

Aalto-yliopisto
Perustieteiden korkeakoulu
Teknillisen fysiikan ja matematiikan tutkinto-ohjelma

Positiivisen psykologian vuorovaikutusmalli

kandidaatintyö
7.11.2011

Juha Törmänen

Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

AALTO-YLIOPISTO PERUSTIETEIDEN KORKEAKOULU PL 11000, 00076 Aalto http://www.aalto.fi	KANDIDAATINTYÖN TIIVISTELMÄ	
Tekijä: Juha Törmänen		
Työn nimi: Positiivisen psykologian vuorovaikutusmalli		
Tutkinto-ohjelma: Teknillisen fysiikan ja matematiikan tutkinto-ohjelma		
Pääaine: Systemitieteet	Pääaineen koodi: Mat-2	
Vastuupettaja(t): Prof. Raimo P. Hämmäläinen		
Ohjaaja(t): Prof. Raimo P. Hämmäläinen		
Tiivistelmä: Ihmisen oman systeemin ohjaaminen hyvään lopputulokseen on haastava systeemiajattelun ongelma, erityisesti sen vuoksi, että päätökset joutuu tekemään systeemin sisällä eikä sen ulkopuolisena neutraalina havainnoijana. Inhimillisen systeemin ohjaamista parempaan suuntaan lähestyvät eri suunnilta Aalto-yliopistossa kehitettävä systeemiällyn käsite ja positiivinen psykologia, joista edellinen pyrkii kehittämään työkaluja ja menetelmiä käytännön systeemien tiedostamiseen ja hyödyntämiseen, ja jälkimmäinen tutkii keinoja parantaa ihmisten hyvinvointia. Tässä työssä muotoillaan positiivisen psykologian empiiristen havaintojen pohjalta agenttipohjainen diskreetti aikainen vuorovaikutusmalli ryhmdynamiikan kuvaamiseen. Vuorovaikutusmallin toimintaa analysoidaan lyhyesti matemaattisin keinoin. Malli toteutetaan modernilla verkkoselaimella suoritettavaan simulaatio-ohjelmistoon, ja sen toimintaa esitellään kolmen esimerkin avulla. Malli on lähtökohta ryhmdynamiikkaa avaavan systeemiällyn työkalun kehittämiseksi. Tässä työssä esiteltävässä muodossa työkalun käyttömahdollisuudet ovat vielä rajalliset, mutta työ antaa suuntaa ja rakennetta laajempien ja totuudenmukaisempien jatkomallien toteuttamiselle.		
Päivämäärä: 7.11.2011	Kieli: suomi	Sivumäärä: 24
Avainsanat: mallinnus, simulointi, ryhmdynamiikka, positiivinen psykologia, systeemiäly		

Sisältö

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimuksen tavoitteet	1
2	Teoreettinen tausta	2
3	Matemaattisen mallin muodostaminen	3
3.1	Agentin malli	3
3.2	Agentin mallin ‘Build’-laajennus	5
3.3	Ryhmän malli	6
3.4	Ryhmän mallin ‘Broaden’-laajennus	6
4	Mallin matemaattinen tarkastelu	8
4.1	Tasapainotiloihin hakeutuminen	8
4.2	Tasapainotilat	9
5	PoSITeams-ohjelmiston toteutus	10
6	Esimerkkiajoja	14
6.1	Esimerkkiajo 1: Parisuhdesimulaatio	14
6.2	Esimerkkiajo 2: Ryhmäsimulaatio	17
6.3	Esimerkkiajo 3: Positiivinen räjähdys	17
7	Johtopäätökset	23

1 Johdanto

Systemi- ja operaatotutkimuksen menetelmiä ja työkaluja sovelletaan usein teknillisten systeemien tarkkailemiseen ja kehittämiseen. Samoja lähestymistapoja voidaan kuitenkin käyttää myös muun kaltaisten systeemien, jopa ihmisen oman toiminnan kehittämiseen. Yksilön menestymisen ja hyvinvoinnin voidaan käsittää riippuvan lukuisista tekijöistä, kuten hänen läheisistään, työkavereistaan, tuttavistaan ja ympäristöstään. Oman itsensä ohjaaminen parhaimpaan — tai vähintäänkin merkittävästi nykyistä parempaan — tulokseen systeemissä, joka koostuu kymmenistä tasavertaisista toisiinsa kytkeytyistä toimijoista ja ympäristön vaikutustekijöistä ei ole mikään helppo tehtävä!

Systemiäly on professorien Hämäläinen ja Saarinen kehittämä käsite, joka pyrkii tutkimaan ja löytämään työkaluja inhimillisen systeemin kehittämiseen (mm. Hämäläinen and Saarinen [2007], Saarinen and Hämäläinen [2007]). Käsitteen ensisijaisena pyrkimyksenä on auttaa eri alojen ihmisiä avaamaan omaa ajatteluaan ja löytämään tuoreita, rikastavia näkökulmia oman toimintansa arkisiin ydinkysymyksiin.

Tämä työ käsittelee yhden systemiällyn työkalun kehitysprosessia — ihmisryhmän positiivisuus- ja negatiivisuusdynamiikan visualisoimista agenttipohjaisella simulaatiomallilla. Kun yksilö on itse osana useamman ihmisen muodostamaa dynaamista systeemiä, hänen voi olla hyvin haastavaa havaita keinoja ryhmän toimintatapojen dramaattisiin muutoksiin. Valmis simulaatio-toteutus tarjoaa työkalun, jolla yksinkertaistettua systeemiä voidaan havainnoida turvallisesti sen ulkopuolelta, ja kokeilla, miten erilaiset, ehkä epäilmeisetkin toimintatavat voisivat muuttaa systeemin lopputulosta.

1.1 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän työn tavoitteina on muotoilla yksinkertainen ryhmädynamiikan vuorovaikutusmalli, joka sisältää piirteitä positiivisen psykologian empiirisistä havainnoista, sekä toteuttaa simulaatio-ohjelmisto vuorovaikutusmallin havainnollistamiseksi. Kehitettävän vuorovaikutusmallin tulisi kyetä sekä kuvaamaan todellisia ilmiöitä, että olemaan riittävän yksinkertainen, että sen toiminnan pystyy esittämään alaan aiemmin perehtymättömälle käyttäjälle ytimekkäästi. Toteutuksen tavoitteena on olla paitsi helppokäyttöinen, myös helposti levitettävä — sen ei ole tarkoitus vaatia käyttäjältään raskaita asennuksia tai käyttöohjeiden lukemista.

2 Teoreettinen tausta

Positiivisuuden ja negatiivisuuden vaikutusta ihmisen hyvinvointiin ja menestymiseen on tutkittu laajalti B. Fredricksonin tutkimusryhmineen julkaisemissa tutkimuksissa. Fredricksonin “broaden-and-build”-teorian mukaan positiiviset tunteet edesauttavat yksilön toimintaa laajentamalla ajattelua ja toimintaympäristöä sekä rakentamalla henkilökohtaisia voimavaroja, jolloin yksilö selviää paremmin kohtamistaan katastrofeista [Fredrickson, 2001, 2004]. Ryhmädynamiikan kontekstissa tämän voidaan katsoa tarkoittavan, että positiivisempi toimija kykenee vuorovaikuttamaan luovemmin ja laajalaisemmin, sekä kestävämpään paremmin negatiivisia kokemuksia.

Fredrickson on tutkinut myös positiivisen ja negatiivisen vaikutuksen merkittävyyttä yksilön hyvinvointiin. Hänen työssään vaikutusta kuvataan positiivisuus-negatiivisuus-suhdeluvulla, eli P/N-luvulla. Suhdeluvun ollessa riittävän korkea yksilön voidaan katsoa ‘kukoistavan’, tai toimivan optimaalisesti, ja ilmentävän “broaden-and-build”-ilmiötä [Fredrickson and Losada, 2005].

M. Losada on tutkinut positiivisuuden ja negatiivisuuden vaikutusta empiirisesti ryhmädynamiikan kontekstissa. Hänen matemaattisen mallinsa mukaan ‘kukoistamiseksi’ luokiteltavat ryhmän tilat assosioituvat P/N-suhdelukuihin, jotka ovat yli 3:1 [Losada, 1999, Losada and Heaphy, 2004]. Losadan mallissa merkittävässä roolissa on myös ‘connectivity’-parametri, joka kuvastaa ryhmässä esiintyvien vakaiden ja voimakkaiden vuorovaikutussuhteiden määrää. Mitä korkeampi ‘connectivity’ on, sitä korkeampi ryhmän keskimääräinen P/N on ja sitä paremmin ryhmä tyypillisesti menestyy tehtävässään.

J. Gottman on lähestynyt positiivisuuden ja negatiivisuuden vaikutusta toiselta suunnalta kuvaamalla avioliiton dynamiikkaa bilineaarisella vuorovaikutusmallilla [Gottman et al., 2005, luku 9], missä vaimon ja aviomiehen tilaa hetkellä t kuvataan yksittäisillä positiivisuus-negatiivisuus-muuttujilla W_t ja H_t . Gottmanin malli on pääpiirteissään:

$$W_{t+1} = I_{HW}(H_t) + r_1 W_t + a \quad (1)$$

$$H_{t+1} = I_{WH}(W_t) + r_2 H_t + b \quad (2)$$

Missä $I_{HW}(x)$ ja $I_{WH}(x)$ ovat bilineaarisia funktioita (lineaarisia $x=0$ -tason kummallakin puolella) ja r_1 , r_2 , a , ja b ovat vakioita. Gottman on lisäksi laajentanut mallia korjaus- ja vaimennustekijöillä, jotka estävät tilojen “räjähtämisen” liian kauas origosta.

3 Matemaattisen mallin muodostaminen

Simulaation toteutus on tehty diskreettiaikaisella agenttisimulaatiolla. Agenttisimulaatiossa yksinkertaiset tekoälyagentit vuorovaikuttavat toistensa kanssa sisäisten tilojensa määrittämällä tavoilla, ja päivittävät tilojaan ulkoisten tapahtumien seurauksena. Simulaatiota ajetaan tasavälisillä askelilla, joista jokaisella agenteille määritetään toimintastrategia ja päivitetään strategioiden vaikutukset toisiin agenteihin.

Simulaation käsittely on jaettu kahteen komponenttiin:

- agenttien sisäisten tilojen päivittäminen ja agentin käyttäytymisen määrittäminen (“agentin malli”)
- agenttien välisen vuorovaikutuksen toteutuminen ja agenttiryhmän keskinäinen toiminta (“ryhmän malli”)

3.1 Agentin malli

Agentin malli pyrkii mallintamaan ihmisen sisäisiä vuorovaikutuksiin vaikuttavia tapahtumia — sitä, miten ihminen reagoi kohtaamiinsa positiivisiin ja negatiivisiin kokemuksiin, ja miten hänen käyttöksensä määrittyy niiden perusteella. Tämän mallin yksinkertaistetussa maailmassa käytökseen vaikuttavat ainoastaan agentin positiivisuus- ja negatiivisuuspistemäärät, jotka yhdistettynä ovat agentin tila.

Gottmanin avioliittoyhdyntälöissä 1 ja 2 positiivisuus ja negatiivisuus oli yhdistetty yhdeksi muuttujaksi. Tässä työssä Gottmanin lähestymistapa on yhdistetty Fredricksonin ja Losadan tuloksiin ihmisten kukoistamisen dynamiikasta. Koska Fredricksonin havaintojen mukaan P/N-suhdeluku on tärkeämpi kuin absoluuttiset määrät, positiivisia ja negatiivisia vaikutuksia seurataan erillisinä tilamuuttujina.

Agentit on mallinnettu olettamalla, että agentilla on jokaisella ajanhetkellä mahdollisuus kokea uusia positiivisia ja negatiivisia vaikutuksia, että kokemukset vaikuttavat suoraan agentin tilaan, ja että vanhat muistot vaikuttavat agentin käytökseen vähemmän kuin uudet. Matemaattisesti tämä on formuloitu vähentämällä suhteellinen osa positiivisuutta ja negatiivisuutta jokaisella ajanhetkellä, ja lisäämällä positiiviset ja negatiiviset vaikutukset tämän jälkeen tiloihin.

Merkitään vähennettäviä määriä vakioilla a ja $b \in [0, 1]$. Tällöin agentin i tila hetkellä t on

$$P_i(t) = (1 - a)P_i(t - 1) + \text{pos. vuorovaikutukset hetkellä } t - 1 \quad (3)$$

$$N_i(t) = (1 - b)N_i(t - 1) + \text{neg. vuorovaikutukset hetkellä } t - 1 \quad (4)$$

Lisäksi on hyödyllistä laskea positiivisuuden ja negatiivisuuden suhteelliset osuudet

$$P_i^{rel}(t) = \frac{P_i(t)}{P_i(t) + N_i(t)} = \frac{1}{1 + N_i(t)/P_i(t)} \quad (5)$$

$$N_i^{rel}(t) = \frac{N_i(t)}{P_i(t) + N_i(t)} = \frac{1}{1 + P_i(t)/N_i(t)}. \quad (6)$$

Näille pätee $P_i^{rel}(t) + N_i^{rel}(t) = 1$ ja $P_i(t)/N_i(t) = P_i^{rel}(t)/N_i^{rel}(t)$.

Agentti vuorovaikuttaa toisten agenttien kanssa tavalla, joka määräytyy sen P/N-suhdeluvusta. Agentin vuorovaikutustapa voi olla puhtaasti negatiivinen, puhtaasti positiivinen, tai jotain siltä väliltä. Koska agentin tilamuutujilla ei ole mitään todellisuuteen kytkettävissä olevaa mitta-asteikkoa, asteikko voidaan valita vapaasti.

Kun oletetaan, että jokaisen agentin vaikutus toisiin agentteihin on yhtä suuri — toisin sanoen, malliin ei lasketa eroja erilaisten ihmissuhteiden välillä, vaan kaikki agentit ovat toisilleen tasavertaisessa asemassa — mitta-asteikko on luontevaa valita siten, että agentti i vaikuttaa toiseen agenttiin positiivisesti luvun $P_i^{rel}(t)$ verran, ja negatiivisesti luvun $N_i^{rel}(t)$ verran, ja täten agentin kokonaisvaikutus toisen agentin tiloihin on yhden yksikön suuruinen.

Sijoittamalla nämä vaikutukset kaavoihin 3 ja 4 saadaan agentin perusmalliksi

$$P_i(t) = (1 - a)P_i(t - 1) + \sum_{j \in A} c_{i,j}(t) P_j^{rel}(t) \quad (7)$$

$$N_i(t) = (1 - b)N_i(t - 1) + \sum_{j \in A} c_{i,j}(t) N_j^{rel}(t) \quad (8)$$

missä A on kaikkien agenttien joukko ja $c_{i,j}(t) = 1$ jos agentit i ja j vuorovaikuttavat (ovat yhteydessä) hetkellä t , ja 0 jos agentit eivät vuorovaikuta. Agentin i yhteyksien kokonaismäärä hetkellä t on

$$c_i(t) = \sum_{j \in A} c_{i,j}(t) \quad (9)$$

ja kaikkien systeemissä esiintyvien vuorovaikutusten kokonaismäärä on

$$C(t) = \frac{1}{2} \sum_{i \in A} c_i(t). \quad (10)$$

Tämä tunnusluku on teoreettisesti läheisessä yhteydessä Losadan ryhmädynamiikkamallien ‘connectivity’-parametriin.

3.2 Agentin mallin ‘Build’-laajennus

Edellisen mallin laajenuksena on oletettu, että riittävän voimakas määrä positiivisuutta kykenee peittämään negatiivisuuden vaikutusta alleen Fredricksonin ‘broaden-and-build’-teoriaa mukailevasti. Mallissa ilmiötä on kuvattu siten, että korkea P/N-luku estää negatiivisuuden välittymistä agentin käytökseen. Määritellään kolmanneksi tilamuuttujaksi negatiivisuussäiliö S , johon toisilta agenteilta tulevat negatiiviset kokemukset kulkeutuvat ensimmäisenä.

Jos säiliö ylittää maksiminsa, joka riippuu P/N-luvusta, loput sen määrästä siirtyy agentin negatiivisuustilaan. Säiliön sisältö vähenee ajan kanssa saman b -vakion mukaisesti kuin negatiivisuuskin mm. yhtälössä 8.

Agentin i negatiivisuussäiliön koko hetkellä t voidaan määrittellä suhteessa agentin P/N-lukuun esimerkiksi:

$$d_i(t) = \begin{cases} 0, & \text{kun } P_i(t)/N_i(t) < 3 \\ 1, & \text{kun } 3 \leq P_i(t)/N_i(t) < 4 \\ 3, & \text{kun } 4 \leq P_i(t)/N_i(t) < 5 \\ 5, & \text{kun } 5 \leq P_i(t)/N_i(t) \end{cases} \quad (11)$$

Tällöin agentin malli build-laajennuksella on kokonaisuudessaan matemaattisesti muotoiltuna

$$P_i(t) = (1 - a)P_i(t - 1) + \sum_{j \in A} c_{i,j}(t)P_j^{rel}(t) \quad (12)$$

$$S_i(t) = (1 - b) \max[0, S_i(t - 1) - d_i(t - 1)] + \sum_{j \in A} c_{i,j}(t)N_i^{rel}(t) \quad (13)$$

$$N_i(t) = (1 - b)N_i(t - 1) + \max[0, S_i(t) - d_i(t)] \quad (14)$$

3.3 Ryhmän malli

Ryhmän malli kuvaa, miten ihmiset muodostavat vuorovaikutussuhteita keskenään ja millä tavalla nämä suhteet mahdollisesti muuttuvat ajan myötä.

Gilbert [2004] määrittelee agenttimallien eroa mm. sen välillä, esitetäänkö agentit spatiaalisesti vai sosiaalisena verkostona. Koska tässä työssä ollaan kiinnostuneita ensisijaisesti agenttien välisistä sosiaalisista suhteista eikä niiden liikkumisesta tai fyysisestä sijainnista, verkostoteoreettinen lähestymistapa sopii ryhmän mallintamiseen paremmin. Agentit tulkitaan verkoston noodeiksi, ja agenttien välillä olevat polut ovat olemassa olevia riittävän voimakkaita sosiaalisia kontakteja vuorovaikutusten kulkeutumisiksi agenttien välillä.

Mallia on yksinkertaistettu muutamilla rajoituksilla. Kuten agentin mallissa jo määriteltiin, kaikki vuorovaikutukset ovat yhtä voimakkaita. Täten malli ei sovellu siis kuvaamaan yhtäaikaaisesti esimerkiksi perhe- ja tuttavuusiteitä, sillä perheen sisäiset vaikutukset poikkeaisivat todennäköisesti voimakkuudeltaan tuttavien vaikutuksista. Lisäksi on oletettu, että kaikki sosiaaliset vuorovaikutukset ovat kaksisuuntaisia. Jos yksi agentti muodostaa kontaktin toiseen ja vuorovaikuttaa sen kanssa, kohtaaminen vaikuttaa molempien agenttien tiloihin.

Ryhmän mallin dynamiikkaa ei välttämättä tarvitse muotoilla näiden rajoitusten ja verkostolähtökohdan ylitse. Tässä työssä kehitettävän työkalun tavoite on kyetä kuvaamaan todellisia tilanteita, jolloin useimmissa tapauksissa voitaisiin esiteltävä sosiaalinen verkostokin ottaa suoraan todellisesta tilanteesta.

3.4 Ryhmän mallin ‘Broaden’-laajennus

Losadan ryhmädynamiikkatutkimusten mukaan ryhmän ‘connectivity’, eli voimakkaiden yhteyksien määrä on riippuvainen ryhmän P/N-suhdeluvusta. Kun suhdeluku kasvaa, myös yhteyksien määrä nousee. Täten olisi perusteltua kytkeä agentin muodostamien yhteyksien määrä sen P/N-lukuun. Samaa tulkintaa vahvistaa myös Fredricksonin broaden-and-build. ‘Broaden’ voidaan tämän simulaation piirissä tulkita siten, että agentit, joilla on korkeampi P/N-luku, kykenevät huomioimaan useampia toisia agentteja ja vuorovaikuttamaan rikkaammin.

Näiden teorioiden valossa mallia laajennettu siten, korkeampi P/N-suhdeluku laajentaa agentin sosiaalisten kontaktien määrää. Laajennusta varten on ole-

tettu, että jokaisella agentilla on prioriteettilista läheisimmistä toisista agenteista, ja että agentti vuorovaikuttaa $e_i(t)$:n ensimmäisen listassa olevan agentin kanssa hetkellä t . Täksi määräksi on valittu:

$$e_i(t) = \begin{cases} 0, & \text{kun } P_i(t)/N_i(t) < 1 \\ 1, & \text{kun } 1 \leq P_i(t)/N_i(t) < 3 \\ 3, & \text{kun } 3 \leq P_i(t)/N_i(t) < 5 \\ 5, & \text{kun } 5 \leq P_i(t)/N_i(t) \end{cases} \quad (15)$$

Näillä parametreilla siis agentti ei aloita yhtään sosiaalista kontaktia, jos sen P/N-suhdeluku on alle 1. Jos suhdeluku on yli 3:1, aloitettuja vuorovaikutuksia on jo lukuisia.

4 Mallin matemaattinen tarkastelu

Muotoiltua vuorovaikutusmallia ‘Broaden’- ja ‘Build’-laajennuksineen ei ole pyritty ratkaisemaan tämän työn puitteissa. On kuitenkin hyödyllistä huomioida mallin ryhmädynamiikan olennaisimpia piirteitä.

4.1 Tasapainotiloihin hakeutuminen

Oletetaan perusmallin tilanne yhtälöiden 7 ja 8 mukaisesti. Agentin i , jolla on yhteyksiä toisiin agentteihin $j \in A$, P/N-luku kasvaa, jos

$$\frac{P_i(t-1)}{N_i(t-1)} < \frac{P_i(t)}{N_i(t)} = \frac{(1-a)P_i(t-1) + \sum_{j \in A} c_{i,j}(t)P_j^{rel}(t)}{(1-b)N_i(t-1) + \sum_{j \in A} c_{i,j}(t)N_j^{rel}(t)}. \quad (16)$$

Jos $(1-a) = (1-b) = r$, ja epäyhtälö kerrotaan puolittain $N_i(t)$:n avatulla muodolla,

$$\begin{aligned} \frac{P_i(t-1)}{N_i(t-1)} \left[rN_i(t-1) + \sum_{j \in A} c_{i,j}(t)N_j^{rel}(t) \right] &< rP_i(t-1) + \sum_{j \in A} c_{i,j}(t)P_j^{rel}(t) \\ \Rightarrow \frac{P_i(t-1)}{N_i(t-1)} \left[\sum_{j \in A} c_{i,j}(t)N_j^{rel}(t) \right] &< \sum_{j \in A} c_{i,j}(t)P_j^{rel}(t) \\ &\Rightarrow \frac{P_i(t-1)}{N_i(t-1)} < \frac{\sum_{j \in A} c_{i,j}(t)P_j^{rel}(t)}{\sum_{j \in A} c_{i,j}(t)N_j^{rel}(t)}. \end{aligned} \quad (17)$$

Siis, jos tilat vähenevät yhtä nopeasti eli $a = b$, agentin P/N-luku kasvaa jos ja vain jos sen vastaanotetun positiivisuuden ja negatiivisuuden suhdeluku on suurempi kuin sen P/N-suhdeluku. Koska vastaanotettu pos ja neg riippuvat suoraan yhteydessä olevien agenttien P/N-luvuista, voidaan sanoa, että agentin P/N-luku hakeutuu kohti siihen yhteydessä olevien agenttien P/N-lukuja. Täten kaikki toisiinsa kytketyt agentit hakeutuvat kohti yhteistä P/N-tasapainopistettä, jonka tarkka sijainti määräytyy agenttien yhteyksien luonteesta.

‘Build’-laajennuksen ollessa voimassa tämä pätee ainoastaan tiloihin, joissa negatiivisuussäiliön koko on 0. Oletetaan, että negatiivisuussäiliö oli täysi edellisellä aika-askeleella, jolloin se vähenee tälle aika-askelelle kertoimen b verran ja kykenee absorboimaan ainoastaan $b * d_i(t)$ yksikköä negatiivisuutta — loput vastaanotetusta negatiivisuudesta siirtyy negatiivisuustilaan. Tällöin yhtälö 17 muuttuu muotoon

$$\frac{P_i(t-1)}{N_i(t-1)} < \frac{\sum_{j \in A} c_{i,j}(t) P_j^{rel}(t)}{\sum_{j \in A} c_{i,j}(t) N_j^{rel}(t) - (1-b)d_i(t)}. \quad (18)$$

Agentin P/N-luku kasvaa vaikka sen kanssa yhteydessä olevilla agenteilla olisi täsmälleen sama P/N kuin sillä itsellään. Joukko agenteja, jotka ovat yhteydessä toisiinsa, ja joilla on sama P/N ja $d_i(t) > 0$, kasvattavat täten joka ajanhetkellä P/N-lukujaan rajatta ja niillä ei siis ole tasapainotilaa.

4.2 Tasapainotilat

Kun $d_i(t) = 0 \forall i, t$ tai ‘Build’-laajennus ei ole käytössä, ja systeemi koostuu joukosta agenteja, joilla on sama P/N-suhdeluku, suhdeluku pysyy vakiona ajanhetkestä toiseen. Agenttien positiivisuus- ja negatiivisuustilat kuitenkin muuttuvat. Tasapainotilassa $P_i^{rel}(t) = P^{rel}$ ja $N_i^{rel}(t) = N^{rel}$, eli suhteellinen positiivisuus ja negatiivisuus eivät riipu ajasta tai agentista. Tällöin tasapainotila voidaan ratkaista asettamalla $P_i(t) = P_i(t-1)$, jolloin

$$\begin{aligned} P_i(t) &= (1-a)P_i(t) + \sum_{j \in A} c_{i,j}(t) P_j^{rel}(t) \\ \Rightarrow P_i(t) &= (1-a)P_i(t) + c_i(t) P^{rel} \\ \Rightarrow P_i(t) &= \frac{c_i(t) P^{rel}}{a} \end{aligned} \quad (19)$$

missä agentin muodostamien yhteyksien määrä $c_i(t)$ on määritelty yhtälössä 9. Vastaava tulos saadaan myös negatiivisuudelle.

Vuorovaikutusmallin perusmuodossa toisiinsa yhteydessä olevat agentit haakeutuvat täten tasapainotiloihin, joissa niiden P/N on yhtä suuri, ja niiden positiivisuus- ja negatiivisuustilat riippuvat lineaarisesti niiden kanssa yhteydessä olevien agenttien määrästä.

5 PoSiTeams-ohjelmiston toteutus

Työn tarkoituksena on paitsi muotoilla matemaattinen malli positiivisen psykologian vuorovaikutusmallin simulointiin, myös kehittää mallille visualisointi ja esitystapa. Mallin kohdeyleisö on laaja; siitä tuotettujen simulaatioiden pitäisi olla kiinnostavia, ymmärrettäviä ja valaisevia paitsi alaan akateemisesti perehtyneille ihmisille, myös positiivisen psykologian käytännön harjoittajille, eli kenelle tahansa ryhmässä toimivalle ihmiselle. Tämän takia työssä on hyvin tärkeää keskittyä myös sen ulkoisen esitysasun hiomiseen — hyväkään malli ei ole hyödyllinen, jos sen kohdeyleisö ei ymmärrä tai ole kiinnostunut siitä.

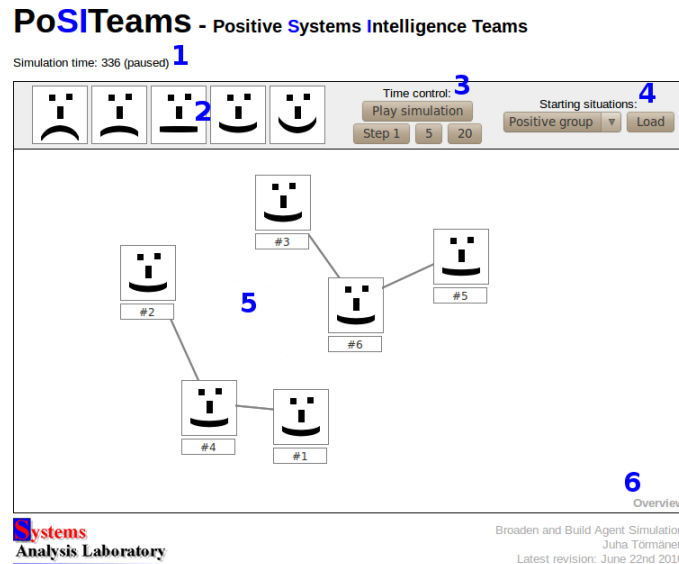
Tämän lähtökohdan huomiointi on ollut merkittävä tekijä simulaatiototeutuksen suunnittelussa. Toteutuksesta on ollut pyrkimys saada paitsi mahdollisimman helppokäyttöinen, myös helposti levitettävä; tällä tavoin se voisi tavoittaa mahdollisimman suuren kohdeyleisön. Tässä osiossa esitellään vuorovaikutusmallin esimerkkisimulaatiototeutus nimeltään **PoSiTeams**.

Helppo levitettävyyys on saavutettu valitsemalla simulaation toteutusympäristöksi moderni verkkoselain, kuten vuonna 2010 tai sen jälkeen päivitetty Firefox, Safari tai Chrome. Simulaatio on toteutettu verkkoselaimiin sisäänrakennettua Javascript-ohjelmointikieltä käyttäen, esittäen grafiikat HTML5-muotokielen Canvas-elementillä. Javascript ja HTML5 eivät ole tunnettuja laskennallisesta tehokkuudestaan, mutta niin kauan kuin simulaatio pysyy kohtalaisen pienissä mittakaavoissa — korkeintaan kymmenissä agenteissa — tämä ei ole merkittävä ongelma.

Teknisesti simulaatio on toteutettu itsenäiselle verkkosivulle, joka lataa sivun liitteenä olevan varsinaisen simulaatiologiikan sisältävän Javascript-kooditiedoston. Käyttäjän verkkoselain ajaa Javascript-koodin paikallisesti käyttäjän tietokoneella. Sivun lataamisen jälkeen käyttäjällä tai simulaatiolla ole tarvetta ottaa yhteyttä keskitettyyn palvelimeen, mikä sallii simulaation ajamisen myös internetiin kytkemättömällä koneella.

Ottaen huomioon mallin matemaattisessa tarkastelussa kohdatun ongelman P/N-suhdelukujen epästabiiliudesta ‘build’-laajennuksen ollessa käytössä (osio 4.1), matemaattista mallia on tähän toteutukseen korjattu siten, että tilojen $P_i(t)$ ja $N_i(t)$ minimiarvo on 1. Tilat eivät pääse vähenemään tätä pienempiin lukuihin, jolloin P/N-suhdeluvut eivät kykene kasvamaan rajattomasti.

Esimerkki PoSiTeams-ohjelmiston ajosta on esitelty kuvassa 1. Käyttöliittymäelementit on esitelty taulukossa 1. Käyttäjä ei pysty simulaatiossa määrittämään käytettävien agenttien tilaa vapaasti; hänelle tarjotaan viisi agentti-



Kuva 1: PoSITeams-ohjelman esimerkkiruutu. Selitteet taulukossa 1.

Taulukko 1: PoSITeams-ohjelman esimerkkiruudun selitteet kuvaan 1

Symboli	Selite
1	Kulunut simulaatioaika ja ilmoitus simulaation tauotuksesta
2	Agenttipaletti. Lähtöarvoiltaan eri P/N-lukuisia agenteja; voidaan raahata hiirellä simulaatioalueelle.
3	Ajan hallinta. Aika voidaan käynnistää ja pysäyttää "Play simulation"-napilla, ja pysähtyneenä alemmat napit sallivat yksittäisten aika-askelien oton.
4	Aloitustilanteiden valinta. Nykyinen simulaatio pyyhitään tyhjäksi ja korvataan uudella pohjalla tästä valitsemalla.
5	Simulaatioalue. Tähän raahatut agentit kuuluvat simulaatioon. Viivat agenttien välillä kuvaavat yhteyksiä.
6	Yleisnäkymäpainike. Simulaatioalue vaihtuu yleisnäkymäksi viemällä hiiren kursori "Overview"-tekstin päälle.

vaihtoehtoa (agenttipaletti, käyttöliittymäkuvassa kohta 2). Nämä vaihtoehdot ovat agentit, joiden P/N-luvut ovat 1:5, 1:3, 1:1, 3:1 ja 5:1, ja joilla positiivisen ja negatiivisen tilan summa on 60. Toisin sanoen, 1:5-suhdeluvun agentti aloittaa tilasta, jossa sillä on 10 yksikköä positiivisuutta ja 50 yksikköä negatiivisuutta.

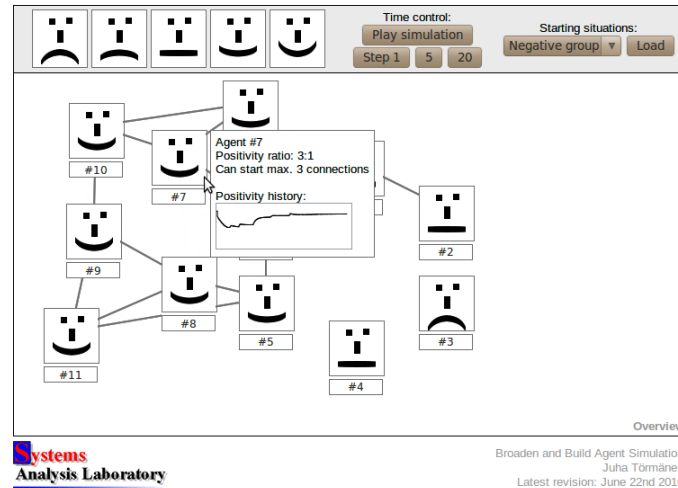
Käyttäjä hallitsee simulaatioaikaa joko antamalla ohjelman askeltaa simulaatiota itsestään, tai tauottamalla simulaation ja liikkumalla siinä yksittäisillä aika-askelilla (käyttöliittymäkuvan kohta 3). Agenttien sijaintia ja lukumäärää on mahdollista muuttaa millä tahansa ajanhetkellä, myös jatkuvan simulaatioajon ollessa käynnissä.

Visualisaation tehokkuutta voimistetaan muuttamalla agentteja esittävien hymyilevien naamojen ilmettä dynaamisesti surullisen ja iloisen välillä P/N-luvusta riippuen. Muuten simulaattori on hyvin pelkistetty. Käyttäjä voi halutessaan nimetä simulaatiossa olevat agentit muokkaamalla niiden alapuolella olevaa tekstikenttää.

Tarkkaa tietoa agentin tilasta saa viemällä hiiren kursorin agentin päälle. Tällöin simulaatioalueen ylle avautuu tietolaatikko kuvan 2 tapaan. Kursorin vieminen oikean alakulman 'Overview'-tekstin päälle avaa "yleisnäkymän", (kuva 3 joka esittää nykymuodossaan pelkistetyn kuvaajan agenttien P/N-luvuista ajan funktiona. Samaa tilaa olisi mahdollista käyttää myös muun koostavan tiedon esittämiseen.

PoSITeams - Positive Systems Intelligence Teams

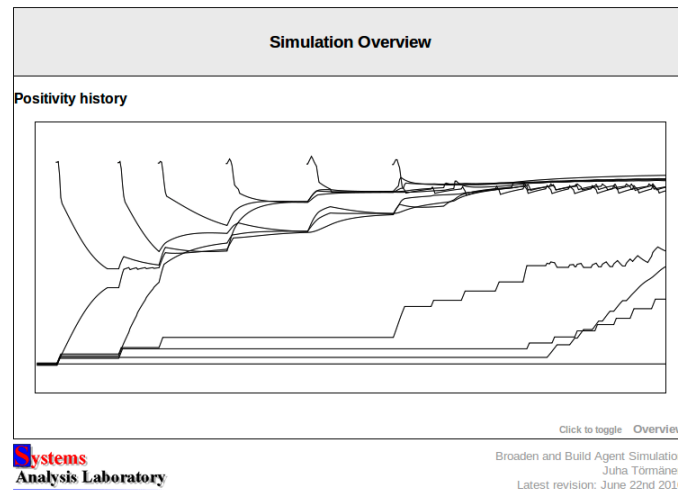
Simulation time: 583 (paused)



Kuva 2: Kursorin vieminen agentin ylle näyttää agentin tiedot.

PoSITeams - Positive Systems Intelligence Teams

Simulation time: 583 (paused)



Kuva 3: Yleisnäkymä kuvaa agenttien P/N-suhdelukujen kehitystä ajan funktiona. Tässä alun perin tasaiseen agenttipopulaatioon on lisätty käsin korkean P/N-luvun agenteja yksi kerrallaan.

6 Esimerkkiajoja

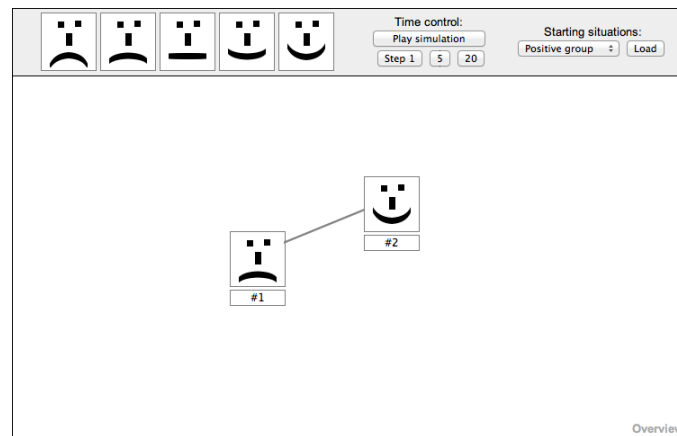
Alla on esitetty kolme esimerkkiajoa, jotka esittelevät vuorovaikutusmallin toimintaa ja siitä seuraavaa dynamiikkaa. Esimerkkiajot on toteutettu tässä paperissa kuvatulla simulaattorilla, ja niissä käytössä ovat sekä vuorovaikutusmallin ‘Broaden’- että ‘Build’-laajennukset. Kaikissa lähtötilanteissa agenttien negatiivisuussäiliöt ovat tyhjiä, eli $S_i(0) = 0 \forall i$. Esimerkkiajoista kuvataan alkutilanne, lopullinen tasapainotila, sekä mahdolliset kiinnostavat välivaiheet sekä näiden ajankohdat. Lisäksi simulaation sisältämien agenttien P/N-suhdeluvut on piirretty kuvaajaan ajan funktiona.

6.1 Esimerkkiajo 1: Parisuhdesimulaatio

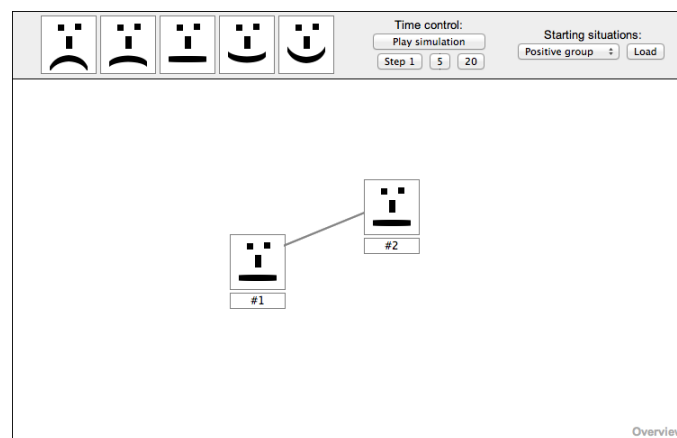
Ensimmäinen esimerkkiajo on rinnastettavissa Gottmanin parisuhdesimulaatioihin. Alustetaan simulaatio sijoittamalla siihen kaksi agenttia. Agentti 1:n alkutila on $P_1(0) = 15, N_1(0) = 45$ ja agentin P/N-suhdeluku on siis 1:3. Agentti 2:n alkutila on $P_2(0) = 50, N_2(0) = 10$ ja P/N suhdeluku 5:1. Alkutilanne on esitelty kuvassa 4a. Alkutilanteessa agentti 1:llä ei ole käytössä negatiivisuussäiliötä, ja se ei yritä muodostaa yhtään yhteyttä. Agentti 2:lla on täysi 5 yksikön negatiivisuussäiliö, ja se kykenisi muodostamaan maksimissaan viisi yhteyttä — tosin koska simulaatiossa on mukana ainoastaan kaksi agenttia, yhteys muodostuu ainoastaan niiden välille.

Tässä esimerkissä agentit lähestyvät toistensa tiloja, kunnes kohtaavat yhteiseen tasapainotilaan, joka on esitetty kuvassa 4b. Kuva 5 näyttää P/N-suhdelukujen kehityksen tasapainopisteeseen asti. Tilojen kehittyminen on lisäksi esitetty sirontakuvaajana, agentti 1 y-akselilla ja agentti 2 x-akselilla, kuvassa 6. Molemmista erottuu selkeästi simulaation alussa tapahtuva agentin 2 negatiivisuussäiliön täyttyminen, jonka aikana sen P/N-luku nousee. Kun säiliö täyttyy, agentit alkavat lähestyä kohti yhteistä tasapainotilaansa, joka saavutetaan noin 80 aika-askelen jälkeen.

Saavutettu tasapainopiste on P/N-luvussa 1.22:1. Suhdeluku on hieman suurempi kuin agenttien alkuperäisten tilojen aritmeettisesta keskiarvosta saatava suhdeluku, $[(15 + 50)/2]/[(45 + 10)/2] \approx 1.18$. Poikkeama johtuu agentin 2 alkuperäisestä negatiivisuussäiliöstä, joka rajoitti ensimmäisten aika-askelien ajan negatiivisuuden vaikutusta sen käyttöön.

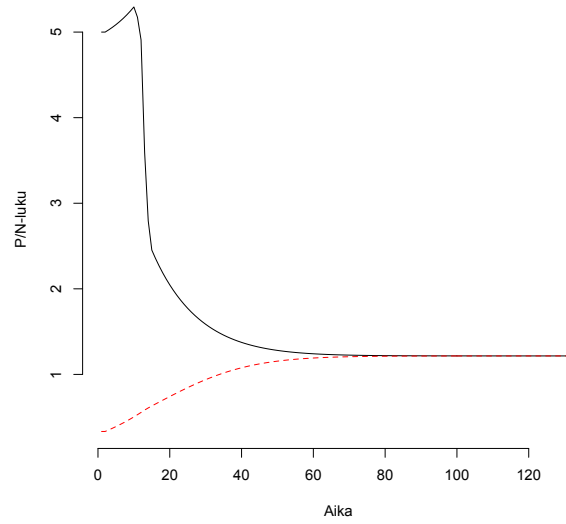


(a) Alkutilanne

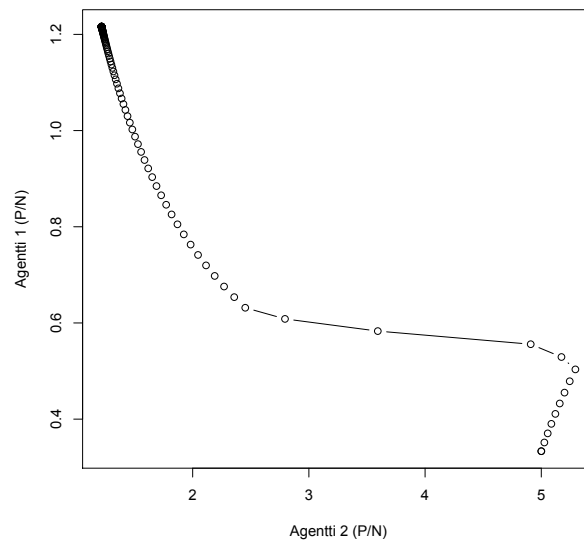


(b) Tasapainotila

Kuva 4: Esimerkkiajo 1



Kuva 5: Esimerkkiajo 1: P/N-luvut ajan funktiona



Kuva 6: Esimerkkiajo 1: Agenttien P/N-luvut eri ajanhetkillä sirontakuvaajana

6.2 Esimerkkiajo 2: Ryhmäsimulaatio

Esimerkkiajon alkutilanteessa on viisi agenttia, jotka on sijoitettu kuvan 7a osoittamalla tavalla. Agentit 1, 2 ja 3 ovat tiloiltaan samanlaisia kuin esimerkin yksi agentti 2. Agentti 4:n alkutila on $P_4(0) = 30$, $N_4(0) = 30$ ja agentin 5 alkutila on $P_5(0) = 10$, $N_5(0) = 50$. Agentit 1, 2 ja 3 ovat muodostaneet yhteydet itsensä ja kaikkien toisten agenttien välille, minkä lisäksi agentti 4 olisi muodostanut yhden yhteyden sen ja agentti 1:n välille, ellei yhteyttä olisi jo aloitettu toisen agentin toimesta. Agentti 5 ei muodosta yhteyksiä oma-aloitteisesti.

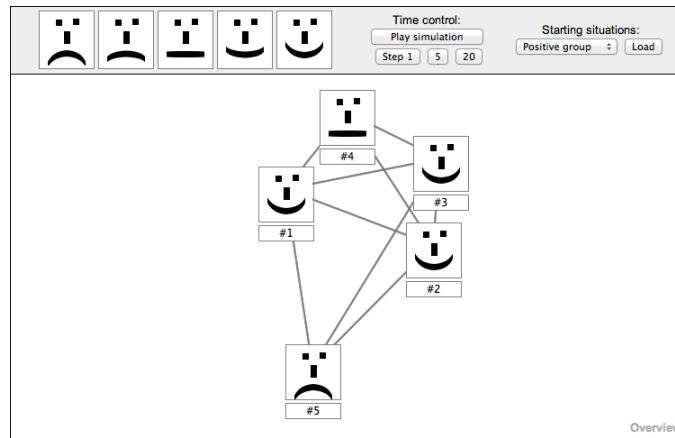
Kuva 7b kuvaa simulaation tilannetta 20 aika-askeleen päästä, ja kuva 7c esittää sen lopullisen tasapainotilan. Kuva 8 esittää agenttien P/N-suhdelukujen kehityksen. Yhteys agenttiin 5 katkeaa heti, kun agentit 1, 2, ja 3 alittavat P/N-luvun 5:1 ohjautuessaan kohti systeemin yhteistä tasapainopistettä. Kun samat agentit alittavat suhdeluvun 3:1, ne kykenevät ylläpitämään vain yhtä yhteyttä, ja aiemmin olemassa ollut neljän agentin ryhmä hajoaa kahdeksi agenttipariksi, joista kumpikin hakee oman tasapainonsa. Alun perin 5:1-tilasta lähteneiden agenttien 2 ja 3 lopullinen tasapainopiste on P/N-luku 2.8:1, kun taas agenttien 1 ja 4 tasapainopiste on luku 2.6:1. Agentti 5 jää yhteyksien katketessa suhdelukuun 1:1.7. Tasapainopisteet saavutetaan noin 90 aika-askeleen jälkeen.

6.3 Esimerkkiajo 3: Positiivinen räjähdys

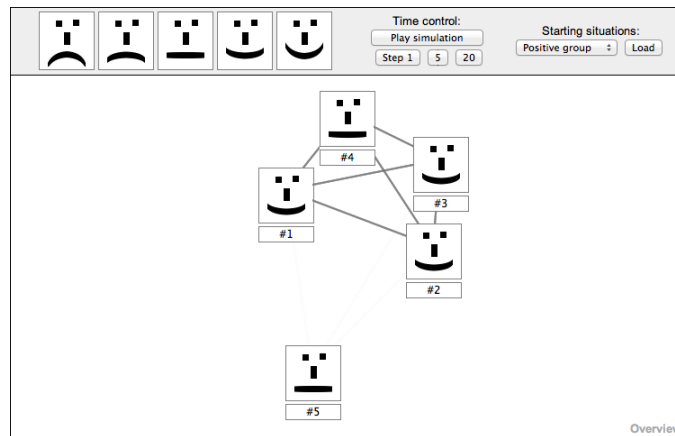
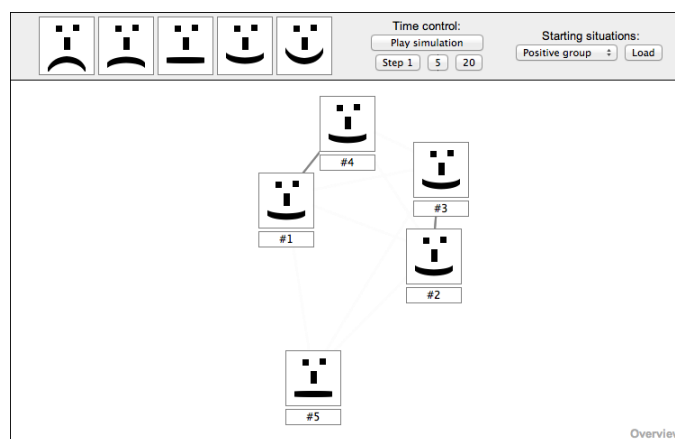
Kolmas esimerkkiajo lähtee kuvan 9a tilanteesta, missä joukko agenteja on tsapainossa P/N-suhdeluvussa 1.8:1. Agenttien tarkat tilat riippuvat niiden yhteyksien määrästä, kuten yhtälö 19 kuvaa. Yhden yhteyden agenttien tila on $P_i(t) \approx 13$, $N_i(t) \approx 7$, kahden yhteyden agenttien $P_i(t) \approx 26$, $N_i(t) \approx 14$ ja kolmen yhteyden $P_i(t) \approx 38$, $N_i(t) \approx 22$.

Systeemi poikkeutetaan tasapainotilasta lisäämällä kaksi 5 : 1-suhdeluvun agenttia, "Barbara" ja "John", simulaatioalueen oikeaan reunaan. Agentit ovat samanlaisia kuin esimerkkien 1 ja 2 5:1-agentit. Uusi tilanne on esitetty kuvassa 9b. Uudet agentit muodostavat välittömästi yhteydet viiden lähimmän agentin kanssa.

Kuva 9c esittää tilanteen 20 aika-askeleen jälkeen. Lisättyjen agenttien tilat lähestyneet huomattavasti simulaation muita agenteja, ja ne muodostavat enää korkeintaan kolme yhteyttä. "Barbaralla" ja "Johnilla" on kuitenkin voimakas vaikutus kahteen lähimpään alkuperäiseen agenttiin, joiden P/N-luvut

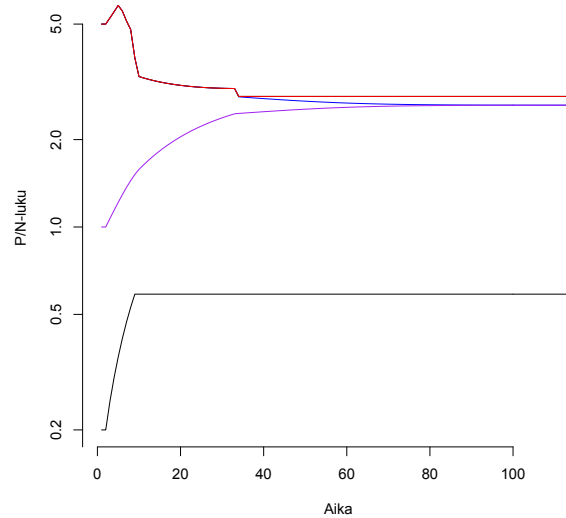


(a) Alkutilanne

(b) $t=20$ 

(c) Tasapainotila

Kuva 7: Esimerkkiajo 2

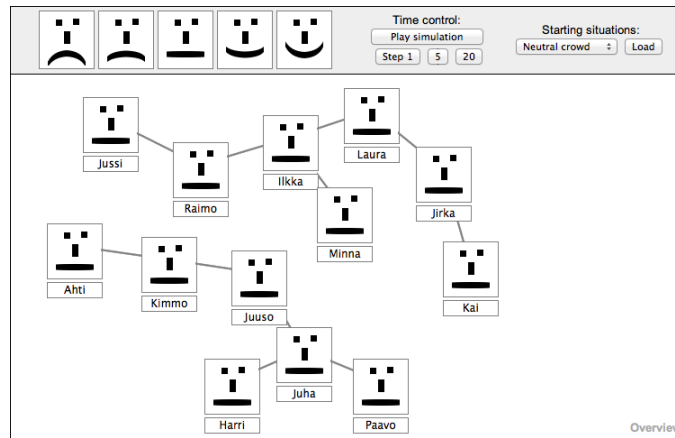


Kuva 8: Esimerkkiajo 2: P/N-luvut ajan funktiona

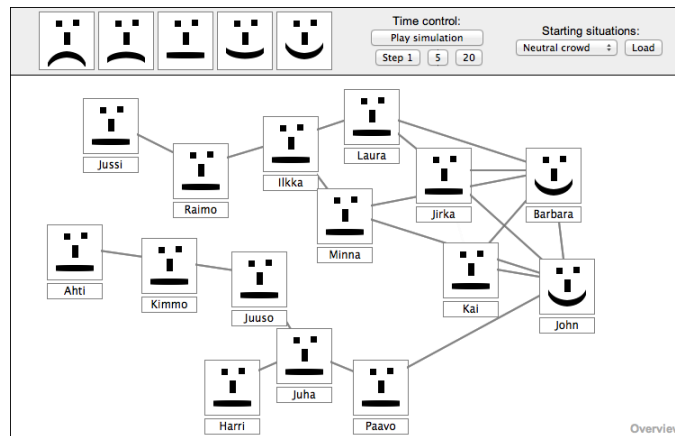
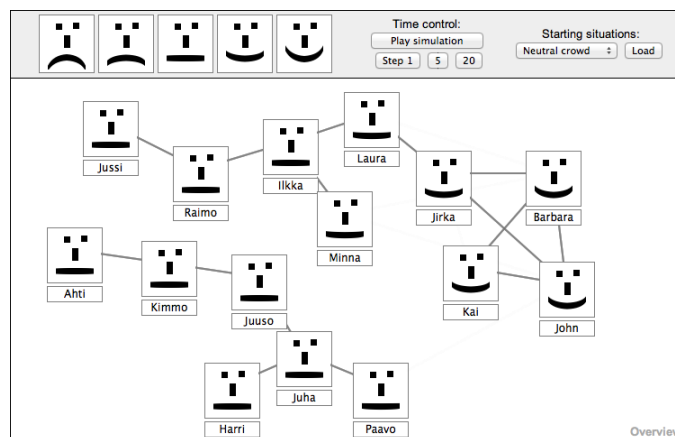
ovat puolestaan nousseet huomattavasti. Kuvan 10a tilanteessa, 160 aika-askeleen jälkeen, moni muukin agentti on ylittänyt 3:1-tason, ja simulaation kokonaisyhteyksien määrä nousee huomattavasti. Ilmiö etenee räjähdysmäisesti, ja kaikki agentit ylittävät lopulta 5:1-suhdeluvun. Tämän jälkeen niiden tilat jatkavat voimakasta kasvua, joka jatkuisi rajattomasti ellei simulaatiototeutus estäisi agenttien negatiivisuuspistemääriä laskemasta alle 1 yksikön. Lopputilassa agenttien P/N-luvut ovat väliltä 99-199, riippuen agentin sijainnista lopullisessa verkostossa (korkeimman P/N-luvun saavuttaa agentti “Minna”, jolla on 10 yhteyttä).

Sama kehitys on esitetty P/N-lukuina ajan funktiona kuvassa 11. Kuvassa erottuvat hyvin kolme negatiivisuussäiliön kynnyiskohtaa, suhdeluvut 3:1, 4:1 ja 5:1, joiden kohdalla agentit saavat hetken aikaa varastoitua negatiivisuutta sivuun siten, ettei se vaikuta niiden toimintaan. Tasapainopiste saavutetaan likimäärin ajanhetkellä 375.

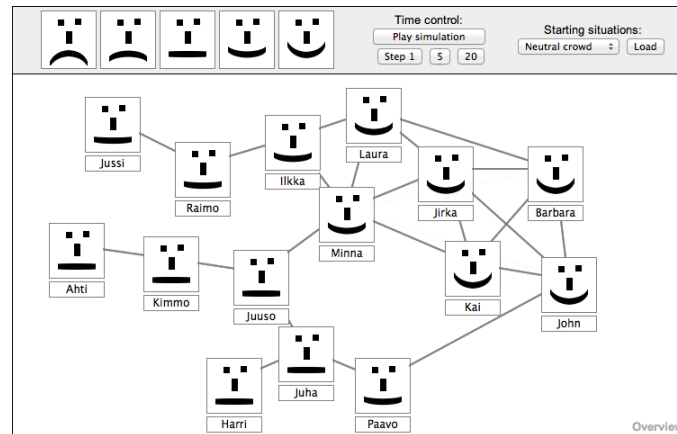
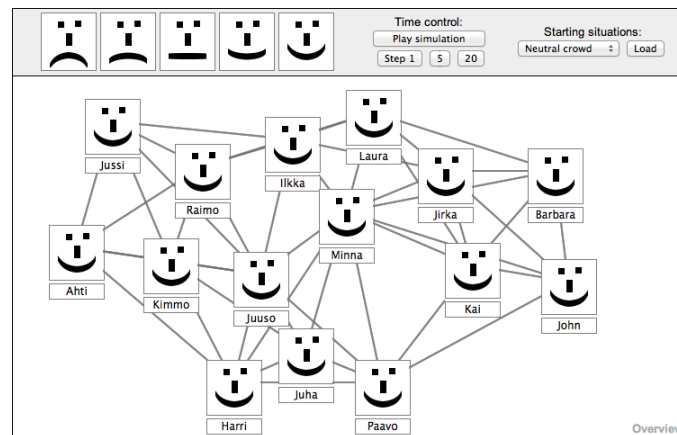
Tämä tilanne on yksi potentiaalinen käyttäjille esitettävä systeemiälyesimerkki. Useimmat tavat sijoittaa kaksi 5:1-agenttia eivät aiheuta samanlaista positiivisuuden räjähdystä; vasta kun positiivisuuden levittäjiä “suojelee” sijoittamalla ne otollisesti sivuun siten, että ne saavat muodostaa pienemmän ryhmän positiivisia agenteja ennen kuin ne puuttuvat koko systeemin toimintaan, saadaan aikaan kuvatus kaltainen lopputulos.



(a) Alun tasapainotila

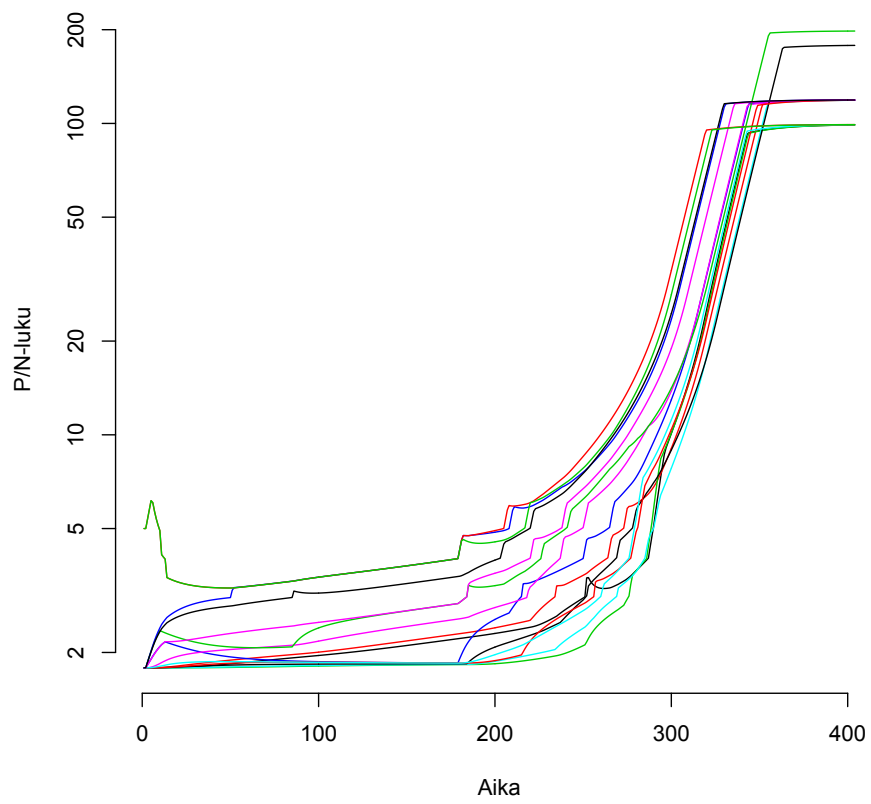
(b) Sijoitetaan positiiviset agentit, $t=1$ (c) $t=20$

Kuva 9: Esimerkkiajo 3: alkuosa

(a) $t=160$ 

(b) Lopullinen tasapainotila

Kuva 10: Esimerkkiajo 3: loppuosa



Kuva 11: Esimerkkiajo 3: P/N-luvut ajan funktiona, logaritminen y-akseli

7 Johtopäätökset

Tässä työssä esitelty malli on yksinkertainen positiivisuuden ja negatiivisuuden välittymisen simulaatio, joka deterministisyytensä ja yksinkertaisuutensa vuoksi poikkeaa varsin paljon todellisesta ihmisten välisestä vuorovaikutuksesta. Siinä on kuitenkin myös hyvät puolensa; simulaation käyttöliittymä on jo nyt viimeistelty, ja esimerkkitilanteiden 3 (kohta 6.3) kaltaiset simulaatiotilanteet voivat olla jo nyt käyttökelpoisia systeemiällyn ajatusten havinnollistamiseen.

Vastaavien simulaatiomallien jatkokehityksen onkin hyödyllisintä keskittyä simulaation matemaattisen mallin edistämiseen; nykyistä mallia ei ole validoitu lainkaan, eikä sen parametreilla ole mitään yhteyttä empiirisiin tuloksiin. Erityisen hämmentävä käyttäjän kannalta voi olla simulaation aika-akselin merkitys; koska ajalla ei ole asteikkoa, sen voisi yhtä hyvin ymmärtää tarkoittavan niin minuutteja kuin päiviäkin. Simulaatiossa kuvatun kaltaiset ilmiöt tuskin syntyisivät minuuteissa, mutta ilman yhteyksiä todellisuuteen mitta-asteikosta on vaikeaa sanoa paljoo.

Toinen, hyvin erisuuntainen mutta mielenkiintoinen jatkokehittelyn malli olisi pyytää käyttäjiä määrittämään itse käyttäytymismallinsa — esimerkiksi tit-for-tat-tyylinen “jos toinen on minulle ilkeä, olen ensi askeleella ilkeä takaisin”. Tämä luultavasti muuttaisi simulaation luonnetta rajusti, hitaasti etenevästä, tilayhtälömäisestä toteutuksesta diskreetimpään ja dramaattisempaan muotoon. Käyttäytymismallien määrittäminen käsin mahdollistaisi simulaation tekemisen entistä lähestyttävämmäksi, ja sallisi sen konkreettisen soveltamisen työympäristöissä ja muissa ihmisryhmissä — jos simulaatiossa olevat todelliset henkilöt ovat pystyneet kuvaamaan todenmukaisen käytöksensä omalle agentilleen, vaihtoehtoisten käyttäytymismallien kokeileminen voisi olla hyvinkin mielenkiintoista!

Viitteet

- B. L. Fredrickson. The role of positive emotions in positive psychology: The broaden-and-build theory of positive emotions. *American psychologist*, 56(3):218–226, 2001.
- B. L. Fredrickson. The broaden-and-build theory of positive emotions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 359(1449):1367, 2004.
- B. L. Fredrickson and M. F. Losada. Positive affect and the complex dynamics of human flourishing. *American Psychologist*, 60(7):678–686, 2005.
- N. Gilbert. Agent-based social simulation: dealing with complexity. *The Complex Systems Network of Excellence*, 2004.
- J. M. Gottman, J. D. Murray, C. Swanson, R. Tyson, and K. R. Swanson. *The mathematics of marriage: Dynamic nonlinear models*. The MIT Press, 2005.
- R. P. Hämmäläinen and E. Saarinen. Systems intelligence: A key competence in human action and organizational life. *Systems intelligence in leadership and everyday life*, page 39–50, 2007.
- M. Losada. The complex dynamics of high performance teams. *Mathematical and Computer Modelling*, 30(9-10):179–192, 1999.
- M. Losada and E. Heaphy. The role of positivity and connectivity in the performance of business teams: A nonlinear dynamics model. *American Behavioral Scientist*, 47(6):740, 2004.
- E. Saarinen and R.P. Hämmäläinen. Systems intelligence: Connecting engineering thinking with human sensitivity. *Systems intelligence in leadership and everyday life*, page 51–78, 2007.