

# SOM: ALGORITAM SAMOORGANIZACIJE U MOBILNIM AD HOC MREŽAMA

Iva Bojić, Tomislav Lipić  
FER, Unska 3

*Sažetak: Samoorganizacija je dobar koncept za izgradnju skalabilnih sustava sastavljenih od velikog broja podsustava kao što su to mobilne ad hoc mreže. U ovom radu predstavljen je SOM (Self-Organized Market) algoritam. SOM je algoritam samoorganizacije koji pruža brži, učinkovitiji i jeftiniji način distribucije multimedijalnog sadržaja među mobilnim korisnicima. Učinkovitost SOM-a provjerena je simulacijskim eksperimentima izrađenim unutar simulacijskog okruženja OMNeT++.*

*Ključne riječi: Samoorganizacija, Bežične Mobilne Mreže, Ad Hoc Mreže, OMNeT++.*

*Abstract: Self-organization is a great concept for building scalable systems consisted of huge numbers of subsystems such as mobile ad hoc networks. In this paper we present algorithm for self-organization called SOM (Self-Organized Market). SOM is an algorithm that provides faster, more efficient and cheaper way for distribution of multimedia content in mobile networks. Effectiveness of SOM was proven by simulation experiments made in simulation environment OMNeT++.*

*Keywords: Self-Organization, Wireless Mobile Networks, Ad Hoc Networks, OMNeT++.*

## 1. UVOD

Različiti mehanizmi samoorganizacije mogu se naći u svakodnevnom životu. Gledajući sa znanstvenog stajališta, samoorganizacija je prvi puta bila analizirana u biološkim sustavima [1] da bi se nedugo nakon toga počela primjenjivati i u tehničkim sustavima.

Općenito, samoorganizacija se može definirati kao interakcija različitih dijelova sustava s ciljem postizanja konačnog stanja sustava i to bez vanjskog utjecaja. Komponente sustava same su odgovorne za postizanje konačnog stanja bez postojanja centralizirane ili decentralizirane kontrole u sustavu.

Posebice, ne postoji općeprihvaćena definicija samoorganizacije u ad hoc mrežama. Ipak, ono što je zajedničko svim metodologijama samoorganizacije je vezivanje pojma „nastajanja“ (*emergence*) uz nju. Prema metodologiji prikazanoj u [2], samoorganizacija je proces u kojem struktura globalne razine sustava nastaje isključivo iz brojnih interakcija komponenata sustava na nižim razinama. Štoviše, interakcije komponenata sustava ovise isključivo o lokalnim informacijama, neovisno o globalnoj strukturi. Primijenjena na ad hoc mreže, definicija samoorganizacije može se objasniti kao interakcija čvorova u mreži koja dovodi do globalno vidljivih efekata, npr. usmjeravanja paketa kroz mrežu od izvora do odredišta.

Samoorganizacija se svodi na algoritme i metode čiji je cilj dovesti sustav u neko željeno

stanje. Do pojave samoorganizacije, postojali su različiti mehanizmi kojima se moglo ostvariti isto. Ipak, većina tih algoritama i metoda zasnivala se je na globalnim, općepoznatim informacijama, dok samoorganizacija radi s lokalnim. U tome leži prednost samoorganizacije jer pruža veću skalabilnost, pouzdanost i dostupnost sustava.

Unatoč mogućnosti primjene samoorganizacije na različite skupove problema, još uvijek ne postoje općeni mehanizmi, već se svaki problem samoorganiziranja rješava pojedinačno.

U ovom radu predstavljen je SOM (*Self-Organized Market*) algoritam. SOM algoritam je algoritam samoorganizacije, temeljen na modelu tržišta, koji se koristi unutar agentskog srednjeg sloja (*middleware*) za pružanje grupno orijentiranih usluga mobilnim korisnicima [3]. Grupno orijentirane usluge su nelinearne usluge kojima se mobilni korisnici, s obzirom na interese i preferencije, grupiraju u skupine i unutar kojih se distribuira multimedijalni sadržaj.

Ostatak ovog rada organiziran je kako slijedi: u poglavlju 2 navode se povezani radovi iz ovog područja, dok poglavlje 3 prikazuje problematiku našeg rada. U poglavlju 4 opisana je arhitektura sustava, a u poglavlju 5 objašnjen algoritam samoorganizacije SOM. Poglavlje 6 daje uvid u način ostvarenja simulacije izrađene unutar simulacijskog okruženja OMNeT++ [4], dok poglavlje 7 prikazuje i objašnjava rezultate simulacija. Naposljetku, poglavlje 8 zaključuje ovaj rad i daje smjernice za daljnja istraživanja.

## 2. POVEZANI RADOVI

U ovom poglavlju navedeni su povezani radovi iz područja samoorganizacije, modela tržišta i razmjene podataka.

Samoorganizacija se može primijeniti na različite probleme u ad hoc mrežama: od sinkronizacije opisane u [5] do energetske učinkovitih algoritama usmjeravanja (*routing*) paketa u [6] [7]. Glavna ideja takvih algoritama je da svaki čvor na temelju informacija kojima raspolaže, odluči o tome koju će funkciju u pojedinom trenutku izvršavati.

Povezanost modela tržišta i mehanizama samoorganizacije opisana je u radovima [8] [9] [10]. Tržišta su oduvijek igrala centralnu ulogu u ekonomiji. Zahvaljujući konceptima koji pokazuju elemente samoorganiziranja, koriste se i kao inspiracija u tehničkim sustavima.

U radu [11] opisuju se algoritmi samoorganizacije za razmjenu podataka u mobilnim mrežama.

Koliko znamo, model samoorganizacije temeljen na modelu tržišta dosada nije primjenjivan u ad hoc mrežama s ciljem efikasne razmjene podataka. U nastavku rada bit će opisan SOM algoritam koji nudi upravo to.

## 3. PROBLEMATIKA RADA

S ciljem povećanja profita i konkurentnosti na telekomunikacijskom tržištu, operateri uvode nove vrste usluga. Takve napredne usluge uključuju kombinaciju zabavnih sadržaja i informacija.

Kako bi se provela bolja analiza tržišta i izdvojile ciljane skupine za pojedine usluge, gradi se implicitna socijalna mreža mobilnih korisnika. Za razliku od eksplicitnih socijalnih mreža (primjerice *Facebook*, *MySpace* ili *LinkedIn*), implicitne se grade bez uplitanja korisnika s obzirom na njihove interese i preferencije.

Nakon što se provede grupiranje korisnika u skupine, potrebno je naći efikasan način distribucije multimedijalnog sadržaja do njih. To je ostvareno upotrebom SOM algoritma.

Multimedijalni sadržaj namijenjen određenoj skupini korisnika dijeli se na manje dijelove. Dijeljenjem sadržaja na veći broj manjih dijelova, postiže se veća dostupnost sadržaja i lakši transport kroz mrežu. Naime, svaki korisnik može pojedine dijelove preuzeti bilo od poslužitelja bilo od drugih mobilnih korisnika koji ih posjeduju.

Na ovaj način nije potrebno čitav sadržaj  $n$  puta (gdje  $n$  označava broj korisnika) slati *GSM/GPRS* mrežom, već je moguće uštedjeti resurse tako da se neki dijelovi sadržaja među mobilnim uređajima razmjenjuje *Bluetooth* mrežom.

Arhitektura sustava, prednosti i nedostaci *GSM/GPRS*, tj. *Bluetooth* mreže, opisani su u sljedećem poglavlju.

## 4. ARHITEKTURA SUSTAVA

Arhitekturu našeg sustava čine mobilni uređaji i poslužitelj. Fizički gledano, bežična radio veza koristi se pri povezivanju mobilnih uređaja međusobno, ali i za povezivanje mobitela i poslužitelja. Ipak, komunikacija između njih se odvija na različiti način.

Komunikacija između mobilnih uređaja i poslužitelja odvija se *GSM/GPRS* (*Global System for Mobile communications/General Packet Radio Service*) mrežom, dok se za komunikaciju između mobilnih uređaja koristi *Bluetooth* mreža (Slika 1).

### 4.1. GSM/GPRS mreža

Mobilni uređaji i poslužitelj, unutar *GSM/GPRS* mreže, razmjenjuju dvije vrste poruka: kontrolne i podatkovne. *SIP* (*Session Initiation Protocol*) porukama razmjenjuju se kontrolne informacije, dok se podatkovne poruke prenose *HTTP* (*Hypertext Transfer Protocol*) protokolom.

Nedostatak *SIP*-a je to što ne podržava *broadcast*, već samo *point-to-point* komunikaciju. Osim toga, *SIP* protokolom se ne može odrediti stanja mreže kao zagušenje i kašnjenje.

Prijenos podataka *GSM/GPRS* mrežom zasniva se na *IP* (*Internet Protocol*) protokolu. U mobilnim mrežama komunikacija između dva čvora, čak i kada su oba u istoj ćeliji, ostvaruje se kroz *GGSN* (*Gateway GPRS Supporting Node*) čvor koji troši velike mrežne resurse.

Osim toga, *GSM/GPRS* mreža je paketski orijentirana mreža u kojoj se promet naplaćuje prema broju skinutih paketa.

Kako bi se minimizirao broj paketa kroz *GSM/GPRS* mrežu, gradi se mobilna ad hoc mreža. Na taj način se smanjuje zagušenje *GSM/GPRS* mreže, štedi se energija i povećavaju se performanse prijenosa podataka.

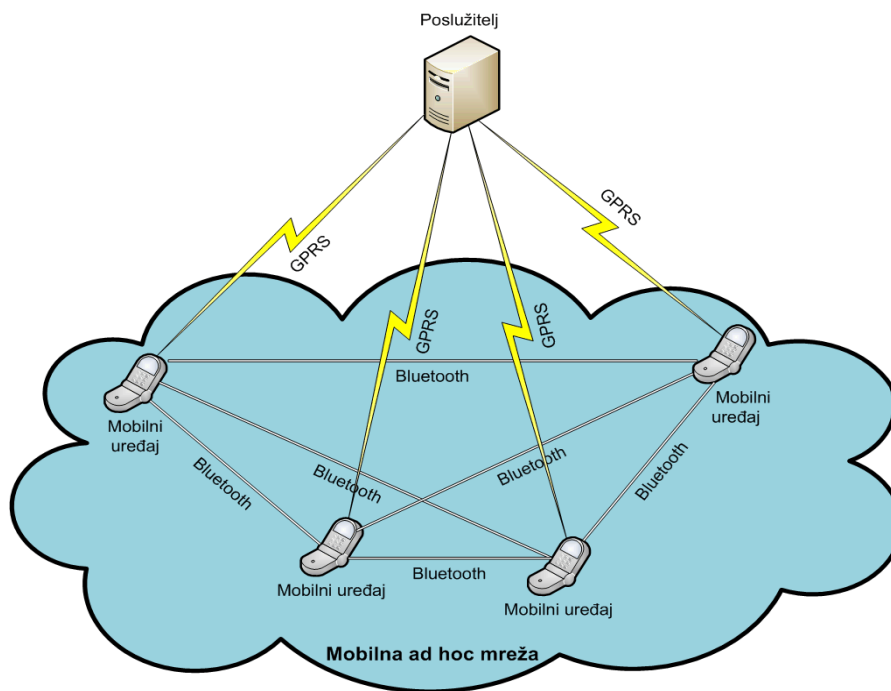
### 4.2. Mobilna ad hoc mreža

Mobilni uređaji povezani *Bluetooth* vezom čine mobilnu ad hoc mrežu unutar koje je ostvarena razmjena podataka.

Mobilna ad hoc mreža sastoji se od bežičnih mobilnih čvorova, koji formiraju privremenu mrežu bez korištenja bilo koje postojeće mrežne infrastrukture ili centraliziranog rukovođenja.

*Bluetooth* je protokol kojim se ostvaruju zadovoljavajuće brzine prijenosa podataka s obzirom na nisku potrošnju energije. Zbog niske potrošnje energije, pogodan je za mobilne uređaje koji posjeduju ograničene kapacitete energije pohranjene u bateriji.

Izgradnjom mobilne ad hoc mreže, između mobilnih uređaja, omogućena je brža i energetske pogodnija razmjena podataka koja rasterećuje *GSM/GPRS* mrežu i unutar koje se podaci ne naplaćuju.



Slika 1 – Arhitektura sustava

## 5. SOM ALGORITAM

$$u = \sum p_i A_i \quad (1)$$

Multimedijalni sadržaj na poslužitelju rastavljen je na manje dijelove. Mobilni uređaji odlučuju o prikupljanju pojedinih dijelova, koristeći SOM algoritam.

SOM algoritam zasniva se na modelu tržišta prilagođenog radu na malim uređajima. Svaki mobilni uređaj prikuplja pojedine dijelove multimedijalnog sadržaja na temelju zakona ponude i potražnje na tržištu. U svakom koraku algoritma, mobilni uređaj je istovremeno prodavač koji formira cijene dijelova kojih posjeduje i kupac koji traži najbolju ponudu za dio koji želi kupiti. Cijene se formiraju na temelju troškova proizvodnje i troškova dostave.

### 5.1. Opis algoritma

Algoritam se odvija u dva koraka. U prvom koraku algoritma formiraju se tržišni uvjeti, a u drugom dijelu odvijaju se aukcije.

#### 5.1.1. Formiranje tržišta

Pri formiranju tržišta svi dijelovi s poslužitelja prenose se u mobilnu ad hoc mrežu (Slika 2), i to tako da se svaki dio prenese točno jednom.

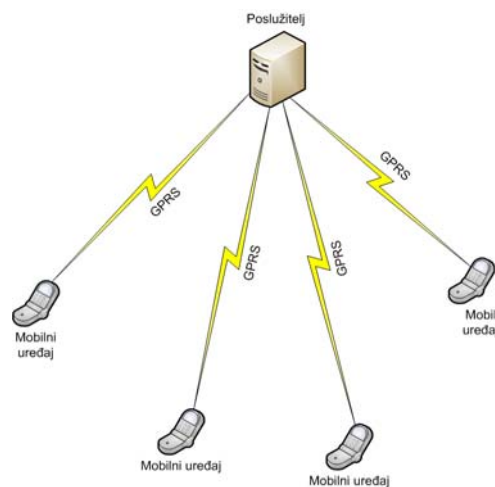
Poslužitelj ima monopol nad svim dijelovima na tržištu pa su cijene visoke. Svaki korisnik na temelju kapitala kojeg posjeduje odlučuje hoće li kupovati dijelove od poslužitelja ili će pričekati sljedeći korak i kupovati ih od drugih mobilnih uređaja. Tu odluku donosi na temelju *utility* funkcije:

gdje je  $p_i$  težina, a  $A_i$  vrijednost koja se promatra.

Lokalno gledajući, svaki mobilni uređaj teži k tome da preskoči ovaj korak jer je za njega energetski neisplativ.

Globalno gledajući, cijeli sustav pokušava uštedjeti energiju tako da se koriste oni mobilni uređaji koji imaju najbolje rezultate *utility* funkcija.

Na kraju ovog koraka, formirani su prvi prodavači u mobilnoj ad hoc mreži. Oni posjeduju pojedine dijelove multimedijalnog sadržaja. Daljnji razvitak tržišta nastavlja se provođenjem aukcija i kupnjom/prodajom dijelova između mobilnih uređaja.

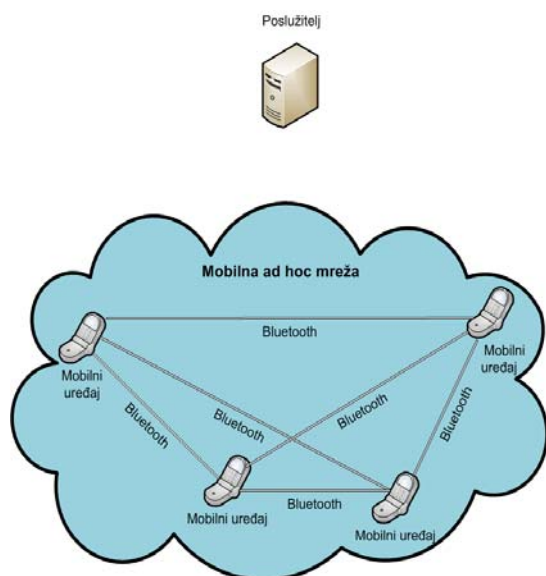


Slika 2 – SOM (1)

### 5.1.2. Aukcije

Drugi korak algoritma započinje aukcijom iniciranom od strane prvog kupca. Nakon što kupac zatraži neki dio na tržištu, prodavači formiraju svoje ponude i aukcija može započeti.

Samo mobilni uređaji unutar mobilne ad hoc mreže su prodavači koji mogu sudjelovati u aukcijama. Poslužitelj više ne sudjeluje na tržištu (Slika 3).



Slika 3 – SOM (2)

Prodavači se bore za naklonost kupaca tako što pokušavaju dati što bolje ponude. Koristi se engleska aukcija u kojoj najbolja ponuda pobjeđuje.

Cijena koju kupac plaća za neki dio izračunava se:

$$c = t_p + t_d \quad (2)$$

gdje je  $c$  ukupna cijena koju plaća kupac,  $t_p$  troškovi proizvodnje koji ovise o uložnim sirovinama, a  $t_d$  troškovi dostave dijela od prodavača do kupca. Iznose  $t_p$  formiraju prodavači i objavljuju ih u svojim ponudama, dok troškovi dostave variraju od kupca do kupca.

Nakon što kupac zatraži dio na tržištu, prikuplja ponude od prodavača. Najniža ponuda ne mora nužno značiti da je i najbolja jer se njoj moraju pridodati troškovi dostave.

Pošto je cijena nekog dijela sastavljena od dvije komponente, od kojih jedna ovisi i o kupcu, različiti kupci imaju interese za kupovinu od različitih prodavača, što uravnotežuje tržište.

Ovaj korak algoritma završava zadnjom aukcijom nakon koje na tržištu ne postoji više kupaca, već su svi korisnici prodavači. To znači da svi mobilni korisnici posjeduju sve dijelove multimedijalnog sadržaja.

### 5.2. Pseudo kod

U nastavku ovog poglavlja dan je pseudo kod kojim se formiraju početni tržišni uvjeti i kod koji se izvršava u kupcima i prodavačima tijekom trajanja aukcija.

Svaki mobilni uređaj je istovremeno kupac i prodavač. Pošto oni izvršavaju različite funkcije istovremeno, potrebno ih je ostvariti višedretvenim programiranjem.

#### 5.2.1. Formiranje tržišta

- 1: izračunaj vlastitu *utility* funkciju;
- 2: razmjeni vrijednosti *utility* funkcija s ostalima korisnicima;
- 3: analiziraj dobivene podatke;
- 4: donesi odluku o sudjelovanju u formiranju tržišta;

#### 5.2.2. Aukcije

##### Kupac:

- 1: **dok ne posjeduješ sve dijelove**
- 2: započni novu aukciju;
- 3: prikupi ponude;
- 4: najbolja = -1;
- 5: **za svaku ponudu**
- 6: izračunaj troškove dostave;
- 7: pridodaj ih ponudi;
- 8: **ako** (trenutna < najbolja)
- 9: najbolja = trenutna;
- 10: **kraj;**
- 11: **kraj;**
- 12: **ako** (najbolja != -1)
- 13: pošalji prodavaču zahtjev za dio;
- 14: **kraj;**
- 15: **kraj;**

##### Prodavač:

- 1: **dok nije kraj**
- 2: detektiraj početak aukcije;
- 3: izračunaj troškove za tražene dijelove;
- 4: nađi svoju najbolju ponudu;
- 5: pošalji ponudu;
- 6: **kraj;**

## 6. OPIS SIMULACIJE

U prošlom poglavlju dan je konceptualni pogled na SOM algoritam, dok će u ovom poglavlju biti riječi o načinu implementacije izrađene unutar simulacijskog okruženja OMNeT++.

OMNeT++ (*Objective Modular Network Testbed in C++*) je objektno orijentirani, modularni simulator zasnovan na diskretnim događajima namijenjen prvenstveno simulacijama mreža i distribuiranih sustava.

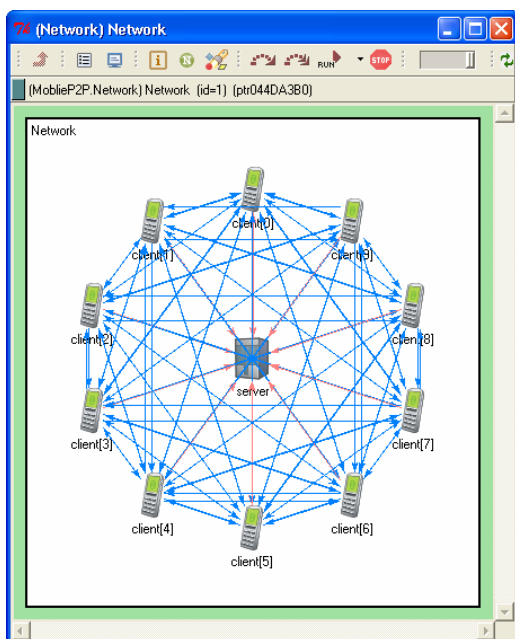
Unutar njega potrebno je najprije definirati strukturu vlastitog modela (module i njihovu povezanost), a potom implementirati funkcionalnost modela. Struktura modela definira se u programskom jeziku NED (*Network Description*), a funkcionalnost u C++.

### 6.1. Struktura modela

Struktura modela predstavlja opis arhitekture naše mreže izrađene u programskom jeziku NED. Model se sastoji od dvije vrste čvorova: mobilnih korisnika i poslužitelja te dvije vrste bežičnih kanala: GSM/GPRS i Bluetooth kanala (Slika 4).

Poslužitelj i mobilni uređaji su jednostavni (*simple*) moduli koji se razlikuju po ulazno-izlaznim vratima (*input/output gates*). Jednostavan modul mobilnog korisnika posjeduje dvije vrste vrata: prema ostalim mobilnim korisnicima i prema poslužitelju, dok poslužitelj ima samo jedna: ona prema mobilnim korisnicima.

GSM/GPRS i Bluetooth kanal su podatkovni kanali (*DatarateChannel*) koji se razlikuju po brzini prijenosa podataka (*datarate*). Za GSM/GPRS ona iznosi 48 kb/s, a za Bluetooth 732 kb/s.



Slika 4 – Struktura našeg modula u OMNeT++

### 6.2. Funkcionalnost modela

Funkcionalnost modela napravljena je prema pseudo kodu danom u poglavlju 5.2. U nastavku je objašnjen način na koji se računa *utility* funkcija, donosi odluka o sudjelovanju u formiranju tržišta te formira cijena prilikom aukcije.

#### 6.2.1. Računanje *utility* funkcije

Rezultati *utility* funkcije ovise o stanju baterije i jačini mrežnog signala:

$$u = p_1 \text{ stanje\_baterije} + p_2 \text{ jačina\_signala} \quad (3)$$

U simulaciji su odabrani parametri  $p_1 = p_2 = 0.5$ , što zapravo znači da oba podatka u jednakoj mjeri utječu na rezultat *utility* funkcije.

#### 6.2.2. Odluka o sudjelovanju u formiranju tržišta

Problem odluke odabira korisnika koji sudjeluju u prvom koraku algoritma, svodi se na problem dijeljenja nekog dobra unutar grupe različitih korisnika. Ovdje se različitost korisnika očituje u različitim vrijednostima njihovih *utility* funkcija.

Rezultati *utility* funkcija čine omjer prema kojem se određuju broj korisnika i njihova uloga na tržištu.

#### PRIMJER

Neka je na poslužitelju sadržaj podijeljen na 10 dijelova, u sustavu postoje tri mobilna korisnika čije su vrijednosti *utility* funkcija: 20, 30, 40. To znači da će prvi korisnik kupiti od poslužitelja 2 dijela, drugi 3 dijela i zadnji korisnik 4 dijela.

Kada nije moguće cjelobrojno dijeljenje u skladu s omjerima, onda se vrši zaokruživanje na najbliži cjelobrojni broj, tako da u konačnici zbroj svih dijelova bude jednak ukupnom broju dijelova na poslužitelju.

#### 6.2.3. Računanje cijene u aukciji

U formuli 2 prethodno je bio prikazan način na koji se formira cijena koji kupac plaća za neki dio. Ona se dobiva zbrajanjem dvije komponente:  $t_p$  i  $t_d$ .

$T_p$  su troškovi proizvodnje koji se računaju kao:

$$t_p = p_3 \text{ stanje\_baterije} + p_4 \text{ feromon} \quad (4)$$

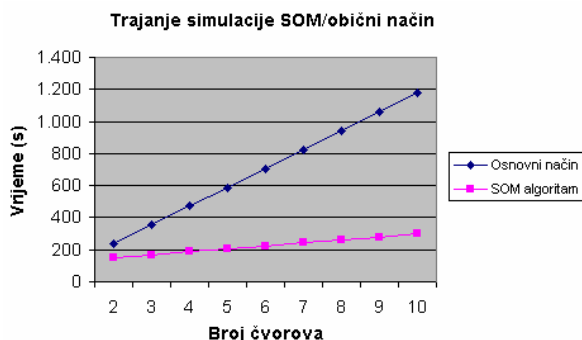
gdje je *feromon* veličina koja je karakteristična za svaki dio posebice. Naime, nakon što prodavač pobijedi u aukciji i proda svoj dio, on postavlja *feromon* za taj dio na najveći mogući iznos. Vrijednost *feromona* se smanjuje kako vrijeme prolazi. Na ovaj se način sprečava uzastopno sudjelovanje u aukcijama s istim dijelom, što pospješuje bolju ravnotežu na tržištu. U simulaciji su odabrani parametri  $p_3 = p_4 = 0.5$ .

Troškovi dostave  $t_d$  računaju se na temelju fizičke udaljenosti kupca i prodavača. Iščitaju se koordinate kupca i prodavača i izračuna se euklidska udaljenost između njih koja predstavlja  $t_d$ .

## 7. REZULTATI SIMULACIJE

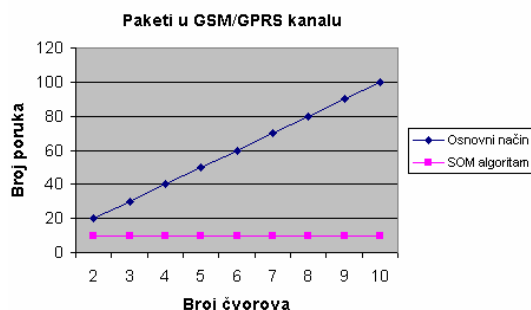
U simulaciji je uspoređen SOM algoritam s običnim načinom primanja podataka kod kojeg svaki korisnik sve dijelove dobiva od poslužitelja. Uspoređena su vremena trajanja simulacija i broja razmijenjenih kroz *GSM/GPRS* kanal. Simulacija završava kada svi mobilni uređaji imaju sve dijelove.

Slika 5 prikazuje kako se kretalo vrijeme trajanja simulacija za SOM algoritam i za običan način u mrežama od 2 do 10 mobilnih korisnika.



Slika 5 – Usporedba vremena SOM/obični način

Slika 6 prikazuje broj razmijenjenih poruka kroz *GSM/GPRS* kanal. Broj dijelova na koji je sadržaj podijeljen je 10.



Slika 6 – Usporedba paketa SOM/obični način

Kod SOM algoritma broj paketa kroz *GSM/GPRS* kanal je konstantan, dok kod običnog načina linearno raste s povećanjem broja korisnika.

## 8. ZAKLJUČAK I DALJNI RAD

Simulacija izrađena u OMNet++ daje preliminarne rezultate efikasnosti SOM algoritma. Za točnije rezultate, trebaju se uzimati u obzir i drugi parametri *GSM/GPRS* i *Bluetooth* mreže osim brzine prijenosa podataka.

U daljnjim istraživanjima, potrebno je napraviti implementaciju na stvarnim uređajima kako bi se dobili potpuno točni rezultati.

## 9. REFERENCE

- [1] S. Camazine, J.-L. Deneubourg, N. R. Franks, J. Sneyd, G. Theraula, and E. Bonabeau, *Self-Organization in Biological Systems*, Princeton: Princeton, University Press, Date 2003
- [2] F. Dressler, *Self-Organization in Ad Hoc Networks: Overview and Classification*, Technical Report 02/06, University of Erlangen, Department of Computer Science 7 (March 2006)
- [3] L. Vrdoljak, I. Bojic, V. Podobnik, M. Kusek, *The GO-Mob: Agent-based middleware for group-oriented mobile service provisioning*, proposed for 10th International Conference on Telecommunications ConTEL 2009
- [4] OMNeT++ Community Site (April 2009), <http://www.omnetpp.org/>
- [5] I. Bojic, M. Kusek, *Fireflies Synchronization in Small Overlay Networks*, accepted for 32th International Convention MIPRO 2007
- [6] L. Blazevic, S. Giordano, and J.-Y. Le Boudec: *Self Organized Terminode Routing Simulation*, MSWiM 2001: 81-88
- [7] B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan, R. Morris, *Span: An Energy-Efficient Coordination Algorithm for Topology Maintenance in Ad Hoc Wireless Networks*, Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile computing and Networking (Mobicom), Rome, Italy, July 2001, ACM, New York, 2001, pp. 85–96.
- [8] T. Mullen and M. P. Wellman, *Some issues in the design of market-oriented agents*, Intelligent Agents II: Agent Theories, Architectures, and Languages, 1996
- [9] G. Mainland, L. Kang, S. Lahaie, D.C.Parkes and M. Welsh, *Using Virtual Markets to Program Global Behavior in Sensor Networks*, SIGOPSEW04, Belgium, September 2004
- [10] A. K. Pathan, R. Buyya: *Economy-based Content Replication for Peering Content Delivery Networks*, CCGRID 2007: 887-892
- [11] M. Niazi, *Self-organized Customized Content Delivery Architecture For Ambient Assisted Environments*, UPGRADE-CN 08 (International Workshop on the Use of P2P, Grid and Agents for the Development of Content Networks) in IEEE/ACM High Performance Distributed Computing Conference, Boston, MA USA. June 2008