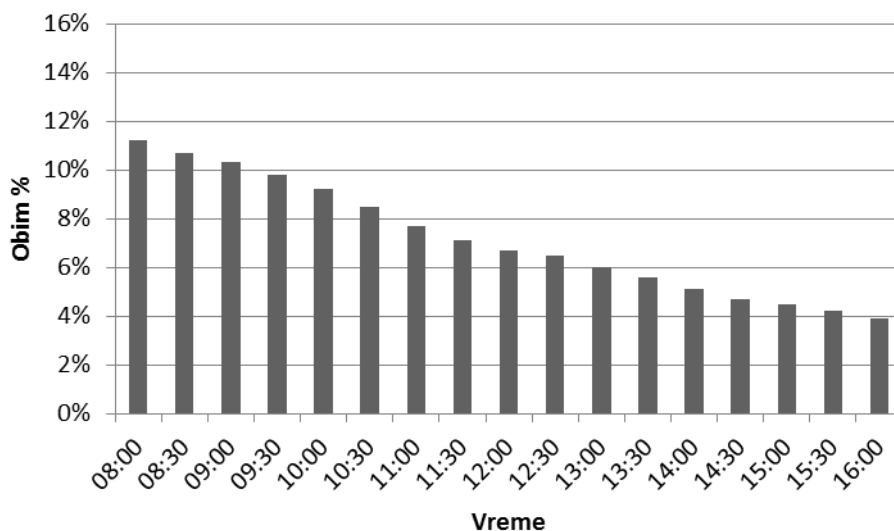
Ukupni troškovi trgovanja predstavljaju razliku između početne tržišne vrednosti i ukupnog prihoda od trgovine, tj

$$XP_0 - \sum_{i=1}^N n_i \tilde{P}_i.$$

Minimizacija ove razlike je ono što se postavlja kao željeni rezultat kod ovih algoritama. Što izvršenje naloga vremenski duže traje, to je verovatnoća pomeranja cene od referentne veća. Iako pomeranje može da bude u pozitivnom smeru, posmatrano iz ugla učesnika, veliki je rizik da izvršenje naloga traje duži vremenski period. Tipičan oblik IS profila izvršenja je prikazan na Slici 3.3.2.

¹⁰engl. *close price*

¹¹engl. *arrival price*



Slika 3.3.2: IS profil izvršenja

U cilju redukcije troškova algoritmi najčešće uspostavljaju određen vid ravnoteže između vremenskog rizika i tržišnog uticaja, pa samim tim postoji velik broj varijacija. Neki algoritmi se kreiraju tako da prate uslove na tržištu, dok su drugi više orijentisani vremenskom momentu samog izvršenja naloga, koji ne sme biti preuranjen jer se tada nalog izlaže vremenskom riziku, ali ne sme biti izdat ni sa zakašnjenjem jer može da izazove veći tržišni uticaj.

3.4 Visokofrekventna trgovina

Tehnike visokofrekventnog trgovanja (engl. *High-frequency trading, HFT*) predstavljaju jednu od kategorija algoritamskog trgovanja. Osnovna karakteristika ovog oblika trgovanja je da se trgovanje realizuje u veoma kratkim vremenskim periodima, od nekoliko milisekundi, a najviše do nekoliko sati, i da se same pozicije otvaraju veoma često, što rezultuje time da se u toku dana izvrši i do nekoliko stotina pa i hiljada naloga. Zbog ove karakteristike visokofrekventna trgovina značajno poboljšava likvidnost tržišta, a sama uspešnost leži u činjenici da su softveri u mogućnosti da prate i obrađuju veliku količinu informacija sa tržišta, a samim tim i da znatno brže reaguju na njih.

Osnovna strategija visokofrekventnog trgovanja obuhvata izvršenje velikog naloga pode-
ljenog na manje, atomske naloge, u što kraćem vremenskom periodu. U svakom slučaju osnovna ideja je da se bude prvi, bilo u postavljanju cene ili u povlačenju neefikasne cene. HFT strategije su potpuno automatizovane, a kako bi se održao željeni nivo anonimnosti prenosa podataka mnoge kompanije koriste kolokaciju, tj. postavljaju računarske servere u neposrednoj blizini samog mesta trgovanja.

Glava 4

Postavljanje problema i analiza podataka

Na tržišne uslove utiče veliki broj faktora, kao što su broj učesnika, razvijenost i veličina tržišta, ekonomska situacija, pravni propisi koji regulišu trgovinu. Svaki od mnogobrojnih faktora utiče na uslove u različitoj meri i na različite načine. Zbog toga tržišni uslovi čine veoma osetljivu kategoriju, podložnu čestim promenama. U svetu se vrše velika ulaganja u analizu tržišta i tržišnih kretanja, jer svaka informacija koja omogućava korisniku da lakše donese odluku ili predvidi određeno kretanje znači komparativnu prednost. Svaki učesnik želi da što bolje poznaje tržište i uslove koji vladaju na njemu, kako bi mogao da donosi dugoročne odluke, da pravovremeno reaguje na nastale promene i u krajnjem slučaju da izbegne veliki gubitke, odnosno da smanji izloženost različitim vrstama rizika. Najvažnije kretanje koje se prati, analizira i prognozira jeste kretanje cene određenog finansijskog instrumenta.

Volatilitnost kao mera promene cene se u proseku kreće u određenim granicama, u zavisnosti od posmatranog instrumenta, ali povremeno, kao posledica ekonomskog kraha, krize, političkih situacija, volatilitnost ume da bude veoma visoka i samim tim tržište postaje nestabilno, a prognoze o bilo kakvim daljim kretanjima cene postaju gotovo nemoguće.

Kako bi što bolje i brže odgovorili na promene na tržištu učesnici kreiraju modele koji se drugačije ponašaju u zavisnosti od tržišnih uslova koji vladaju. Algoritam koji dobro prati sve pokazatelje može veoma brzo da prilagodi parametre u zavisnosti od stanja u kojem se tržište nalazi i da preciznije isprati kretanje cene. Ključ brze adaptacije leži u pravovremenom prepoznavanju tržišnih uslova i postavljanju odgovarajućih parametara koji će da ukažu na promene.

4.1 Pretpostavke o stanjima i pregled strukture podataka

Promene režima (engl. *Regime switching*) predstavljaju promene stanja tržišta, koja su određena uslovima koji vladaju na njemu. Definisane samih stanja na tržištu je veoma nezgodno, jer dosta zavisi od individualnih preferencija i ciljeva samog učesnika. Pretpostavke o stanjima se postavljaju iz ugla učesnika koji želi da maksimizira svoj profit. Posedovanje finansijskog instrumenta čija cena prati trend rasta omogućava učesniku da proda instrument po višoj ceni od one po kojoj ga je nabavio, i samim tim da ostvari profit. Obrnuto, posedovanje instrumenta čija cena prati negativan trend je nepovoljno za učesnika i njegov cilj tada je da što brže proda instrument, odnosno da smanji potencijalan gubitak.

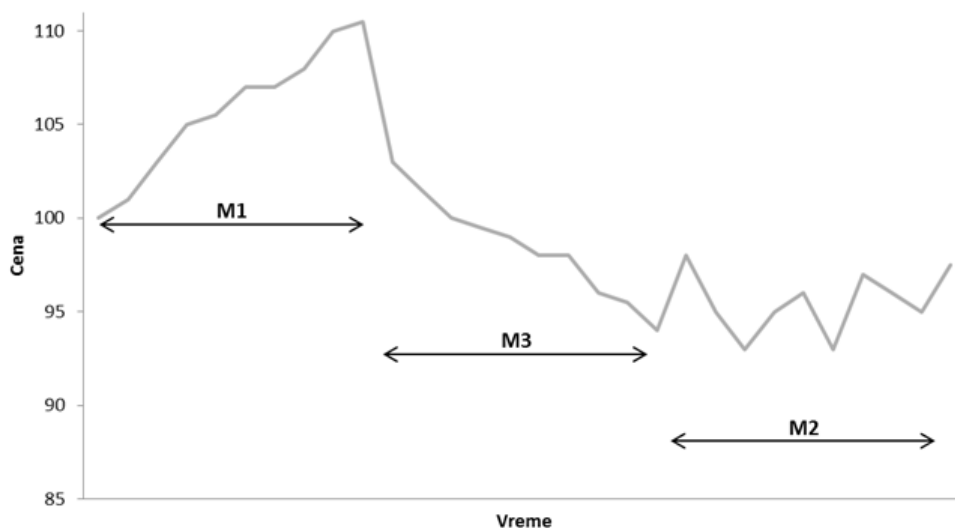
Pretpostavimo da se tržište može naći u jednom od sledeća tri stanja:

- M1 - stanje rasta;
- M2 - stanje mirovanja;
- M3 - stanje pada.

Posmatrano iz ugla kretanja cene:

- M1 - kretanje cene ima pozitivan trend;
- M2 - kretanje cene je dosta nepredvidivo, tj relativno brzo se dešava i njen rast i pad;
- M3 - kretanje cene ima negativan trend.

Na Slici 4.1.1 su grafički prikazana moguća stanja na tržištu, kroz vreme.



Slika 4.1.1: Stanja na tržištu

Glavni cilj koji se postavlja je određivanje verovatnoće nastupanja stanja M1/M2/M3 u narednom vremenskom trenutku ako je poznato trenutno stanje u kojem se tržište nalazi. Poznavanje ovih verovatnoća olakšava planiranje za budući period kao i prilagođavanje strategije.

4.1.1 Podaci

Podaci na kojima se temelji samo istraživanje predstavljaju realne podatke o kretanju cene akcije na Londonskoj berzi. Tačnije podaci sadrže informacije o svim trgovinama nastalim u periodu od osam meseci pri čemu je predmet trgovine posmatrana akcija. Struktura podataka je sledeća:

1. Datum izvršenja naloga;
2. Vreme izvršenja naloga;
3. Količina akcije koja je bila predmet trgovine;
4. Cena po kojoj je trgovina zaključena i
5. Indikator koji označava koja strana (kupovna/prodajna) je preskočila postojeću razliku kupovne i prodajne cene u datom momentu.

Isečak tabele sa podacima je prikazan na Slici 4.1.2.

date	time	qty	price	flag_BuySell
20060103	08:24:54	1535	2850	1
20060103	08:26:06	1000	2855	-1
20060103	08:26:06	1467	2855	-1
20060103	08:26:30	573	2853	1
20060103	08:26:49	550	2856	-1
20060103	08:27:01	484	2851	1

Slika 4.1.2: Struktura podataka

Kolona 'Datum' sadrži sve radne dane u kojima je izvršena trgovina posmatranom akcijom u periodu od osam meseci. Kolona 'Vreme' sadrži precizan vremenski trenutak izvršenja trgovine, u periodu radnog vremena berze, tj. od 8h do 16:30. Vrednost indikatora '-1' označava da je kupac preskočio razliku koja je u tom momentu postojala između prodajne i kupovne cene akcije, odnosno prihvatio je višu prodajnu cenu od one koju je prvobitno naznačio da želi da plati. Respektivno, vrednost '1' označava da je tu razliku prekočio prodavac, odnosno da je prodavac pristao da proda instrument po nižoj vrednosti od prethodno tražene.

Homogenizacija podataka

Zbog velikog obima podataka i radi lakše analize istih nad podacima je izvršen proces homogenizacije. Proces se sastojao iz toga da se svi pojedinačni nalozi izvršeni u odgovarajućem minutu integrišu u jedan nalog, odnosno da se vremenski parametar sekunde, u kojoj je nalog izvršen, zanemari.

Prvi korak u homogenizaciji se odnosio na integraciju količine koja je učestvovala u trgovini. Sve istrgovane količine u periodu od jednog minuta su sumirane u jedan nalog vezan za konkretan minut. Na primer, količine svih naloga nastalih u vremenskom intervalu [08:00:01, 08:01:00] su sabrane u jedan nalog, koji je vezan za vremenski trenutak 08:01. Ukoliko u datom minutu nema realizovanog naloga, njemu je dodeljena količina nula, kako bi se sačuvala forma podataka, odnosno sačuvalo jednak razmak, od jedne minute, između svih zabeleženih ostvarenih trgovina.

Drugi korak homogenizacije se odnosi na same cene po kojima je trgovina izvršena. Radi preciznijeg očuvanja prvobitnih podataka za homogenizaciju cene nije korišćen klasičan metod prosečne cene u datom intervalu.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

gde je P_i cena po kojoj je i -ti nalog izvršen, $i = 1, 2 \dots n$;
 n broj izvršenih naloga u posmatranom vremenskom intervalu;

Već je cena u konkretnom minutu određena preko formule količinski ponderisane prosečne cene.

$$VWAP = \frac{\sum_{i=1}^n q_i P_i}{\sum_{i=1}^n q_i}$$

gde je q_i obim izvršenog naloga, tj. količina akcije koja je predmet trgovine u i -tom nalogu, $i = 1, 2 \dots n$

P_i cena po kojoj je i -ti nalog izvršen, $i = 1, 2 \dots n$

n broj izvršenih naloga u posmatranom vremenskom momentu, minuti¹.

date	time	qty	price
20060314	14:57:00	593	2937
20060314	14:57:03	3178	2937
20060314	14:57:12	300	2937
20060314	14:57:12	203	2937
20060314	14:57:13	3402	2937
20060314	14:57:28	1400	2936
20060314	14:57:29	100	2935
20060314	14:57:29	3402	2936
20060314	14:57:29	300	2935
20060314	14:57:30	234	2936
20060314	14:57:34	4880	2936
20060314	14:57:34	1483	2936
20060314	14:57:34	1000	2936
20060314	14:58:25	10000	2936

date	time	qty	price
14-03-06	14:57:00	28976	2937
14-03-06	14:58:00	19882	2936
14-03-06	14:59:00	14093	2936

Slika 4.1.3: Primer homogenizacije podataka

Ukoliko je trgovana količina u datoj minuti jednaka nuli, toj minuti se pripisuje izračunat VWAP od prethodnog minuta.

Ako postoji minut k za koji važi $q_k = 0 \Rightarrow VWAP_k = VWAP_{k-1}$, $k \in D_t$

¹Npr: vremenskom momentu 08:02, odnosno drugoj minuti, pripadaju svi nalozi koji su nastali u periodu od 08:01:01 do 08:02:00

gde je D_l skup svih minuta u danu l .

Ove cene se pamte, kako u daljem radu sa podacima ne bi došlo do izostavljanja vremenskih trenutaka. Slika 4.1.3 prikazuje proces homogenizacije podataka u jednom izabranom minutu.

4.2 Standardna devijacija uzorka i pokretni prosek (MA) kao parametri za generisanje stanja

Volatilnost predstavlja meru nepredvidive promene neke varijable u određenom vremenskom periodu. Iz finansijskog ugla volatilnost nekog instrumenta prikazuje veličine promena njegove cene u proteklom periodu i najčešće se računa kao standardna devijacija promene cena.

Standardna devijacija uzorka (engl. *Sample Standard Deviation*), $\hat{\sigma}$, kao apsolutna mera disperzije ukazuje na odsutpanje elemenata uzorka skupa od njihove prosečne vrednosti.

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n - 1}}$$

gde je

P_i cena po kojoj je nalog izvršen, $i = 1, 2, \dots, n$;

\bar{P} prosečna cena ostvarena u n posmatranih naloga, tj. u uzorku;

n obim uzorka.

Model kretanja proseka (engl. *Moving Average*), MA, je metod koji omogućava da se kretanje cene uravnoteži, odnosno da se uspostavi određen nivo konzistentnosti u njenom kretanju. MA model takođe predstavlja i jedan od najosnovnijih modela za predviđanje kretanja cene određenog finansijskog instrumenta. MA model analizira podatke tako što kreira seriju prosečnih vrednosti različitih podskupova posmatranog skupa vrednosti. U konkretnom slučaju, MA analizira kretanje cene tako što uzima određeni vremenski podskup podataka i na njemu obračunava prosečnu ostvarenu cenu. Posmatrani podskup se kontinuirano ažurira novim ostvarenim cenama kako vreme prolazi, dok se stare cene isključuju iz dalje analize. Drugim rečima, cena određena m -minutnim MA modelom u datom minutu zapravo predstavlja prosečnu ostvarenu cenu u prethodnih m minuta.

$$MA = \frac{\sum_{i=1}^m P_i}{m}$$

gde je

P_i cena po kojoj je nalog izvršen, $i = 1, 2, \dots, m$;

m obim uzorka koji se koristi.

Nepoznate veličine, odnosno parametri koji treba da se odrede su:

- n - veličina uzorka koji se koristi prilikom računanja volatilnosti,
- t - granica volatilnosti,
- m - veličina uzorka koji se koristi prilikom računanja cene MA modelom.

Veličine n i m određuju koliko prošlost utiče na trenutne podatke. Ukoliko je obim uzorka veoma velik to znači da i podaci iz dalje prošlosti utiču na kretanje cene u sadašnjosti. Obrnuto, ukoliko je obim uzorka veoma mali trenutno kretanje cene zavisi samo od par prethodnih kretanja koja su vremenski blizu. Na konkretnim podacima uzorak zapravo predstavlja minute i njima odgovarajuće naloge. Granica volatilnosti², t , predstavlja meru koja deli odstupanja na dve kategorije, onu u kojoj je odstupanje veće od prosečnog odstupanja u prethodnih n minuta i onu u kojoj je odstupanje manje.

4.2.1 Definisane stanja

Na osnovu postavljene pretpostavke, da na tržištu u datom trenutku može da vlada jedno od tri stanja, M1, M2 ili M3, definišemo način prepoznavanja ovih stanja, odnosno pokazatelje.

- Ukoliko je volatilitet cene u datom minutu veća od posmatrane granice i ukoliko je sama cena veća od cene određene MA modelom izvodi se zaključak da je tržište u posmatranom minutu u stanju M1.

Posmatrajmo minut i ,

$$\text{ako važi } \hat{\sigma}_i > t \quad \wedge \quad P_i > MA \quad \Rightarrow \quad M1$$

gde je $\hat{\sigma}_i$ standardna devijacija uzorka u i -toj minuti,

t granica volatiliteta,

P_i ostvarena cena u i -toj minuti i

MA cena dobijena MA modelom.

Opravdanost ovako postavljenih pokazatelja se ogleda u tome što je stanje M1 po pretpostavci stanje pozitivnog trenda, odnosno cena raste. Kako učesnik očekuje rast cene ukoliko se nalazi u ovom stanju, njemu odgovara da je cena veća od prosečne u prethodnom periodu, a uz dodatni uslov, koji se postavlja na volatilitet, obezbeđuje i njen značajan rast.

- Ukoliko je volatilitet cene u datom minutu manja od posmatrane granice izvodi se zaključak da je tržište u posmatranom minutu u stanju M2.

Posmatrajmo minut i ,

$$\text{ako važi } \hat{\sigma}_i < t \quad \Rightarrow \quad M2$$

gde je $\hat{\sigma}_i$ standardna devijacija uzorka u i -toj minuti i

t granica volatiliteta.

²Najčešće korišćen pojam za ovu veličinu je engleska reč *threshold*.

Stanje M2 je po pretpostavci stanje u kojem je zastupljeno učestalo kretanje cene u oba smera, tačnije trend kretanja cene nije jasan. Ono što odgovara učesniku na tržištu kada vladaju ovakvi uslovi jeste da promene u cenama ne budu jako izražene, nezavisno od smera u kojem će se kretati, kako bi mogao da im se brzo prilagodi, bez velikih gubitaka. Drugim rečima, za učesnika je povoljno ukoliko je volatinitost mala veličina, koja se održava ispod postavljene granice. Kada na tržištu vlada stanje M2 cene ne odstupaju značajno od prosečnih.

- Ukoliko je volatinitost cene u datom minutu veća od posmatrane granice i ukoliko je sama cena manja od cene određene MA modelom izvodi se zaključak da je tržište u posmatranom minutu u stanju M3.

Posmatrajmo minut i ,

$$\text{ako važi } \hat{\sigma}_i > t \quad \wedge \quad P_i < MA \quad \Rightarrow \quad M3$$

gde je $\hat{\sigma}_i$ standardna devijacija uzorka u i -toj minuti,

t granica volatinitosti,

P_i ostvarena cena u i -toj minuti i

MA cena dobijena MA modelom.

Stanje M3 je zapravo simetrično stanju M1, pa tako kada na tržištu vlada stanje M3 učesnik očekuje pad cene. Samim tim M3 se generiše kada je cena manja od prosečne u prethodnom periodu, i kada je zadovoljen dodatni uslov, koji se postavlja na volatilitnost i obezbeđuje značajan pad u ceni. Dugoročna zastupljenost stanja M3 na tržištu za određeni finansijski instrument zapravo znači da mu cena konstantno pada, što šalje signal učesnicima da se oslobode istog.

4.2.2 Određivanje nepoznatih veličina

Nakon definisanja pokazatelja koji će da generišu stanja, ostalo je da se odrede nepoznate veličine n, t i m . Cilj koji se postavlja prilikom određivanja nepoznatih parametara jeste ujednačena dužina segmenata. Segmenti su zapravo nizovi stanja i njihova dužina odgovara broju minuta u kojima je tržište u stanju M1, M2 i M3 respektivno.

Kako bi mogle da se vrše različite vrste analiza nad samim podacima cilj je da se postigne prosečna dužina segmenata od bar deset minuta. Drugi cilj prilikom određivanja parametara je postizanje uravnoteženosti između relativnog broja stanja na nivou ukupnih podataka.

Parametri koji su ispunili oba postavljena cilja su:

- $n = 40$
- $t = 1.7$ i
- $m = 40$.

Prilikom računanja uzoračke standardne devijacije i MA koristi se uzorak od prethodnih 40 minuta, a granica sa kojom se $\hat{\sigma}$ poredi je 1.7.

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{40} (P_i - \bar{P})^2}{39}}$$

gde je

P_i cena po kojoj je nalog izvršen, $i = 1, 2 \dots 40$;

\bar{P} prosečna cena ostvarena u uzorku.

$$MA = \frac{\sum_{i=1}^{40} P_i}{40}$$

gde je

P_i cena po kojoj je nalog izvršen, $i = 1, 2 \dots 40$.

Primeri generisanih stanja na osnovu ovih parametara su prikazani na Slici 4.2.1.

date	time	qty	price	MA	SSD	states
01-08-06	10:45:00	20515	3267	3262.475	1.825566	M1
01-08-06	10:37:00	5290	3263	3261.75	0.980581	M2
01-08-06	14:29:00	30918	3259	3264.175	3.536531	M3

Slika 4.2.1: Primer generisanja stanja nad podacima

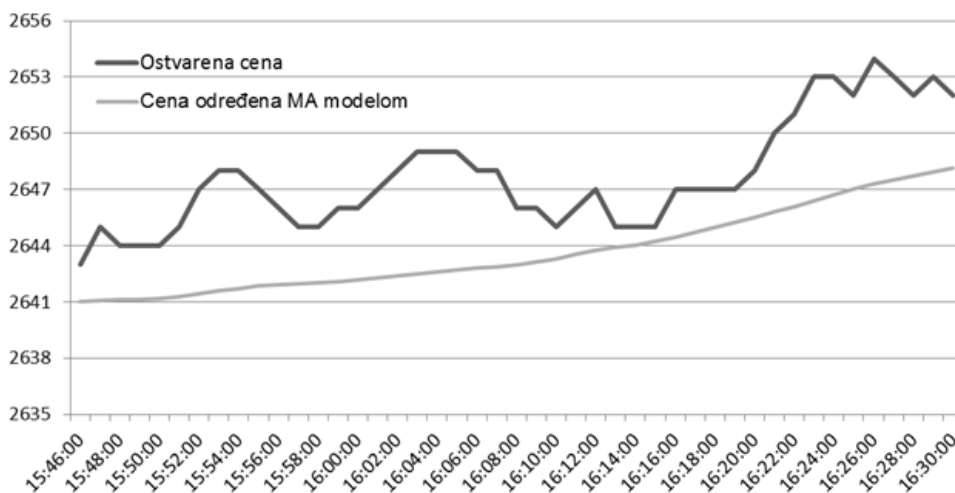
Ponavljanje određenog stanja kroz vreme zapravo predstavlja segment tog stanja, čija je dužina trajanja određena brojem uzastopnih ponavljanja. Postignute dužine segmenata su prikazane u Tabeli 4.2.1.

Segmenti/dužine	min	prosečna	max
M1	1	12.03	152
M2	1	28.84	345
M3	1	11.82	123

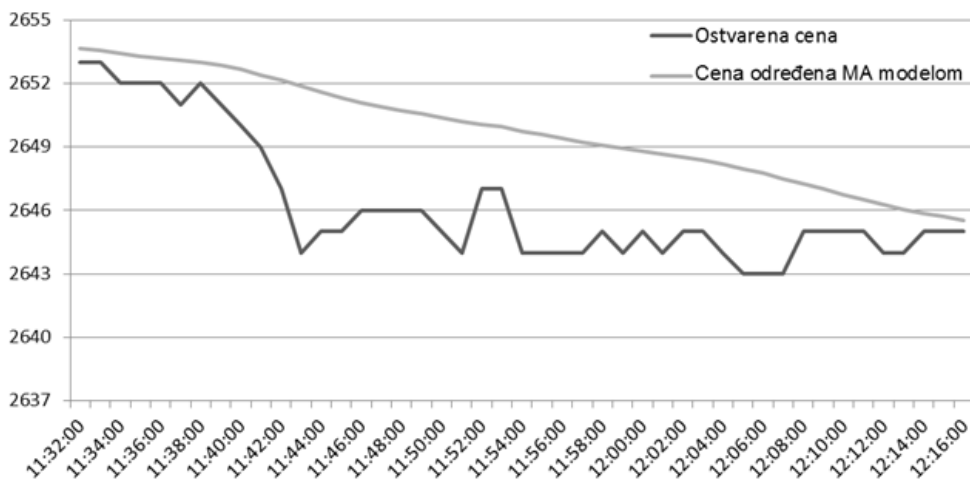
Tabela 4.2.1: Postignute dužine segmenata izražene u minutima

Postignuta je očekivana simetričnost između segmenata M1 i M3, što pokazuje i njihova približno jednaka prosečna dužina. Najdužu prosečnu dužinu imaju segmenti stanja M2, što je potpuno očekivano, jer se kretanje cene uglavnom kreće oko njenog proseka, tj. sa malim odstupanjima.

Vizuelni prikaz primera segmenata M1 i M3 dat je na Slikama 4.2.2 i 4.2.3 respektivno. Takođe na samim graficima su upoređena kretanja ostvarene cene i kretanja cene određene MA modelom, koja su zapravo i dovela do rezultirajućih stanja.



Slika 4.2.2: Primer M1 segmenta



Slika 4.2.3: Primer M3 segmenta

Glava 5

Ostvareni rezultati

5.1 Osnovni cilj

Nakon korišćena opisanih tehnika podacima je dodata kolona koja sadrži rezultirajuća stanja. Postignuti rezultati se koriste kao uzorak na osnovu kojeg se vrše dalje analize u cilju postizanja primarnog cilja.

Algoritamsko trgovanje je ceo proces trgovanja na finansijskim tržištima podiglo da novi nivo, koji ne samo da je ubrzao sam proces, već je otvorilo prostor razvijanje u svakom smislu. Algoritmi koji se koriste postaju sve precizniji, prilagodljiviji i obuhvataju sve širi spektar informacija. Uprkos svim razvijenim tehnikama praćenja kretanja na tržištu jako je teško pokriti sve faktore koji na njega mogu da utiču. Samim tim učesnici koji mogu sa određenom sigurnošću da predvide dalja kretanja i stanja na tržištu imaju komparativnu prednost.

Osnovni cilj istraživanja je upravo predviđanje narednog stanja na tržištu na osnovu poznavanja prethodnih i trenutnog stanja.

Kao što je i ranije spomenuto, pojam stanja na tržištu se poistovećuje sa pojmom režima. Režimi se mogu još definisati i kao skupovi pravila koji imaju slična ponašanja ako se posmatrano pravilo ponaša dobro pri određenim tržišnim uslovima, to je jedan od pokazatelja u kojem se režimu tržište nalazi.

Neka je $\Omega = \{M1, M2, M3\}$ skup elementarnih događaja, odnosno skup svih režima, stanja koja mogu da vladaju na tržištu. Tada definišemo slučajne događaje:

- T_{M1} - tržište se nalazi u stanju M1,
- T_{M2} - tržište se nalazi u stanju M2,
- T_{M3} - tržište se nalazi u stanju M3.

Takođe definišemo i slučajne promenljive:

- S_1 , koja predstavlja dužinu segmenta M1,
- S_2 , koja predstavlja dužinu segmenta M2,
- S_3 , koja predstavlja dužinu segmenta M3.

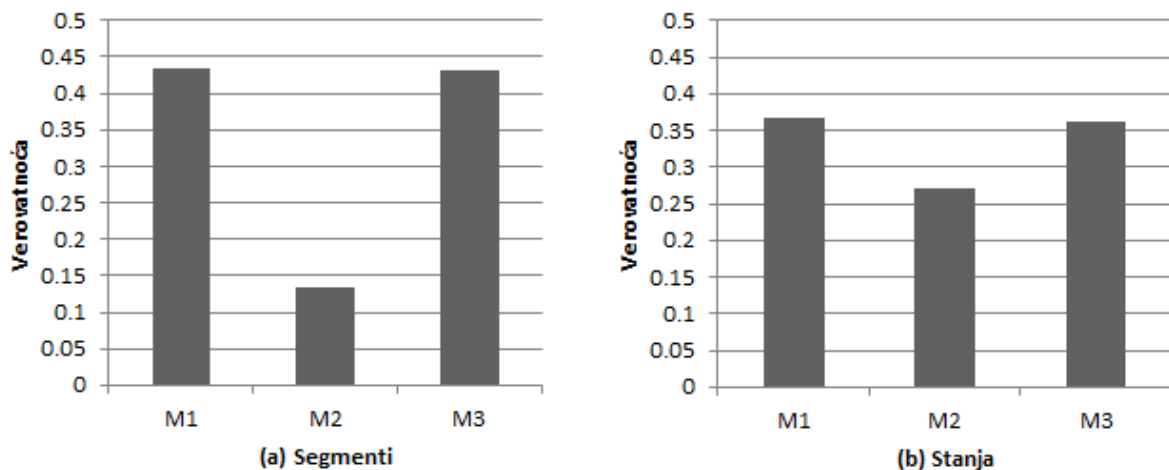
Svaki režim nastaje sa određenom verovatnoćom, a upravo te verovatnoće su ono što same učesnike najviše zanima. Pouzdane verovatnoće im omogućavaju da i ovaj parametar uključe u algoritam i time potencijalno poboljšaju njegovu efikasnost.

Verovatnoće nastupanja određenog stanja su izračunate preko statističkog načina određivanja verovatnoće:

- $P(T_{M1}) = \frac{28786}{78186} \approx 0.3681$
- $P(T_{M2}) = \frac{21197}{78186} \approx 0.2711$
- $P(T_{M3}) = \frac{28203}{78186} \approx 0.3607$

Verovatnoće nastupanja određenog segmenta i nastupanja određenog stanja, izračunate na osnovu prethodno ostvarenih rezultata generisanja stanja prikazane su i na Slici 5.1.1.

Na Slici 5.1.1 vidimo da su verovatnoće nastupanja segmenata M1 i M3 skoro jednake, dok je verovatnoća nastupanja M2 segmenta ispod 15%. Ova niska verovatnoća ne prikazuje pravu sliku zastupljenosti stanja M2, jer ovi segmenti najduže traju (Tabela 4.2.1). Kada na tržištu nastupe uslovi koji su svojstveni stanju M2 velika je verovatnoća da će se ti uslovi potrajati duži vremenski period, dok je kod stanja M1 i M3 ova verovatnoća dosta niža. Ova karakteristika ide u prilog činjenici da je jedan od ciljeva generisanja stanja bio uravnoteženost između broja minuta u kojima vlada svako od tri stanja. Približno jednaka relativna zastupljenost stanja M1, M2 i M3 je ostvarena, što se vidi i na Slici 5.1.1(b).



Slika 5.1.1: Verovatnoće nastupanja određenog segmenta (a) i određenog stanja (b).

Radi postizanja primarnog cilja, predviđanja budućeg stanja, analiza se vrši u odnosu na dva parametra:

- stanja u kojem se tržište trenutno nalazi i
- dužine trajanja segmenta u kojem se tržište nalazi.

Izvođenje analize u odnosu na ova dva parametra praktično znači da prilikom računanja verovatnoće nastupanja stanja M1/M2/M3, respektivno, posmatramo stanje u kojem se tržište trenutno nalazi, ali i podatak o tome koliko dugo se nalazi u tom stanju.

Naravno moguća stanja su M1, M2 ili M3, dok dužine trajanja variraju od 1 minuta do maksimalnih 345 minuta. U cilju lakšeg upravljanja podacima kreirani su vremenski intervali, sa jednakim dužinama od 5 minuta. Ovako kreirani vremenski intervali se koriste u analizama za sva tri moguća stanja.

Računa se verovatnoća P_i koja predstavlja verovatnoću da u narednih 5 minuta na tržištu nastupi stanje M_i , pod uslovom da je na tržištu trenutno zastupljen segment M_j , $j = 1, 2, 3$, određene dužine.

Poslednji vremenski interval koji se posmatra je [85, 90) tj. pod pretpostavkom da segment M_i , $i = 1, 2, 3$, traje 85 minuta, računamo verovatnoće promene stanja, ili ostajanja u istom do 90-tog minuta. Zaustavljamo se na 90-tom minutu, jer su verovatnoće da segmenti traju 90 minuta i duže veoma male:

$$P(S_1 = 90) = 0.46\%$$

$$P(S_2 = 90) = 6.26\%$$

$$P(S_3 = 90) = 0.33\%$$

5.2 Empirijski rezultati

Proces računanja traženih verovatnoća je potpuno automatizovan¹, potrebno je samo uneti željene parametre. Parametri koji mogu da se menjaju jesu dužina segmenta u kojem se tržište nalazi u datom trenutku i dužina vremenskog intervala u budućnosti za koji proveravamo da li će doći do promene stanja.

Ostvareni rezultati predstavljaju prethodno definisane verovatnoće P_i , da ako se nalazimo u segmentu M_j , $j = 1, 2, 3$, koji traje k minuta, pri čemu $k \in \{5, 10, 15, \dots, 85\}$ pređemo u stanje M_i u slučaju kada je $j \neq i$, ili ostanemo u stanju M_i , kada je $i = j$, i u narednih 5 minuta. Drugim rečima, izračunate su uslovne verovatnoće da u narednih 5 minuta tržište ostane u istom stanju, ili ode u jedno od druga dva, u zavisnosti od stanja u kojem se trenutno nalazi i dužine trajanja segmenta trenutnog stanja.

U opštem slučaju:

- $P_i = P(T_{M_i} | S_j = k)$, $i \neq j$ predstavlja verovatnoću da u narednih 5 minuta na tržištu dođe do promene stanja u odnosu na trenutno zastupljeni segment, koji traje k minuta,
- $P_i = P(T_{M_i} | S_j = k)$, $i = j$ predstavlja verovatnoću da u narednih 5 minuta na tržištu nastavi da traje trenutno zastupljeni segment.

¹Kreirani kod se može videti u Prilogu 1

Primer izračunatih verovatnoća:

- $P_1 = P(T_{M1}|S_1 = 5) = 67.86\%$
- $P_2 = P(T_{M2}|S_1 = 5) = 5.84\%$
- $P_3 = P(T_{M3}|S_1 = 5) = 26.30\%$

Dužina trajanja M1 segmenta	Moguća buduća stanja	Verovatnoća promene za narednih 5min
5 minuta	M1	67.86%
	M2	5.84%
	M3	26.30%
10 minuta	M1	78.19%
	M2	3.59%
	M3	18.22%
15 minuta	M1	79.30%
	M2	3.18%
	M3	17.52%
20 minuta	M1	80.00%
	M2	2.24%
	M3	17.36%

Slika 5.2.1: Ostvarene verovatnoće prelaza iz M1 segmenta.

Na Slici 5.2.1 je prikazan deo ostvarenih verovatnoća prelaza iz M1 segmenta.²

Tumačenje rezultata:

- Ako segment M1 traje 5min, verovatnoća da potraje i do 10-tog minuta iznosi 67.86%.
- Ako segment M1 traje 5 min, verovatnoća da se u narednih 5 minuta desi promena i da ta promena bude prelazak u stanje M2 je 5.84%.
- Ako segment M1 traje 5 min, verovatnoća da se u narednih 5 minuta desi promena i da ta promena bude prelazak u stanje M3 je 26.30%.

Na Slici 5.2.2 i Slici 5.2.3 su prikazani delovi ostvarenih verovatnoća prelaza iz segmenta M2 i M3, respektivno³. Tumačenje dobijenih rezultata je analogno tumačenju rezultata ostvarenih prilikom prelaska iz segmenta M1.

²Ostvareni rezultati za sve vremenske intervale se mogu videti u Prilogu 2

³Celokupni rezultati se mogu videti u Prilogu 3 i Prilogu 4

Dužina trajanja M2 segmenta	Moguća buduća stanja	Verovatnoća promene za narednih 5min
5 minuta	M1	11.64%
	M2	80.27%
	M3	8.09%
10 minuta	M1	7.65%
	M2	83.65%
	M3	8.70%
15 minuta	M1	8.16%
	M2	81.63%
	M3	10.21%
20 minuta	M1	6.65%
	M2	84.49%
	M3	8.86%

Slika 5.2.2: Ostvarene verovatnoće prelaza iz M2 segmenta.

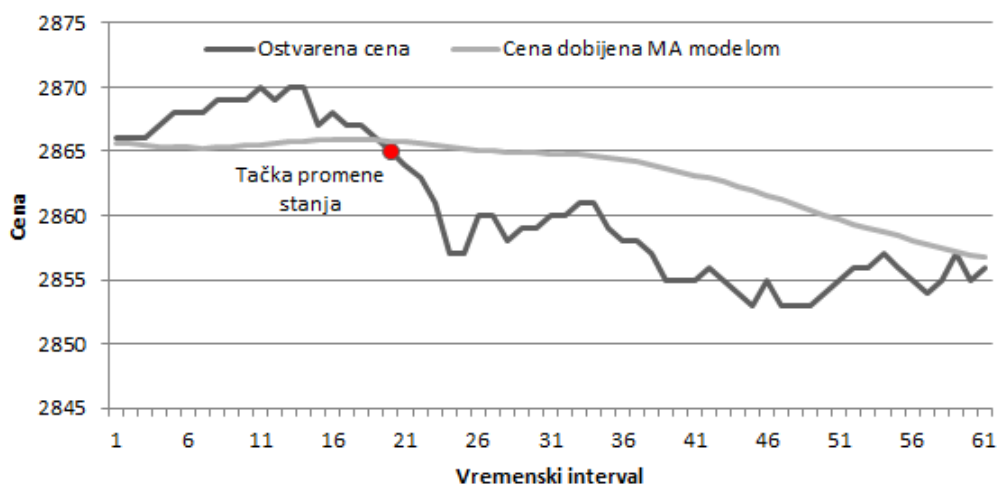
Dužina trajanja M3 segmenta	Moguća buduća stanja	Verovatnoća promene za narednih 5min
5 minuta	M1	25.66%
	M2	5.16%
	M3	69.18%
10 minuta	M1	20.24%
	M2	3.59%
	M3	76.17%
15 minuta	M1	19.02%
	M2	3.01%
	M3	77.97%
20 minuta	M1	17.42%
	M2	2.25%
	M3	80.33%

Slika 5.2.3: Ostvarene verovatnoće prelaza iz M3 segmenta.

Iz dobijenih rezultata se izvlači zaključak da su najveće verovatnoće da tržište ostane u stanju u kojem se nalazi. Ovaj zaključak ima i svoju matematičku opravdanost. Ukoliko se vratimo na tehnike koje su korišćenje prilikom generisanja stanja i korišćene parametre u njima, postaje jasno da ukoliko je cena dovoljno dugo višlja od cene ostvarene MA modelom, treba da prođe određeno vreme u kojem će cena biti dovoljno niska da bi se to odrazilo na cenu koja se dobija MA modelom i samim tim dovelo do toga da tržište pređe u stanje M3 iz stanja M1. Slika 5.2.4 grafički prikazuje primer prelaza tržišta iz stanja M1 u stanje M3.

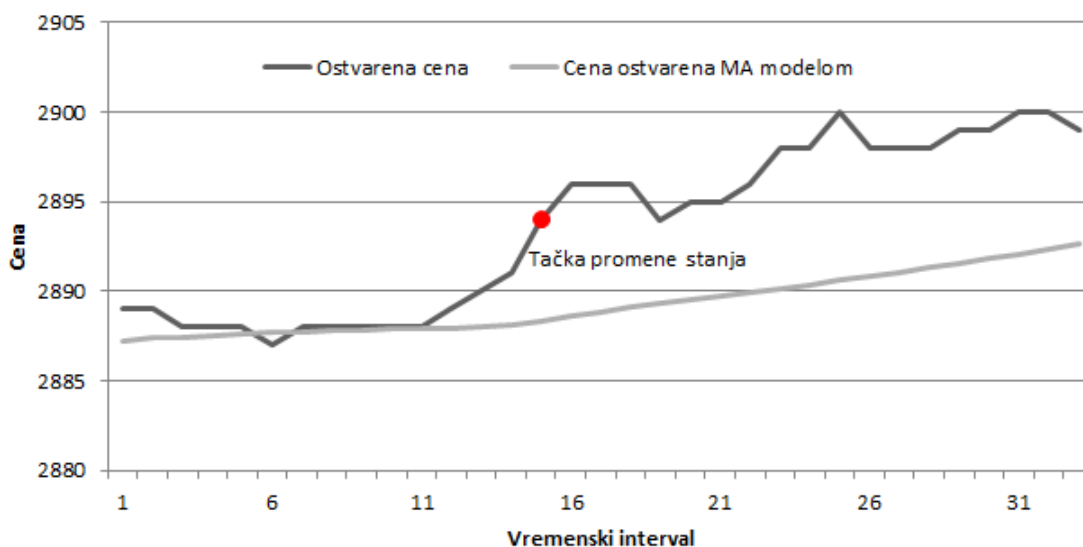
Obrnuto, ukoliko je cena dovoljno dugo ispod vrednosti dobijenih MA modelom, mora nastupiti duži vremenski interval u kojem će cena značajno da poraste, da bi to rezultiralo činjenicom da cena u datom minutu postane višlja od cene dobijene MA modelom, odnosno da dođe

do promene iz stanja M3 u stanje M1.



Slika 5.2.4: Primer prelaza tržišta iz stanja M1 u stanje M3.

Isto važi i iz ugla standardne devijacije uzorka, ukoliko je standardna devijacija uzorka duži vremenski period iznad postavljene granice mora da nastupi duži vremenski interval u kojem će ova veličina imati manju vrednost kako bi pala ispod posmatrane granice i samim tim došlo do promene stanja na tržištu. Primer prelaza tržišta iz stanja M2 u stanje M1 dat je na Slici 5.2.5.



Slika 5.2.5: Primer prelaza tržišta iz stanja M2 u stanje M1.

Ukoliko algoritam prati i pamti dužinu trajanja određenog segmenta na tržištu, ostvarene verovatnoće mu pružaju mogućnost da predvidi buduće uslove na tržištu i shodno njima prilagodi svoje aktivnosti. Kako je proces računanja verovatnoća automatizovan, ukoliko učesnik želi detaljnije da prati uslove na tržištu, tj. da posmatra moguće promene iz minuta u minut, potrebno je samo prilagoditi vremenski parametar dužine gledanja u budućnost.

5.3 Rezultati kao osnova za dalja istraživanja

Postoji mnogo različitih sfera u kojima dobijeni rezultati mogu da se primene. Pre svega nakon poznavanja ovih verovatnoća moguće je izvoditi dalje analize:

- kako kreirati algoritam tako da u svakom stanju ostvari najbolje moguće rezultate,
- kako rasporediti sredstva između velikog broja brokera, sa ciljem ostvarivanja optimalnog poslovnog rezultata,
- koju vrstu naloga koristi u zavisnosti od stanja koje vlada na tržištu, kada i kojeg obima,
- posmatrati rezultate za veći broj finansijskih instrumenata i shodno tome kreirati optimalni portfolio.

Korišćenjem različitih parametara u samom procesu moguće je ostvariti različite rezultate. U zavisnosti od cilja analize, moguće je posmatrati kretanja u daljoj ili bližoj budućnosti, i na taj način kreirati strategiju, upravljati portfoliom ili kontrolisati dalja ulaganja.

Unapređenja u samom procesu računanja verovatnoća su pre svega prepoznavanje konkretnog momenta, minuta, u kojem je najveća verovatnoća da se desi promena stanja. Ovakvi podaci bi predstavljali još detaljniji uvid u dalja kretanja na finansijskim tržištima.

Napredak je moguć i u samim tehnikama koje se koriste za određivanje stanja, a samim tim i segmenata koji vladaju na tržištu.

- Uključivanje većeg broja pokazatelja koji prate kretanje cene određenog finansijskog instrumenta,
- postavljanje rigoroznijih parametara za praćenje,
- definisanje drugačijih vrednosti parametara prilikom generisanja stanja na tržištu, u zavisnosti koliki uticaj prošlosti na podatke je prihvatljiv,
- ažuriranje podataka u realnom vremenu, iz minuta u minut ili čak i u kraćim vremenskim intervalima.

Zaključak

Analiza finansijskih tržišta, kao veoma kompleksnih sistema, je jako široka i često je teško zadržati jedan pravac, jer postoji mnogo sastavnih delova koji karakterišu samo tržište. Svaki od faktora koji utiče na kretanja na finansijskim tržištima je potencijalan predmet analize, jer detaljno razumevanje svakog od njih može značiti veliku komparativnu prednost. Učesnici na finansijskim tržištima se svakodnevno izlažu visokom riziku, a sve u cilju maksimizacije dobiti i efikasnog upravljanja portfoliom.

Mogućnost opravdanog predviđanja kretanja uslova koji vladaju na finansijskim tržištima predstavlja kategoriju koja se nalazi u centru pažnje svakakog investitora. Smanjivanje potencijalnog rizika u bilo kojoj meri označava veliku prednost. U ovom radu se izučio jedan od mogućih pristupa problematici predviđanja budućih stanja na tržištu.

Nakon postavljenih pretpostavki o razlikovanju tri stanja na tržištu, testirane su mnogobrojne matematičke tehnike, u cilju njihovog generisanja. Izabrana je tehnika koja je zadovoljila postavljene ciljeve o uravnoteženosti relativnog broja zastupljenosti svakog od stanja i o prosečnoj dužini trajanja svakog segmenta. Nad generisanim stanjima je izvršena analiza predviđanja daljih kretanja.

Korišćenjem poznatih podataka o trenutnom stanju i njegovoj dužini trajanja računale su se uslovne verovatnoće o ponašanju tržišta u narednom periodu. Proces računanja verovatnoća je automatizovan i omogućava korisniku da prilagodi analizu svojim potrebama i sklonostima. Poznavanje ovih informacija omogućava samom učesniku da bolje isplanira svoje buduće aktivnosti na tržištu, a samim tim i da bolje iskoristi povoljna buduća kretanja, odnosno da se zaštiti od nepovoljnih. Ostvareni rezultati imaju svoju matematičku opravdanost i čine dobru osnovu za dalja istraživanja na ovu temu.

Sama analiza se može unaprediti korišćenjem sofisticiranijih metoda za generisanje stanja na tržištu i korišćenjem kompleksnijih pokazatelja.

Prilozi

Prilog 1

Kod za računanje traženih verovatnoća.

```
sts=ND$states
counterM1M1=0
counterM1M2=0
counterM1M3=0
for (i in 2:84660){
  if (is.na(sts[i-1])){
    sts[i-1]="M"
  }
  if (is.na(sts[i]) | sts[i]==sts[i-1]){
    next
  }else{
    if (sts[i]=="M1"){
      j=0
      while (i+j <= length(sts) & !is.na(sts[i+j]) & sts[i+j]=="M1"){
        j=j+1
      }
      if (j>=10){
        counterM1M1=counterM1M1+1
      }else if (j>=5 & !is.na(sts[i+j]) & sts[i+j]=="M2"){
        counterM1M2=counterM1M2+1
      }else if (j>=5 & !is.na(sts[i+j]) & sts[i+j]=="M3"){
        counterM1M3=counterM1M3+1
      }
    }
  }
}
P1=counterM1M1/(counterM1M1+counterM1M2+counterM1M3)
P2=counterM1M2/(counterM1M1+counterM1M2+counterM1M3)
P3=counterM1M3/(counterM1M1+counterM1M2+counterM1M3)
```

Prilog 2

Ostvarene verovatnoće prelaza iz M1 segmenta

Dužina trajanja M1 segmenta	Moguća buduća stanja	Verovatnoća promene za narednih 5min
5 minuta	M1	67.86%
	M2	5.84%
	M3	26.30%
10 minuta	M1	78.19%
	M2	3.59%
	M3	18.22%
15 minuta	M1	79.30%
	M2	3.18%
	M3	17.52%
20 minuta	M1	80.00%
	M2	2.24%
	M3	17.36%
25 minuta	M1	77.24%
	M2	2.56%
	M3	20.20%
30 minuta	M1	75.76%
	M2	2.69%
	M3	21.55%
35 minuta	M1	76.79%
	M2	7.14%
	M3	16.07%
40 minuta	M1	80.95%
	M2	4.17%
	M3	14.88%
45 minuta	M1	82.96%
	M2	2.96%
	M3	14.08%

Dužina trajanja M1 segmenta	Moguća buduća stanja	Verovatnoća promene za narednih 5min
50 minuta	M1	76.58%
	M2	2.70%
	M3	20.72%
55 minuta	M1	72.94%
	M2	2.35%
	M3	24.71%
60 minuta	M1	83.61%
	M2	1.64%
	M3	14.75%
65 minuta	M1	66.00%
	M2	0.00%
	M3	34.00%
70 minuta	M1	63.64%
	M2	12.12%
	M3	24.24%
75 minuta	M1	80.00%
	M2	0.00%
	M3	20.00%
80 minuta	M1	93.75%
	M2	0.00%
	M3	6.25%
85 minuta	M1	78.57%
	M2	7.14%
	M3	14.29%

Prilog 3

Ostvarene verovatnoće prelaza iz M2 segmenta

Dužina trajanja M1 segmenta	Moguća buduća stanja	Verovatnoća promene za narednih 5min
5 minuta	M1	11.64%
	M2	80.27%
	M3	8.09%
10 minuta	M1	7.65%
	M2	83.65%
	M3	8.70%
15 minuta	M1	8.16%
	M2	81.63%
	M3	10.21%
20 minuta	M1	6.65%
	M2	84.49%
	M3	8.86%
25 minuta	M1	6.04%
	M2	85.66%
	M3	8.30%
30 minuta	M1	9.25%
	M2	84.58%
	M3	6.17%
35 minuta	M1	5.73%
	M2	89.58%
	M3	4.69%
40 minuta	M1	7.69%
	M2	83.43%
	M3	8.88%
45 minuta	M1	5.67%
	M2	88.66%
	M3	5.67%

Dužina trajanja M1 segmenta	Moguća buduća stanja	Verovatnoća promene za narednih 5min
50 minuta	M1	4.80%
	M2	88.80%
	M3	6.40%
55 minuta	M1	5.41%
	M2	87.39%
	M3	7.20%
60 minuta	M1	6.19%
	M2	84.54%
	M3	9.28%
65 minuta	M1	8.64%
	M2	87.66%
	M3	3.70%
70 minuta	M1	5.63%
	M2	90.14%
	M3	4.23%
75 minuta	M1	8.06%
	M2	88.71%
	M3	3.23%
80 minuta	M1	1.89%
	M2	90.56%
	M3	7.55%
85 minuta	M1	2.08%
	M2	95.84%
	M3	2.08%

Prilog 4

Ostvarene verovatnoće prelaza iz M3 segmenta

Dužina trajanja M1 segmenta	Moguća buduća stanja	Verovatnoća promene za narednih 5min
5 minuta	M1	25.66%
	M2	5.16%
	M3	69.18%
10 minuta	M1	20.24%
	M2	3.59%
	M3	76.17%
15 minuta	M1	19.02%
	M2	3.01%
	M3	77.97%
20 minuta	M1	17.42%
	M2	2.25%
	M3	80.33%
25 minuta	M1	18.86%
	M2	2.07%
	M3	79.07%
30 minuta	M1	17.22%
	M2	4.63%
	M3	78.15%
35 minuta	M1	21.55%
	M2	10.34%
	M3	68.10%
40 minuta	M1	21.52%
	M2	5.06%
	M3	73.42%
45 minuta	M1	15.52%
	M2	3.45%
	M3	81.03%

Dužina trajanja M1 segmenta	Moguća buduća stanja	Verovatnoća promene za narednih 5min
50 minuta	M1	24.47%
	M2	7.45%
	M3	68.08%
55 minuta	M1	25.00%
	M2	1.56%
	M3	73.44%
60 minuta	M1	30.44%
	M2	2.17%
	M3	67.39%
65 minuta	M1	19.35%
	M2	0.00%
	M3	80.65%
70 minuta	M1	20.83%
	M2	0.00%
	M3	79.17%
75 minuta	M1	22.22%
	M2	0.00%
	M3	77.78%
80 minuta	M1	30.77%
	M2	0.00%
	M3	69.23%
85 minuta	M1	11.11%
	M2	0.00%
	M3	88.89%

Bibliografija

- [1] Edward A Leshik, Jane Cralle, *An introduction to Algorithmic trading, Basic to Advanced Strategies*, United Kingdom, John Wiley and Sons Ltd, 2011;
- [2] David G. Luenberger, *Investment science*, New York Oxford, Oxford University Press, 1998;
- [3] John C. Hull, *Options, futures, and other derivatives*, 7. izd., Pearson, 2009;
- [4] Kaufman J. P., *Trading Systems and Methods*, 5. izd. Nju Džersi: Wiley-Blackwell , 2013;
- [5] Jakša Cvitanić, Fernando Zapatero, *Introduction to the Economics and Mathematics of Financial Markets*, London, England, The MIT Press, 2004;
- [6] Joel Hasbrouck, *Empirical Market Microstructure: The Institutions, Economics, and Econometrics of Securities Trading*, New York, Oxford University Press, 2007;
- [7] Tsay, R. S. , *Analysis of Financial Time Series*, 2. izd. Njujork: A John Wiley and Sons, Inc., 2005;
- [8] Anatoly B. Schmidt, *Financial Markets and Trading: An Introduction to Market Microstructure and Trading Strategies*, New Jersey, John Wiley and Sons, 2011;
- [9] Maureen O'Hara, *High Frequency Market Microstructure*, April 2014
- [10] Hans R. Stoll, *Market Microstructure*, Nahville, First draft: July, 2001;
- [11] Miles Kumaresan, PhD Thesis, *Optimization of Conditional Trajectories in a Market Place of Multiple Liquidity Pools*, University of Novi Sad, 2010;
- [12] Sanja Lončar, PhD Thesis, *Negative Selection - An Absolute Measure of Arbitrary Algorithmic Order Execution*, University of Novi Sad, 2017;
- [13] Lars N. Kestner, *Quantitative trading strategies: Harnessing the Power of Quantitative Techniques to Create a Winning Trading Program*, USA, Lars Kestner, 2003;
- [14] Robert Almgren, Neil Chriss, *Optimal Execution of Portfolio Transactions*, December 2000
- [15] Marco Avellaneda, *Algorithmic and High-frequency trading: an overview*, New York University & Finance Concepts LLC, Quant Congress USA 2011;
- [16] Jan Fraenkle, Svetlozar T. Rachev, Christian Scherrer, *Market Impact Measurement of a VWAP Trading Algorithm*;

- [17] Roy E. Bailey, *The Economics of Financial Markets*, New York, Cambridge University Press, 2005;
- [18] Larry Harris, *Trading and Exchanges: Market Microstructure for Practitioners*, Oxford University Press, USA, 2003;
- [19] Maddala G.S. *Introduction to Econometrics 2thed.* New York: Macmillan Publishing Company; 1992;
- [20] Rajter-Ćirić, Danijela, *Verovatnoća*, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet u Novom Sadu, 2009;
- [21] Lozanov-Crvenković, Zagorka, *Statistika*, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet u Novom Sadu.

Kratka biografija



Ana Pavlović je rođena 21. oktobra 1993. godine u Sremskoj Mitrovici. Osnovnu školu “Slobodan Bajić Paja” završila je u Sremskoj Mitrovici 2008. godine i dobitnik je “Vukove diplome”. Srednju ekonomsku školu “9. maj”, smer ekonomski tehničar, završila je u Sremskoj Mitrovici 2012. godine, kao đak generacije. Nakon toga, upisala je Prirodno-matematički fakultet, smer Primenjena matematika, modul Matematika finansija, gde je 2015. godine završila osnovne studije sa prosekom 9,50. Iste godine upisala je i master studije na Prirodno-matematičkom fakultetu. Položila je sve ispite predviđene nastavnim planom i programom master studija, zaključno sa aprilskim rokom 2017. godine i ostvarila je prosečnu ocenu 9,75. Tokom školovanja, aktivno se bavila volonterskim radom u oblasti aktivizma mladih, bila je član marketing tima Departmana za matematiku i informatiku, učestvovala je na mnogobrojnim seminarima od kojih se izdvaja “ECMI Modelling Week” u Sofiji. Prvi semestar pete godine je provela u Veroni, u Italiji. Od jula je zaposlena u IT Consulting kući “Synechron”, na poziciji biznis analitičara, gde radi na integraciji softvera, koji se koristi na finansijskim tržištima.

Novi Sad, oktobar 2017.

Ana Pavlović

**UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA**

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije: *monografska dokumentacija*

TD

Tip zapisa: *tekstualni štampani materijal*

TZ

Vrsta rada: *master rad*

VR

Autor: *Ana Pavlović*

AU

Mentor: *prof. dr Nataša Krejić*

MN

Naslov rada: *Procena parametara za model dinamike tržišta sa različitim stanjima*

NR

Jezik publikacije: *srpski (latinica)*

JP

Jezik izvoda: *s/e*

JI

Zemlja publikovanja: *Republika Srbija*

ZP

Uže geografsko područje: *Vojvodina*

UGP

Godina: *2017.*

GO

Izdavač: *autorski reprint*

IZ

Mesto i adresa: *Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 4*

MA

Fizički opis rada: *5 poglavlja, 52 strane, 21 lit. citata, 15 slika, 1 tabela, prilozi*

FO

Naučna oblast: *matematika*

NO

Naučna disciplina: *primenjena matematika*

ND

Ključne reči: *finansijska tržišta, algoritamsko trgovanje, VWAP, generisanje stanja, predviđanje, verovatnoća*

PO

UDK

Čuva se: *u biblioteci Departmana za matematiku i informatiku, Prirodno-matematičkog fakulteta, u Novom Sadu*

ČU

Važna napomena:

VN

Izvod: *Master rad se bavi problemom prepoznavanja različitih uslova koji vladaju na finansijskim tržištima, njihovim analiziranjem i predviđanjem. Osnovni ciljevi učesnika na finansijskim tržištima se ogledaju u maksimizaciji profita i dobrom upravljanju portfoliom. Kako bi ostvarili ove ciljeve učesnici moraju dobro da poznaju samo tržište, sve uslove koji vladaju na njemu i da budu u stanju da se konstantno prilagođavaju promjenama koje se na njemu dešavaju.*

U centru analize se nalazi algoritamsko trgovanje koje predstavlja automatizovan proces izvršavanja naloga na elektronskim berzama. Ovaj vid trgovanja je popularan širom sveta i vrše se velika ulaganja u njegov razvoj. Prisustvo parametara koji se prilagođavaju uslovima na tržištu je jedan od načina postizanja bolje kontrole nad tržišnim kretanjima i smanjenja izloženosti riziku. Predviđanje budućih uslova na tržištu omogućava učesnicima da bolje iskoriste povoljna kretanja, ali i da se pravovremeno zaštite od nepovoljnih.

Analiza rada se zasniva na realnim podacima o kretanju cene jedne akcije sa londonske berze. Definisana su tri moguća stanja tržišta, a zatim je nad podacima izvršen proces generisanja stanja pomoću MA modela i standardne devijacije uzorka. Nad generisanim stanjima je izvršena analiza njihovih kretanja, zastupljenosti i analiza segmenata. Kao krajnji rezultat izračunate su verovatnoće prelaska tržišta u jedno od mogućih stanja, u zavisnosti od uslova koji su na njemu trenutno zastupljeni.

IZ

Datum prihvatanja teme od strane NN veća: *18.05.2017.*

DP

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije:

KO

Predsednik: *dr Danijela Rajter-Ćirić, redovni profesor*

Član: *dr Nataša Krejić, redovni profesor*

Član: *dr Nataša Krklec Jerinkić, docent*

**UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE
KEY WORDS DOCUMENTATION**

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type: *monograph type*

DT

Type of record: *printed text*

TR

Contents code: *Master thesis*

CC

Author: *Ana Pavlović*

AU

Mentor: *Prof. Nataša Krejić, PhD*

MN

Title: *Estimating parameters for a model of market dynamics and regime switching*

XI

Language of text: *Serbian (latin)*

LT

Language of abstract: *s/e*

LA

Country of publication: *Republic of Serbia*

CP

Locality of publication: *Vojvodina*

LP

Publication year: *2017.*

PY

Publisher: *author's reprint*

PU

Publ. place: *Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 4*

PP

Physical description: *5 sections, 52 pages, 21 references, 15 figures ,1 table, appendices*

PD

Scientific field: *mathematics*

SF

Scientific discipline: *applied mathematics*

SD

Key words: *financial markets, exchanges, algorithmic trading, VWAP, regime switching, prediction, probability*

UC

Holding data: *Department of Mathematics and Informatics' Library, Faculty of Sciences, Novi Sad*

HD

Note:

N

Abstract: The purpose of this work is to analyze the problem of recognizing different conditions on financial markets and their forecasting. The main goals of financial markets participants are reflected in the maximization of profit and good portfolio management. In order to achieve these goals participants need to have a good understanding of the market, its conditions and to be flexible about changes.

In the center of analysis is algorithmic trading, which is an automated process of order execution on electronic stock markets. Inclusion of the parameters which are adaptable to the market conditions is one way to gain better control over market movements and reduce risk exposure. Forecasting of the future market conditions allows participants to make better use of favorable movements, but also to protect themselves from unfavorable ones.

The analysis is conducted on real data obtained from the London Stock Exchange. Three possible market states are defined. By using the MA model and standard deviation of the sample, generating process of the states was performed over the data. Using the generated states, analysis of the states movements and analysis of the segments was made. As a final result, probabilities of a market transitions are calculated, depending on the current market conditions.

AB

Accepted by the Scientific Board on: *18.05.2017.*

ASB

Defended:

DE

Thesis defend board:

DB

President: *Prof. Danijela Rajter-Ćirić, PhD*

Member: *Prof. Nataša Krejić, PhD*

Member: *Assist. Prof. Nataša Krklec Jerinkić, PhD*