

PREGLED PROTOKOLA RUTIRANJA U BEŽIČNIM MESH MREŽAMA

Nataša Nešković¹, Marija Malnar², Nenad Jevtić²

¹Elektrotehnički fakultet u Beogradu

²Saobraćajni fakultet u Beogradu

Sadržaj: Osnovni zadatak protokola rutiranja je određivanje putanje između izvorišnog i odredišnog čvora. Putanju treba odrediti pouzdano, brzo i sa minimalnim gubicima. Novija istraživanja bežičnih mesh mreža (Wireless Mesh Networks - WMN) stvorila su potrebu za razvijanjem specijalno dizajniranih protokola za ove mreže. Kako protokoli rutiranja zavise od tipova aplikacija i mrežne arhitekture, velika pažnja posvećena je pronalaženju optimalnog protokola rutiranja. U ovom radu dat je pregled protokola rutiranja za WMN i njihova klasifikacija. Tri osnovne kategorije protokola opisane u ovom radu su: proaktivni, reaktivni i hibridni protokoli rutiranja za WMN.

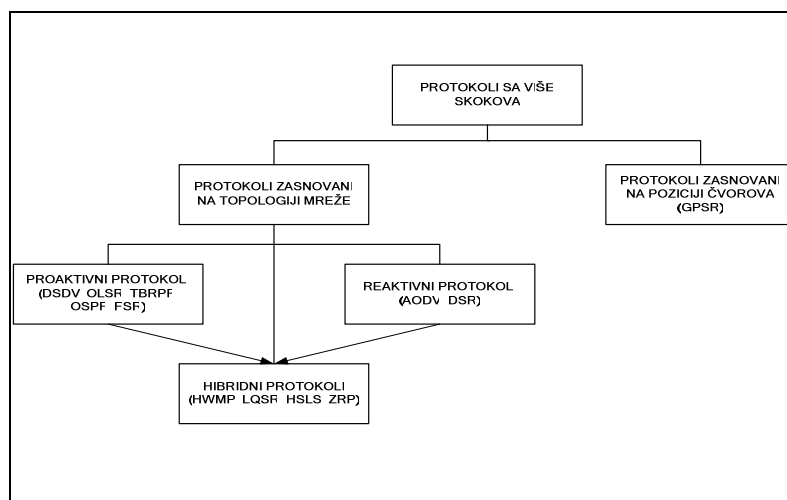
Ključne reči: Bežične mesh mreže, protokol rutiranja.

1. Uvod

Sloj rutiranja jedan je od glavnih slojeva za komunikacione protokole kojima se postiže efikasno iskorišćenje resursa. U WMN osnovni cilj je što efikasniji i kvalitetniji prenos podataka od jednog do drugog korisnika. Pod kvalitetnim prenosom podrazumeva se malo kašnjenje, veliki protok, mala verovatnoća gubitka paketa i sl. Osnovni zadatak protokola rutiranja je da odredi putanju između izvorišnog i odredišnog čvora. Putanju treba odrediti pouzdano, brzo i sa minimalnim gubicima. Za postizanje takvog prenosa, potrebno je optimizovati različite parametre koji utiču na prenos podataka.

Protokoli rutiranja mogu se klasifikovati na one koji su zasnovani na topologiji mreže (*topology based*) i one zasnovane na geografskoj poziciji čvorova (*position based*) (ilustrovano na Slici 1). Protokoli rutiranja zasnovani na topologiji mreže biraju putanje na osnovu informacija o mrežnoj topologiji, kao što su linkovi između čvorova. Protokoli rutiranja zasnovani na poziciji čvorova biraju putanje na osnovu geografskih informacija. Poslednjih godina se za WMN uglavnom razvijaju protokoli rutiranja zasnovani na mrežnoj topologiji, pa je iz tog razloga u ovom radu data detaljna klasifikacija tih protokola rutiranja, dok je za protokole rutiranja zasnovanih na poziciji čvorova dat samo kratak pregled, a detaljnija klasifikacija može se naći u [1].

U prvom poglavlju dat je kratak uvod vezan za protokole rutiranja u WMN. U drugom poglavlju opisani su najčešće korišćeni proaktivni protokoli, u trećem reaktivni protokoli, dok su u četvrtom poglavlju opisani hibridni protokoli rutiranja. U petom poglavlju dat je kratak opis protokola rutiranja zasnovanih na geografskoj poziciji čvorova. U šestom poglavlju je zaključak.



Slika 1. Klasifikacija protokola rutiranja.

2. Proaktivni protokoli rutiranja

Kod proaktivnih protokola rutiranja svaki čvor u mreži, u svakom trenutku, zna putanje do svih ostalih čvorova u mreži. Najpoznatiji proaktivni protokoli rutiranja su *Destination Sequence Distance Vector (DSDV)* [2], *Optimized Link State Routing (OLSR)* [3], *Topology Dissemination Based on Reverse Path Forwarding (TBRPF)* [4], *Open Shortest Path First (OSPF)* [5], *Fisheye State Routing (FSR)* [6] protokoli.

Destination Sequence Distance Vector (DSDV) [2] protokol je klasičan primer proaktivnog protokola rutiranja, koji zahteva da svi čvorovi u mreži imaju podatke o svim odredištima u svakom trenutku. Svaki čvor ima tabelu rutiranja u kojoj se nalaze podaci o putanjama do svih raspoloživih čvorova, i broj skokova do svakog od njih. Da bi se sačuvali relevantni podaci o putanjama, svaki čvor periodično emituje podatke iz svoje tabele rutiranja, u kontrolnim paketima. Ti paketi moraju da sadrže sekvencijalni broj paketa, adresu odredišnog čvora, broj skokova do svakog odredišta, i sekvencijalni broj odredišta.

Optimized Link State Routing (OLSR) je protokol standardizovan kao IETF RFC 3636 [3]. Za optimalnu putanju u mreži bira najkraću putanju. Svaki čvor selektuje *multipoint* releje (MPR) u skupu sebi susednih čvorova. Čvorovi koji se biraju za MPR treba da budu takvi da svi čvorovi u susedstvu od dva skoka primaju *broadcast* poruku čak i kada samo MPR reemituje poruku. Svaki čvor periodično šalje *Hello* poruku, u kojoj se nalaze podaci o njegovim susednim čvorovima, kako bi se odredila topologija mreže. Na taj način svaki čvor u mreži zna podatak o svojim susedima udaljenim do dva skoka. Informacija koja se dobija iz *Hello* paketa upisuje se: u skup linkova, skup suseda i u skup suseda koji su udaljeni dva skoka.

Čvorovi koji su izabrani za MPR imaju indikator u *Hello* porukama da su MPR čvorovi. Svaki čvor periodično emituje podatke o linku kroz čitavu OLSR mrežu, pomoću TC (*topology control*) poruka. TC poruka sastoji se iz liste suseda čvora koji inicira slanje. Lista suseda mora sadržati skup svih MPR čvorova da bi se obezbedilo rutiranje sa najkraćim putanjama. Svaka TC poruka ima sekvencijalni broj paketa. U

svakom čvoru postoji tabela rutiranja koja sadrži: podatke o svim odredištima u mreži, skup linkova, skup suseda, skup suseda udaljenjih dva skoka, i podatke o topologiji. Ako se bilo koji skup promeni, potrebno je da se čitava tabela rutiranja osveži.

Na osnovu ovih podataka, čvor može odrediti svoj skup MPR. Jedini uslov je da preko MPR svi susedi koji su udaljeni do dva skoka od čvora mogu primiti podatke preko simetričnih linkova. Nije neophodno da skup MPR bude minimalan, ali što je skup manji manje je opterećenje mreže.

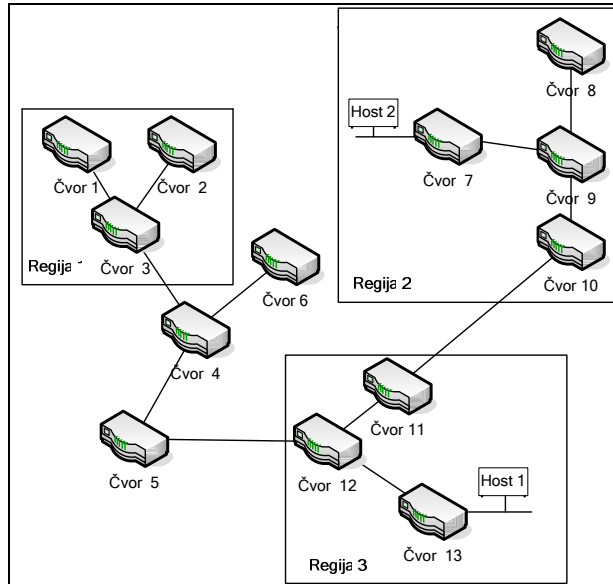
Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF) [4] protokol predstavlja modifikaciju *Dijkstra* algoritma. Susedni čvorovi se pronalaze *Hello* porukama, koje prenose samo promene u statusima susednih čvorova, čime se smanjuje opterećenje mreže. Svaki čvor ima stablo, kojim obezbeđuje najkraće putanje do svih raspoloživih čvorova. Na osnovu informacije o delimičnoj topologiji mreže, koja se nalazi u stablu topologije svakog čvora, čvor računa i osvežava svoje stablo. Da bi se smanjilo zagušenje mreže, samo se deo stabla šalje susednim čvorovima.

TBRPF sastoji se iz modula otkrivanja suseda i modula rutiranja (otkrivanje topologije i određivanje putanje). TBRPF modul otkrivanja suseda (TND – *Topology Network Detection*) dozvoljava svakom čvoru i da brzo detektuje susedne čvorove j za koje postoji bidirekcion link (I,J) između interfejsa I čvora i i interfejsa J čvora j . Takođe, protokol obezbeđuje brzo otkrivanje kvara bidirekcionog linka, bilo da on postane unidirekcion ili bude u potpunom prekidu.

Susedni čvorovi su vezani za *multipoint* releje (MPR) slično kao kod OLSR [3] protokola. Ako čvor i pronađe susedni čvor j , onda čvor i označi sam sebe kao MPR za čvor j , što kod OLSR [3] nije moguće (čvor ne može sebe da selektuje za MPR). Čvor koji ima veliki prioritet releja šalje veliki deo svog stabla, i velika je verovatnoća da će biti selektovan kao sledeći skok od strane svojih suseda. Čvor sa prioritetom 0 predstavlja nepouzdan čvor, i nikada ne prenosi pakete koji su pristigli od susednih čvorova.

Open Shortest Path First (OSPF) [6] je protokol koji je standardizovan kao IETF RFC 1247 [6]. Protokol funkcioniše pomoću IGP (*Interior gateway*) protokola koji se bazira na SPF (*Shortest Path First*) algoritmu. Svaki čvor šalje LSA (*Link State Advertisements*) pakete svim čvorovima koji se nalaze na istom hijerarhijskom nivou. U LSA je upisana informacija o interfejsu, metrici i ostalim parametrima. Svaki čvor, korišćenjem podataka o topologiji mreže generisanih iz LSA paketa, računa stablo najkraćih putanja u kojima je on koreni čvor. Na osnovu stabla određuje se najkraća putanja do bilo kog čvora.

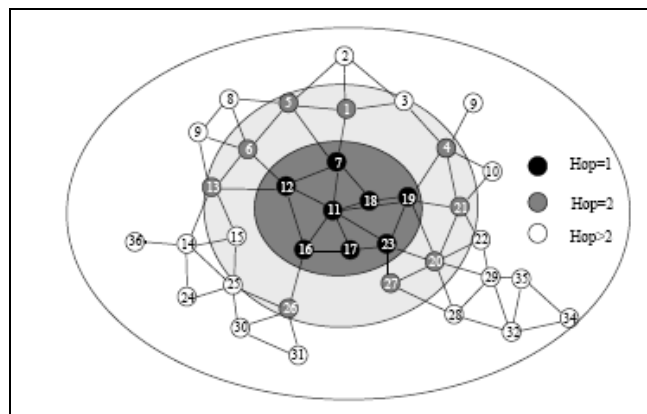
Primer strukture mreže u kojoj se primenjuje OSPF dat je na Slici 2. OSPF *backbone* (čvorovi 3, 4, 5, 10, 11 i 12) odgovoran je za prenos informacija između različitih regija mreže. Ako *Host 1* u regiji 3 želi da pošalje pakete ka *Host 2* u regiji 2, paketi se šalju ka čvoru 13, koji ih prosleđuje ka 12, a on ka čvoru 11. Tada čvor 11 prosleđuje pakete ka regiji koja ima ivični čvor 10, koji šalje paket kroz čvorove unutar regije 2 (čvor 9 i čvor 7) i koji će ih proslediti *Host 2*.



Slika 2. Podela mreže po oblastima primenom OSPF protokola.

Kod **Fisheye State Routing (FSR)** [7] svaki čvor i sadrži: listu suseda A_i , tabelu vezanu za topologiju TT_i , tabelu sledećih skokova $NEXT_i$ i podatke o udaljenosti D_i . Tabela topologije čvora j , sadrži podatke koji se sastoje iz dva dela $TT_i.LS(j)$ (informacija o linku koju je odredio čvor j), i $TT_i.SEQ(j)$ (vremenski trenutak kada čvor j generiše informaciju o linku). $NEXT_i(j)$ predstavlja sledeći čvor na optimalnoj putanji, dok $D_i(j)$ predstavlja dužinu najkraćeg puta.

U FSR protokolu kontrolni paketi koji obezbeđuju otkrivanje topologije mreže razmenjuju se samo između susednih čvorova. Periodična razmena tabela kod FSR protokola podseća na vektorsku razmenu u DBF (*Distributed Bellman-Ford*) ili DSDV [2] gde se rastojanja osvežavaju na osnovu sekvencijalnog broja dodeljenog od izvorišnog čvora, samo što se kod FSR prenose podaci o linkovima, a ne vektorska rastojanja. Kod FSR tabele se osvežavaju periodično, a ne kad dođe do promena u mreži.



Slika 3. Primer podele mreže po oblastima pomocu Fisheye principa.

U slučaju velikih mreža, u kontrolnim porukama prenose se i podaci o kapacitetu linkova. Da bi se smanjile periodične kontrolne poruke, a da se ne smanji pouzdanost, FSR koristi tehniku “*fish-eye*” ilustrovanu na Slici 3. Krugovi različitih nijansi sive boje definišu različite oblasti “oka” u odnosu na centralni čvor 11. Oblast je definisana kao skup čvorova do kojih se može doći pomoću definisanog broja skokova. U slučaju primera na Slici 3 postoje tri oblasti, do kojih se može doći, od čvora 11, preko 1, 2 ili više od 2 skoka. Smanjenje preopterećenja mreže postiže se korišćenjem različitih perioda za razmenu kontrolnih poruka na sledeći način: čvorovi u oblasti koje su bliže izvorišnom čvoru češće šalju kontrolne pakete, dok oni koji su dalje ređe šalju kontrolne pakete. Na taj način smanjuje se broj kontrolnih poruka, pa samim tim i zagušenje mreže.

3. Reaktivni protokoli rutiranja

Kod reaktivnih protokola rutiranja putanje između čvorova određuju se na zahtev (*on demand*), odnosno samo kada je inicirano slanje podataka od nekog čvora ka nekom drugom čvoru. Najpoznatiji proaktivni protokoli rutiranja su: *Dynamic Source Routing* (DSR) [8] i *Ad hoc On demand Distance Vector Routing Protocol* [9] protokol.

Dynamic Source Routing (DSR) [8] je efikasan protokol rutiranja u okviru koga se koriste dva osnovna mehanizma *Route Discovery* i *Route Maintenance*. Pretpostavka je da izvorišni čvor S želi da pošalje podatke odredišnom čvoru D. Pomoću *Route Discovery* mehanizma pronalazi se putanja između čvorova S i D. Mehanizam se generiše samo kada čvor S nema nijednu putanju do D u svojoj tabeli rutiranja. U okviru ovog mehanizma postoji razmena dve vrste kontrolnih poruka RREQ (*Route Request*) i RREP (*Route Reply*). Čvor S generiše RREQ kada želi da uspostavi komunikaciju sa D. Međučvorovi koji prime RREQ proveravaju da li imaju putanju do čvora D u svojoj tabeli rutiranja, i ako imaju vraćaju RREP paket po toj putanji do čvora S. Ako u tabeli rutiranja međučvorova ne postoji putanja do D, taj čvor upisuje svoju adresu u RREQ i prosleđuje ga dalje. Kada RREQ dođe do čvora D on generiše RREP i šalje ga po putanji koju poznaje, nazad čvoru S. Kada u čvor S stignu svi RREP paketi, on ih upisuje u *Routing Cache*, i bira putanju sa najmanjim brojem skokova, po kojoj će slati podatke.

Route Maintenance je mehanizam kojim čvor S, koji već zna putanju do čvora D, proverava da li putanja i dalje može da se koristi za slanje podataka, ili je neki link na toj putanji u prekidu. Ako je neki link na putanji u prekidu, čvor koji to primeti generiše RERR (*Route Error*) paket, koji šalje po putanji, po kojoj je RREQ stigao, nazad do S. Čvor S će tada potražiti u svom *Routing Cache*-u alternativnu putanju do D, i ponoviti prethodni postupak. Ovaj mehanizam se ponavlja sve dok se ne nađe ispravna putanja do D, ili se ne pronađe nijedna putanja do D, u tabeli rutiranja čvora S. Ako ne postoji nijedna putanja, čvor S ponovo pokreće *Route Discovery* mehanizam.

Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) [9] protokol je standardizovan u IETF eksperimentalnom RFC 3661. Za informacije o povezanosti mreže koristi *Hello* poruke, kojima se otkrivaju linkovi koji su u prekidu ili aktivne putanje sa pogrešnim porukama. Svaka informacija o putanji ima podatak o vremenu nastanka i sekvencijalni broj pomoću kog se otkriva da li je podatku isteklo vreme života. Tako se samo najsvježije raspoložive putanje koriste za rutiranje podataka. Na ovaj način se rešava problem slanja podataka u nedogled koji postoji u klasičnim *distance vector* protokolima.

Kada izvorišni čvor S želi da pošalje poruku ka odredišnom čvoru D, a u tabeli rutiranja nema ni jednu putanju do njega, pokreće se *Route Discovery* mehanizam koji je

sličan mehanizmu u DSR protokolu. Tokom otkrivanja putanje korisni podaci se smeštaju u bafer.

Za razliku od DSR protokola povezanost čvorova obezbeđena je periodičnim slanjem *broadcast Hello* poruka. Ako čvor nije poslao nijednu *broadcast* poruku, u poslednjem *Hello* intervalu, čvor treba da pošalje *Hello* poruku kako bi obavestio mrežu da je aktivan. Ako čvor ne dobije nikakav odgovor od susednih čvorova u jednom *Hello* intervalu, on smatra da je link između njega, i njemu susednog čvora, u prekidu.

Kada dođe do prekida linka, čvor koji detektuje prekid linka, prvo proverava da li ima neku aktivnu putanju koja koristi taj link, i, ako ima, pokušava da izvrši lokalnu popravku. Šalje RREQ (*Route Request*) da bi pronašao neku drugu putanju od međučvora do odredišta. Ako pronađe drugu putanju, vrši lokalnu popravku. Tokom pronalaženja aktivne putanje čvor čuva podatke u baferu. Ako lokalna popravka putanje ne može da se ostvari, međučvor generiše *Route Maintenance* mehanizam sličan onom u DSR protokolu.

4. Hibridni protokoli rutiranja

Hibridni protokoli rutiranja pokušavaju da iskoriste prednosti i proaktivnih i reaktivnih protokola, i da izbegnu mane i jednih i drugih. Najpoznatiji hibridni protokoli rutiranja za WMN su *Hybrid Wireless Mesh Protocol* (HWMP) [10], *Link Quality Source Routing Protocol* (LQSR) [11] i *Hazy-Sighted Link State* (HSLs) [12].

Hybrid Wireless Mesh Protocol (HWMP) [10] je protokol specijalno definisan za WMN. U njemu se koristi modifikacija reaktivnog AODV protokola dodavanjem podatka o metrici RM – AODV (*radio metric AODV*). Periodičnim oglašavanjima koja se pamte u stablu omogućava se proaktivnom protokolu rutiranja da pronađe optimalnu putanju.

Primenjuju se generalni koncepti AODV protokola sa RREQ (*Route Request*) i RREP (*Route Reply*) paketima i sekvencijalnim brojem odredišta za prepoznavanje stare informacije. HWMP koristi MAC, umesto IP adrese koju koristi AODV. Optimalna putanja nije najkraća već se definiše metrika linka koja se prenosi u RREQ i RREP paketima. Ako je O_{ca} kanalni *overhead*, O_p *overhead* MAC protokola, B_r broj bita, r bitski protok, a e_{fr} verovatnoća gubitka okvira, onda se metrika, označena sa c_a , definiše sa:

$$c_a = \left[O_{ca} + O_p + \frac{B_r}{r} \right] \frac{1}{1 - e_{fr}} \quad (1)$$

Da bi se smanjila razmena informacija u kontrolnim paketima definiše se polje *Destination Only* (DO) koje je postavljeno na 1. Samo ako je DO = 0, međučvor može da odgovori na RREQ. Na taj način skraćuje se vreme potrebno za otkrivanje putanje, ali podaci mogu da budu zastareli. Zato međučvor šalje RREP do izvorišnog, ali i RREQ ka odredišnom čvoru, što se kontroliše poljem RF (*Reply/Forward*). Ako je RF=1, protokol radi kako je opisano, a ako je RF = 0, onda radi kao AODV protokol.

Kod proaktivnog protokola bar jedan čvor mora da bude podešen da periodično *broadcast*-uje *announcement* poruke ostatku mreže. Tom porukom se otkriva koren stabla, koji podešava polje *announcement type* na 1 (što označava da je on koren). Kada čvor primi takvu poruku, on podešava putanju do korena preko onog čvora preko kog ima najbolju metriku. Putanja do korena može se podesiti i slanjem odgovora ka korenu, koji

bi imao *announcement type* = 0 (čime bi se znalo da je poslat od čvora koji nije koren). U ovom slučaju podešavanje putanje vrši se preko stabla do korena, od strane svakog čvora pojedinačno. U *announcement* postoji polje *registration*. Ako je podešeno na 0, čvor je završio sa javljanjem mreži. Ako je *registration* = 1, čvor čeka neko proizvoljno vreme, nakon kog može da generiše RREQ sa vremenom života 1, kako bi „pitao“ susedne čvorove da li znaju putanju do čvora koji je koren stabla. Čvor bira putanju sa najboljom metrikom do ovog čvora i javlja mu se slanjem *Gratuitous Route Reply*. Kada čvor promeni svoj nadređeni čvor, on mora da se javi mreži (tada podešava svoj *registration* na 1).

Link Quality Source Routing Protocol (LQSR) [11] reaktivan protokol predstavlja modifikaciju DSR [8] protokola, tako što podržava metrike rutiranja koje za težinu linka uzimaju podatak o kvalitetu linka. LQSR protokol zadržava iste mehanizme *Route Discovery* i *Route Maintenance* koji postoje i u DSR. Modifikacija se ogleda u tome što se u RREQ i RREP paketima, osim podatka o adresama čvorova na putanji, prenose i podaci o metrikama svakog linka na putanji. Svaki čvor povremeno šalje *Link Info* poruku u kojoj se nalaze sve metrike svih linkova od izvorišnog čvora. Kako su veličine RREQ i RREP paketa u LQSR protokolu veće, samo određeni čvor odgovara na RREQ paket, RREP paketom.

Hazy-Sighted Link State (HSLs) [12] protokol uvodi kompromis između proaktivnih i reaktivnih pristupa rutiranju. Pokazao se uspešnim u mrežama sa velikim brojem čvorova. Klasični protokoli preopterećuju mrežu osvežavanjem informacija, i odabir optimalne putanje zavisi od toga koja informacija o linku ulazi u metriku. Za razliku od njih, HSLs ne opterećuje mrežu sa informacijama o stanju linka.

Protokol koristi dva oblika rutiranja: *Near Sighted Link State Routing* (NSLS) koji je ograničen brojem skokova paketa i *Discretized Link State Routing* (DLSR) ograničen vremenom života paketa. Potrebno je pronaći optimalno vreme života paketa, kao i nakon koliko skokova će se paket odbaciti, ako ne dođe do određeni čvora. Pomoću matematičke optimizacije pronađeno je da oba parametra u funkciji vremena rastu sa stepenom dvojnike. Teorijski je dobijen optimalan broj veoma blizak dvojnici, sa greškom od 0.7%, pa se smatra da je optimalna vrednost dva.

Lokalno osvežavanje putanje ostvaruje se kad dođe do prekida neke konekcije ili nakon isteka vremena života paketa. Svaki put kada se kašnjenje u odnosu na poslednji paket udvostručuje, čvor emituje informaciju koja duplira broj skokova do kog će pretraživati putanju. Udvostručavanje se vrši do unapred definisane vrednosti. Gornje ograničenje je maksimalna veličina mreže i obezbeđuje fiksirano maksimalno vreme odgovora u mreži koja nema pokretne čvorove.

Ovim protokolom se biraju dobre putanje u realnom vremenu, i znatno smanjuje broj i veličina kontrolnih paketa. Mana protokola ogleda se u tome što udaljeni čvorovi nemaju sveže informacije o topologiji mreže jer relativno retko vrše osvežavanje putanja.

U ovom protokolu potrebni su čvorovi koji imaju veliku memoriju potrebnu za održavanje tabela rutiranja. Srećom, ovakvi čvorovi postaju sve jeftiniji i pristupačniji. Protokoli kao OSPF prenose podatke o prekidu ili ispadanju nekog čvora iz mreže, pa će veoma brzo svi čvorovi saznati da li je došlo do neke promene u mreži. Kod HSLs, čvor koji je udaljen 10 skokova od nekog čvora koji je otkazao, ne može dobiti informaciju o otkazu čvora (ili linka) sve dok ne dobije podatke od dotadašnjih susednih čvorova.

Dakle, ako se zahteva visoka pouzdanost, HSLS ne može da je obezbedi, jer pod nekim okolnostima može da se dogodi da ne pronalazi putanju između čvorova.

5. Protokoli rutiranja zasnovani na poziciji čvorova

U klasi algoritama rutiranja zasnovanih na poziciji čvorova, paketi se usmeravaju na osnovu geografskih pozicija izvorišnog čvora, njegovih suseda i odredišnog čvora. Zahteva se da svaki čvor zna svoju geografsku poziciju. Jedan od prvih praktičnih protokola rutiranja zasnovanih na poziciji čvorova formiran za WMN je *Greedy Perimeter Stateless Routing* (GPSR) [13]. Drugi predstavnik je *Landmark Guided Forwarding* (LGF) [14] koji kombinuje proaktivni protokol zasnovan na topologiji mreže, za bliske čvorove, i protokol na osnovu pozicije čvorova, za udaljene čvorove. Pregled protokola rutiranja zasnovanih na poziciji čvorova koji ovde nisu opisani dat je u [1].

6. Zaključak

U radu je dat pregled protokola rutiranja i njihovih osnovnih karakteristika. Cilj svakog protokola je da obezbedi efikasno iskorišćenje resursa mreže. Potrebno je preneti podatke između čvorova što efikasnije i kvalitetnije. Pod kvalitetnim prenosom podrazumeva se malo kašnjenje, veliki protok, mala verovatnoća gubitka paketa i sl.

Protokol rutiranja treba da pronađe putanje između izvorišnog i odredišnog čvora. Jedan od osnovnih problema je način odabira putanje tako da prenos bude pouzdan, brz i sa minimalnim gubicima.

Protokoli rutiranja u WMN mogu se podeliti na protokole zasnovane na topologiji mreže i protokole zasnovane na geografskoj poziciji čvorova. Novija istraživanja se uglavnom oslanjaju na proučavanje protokola rutiranja zasnovanih na topologiji mreže. Iz tog razloga, u ovom radu osnovni akcenat je stavljen na ove protokole. Oni se dele na reaktivne, proaktivne i hibridne protokole.

Proaktivni protokoli rutiranja zahtevaju da svaki čvor zna putanju do svakog drugog čvora u mreži u svakom trenutku. Prednost ovih protokola ogleda se u tome što nije potrebno vreme da se otkrije putanja od čvora do čvora, jer svaki čvor u svojoj tabeli rutiranja ima podatke o svim putanjama. Da bi se otkrile sve putanje između čvorova, potrebno je periodično slanje kontrolnih paketa ka svim čvorovima u mreži, tokom čitavog rada mreže. Iz tog razloga zauzimaju se veći resursi mreže, i to predstavlja manu ovih protokola.

Reaktivni protokoli rutiranja računaju i traže putanju između čvorova samo kada za to postoji potreba. Prednost ovih protokola je to što se smanjuje zauzimanje resursa tokom kontrole paketa, ali se povećava latentnost slanja prvog paketa jer je potrebno vreme da se postavi putanja na zahtev.

Hibridni protokoli rutiranja pokušavaju da iskoriste prednosti i jedne i druge vrste protokola, tako da se proaktivni protokoli koriste kod čvorova koji su blizu ili kod putanja koje se često koriste, a reaktivni protokoli kod čvorova koji su udaljeniji ili kod putanja koje se ređe koriste.

Protokoli rutiranja koji su opisani u radu predstavljaju najčešće korišćene protokole rutiranja u WMN. Osim njih, postoje mnoge modifikacije postojećih protokola rutiranja. Neke od njih su: *Dynamic On Demand MANET* (DYMO) [15], reaktivni protokol rutiranja koji ima *Route Discovery* i *Route Maintenance* mehanizme slične kao AODV, ili *Zone Routing Protocol* (ZRP) [16], hibridni protokol koji proaktivno rutira

bliske, a reaktivno udaljene čvorove, čime prevazilazi mane, a koristi prednosti obe metode.

U Tabeli 1. dat je pregled opisanih protokola rutiranja na osnovu navedene podele. Poslednja kolona tabele opisuje metriku koja se koristi u datom protokolu. Kao što je već rečeno, protokol rutiranja zadužen je da otkrije optimalnu putanju između čvorova u mreži. Pomoću njega je definisan način komunikacije između čvorova, i način otkrivanja putanja. Međutim, koja će putanja biti optimalna zavisi od toga po kom kriterijumu se bira putanja. To je definisano metrikom rutiranja. U Tabeli 1. vidi se da samo protokoli OSPF, HWMP i LQSR imaju mogućnost definisanja metrika kojim bi se izabrala optimalna putanja.

U ovom radu opisani su samo protokoli rutiranja za jednokanalne jednointerfejsne *mesh* mreže. Kako se pojavila potreba za većim protocima i bržim prenosima, jedan od načina prevazilaženja ovog problema je implementacija protokola koji rade sa više radio interfejsa na više različitih kanala. Jedno rešenje je implementacija adekvatnog protokola na MAC sloju, koji podržava rad sa više interfejsa i više kanala. U tom slučaju se mreža hardverski mora izmeniti. Drugi način je da se zadrži MAC protokol koji se koristi, u jednokanalnim jednointerfejsnim *mesh* mrežama uz hardversku implementaciju još jednog interfejsa, i modifikaciju protokola rutiranja. U tom slučaju potrebno je implemetirati dodatni sloj između mrežnog i MAC sloja, koji bi se bavio problemom dodele kanala radio interfejsima.

Tabela 1. Pregled protokola rutiranja.

Protokol	Proaktivni	Reaktivni	Hibridni	Lokacijski	Metrika
DSDV	X				Broj skokova
OLSR	X				Broj skokova
TBRPF	X				Broj skokova
OSPF	X				Metrika
FSR	X				Broj skokova
DSR		X			Broj skokova
AODV		X			Broj skokova
HWMP			X		Metrika
LQSR			X		Metrika
HSLs			X		Broj skokova
GPSR				X	Broj skokova
LGF				X	Broj skokova

Zahvalnica

Ovo istraživanje je podržano od strane Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekta TR32025.

Literatura

- [1] M.Mauve, J. Widmer, and H. Hartenstein, "A Survey on Position Based Routing in Mobile Ad Hoc Networks," *IEEE Network*, November/December 2001.

- [2] C.E.Parkins and P.Bhagwat, "Highly dynamic Destination Sequenced Distance Vector Routing (DSDV) for mobile computers," in *ACM Computer Communication Review*, vol 24, no 4 Oct 1994. pp. 234 – 244.
- [3] T. H. Clausen and P. Jacquet, "Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)," IETF Experimental RFC 3626, October 2003.
- [4] R. G. Ogier, F.L. Templin, and M.G. Lewis, "Topology Dissemination Based on reverse Path Forwarding (TBRPF)," IETF Experimental RFC 3684, February 2004.
- [5] D. Bertsekas, and R. Gallager, "Data Networks," Prentice-Hall, 1987.
- [6] Open Shortest Path, Cisco Documentation, Chapter 46
- [7] G. Pei, M. Gerla, T. W. Chen, "Fisheye state routing: a routing scheme for ad hoc wireless networks," in proc. *IEEE International Conf. Communications*, vol. 1, pp:70 - 74, 2000.
- [8] D. Johnson, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4," RFC 4728, *Microsoft Research*, Feb 2007.
- [9] C. E. Perkins, E.M. Belding – Royer and S.R.Das, "Ad Hoc On demand Distance Vector (AODV) routing," IETF Experimental RFC 3561, July 2003.
- [10] W. S. Conner, J. Kruys, K.J. Kim and J.C Zuniga: "*IEEE 802.11s Tutorial: Overview of the Amendment for Wireless Local Area Mesh Networking*", November 2006.
- [11] R .Draves, J. Padhye, and B. Zill, "Comparison of routing metrics for static multi-hop wireless networks," in *Proceedings of Conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, Portland, Oregon, USA, pp. 133 – 144, 2004.
- [12] C. Santivanez, and R. Ramanathan, "*Hazy Sighted Link State (HSLs) Routing: A Scalable Link State Algorithm.*" BBN technical memo BBN-TM-I30I, B BN technologies, Cambridge, MA, August 2001.
- [13] B. Karp, H.T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," *Mobicom 2000*, Boston, MA, August 2000.
- [14] M. Lim, A. Greenhalgh, J. Chesterfield, and J. Crowcroft, "Landmark Guided Forwarding," *ICNP 2005*, Boston, MA, November 2005.
- [15] I. Chakeres, E. Belding-Royer, and C.Perkins, "Dynamic MANET On Demand (DYMO) Routing," *IETF Internet Draft*, draft-ietf-manet-dymo.txt, October 2005.
- [16] Z. J. Haas, M. R. Pearlman, and P. Samar, "The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks," *IETF Internet Draft*, draft-ietf-manet-zone-zrp-04.txt, July 2002.

Abstract: *The main goal of routing protocol is finding the optimal route between source and destination node. Recent research has shown that there is a need for routing protocols specially designed for Wireless Mesh Networks – WMN. Routing protocols are very dependent of applications and network architectures, so there is a great intention of finding optimal routing protocol. In this paper short overview of routing protocols for WMN is given. Three basic types of routing protocols: proactive, reactive and hybrid protocols for single interface, single radio WMN were described.*

Keywords: *Wireless Mesh Networks, routing protocol.*

SURVAY OF ROUTING PROTOCOLS FOR WIRELESS MESH NETWORKS

Nataša Nešković, Marija Malnar, Nenad Jevtić