

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 000

**Analiza vremenskih nizova  
zasnovana na kompleksnim  
mrežama**

Lovre Mrčela

Zagreb, lipanj 2017.



# SADRŽAJ

<b>1. Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2. Metode i koncepti</b>	<b>2</b>
2.1. Statistička arbitraža zasnovana na standardnoj devijaciji . . . . .	2
2.2. Relacija preferencije i funkcija korisnosti . . . . .	2
2.3. Graf toka preferencija . . . . .	3
2.4. Metoda potencijala . . . . .	4
2.4.1. Računanje potencijala čvorova . . . . .	4
2.4.2. Konzistentna rekonstrukcija grafa . . . . .	6
<b>3. Algoritam</b>	<b>7</b>
3.1. Konstrukcija grafa toka preferencija . . . . .	8
3.2. Konstrukcija portfelja prema grafu toka preferencija . . . . .	9
<b>4. Rezultati</b>	<b>11</b>
<b>5. Zaključak</b>	<b>13</b>
<b>Literatura</b>	<b>14</b>

# 1. Uvod

Klasične metode statističke arbitraže uzimaju u obzir parove vrijednosnica čije cijene se ponašaju slično tijekom određenom vremenskog perioda. Sličnost se mjeri kointegracijom, korelacijom, ili nekom drugom mjerom, s ciljem pronalaska trenutka kada te cijene izlaze van statistički utvrđenog intervala visoke pouzdanosti. Takve prilike mogu se iskoristiti predviđanjem da će se cijene u idućem trenutku ponovno vratiti unutar intervala visoke pouzdanosti, te se u skladu s tim predviđanjem može provesti trgovanje.

In this paper, we propose a new method based on those predictions that are obtained by the statistical arbitrage method, using statistical measures as a proxy for describing the preference relations between pairs of assets. Next, a graph is formed based on those relations, so that mutual interaction of assets might be analyzed. This graph imposes a preference relation among the assets that are included in it. Finally, assets are sorted by preference and included into the portfolio. The idea of this method is to create a generalization of statistical arbitrage methods that is more robust and performs better when working with a larger number of assets by trying to take into account mutual interaction of assets.

## 2. Metode i koncepti

### 2.1. Statistička arbitraža zasnovana na standardnoj devijaciji

### 2.2. Relacija preferencije i funkcija korisnosti

Neka je  $\Omega$  skup općenitih dobara. Relacija preferencije, označena sa  $\succ$  i definirana nad  $\Omega \times \Omega$ , je strogi slabi uređaj koji odgovara načinu na koji ljudi preferiraju jednu vrijednosnicu u odnosu na drugu. Između dvaju dobara  $a, b \in \Omega$  relacija može, ali i ne mora postojati. Primjerice,  $a$  može biti više preferirano u odnosu na  $b$ , ili  $b$  u odnosu na  $a$ , ali moguća je situacija gdje su oba dobra podjednako preferirane. U tom slučaju radi se o indiferentnosti između  $a$  i  $b$ , i to se označava kao  $a \sim b$ .

Ova relacija specifična je po tome što je:

- *irrefleksivna*:  $\forall x \in \Omega: \neg(x \succ x)$  — za nijedno dobro ne vrijedi da je više preferirano od samog sebe,
- *asimetrična*:  $\forall x, y \in \Omega: x \succ y \Rightarrow \neg(y \succ x)$  — ako je  $x$  više preferirano od  $y$ , onda  $y$  nije više preferirano od  $x$ ,
- *tranzitivna*:  $\forall x, y, z \in \Omega: x \succ y \wedge y \succ z \Rightarrow x \succ z$  — ako je  $x$  više preferirano od  $y$ , te  $y$  više preferirano od  $z$ , tada je i  $x$  više preferirano od  $z$ ,
- *tranzitivna po indiferentnosti*:  $\forall x, y, z \in \Omega: x \sim y \wedge y \sim z \Rightarrow x \sim z$  — ako je  $x$  podjednako preferirano kao i  $y$ , te  $y$  podjednako preferirano kao i  $z$ , tada je i  $x$  podjednako preferirano kao i  $z$ .

Ovakva vrsta relacije prirodno opisuje odnose među različitim vrijednosnicama, npr. dionica  $A$  u nekom trenutku može biti više preferirana od dionice  $B$ . Razlog tome je što je za čovjeka lakše ocijeniti odnos (više, manje, jednako preferirano)

između svakog para vrijednosnica, nego pridijeliti svakoj vrijednosnici individualnu mjeru preferencije, pogotovo ako se radi o velikom broju vrijednosnica. No ipak, u svrhu konstruiranja portfelja korisnije je posjedovati individualnu mjeru preferencije za svaku vrijednosnicu. Stoga je poželjno pronaći način da se iz relacije preferencije dobiju individualne mjere preferencije.

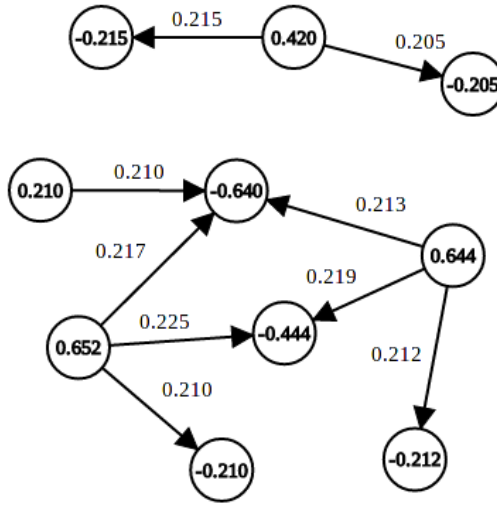
Funkcija korisnosti (engl. *utility function*)  $U: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$  je preslikavanje iz skupa dobara u skup realnih brojeva, na način da poredak preslikanih realnih brojeva odgovara poretку dobara prema individualnoj preferenciji, tj. vrijedi  $\forall x, y \in \Omega: U(x) > U(y) \Leftrightarrow x \succ y$ . Jedno takvo preslikavanje ostvaruje se korištenjem metode potencijala koja je opisana u poglavlju 2.4. Uz to što određuje poredak dobara prema individualnoj preferenciji, funkcija korisnosti također unosi i mjeru intenziteta preferencije prema nekoj vrijednosnici, što znači da nosi više informacija od same relacije.

## 2.3. Graf toka preferencija

Graf toka preferencija je težinski usmjereni graf, bez višestrukih bridova i petlji. Njegovi čvorovi predstavljaju vrijednosnice, usmjereni bridovi preferenciju jedne vrijednosnice nad drugom, a težine bridova odgovaraju jačini preferencije. Ukoliko između dva čvora nedostaje brid, smatra se da su pripadne vrijednosnice podjednako preferirane (indiferentnost u odlučivanju). Graf kao cjelina opisuje tok preferencija među vrijednosnicama. Primjer grafa prikazan je na slici 2.1.

Konstrukcija grafa temelji se na metodi statističke arbitraže. Brid koji ide od čvora  $i$  do čvora  $j$  s težinom  $w_{i,j}$  je prisutan u grafu ako i samo ako su se dvije pripadne vrijednosnice  $i$  i  $j$  ponašale slično tijekom proteklog vremenskog perioda, ali su prema određenim statističkim mjerama trenutačno razdvojile. Težina  $w_{i,j}$  opisuje magnitudu ovog razdvajanja. Detaljan opis korištenih statističkih mjera dan je u odjeljku 3.1.

Veze u ovom grafu na jedan način nameću relaciju preferencije među vrijednosnicama koje su opisane grafom, na način da brid koji ide iz čvora  $i$  u čvor  $j$  pokazuje da je vrijednosnica  $i$  više preferirana od vrijednosnice  $j$ . Kako ne graf sadrži petlje, tj. nijedna vrijednosnica nije u relaciji sama sa sobom, ispunjeno je svojstvo irrefleksivnosti; a kako nema višestrukih bridova među čvorovima vrijedi i svojstvo asimetričnosti. Ipak, problemi se pojavljuju kod prethodno spomenutih svojstava tranzitivnosti, i tranzitivnosti po indiferentnosti, koja ne moraju uvijek vrijediti za proizvoljno konstruiran graf. Poželjno bi bilo da graf nameće relaciju



**Slika 2.1:** Primjer grafa toka preferencija. Na bridovima su prikazane jačine preferencija jedne vrijednosnice u odnosu na drugu, a u čvorove su upisane izračunate individualne mjere preferencija za pripadnu vrijednosnicu.

preferencije koja zadovoljava sva četiri prethodno navedena svojstva, no kada se radi o većem broju vrijednosnica, konstruiranje grafa koji posjeduje takva svojstva postaje nepraktično. Umjesto postizanja konzistentnosti sa svojstvima relacije preferencije, upotrijebljena je mjera konzistentnosti koja opisuje koliko je neki graf sličan sa svojom najbližom konzistentnom rekonstrukcijom, te se ona koristi kao dodatan parametar pri konstruiranju portfelja. Opis mjere konzistentnosti te način dobivanja najbliže konzistentne rekonstrukcije grafa dan je u odjeljku 2.4.

## 2.4. Metoda potencijala

Iz prethodno dobivenog grafa moguće je utvrditi u kojem paru vrijednosnica je tok preferencije najveći. Ipak, još uvijek nije moguće izravno utvrditi koja konkretna vrijednosnica je najviše ili najmanje poželjna, ili odrediti individualne mjere preferencije za svaku vrijednosnicu. Kako bi to bilo moguće korištena je metoda potencijala koja je opisana u nastavku.

### 2.4.1. Računanje potencijala čvorova

Neka je za promatrani graf  $\mathcal{G}$  ukupno  $N$  čvorova, te najviše  $E = \binom{N}{2}$  bridova, ukoliko se radi o potpunom grafu. Ako  $\mathcal{G}$  nije potpun graf, on se može dopuniti na način da se dodaju bridovi između čvorova koji nisu povezani, čija je težina

jednaka 0, a sam smjer nije bitan. U nastavku se podrazumijeva da je  $\mathcal{G}$  potpun graf.

Neka je  $\mathbf{B}$  matrica incidencije grafa  $\mathcal{G}$ . Matrica incidencije je matrica za koju vrijedi:

1. broj redaka jednak je broju bridova  $E$ , i broj stupaca jednak je broju čvorova  $N$ ;
2. za svaki od  $E$  bridova grafa postoji odgovarajući redak u matrici koji ga opisuje: ako brid ide od čvora  $i$  do čvora  $j$ , tada taj redak sadrži  $-1$  i  $1$  u stupcima koji odgovaraju čvorovima  $i$  i  $j$ ;
3. ostali elementi matrice su jednaki 0.

Neka je  $\mathbf{f}$  vektor dimenzija  $E \times 1$  koji sadrži težine bridova, tj. tokove preferencije, i neka je  $\phi$  vektor dimenzija  $N \times 1$  koji sadrži potencijale čvorova, koji se žele pronaći. Redoslijed pripadnih čvorova i bridova moraju odgovarati redoslijedu čvorova i bridova u matrici incidencija  $\mathbf{B}$ .

U idealnom slučaju, kada je  $\mathcal{G}$  konzistentan,  $\mathbf{B}$ ,  $\phi$ , i  $\mathbf{f}$  zadovoljavaju jednadžbu:

$$\mathbf{B}\phi = \mathbf{f}. \quad (2.1)$$

Jednadžba (2.1) tvrdi da razlike potencijala dvaju čvorova odgovaraju toku preferencije, odnosno težini brida koji povezuje te čvorove (do na predznak). Ovo je zadovoljivo samo za konzistentne grafove, što često i nije slučaj u ovom zadatku. U slučaju kada je graf  $\mathcal{G}$  nekonzistentan, od interesa je pronaći rješenje  $\phi^*$  koje ima minimalnu kvadratnu pogrešku. Tako originalni problem postaje:

$$\phi^* = \arg \min_{\phi} \left\{ \|\mathbf{B}\phi - \mathbf{f}\|^2 \right\} \Leftrightarrow \frac{\partial \|\mathbf{B}\phi^* - \mathbf{f}\|^2}{\partial \phi^*} = \mathbf{0}. \quad (2.2)$$

Matričnim deriviranjem (2.2) dobiva se sljedeća jednadžba:

$$\begin{aligned} 2\mathbf{B}^\top [\mathbf{B}\phi^* - \mathbf{f}] &= \mathbf{0} \\ \mathbf{B}^\top \mathbf{B}\phi^* &= \mathbf{B}^\top \mathbf{f}. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Jednadžba (2.3) određuje  $\phi^*$  do na konstantu, tj. rješenje ima jedan stupanj slobode. Stoga se dodaje sljedeće ograničenje:

$$\mathbf{j}^\top \phi^* = 0 \quad (2.4)$$

gdje je  $\mathbf{j}$  vektor jedinica istih dimenzija kao i  $\phi^*$ . Jednadžba (2.4) osigurava jedinstveno rješenje u kojem je ukupan zbroj potencijala svih čvorova jednak nuli.



Združivanjem prethodnih dviju jednadžbi u jednu, tako da se (2.4) doda svakom retku u (2.3), dobiva se:

$$\begin{aligned} \mathbf{B}^\top \mathbf{B} \phi^* + \mathbf{J} \phi^* &= \mathbf{B}^\top \mathbf{f} \\ [\mathbf{B}^\top \mathbf{B} + \mathbf{J}] \phi^* &= \mathbf{B}^\top \mathbf{f}, \end{aligned} \quad (2.5)$$

gdje je  $\mathbf{J}$  matrica jedinica istih dimenzija kao i  $\mathbf{B}^\top \mathbf{B}$ . Konačno, rješavanjem (2.5) po  $\phi^*$  dobiva se:

$$\phi^* = [\mathbf{B}^\top \mathbf{B} + \mathbf{J}]^{-1} \mathbf{B}^\top \mathbf{f}. \quad (2.6)$$

Dodatno, izraz (2.6) sadrži u sebi Laplaceovu matricu  $\mathbf{L} = \mathbf{B}^\top \mathbf{B}$ . Za Laplaceovu matricu vrijedi:

- $(\mathbf{L})_{ii}$  je jednak broju susjeda čvora  $i$ ,
- ostali elementi jednaki su  $-1$ .

Kako je graf  $\mathcal{G}$  potpun, tj. broj susjeda svakog čvora jednak je  $N - 1$ , izraz  $[\mathbf{B}^\top \mathbf{B} + \mathbf{J}]^{-1}$  se može pojednostavniti u  $\frac{1}{N} \mathbf{I}$ ; i stoga, se (2.6) može svesti na:

$$\phi^* = \frac{1}{N} \mathbf{B}^\top \mathbf{f}, \quad (2.7)$$

tako da se dobije računalno optimalan izraz. Jednadžba (2.7) tvrdi da se rješenje u smislu najmanjih kvadrata jednadžbe (2.1) dobije na način da se za svaki čvor pribroje težine svih bridova koji izlaze iz njega, i oduzmu težine svih bridova koji ulaze u njega.

### 2.4.2. Konzistentna rekonstrukcija grafa

Sada se na temelju dobivenog potencijala čvorova  $\phi^*$  može izračunati tok preferencije  $\mathbf{f}^*$  koji je konzistentan s potencijalnom, tako da se u (2.1) supstituiru  $\phi^*$  umjesto  $\phi$ :

$$\mathbf{f}^* = \mathbf{B} \phi^*. \quad (2.8)$$

Rekonstruirani tok preferencije  $\mathbf{f}^*$  u odnosu na originalni  $\mathbf{f}$  može sadržavati neke nove, pa čak i izgubiti neke stare težine. Dodatno,  $\mathbf{B}$ ,  $\phi^*$ , i  $\mathbf{f}$  opisuju konzistentan graf  $\mathcal{G}^*$ . Mjera konzistentnosti  $\kappa$  definira se kao:

$$\kappa = \frac{\|\mathbf{f}^*\|}{\|\mathbf{f}\|}. \quad (2.9)$$

Jednadžba (2.9) predstavlja kosinus kuta između  $\mathbf{f}$  i  $\mathbf{f}^*$  u prostoru određenom vektor stupacima matrice incidencije  $\mathbf{B}$ . Mjera konzistentnosti  $\kappa$  opisuje koliko je sličan graf  $\mathcal{G}$  s grafom  $\mathcal{G}^*$ , te je u rasponu od 0 do 1, gdje 0 znači potpunu nekonzistentnost (praktički nedostižno), a 1 potpunu konzistentnost.

### 3. Algoritam

Neka u zadanom skupu podataka ima ukupno  $N$  vrijednosnica kroz  $D$  vremenskih koraka. Neka je cijena vrijednosnice  $i$  u vremenskom koraku  $t$  jednaka  $a_i^{(t)}$ , za  $i \in [1, 2, \dots, N]$  i  $t \in [0, 1, \dots, D - 1]$ . Log cijene  $b_i^{(t)}$ , i razlike log cijena po parovima  $c_{i,j}^{(t)}$  dobivaju se na sljedeći način:

$$b_i^{(t)} = \log(a_i^{(t)}) \quad (3.1)$$

$$c_{i,j}^{(t)} = b_i^{(t)} - b_j^{(t)}, \quad (3.2)$$

i srednja vrijednost  $m_{i,j}^{(t)}$  i standardna devijacija  $d_{i,j}^{(t)}$  razlika log cijena tijekom proteklog perioda duljine  $T$  dobivene su kako slijedi:

$$m_{i,j}^{(t)} = \frac{1}{T} \sum_{\tau=t-T}^{t-1} c_{i,j}^{(\tau)} \quad (3.3)$$

$$d_{i,j}^{(t)} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{\tau=t-T}^{t-1} (c_{i,j}^{(\tau)} - m_{i,j}^{(t)})^2}. \quad (3.4)$$

Valja primijetiti kako je u izrazima sumiranja u (3.3) i (3.4) vremenski korak  $t$  namjerno izostavljen jer se radi nad proteklom periodom trajanja  $T$ , stoga sumiranje ide do  $t - 1$ . Ovi izračuni su temelj za daljnji tijek algoritma.

Također valja primijetiti da bi izračunavanje srednjih vrijednosti i standardnih devijacija zasebno za svaki vremenski korak bilo računski jako neefikasno, pogotovo kad se radi o velikom skupu podataka. Stoga je preporučljivo koristiti algoritam s pomičnim prozorima za računanje, koji je opisan u dodatku (TODO). Što se tiče memorijske potrošnje,  $c_{i,j}^{(t)}$ ,  $m_{i,j}^{(t)}$ , i  $d_{i,j}^{(t)}$  su idejno tenzori dimenzija  $(D - T) \times N \times N$ . Međutim, sva tri tenzora su antisimetrična, u smislu da vrijedi  $c_{i,j}^{(t)} = -c_{j,i}^{(t)}$ ,  $m_{i,j}^{(t)} = -m_{j,i}^{(t)}$ , i  $d_{i,j}^{(t)} = -d_{j,i}^{(t)}$ , stoga je polovina informacije sadržane u njima redundantna. Imajući to u vidu, ti tenzori se mogu ‘ispeglati’ do dimenzije  $(D - T) \times N \cdot (N - 1)/2$ , koristeći sljedeće preslikavanje kod kodiranja — za kodiranje para  $(i, j)$  u kod  $k$  koristi se izraz:

$$k = N \cdot (i - 1) + j - 1 - i \cdot (i + 1)/2, \quad (3.5)$$

a za dobivanje  $(i, j)$  iz  $k$  izrazi:

$$i = \left\lfloor N + 1/2 - \sqrt{(N + 1/2)^2 - 2(N + k)} \right\rfloor, \quad (3.6)$$

$$j = k + i \cdot (i + 1)/2 - N \cdot (i - 1) + 1. \quad (3.7)$$

Na slici 3.1 prikazano je kodiranje u slučaju  $N = 5$  vrijednosnica.

$i/j$	1	2	3	4	5
1	.	0	1	2	3
2	.	.	4	5	6
3	.	.	.	7	8
4	.	.	.	.	9
5	.	.	.	.	.

$k$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$i$	1	1	1	1	2	2	2	3	3	4
$j$	2	3	4	5	3	4	5	4	5	5

**Slika 3.1:** Example of the proposed encoding and decoding scheme, for  $N = 5$ . A dot  $(\cdot)$  indicates that that combination is not used.

### 3.1. Konstrukcija grafa toka preferencija

Korištenjem prethodno dobivenih  $c_{i,j}^{(t)}$ ,  $m_{i,j}^{(t)}$ , i  $d_{i,j}^{(t)}$  sada je moguće kreirati graf toka preferencije među vrijednosnicama u svakom vremenskom koraku  $t$ . Razmatrajući fiksni vremenski korak  $t$ , izdvajaju se svi parovi vrijednosnica  $(i, j)$  za koje vrijedi:

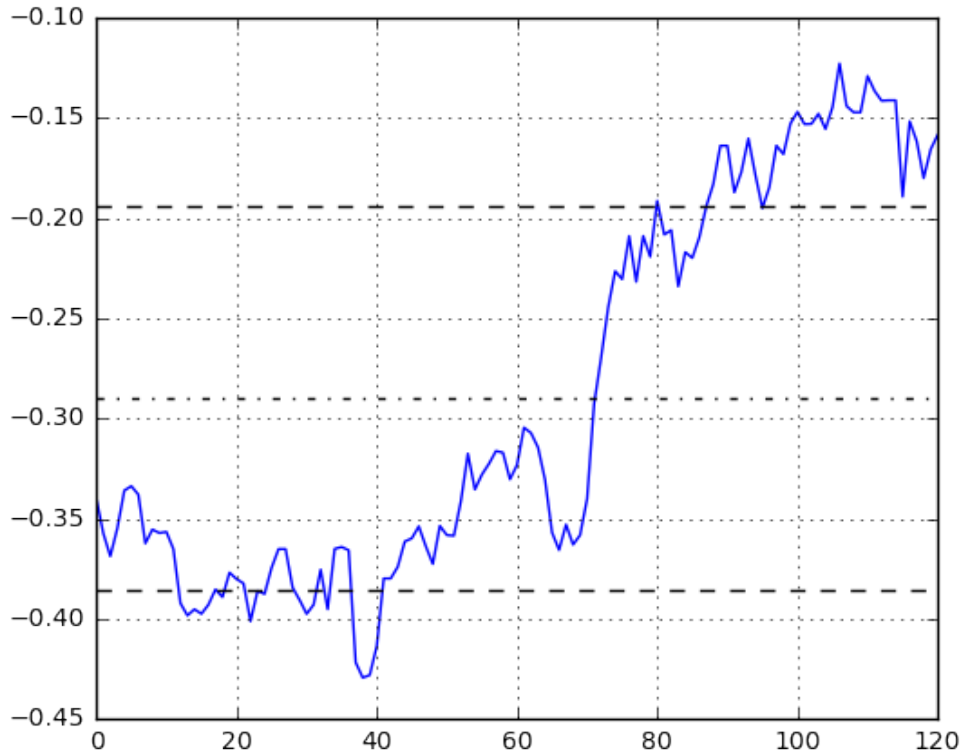
$$\left| c_{i,j}^{(t)} - m_{i,j}^{(t)} \right| > \alpha \cdot d_{i,j}^{(t)}, \quad (3.8)$$

tj. trenutna vrijednost razlike log cijena para vrijednosnica  $(i, j)$  je barem za  $\alpha$  standardnih devijacija udaljena od srednje vrijednosti izmjerene u proteklom periodu. Nakon toga, za svaki par  $(i, j)$  koji zadovoljava (3.8) dodaju se u graf čvorovi  $i$  i  $j$ , te brid koji ide od  $i$  do  $j$  s težinom  $w_{i,j}^{(t)}$ . Težina  $w_{i,j}^{(t)}$  dobiva se kao:

$$w_{i,j}^{(t)} = \left( c_{i,j}^{(t)} - m_{i,j}^{(t)} \right) / d_{i,j}^{(t)}, \quad (3.9)$$

što odgovara udaljenosti razlike log cijena od srednje vrijednosti mjerene u standardnim devijacijama, i po apsolutnoj vrijednosti je veće od  $\alpha$ . Ilustracija ove mjere prikazana je na slici 3.2.

Na taj način moguće je konstruirati graf toka preferencija za bilo koji vremenski korak  $t \in [T, T + 1, \dots, D - 1]$ . U nekim vremenskim koracima moguće je da dobiveni graf bude prazan, ukoliko nijedan par vrijednosnica  $(i, j)$  ne zadovoljava



**Slika 3.2:** Razlika log cijena u paru vrijednosnica  $(i, j)$  tijekom perioda od  $T + 1$  vremenskih koraka, uz  $T = 120$ . Točka-crta linija predstavlja srednju vrijednost, a područje između dviju crtkanih linija predstavlja  $\alpha$  standardnih devijacija udaljenosti od srednje vrijednosti; obje mjere su izračunate nad prvih  $T$  vremenskih koraka. Tijekom vremenskog koraka  $T + 1$ , razlika log cijena prelazi preko  $\alpha$  standardnih devijacija iznad srednje vrijednosti proteklog perioda duljine  $T$ . To znači da će vrijednosnice  $i$  i  $j$  biti dodane u graf toka preferencije u vremenskom koraku  $T + 1$ . Težina  $w_{i,j}^{(T+1)}$  opisuje devijaciju od srednje vrijednosti.

(3.8). Postavljanjem nižih vrijednosti za  $\alpha$  dobivaju se gušći grafovi i rjeđe se događa da je graf prazan, dok se postavljanjem  $\alpha = 0$  uvijek dobivaju potpuni grafovi.

### 3.2. Konstrukcija portfelja prema grafu toka preferencija

We obtain preference for each asset via the potential method, as described earlier in ???. By obtaining the measure of preference for each asset it is possible to pick assets for the portfolio. The most preferred assets should be bought while

the least preferred should be short-sold if possible.

Let  $\boldsymbol{\phi}^{(t)} = [\phi_1^{(t)} \ \phi_2^{(t)} \ \dots \ \phi_N^{(t)}]$  denote vector of preferences of assets at time step  $t$  and  $\phi_i^{(t)}$  denote the preference for asset  $i$  at time step  $t$ . When picking the assets for the portfolio we take into consideration the consistency measure  $\kappa$  as well. Lower values of  $\kappa$  suggest that we should diversify our portfolio by including some more assets in the order of preference, while higher values suggest that it is safe to do trading with smaller number of assets. Portfolio diversification might be seen as a strategy for protection from fundamental risks, e.g. risk of asset default.

The bound on the assets which will be taken into portfolio is proportional to the consistency measure  $\kappa$ . Depending on the nature of assets we may tune the consistency measure  $\kappa$  to be more or less inclined to diversification by transforming it to  $\kappa'$ :

$$\kappa' = a + (1 - a)\kappa^b, \quad (3.10)$$

where  $a \in [0, 1]$ ,  $b \in \mathbb{R}^+$ . For default values of  $a = 0$ ,  $b = 1$ ,  $\kappa'$  equals  $\kappa$ .

For determining the assets that should be held in the portfolio at time step  $t$ , we find such assets  $i$  for which holds:

$$\phi_i^{(t)} \geq \kappa' \cdot \Phi, \quad (3.11)$$

where  $\Phi$  is  $\max_j \{|\phi_j|\}$ . Likewise, for short-selling we choose those assets  $i$  for which holds:

$$\phi_i^{(t)} \leq -\kappa' \cdot \Phi. \quad (3.12)$$

For  $a = 0$  diversification completely depends on consistency  $\kappa$ , while for  $a = 1$  only the most preferred asset is held in the portfolio (no diversification). On the other hand, when  $0 < b < 1$ , algorithm is less inclined to diversification even when consistency is low, and when  $b > 1$ , algorithm is more inclined to diversification even when consistency is high.

## 4. Resultati

Results were obtained by testing on a set of 203 stocks that were contiguously included in S&P 500 index from Jan 1st, 1980 thru Dec 31st, 2003, which includes 6261 trading days. A total of 20503 pairs of assets were probed for statistical arbitrage at each time step. Summary of results for various parameters is shown in the table 4.1. Best profit and Sharpe ratio has been achieved when using  $\alpha = 0$ .

**Tablica 4.1:** Results for  $T = 60, \alpha = 0$ .

Parameter:		0.0			0.5			1.0		
a		0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	
b									/	
<hr/>										
Average return (year)		0.95339	0.88967	0.84463	0.98336	0.95663	0.89704	1.00223		
Volatility (year)		0.77042	0.76595	0.74077	0.77905	0.77054	0.76660	0.78363		
Sharpe ratio (year)		1.23750	1.16152	1.14020	1.26225	1.24150	1.17015	1.27896		
<hr/>										
Profit:										
positive only		89.27624	88.89440	88.32548	89.58775	89.29840	89.04414	89.55020		
negative only		-58.37779	-59.03715	-58.41396	-58.24852	-58.32385	-59.02220	-58.05316		
total		30.89846	29.85725	29.91152	31.33923	30.97456	30.02195	31.49704		
positive to negative ratio		1.52928	1.50574	1.51206	1.53803	1.53108	1.50866	1.54256		
<hr/>										
Average accuracy		0.36485	0.39276	0.43413	0.34902	0.36458	0.39145	0.33241		
Average turnover ratio		0.59976	0.64224	0.73597	0.57585	0.59947	0.64089	0.55112		
<hr/>										
Actual profit, if transaction cost were 0.1%		23.46019	21.89215	20.78402	24.19757	23.53996	22.07361	24.66204		

## 5. Zaključak

Algorithm works on pairs of assets, looking for those deviations which are uncommon, so generally it is expected to perform better where there is larger number of assets as more deviations will be discovered. It adapts to the inconsistency of preferences by picking variable number of assets into the portfolio.



# LITERATURA

- [1] T. Oetiket, H. Partl, Hyna, and E. Schlegl. *The not-so-short introduction to  $Latex$* . URL <http://www.ctan.org/tex-archive/info/lshort/english/lshort.pdf>.

# Analiza vremenskih nizova zasnovana na kompleksnim mrežama

## Sažetak

Sažetak na hrvatskom jeziku.

**Ključne riječi:** Ključne riječi, odvojene zarezima.

## Title

## Abstract

Abstract.

**Keywords:** Keywords.