

UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO  
FAKULTETA ZA MATEMATIKO IN FIZIKO

Eva Zupančič

**OBVLADOVANJE ZAUPANJA  
V INFORMACIJSKIH SISTEMIH  
S POMOČJO SIMULACIJ**

Diplomsko delo  
na interdisciplinarnem univerzitetnem študiju

Mentor: izr. prof. dr. Denis Trček

Ljubljana, 2009

Št. naloge: 00009/2009

Datum: 15.03.2009



Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko ter Fakulteta za matematiko in fiziko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **EVA ZUPANČIČ**

Naslov: **OBVLADOVANJE ZAUPANJA V INFORMACIJSKIH SISTEMIH S  
POMOČJO SIMULACIJ**  
**MANAGING TRUST IN INFORMATION SYSTEMS BY USING  
COMPUTER SIMULATIONS**

Vrsta naloge: Diplomsko delo univerzitetnega študija

Tematika naloge:

Obdelajte področje računalniško podprtega obvladovanja zaupanja v sodobnih informacijskih okoljih in se osredotočite na tipične predstavnike t.i. kvalitativnih in kvantitativnih metod. Izdelajte programsko rešitev, ki bo omogočila simulacije okolij z entitetami, ki uporabljajo kvalitativno vrednotenje zaupanja, določite nekaj tipičnih entitetnih struktur in izvedite simulacije ter jih analizirajte. Podajte možnosti uporabe vaše rešitve v sodobnih informacijskih okoljih.

Mentor:

prof. dr. Denis Trček



Dekan Fakultete za računalništvo in informatiko:

prof. dr. Franc Solina

Dekan Fakultete za matematiko in fiziko:

akad. prof. dr. Franc Forstnerič



Rezultati diplomskega dela so intelektualna lastnina Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Za objavljanje ali izkoriščanje rezultatov diplomskega dela je potrebno pisno soglasje Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.

*Besedilo je oblikovano z urejevalnikom besedil  $\LaTeX$ .*

Namesto te strani **vstavite** original izdane teme diplomskega dela s podpisom mentorja in dekana ter žigom fakultete, ki ga diplomant dvigne v študentskem referatu, preden odda izdelek v vezavo!



# Zahvala

Iskreno se za pomoč, usmerjanje, nasvete in spodbudo pri izdelavi diplomske naloge zahvaljujem svojemu mentorju izr. prof. dr. Denisu Trčku.

Diplomsko delo je samo krona štiriletnega študija, zato bi se na tem mestu rada zahvalila vsem, ki ste pripomogli, da sem lažje prebrodila svojo študijsko pot.

Hvala tistim profesorjem in asistentom, ki ste me znali navdušiti za snov in me prepričati, da sta računalništvo in matematika zanimivi vedi.

Velika zahvala gre mojim dragim sošolcem in sošolkam, s katerimi sem preživela mnogo zabavnih trenutkov. Hvala za prijateljsko IŠRM vzdušje in intenzivno sodelovanje na mailing listi v nočeh pred kolokviji in izpiti.

Mami in ati, hvala za udobna študijska leta in vsa nadležna vprašanja o tem, kako napreduje diploma.

In nazadnje, hvala Nini in Mihi, ker sta v izpitnih obdobjih redno hodila na obiske v mojo sobo in poležavala na moji postelji.



# Kazalo

<b>Povzetek</b>	<b>1</b>
<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>1 Uvod</b>	<b>5</b>
1.1 Kaj je zaupanje in njegov pomen . . . . .	5
1.2 Obvladovanje zaupanja . . . . .	6
1.3 Obvladovanje ugleda . . . . .	7
1.4 Cilji diplomske naloge . . . . .	8
<b>2 Metodologije za računalniško podprto obvladovanje zaupanja</b>	<b>10</b>
2.1 Jøsangova algebra . . . . .	11
2.1.1 Model zaupanja . . . . .	12
2.1.2 Subjektivna logika . . . . .	12
2.1.3 Preprosto in verižno overjanje . . . . .	15
2.2 Kvalitativna algebra . . . . .	17
2.2.1 Opis splošnega modela . . . . .	17
2.2.2 Definicije kvalitativne algebre . . . . .	18
<b>3 Simulacija obvladovanja zaupanja</b>	<b>22</b>
3.1 Izbira programskega jezika za implementacijo . . . . .	22
3.2 Teoretično ozadje . . . . .	23
3.3 Predpostavke - začetne konfiguracije . . . . .	24
<b>4 Analiza simulacij</b>	<b>27</b>
4.1 Začetne konfiguracije . . . . .	27
4.2 Obnašanje celotne skupnosti . . . . .	28
4.3 Obnašanje agentov istega tipa . . . . .	38
4.4 Modifikacije simulacijskega okolja . . . . .	39
4.5 Splošne ugotovitve in sklepi . . . . .	41

<b>5 Zaključek</b>	<b>44</b>
<b>A Simulacijsko okolje za obvladovanje zaupanja</b>	<b>46</b>
<b>Seznam slik</b>	<b>47</b>
<b>Seznam tabel</b>	<b>48</b>
<b>Literatura</b>	<b>49</b>
<b>Izjava</b>	<b>51</b>

# Seznam uporabljenih kratic in simbolov

pesimist: agent, ki mu je prirejen operator pesimističnega odziva  
optimist: agent, ki mu je prirejen operator optimističnega odziva  
centralist: agent, ki mu je prirejen operator uravnoveženega odziva



# Povzetek

Pri razvoju novih informacijskih sistemov je čedalje bolj pomembno upoštevanje oziroma vključevanje človeškega dejavnika v sistem. V diplomskem delu obdelamo s človeškim faktorjem povezano področje zaupanja v informacijski tehnologiji, ki je aktualna tema raziskav v računalniški znanosti. Predstavimo, kako lahko zaupanje obvladujemo s pomočjo računalnikov. Po pregledu obstoječih kvantitativnih in kvalitativnih metod za obvladovanje zaupanja sledi natančen opis simulacijskega orodja za analizo obvladovanja zaupanja, ki smo ga implementirali v namene diplomskega dela.

Glavni del diplomske naloge predstavlja analiza simulacij, ki so bile zagnane pri različnih začetnih parametrih. Z analizo rezultatov nato pokažemo, kako posamezni začetni parametri vplivajo na obnašanje različnih združb agentov, kakšno je tipično obnašanje posameznih agentov v skupini in kakšne so možnosti za regulacijo zaupanja v informacijskih sistemih.

## **Ključne besede:**

zaupanje, obvladovanje zaupanja, Jøsangova algebra, kvalitativna algebra, simulacijski pristop obvladovanja zaupanja



# Abstract

Human factor is more and more important in new information systems and it should be also taken into consideration when developing new systems. Trust issues, which are tightly tied to human factor, are becoming an important topic in computer science. In this work we research trust in IT systems and present computer-based trust management solutions. After a review of qualitative and quantitative methods for trust management, a precise description of a simulation tool for trust management analyses is given that was implemented on purpose for this work.

The main part of the work is an analysis of simulations, which were run with different initial parameters. With analysis of obtained results we show whether initial parameters have influence on agents behavior, what is typical behavior of single agent in a community and what are possibilities for trust management in information systems.

## Keywords:

trust, trust management, Jøsang's algebra, qualitative algebra, trust management with simulations



# Poglavje 1

## Uvod

### 1.1 Kaj je zaupanje in njegov pomen

Zaupanje je zapleten psihološko-sociološki fenomen. Kljub temu besedo *zaupanje* v vsakodnevnem življenju pogosto uporabljamo, največkrat brez premisleka o njenem globljem pomenu.

Po SSKJ je zaupanje “prepričanje, da je kdo sposoben, voljen narediti, kar se pričakuje” [15]. Veliko avtorjev, ki se ukvarjajo predvsem z raziskovanjem zaupanja v virtualnih skupnostih, je podalo podobno definicijo. Li in Singhal sta na primer zaupanje definirala kot “prepričanje, da se je entiteta v določenem primeru sposobna vesti zanesljivo in odgovorno” [7].

Zaupanje igra pomembno vlogo v skupnostih, ne glede na to, ali gre za družino, podjetje, pripadnike iste vere ali narod. Zaupanje je pričakovanje, da se bodo pripadniki skupnosti obnašali po normativih, ki so sprejeti v skupnosti. Če se delavci v podjetju obnašajo v skladu z dogovorjenimi normativi in zaupajo drug drugemu, da se bo vsak obnašal tako, bo delovanje podjetja stalo manj. Če zaupanja med sodelavci ni, organizacija in delovanje podjetja potekata na osnovi rigidnih in kompleksnih pravil. Vsako novo ureditev je potrebno doseči s pogajanjem, glasovanjem, včasih s prisilo. Ti mehanizmi, ki služijo kot nadomestek zaupanju, znatno zvišujejo stroške poslovanja. Tega se zavedajo tudi vodje v podjetjih. Uspešen vodja ve, da je uspeh podjetja odvisen od delavcev. Cilj dobrega vodje je tako iz skupine delavcev ustvariti tim, katerega člani si med seboj zaupajo.

V poslovnem svetu je prisotnost zaupanja pomembna tudi pri gradnji in ohranjanju odnosov med strankama. Nivo zaupanja, ki ga stranki gojita ena do druge, vpliva na njun način obnašanja in trgovanja. Že preprost primer, ko se kupec odloči za nakup izdelka in plačilo s kreditno kartico, temelji na mno-

gih drobnih odločitvah, ki zadevajo zaupanje. Prodajalec bo sprejel kreditno kartico kupca na podlagi informacij na kartici, holograma in podpisa stranke. Banka, ki je kupcu izdala kreditno kartico, zaupanje do kupca pokaže s tem, da mu odobri limit. Le-tega mu odobri na podlagi podatkov o njegovem poklcu, mesečni plači, povprečnih izdatkih preteklih mesecev in preučitvijo zapisov preteklih transakcij. Kupec se za plačilo s kartico odloči, ker zaupa banki, da bo z njegovega računa odtrgala točen znesek. Zaupati mora tudi prodajalcu, da informacij, pridobljenih med plačilom izdelka, ne bo uporabil za druge namene ali jih kako drugače zlorabil. Zaupanje med kupcem, prodajalcem in banko je zgrajeno na podlagi njihovih identitet, izkazovanja kompetence in izdeleve zapisov o nakupih, s katerimi lahko rešujejo morebitne kasnejše spore.

Ali tak model deluje tudi v virtualnem svetu? V virtualnem svetu je zaupanje še bolj pomembno, saj nimamo neposrednega stika z ljudmi, s katerimi trgujemo. Če lahko v fizičnem svetu na podlagi čudnih kretenj, nenavadne mimike in nezaupljivih pogledov ocenimo, da nas skuša prodajalec ogoljufati, imamo v virtualnem svetu na voljo največkrat le naslov IP prodajalca. Internetno trgovanje pomeni razširitev potencialnega tržišča in tako se v virtualni skupnosti skupaj znajdejo ljudje različnih kultur in različnega družbenega okolja, kar lahko hitro privede do nezaželenih in nenamernih nesporazumov. V takih skupnostih je zaupanje še toliko bolj pomembno. Tveganje pri trgovanju s kreditno kartico prek interneta se še dodatno poveča. Prodajalec mora brez podpisa in holograma zaupati kupcu, da je res imetnik kreditne kartice in bo plačal izdelek. Po drugi strani pa kupec podatke, ki jih posreduje iz kartice, še bolj izpostavi zlorabi in tveganju, da jih bodo prestregli hackerji.

Gradnja zaupanja v virtualnem svetu je dinamičen proces. Zaupanje raste s tem, ko uporabniki dobijo zelene rezultate in se ob tem ne počutijo ignorirane ali prevarane. Poudariti velja, da je zaupanje težko zgraditi, a zelo lahko izgubiti.

## 1.2 Obvladovanje zaupanja

Vse več podatkov je dosegljivih prek interneta, med njimi tudi zaupnih ali takih, ki so namenjeni le ozki ciljni skupini. Klasični sistemi temeljijo na mehanizmih za avtorizacijo javnih ključev, avtentikacijo in nadzor dostopa. Tako na podlagi identitete uporabnika določajo, ali le-ta lahko dostopa do zaupnih informacij ali ne. Vendar taki sistemi niso več dovolj, zato so se razvili novi sistemi za obvladovanje zaupanja. Pri teh ni več bistveno, *kako* narediti varen sistem, pač pa, *zakaj* lahko sistemu zaupamo. Novi sistemi za obvladovanje

zaupanja upoštevajo izkušnje posameznih entitet, ocenijo prisotno tveganje in naredijo analizo zaupanja.

Pri sistemih za obvladovanje zaupanja gre za zbiranje in analizo informacij, ki so potrebne za vzpostavitev zaupanja vrednega odnosa med entitetama in regulacijo že vzpostavljenih odnosov. Sistem za obvladovanje zaupanja nepoznanim entitetam dovoli dostop do podatkov, če predložijo primeren certifikat. Za razliko od klasičnih kontorlnih mehanizmov lahko v sistemu za obvladovanje zaupanja za vsako entiteto posebej dodamo omejitve in pogoje za dostop do izbranih virov. Vsak uporabnik ima možnost, da določi pogoje za uporabo podatkov in storitev, ki jih nudi. Entiteta lahko pooblasti drugo entiteto, da opravlja naloge v njenem imenu. S tem se sistem decentralizira in obremenitev se porazdeli. Kljub temu, da so sistemi za obvladovanje zaupanja lahko zelo veliki in v njih sodeluje veliko entitet, sta za vzpostavitev zaupanja potrebni le dve entiteti: entiteta, ki zahteva storitev in entiteta, ki zeleno storitev ponuja. Ti entiteti pa nista nujno atomarni.

Zaupanje med entitetama ne pride samo od sebe. Obstajajo mehanizmi, ki pomagajo, da se med entitetama v virtualni skupnosti vzpostavi zaupen odnos. Star ljudski rek, ki pravi, da dober glas seže v deveto vas, velja tudi v e-svetu. Kupci tako raje kupujejo pri prodajalcih, ki so jim ostali kupci namenili dobro besedo in visoko oceno poštenosti ter zanesljivosti. Kupec praviloma zaupa mnenju ostalih kupcev, saj meni, da le-ti nimajo nobenih koristi, če o prodajalcu podajo dobro mnenje. Mnenje skupnosti zato velja za objektivno. Naslednji mehanizem so posredniki, ki upravljajo s spletnimi tržišči. Uporabniki bolj zaupajo sistemu, ki uporabnike, ki domnevno škodujejo ostalim uporabnikom, izločijo in jim onemogočijo dostop. Zaupanje povečujejo tudi spletni ponudniki, ki zahtevajo plačilo šele po prejemu in potrditvi blaga. Kupec pri nakupu blaga čuti manjše tveganje glede prispelosti in kvalitete kupljenega blaga. Včasih zaščito kupcu nudi tudi institucija, ki je izdala njegovo kreditno kartico in mu vrne odškodnino, če pride do zlorabe pri spletnem trgovanju. Institucija kupca ne ščiti pred vsemi vrstami zlorab, vendar ta mehanizem vseeno prispeva, da kupci bolj zaupajo trgovanju v virtualnem svetu.

### 1.3 Obvladovanje ugleda

Z obvladovanjem zaupanja je tesno povezan pojem ugleda. Ugled pogosto jemljemo kot izhodišče za zaupanje entiteti. Temelji na ocenah, ki so jih entiteti dodelili ostali člani skupnosti, in ima pomembno vlogo pri vzpostavitvi začetnega odnosa med entitetama.

Osnovna ideja leži v tem, da entiteta po transakciji z drugo entiteto oceni, kakšno je bilo njuno poslovanje. Na podlagi mnenj entiteta dobi oceno, ki predstavlja splošno mnenje skupnosti o njeni poštenosti in zanesljivosti. Splošno mnenje o tej entiteti oziroma njen ugled lahko preveri katera koli druga entiteta, ki ima z njo namen poslovati. Slab ugled lahko stranke odvrne od sodelovanja z njo, zelo dober ugled pa jih dodatno prepriča.

Ugled je pogosta osnova, na podlagi katere se gradi zaupanje. Na splošno je vrednost zaupanja entiteti kombinacija splošnega ugleda entitete in tega, kaj si o njej misli entiteta, ki želi z njo vzpostaviti odnos. Zaupanje in ugled moramo razlikovati med sabo, vendar je zaupanje entiteti pogojeno z njenim ugledom. Zaupanje lahko izrazimo kot vrednost funkcije  $T = f(R, t)$ , kjer  $T$  pomeni zaupanje,  $R$  ugled in  $t$  čas, ko je bil  $R$  nazadnje modificiran (po [8]).

Poznamo dve vrsti sistemov za obvladovanje ugleda. V centraliziranem sistemu je informacija o vrednosti zaupanja podana v obliki ocene ostalih članov skupnosti. Centrala enota zbira ocene in jih dodeli vsaki posamezni entiteti. V porazdeljenih sistemih se ocene zbirajo in potrjujejo na različnih lokacijah. Tipičen primer so P2P omrežja (po [8]).

Verjetno najbolj znan sistem, ki vsebuje mehanizme za obvladovanje zaupanja na podlagi ugleda, je eBay. Kupci po izvršeni transakciji prodajalca ocenijo z 1 (pozitivno mnenje), 0 (nevtravno mnenje) ali -1 (negativno mnenje). Seštevek ocen predstavlja ugled prodajalca in ga lahko vidijo vse potencialne bodoče stranke.

V ogromnih sistemih za e-trgovanje so mehanizmi za obvladovanje zaupanja zelo zaželeni. Omogočajo namreč, da v obilici prodajalcev in ponudnikov storitev ločimo dobre od slabih in s tem izboljšamo kvaliteto ponudbe na elektronskem tržišču.

## 1.4 Cilji diplomske naloge

V diplomski nalogi se bomo ukvarjali z obvladovanjem zaupanja v virtualnem svetu. Pregledali bomo matematične modele, s katerimi opišemo zaupanje in odnose med člani skupnosti.

Razvili bomo simulacijsko orodje za obvladovanje zaupanja, s pomočjo katerega bomo nato opazovali in raziskovali obnašanje skupnosti. Preučili bomo, kateri parametri vplivajo na obnašanje skupnosti in na kakšen način. Opazovali bomo, kako se obnašajo združbe agentov pri različnih začetnih pogojih. Skušali bomo odkriti, v čem se simulacije pri različnih referenčnih konfiguracijah med seboj razlikujejo in v čem so si podobne. Na podlagi opazovanj

in večkratnih zagonov simulacije z različnimi začetnimi konfiguracijami bomo analizirali rezultate in ugotovili, ali morda lahko izpeljemo kakšna induktivna pravila obnašanja skupnosti.

V drugem poglavju bomo podali pregled obstoječih metodologij za računalniško podprto obvladovanje zaupanja, ki so osnovane na različnih matematičnih modelih. Sledi opis implementacije simulacijega orodja za obvladovanje zaupanja v tretjem poglavju in analiza dobljenih rezultatov v četrtem poglavju. Zadnje poglavje povzame diplomsko delo in ga zaključí.

## Poglavje 2

# Metodologije za računalniško podprto obvladovanje zaupanja

Z raziskovanjem lastnosti in pomena zaupanja se že dolgo časa poleg psihologov in sociologov, ukvarja tudi računalniška veja znanosti. Na začetku so zaupanje raziskovali zato, da bi ga znali modelirati v avtomatiziranih sistemih. Poudarek je bil na reševanju problema s tehničnega vidika. Temelj prvih pristopov pri gradnji sistemov za obvladovanje zaupanja so bili certifikati, izdelani na podlagi uporabnikove identitete. Prvi sistemi pri obravnavi zaupanja niso upoštevali faktorja, ki se je kasneje izkazal za zelo pomembega – človeškega dejavnika. Znani primeri rešitev za obvladovanje zaupanja iz tega obdobja so PICS (platforma za nadzor in izbiro vsebin, ki jo je izdelal W3C), Policy Maker (tehnologija podjetja AT&T, ki dodeljuje pravice dostopa glede na certifikat) in Trust Establishment Module (rešitev podjetja IBM, implementirana v Javi, podobna programu PolicyMaker).

Ti sistemi zaupanje pojmujejo kot *lastnost* entitete oziroma sistema. V začetku devetdesetih let je Denningova predstavila novo definicijo in zaupanje označila kot *oceno* (*ang. assesement*) s strani entitete (po [4]). Ocena je odnos med entitetama, ki temelji na izkušnjah in se širi prek interakcij med agenti. Z vsako interakcijo se ocena na novo ovrednoti. Primer metodologije, ki upošteva človeški faktor in se pogosto uporablja v računalništvu, je Dampster-Shaferjeva teorija evidence (po [4]).

V naslednjih razdelkih bomo opisali Jøsangovo algebro, ki je osnovana na Dampster-Shaferjevi teoriji evidence, in kvalitativno algebro, ki temelji na Pi-

agetovi<sup>1</sup> razvojni psihologiji.

## 2.1 Jøsangova algebra

Jøsangova algebra [2] je osnovana na subjektivni logiki. Zaupanje je v subjektivni logiki podano kot mnenje entitete. Mnenje poleg komponent zaupanja in nezaupanja vključuje tudi komponento negotovosti. Če trditvi popolnoma zaupamo oziroma smo stoodstotno prepričani vanjo, je stopnja negotovosti enaka nič, sicer je večja od nič. Jøsangova algebra je primerno orodje za modeliranje in analizo situacij, kjer moramo upoštevati prisotnost negotovosti, pomankljivo poznavanje razmer in različne (subjektivne) poglede na obravnavani problem. Tipično je to modeliranje omrežij zaupanja in analiza Bayesovih mrež.

Konkreten primer, kjer lahko uporabimo Jøsangovo algebro, so sistemi za upravljanje ključev. V velikih odprtih omrežjih rešitev z eno samo avtorizirano entiteto, ki generira in deli ključe, ni najboljša. Bolj smotrno je sistem, v katerem se vsak agent sam zase odloči, katerim izmed ostalih agentov bo zaupal. Na podlagi tega (ne)zaupanja določi, ali je certifikat, ki ga je prejel od nekega agenta, legitimen in, ali je ključ avtentičen.

Predpostavimo, da agenti podpisujejo certifikate (tehnično gledano, certifikate podpisujemo s ključi, vendar je praktično gledano to naloga agentov, ki pa pri tem opravilu, seveda, uporabljajo kriptografske ključe). V povezavi ključ-lastnik, ki se ustvari pri taki avtentikaciji, moramo eksplicitno poudariti zaupanje. Brez faktorja zaupanja bi se avtentikacija navezovala samo na upravljanje s ključi in ne bi vsebovala človeškega dejavnika. Povezava ključ-lastnik je zato subjektivna relacija, kar pomeni, da imata dva agenta lahko različni mnenji o isti povezavi.

Drug bistven dejavnik pri Jøsangovi algebri se nanaša na določanje, ali je agent, ki pri certificiranju priporoča ključ, vreden zaupanja. Priporočilo oziroma vrednost zaupnja priporočilu je ravno tako subjektivne narave. Za agenta, ki mu nek drug agent zaupa, ne velja nujno, da mu zaupa tudi nek tretji agent.

V podanem primeru zaupanje povezavi ključ-lastnik izrazimo kot *prepirčanje*, da je ključ avtentičen, zaupanje v overitelja (ang. certifier) pa kot *prepričanje*, da bo overitelj certificiral le ključe, ki so po njegovem avtentični.

---

<sup>1</sup>Piaget je bil švicarski biolog, ki je sprva preučeval mehkužce. Svojo raziskovalno pot je kmalu preusmeril v preučevanje vedenja otrok in njihov kognitivni razvoj. Je utemeljitelj razvojne teorije spoznanja.

### 2.1.1 Model zaupanja

V Jøsangovi algebri model zaupanja temelji na splošnem modelu izražanja zaupanja (oz. nezaupanja) o neki trditvi. Trditve morajo biti “binarne”, torej bodisi resnične bodisi neresnične. Trditev, kot je npr. “Ta ključ je avtentičen.”, je lahko resnična ali neresnična. Obstajata samo dve možnosti: ključ je avtentičen ali ključ ni avtentičen, vmesna možnost ne obstaja.

Realnosti in dejanskega stanja navadno ne poznamo do potankosti, zato se je včasih nemogoče za neko trditev odločiti, ali je resnična ali neresnična. O trditvi si ustvarimo *mnenje* (ang. opinion). Določimo, do kakšne mere trditvi zaupamo, nezaupamo oziroma smo glede nje negotovi.

**Definicija 1.** Naj bo  $\omega = \{b, d, u\}$  trojica, ki izpolnjuje pogoja:  $b + d + u = 1$  in  $\{b, d, u\} \in [0, 1]^3$ . Komponenta  $b$  ustreza stopnji zaupanja (ang. belief), komponenta  $d$  stopnji nezaupanja (ang. disbelief) in komponenta  $u$  stopnji negotovosti (ang. uncertainty). Potem je  $\omega$  mnenje.

Do negotovosti pride, kadar nimamo dovolj dokazov, da bi lahko izrazili zaupanje ali nezaupanje trditvi.

### 2.1.2 Subjektivna logika

Subjektivna logika je razširitev verjetnostega računa, ki poleg komponent zaupanja (tj. verjetnosti, da trditev drži) in nezaupanja (tj. verjetnosti, da trditev ne drži) vsebuje tudi komponento negotovosti (ne vemo, ali trditev drži ali ne). Če je  $u = 0$ , se subjektivna logika izenači z verjetnostnim računom. Če je poleg tega še  $b = 0$  (ali  $d = 0$ ), pa se prevede v binarno logiko. Poleg tega zajema tudi subjekt - agenta, katerega mnenje je podano. Mnenje agenta je izraženo s kombinacijo logičnih operatorjev. Najpomembnejši operatorji v subjektivni algebri so: *konjunkcija (AND)*, *disjunkcija (OR)*, *negacija (NOT)*, *priporočilo* in *splošno mnenje*.

Z  $\omega$  označimo mnenje, nadpisan simbol označuje subjekt, podpisan pa trditev, ki jo preverjamo. Na primer: pri dani trditvi  $p =$  “Ključ je avtentičen.” oznaka  $\omega_p^A$  pomeni “A-jevo mnenje o tem, ali je ključ avtentičen”. Komponente  $b_p^A$ ,  $d_p^A$  in  $u_p^A$  izražajo stopnjo zaupanja, nezaupanja oziroma negotovosti agenta  $A$  glede trditve  $p$ .

**Definicija 2 (Konjunkcija).** Naj bosta  $\omega_p^A$  in  $\omega_q^A$  mnenji subjekta  $A$  o dveh neodvisnih trditvah  $p$  in  $q$ . Potem konjunkcija mnenj  $\omega_p^A$  in  $\omega_q^A$  predstavlja konjunktno resničnost trditev  $p$  in  $q$ , ki jo definiramo kot

$$\omega_{p \wedge q}^A = \omega_p^A \wedge \omega_q^A = \{b_{p \wedge q}^A, d_{p \wedge q}^A, u_{p \wedge q}^A\},$$

kjer

$$\begin{cases} b_{p \wedge q}^A = b_p^A b_q^A, \\ d_{p \wedge q}^A = d_p^A + d_q^A - d_p^A d_q^A, \\ u_{p \wedge q}^A = b_p^A u_q^A + u_p^A b_q^A + u_p^A u_q^A. \end{cases}$$

**Definicija 3** (Disjunkcija). Naj bosta  $\omega_p^A$  in  $\omega_q^A$  mnenji subjekta  $A$  o dveh neodvisnih trditvah  $p$  in  $q$ . Potem disjunkcija mnenj  $\omega_p^A$  in  $\omega_q^A$  predstavlja disjunktno resničnost trditve  $p$  in  $q$ , ki jo definiramo kot

$$\omega_{p \vee q}^A = \omega_p^A \vee \omega_q^A = \{b_{p \vee q}^A, d_{p \vee q}^A, u_{p \vee q}^A\},$$

kjer

$$\begin{cases} b_{p \vee q}^A = b_p^A + b_q^A - b_p^A b_q^A, \\ d_{p \vee q}^A = d_p^A d_q^A, \\ u_{p \vee q}^A = d_p^A u_q^A + u_p^A d_q^A + u_p^A u_q^A. \end{cases}$$

**Definicija 4** (Negacija). Naj bo  $\omega_p^A$  mnenje subjekta  $A$  o trditvi  $p$ . Potem negacija mnenja  $\omega_p^A$  predstavlja negirano resničnost trditve  $p$ , ki jo definiramo kot

$$\omega_{\neg p}^A = \{b_{\neg p}^A, d_{\neg p}^A, u_{\neg p}^A\},$$

kjer

$$\begin{cases} b_{\neg p}^A = d_p^A, \\ d_{\neg p}^A = b_p^A, \\ u_{\neg p}^A = u_p^A. \end{cases}$$

**Definicija 5** (Priporočilo). Naj bosta  $A$  in  $B$  agenta. Mnenje agenta  $B$  o trditvi  $p$  naj bo  $\omega_p^B = \{b_p^B, d_p^B, u_p^B\}$ . Mnenje agenta  $A$  o **priporočilu** agenta  $B$  naj bo  $\omega_B^A = \{b_B^A, d_B^A, u_B^A\}$ . Mnenje agenta  $A$  o trditvi  $p$  po priporočilu agenta  $B$  definiramo kot

$$\omega_p^{AB} = \omega_B^A \otimes \omega_p^B = \{b_p^{AB}, d_p^{AB}, u_p^{AB}\},$$

kjer

$$\begin{cases} b_p^{AB} = b_B^A b_p^B, \\ d_p^{AB} = b_B^A d_p^B, \\ u_p^{AB} = d_B^A + u_B^A + b_B^A u_p^B. \end{cases}$$

**Definicija 6** (Splošno mnenje). Naj bosta  $\omega_p^A = \{b_p^A, d_p^A, u_p^A\}$  in  $\omega_p^B = \{b_p^B, d_p^B, u_p^B\}$  mnenji subjektov  $A$  in  $B$  o trditvi  $p$ . Potem splošno mnenje  $\omega_p^{A,B}$  definiramo kot

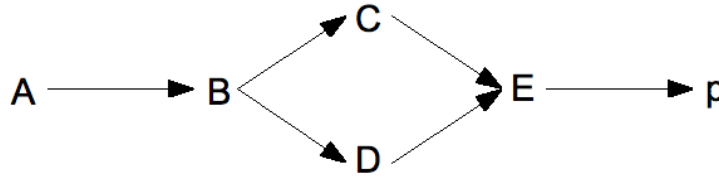
$$\omega_p^{A,B} = \omega_p^A \oplus \omega_p^B = \{b_p^{A \oplus B}, d_p^{A \oplus B}, u_p^{A \oplus B}\},$$

kjer

$$\begin{cases} b_p^{A\oplus B} = (b_p^A u_p^B + b_p^B u_p^A) / (u_p^A + u_p^B - u_p^A u_p^B), \\ d_p^{A\oplus B} = (d_p^A u_p^B + d_p^B u_p^A) / (u_p^A + u_p^B - u_p^A u_p^B), \\ u_p^{A\oplus B} = (u_p^A u_p^B) / (u_p^A + u_p^B - u_p^A u_p^B). \end{cases}$$

Navedimo nekaj splošnih lastnosti o definiranih operatorjih. Konjunkcija, disjunkcija, splošno mnenje in priporočilo so asociativni operatorji. Konjunkcija, disjunkcija in splošno mnenje so tudi komutativni. Za negacijo velja  $\neg(\neg\omega_p^A) = \omega_p^A$ . Za konjunkcijo in disjunkcijo velja, da idempotenca ni definirana, torej:  $\omega_{p\wedge p}^A$  je nedefinirano in  $\omega_{p\vee p}^A$  je nedefinirano. Operatorja za splošno mnenje ne moremo uporabiti na mnenjih, ki imata stopnjo negotovosti  $u = 0$ .

Operatorje lahko med seboj kombiniramo. Pri kombinaciji operatorjev priporočil in splošnega mnenja moramo biti previdni, ker je prisoten problem odvisnosti. Mnenje o isti trditvi lahko ustvarimo prek različnih verig priporočil. Če predpostavimo, da so mnenja med seboj neodvisna, lahko na njih uporabimo operator splošnega mnenja in dobimo eno samo mnenje o ciljni trditvi. Primer kombinacije operatorjev splošnega mnenja in priporočila je ponazorjen na sliki 2.1.



Slika 2.1: Kombinacija uporabe splošnega mnenja in priporočila.

Priporočilo glede na splošno mnenje ni distributivno. Naj  $\omega_B^A, \omega_C^B, \omega_D^B, \omega_E^C, \omega_E^D$  in  $\omega_p^E$  označujejo mnenja glede na odnose, ilustrirane na sliki 2.1. Oglejmo si naslednjo neenačbo:

$$\omega_B^A \otimes ((\omega_C^B \otimes \omega_E^C) \oplus (\omega_D^B \otimes \omega_E^D)) \otimes \omega_p^E \neq (\omega_B^A \otimes \omega_C^B \otimes \omega_E^C \otimes \omega_p^E) \oplus (\omega_B^A \otimes \omega_D^B \otimes \omega_E^D \otimes \omega_p^E)$$

oziroma krajše zapisano kot

$$\omega_p^{A(BC,BD)E} \neq \omega_p^{ABCE,ABDE}.$$

Desna stran neenačbe vsako pot od  $A$  do  $p$  ločeno obravnava, na koncu obe mnenji združi v eno z uporabo splošnega mnenja. Leva stran neenačbe vozlišča  $B, C, D$  in  $E$  z uporabo kombinacije splošnega mnenja in priporočil skrči na

podgraf z enim vozliščem. Ta podgraf je obravnavan posebej. Dobljeni rezultat je kot del izraza upoštevan v končni analizi. Razvidno je, da leva stran neenačbe pravilno opisuje verigo zaupanja s slike 2.1.

### 2.1.3 Preprosto in verižno overjanje

Nadaljujmo s primerom uporabe Jøsangove algebre pri upravljanju ključev. Pri elektronski izmenjavi javnega ključa mora *prejemnik ključa* zaupati agentu, ki mu ključ priporča in certificira ter imeti v lasti njegov javni ključ, ki je ustrezno avtentiziran. Primer: Agent  $A1$  ima javni ključ agenta  $A2$ , torej  $k_{A2}$ , in  $A2$  poseduje  $k_{A3}$ .  $A2$  lahko agentu  $A1$  pošlje  $k_{A3}$ , ki ga certificira z njegovim privatnim ključem  $k_{A2}^{-1}$ . Po prejetju ključa bo  $A1$  verificiral certifikat agenta  $A2$ . Če bo certifikat pravilen, bo tudi  $A1$  imel  $k_{A3}$  za avtentičen ključ in bo z agentom  $A3$  vzpostavil varno povezavo.

Vendar zgolj certifikati ne zadostujejo za zaupanje v relacijo med ključem in njegovim lastnikom. Prejemnik certifikata mora poleg tega imeti mnenje o avtentičnosti ključa  $KA$  (ang. key authenticity), s katerim je bil certifikat overjen, kar v našem primeru označimo z  $\omega_{KA(k_{A2})}^{A1}$ . Torej: mnenje  $A1$  o avtentičnosti ključa  $k_{A2}$ . Imeti mora tudi mnenje o tem, koliko zaupa overitelju, ki mu priporoča in certificira ključ  $RT$  (ang. recommendation trustworthiness). V obravnavanem primeru zaupanje agenta  $A1$  v agenta  $A2$  označimo z  $\omega_{RT(A2)}^{A1}$ . Poleg tega mora overitelj prejemniku podati *njegovo* mnenje o avtentičnosti ključa, to je  $\omega_{KA(k_{A3})}^{A2}$ . To mnenje je vgrajeno v certifikat, ki ga pošlje agentu  $A1$ .

Z izrazom  $\omega_{A2}^{A1} = (\omega_{RT(A2)}^{A1} \wedge \omega_{KA(k_{A2})}^{A1})$  bomo označevali *konjunkcijo priporočil*.

**Definicija 7** (Preprosto overjanje). *Naj bodo  $A1, A2$  in  $A3$  agenti in  $k_{A1}, k_{A2}$  in  $k_{A3}$  njihovi javni ključi.  $\omega_{KA(k_{A2})}^{A1}$  naj bo mnenje agenta  $A1$  o avtentičnosti ključa  $k_{A2}$  in  $\omega_{RT(A2)}^{A1}$  njegovo mnenje o vrednosti zaupanja priporočilu agenta  $A2$ . Naj bo  $\omega_{KA(k_{A3})}^{A2}$  mnenje agenta  $A2$  o avtentičnosti ključa  $k_{A3}$ . Potem je mnenje agenta  $A1$  o avtentičnosti ključa  $k_{A3}$  definirano kot*

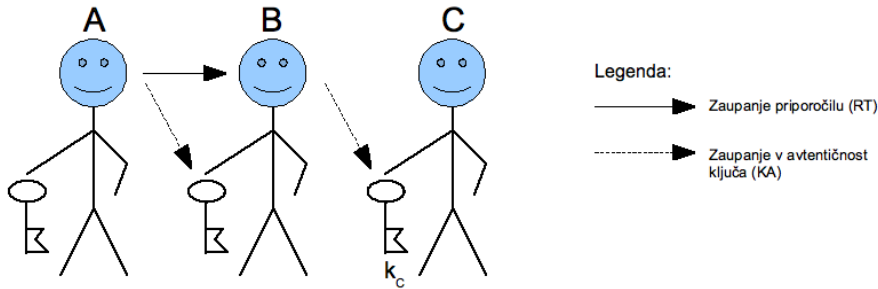
$$\omega_{KA(k_{A3})}^{A1A2} = \omega_{A2}^{A1} \otimes \omega_{KA(k_{A3})}^{A2} = (\omega_{RT(A2)}^{A1} \wedge \omega_{KA(k_{A2})}^{A1}) \otimes \omega_{KA(k_{A3})}^{A2}.$$

**Definicija 8** (Verižno overjanje). *Naj imajo agenti  $A1, \dots, A(n-1), A_n$  zaporeden odnos zaupanja in certificiranja. Mnenje agenta  $A1$  o avtentičnosti ključa  $k_{A_n}$  definiramo kot*

$$\omega_{KA(k_{A_n})}^{A1\dots A_{n-1}} = \omega_{A2}^{A1} \otimes \dots \otimes \omega_{A_{n-1}}^{A_{n-2}} \otimes \omega_{KA(k_{A_n})}^{A_{n-1}} =$$

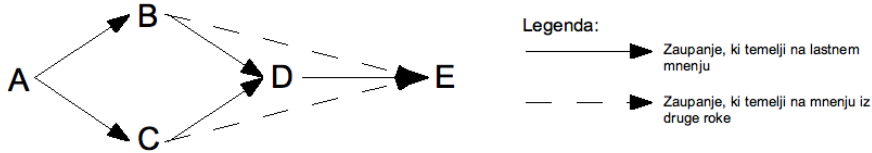
$$= (\omega_{RT(A_2)}^{A1} \wedge \omega_{KA(k_{A_2})}^{A1}) \otimes \cdots \otimes (\omega_{RT(A_{n-1})}^{An-2} \wedge \omega_{KA(k_{A_{n-1}})}^{An-2}) \otimes \omega_{KA(k_{A_n})}^{An-1}.$$

Tako definirana Jøsangova algebra je dobro orodje za izračun avtentičnosti ključa, ki smo ga prejeli prek odprtega omrežja. Preprosta ponazoritev, kako poteka verižno overjanje, je podana v sliki 2.2, ki opisuje primer overjanje ključa prek enega posrednika:  $\omega_{k_C}^{AB} = (\omega_{RT(B)}^A \wedge \omega_{KA(k_B)}^A) \otimes \omega_{k_C}^B = \omega_B^A \otimes \omega_{k_C}^B$ .



Slika 2.2: Verižno overjanje ključa prek posrednika  $B$ .

Agenti smejo ostalim agentom priporočati samo njihovo lastno mnenje, sicer lahko pride do odvisnosti mnenj pri uporabi operatorja za splošno mnenje. Mnenja, ki temeljijo na priporočilih ostalih agentov, imenujemo *mnenje iz druge roke*. Za primer si oglejmo situacijo na sliki 2.3.



Slika 2.3: Zaupanje, ki temelji na lastnem mnenju oziroma mnenju iz druge roke.

Agenti  $B$  in  $C$  imata o agentu  $E$  mnenje iz druge roke. Avtentičnost javnega ključa agenta  $E$  ( $k_E$ ) tako temelji na priporočilu agenta  $D$ . Če bi  $B$  in  $C$  ti mnenji o  $E$  priporočala agentu  $A$  (kot da podajata lastni mnenji), bi  $A$  avtentičnost  $k_E$  izračunal tako:

$$\omega_E^{ABD,ACD} = (\omega_B^A \otimes \omega_D^B \otimes \omega_E^D) \oplus (\omega_C^A \otimes \omega_D^C \otimes \omega_E^D).$$

Če enačbo razčlenimo, opazimo, da se člen  $\omega_{KA(k_E)}^D$  pojavi dvakrat, kar ogroža predpostavko o neodvisnosti členov pri izračunu splošnega mnenja.

Pravilen postopek za avtentikacijo v dani situaciji je, da  $B$  in  $C$  agentu  $A$  priporočata  $D$  ter  $D$  agentu  $A$  priporoča  $E$ . To pomeni, da  $B$  in  $C$  posredujeta agentu  $A$  nespremenjeno mnenje, ki sta ga prejela od  $D$ . V tem primeru bo  $A$  avtentičnost ključa izračunal kot

$$\omega_E^{(AB,AC)D} = ((\omega_B^A \otimes \omega_D^B) \oplus (\omega_C^A \otimes \omega_D^C)) \otimes \omega_E^D,$$

kar je pravilen izračun.

Zaporedna avtentikacija mora potekati po *neprekinjeni* verigi certifikatov in priporočil. Pot, po kateri avtentikacija poteka, je včasih težko najti, čeprav teoretično obstaja. Ena od rešitev je hierarhija pooblaščenecv za certificiranje, v nadaljevanju  $CA$  (ang. certification authorities). V omrežju si vsak uporabnik sam izbere svojega  $CA$ . Uporabnik in izbrani  $CA$  imata med seboj pristen, osebni odnos. V hierarhičnih omrežjih je posledično manj razveljavitev certifikatov pri zahtevanih priporočilih, ki temeljijo na lastnem mnenju. Priporočevalec ima namreč popoln pregled nad vsakim agentom, ki prejme določen certifikat. V primeru zavrnitve certifikata priporočevalec prejemnika ustrezno obvesti. Uporabnikom tako ni treba skrbeti za napake, ki so posledica netranzitivnosti zaupanja. Prav tako jim ni treba skrbeti, da bi  $CA$ , ki mu zaupajo, zaupal drugemu  $CA$ , ki pa je pri uporabniku deležen nezaupanja. Uporabnik je namreč vedno obveščen o identiteti vsakega posrednika, ki se pojavi v verigi in lahko stopnjo zaupanja v dobljeno priporočilo prepíše s svojim mnenjem o tem  $CA$ .

## 2.2 Kvalitativna algebra

### 2.2.1 Opis splošnega modela

Kvalitativna algebra [4] je osnovana na Piagetovi razvojni psihologiji, na podlagi katere določimo faktorje zaupanja, ki nam omogočajo kvalitativno in kvantitativno raziskovanje ter obvladovanje zaupanja. Faktorji, ki jih moramo upoštevati pri opisu zaupanja so naslednji:

- časovna dinamika (odnos agenta do objekta ali subjekta, ki mu zaupa je dinamičen, v katerem je čas pomembna spremenljivka),
- racionalnost/neracionalnost (agentovo zaupanje je odvisno od racionalnih in neracionalnih faktorjev),
- povezanost z akcijo (zaupanje je osnova za interakcije z okoljem, ki jih agent izvede),

- odvisnost od odziva (na zaupanje vplivata okolje, v katerem se agent nahaja, in mnenja ostalih agentov),
- diferenciacija zaupanja (zaupanje se pojavi v različnih oblikah, glede na zmožnosti izražanja in dojemanja zaupanja).

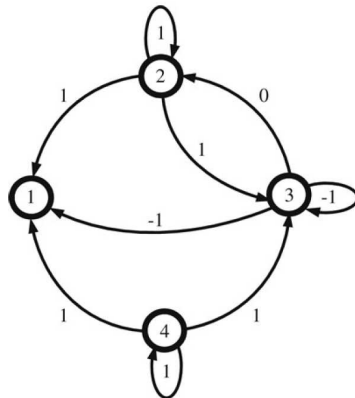
### 2.2.2 Definicije kvalitativne algebre

V kvalitativni algebri je zaupanje obravnavano s kvalitativnimi pojmi. Agenti imajo med seboj zaupanja vreden, zaupanja nevreden ali neodločen odnos.

**Definicija 9.** *Zaupanje je relacija med agentoma  $A$  in  $B$ , ki opredeljuje zaupanja vreden odnos, zaupanja nevreden odnos ali neodločenost. Zaupanje agenta  $A$  agentu  $B$  označimo z  $\omega_{A,B}$ .*

Nekaj lastnosti, ki veljajo za relacijo zaupanja. V splošnem relacija zaupanja ni reflektivna (vrednost  $\omega_{A,A}$  je odvisna od konteksta), ni simetrična ( $\omega_{A,B} \neq \omega_{B,A}$ ) in je netranzitivna ( $\omega_{A,B}$  in  $\omega_{B,C}$  ne implicirata  $\omega_{A,C}$ ).

Širjenje zaupanja v okolju predstavimo s pomočju *grafov zaupanja*. Povezave v grafu so obtežene in usmerjene. Odnos agenta  $A$  do agenta  $B$  opišemo s povezavo, ki je usmerjena od  $A$  proti  $B$  in obratno. Primer grafa zaupanja je prikazan na sliki 2.4. Grafe zaupanja ekvivalentno opišemo z *matriko zaupanja*.



Slika 2.4: Graf zaupanja.

**Definicija 10.** *Zaupanje med agenti v danem okolju predstavimo z matriko zaupanja. Element matrike  $\omega_{i,j}$  označuje vrednost relacije zaupanja med agentoma  $i$  in  $j$ . Možne vrednosti za  $\omega_{i,j}$  so 1, 0 ali -1, ki po vrsti označujejo*

zaupanja vreden, zaupanja nevreden ali neodločen odnos. Če relacija zaupanja med agentoma ni definirana, tj. če agent  $i$  ne ve za obstoj agenta  $j$  ali agent  $i$  ne razkrije, kakšen odnos ima do agenta  $j$ , to označimo z “–”.

Splošna oblika matirke zaupanja v okolju z  $n$  agenti:

$$\begin{bmatrix} \omega_{1,1} & \omega_{1,2} & \dots & \omega_{1,n} \\ \omega_{2,1} & \omega_{2,2} & \dots & \omega_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_{n,1} & \omega_{n,2} & \dots & \omega_{n,n} \end{bmatrix}$$

Nedefinirana vrednost  $\omega_{i,j} = -$  ne implicira  $\omega_{j,i} = -$ .  $i$ -ta vrstica v matriki pove, kakšno zaupanje ima agent  $i$  do ostalih agentov.  $i$ -ti stolpec, ki mu pravimo tudi **vektor zaupanja**, pove, kakšno je mnenje skupnosti o agentu  $i$ .

**Definicija 11.** Naj bo  $op_I$  prefiksen operator, ki modelira zaupanje agenta  $i$  in  $\omega_{i,k}$  in  $\omega_{j,k}$  vrednosti zaupanja agentov  $i$  in  $j$  do agenta  $k$ . Potem operacijo zaupanja označimo z  $\omega_{i,k}^+ = op_I(\omega_{i,k}^-, \omega_{j,k}^-) = (\omega_{i,k}^+, op_I)$ .

Nadpis “–” označuje vrednost pred operacijo, nadpis “+” pa vrednost po izvršeni operaciji. V našem enostavnem modelu bomo uvedli tri operatorje: pesimistično, optimistično in uravnoteženo oceno agenta.

**Definicija 12.** Naj  $\uparrow$  označuje optimističen,  $\downarrow$  pesimističen in  $\leftrightarrow$  uravnotežen operator. Rezultati operacij  $\omega_{i,k}^+$  so podani v tabeli 2.1.

Iz tabele se opazi, da vrstni red argumentov vpliva na rezultat. Kot primer pogledajmo vrstici 4 in 13. Od tod je razvidno, da bo nedefiniran odnos med agentoma (torej  $\omega_{i,j} = -$ ) ostal nedefiniran tudi po operaciji. Prav tako lahko iz tabele hitro vidimo, da velja izrek 1.

**Izrek 1.** Za poljuben  $\omega_{j,k}$  velja:  $\uparrow_i (1, \omega_{j,k}) = 1$ ,  $\downarrow_i (-1, \omega_{j,k}) = -1$ ,  $\leftrightarrow_i (0, \omega_{j,k}) = 0$ ,  $op_i(\omega_{i,j}, -) = \omega_{i,j}$ .

Vsi operatorji imajo enako prioriteto. Če želimo določeno operacijo izvesti pred ostalimi, ustrezno uporabimo oklepaje.

**Definicija 13.** Novo vrednost zaupanja  $\omega_{i,k}^+$  za vektor zaupanja  $\omega_{i,j=konst.}$  izračunamo po naslednjem pravilu:  $op_I \dots (op_I(op_I(\omega_{i,j}^-, \omega_{1,j}^-), \omega_{2,j}^-), \dots, \omega_{n,j}^-)$ .

Pred naslednjimi lemami bomo uvedli nekaj pojmov. *Homogena skupnost* je skupnost, v kateri imajo vsi agenti enak operator. V *polno povezani skupnosti* je relacija zaupanja definirana za vsak par agentov. Torej, v matriki

$\omega_{i,k}^-$	$\omega_{j,k}^-$	$\omega_{i,k}^+, \uparrow i$	$\omega_{i,k}^+, \downarrow i$	$\omega_{i,k}^+, \leftrightarrow i$
1	1	1	1	1
1	0	1	0	0
1	-1	1	-1	0
1	-	1	1	1
0	1	1	0	0
0	0	0	0	0
0	-1	0	-1	0
0	-	0	0	0
-1	1	1	-1	0
-1	0	0	-1	0
-1	-1	-1	-1	-1
-1	-	-1	-1	-1
-	1	-	-	-
-	0	-	-	-
-	-1	-	-	-
-	-	-	-	-

Tabela 2.1: Definijska tabela kvalitativnih operatorjev

zaupanja se nikoli ne pojavi vrednost “-”. *Zaupanja vreden / zaupanja nevreden / neodločen šop* je povezan podgraf, ki vsebuje samo zaupanja vredne / zaupanja nevredne / neodločene odnose zaupanja. Za homogeno skupnost, polno povezano skupnost in zaupanja vreden / zaupanja nevreden / neodločen šop bomo podali naseljene leme (brez dokazov; za dokaze glej [4]).

**Lema 1.** *Naj bo skupnost homogena in polno povezana z optimističnim operatorjem. Če v vektorju zaupanja  $\omega_{i,j=konst.}$  obstaja vsaj en  $\omega_{i,j} = 1$ , potem so vse vrednosti v vektorju zaupanja  $\omega_{i,j=konst.}$  po izvršeni operaciji enake 1.*

**Lema 2.** *Naj bo skupnost homogena in polno povezana s pesimističnim operatorjem. Če v vektorju zaupanja  $\omega_{i,j=konst.}$  obstaja vsaj en  $\omega_{i,j} = -1$ , potem so vse vrednosti v vektorju zaupanja  $\omega_{i,j=konst.}$  po izvršeni operaciji enake -1.*

**Lema 3.** *Naj bo skupnost homogena in polno povezana z uravnoteženim operatorjem. Če v vektorju zaupanja  $\omega_{i,j=konst.}$  obstaja vsaj en  $\omega_{i,j} = 0$ , potem so vse vrednosti v vektorju zaupanja  $\omega_{i,j=konst.}$  po izvršeni operaciji enake 0.*

Raziskave potrjujejo upravnost kvalitativne algebre pri računalniško podprtem obvladovanju zaupanja. Kvalitativna algebra upošteva sociološko-kognitivno

naravo zaupanja in dopolnjuje ostale metodologije obvladovanja zaupanja v sodobnih informacijskih sistemih. Tudi simulacija obvladovanja zaupanja, ki je bila implementirana v sklopu diplomske naloge, sloni na kvalitativni algebr.

## Poglavje 3

# Simulacija obvladovanja zaupanja

Odnose med agenti, njihovo medsebojno zaupanje in splošno obnašanje skupnosti teoretični modeli natančno opišejo, vendar so potrebne tudi simulacije. Taka ponazoritev je (predvsem za populacijo, ki ni doma v matematiki in računalništvu) precej bolj nazorna kot zgolj kopica matematičnih formul in tekstovnih opisov. Obvladovanje zaupanja je tudi računsko zahteven problem, zato je preučevanje obvladovanja zaupanja s simulacijami dostikrat edina možnost.

Cilj vsake simulacije je prikazati, kako se sistem obnaša v realnosti. Simulacije nam omogočajo, da na enostaven način spremenimo lastnosti sistema ali posameznih agentov in opazujemo, kako te spremembe vplivajo na obnašanje sistema. Simulacije so odlično orodje za napovedi, kako se bo sistem pod določenimi pogoji obnašal. Poleg tega so učinkovit pripomoček pri učenju in so nepogrešljiv del v zabavni industriji. Priljubljene računalniške igre nemalokrat temeljijo ravno na raznovrstnih simulacijah realnega sveta.

### 3.1 Izbira programskega jezika za implementacijo

Prvotni načrt je bil, da bi simulacijo razvili v programskem okolju Repast Symphony, ki je nadgradnja orodja Repast 3. Repast Symphony je odprtokodno orodje za izdelavo agentnih simulacij. Omogoča razvoj simulacij z metodo *pokaži in klikni* (ang. *point and click*). Uporabnik lahko simulacijo razvije na

več načinov: s pisanjem izvorne kode v programskem jeziku Java ali Groovy<sup>1</sup>, z risanjem diagramov poteka ali s kombiniranjem vseh ponujenih tehnik. Razvijalcu so na voljo tudi dodatne knjižnice za implementacijo genskih algoritmov, nevronske mreže, regresije, generiranja naključnih števil in podobno. Repast Symphony nudi shranjevanje podatkov (npr. stanje simulacije v določenem trenutku) v datoteke XML, v tekstovne datoteke ali v podatkovno bazo. Vgrajena so tudi orodja za integracijo zunanjih modelov v sistem.

Repast Symphony je zmogljivo programsko okolje s pomankljivo dokumentacijo. Na uradni spletni strani je dokumentacija v obliki pogosto zastavljenih vprašanj in “korak za korakom” navodila za izdelavo treh programov, ki si jih uporabnik lahko naloži s spletne strani. Prej omenjena možnost izdelave simulacije z diagrami poteka dobi grenak priokus, kajti na spletu so za izdelavo tovrstnih diagramov na voljo samo okrnjena navodila. Prav tako je izbira tiskane literature izjemno slaba, saj je Repast Symphony tipično moderno orodje, ki se razvija in obstaja v največji meri samo na internetu.

Zaradi zgoraj opisanih pomankljivosti, ki so mi onemogočale učinkovito izdelavo simulacije, sem svoj prvotni načrt nekoliko spremenila. Tako sem simulacijo obvladovanja zaupanja implementirala v Javi. Programski jezik Java sem izbrala, ker je razširjen jezik, ima odlično spisano dokumentacijo, na internetu obstaja ogromno forumov z nasveti, navodili in napotki, ter je zmogljiv objektno usmerjen programski jezik.

## 3.2 Teoretično ozadje

Simulacija obvladovanja zaupanja je implementacija kvalitativne algebre, ki smo jo podrobno opisali v drugem poglavju.

V osnovi ločimo dva tipa simulacij: zvezne in diskretne. V zveznih simulacijah se stanje objektov spremeni v infinitezimalno majhnih korakih, prehodi med stanji potekajo zvezno. V diskretnih simulacijah se spremembe zgodijo v določenem trenutku, ki mu pravimo *korak* simulacije. Vse spremembe in prehodi stanj, ki se zgodijo v določenem koraku, se izvršijo istočasno. Naša simulacija obvladovanja zaupanja je diskretna simulacija, ker tako izdelavo narekuje kvalitativna algebra.<sup>2</sup> Operacije oziroma prehodi med stanji se v kvalitativni algebrski vršijo diskretno, korak za korakom. Korak je določen z enim “procesnim obhodom” matrike zaupanja.

---

<sup>1</sup>Groovy je dinamičen programski jezik za javanski virtualni stroj. <http://groovy.codehaus.org/>

<sup>2</sup>Pravzaprav diskretno izdelavo simulacije narekuje že digitalni računalnik sam po sebi!

### 3.3 Predpostavke - začetne konfiguracije

V simulaciji na začetku prek grafičnega uporabniškega vmesnika določimo naslednje parametre:

- število agentov,
- odstotek agentov z optimističnim operatorjem (optimistov),
- odstotek agentov s pesimističnim operatorjem (pesimistov),
- vrsto spremembe (lahko se spreminjajo vrednosti relacij zaupanja med agenti ali agenti menjajo svoj operator)
- obseg spremembe (koliko odstotkov vrednosti relacij zaupanja oz. operatorjev naj se spremeni),
- frekvenco spremembe (na vsakih koliko korakov naj pride do spremembe),
- število vseh simulacijskih korakov.

Ostale nastavitve temeljijo na naslednjih predpostavkah:

- Odstotek agentov z uravnoveženim operatorjem (centralistov) je izračunan kot  $100\% - \text{opt}\% - \text{pes}\%$ , pri čemer je *opt* odstotek optimistov in *pes* odstotek pesimistov.
- Agenti različnih tipov, torej agenti z različnimi operatorji, so v matriko zaupanja razporejeni naključno.
- Odnosi med agenti v začetni konfiguraciji so določeni z naključnim izborom, pri čemer *odnos* pomeni vrednost relacije zaupanja med agentoma.
- V teku simulacije opazujemo mnenje skupnosti. Opazujemo vrednosti relacij zaupanja vsakega posameznega agenta do določenega agenta (ki ga bomo imenovali *izbrani agent*) in glede na te vrednosti povzamemo, kakšno je splošno mnenje. Izbrani agent je agent, ki je podan na prvem mestu tabele agentov. Lahko je pesimist, optimist ali centralist.
- Med potekom simulacije se lahko nenadoma spremeni do  $x\%$  vrednosti relacij zaupanja (če je izbrana ta vrsta spremembe), pri čemer je  $x$  določen že na začetku. Rečemo, da se spremeni do  $x\%$  vrednosti relacij zaupanja, ker se ta vrednost lahko spremeni ali pa ne. Vrednost

relacije zaupanja, ki se spremeni, se spremeni v poljubno drugo vrednost. Tako lahko pride do “majhne” (npr. zaupanja vreden odnos postane neodločen) ali “velike” (npr. zaupanja vreden odnos postane zaupanja nevreden) spremembe. S to nepredvidljivostjo v simulacijo vpeljemo človeški dejavnik.

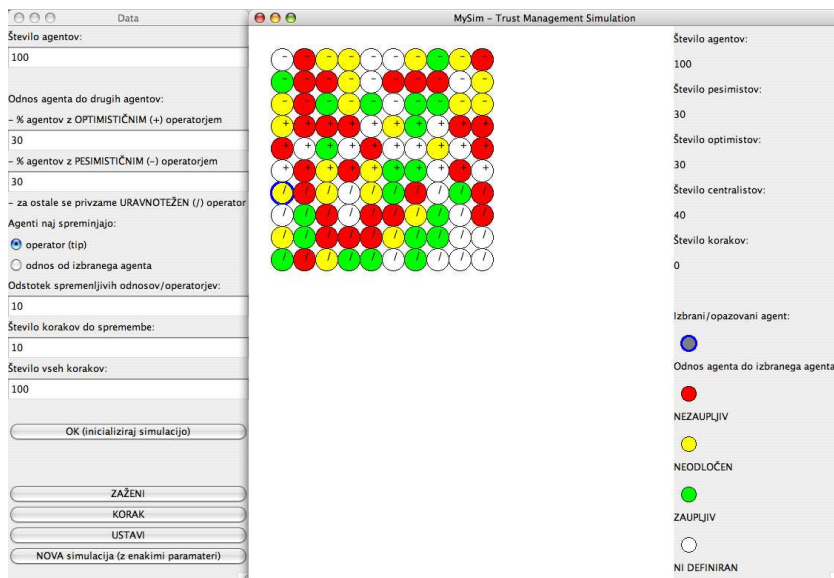
- Podobno velja za spremembo operatorjev agentov. Na določeno število korakov simulacije lahko svoj operator spremeni do  $x$  % agentov. Ti agenti so izbrani naključno. Ločimo med “velikimi” spremembami (npr. pesimist postane optimist) in “majhnimi” spremembami (npr. centralist postane pesimist).

Zaradi preglednosti so agenti iste vrste narisani skupaj. Tako so najprej izrisani agenti s pesimističnim operatorjem, pod njimi tisti z optimističnim, na koncu pa še agenti z uravnoteženimi operatorji.

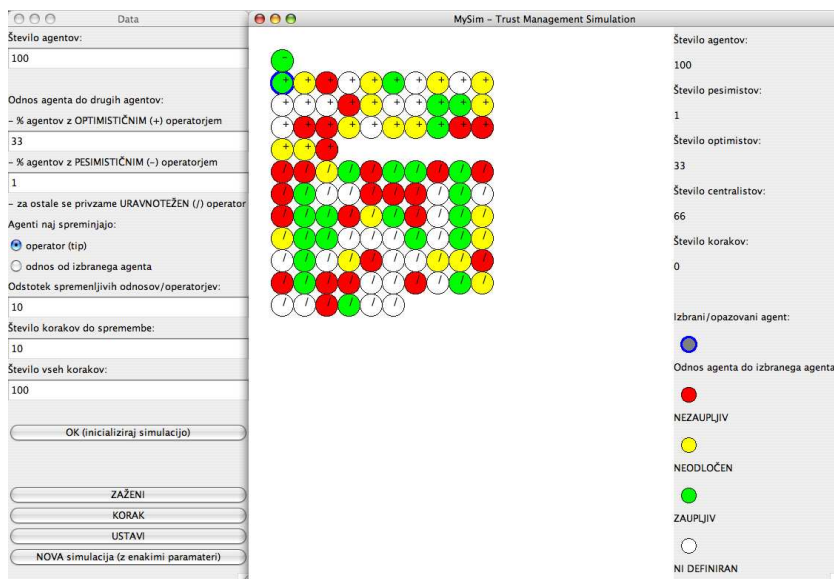
Za boljšo ponazoritev simulacije so agenti različno obarvani. Agent je obarvan z barvo, ki ustreza vrednosti relacije zaupanja do izbranega agenta. Če je njegov odnos do izbranega agenta zaupanja vreden odnos, je agent obarvan zeleno; če je zaupanja nevreden, je rdeče; če gre za neodločen odnos, rumeno; če vrednost relacije zaupanja ni definirana, je agent bele barve.

Sliki 3.1 in 3.2 ponazarjata primera začetnih konfiguracij. Slika 3.1 prikazuje primer začetne konfiguracije s 100 agenti, med katerimi ima 30 % agentov optimistični operator, 30 % pesimistični operator, ostali pa uravnoteženega. Slika 3.2 pa primer začetne konfiguracije s 100 agenti, med katerimi ima 33 % agentov optimistični operator, 1 % pesimistični, ostali pa uravnoteženega.

Simulacijo lahko zaženemo in pustimo, da sama steče do konca (se pravi, naredi toliko korakov, kolikor smo jih določili pri nastavitvah začetnih parametrov) ali do klika na gumb “USTAVI”. Druga možnost je zagon simulacije korak za korakom. Z vsakim klikom na gumb “KORAK” se izvede en korak simulacije. Ta možnost je primerna, če želimo dobro preučiti stanje pred in po spremembi, ker lahko naslednji korak izvedemo šele po tem, ko smo si trenutno stanje podrobno ogledali. Stanje simulacije na vsakem koraku se prav tako zapiše v datoteko, kamor se tudi zapiše, koliko je prisotnih zaupanja vrednih, zaupanja nevrednih in neodločenih odnosov za vse agente skupaj ter ločeno za pesimiste, optimiste in centraliste. Zabeleži se, katera vrsta spremembe je izbrana, frekvenca spremembe in število pesimistov, optimistov ter centralistov v skupnosti.



Slika 3.1: Primer začetne konfiguracije.



Slika 3.2: Primer začetne konfiguracije.

# Poglavje 4

## Analiza simulacij

Simulacijo obvladovanja zaupanja smo večkrat zagnali in opazovali, kako se spreminjajo odnosi med agenti.

Pred analizo simulacij bomo podali še nekaj pojasnil. Med obdelavo rezultatov bomo govorili o odnosih med agenti. Bolj pravilno bi bilo govoriti o vrednostih relacije zaupanja med agenti, a bomo zaradi enostavnosti uporabljali termin odnos. V kvalitativni algebri relacija zaupanja opredeljuje zaupanja vreden odnos, zaupanja nevreden odnos in neodločen odnos. Pri podajanju analize simulacije bomo govorili o zaupnem odnosu, nezaupnem odnosu in neodločenem odnosu.

### 4.1 Začetne konfiguracije

Opazovali smo simulacije z različnimi začetnimi konfiguracijami, ki jih bomo poimenovali referenčne konfiguracije. Referenčne konfiguracije se razlikujejo po:

- številu agentov (10 ali 100),
- odstotku agentov z optimističnim operatorjem (10 %, 30 %, 50 %, 70 % ali 90 %),
- odstotku agentov s pesimističnim operatorjem (10 %, 30 %, 50 %, 70 % ali 90 %),
- odstotku odnosov, ki spremenijo svojo vrednost (10 %, 30 %, 50 %, 70 % ali 90 %),

- odstotku agentov, ki spremenijo operator (10 %, 30 %, 50 %, 70 % ali 90 %),
- pogostosti spremembe (na vsakih 10, 100 ali 1000 korakov),
- številu vseh korakov (200 ali 2000).

Rezultati so podani v treh sklopih. V prvem sklopu se bomo osredotočili na obnašanje celotne skupnosti, v drugem na obnašanje agentov z istim operatorjem, v tretjem pa si bomo ogledali, kako se spremeni obnašanje združbe agentov pri različnih modifikacijah simulacijskega okolja.

## 4.2 Obnašanje celotne skupnosti

Referenčne konfiguracije smo večkrat pognali in opazovali, kako se spreminjajo odnosi v skupnosti, torej kako se posamezni agenti “barvajo”. Agent, ki ima z izbranim agentom zaupen odnos, je pobarvan zeleno, če ima nezaupen odnos, rdeče, pri neodločnosti pa je rumene barve. Za primerjavo posameznih zagotov (in za neke vrste dokazno gradivo, na podlagi katerega lahko naredimo sklepe) smo strukturo skupnosti in njeno spreminjanje na vsakem koraku še numerično primerjali. Zaradi preglednosti so numerični rezultati dodani samo pri nekaterih vprašanjih.

Opazovali smo, kako se spreminja razmerje med zaupnimi, nezaupnimi, neodločenimi in nedefiniranimi odnosi, kako se spreminja razmerje med optimisti, pesimisti in centralisti, do kakšnih razlik pride, če simulacijo pri istih parametrih pustimo teči različno dolgo časa, ali število agentov vpliva na splošno obnašanje skupnosti in kako se odstotek spremenljivih odnosov oziroma operatorjev odraža na vedenju skupnosti.

### **Kako začetni odstotki agentov z optimističnim, pesimističnim oziroma uravnoteženim operatorjem vplivajo na obnašanje skupnosti?**

Pri tem vprašanju smo se osredotočili na to, kako začetno razmerje med optimisti, pesimisti in centralisti vpliva na obnašanje združbe, pri enakih ostalih začetnih parametrih. Le-ti so sledeči: simulacijo smo vsakič zagnali s 100 agenti in izvedli 200 korakov, pri čemer je do spremembe<sup>1</sup> prišlo na vsakih 10 korakov.

---

<sup>1</sup>Simulacijo smo opazovali in primerjali glede na dva primera: a) ko se spreminjajo vrednosti odnosov in b) pri spreminjanju tipa operatorjev agentov.

ZACETNO STANJE			KONCNO STANJE		
št. optim.	št. pesim.	št. centr.	št. optim.	št. pesim.	št. centr.
10	10	80	32.8	27.8	39.4
10	30	60	29.2	34.4	36.4
10	50	40	29.4	35.0	35.6
10	70	20	28.2	36.8	35.0
10	90	0	34.6	38.4	27.0
30	10	60	32.6	29.2	38.2
30	30	40	33.4	31.0	35.6
30	50	20	33.2	37.6	29.2
30	70	0	33.2	41.4	25.4
50	10	40	36.2	30.6	33.2
50	30	20	36.4	32.8	30.8
50	50	0	33.2	36.4	30.4
70	10	20	39.6	30.8	29.6
70	30	0	38.6	35.2	26.2
90	10	0	39.2	30.2	30.6

Tabela 4.1: Število agentov posameznih tipov na začetku in koncu simulacije.

Pri izbrani možnosti, da se v koraku spremembe spremeni 10 % odnosov do izbranega agenta, začetno stanje preide v stanje, ko pesimisti do izbranega agenta gojijo nezaupen, optimisti zaupen, centralisti pa nedoločen odnos. Nekateri odnosi so nedefinirani. Stanje se po tej stabilizaciji ne spremeni bistveno, ne glede na začetni odstotek agentov posameznih tipov. Spremembe, do katerih pride v koraku spremembe, se stabilizirajo že v naslednjem koraku.

Če za vrsto sprememb izberemo spremembo operatorja še vedno velja, da imajo pesimisti nezaupen, optimisti zaupen in centralisti neodločen odnos do izbranega agenta. Začetno razmerje med posameznimi tipi po 200 korakih (kasneje se izkaže, da je 200 korakov dovolj za konvergenco) konvergira v razmerje  $\frac{1}{3}$  optimistov :  $\frac{1}{3}$  pesimistov :  $\frac{1}{3}$  centralistov.

Tabela 4.1 prikazuje začetno razmerje med posameznimi tipi v skupnosti in stanje, v katerega je skupnost prešla po 200 korakih<sup>2</sup> simulacije. Končno stanje je izračunano kot povprečje rezultatov na podlagi 5 meritev.

<sup>2</sup>V resnici gledamo stanje v 201. koraku, ko se stanje po spremembi v 200. koraku ponovno stabilizira.

### **Kako odstotek odnosov, ki spremenijo svojo vrednost, vpliva na obnašanje skupnosti?**

Odstotek spremenljivih odnosov je viden samo v koraku spremembe. Pri višjem odstotoku bodo nenadne spremembe bliskovitejše kot pri nižjem, vendar se stanje v naslednjem koraku nazaj uravnovesi. Tako optimisti do izbranega agenta gojijo zaupen, pesimisti nezaupen in centralisti neodločen odnos. Pri opazovanju simulacije med njenim tekom opazimo več "migetanja" (več agentov spremeni svojo barvo), če je odstotek spremenljivih odnosov nastavljen na višjo vrednost.

Na slikah 4.1 in 4.2 sta podana grafa, ki prikazujeta število posameznih odnosov v celotni skupnosti. Razen odstotka spremenljivih odnosov so ostali začetni parametri isti. Za primera, ki sta prikazana na grafih, smo simulacijo zagnali s 100 agenti, med katerimi je bilo 30 % pesimistov, 30 % optimistov in 40 % centralistov. Simulacijo smo pustili teči 200 korakov, do spremembe je prišlo na vsakih 10 korakov. Opazimo, da sta grafa podobna, le skoki, do katerih pride v koraku spremembe, so pri višjem odstotku spremenljivih odnosov višji.

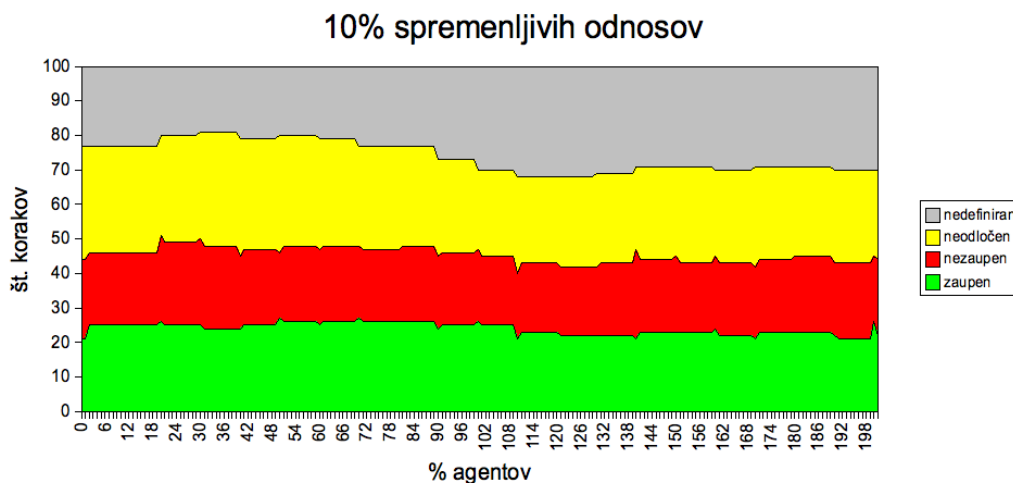
### **Kako odstotek agentov, ki spreminjajo operator, vpliva na obnašanje skupnosti?**

Odstotek agentov, ki spreminjajo operator, vpliva na dinamičnost simulacije. Pri višjem odstotku tako večkrat pride do situacije, ko se razmerje med pesimisti, optimisti in centralisti v naslednjem koraku precej obrne. Pri nižjem odstotku so spremembe blage in prehodi bolj gladki.

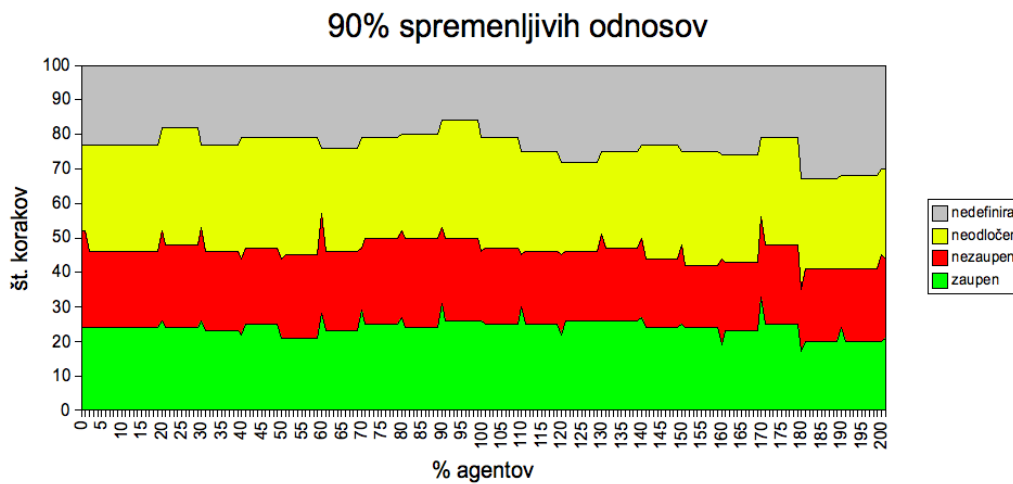
Na slikah 4.3 in 4.4 sta grafa, ki prikazujeta število pesimistov, optimistov in centralistov, na vsakem koraku pri naslednjih začetnih parametrih: 100 agentov, 30 % optimistov in pesimistov, 40 % centralistov, sprememba na vsakih 10 korakov, skupaj 200 korakov. Slika 4.3 prikazuje število agentov posameznih tipov, ko 10 % agentov iz celotne skupnosti spremeni svoj tip operatorja, slika 4.4 pa ponazarja iste podatke za primer, ko 90 % agentov iz celotne skupnosti spremeni svoj tip operatorja.

Zanimivo je, kako odstotek spremenljivih agentov vpliva na stanje skupnosti pri ekstremnih začetnih parametrih. Za primer vzemimo začetno konfiguracijo z 90 % optimisti in 10 % pesimisti. Sprva bi morda pomislili, da bi v referenčni konfiguraciji, kjer 90 % agentov spremeni svoj operator, dobili skupnost s samimi optimisti. Se pravi, da bi prišlo do prevlade in bi izginilo še začetnih 10 % pesimistov. To razmišljanje se izkaže za napačno.

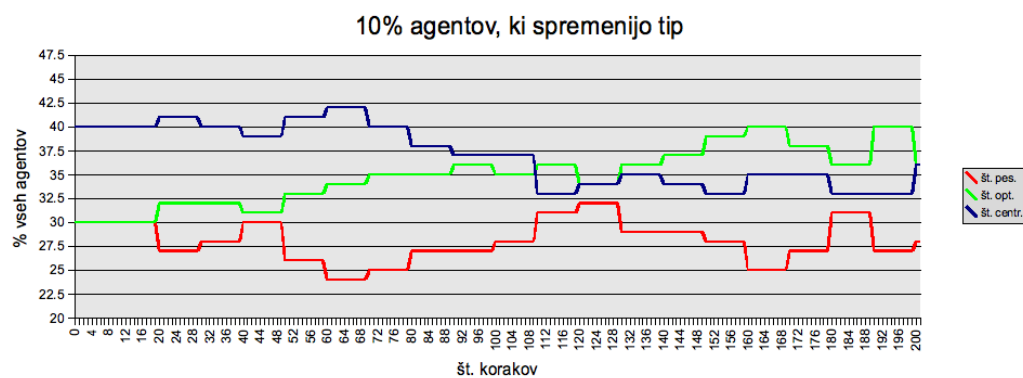
V robnem primeru (90 % optimistov, 10 % pesimistov) z 90 % agenti, ki



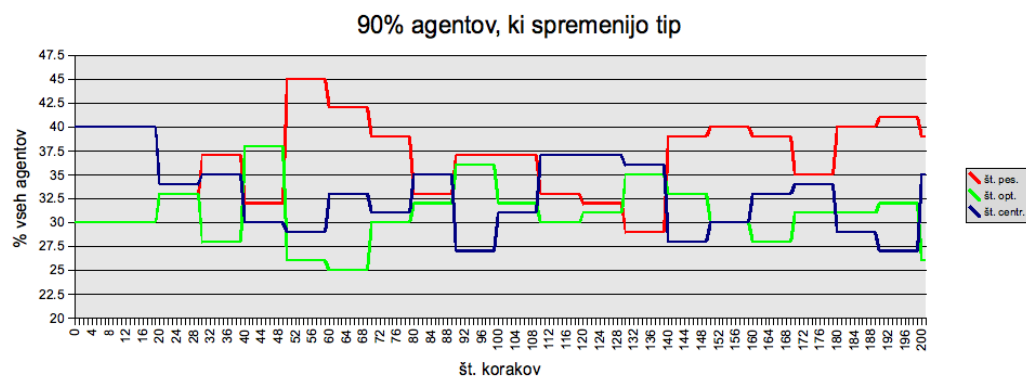
Slika 4.1: Razmerje posameznih odnosov v teku simulacije pri 10 % spremenljivih odnosih.



Slika 4.2: Razmerje posameznih odnosov v teku simulacije pri 90 % spremenljivih odnosih.

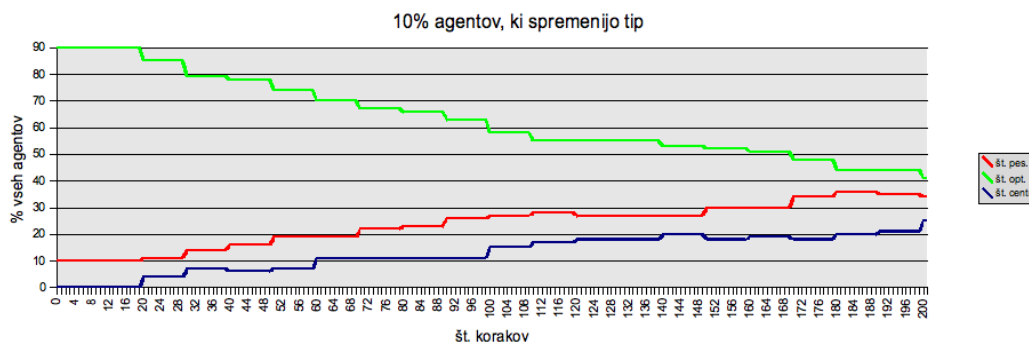


Slika 4.3: Razmerje agentov posameznih tipov pri referenčni konfiguraciji: 30 % pesimistov, 30 % optimistov, 40 % centralistov, 10 % spremenljivih agentov.

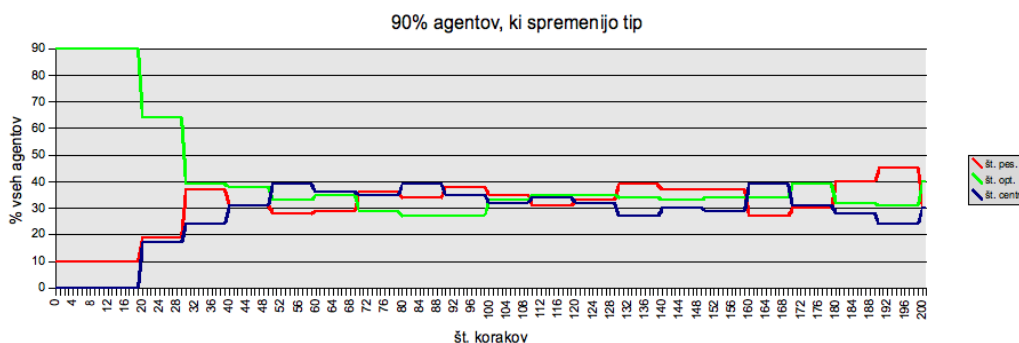


Slika 4.4: Razmerje agentov posameznih tipov pri referenčni konfiguraciji: 30 % pesimistov, 30 % optimistov, 40 % centralistov, 90 % spremenljivih agentov.

spremenijo svoj operator, se stanje skupnosti ustali (se pravi, preide v stanje, od katerega kasneje ne izstopa več veliko in v katerem je približno enako optimistov, pesimistov in centralsitov) in to precej hitreje kot pri 10 % spremenljivih agentov. Obnašanje skupnosti v takih dveh primerih opisujeta sliki 4.5 in 4.6.



Slika 4.5: Razmerje agentov posameznih tipov pri referenčni konfiguraciji: 90 % optimistov, 10 % pesimistov, 10 % spremenljivih agentov.



Slika 4.6: Razmerje agentov posameznih tipov pri referenčni konfiguraciji: 90 % optimistov, 10 % pesimistov, 90 % spremenljivih agentov.

**Ali se pojavijo razlike, če simulacijo pustimo teči 200 ali 2000 korakov?**

Simulacija preide v stanje, od katerega kasneje ne odstopa več veliko že v prvih 200 korakih, torej je stanje skupnosti po 200 korakih podobno stanju po 2000 korakih (če predpostavimo, da se sprememba zgodi na vsakih 10 korakov).

Stanje skupnosti po 2000 korakih je tako precej podobno stanjem iz tabele 4.1.

### Ali število agentov vpliva na splošno obnašanje skupnosti?

Pri zagonu simulacije s 100 agenti optimisti do izbranega agenta gojijo zaupen, pesimisti nezaupen, centralisti pa neodločen odnos. Tako stanje se spremeni le v korakih spremembe, a se v koraku po spremembi spet vzpostavi nazaj, neodvisno od vrednosti ostalih parametrov.

Če simulacijo zaženemo z 10 agenti, zgornja trditev ne drži več vedno. Najprej si oglejmo primer, ko se spreminjajo *vrednosti odnosov* med agenti. Pri spreminjanju odnosov<sup>3</sup> se pogosto zgodi, da na primer vsi pesimisti ali optimisti do izbranega agenta gojijo neodločen odnos. V skupnosti je tako prisotna samo ena vrsta (neodločen) ali dve vrsti odnosov (neodločen in (ne)zaupen). Tako stanje ne traja dolgo, saj čez čas znova pride do prej opisanega stanja in pesimisti ne zaupajo, optimisti zaupajo, centralisti pa so neodločeni glede izbranega agenta.

V drugem primeru – ko agenti spreminjajo svoj *tip operatorja*, skupnost po nekem času vedno preide v stanje, ko imajo vsi agenti do izbranega agenta enak odnos<sup>4</sup>. Ta čas je različno dolg. Včasih skupnost preide v to stanje že po 100 korakih, enkrat pa je bilo na primer potrebnih več kot 3500 korakov. V večini primerov zaupni, nezaupni in neodločeni odnosi, ki so pristoni v začetnih korakih simulacije, konvergirajo v neodločen tip odnosa. Pri robnih primerih, ko imamo na začetku 90 % pesimistov in 10 % optimistov, pogosto vsi odnosi konvergirajo v nezaupne odnose (oz. zaupne pri 90 % optimistov in 10 % pesimistov). Poudariti velja, da tudi pri “ne-robni” začetnih konfiguracijah lahko pride do tega. Tako so v nekem zagonu vsi agenti v simulaciji z začetno konfiguracijo 10 % optimistov: 50 % pesimistov : 40 % centralistov po nekem času svoj odnos do izbranega agenta spremenili v zaupen odnos.

Ko skupnost enkrat pride v stanje, ko imajo vsi agenti enak odnos do izbranega agenta (navadno neodločen odnos), se ne vrne več v stanje, kjer sta prisotni tudi ostali dve vrsti odnosov. Prehod skupnosti v stanje s samimi enakimi odnosi je neodvisen od ostalih vrednosti začetnih parametrov, torej od razmerja agentov posameznih tipov, odstotka spremenljivih agentov in frekvence spremembe.

<sup>3</sup>Na tem mestu še enkrat opomnimo, da s *spreminjanjem odnosov* mislimo na spreminjanje vrednosti elementov v matriki zaupnaja v kvalitativni algebri.

<sup>4</sup>S tem seveda mislimo samo na odnose, ki so definirani; v skupnosti se kljub temu lahko pojavijo poleg tega še nedefinirani odnosi, torej relacije zaupanja, ki imajo v kvalitativni algebri vrednost “-”

Naslednji primer nazorno prikazuje konvergenco odnosov v neodločen tip odnosa. Simulacijo smo zaradi preglednosti zagnali s 5 agenti. Pred matriko je zapisano, kakšen operator ima posamezen agent v skupnosti. (/) predstavlja agenta z uravnoteženim operatorjem ( $\leftrightarrow$ ), (+) z optimističnim operatorjem ( $\uparrow$ ) in (-) agenta s pesimističnim operatorjem ( $\downarrow$ ). V začetni konfiguraciji sta bila prisotna dva optimista (na 2. in 4. mestu), dva pesimista (na 1. in 3. mestu) ter centralist (na 5. mestu). V prvi matriki je podano začetno stanje z naključnimi odnosi med posameznimi agenti. V drugi matriki je podano stanje po 1. koraku, to pomeni, po prvem procesnem obhodu matrike. Sledeče matrike podajajo stanja po spremembah, ko agenti spremenijo svoj operator. Podane so že transformirane matrike, ki prikazujejo novo vrednost odnos (glede na nov operator).

$$\begin{array}{c}
 (-) \\
 (+) \\
 (-) \\
 (+) \\
 (/)
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 -\mathbf{1} & -1 & 1 & -1 & - \\
 \mathbf{0} & -1 & 1 & -1 & 0 \\
 - & -1 & - & 0 & - \\
 \mathbf{0} & 1 & - & 1 & 1 \\
 -\mathbf{1} & - & - & -1 & -
 \end{bmatrix}
 \xrightarrow{1. \text{ korak}}
 \begin{array}{c}
 (-) \\
 (+) \\
 (-) \\
 (+) \\
 (/)
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 -\mathbf{1} & -1 & 1 & -1 & - \\
 \mathbf{0} & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 - & -1 & - & -1 & - \\
 \mathbf{0} & 1 & - & 1 & 1 \\
 \mathbf{0} & - & - & 0 & -
 \end{bmatrix}
 \rightarrow \dots$$
  

$$\dots \xrightarrow[\text{spr.}]{\text{po 1.}}
 \begin{array}{c}
 (-) \\
 (-) \\
 (-) \\
 (+) \\
 (/)
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 -\mathbf{1} & -1 & 1 & -1 & - \\
 -\mathbf{1} & -1 & 1 & -1 & 1 \\
 - & -1 & - & -1 & - \\
 \mathbf{0} & 1 & - & 1 & 1 \\
 \mathbf{0} & - & - & 0 & -
 \end{bmatrix}
 \dots \xrightarrow[\text{spr.}]{\text{po 2.}}
 \begin{array}{c}
 (-) \\
 (/) \\
 (-) \\
 (+) \\
 (/)
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 -\mathbf{1} & -1 & 1 & -1 & - \\
 \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & 1 \\
 - & -1 & - & -1 & - \\
 \mathbf{0} & 1 & - & 1 & 1 \\
 \mathbf{0} & - & - & 0 & -
 \end{bmatrix}$$
  

$$\dots \xrightarrow[\text{spr.}]{\text{po 3.}}
 \begin{array}{c}
 (+) \\
 (/) \\
 (-) \\
 (+) \\
 (/)
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 \mathbf{0} & 1 & 1 & 1 & - \\
 \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & 1 \\
 - & -1 & - & -1 & - \\
 \mathbf{0} & 1 & - & 1 & 1 \\
 \mathbf{0} & - & - & 0 & -
 \end{bmatrix}
 \dots \xrightarrow[\text{spr.}]{\text{po 4.}}
 \begin{array}{c}
 (-) \\
 (/) \\
 (-) \\
 (+) \\
 (/)
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 \mathbf{0} & -1 & 1 & -1 & - \\
 \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & 1 \\
 - & -1 & - & -1 & - \\
 \mathbf{0} & 1 & - & 1 & 1 \\
 \mathbf{0} & - & - & 0 & -
 \end{bmatrix}$$
  

$$\dots \xrightarrow[\text{spr.}]{\text{po 5.}}
 \begin{array}{c}
 (/) \\
 (/) \\
 (-) \\
 (+) \\
 (/)
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & - \\
 \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & 1 \\
 - & -1 & - & -1 & - \\
 \mathbf{0} & 1 & - & 1 & 1 \\
 \mathbf{0} & - & - & 0 & -
 \end{bmatrix}
 \dots \xrightarrow[\text{spr.}]{\text{po 6.}}
 \begin{array}{c}
 (/) \\
 (/) \\
 (+) \\
 (+) \\
 (/)
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & - \\
 \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & 1 \\
 - & 1 & - & 1 & - \\
 \mathbf{0} & 1 & - & 1 & 1 \\
 \mathbf{0} & - & - & 0 & -
 \end{bmatrix}$$

$$\begin{array}{ccc}
\begin{array}{c} \dots \\ \xrightarrow[\text{spr.}]{\text{po 7.}} \\ \dots \end{array} & \begin{array}{c} (/) \\ (-) \\ (+) \\ (+) \\ (/) \end{array} & \begin{bmatrix} \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & - \\ \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & 1 \\ - & 1 & - & 1 & - \\ \mathbf{0} & 1 & - & 1 & 1 \\ \mathbf{0} & - & - & 0 & - \end{bmatrix} & \begin{array}{c} \dots \\ \xrightarrow[\text{spr.}]{\text{po 8.}} \\ \dots \end{array} & \begin{array}{c} (/) \\ (-) \\ (+) \\ (+) \\ (+) \end{array} & \begin{bmatrix} \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & - \\ \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & 1 \\ - & 1 & - & 1 & - \\ \mathbf{0} & 1 & - & 1 & 1 \\ \mathbf{0} & - & - & 1 & - \end{bmatrix} \\
\\
\begin{array}{c} \dots \\ \xrightarrow[\text{spr.}]{\text{po 9.}} \\ \dots \end{array} & \begin{array}{c} (/) \\ (-) \\ (/) \\ (+) \\ (+) \end{array} & \begin{bmatrix} \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & - \\ \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & 1 \\ - & 0 & - & 0 & - \\ \mathbf{0} & 1 & - & 1 & 1 \\ \mathbf{0} & - & - & 1 & - \end{bmatrix} & \begin{array}{c} \dots \\ \xrightarrow[\text{spr.}]{\text{po 10.}} \\ \dots \end{array} & \begin{array}{c} (/) \\ (-) \\ (/) \\ (-) \\ (+) \end{array} & \begin{bmatrix} \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & - \\ \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & 1 \\ - & 0 & - & 0 & - \\ \mathbf{0} & 0 & - & 0 & 1 \\ \mathbf{0} & - & - & 1 & - \end{bmatrix} \\
\\
\begin{array}{c} \dots \\ \xrightarrow[\text{spr.}]{\text{po 11.}} \\ \dots \end{array} & \begin{array}{c} (/) \\ (/) \\ (/) \\ (-) \\ (+) \end{array} & \begin{bmatrix} \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & - \\ \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & 1 \\ - & 0 & - & 0 & - \\ \mathbf{0} & 0 & - & 0 & 1 \\ \mathbf{0} & - & - & 1 & - \end{bmatrix} & \begin{array}{c} \dots \\ \xrightarrow[\text{spr.}]{\text{po 12.}} \\ \dots \end{array} & \begin{array}{c} (/) \\ (/) \\ (/) \\ (+) \\ (+) \end{array} & \begin{bmatrix} \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & - \\ \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & 1 \\ - & 0 & - & 0 & - \\ \mathbf{0} & 0 & - & 1 & 1 \\ \mathbf{0} & - & - & 1 & - \end{bmatrix} \\
\\
\begin{array}{c} \dots \\ \xrightarrow[\text{spr.}]{\text{po 13.}} \\ \dots \end{array} & \begin{array}{c} (/) \\ (-) \\ (/) \\ (+) \\ (+) \end{array} & \begin{bmatrix} \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & - \\ \mathbf{0} & 0 & 1 & 0 & 1 \\ - & 0 & - & 0 & - \\ \mathbf{0} & 0 & - & 1 & 1 \\ \mathbf{0} & - & - & 1 & - \end{bmatrix} & \rightarrow \dots & & 
\end{array}$$

Opazovani agent je prvi agent, zato so elementi vektorja zaupanja prvega agenta odebeljeni. Opazimo, da vektor zaupanja prvega agenta v svoje končno stanje pride zelo hitro – že po 3. spremembi. Ker so v vektorju zaupanja prvega elementa vsi elementi enaki 0, to pomeni, da imajo vsi agenti do izbranega agneta neodločen odnos in so pobarvani rumeno.

### Ali pogostost spremembe vpliva na obnašanje skupnosti?

Če preredko pride do spremembe, ni nujno, da stanje skupnosti skonvergira v svoje končno stanje. Če se sprememba zgodi na vsakih 100 korakov, simulacijo pa pustimo teči 200 korakov, bo do spremembe prišlo samo dvakrat. To navadno za konvergenco ni dovolj. Več kot do te mere pogostost spremembe na obnašanje celotne skupnosti ne vpliva.

**Ali se skupnost obnaša bistveno drugače, če ja na začetku pristonih 99 % ali 100 % pesimistov (oz. optimistov/centralistov)?**

Do sedaj smo obravnavali konfiguracije z 10 %, 30 %, 50 %, 70 % ali 90 % agentov posameznega tipa. V tem razdelku si bomo ogledali, kaj se zgodi, če simulacijo zaženemo pri “ekstremnih” začetnih pogojih in nastavimo, da agenti med tekom spreminjajo svoj tip operatorja.

Začetna konfiguracija, kjer imajo vsi agenti (100 %) pesimistični operator, konvergira v stanje, kjer so prisotni agenti vseh tipov. Vsi agenti imajo do izbranega agenta nezaupen odnos, ne glede na njihov operator! V združbah z malo agenti (npr. 10 ali 15) se pogosto zgodi, da skupnost konvergira v stanje, ko vsi agenti svoj odnos do izbranega agenta spremenijo v neodločen odnos. Do tega pride, kadar noben od agentov v začetni konfiguraciji (še pred zagonom simulacije) do izbranega agenta ne goji nezaupnega odnosa. Se pravi, v skupnosti so pred izvršitvijo prvega koraka simulacije prisotni samo zaupni in neodločeni<sup>5</sup> odnosi.

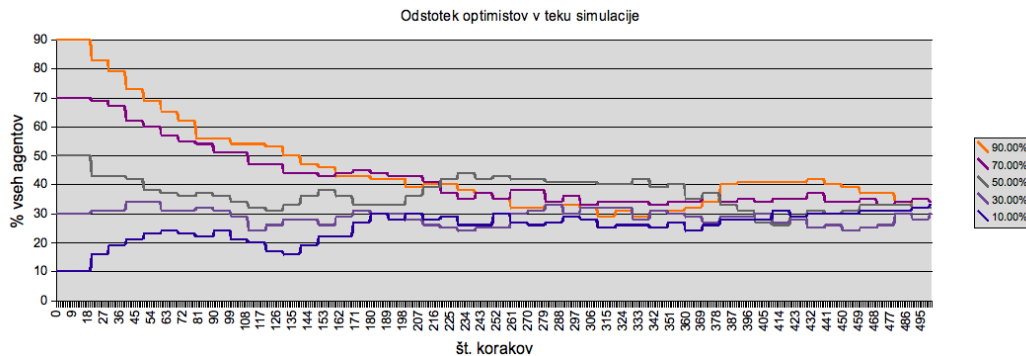
Obnašanje skupnosti je popolnoma drugačno, če ja na začetku prisotnih “le” 99 % agentov s pesimističnim operatorjem. Skupnost konvergira v stanje, v katerem so prisotne vse tri vrste agentov – pesimisti, optimisti in centralisti. Ponavadi optimisti do izbranega agenta zavzamejo zaupno stališče in pesimisti nezaupno, centralisti pa so neodločeni. Če nihče od optimistov (1 %) pred zagonom simulacije nima definirane odnosa do izbranega agenta (to pomeni, da noben od optimistov izbranega agenta ne pozna ali pa noče razkriti, kakšen je njegov odnos do njega), pride do drugačne situacije. Skupnost konvergira v stanje, kjer so prisotni agenti vseh vrst, vendar vsi agenti do izbranega agenta gojijo nezaupen odnos. V manjših združbah je prav tako pogosta situacija, ko vsi odnosi postanejo nedoločeni odnosi.

Analogne ugotovitve veljajo tudi za skupnosti, kjer prevladujejo optimisti in agenti svoj odnos do izbranega agenta spremenijo v zaupen odnos.

Začetna konfiguracija s samimi centralisti bo prešla v stanje, kjer so prisotni agenti vseh tipov, ki bodo imeli neodločen odnos do izbranega agenta. Če imamo na začetku 99 % centralistov in 1 % pesimistov, bo skupnost prešla v stanje, kjer bodo prisotni agenti vseh vrst. Centralisti in optimisti bodo do izbranega agenta neodločeni. Pesimisti bodo imeli do opazovanega agenta nedoločen ali nezaupen odnos, odvisno od tega, ali imajo pesimisti na začetku definirane odnose do izbranega agenta ali ne. Simetrična trditev velja za začetne konfiguracije z 99 % centralistov in 1 % optimistov.

---

<sup>5</sup>Vizualno to pomeni, da so vsi agenti, ki so prisotni v simulacijskem okolju, obarvani zeleno ali rumeno.



Slika 4.7: Odstotek agentov istega tipa med tekom simulacije.

### 4.3 Obnašanje agentov istega tipa

**Ali začetni odstotek agentov istega tipa vpliva na njihovo obnašanje med tekom simulacije?**

Ne glede na začetni odstotek agentov posameznega tipa se stanje skupnosti med tekom simulacije uravnovesi pri razmerju  $\frac{1}{3}$  optimistov :  $\frac{1}{3}$  pesimistov :  $\frac{1}{3}$  centralistov. Če imamo na začetku npr. 90 % optimistov, to ne pomeni, da bodo “prevladali” in bodo v skupnosti prisotni le še optimisti. Ravno tako ne bodo “povoženi,” če jih bo na začetku le 10 %. Slika 4.7 prikazuje, kako se začetni odstotek prisotnih optimistov v skupnosti kasneje ustali pri 33 %. Enako velja za pesimiste in centraliste.

V teku simulacije s 100 agenti so ves čas prisotni agenti vseh treh tipov – optimisti, pesimisti in centralisti, ne glede na izbrano vrsto spremembe. Pri spremenljivih odnosih je odstotek posameznih tipov agentov med tekom simulacije tako ali tako fiksni in definiran pred zagonom simulacije. Če agenti spreminjajo tip, po stabilizaciji stanja skupnosti do kakšnih velikih preskokov v razmerjih ne pride več in so ravno tako ves čas prisotni agenti vseh tipov.

Pri zagonu simulacije z 10 agenti vmes večkrat pride do situacije, ko sta prisotni samo dve vrsti tipov, včasih samo ena. Vendar tako stanje ni končno, saj so po določenem številu korakov zopet prisotni agenti vseh tipov. Ali pa se na primer nazaj pojavijo optimisti, ki jih pred tem ni bilo, obenem pa izginejo vsi pesimisti. Pri 10 agentih en agent predstavlja 10 % skupnosti, zato je dinamičnost skupnosti, torej prisotnost in odsotnost posameznega tipa agentov, toliko bolj vidna.

### **Kakšen odnos gojijo agenti posameznega tipa do izbranega agenta?**

V referenčnih konfiguracijah s 100 agenti se agenti po začetni konvergenci opredelijo za svoj odnos do izbranega agenta in ga kasneje ne spreminjajo. Pesimisti do izbranega agenta gojijo nezaupen odnos, optimisti zaupen, centralisti pa neodločen. Če je izbran tip spremembe sprememba operatorjev, to pomeni, da je na primer ob večji prisotnosti optimistov, je splošno mnenje skupnosti o izbranem agentu bolj zaupno. Z naraščajočim številom optimistov v skupnosti namreč narašča tudi število zaupnih odnosov do izbranega agenta. Pri spremenljivih odnosih je podobno. Optimisti do izbranega agenta gojijo zaupen, pesimisti nezaupen in centralisti neodločen odnos. Odnos se v koraku spremembe sicer lahko spremeni, vendar se že v naslednjem koraku stanje skupnosti uravnovesi in pesimisti do izbranega agenta zavzamejo nezaupen, optimisti zaupen in centralisti neodločen odnos. Odnos, ki ga do izbranega agenta gojijo ostali agenti, je neodvisen od operatorja izbranega agenta.

Nekoliko drugače je v simulacijah, ki jih zaženemo z 10 agenti. Tudi v tem primeru pesimisti po začetni konvergenci do izbranega agenta praviloma vzpostavijo nezaupen odnos, optimisti zaupen in centralisti neodločenega. Ker je število agentov tako nizko, matrika zaupanja hitro konvergira v stanje, v katerem ostane do konca simulacije. Posledično to privede to tega, da agenti *vseh* tipov do izbranega agenta gojijo enak odnos, največkrat neodločenega. Trditev velja, kadar je izbrana sprememba spreminjanje operatorjev. Pri spreminjanju odnosov agenti po začetni konvergenci (enako kot pri simulacijah s 100 agenti) do izbranega agenta ves čas gojijo odnos, odvisen od njihovega operatorja – pesimisti nezaupnega, optimisti zaupnega in centralisti nedoločena.

## **4.4 Modifikacije simulacijskega okolja**

Aplikacijo za simuliranje obvladovanja zaupanja smo na različne načine modificirali, zagnali in opazovali, kako se obnaša združba agentov in kako na obnašanje skupnosti vplivajo vpeljane modifikacije.

### **Modifikacija 1: Agent, ki spremeni svoj tip operatorja, se vedno spremeni v pesimista.**

V prvotnem simulacijskem okolju je agent z enako verjetnostjo spremenil svoj tip operatorja v pesimističnega, optimističnega ali uravnoveženega. S to modifikacijo agent pri spremembi tipa operatorja svoj operator vedno spremeni v pesimističnega.

opt.	pes.	10 % sprememb			50 % sprememb			90 % sprememb		
10	10	710	560	360	100	130	90	90	100	70
10	30	420	390	370	130	200	120	70	70	60
10	50	510	490	310	90	100	180	60	50	50
10	70	460	310	350	70	90	140	50	50	40
10	90	100	300	160	80	40	90	60	30	50
30	10	440	380	510	130	120	120	60	80	70
30	30	460	610	340	100	150	140	70	80	50
30	50	310	600	710	90	90	100	60	80	80
30	70	300	370	410	120	60	60	60	70	40
50	10	480	460	490	80	100	100	70	80	90
50	30	550	1020	460	100	120	90	60	60	60
50	50	510	430	270	100	80	90	70	90	80
70	10	590	410	750	100	120	90	70	70	70
70	30	470	1090	560	90	90	100	70	80	90
90	10	600	450	460	100	140	130	50	60	70

Tabela 4.2: Število potrebnih korakov, da vsi agenti postanejo pesimisti.

V združbi so po določenem številu korakov prisotni samo še agenti s pesimističnim operatorjem in vsi imajo do izbranega agenta nezaupen odnos. Kako hitro skupnost preide v tako stanje je odvisno od začetnega odstotka agentov s pesimističnim operatorjem in obsega spremembe. Čim večji je obseg spremembe in/ali tem višji je začetni odstotek agentov s pesimističnim operatorjem, tem hitreje bo skupnost konvergirala v stanje s samimi pesimisti. Število korakov, ki so potrebni za to, se zelo razlikuje glede na posamezen zagon simulacije. Razpršenost rezultatov prikazuje tudi tabela 4.2. V tabeli je zapisano, v koliko korakih je združba 100 agentov pri različnih začetnih odstotkih pesimistov in različno velikem obsegu spremembe prešla v končno stanje pri treh naključnih zagonih simulacije.

Simetrični rezultati veljajo tudi za primer, ko agenti svoj operator vedno spremenijo v optimističnega ali uravnoveženega.

### **Modifikacija 2: Svoj tip operatorja lahko spremeni samo agent z uravnoveženim operatorjem.**

Pri tej modifikaciji lahko svoj operator spremenijo le centralisti. Agent, ki spremeni svoj operator, bo z enako verjetnostjo postal optimist ali pesimist.

V tem primeru skupnost agentov konvergira v stanje, kjer so prisotni le še

optimisti in pesimisti. Končno razmerje med pesimisti in optimisti je odvisno od začetnega odstotka pristonih agentov posameznega tipa. Če smo zagnali referenčno konfiguracijo z enakim odstotkom pesimistov in optimistov (npr. 10 %-10 %, 20 %-20 %, ...), bo tudi v končnem stanju približno enako optimistov in pesimistov (torej bo razmerje približno 50 %-50 %). Pri referenčnih konfiguracijah, kjer je začetni odstotek pesimistov višji od začetnega odstotka optimistov, bo tudi v končnem stanju več pesimistov kot optimistov. Hitrost konvergence je odvisna od obsega spremembe. Če je odstotek operatorjev, ki spreminjajo svoj tip majhen, stanje konvergira počasi; če je odstotek visok pa hitro.

### **Modifikacija 3: Svoj operator smejo spremeniti samo določeni agenti.**

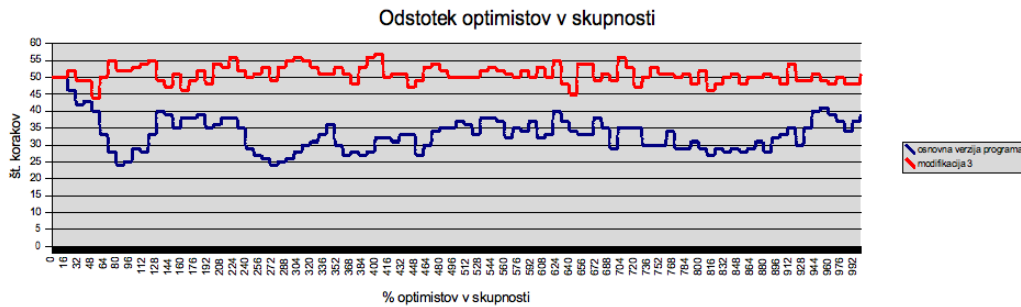
V prvotni verziji simulacije smo predpostavili, da svoj operator spremeni *naključnih*  $x$  % agentov iz celotne skupnosti. Pri vsaki spremembi gre tako lahko za različne agente, ki spremenijo svoj operator. V modificirani verziji programa *določimo*, katerih  $x$  % agentov spreminja svoj operator. Med tekom simulacije tako svoj operator menjajo ves čas isti agenti. Agent svoj operator spremeni v poljuben tip – v pesimističnega, optimističnega ali uravnoveženega.

Med tekom simulacije ostane razmerje med pesimisti, optimisti in centralisti podobno začetnemu razmerju. Koliko se razlikuje glede na začetno konfiguracijo, je odvisno od obsega spremembe. Pri visokem odstotku agentov, ki spreminjajo svoj operator, bodo odstopanja od začetnega stanja višja kot pri nizkem odstotku. Tudi v modificirani verziji simulacije imajo optimisti od izbranega agenta zaupen, pesimisti nezaupen in centralisti neodločen odnos.

Slika 4.8 prikazuje, kolikšen je odstotek optimistov med tekom simulacije. Osnovno in modificirano verzijo smo zagnali z naslednjimi začetnimi parametri: 100 agentov, 50 % optimistov, 10 % pesimistov, 40 % centralistov, obseg spremembe 30 %. Modra črta ponazarja, kakšen je odstotek agentov z optimističnim operatorjem v osnovni verziji simulacijskega okolja, rdeča pa stanje v modificirani različici.

## **4.5 Splošne ugotovitve in sklepi**

Po mnogih zagonih simulacije pri različnih referenčnih konfiguracijah smo prišli do naslednjih sklepov. Začetni odstotek pesimistov, optimistov in centralistov na kasnejše obnašanje celotne skupnosti ne vpliva. Stanje se neodvisno od začetnega razmerja ustali, ko je v skupnosti  $\frac{1}{3}$  pesimistov,  $\frac{1}{3}$  optimistov in  $\frac{1}{3}$



Slika 4.8: Odstotek optimistov v osnovni in modificirani verziji programa.

centralistov. Tipi agentov in odnosi se še naprej spreminjajo, vendar razmerje po ustalitvi ne odstopa bistveno od tretjinskega razmerja.

Odstotek spremenljivih odnosov ali spremenljivih operatorjev pri stabilizaciji skupnosti nima bistvene vloge. Prav tako je frekvenca spremembe pomembna le do te mere, če se spremembe zgodijo zelo redko, simulacijo pa pustimo teči malo časa, potem ni nujno, da se bo stanje skupnosti ustalilo.

Agenti se v skupnosti obnašajo precej predvidljivo. V simulacijah s 100 agenti bodo vsi optimisti, ki imajo definiran odnos do izbranega agenta, z njim vzpostavili zaupen odnos, neodvisno od operatorja izbranega agenta. Pesimisti bodo ves čas teka simulacije do izbranega agenta nezaupni, centralisti bodo imeli z njim neodločen odnos. Agenti lahko svoj odnos do izbranega agenta spremenijo, a se odnos že v naslednjem koraku (po enem obhodu matrike) vrne v prejšnje stanje.

V skupnostih, kjer je prisotnih 10 agentov, stanje konvergira v posebno končno stanje in se po konvergenci ne spremeni več. Število korakov, potrebnih za konvergenco, precej niha. Včasih zadostuje že 100 korakov, spet drugič je potrebnih več kot 3000. V končnem stanju agenti vseh tipov gojijo *enak* odnos do izbranega agenta, največkrat je to neodločen odnos. Pri začetnih konfiguracijah z visokim odstotkom pesimistov (optimistov) pride pogosto tudi do situacije, ko se vsi agenti opredelijo za nezaupen (zaupen) odnos do izbranega agenta. To pomeni, da imamo pri tako majhnem številu agentov malenkost več možnosti za “manipulacijo” skupnosti, vendar so v praksi virtualne skupnosti številnejše.

Če v simulacijskem okolju točno določimo množico agentov, ki smejo spremeniti svoj operator, lahko posredno vplivamo na končno stanje skupnosti. V končnem stanju bo agentov posamezega tipa približno enako kot jih je bilo na začetku. V nobenem od primerov (ne ko naključni agenti spreminjajo tip operatorja, ne ko določeni) ne moremo kako drugače vplivati na stanje po  $n$

korakih. Pri danem začetnem odstotku optimistov, pesimistov in centralistov ne moremo na primer z obsegom spremembe vplivati na končno stanje. Tudi če imamo na začetku zgolj 1 % pesimistov, bo skupnost konvergirala v stanje z optimisti, pesimisti in centralisti, ki bodo imeli do izbranega agenta zaupen, nezaupen in neodločen (po vrsti) odnos. Obnašanje lahko napovemo, če imajo na začetku *vsi* agenti enak operator, a take situacije niso preveč smiselne.

Združb z velikim številom agentov praktično ne moremo regulirati. Nekoliko vpliva imamo v skupnostih z manjšim številom agentov. Če želimo, da bojo v skupnosti na primer prisotni samo zaupni odnosi, nastavimo visok začetni odstotek agentov z optimističnim operatorjem. Kot se je izkazalo, taka konfiguracija pogosto konvergira v stanje, kjer so prisotni samo zaupni odnosi. Vendar poudarimo še enkrat sledeče: taka konfiguracija *pogosto* konvergira v stanje s samimi zaupnimi odnosi, a *ne vedno!*

# Poglavje 5

## Zaključek

Zaupanje je postalo predmet raziskave tudi v računalništvu. Razvili so se modeli zaupanja in sistemi za obvladovanje zaupanja, ki uporabnikom v velikih virtualnih skupnostih pomagajo oceniti, kateri uporabniki so zaupanja vredni in kateri ne.

V diplomskem delu smo preučili področje zaupanje in razložili, kaj je zaupanje, kakšen je njegov pomen v internetnih aplikacijah in kako ga lahko obvladujemo. Predstavili smo dve metodologiji za obvladovanje zaupanja: Jøsangovo algebro in kvalitativno algebro.

V sklopu diplomske naloge smo implementirali simulacijsko orodje za obvladovanje zaupanja, ki temelji na kvalitativni algebri. Pripravili smo referenčne konfiguracije z različnimi začetnimi parametri: različnim številom agentov, različnim začetnim ramerjem med pesimisti, optimisti in centralisti, različnim obsegom in tipom sprememb obnašanja med tekom simulacije in podobno.

Analizirali smo obnašanje skupnosti in ugotovili, katere so skupne značilnosti obnašanja pri različnih referenčnih konfiguracijah. Analize so pokazale, da je obnašanje agentov precej predvidljivo (v tem modelu) – ne glede na začetne parametre. Optimisti se opredelijo za zaupen, pesimisti nezaupen, centralisti pa neodločen odnos do določenega izbranega agenta. Situacija se kasneje kljub spremembam, ki nastopijo med tekom simulacije, ne spremeni bistveno. V konfiguracijah z malo agenti odnosi med agenti zelo hitro konvergirajo v končno vrednost in se ne spremenijo več. Vrednosti odnosov se ne spremenijo, tudi če agenti med tekom simulacije spremenijo svoj tip operatorja.

V prihodnosti bi lahko implementacijo nadgradili še z drugimi (že obstoječimi in novimi) modeli zaupanja. Dodali bi lahko mehanizme, s katerimi bi posamezen agent analiziral odnos do drugega agenta in ocenil, kako tvegana je interakcija z njim. Veljalo bi zgraditi sistem, ki bi slonel na kombinaciji

različnih pristopov za obvladovanje zaupanja in ugleda. Celotno področje obvladovanja zaupanja v informacijski tehnologiji je veliko in se širi, zato je možnosti za nadaljnje delo ogromno.

# **Dodatek A**

## **Simulacijsko okolje za obvladovanje zaupanja**

Diplomskemu delu je priložen CD s simulacijo, ki je bila implementirana v sklopu diplomske naloge.

# Slike

2.1	Kombinacija uporabe splošnega mnenja in priporočila. . . . .	14
2.2	Verižno overjanje ključa prek posrednika <i>B</i> . . . . .	16
2.3	Zaupanje, ki temelji na lastnem mnenju oziroma mnenju iz druge roke. . . . .	16
2.4	Graf zaupanja. . . . .	18
3.1	Primer začetne konfiguracije. . . . .	26
3.2	Primer začetne konfiguracije. . . . .	26
4.1	Razmerje posameznih odnosov v teku simulacije pri 10 % spremenljivih odnosih. . . . .	31
4.2	Razmerje posameznih odnosov v teku simulacije pri 90 % spremenljivih odnosih. . . . .	31
4.3	Razmerje agentov posameznih tipov pri referenčni konfiguraciji: 30 % pesimistov, 30 % optimistov, 40 % centralistov, 10 % spremenljivih agentov. . . . .	32
4.4	Razmerje agentov posameznih tipov pri referenčni konfiguraciji: 30 % pesimistov, 30 % optimistov, 40 % centralistov, 90 % spremenljivih agentov. . . . .	32
4.5	Razmerje agentov posameznih tipov pri referenčni konfiguraciji: 90 % optimistov, 10 % pesimistov, 10 % spremenljivih agentov. . . . .	33
4.6	Razmerje agentov posameznih tipov pri referenčni konfiguraciji: 90 % optimistov, 10 % pesimistov, 90 % spremenljivih agentov. . . . .	33
4.7	Odstotek agentov istega tipa med tekom simulacije. . . . .	38
4.8	Odstotek optimistov v osnovni in modificirani verziji programa. . . . .	42

# Tabele

2.1	Definicijska tabela kvalitativnih operatorjev . . . . .	20
4.1	Število agentov posameznih tipov na začetku in koncu simulacije.	29
4.2	Število potrebnih korakov, da vsi agenti postanejo pesimisti. . .	40

# Literatura

- [1] A. Jøsang, “An Algebra for Assessing Trust in Certification Chains,” *Appears in the proceedings of NDSS ‘99, Network and Distributed Systems Security Symposium, The Internet Society, San Diego 1999.*
- [2] A. Jøsang, “Artificial Reasoning with Subjective Logic,” *Appears in the Proceedings of the 2nd Australian Workshop on Commonsense Reasoning, Perth 1999.*
- [3] D. Trček, “A formal apparatus for modeling trust in computing environments,” *Mathematical and Computer Modelling (2008)*, doi:10.1016/j.mcm.2008.05.005.
- [4] D. Trček, “Towards trust management standardization,” *Elsevier B.V., 2004.*
- [5] R. Khare, A. Rifkin, “Trust Management on the World Wide Web,” *First Monday Special Issue: Commercial Applications of the Internet, July 2006.*
- [6] “Reputation management: Building trust among virtual strangers,” *IBM Global Business Services, September 2006.*
- [7] Huaizhi Li, Mukesh Singhal, “Trust Management in Distributed Systems,” *Published by the IEEE Computer Society, February 2007.*
- [8] Claudio A. Ardagna, Ernesto Damiani et al. “Trust Management”.
- [9] L.M.S. Lau and W.S. Whyte, “A Process View of Trust Building in Virtual Organisations”.
- [10] M. K. Nakayama et al., “Trust in Virtual Teams: A Performance Indicator”.

- [11] E. Tatara, M.J. North et al., “An Introduction to Repast Symphony Modeling using a Simple Predator-prey Example,” *Paper extracted from Proceedings of the Agent 2006 Conference on Social Agents: Results and Prospects*.
- [12] M.J. North, T.R. Howe et al., “The Repast Symphony Runtime System,” *Paper extracted from Proceedings of the Agent 2005 Conference on Generative Social Processes, Models, and Mechanisms*.
- [13] J. Ozik et al., “Road Map: Transforming and Extending Repast with Groovy”.
- [14] T.R. Howe, N.T. Collier et al., “Containing Agents: Contexts, Projections and Agents,” *Paper extracted from Proceedings of the Agent 2006 Conference on Social Agents: Results and Prospects*.
- [15] “Slovar slovenskega knjižnega jezika,” *Dostopno tudi na: <http://bos.zrc-sazu.si/sskj.html>*.

# Izjava

Izjavljam, da sem diplomsko nalogo izdelala samostojno pod vodstvom mentorja izr. prof. dr. Denisa Trčka. Izkazano pomoč drugih sodelavcev sem v celoti navedla v zahvali.

Ljubljana, april 2009

Eva Zupančič