

Analiza performansi protokola usmjeravanja u mobilnim ad hoc mrežama

Sabina Baraković, Suad Kasapović, Jasmina Baraković

Sadržaj—Mobilna ad hoc mreža (engl. *Mobile Ad hoc Network*, MANET) je skupina bežičnih pokretnih čvorova koji međusobno komuniciraju bez mrežne infrastrukture ili centralizovanog upravljanja. Izbor protokola usmjeravanja u mobilnim ad hoc mrežama je veliki izazov za razliku od žičnih mreža, jer se čvorovi neprestano kreću i generišu nekorisni teret usmjeravanja. Cilj ovog rada je izvršiti ocjenu performansi DSDV, AODV i DSR protokola usmjeravanja na osnovu rezultata analize dobivenih koristeći simulacije sa različitim scenarijima pokretljivosti i opterećenja, koje su izvedene u mrežnom simulatoru NS-2 (engl. *Network Simulator 2*). Parametri korišteni za poređenje su prosječno kašnjenje s kraja na kraj, odnos uspješno prenesenih paketa i ukupnog broja paketa (engl. *Packet Delivery Ratio*, PDR), te normalizirano opterećenje usmjeravanja (engl. *Normalized Routing Load*, NRL). Protokoli DSDV, AODV i DSR u situacijama slabe pokretljivosti i opterećenja imaju slične performanse. Međutim, sa povećanjem pokretljivosti DSR protokol nadmašuje AODV i DSDV protokole.

Ključne riječi—analiza, AODV, DSDV, DSR, MANET

I. UVOD

Pokretni čvorovi u mobilnim ad hoc mrežama međusobno komuniciraju koristeći *multi-hop* bežične veze, odnosno u ovakvim mrežama ne postoji stacionarna infrastruktura. Svaki čvor u mreži se ponaša kao usmjerivač i prosljeđuje pakete za druge čvorove.

Usmjeravanje je fundamentalno za mreže. Za žične mreže je predstavljen veliki broj algoritama usmjeravanja i neki od njih su u širokoj upotrebi. Statičko usmjeravanje se odnosi na strategije usmjeravanja smještene u usmjerivačima, ručno ili statistički. Dinamičko usmjeravanje se odnosi na strategije usmjeravanja koje nauče unutrašnji ili vanjski protokoli za usmjeravanje. Dinamičko usmjeravanje je nadmoćno u žičnim mrežama. Usmjeravanje vektorom udaljenosti i stanjem veze su dva najpopularnija algoritma dinamičnog usmjeravanja korištena u žičnim mrežama.

Protokoli vektora udaljenosti se zasnivaju na Bellman – Ford algoritmu usmjeravanja. Kod usmjeravanja vektorom udaljenosti svaki usmjerivač održava tabelu usmjeravanja. Usmjerivač periodično razmjenjuje informacije o udaljenosti do svih dostupnih odredišta sa

svim svojim susjedima i ažurira tabelu usmjeravanja. Udaljenost se računa pomoću metrika kao što je broj skokova, dužina reda ili kašnjenje. Ako imamo više putanja do odredišta, biće izabrana najkraća. Glavni nedostatak ovog usmjerivačkog algoritma je spora konvergencija. Spora konvergencija vodi do problema "približavanja beskonačnosti", tj. usmjerivači stalno povećavaju broj skokova za određene mreže.

Kod usmjerivačkog algoritma koji se zove stanje veze, svaki čvor periodično izvještava sve usmjerivače u mreži o svom trenutnom stanju veza. Kada se desi promjena stanja veze, pojedinačni izvještaji će plavljenjem doći do svakog usmjerivača u mreži. Svi usmjerivači, po prijemu izvještaja, ponovo izračunavaju svoje putanje prema svježim informacijama o topologiji. Na ovaj način, usmjerivač ima barem djelimičnu sliku o cijeloj mreži. Kod usmjeravanja stanjem veze biraju se različite metrike kao što je broj skokova, brzina veze i zagušenje. Najkraća (ili najjeftinija) putanja se računa pomoću Dijkstra algoritma.

Prethodno opisani algoritmi usmjeravanja imaju dobre performanse u žičnim mrežama, jer one imaju predvidljive mrežne osobine, kao što je stalna mrežna topologija i kvaliteta veze. Međutim, dinamična svojstva mobilnih ad hoc mreža, gdje nemamo eksplicitne veze i sva komunikacija se odvija emitovanjem, pogoršavaju njihovu efektivnost. Ako u mobilnim ad hoc mrežama koristimo protokole usmjeravanja vektorom udaljenosti i stanjem veze, namijenjene žičnim mrežama, česta promjena topologije će snažno povećati kontrolne podatke. Ti podaci mogu zauzeti oskudan opseg mobilnih ad hoc mreža. Osim toga, ovi algoritmi usmjeravanja uzrokuju nekonzistentnost usmjerivačkih informacija i petlje kada se koriste za dinamičke mreže. Dakle, usmjeravanje u ad hoc mrežama se bitno razlikuje od usmjeravanja u žičnim mrežama. Mobilne ad hoc mreže imaju sljedeće karakteristike: veću vjerovatnoću grešaka zbog različitih oštećenja koja nastaju pri prenosu, često pucanje veza i pojavu petlje zbog pokretljivosti, oskudan prenosni opseg radi očuvanja energije, neadekvatnu šemu adresiranja, te unidirekzione veze.

U ovom radu izvršeno je poređenje performansi tri važna protokola usmjeravanja u mobilnim ad hoc mrežama na osnovu rezultata simulacija izvedenih u mrežnom simulatoru (engl. *Network Simulator 2*, NS-2) [1]. Generisano je nekoliko scenarija koji se razlikuju po broju konekcija u mreži i trajanju pauza. Parametri na osnovu kojih je izvedeno poređenje su prosječno kašnjenje s kraja na kraj, odnos uspješno prenesenih paketa i ukupnog broja paketa, te normalizovano opterećenje usmjeravanja.

Sabina Baraković, student Fakulteta elektrotehnike, Univerziteta u Tuzli, Franjevačka 2, 75000 Tuzla, BiH; (e-mail: barakovic.sabina@gmail.com).

Suad Kasapović, Fakultet elektrotehnike, Univerzitet u Tuzli, Franjevačka 2, 75000 Tuzla, BiH; (e-mail: suad.kasapovic@untz.ba).

Jasmina Baraković, BH Telecom d.d Sarajevo, Obala Kulina bana 8, 71000 Sarajevo, BiH; (e-mail: jasmina.barakovic@bhtelecom.ba).

Rad je koncipiran na sljedeći način: u sekciji II razmatran je kratak opis protokola usmjeravanja, u sekciji III su opisani parametri simulacija i scenarij, u sekciji IV predstavljeni su rezultati simulacija i izvršena analiza, a u sekciji V su izvedeni zaključci.

II. PROTOKOLI USMJERAVANJA

U ovom radu su razmatrani sljedeći protokoli:

A. *The Destination Sequenced Distance Vector (DSDV) protokol usmjeravanja*

Protokol usmjeravanja DSDV [2] se zasniva na Bellman-Ford algoritmu usmjeravanja. Svaki pokretni čvor održava tabelu usmjeravanja koja sadrži sva dostupna odredišta sa pridruženim sljedećim skokom, metrikom i odredišnim rednim brojem. Redni broj je poboljšanje DSDV protokola u odnosu na usmjeravanje vektorom udaljenosti, a koristi se za razlikovanje zastarjelih putanja od novih i za izbjegavanje petlji na putanji.

Tabele usmjeravanja se ažuriraju razmjenom informacija između pokretnih čvorova. Svaki čvor periodično šalje svoju tabelu usmjeravanja svojim susjedima. Prenos se obavlja u podatkovnim jedinicama mrežnog sloja (engl. *Network Protocol Data Unit*, NPDU). Razmjena se može izvršiti kopiranjem cijele tabele usmjeravanja (brojni NPDU-ovi), ili inkrementalnim ažuriranjem (jedan NPDU), što podrazumijeva razmjenu samo nedavno ažuriranih puteva. Čvorovi koji prime ove podatke ažuriraju svoje tabele ako su primili bolji ili novi put. Odnosno, kada čvorovi prime informacioni paket od drugog čvora, porede njegov redni broj sa raspoloživim rednim brojem za taj unos. Ako je redni broj paketa veći, unos će se ažurirati informacijom sa novim rednim brojem, ili pak, ako paket ima isti redni broj, tražit će unos metrike. Ako je broj skokova manji od prethodnog unosa izvršit će se ažuriranje sa novom informacijom. Ažuriranje se vrši periodično, ali i kada se detektuje novi događaj u mreži, odnosno značajna promjena u tabeli usmjeravanja od posljednjeg ažuriranja. Ako se topologija učestalo mijenja, izvest će se razmjena cijele tabele, budući da će inkrementalno ažuriranje u stabilnoj topologiji uzrokovati manje saobraćaja.

Izbor puta se izvodi prema kriteriju metrike i rednog broja. Redni broj je, također, vremenska indikacija koju šalje odredišni čvor, te omogućava proces ažuriranja tabele. Ako imamo dva identična puta, sačuvat će se i koristiti put sa boljim rednim brojem, dok će drugi biti uništen.

B. *Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing (AODV) protokol usmjeravanja*

Protokol usmjeravanja AODV [3] je "na zahtjev" protokol, tj. vrši uspostavljanje puta samo kada se za njim ukaže potreba. Protokol usmjeravanja AODV se zasniva na prenosu paketa sa odgovorom na putanju (engl. *Route Reply*, RREP) nazad do izvora i usmjeravanju paketa do odredišta. Algoritam AODV protokola usmjeravanja sastoji se od dva koraka: pronalazak i održavanje puta.

Proces pronalaska putanje se pokreće kada jedan od čvorova treba slati pakete. Taj čvor šalje paket sa

zahtjevom za putanju (engl. *Route Request*, RREQ) najbližim susjednim čvorovima. Susjedni čvorovi vraćaju RREP ako imaju odgovarajuću putanju do odredišta. Međutim, ukoliko nemaju, prosljeđuju RREQ svojim susjedima, izuzev izvorišnog čvora. Također, ovaj paket koriste da bi izgradili povratnu putanju do izvora. Proces se ponavlja dok se putanja ne pronađe.

Za održavanje usmjerivačkih informacija koriste se tabele usmjeravanja koje imaju samo informacije o sljedećem skoku i odredištu. Kada se desi prekid veze na putu, npr. neki prenosni čvor je izašao iz opsega, susjedni čvorovi će primijetiti odsustvo ove veze. Ako je tako, susjedni čvorovi će provjeriti da li postoji bilo kakav put u njihovim tabelama usmjeravanja čiji je sljedeći skok diskonektovani susjed. Ako postoji takav, svi izvori koji šalju saobraćaj koji prolazi kroz ovaj diskonektovani čvor će biti obaviješteni slanjem paketa sa pogreškom na putanji (engl. *Route Error*, RRER). Novi RREQ će generisati izvorišni čvor ako i dalje postoji potreba za prenosom od izvora.

C. *Dynamic Source Routing (DSR) protokol usmjeravanja*

Protokol DSR [4] eksplicitno koristi izvorišno usmjeravanje, što znači da svaki put kada se pošalje podatkovni paket, on sadrži listu čvorova koje će koristiti za prosljeđivanje. Drugačije rečeno, poslati paket sadrži put koji će koristiti. Putevi se pohranjuju u memoriji, a podatkovni paketi nose izvorišni put u zaglavlju paketa. Mehanizam dopušta čvorovima na putu da memorišu nove puteve, te također, da izvor specifikuje put koji želi, ovisno od kriterija. Ovaj mehanizam izbjegava petlje usmjeravanja.

Ako čvor treba poslati paket drugom čvoru, a nema puta, pokreće proces pronalaska puta. Proces pronalaska puta je sličan procesu pronalaska puta kod AODV protokola usmjeravanja, tj. radi na principu plavljenja mreže RREQ paketima. Svaki čvor koji primi RREQ emituje ga, osim ako nije odredište ili ima put do odredišta u svojoj memoriji. Takav čvor na RREQ odgovara sa RREP paketom koji se usmjerava nazad prema izvoru. Paket RREQ gradi putanju kroz mrežu, a RREP se usmjerava natrag do izvora preko te putanje. Put koji vraća RREP se memoriše na izvoru radi dalje upotrebe. Može biti više RREP paketa na jedan RREQ zahtjev.

Ako je bilo koja veza na izvornom putu prekinuta, izvorišni čvor se obavještava RRER paketom. Izvor uklanja iz memorije put koji koristi prekinutu vezu. Novi pronalazak puta mora pokrenuti izvor, naravno, ako mu je put potreban. Protokol DSR agresivno koristi izvorišno usmjeravanje i pohranjivanje puteva.

III. SIMULACIJSKI PARAMETRI

A. *Saobraćajni model*

U saobraćajnim scenarijima se koriste izvori CBR (engl. *Constant Bit Rate*) saobraćaja. Parovi izvor-odredište se prostiru nasumično preko mreže. Šalju se paketi veličine 512 bajtova. Broj konekcija, tj. parova izvor-odredište se mijenja da bi se promijenilo opterećenje

mreže, te se i po tome razlikuju saobraćajni scenariji. U ovom radu razmatrani su saobraćajni scenariji sa 10, 20 i 30 konekcija. Brzina prenosa podataka je 4 paketa/sekundi.

B. Model kretanja čvorova

Model kretanja čvorova koristi model nasumične međutačke (engl. *random waypoint model*) u pravougaonom polju. Svaki paket počinje svoj put sa slučajne lokacije do slučajnog odredišta sa nasumično odabranom brzinom. Nakon što čvor stigne na odredište odredi se drugo slučajno odredište nakon pauze. Trajanje pauze, koje utiče na relativnu brzinu čvorova, je promjenljivo. Za izvođenje simulacija sa različitim protokolima i skupljanje ispravnih rezultata koriste se identičan saobraćajni scenarij i scenarij kretanja čvorova.

Scenarij kretanja čvorova je kreiran za 50 čvorova, sa trajanjem pauza od 0, 10, 20, 40 i 100 simulacijskih sekundi, maksimalnom brzinom od 20m/s, granicama topologije od 500mx500m i trajanjem simulacije od 100 sekundi.

C. Metrike performansi[5]

- **Odnos uspješno prenesenih paketa i ukupnog broja paketa (engl. *Packet Delivery Ratio, PDR*):** Pokazuje koliko je protokol uspješan u dostavljanju paketa od izvora do odredišta.
- **Prosječno kašnjenje s kraja na kraj:** Prosječno kašnjenje s kraja na kraj je prosječna vrijednost kašnjenja svih uspješno prenesenih paketa od izvora do odredišta.
- **Normalizirano opterećenje usmjeravanja (engl. *Normalized Routing Load, NRL*):** Odnos između ukupnog broja paketa usmjeravanja i ukupnog broja uspješno dostavljenih paketa.

IV. REZULTATI I ANALIZA

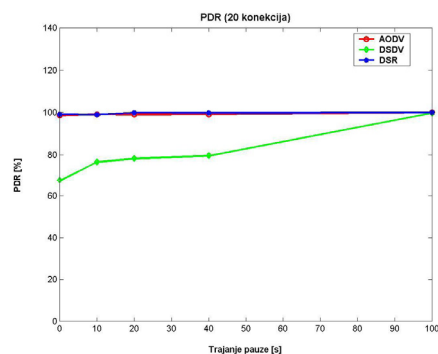
Analizirani su parametri rezultata i saobraćajni scenariji sa 10, 20 i 30 konekcija.

Protokoli usmjeravanja "na zahtjev", AODV i DSR, imaju dosta visok PDR kada koristimo CBR saobraćaj, što znači da su oni efikasni protokoli s aspekta dostave paketa na njihovo odredište. Za AODV i DSR protokole usmjeravanja, PDR je neovisan o opterećenju, tj. o broju konekcija. Oba protokola dostavljaju preko 95% paketa u svim slučajevima razmatranim u ovom radu. Protokol DSDV dostavlja manje podatkovnih paketa u poređenju sa AODV i DSR protokolima usmjeravanja kada imamo veću pokretljivost čvorova. Međutim, ima približno isti PDR kao AODV i DSR protokoli kada se čvorovi u mreži ne kreću (pauza 100 sekundi), što znači da ovaj protokol nije pogodan za mobilnu ad hoc mrežu (Sl. 1.).

Simulacijski rezultati iznose neke važne karakteristične razlike između protokola usmjeravanja. Prisutnost visoke pokretljivosti ukazuje na to da su prekidi veza česti, a svaki protokol usmjeravanja drugačije reaguje pri prekidima veza. Različiti mehanizmi na kojima se bazira rad ovih protokola vode do razlika u performansama. Protokol DSDV se ne ističe pri kraćem trajanju pauze, jer je spor. Pri većoj pokretljivosti (kraće trajanje pauza), PDR DSDV protokola pada na 70%. Gube se skoro svi odbačeni paketi, jer ih je zastarjela tabela usmjeravanja

usmjerila radi prosljeđivanja na prekinuti link. Protokol DSDV održava samo jednu putanju po odredištu, pa se iz tog razloga svaki paket koji MAC sloj ne može dostaviti odbacuje, jer nema alternativne putanje.

Protokol DSDV, s obzirom da koristi "tabelarno upravljano" održavanje usmjerivačke informacije, ne prilagođava se promjenama putanja koje se dešavaju kada imamo visoku pokretljivost. Za razliku od tog protokola, AODV i DSR protokoli, su prilagodljiviji i rezultiraju boljim performansama, barem kada je u pitanju PDR. Svi prethodno navedeni protokoli su dostavili veći broj paketa pri manjoj pokretljivosti čvorova, tj. pri dužem trajanju pauze.

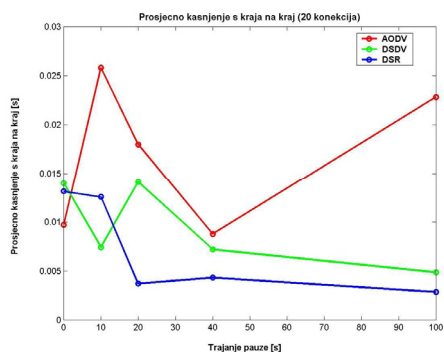


Sl. 1. PDR za 20 konekcija

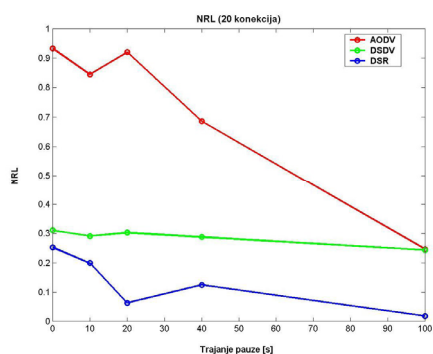
Analizirajući prosječno kašnjenje paketa s kraja na kraj, dolazimo do zaključka da je DSR protokol usmjeravanja nadmašio DSDV i AODV protokole (Sl. 2.). Protokol AODV ima neefikasno održavanje puta. Kada koristimo AODV protokol, za svaku promjenu mrežne topologije čvorovi moraju slati RREQ pakete, odnosno mora se pokrenuti proces pronalaska puta, jer AODV protokol je protokol usmjeravanja koji nema putanju na raspolaganju kada se za njom ukaže potreba, tj. on je "na zahtjev" protokol. Upravo zbog toga, prosječno kašnjenje s kraja na kraj za AODV je najlošije. Protokol DSDV svaki puta kada se promjeni mrežna topologija ne mora slati RREQ tako često kao AODV i DSR, jer proaktivno čuva putanje do svih odredišta u svojoj tabeli. Protokol DSR, s obzirom da koristi izvorišno usmjeravanje i memorisanje puteva, te ne ovisi od periodičnih aktivnosti i održava višestruke puteve do odredišta, ima najbolje performanse. Naročito se ističe kada je pokretljivost čvorova u mreži mala, što znači da u slučaju kada je topologija stalna, putanje nisu zastarjele i to rezultira najboljim posmatranim performansama. Kada je mali broj konekcija u mreži, AODV i DSDV protokoli imaju slično prosječno kašnjenje s kraja na kraj kao i DSR protokol, naročito kada je pokretljivost slaba. U tom slučaju, mreža je manje opterećena, pa kod AODV protokola manje čvorova šalje RREQ pakete. Međutim, sa povećanjem broja konekcija, opterećenje u mreži je veće, te prosječno kašnjenje s kraja na kraj za protokole AODV i DSDV je veće.

U svim slučajevima, bez obzira na pokretljivost ili broj konekcija, DSR protokol pokazuje značajno manje opterećenje usmjeravanja nego AODV ili DSDV protokoli (Sl.3.). Veliki doprinos opterećenju AODV protokola dolazi od RREQ paketa, dok veliki doprinos opterećenju DSR protokola dolazi od RREP paketa. Osim

toga, AODV ima više RREQ paketa nego DSR, dok DSR ima veći broj RREP paketa. Protokol DSDV ima NRL manji od AODV protokola, a veći od DSR protokola.



Sl. 2. Prosječno kašnjenje s kraja na kraj za 20 konekcija



Sl. 3. NRL za 20 konekcija

U slučaju visoke pokretljivosti prekidi veza se dešavaju veoma često. Prekidi veza iniciraju pronalazke novih putanja u AODV protokolu, jer ima najviše jednu putanju po odredištu u svojoj tabeli usmjeravanja. Dakle, učestalost pronalazaka putanje u AODV protokolu je direktno proporcionalna broju prekida puteva. Reakcija DSR protokola na prekid veza je u poređenju blaga i uzrokuje rjeđe pronalazke putanja. Razlog je mnoštvo memorisanih putanja na svakom čvoru. Dakle, pronalazak putanje se otkazuje u DSR protokolu sve dok se sve memorisane putanje pokazuju neadekvatnim.

V. ZAKLJUČAK

Protokol DSDV koristi "tabelarno upravljano" proaktivno usmjeravanje, dok AODV i DSR koriste reaktivno "na zahtjev" usmjeravanje. Protokol usmjeravanja DSR ima bolje performanse nego AODV i DSDV protokoli usmjeravanja u slučajevima visoke pokretljivosti, neovisno o broju konekcija u mreži. Visoka pokretljivost rezultira čestim prekidima veza, a nekorisni teret uključen u ažuriranje svih čvorova sa novom usmjerivačkom informacijom je manji kod DSR protokola usmjeravanja, nego kod DSDV i AODV protokola usmjeravanja. Protokol DSDV vrši periodično ažuriranje tabela usmjeravanja i u slučajevima kada nema izmjena mrežne topologije, a AODV protokol ima neefikasno održavanje puta, jer mora pokrenuti proces pronalaska putanje za svaku promjenu mrežne topologije. Proces pronalaska puta koriste i AODV i DSR protokol

usmjeravanja, ali sa različitim mehanizmima usmjeravanja. Protokol DSR koristi izvorišno usmjeravanje i memorisanje puteva, te ne ovisi o bilo kakvoj periodičnoj ili vremenski zasnovanoj aktivnosti. Protokol AODV koristi tabele usmjeravanja, jednu za svako odredište, te određene redne brojeve kao mehanizam za prevenciju petlji i određivanje svježine puta.

Generalno, zapažanje iz simulacija nas dovodi do zaključka da u scenarijima slabe pokretljivosti i opterećenja AODV, DSDV i DSR protokoli reaguju na sličan način, dok sa povećanjem pokretljivosti ili opterećenja DSR nadmašuje AODV i DSDV. Međutim, sa povećanjem pokretljivosti performanse DSR protokola usmjeravanja, također, slabe, ali to se može pripisati agresivnoj upotrebi memorisanja i nedostatku mehanizma za uklanjanje zastarjelih putanja ili ažuriranja putanja kada su raspoložive višestruke putanje.

LITERATURA

- [1] The Network Simulator Ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc>
- [2] Perkins E, and Bhagwat P. "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers", Computer Communication Review, pp. 234–244, October 1994.
- [3] Perkins C, Belding-Royer E, and Das S. "Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) Routing", in Internet Engineering Task Force (IETF) draft, July 2003.
- [4] Broch J, Johnson D, and Maltz D. "The Dynamic Source Routing protocol for Mobile Ad Hoc Networks", in Internet Engineering Task Force (IETF) draft, 1999.
- [5] Gong S. "Quality of Service Aware Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks", Helsinki University of Technology, 2006.

ABSTRACT

Mobile Ad hoc network (MANET) is a collection of wireless mobile nodes which are communicating with each other without network infrastructure or centralized administration. Routing protocol election in MANETs is a great challenge in comparison with wired networks, because nodes are constantly moving and causing routing overhead. The aim of this work is to carry out performance evaluation of DSDV, AODV and DSR routing protocols based on results analysis obtained using simulations with different load and mobility scenarios performed with network simulator NS-2. Parameters used for comparison are packet delivery ratio (PDR), average end-to-end delay and normalized routing load (NRL). In low load and low mobility scenarios, performances of DSDV, AODV and DSR routing protocols are similar. However, with mobility increasing DSR outperforms AODV and DSDV protocols.

PERFORMANCE ANALYSIS OF ROUTING PROTOCOLS IN MOBILE AD HOC NETWORKS

Sabina Baraković, Suad Kasapović, Jasmina Baraković