

PRINCIPI SIMULACIJE MOBILNIH AD HOC MREŽA

Mirjana Stojanović¹, Valentina Timčenko², Slavica Boštjančič Rakas³

¹Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet

^{2, 3}Institut Mihajlo Pupin, Beograd

Sadržaj: U radu su prvo predstavljene osnovne karakteristike mobilnih ad hoc mreža (*Mobile Ad hoc NETWORK*, MANET), dat je pregled karakterističnih protokola rutiranja i prikazan aktuelni pregled istraživanja u oblasti MANET mreža. Ukazano je na problem ostvarivanja kredibiliteta simulacija MANET, prikazan je opšti simulacioni model MANET i dat pregled osnovnih alata za simulaciju mobilnih ad hoc mreža. Zatim je data osnovna podela i predstavljen pregled modela mobilnosti MANET mreža. Posebna pažnja posvećena je predstavljanju karakterističnog primera simulacije MANET mreža, pristupu analizi dobijenih rezultata i njihovom tumačenju. Sve simulacije su izvedene primenom simulatora mreža NS2. Sledi prikaz osnovnih problema uvođenja kvaliteta servisa u MANET i pregled najzastupljenijih modela.

Ključne reči: MANET, DSDV, AODV, DSR, simulacioni model, model mobilnosti, QoS

1. Uvod

Mobilna *ad hoc* mreža (*Mobile Ad hoc NETWORK*, MANET) je autonomna samokonfigurišuća mreža mobilnih čvorova koji međusobno komuniciraju bez potrebe za uspostavljanjem fiksne telekomunikacione infrastrukture ili centralizovane administracije. Čvorovi mreže su sami odgovorni za održavanje ruta, detekciju i lociranje novih čvorova, kao i razmenu kontrolnih informacija koje treba da omoguće kontinuiranu komunikaciju.

S obzirom na to da MANET mreže još uvek nisu implementirane u velikoj meri, istraživanja su uglavnom zasnovana na simulaciji. Osnovne preporuke za razvoj odgovarajućih modela/scenarija, izbor parametara i analizu dobijenih rezultata su izložene u [1] i [2].

Veliki broj studija analizira performanse različitih MANET protokola rutiranja. Uzimajući u obzir procedure za uspostavljanje i održavanje ruta, MANET protokoli rutiranja se mogu klasifikovati u proaktivne, reaktivne i hibridne [3]. **Proaktivni** (*table-driven*) protokoli rutiranja podrazumevaju da svaki čvor mreže održava svoju tabelu rutiranja i šalje kontrolne poruke susednim čvorovima. Oni na osnovu dobijenih informacija o nastalim promenama menjaju sadržaj svojih tabela rutiranja. Na taj način svaka promena u topologiji mreže će biti detektovana i informacija o njoj prosledena

svim ostalim čvorovima u mreži. U slučaju **reaktivnih** (*on demand*) protokola rutiranja izvorišni čvor inicira proces uspostavljanja rute i odlučuje o njenom izboru. Ruta se generiše samo onda kada čvor ima potrebu da je uspostavi do nekog odredišnog čvora. Tada izvorišni čvor inicira proces uspostavljanja rute koji se završava u trenutku kada je odgovarajuća ruta pronađena. **Hibridni** protokoli kombinuju algoritme uspostavljanja ruta koje koriste aktivni i reaktivni protokoli rutiranja.

Tri najzastupljenija protokola rutiranja u MANET su DSDV (*Destination Sequenced Distance Vector*), AODV (*Ad-hoc On-demand Distance Vector*) i DSR (*Dynamic Source Routing*).

DSDV je proaktivni protokol rutiranja zasnovan na algoritmu *Bellman-Ford*. Svaki čvor održava svoju tabelu rutiranja u kojoj čuva podatke o svim postojećim odredištima kao i broj međučvorova do svakog odredišta. Dinamika mreže može biti velika, pa je potrebno da se česte i brze promene u mreži redovno ažuriraju u tabelama i da se o njima informišu ostali čvorovi. **AODV** je reaktivni protokol rutiranja i predstavlja unapređenu verziju DSDV jer podrazumeva minimizovan broj potrebnih *broadcast* poruka za slanje u situaciji kada je potrebno naći odgovarajuću rutu između dva čvora. Rute se kreiraju na zahtev i održavaju samo dok su u upotrebi. Ne održava se kompletna lista ruta već samo onih potrebnih za pravilno funkcionisanje mreže, čime se štedi na resursima. **DSR** je reaktivni protokol koji podrazumeva da svaki čvor vodi računa o rutama koje ga se tiču i smešta ih u keš tabelu rutiranja. Nakon što primi zahtev za uspostavljanje rute, čvor će prvo proveriti u keš tabeli da li ona već postoji, a ukoliko ne postoji inicijalizovaće njeno uspostavljanje. DSR zauzima više memorije ali u isto vreme ubrzava proces pronalaženja rute i smanjuje vrednost ukupnog kašnjenja.

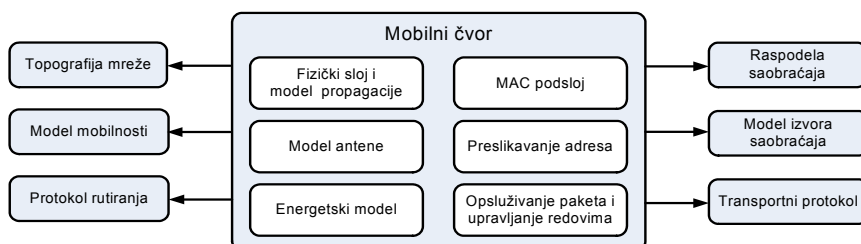
U cilju ispitivanja mogućnosti primene heterogenih MANET mreža, važno je razmotriti različite modele mobilnosti. Neki od primera su kretanje u urbanoj sredini, primena u univerzitetskim kampusima, kretanje grupe čvorova kao što je na primer primena za vojne potrebe. Studije MANET mreža uglavnom kao referentni model mobilnosti uzimaju RW (*Random Waypoint*) [4], dok je u [5] predstavljena platforma kojom se modeluje scenario kretanja u gradskoj sredini. Analiza performansi DSR i AODV protokola u uslovima primenjenog MG (*Manhattan Grid*) modela mobilnosti predstavljena je u [6], a u [7] komparativna analiza protokola DSR i DSDV kada su primenjeni RW, *Group Mobility*, *Freeway* i MG modeli.

Poseban problem MANET mreža je obezbeđivanje adekvatnog nivoa kvaliteta servisa. Dinamika MANET mreža i karakteristike medijuma komunikacije, uslovile su da QoS modeli primenljivi u žičnim mrežama ne odgovaraju karakteristikama MANET. U tom slučaju se primenjuju modeli projektovani i adaptirani za uslove funkcionisanja mobilnih *ad hoc* mreža [8].

Rad je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju je predstavljen simulacioni model MANET mreža, ukazano je na probleme kredibiliteta simulacija i dat je pregled alata za simulaciju MANET. U trećem poglavlju je izložen pregled modela mobilnosti i date su osobine karakterističnih modela. U četvrtom poglavlju je predstavljen karakterističan primer simulacije MANET kojim je na sistematičan način izložena komparativna analiza performansi MANET sa aspekta primene različitih protokola rutiranja i modela mobilnosti. Četvrto poglavlje je posvećeno problemu uvođenja kvaliteta servisa u okviru MANET mreža i dat je kratak pregled postojećih QoS MANET modela. Peto poglavlje obuhvata zaključna razmatranja.

2. Pregled alata za simulaciju MANET mreža

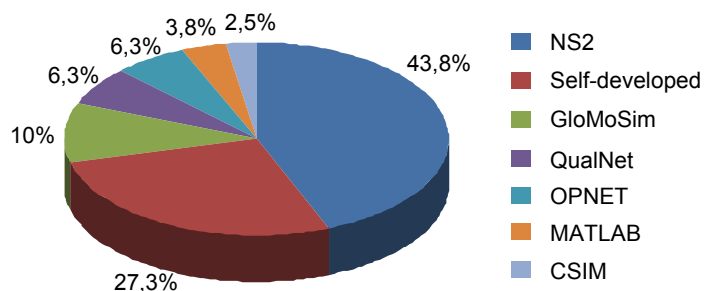
Osnovni elementi koji čine opšti simulacioni model MANET mreže su: mobilni čvor, topografija mreže, model mobilnosti, protokol rutiranja, matrica saobraćaja, model izvora saobraćaja i transportni protokol (slika 1).



Slika 1. Opšti simulacioni model MANET mreže[9]

Da bi se ostvario zadovoljavajući kredibilitet simulacija MANET, preporučljivo je korišćenje poznatih i proverenih alata za simulaciju [9]. Kredibilitet simulacije se obezbeđuje u slučaju kada se performanse koje se dobiju u primeni na realnoj mreži podudaraju sa onim dobijenim metodom simulacije. Iako je u poslednjih nekoliko godina načinjen značajan napredak u oblasti razvoja alata za modelovanje i simulaciju MANET [10], evidentan je nedostatak komparativnih studija o njihovim performansama. Postojeće studije se zasnivaju na ograničenom i skromnom skupu eksperimenata i jednostavnim ispitivanim scenarijima [11].

U [1] je predstavljena analiza koja je obuhvatila više od 150 radova o MANET, objavljenih na konferencijama *MobiHoc* u periodu 2000-2005. godine. Više od 75% radova zasnivalo je svoje rezultate na simulacijama. Pri tome je većina autora koristila simulator NS2, a u trećini radova se ne navodi simulacioni alat koji je korišćen za analizu. Na slici 2 je dat grafički prikaz zastupljenosti pojedinih simulatora u istraživanjima.



Slika 2. Grafički prikaz korišćenih simulatora izražen u procentima [1]

Studija [1] takođe navodi statistiku detaljnosti pristupa autora radova po pitanju objavljivanja informacija o primenjenom simulacionom alatu i okruženju, ulaznim podacima i navodi pronađene propuste. Ova studija može da posluži kao referenca za pravilan izbor simulatora. U nastavku su ukratko navedene karakteristike simulatora NS2, NS3, OPNET Modeler i GloMoSim.

NS2 [12] je simulator vođen događajima u diskretnom vremenu. Razvijen je metodama objektno-orijentisanog projektovanja, na programskom jeziku C++, sa korisničkim interpreterom objektno-orijentisanih OTcl (*Object-oriented Tool Command Language*) skriptova. Programiranje scenarija simulacije obavlja se pomoću OTcl, a efikasna obrada generisanih događaja omogućena je zahvaljujući C++ jezgru simulatora. NS2 je softver sa slobodnom distribucijom i slobodno dostupnim izvornim programima. Razvijen je za UNIX i Windows platforme. Vizuelni prikaz scenarija i toka simulacija omogućen je kroz NAM (*Network Animator*) aplikaciju, a analiza rezultata može da se obavi pomoću različitih aplikacija koje omogućavaju grafički prikaz performansi mreže.

NS3 [13] je *open source* simulator čiji je razvoj još u toku, a ima za cilj da značajno obogati podršku postojećeg NS2 za analizu mobilnih mreža. Razvijen je u programskim jezicima C++ i Python, a njegov kod je dostupan za Linux, Unix, OS X i za Windows. Dokumentacija NS3 Doxygen/Manual sadrži javne aplikacione programske interfejsne i uputstvo za korisnike.

OPNET Modeler [14] je komercijalni simulator koji podržava različite tehnologije LAN i WAN mreža i implementira više od 400 funkcija za modelovanje protokola, elemenata mreže i dinamičkog ponašanja mreže. Pripada klasi simulatora vođenih događajima u diskretnom vremenu, a implementacija simulatora se zasniva na objektno-orijentisanom konačnom automatu kombinovanim sa analitičkim modelom. Izvorni programi nisu slobodno dostupni. Raspoloživ je za rad u Windows i Linux okruženjima. Za potrebe simulacije MANET okruženja obezbeđena je podrška za AODV, DSR, GRP (*Gossip-Based Relaying Protocol*), OLSR (*Optimized Link State Routing*), OSPFv3 (*Open Shortest Path First version 3*) i TORA (*Temporally Ordered Routing Algorithm*) protokole rutiranja.

GloMoSim je mrežni simulator koji je namenski razvijen za potrebe simulacije skalabilnih bežičnih mreža [15]. Simulacije su vođene diskretnim događajima i mogu se izvoditi paralelno. Obezbeđuje podršku za IP sa AODV, DSR, *Fisheye* i druge protokole. Slobodno je dostupan akademskim institucijama koje imaju licencu za njegovo korišćenje, a komercijalno je dostupan kao QualNet.

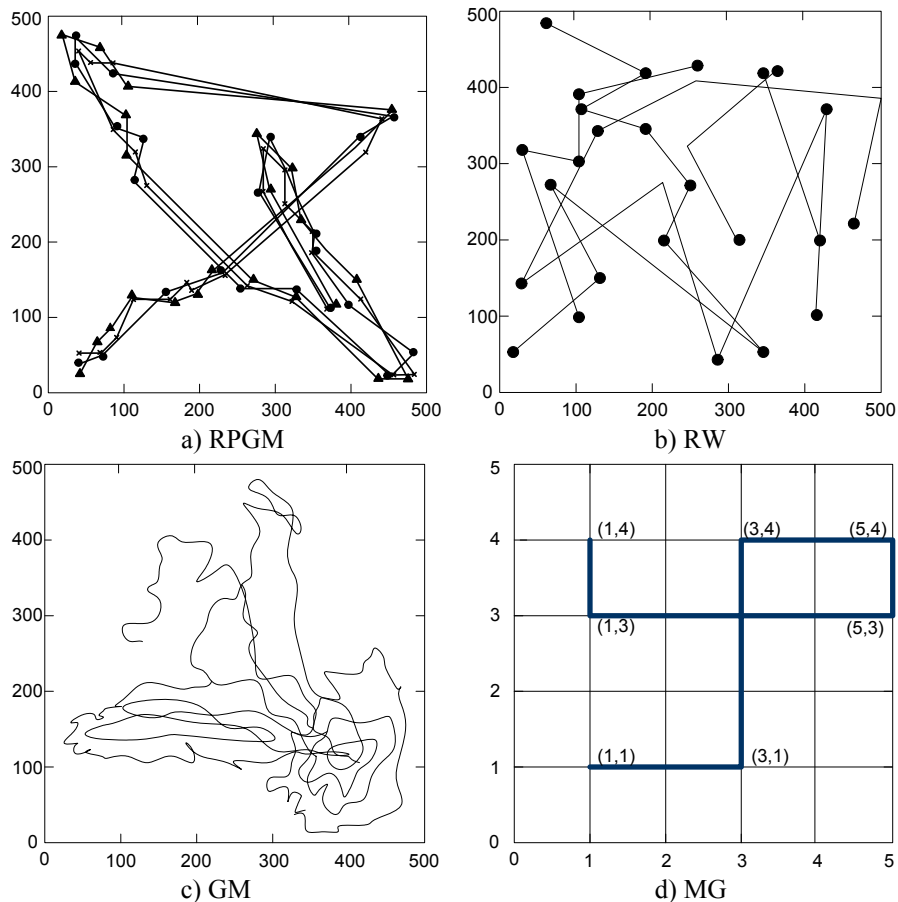
3. Pregled modela mobilnosti

Modeli mobilnosti se mogu klasifikovati na pojedinačne i grupne [4]. Modeli mobilnosti pojedinačnih čvorova podrazumevaju da se kretanje svakog čvora odvija nezavisno od drugih čvorova u mreži dok u slučaju modela mobilnosti grupe čvorova postoji međuzavisnost u kretanju mobilnih čvorova koji se nalaze u istoj grupi, ili postoji čvor koji je predodređen da bude odgovoran za upravljanje kretanjem svih čvorova u mreži. Na slici 3 je dat primer tipičnih trajektorija za razmatrane modele mobilnosti.

RPGM (*Reference Point Group Mobility*) model je predstavljen kroz slučajno kretanje grupa mobilnih čvorova i u okviru tih grupa, slučajno kretanje individualnih čvorova. Svi članovi grupe prate kretanje logičkog centra grupe, koji je predstavljen jednim, odabranim mobilnim čvorom koji definiše kretanje cele grupe. Osim toga, definišu se i pojedinačni modeli mobilnosti u skladu sa kojima se čvorovi mogu dodatno kretati u okviru grupe. Logički centar služi za proračun kretanja cele grupe čvorova na osnovu definisanog vektora kretanja grupe \vec{GM} , čime se definiše ponašanje, brzina i smer kretanja mobilnih čvorova. Nakon ažuriranja vektora referentnih tačaka, $RP(t+1)$

oni se kombinuju sa vektorom slučajnog kretanja \vec{RM} , čime se dobija prikaz slučajnog kretanja svakog mobilnog čvora oko njegove individualne referentne tačke.

RW model podrazumeva da je svaki čvor inicijalno na sasvim slučajan način raspoređen u okviru simulacione ravni. Pre početka kretanja čvorovi biraju pravac i brzinu kretanja, iz predefinisano opsega brzina, i prave pauzu u kretanju koja takođe može biti definisana nekim opsegom dozvoljenog vremena pauziranja. RW model pretpostavlja mogućnost postavljanja parametra *cut-of phase*, vremena trajanja scenarija, širine i dužine oblasti u kojoj će se obavljati simulacija (x,y), minimalne i maksimalne brzine kretanja (v_{min} i v_{max}), kao i maksimalno dozvoljenog trajanja pauze. Vreme pauziranja služi da se promena pravca kretanja i brzine čvora odvija prirodnije, odnosno da bi se izbegla nagla zaustavljanja čvorova i iznenadne promene vrednosti ovih veličina. Nakon isteka pauze, čvor će na slučajan način izabrati novi pravac kretanja i na slučajan način će odabrati brzinu iz opsega $[v_{min}, v_{max}]$.



Slika 3. Primeri karakterističnih trajektorija kretanja mobilnih čvorova u zavisnosti od primenjenog modela mobilnosti

GM (*Gauss-Markov*) model omogućava primenu različitih nivoa slučajnosti preko jednog podesivog parametra. Na početku svaki čvor ima predefinisane vrednosti za brzine i smerove kretanja. GM se zasniva na primeni korelacije brzina kretanja mobilnih čvorova u vremenu, čime obezbeđuje slučajno kretanje bez iznenadnih, oštrih i velikih promena vrednosti brzine i pravca kretanja čvorova. U svakom vremenskom intervalu se vrši proračun i ažuriranje vrednosti ovih veličina u zavisnosti od trenutne brzine, smera kretanja čvora i slučajne promenljive kojom se obezbeđuje nivelacija stepena slučajnosti.

MG model je prvobitno razvijen za potrebe simulacije mreže ulica na Menhetnu, odnosno modelirana je gradska sredina u vidu poprečnih i vertikalnih linija koje su predstavljale ulice Menhetna. Tokom simulacije čvorovi su mogli jedino da se kreću tako definisanim putanjama. MG model se opisuje srednjom i minimalnom brzinom kretanja, podešenom vrednošću verovatnoće promene brzine u trenucima ažuriranja podataka kao i verovatnoćom promene pravca i smera kretanja na raskrscnicama modelovane mreže.

4. Primer simulacije MANET mreže

U ovom poglavlju je predstavljen karakterističan primer simulacije MANET mreža, čiji je cilj da se na sistematičan način izvrši sveobuhvatna komparativna analiza tri predstavnika MANET protokola rutiranja, DSR, DSDV i AODV u odnosu na četiri modela mobilnosti, RW, MG, GM i RPGM [9, 16]. Simulacije su izvedene primenom mrežnog simulatora NS2 (verzija 2.32, u Linux Fedora 8 okruženju). Simulirana je mreža od 100 mobilnih čvorova, sa parametrima definisanim u tabeli 1.

Tabela 1. *Vrednosti parametara simulacije*

Trajanje	200s
Izvori saobraćaja	5 CBR izvora, veličina paketa 512 Bytes, vreme međudolazaka 0.05s
Protokol transportnog sloja	UDP
MAC protokol	MAC/802.11
Mrežni interfejs	Phy/WirelessPhy
Model propagacije	Two Ray Ground
Radius čvora	250m
Antena	Omnidirekciona antena
Površina	500m x 500m

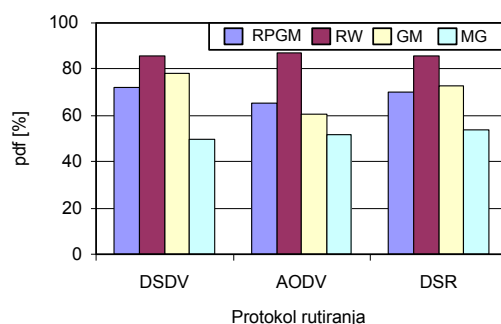
Tabela 2. *Parametri modela mobilnosti*

Model	Vrednosti parametara
RPGM	GroupSize = 5, Max. pause = 10.0s
RW	Max. pause = 10.0s
GM	UpdateFrequency = 2.5, SpeedStDev = 0.5
MG	X, Y axis blocks = 10, 10; Update distance = 5.0m Turn probability = 0.5; Max. pause = 10.0s

Analiza rezultata obuhvata procenat isporučenih paketa (količnik broja isporučenih paketa odredišnim čvorovima i ukupnog broja generisanih informacionih paketa u izvorišnim čvorovima - *Packet Delivery Fraction*, pdf), prosečno kašnjenje sa kraja na kraj mreže i odnos ukupnog broja kontrolnih paketa i broja informacionih paketa

u uslovima velikih mreža sa gusto raspoređenim čvorovima i promenljivim brzinama kretanja čvorova (*Routing Protocol Overhead*, RPO). Svaka simulacija traje 200 sekundi, modeli mobilnosti su generisani uz pomoć softverskog alata *Bonnmotion* [17], a analiza rezultata je obavljena uz pomoć alata *Trace Graph*. U tabeli 2 su predstavljene vrednosti parametara modela mobilnosti.

Procenat isporučenih paketa (*pdf*): Brzina kretanja mobilnih čvorova je promenljiva i kreće se u opsegu 5–10 m/s. Rezultati simulacije su predstavljeni na slici 4.

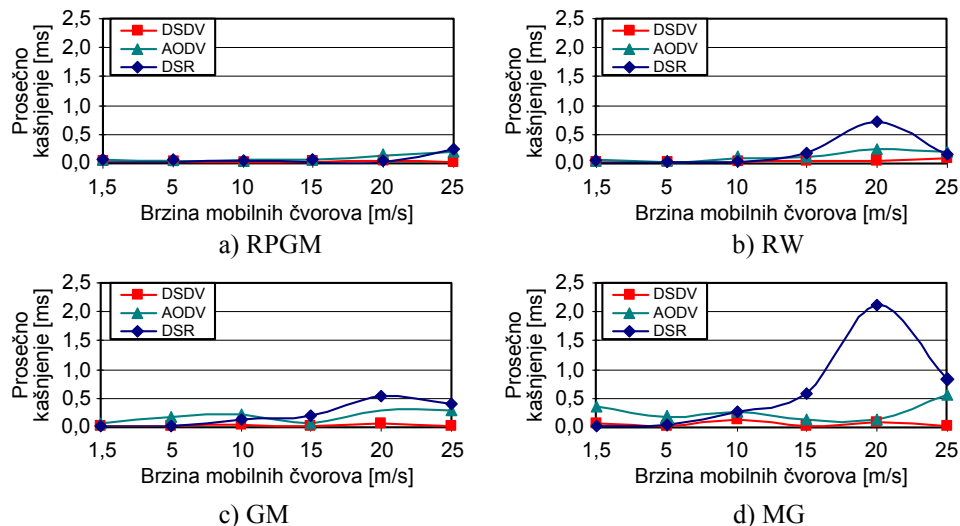


Slika 4. Vrednost *pdf* za posmatrane protokole rutiranja i modele mobilnosti

U slučaju kada je primenjen RPGM, generisano je 20 grupa od po pet mobilnih čvorova. Samim tim, verovatnoća je velika da će izvori i odredišta odgovarajućeg saobraćaja biti u različitim grupama i da će rastojanje među njima biti veliko. Čvorovi i grupe koji se nalaze na ruti između ta dva čvora doprinose gubitku paketa koji se prenose. Nasuprot tome, u slučaju primene RW modela ostvaruju se bolje performanse u odnosu na RPGM zahvaljujući većoj verovatnoći generisanja ispravnih ruta i njihovog održavanja, s obzirom na to da ne postoje prostorna ograničenja. Najgore performanse su ostvarene primenom MG modela mobilnosti s obzirom na činjenicu da ovaj model podrazumeva postojanje prepreka pri kretanju čvorova.

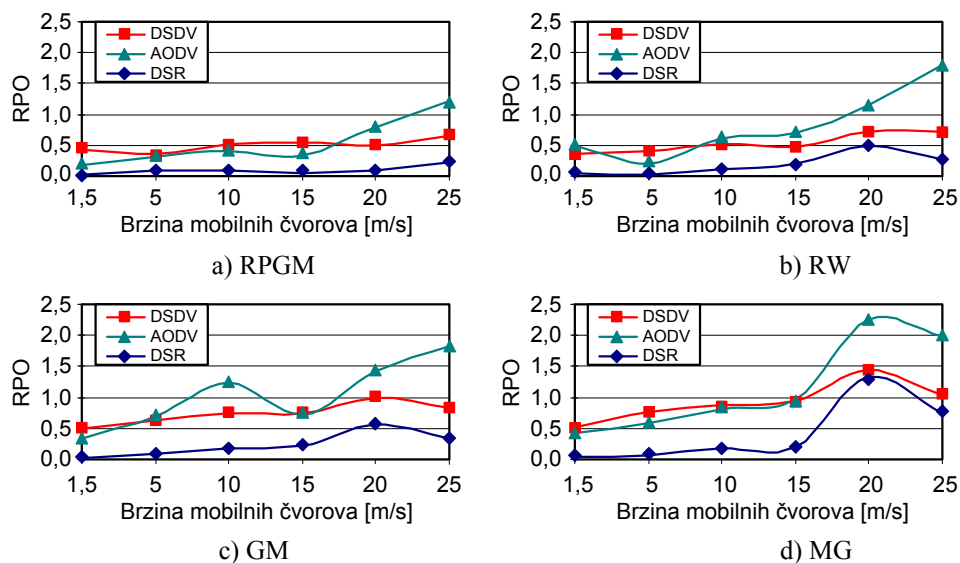
Prosečno kašnjenje paketa podataka od ulaza do izlaza mreže: Brzine čvorova se menjaju u opsegu od 1.5 – 25 m/s. Rezultati simulacije su prikazani na slici 5.

Vrednosti kašnjenja su bez obzira na primenjeni model mobilnosti, najstabilnije u slučaju kada je primenjen DSDV protokol, jer tada svaki čvor održava kompletnu tabelu rutiranja sa informacijama o svim odredištima i brojem međučvorova do odredišta. Sa povećanjem brzine kretanja čvorova kašnjenja su najveća u slučaju kada je primenjen DSR protokol, posebno za primenjene pojedinačne modele mobilnosti. Kada je primenjen grupni model RPGM, ne dolazi do velikog povećanja kašnjenja sa povećanjem brzine čvorova. Naime, u pitanju je velika, gusto raspoređena mreža i nije prisutan efekat “šupljina” tipičan za raštrkane mreže [9]. GM model podrazumeva male relativne promene brzine i smera kretanja čvorova. Kada su brzine čvorova velike, model pretpostavlja da će sledeća izabrana brzina biti slična, čime se stvaraju uslovi za češće raskidanje ruta. U slučaju manjih brzina kretanja čvorova, AODV ostvaruje bolje performanse u odnosu na DSDV zahvaljujući efikasnijim procedurama pretraživanja novih ruta. U slučaju reaktivnih protokola, najveća kašnjenja su prisutna u slučaju kada je primenjen MG model mobilnosti i kada su prisutne veće brzine kretanja čvorova.



Slika 5. Prosečno kašnjenje u zavisnosti od brzine kretanja mobilnih čvorova

RPO: Brzine čvorova se menjaju u opsegu 1.5 – 25 m/s. Rezultati simulacije su predstavljeni na slici 6.



Slika 6. RPO u zavisnosti od brzine kretanja mobilnih čvorova

Primenom DSR protokola rutiranja su, nezavisno od primenjenog modela mobilnosti, obezbedene najmanje vrednosti RPO, što je posledica efekta keširanja ugrađenog u okviru DSR na osnovu kojeg je olakšano pronalaženje ruta. DSDV za svaku

promenu u mreži, naročito kada je prisutna veća mobilnost čvorova, šalje ažurirane podatke svim čvorovima kako bi održavao svežim njihove tabele rutiranja.

U slučaju manjih brzina čvorova, AODV ostvaruje bolje performanse u odnosu na DSDV. U slučaju većih brzina, dolazi do većeg broja promena, učestaliji su prekidi uspostavljenih ruta, javlja se veći broj grešaka u prenosu i češća potreba za ponovnim uspostavljanjem ruta, pa samim tim AODV generiše veći broj kontrolnih paketa rutiranja.

Problem je najzastupljeniji u slučaju primene MG. Primenom RPGM i RW modela mobilnosti se ostvaruju slične RPO performanse dok su u slučaju kada su primenjeni AODV protokol i GM model, i kada brzina čvorova dostigne vrednost od 5m/s, promene topologije mreže učestalije čime se ostvaruju najviše vrednosti RPO.

4. Kvalitet servisa u MANET

Uvođenje QoS u domen MANET mreža je otvoren problem. Postojao je pokušaj da se primene postojeći modeli koji su već provereni u radu sa žičnim mrežama, IntServ (*Integrated Services*) i DiffServ (*Differentiated Services*), ali se od tog pristupa odustalo. **IntServ** model je zasnovan na pristupu po toku saobraćaja, a to podrazumeva da svaki čvor u mreži poseduje dovoljno veliki kapacitet za smeštanje, obradu podataka i njihovo prosleđivanje kroz mrežu. S obzirom na to da MANET mreže raspolažu prilično ograničenim resursima, ovaj model ne obezbeđuje efikasno uvođenje QoS. **DiffServ** model je zasnovan na pristupu po klasi servisa, odnosno paketi koji imaju slične zahteve za QoS mogu biti grupisani u jedan agregatni tok (klasu) saobraćaja. Primena ovog modela omogućava jednostavnije rutiranje u jezgru mreže i uz dodatne modifikacije može da se primeni i za potrebe MANET mreža. Međutim, dinamička topologija MANET ne obezbeđuje mogućnost preciznog definisanja jezgra mreže, a dodatni problem je nemogućnost primene sporazuma o nivou servisa - SLA (*Service Level Agreement*) koji je moguće realizovati u žičnim mrežama. U uslovima potpuno *ad hoc* organizovane mreže teško je uvesti koncept provajdera servisa i klijenta koji će taj servis zahtevati i platiti. Novi pristup podrazumevao je da se primeni kombinacija ova dva modela [8] i omogući kompromis između ispunjavanja postavljenih zahteva za QoS i kompleksnosti implementacije u MANET sa aspekta mreže kao celine [18], ali i sa aspekta posebnih slojeva mreže [19].

Postoje tri osnovna problema vezana za ostvarivanje QoS u MANET: propusni opseg, dinamična topologija i ograničenja po pitanju mogućnosti obrade i smeštanja podataka. Uspostavljanje odgovarajućeg QoS u MANET utiče na uslozljavanje mobilnih čvorova i povećanje potrošnje energije u procesu obrade, prosleđivanja i čuvanja podataka. Takođe, neophodno je da se QoS razmatra sa aspekta učestalih prelaznih faza u prenosu podataka koje nastaju pri prekidima uspostavljenih ruta. Tada se QoS razmatra kao odnos ukupnog vremena koliko je postojao prekid u komunikaciji i ukupnog vremena trajanja uspostavljene konekcije, a koji ne bi smeo da bude ispod nekog definisanog praga. Predviđeno je i uvođenje dinamičkog QoS koji podrazumeva da se karakteristike garantovanih servisa definišu ne kroz jednu fiksnu vrednost, već kroz opsege vrednosti koji će zadovoljiti zahteve korisnika. Time je omogućeno da promene raspoloživosti resursa i mogućnost njihove realokacije ne utiču striktno na ostvarivanje željenog QoS. QoS modeli opisuju arhitekturu čvora i mreže na osnovu koje je u okviru

mreža omogućeno obezbeđivanje kvaliteta servisa. Za razliku od žičnih mreža, MANET imaju ugrađeni problem promenljive topologije i kapaciteta uspostavljenih linkova.

Za ostvarivanje QoS u MANET sa kraja na kraj mreže analizirane su različite mogućnosti kombinovanih arhitektura. **FQMM** (*Flexible QoS Model for MANETs*) je fleksibilni QoS model koji kombinuju pristup po toku, na kojem je zasnovan IntServ, i pristup po klasi servisa koji je osnova DiffServ modela. FQMM [8] podrazumeva da se najviši prioritet dodeljuje u skladu sa *per-flow* modelom a ostali nivoi prioriteta se zatim dodeljuju u skladu sa uvedenim klasama servisa. Pretpostavka je da neće svim paketima u mreži biti neophodno da se dodeljuje najviši nivo prioriteta jer bi se time ovaj model sveo na standardni IntServ. Model treba da prati principe adaptibilnog i dinamičkog QoS.

Ukoliko se QoS podrška u MANET mrežama razmatra kroz tzv. *Cross Layer* zahteve za arhitekturu MANET [18], predložena su tri modela: INSIGNIA, iMAQ i SWAN. *Cross Layer* zahtevi su funkcije koje treba obezbediti na svim slojevima protokol steka, a obuhvataju bezbednost, konzervaciju energije i kvalitet servisa.

INSIGNIA [18] predstavlja specifičan signalizacioni protokol primenljiv u MANET. INSIGNIA uvodi podršku adaptibilnim servisima koji mogu da zadovolje definisani osnovni nivo QoS prilikom slanja glasa i video podataka u realnom vremenu, a ako se u mreži oslobode odgovarajući resursi, podaci se takođe šalju sa poboljšanim nivoom QoS. INSIGNIA predlaže *in-band* metod signalizacije, čime se štede resursi i obezbeđuje pravovremena reakcija na promene u mreži.

iMAQ (*Integrated Mobile Ad hoc QoS*) okvir predstavlja arhitekturu za prenos multimedijalnih podataka u MANET. Zasnovan je na kombinovanju mrežnog sloja i *middleware* servisnog sloja [20]. Mrežni sloj je potpomognut predikcionim, lokacijski zasnovanim QoS protokolom rutiranja. *Middleware* sloj komunicira sa mrežnim slojem i aplikacijama kako bi doprineo višem nivou QoS na nivou celog sistema. Od mrežnog sloja se preuzima informacija o lokalizaciji čvorova u mreži sa ciljem predikcije deljenja mreže. Time je obezbeđeno da se podaci blagovremeno preusmeravaju u mreži u zavisnosti od položaja i međusobnog rasporeda čvorova.

SWAN (*Service differentiation in stateless Wireless Ad hoc Networks*) je model koji podrazumeva da je TCP saobraćaj u mreži *best effort* tipa, dok je UDP *real-time* saobraćaj kojem treba da se obezbedi odgovarajući nivo QoS [21]. Model ima ugrađene algoritme održavanja odgovarajućeg kašnjenja i propusnog opsega za *real-time* saobraćaj, tako što UDP saobraćaju uvodi kontrolu pristupa resursima.

Opisani modeli su analizirani kroz nekoliko studija. Tako je u [8] predstavljena simulaciona studija kojom su autori pomoću simulatora NS2 ispitivali performanse MANET u slučaju kada je primenjen FQMM. Rezultati su pokazali da uvođenje ovog modela poboljšava performanse mreže i obezbeđuje bolji QoS u odnosu na osnovni, *best effort* nivo. U ovom radu pažnja je posvećena algoritmima dodele propusnog opsega pojedinim linkovima. Primenjeni su DSR protokol i RW model mobilnosti. U [20] je predstavljena studija kojom je detaljno analiziran iMAQ QoS model. Simulacije su izvedene u okruženju simulatora NS2, a analizirana su poboljšanja na polju pristupa podacima u mreži (*Data Accessibility*) i QoS rutiranja. Rezultati su pokazali da se, u odnosu na performanse MANET kada nije primenjen ovaj model, odgovarajućim usaglašavanjem aktivnosti na *middleware* i sloju mreže može obezbediti veći stepen uspešnosti pristupa podacima (*Data Access Success Rate*), bolji stepen pokrivenosti mreže podacima (*Data Lookup Coverage*) ali i da ceo ovaj proces dodatno opterećuje

mrežu učestalim ažuriranjem i multipliciranjem podataka u mreži. U [21] je predstavljena analiza primene SWAN modela QoS sa aspekta propusnog opsega, trenutnog protoka *best effort* paketa, kašnjenja i trenutnog iskorišćenja kanala *real-time* saobraćajem. Autori predlažu poboljšanje SWAN modela algoritmima za efikasno iskorišćenje celokupnog propusnog opsega. QoS se može razmatrati i posebno po svakom od slojeva mreže, ali taj koncept izlazi iz okvira ovog rada [22].

8. Zaključak

U radu je dat pregled karakteristika MANET mreža i predstavljeni su najvažniji aspekti analize njihovih performansi metodom simulacije. Predstavljen je opšti simulacioni model MANET i ukazano je na problem obezbeđivanja kredibiliteta simulacija. Ukratko je izložena osnovna podela karakterističnih protokola rutiranja i dat je pregled pojedinačnih i grupnih modela mobilnosti. Osim toga, predstavljene su karakteristike najzastupljenijih alata za simulaciju MANET mreža i ukazano je na stepen zastupljenosti pojedinih simulatora u istraživanjima. U radu je takođe predstavljen primer simulacije (pomoću simulatora NS2), koji je obuhvatio iscrpnu analizu tri najzastupljenija MANET protokola rutiranja u uslovima velikih mreža sa gusto raspoređenim čvorovima, primenom pojedinačnih i grupnih modela mobilnosti. Kroz primer simulacije MANET je ukazano na optimalne načine primene metoda simulacije u istraživanju mobilnih *ad hoc* mreža i predstavljen je efikasan pristup kombinovanja postojećih *open source* alata sa razvojem sopstvenih OTcl programa. Rezultati simulacija su pokazali da se relativan odnos i rangiranje protokola rutiranja menja u zavisnosti od modela mobilnosti i veličine mreže u kojoj se obavlja simulacija. Potvrđeno je da mobilnost čvorova doprinosi promenama vrednosti ispitivanih performansi. U radu je posebna pažnja posvećena problemu uvođenja specifičnih modela QoS. Opisani su postojeći QoS modeli i ukazano je na poboljšanja performansi MANET u slučaju primene svakog od njih.

Zahvalnica. Rad je finansiran od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije (Projekat tehnološkog razvoja TR 11002).

Literatura

- [1] S. Kurkowski et al., "MANET Simulation Studies: The Incredibles", *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communication Review*, vol. 9, no. 4, pp. 50-61, October 2005.
- [2] T. Frantti, M. Taramaa, "Reliable Simulation of Ad Hoc Networks", *WSEAS Transactions on Communications*, vol. 5, no. 12, pp. 2167-2174, 2006.
- [3] A. Boukerche, *Algorithms and protocols for wireless and mobile ad hoc networks*, Wiley, Hoboken, New Jersey, 2009.
- [4] T. Camp et al., "A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research", *Wireless Communications & Mobile Computing (WCMC): Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications*, vol. 2, no. 5, pp. 483-502, 2002.
- [5] I. Stepanov, K. Rothermal, "Simulating Mobile Ad Hoc Networks in City Scenarios", *Computer Communications*, vol. 30, pp. 1466-1475, 2007.
- [6] G. Jayakumar, G. Gopinath, "Performance Comparison of MANET Protocol based on Manhattan Grid Model", *Journal of Computer Science*, vol. 2, pp. 18-26, 2008.

- [7] B. Divecha et al., "Impact of Node Mobility on MANET Routing Protocols Models", *Journal of Digital Information Management*, vol. 5, no. 1, pp. 19-24, February 2007.
- [8] H. Xiao et al., "A Flexible Quality of Service for Mobile Ad-Hoc Networks", *IEEE Vehicle Technology Conference Proceedings*, Tokyo, May 2000.
- [9] V. Timčenko, "Principi simulacije mobilnih ad hoc mreža", magistrarska teza, Elektrotehnički fakultet, Beograd, mart 2010.
- [10] W. T. Kasch et al., "Wireless Network Modeling and Simulation Tools for Designers and Developers", *IEEE Communication Magazine*, vol. 47, no. 3, pp. 120-127, March 2009.
- [11] G. F. Lucio et al., "OPNET Modeler and NS2: Comparing the Accuracy of Network Simulators for Packet-Level Analysis using a Network Testbed", *WSEAS Transactions on Computers*, vol. 2, no. 3, pp. 700-707, July 2003.
- [12] "Network Simulator NS2". [Online]. <http://www.isi.edu/nsnam>.
- [13] "ns-3 Reference Manual", July 2009, [Online]. <http://www.nsnam.org/>
- [14] OPNet Modeler, OPNET Network Simulator [Online]. <http://www.opnet.com>
- [15] GloMoSim - Scalable Simulation Environment for Wireless and Wired Network Systems, [Online]. <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/glomosim/>
- [16] V. Timčenko, M. Stojanović, S. Boštjančič Rakas, "MANET Routing Protocols vs. Mobility Models: Performance Analysis and Comparison", *In Recent Advances in Applied Informatics and Communications*, WSEAS Press. 2009, pp. 271 – 276.
- [17] M. Gerharz, C. de Waal, "BonnMotion - A Mobility Scenario Generation Tool", University of Bonn, [Online]. www.cs.uni-bonn.de/IV/BonnMotion/
- [18] Z. Y. Demetrios, "A Glance at Quality of Services in Mobile Ad-Hoc Networks", *Technical Report*, University of California – Riverside, 2001.
- [19] B. Zhang, H. T. Mouftah, "QoS Routing for Wireless Ad Hoc Networks: Problems, Algorithms, and Protocols", *IEEE Communication Magazine*, pp.110-117, October 2005.
- [20] K. Chen et al, "Cross-Layer Design for Data Accessibility in Mobile Ad Hoc Networks", *Wireless Personal Communications*, pp. 49-76, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [21] N. Sarma, S. Nandi, "Enhancing QoS Support in Mobile Ad Hoc Networks", *Advances in Computer, Information, and System Sciences, and Engineering*, pp. 267-273, Springer, 2006.
- [22] P. Mohapatra et al., "QoS in Mobile Ad Hoc Networks", *IEEE Wireless Communications*, pp. 44-52, June 2003.

Abstract: *In this paper we have first described the main features of mobile ad hoc networks, then we have provided taxonomy of routing protocols and reviewed the current research in the area of MANET. Further, we have pointed out the credibility issues of MANET simulations, proposed a general MANET simulation model and provided an overview of the most widespread MANET simulation tools. Next, we have provided a review of mobility models and their characteristics. We particularly address activities in representing the example of specific MANET simulation and further analysis of the obtained results. Simulations have been carried out using the NS2 simulator. Besides, we have considered the problem of providing and modelling of QoS and its integration into MANET.*

Keywords: *MANET, DSDV, AODV, DSR, Simulation model, Mobility model, QoS*

SIMULATING MOBILE AD HOC NETWORKS

Mirjana Stojanović, Valentina Timčenko, Slavica Boštjančič Rakas