

MOBILNE AD-HOC MREŽE - MANET

MOBILE AD-HOC NETWORKS- MANET

Bratislav Mikarić | Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica | bratislav.mikaric@pr.ac.rs

Petar Spalević | Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica | petar.spalevic@pr.ac.rs

Branimir Jakšić | Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica | branimir.jaksic@pr.ac.rs

Sažetak

Na svetu je trenutno u 2018. godini 7,6 milijardi ljudi a 8,6 milijardi mobilnih uređaja. Kako su mobilni telefoni potpuno promenili značenje pojma biti dostupan, slična promena čeka i korisnike prenosnih računara, pa je samo pitanje vremena kada će nov način korišćenja prenosnih računara promeniti navike i učiniti život lakšim. Kako se savremeni čovek sve više navikava na dostupnost "mreže" (Interneta) na kojoj može pronaći gotovo svaku potrebnu informaciju, sve brže je integriše u svoj život, tako npr. ako želimo na brzinu saznati gde se može kupiti knjiga određenog autora ili o specifičnoj temi, koje su apoteke otvorene, da pronađemo ulicu itd... Danas se gotovo svuda nudi bežični pristup Internetu na aerodromima, restoranima, hotelima, a takvi pristupi su bazirani na prethodno postavljenoj infrastrukturi kao npr. bežična pristupna tačka (eng. Wireless Access Point) preko koje se svojim bežičnim uređajem spajate na Internet ili komunicirate s drugom osobom i razmenjujete podatke. Takav način pristupa Internetu dok ste u pokretu preko prenosnog računara zahtevalo bi infrastrukturu kao za GSM mrežu. Zato se pristupilo razvoju drugačijeg modela mreža a to su ad-hoc mreže, odnosno MANET-u (eng. Mobile Ad-hoc Networks), kao pod vrsti ad-hoc mreža.

Abstract

Currently in 2018, 7.6 billion people are in the world, and 8.6 billion mobile devices. As mobile phones have completely changed the meaning of the term to be available, a similar change in the way and laptops users is, so it is only a matter of time before the new way to use your notebooks will change your habits and make life easier. As modern man is becoming increasingly accustomed to the availability of the "network" (the Internet), where he can find almost every necessary information, he is increasingly integrating in his life, for example, if one wants to quickly find out where one can buy a book of a particular author, or on a specific topic, which pharmacies are open, how to find the street etc. Today, wireless internet access at airports, restaurants, hotels is almost everywhere, and such approaches are based on previously installed infrastructure such as wireless access point (wireless access point) through which you connect your device to the Internet or communicate with another person and exchange data. This way of accessing the Internet while on the go- via a laptop computer would require an infrastructure like the GSM network. That is why we started to develop a different network model, which are ad-hoc networks, that is, Mobile Ad-hoc Networks, as an ad-hoc network.

Ključne reči: mreže, mobilne mreže, MANET, bežične komunikacije

Keywords: networks, mobile networks, MANET, wireless communications

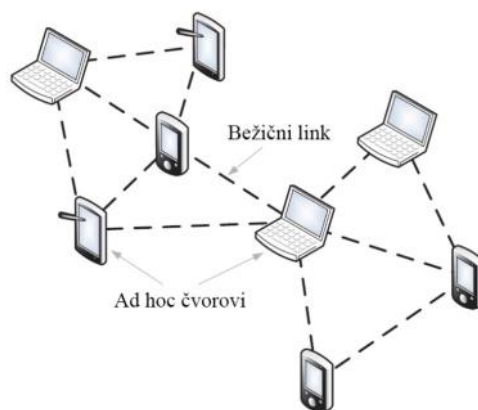
1. Uvod

Područje mobilnih uređaja sve je više popularno u posljednje dve decenije. Mobilni komunikacioni uređaji postaju sve manji, snažniji i ima ih sve više počevši od prenosnih računara (laptopova), ručnih računara (PDA), pa sve do mobilnih pametnih telefona.

U radu će biti opisan princip rada MANET mreža, njihova topologija, polja primene, kao i značaj u vanrednim situacijama, prirodnim katastrofama, požarima, zemljotresima, vojnoj industriji na terenu, ali i primena u obrazovanju van sedišta institucija, npr. u obrazovnim kampovima ili u nastavi u prirodi.

2. O MANET mreži

Mobile Ad-Hoc Network je dinamična pokretna mreža koja omogućuje bežično umrežavanje u pokretu bez potrebe za prethodno izgrađenom mrežnom infrastrukturom, a sastoji se od pokretnih čvorova (nodes), gde čvor može biti čovek sa ručnim računarom (opremljenim odgovarajućim uređajem za bežičnu komunikaciju), takođe prenosni računar, roboti bez posade, tj. bilo ko može biti čvor ko je opremljen odgovarajućom opremom za bežičnu komunikaciju.



Slika 1: Mobilna Ad-hoc mreža koju čine uređaji povezani bežičnim putem [3]

Čvorovi u takvoj mreži mogu biti vrlo pokretni pa uzrokuju vrlo brzu promenu položaja čvorova, a time i stvaranje i gašenje veza među njima. Kako su čvorovi neprestano u pokretu znači da je topologija mreže promenljiva. Time se zahteva da mreža mora biti sposobna da izlaskom nekog čvora ili više njih, poslata informacija ne propadne već da sama pronađe novi put do određeniog čvora. Svrha MANET-a je da osigura mrežu koja može da se odmah postavi u proizvoljnom komunikacionom okruženju i da se brzo prilagođava na topološke promene u mreži. Moguće situacije u kojima bi mogao da se koriste ovakav način komunikacije: pri zajedničkoj akciji spasavanja policije, vatrogasaca i hitne pomoći, u vojnim operacijama, sastanci i konferencije gde se razmenjuju podaci bez potrebe za posebnom mrežnom infrastrukturom, mreža senzora – u komunikaciji među inteligentnim sensorima.

MANET mreža može raditi kao samostalna mreža, ili se može integrisati sa spoljnim mrežama, kao što je globalna internet mreža preko gejtvėja (engl. gateway).

MANET mreže omogućavaju mrežnu povezanost koja se može relativno brzo postaviti u proizvoljnom komunikacionom okruženju. Upotreba mobilnih ad-hoc bežičnih mreža može se naći na prostorima gde se standardna mrežna infrastruktura teško može razviti, kao što su vojna borbena polja, scenariji katastrofa i spasilačkih operacija. S obzirom na to da se bežične tehnologije neprestano razvijaju, primena mobilnih ad-hoc mreža postaje moguća i u civilnom okruženju komunikacije sa ličnim uređajima, kao što su PDA uređaji, mobilni telefoni i prenosni računari.

2.1 Pregled postojećih radova

U istraživanju [10] predstavljeni su tačka–tačka (engl. unicast), tačka – više tačaka (engl. multicast) i emisioni (engl. broadcast) protokoli rutiranja namenjeni za primenu u MANET mrežama.

Komparativnom analizom različitih protokola rutiranja autori su došli do zaključka da različiti protokoli rutiranja imaju različite prednosti i nedostatke. Stoga, nijedan protokol rutiranja ne može biti adekvatan za primenu u svim mogućim scenarijima i tipovima prenošenog saobraćaja u MANET mrežama.

U radu [12] autori su pokazali da mobilna Ad-hoc mrežna arhitektura omogućuje jeftino i jednostavno ostvarivanje mrežnih usluga gotovo bilo gde i bilo kada. Pored pristupa internetu, krajnji korisnici najčešće traže i upotrebljavaju multimedijalne aplikacije. Međutim, one nameću stroga ograničenja kvaliteta servisa u vidu propusnog opsega, kašnjenja i gubitka paketa.

U radu [7] data je komparativna analiza različitih tačka–tačka protokola rutiranja. Autori su sprovedli eksperimentalna merenja na osnovu kojih su prezentovali prednosti i nedostatke različitih pristupa.

Pokazano je da je naučna oblast istraživanja protokola rutiranja u mobilnim Ad-hoc mrežama aktuelna tema brojnih naučnih radova, te da se mogu očekivati novi naučni doprinosi u ovoj oblasti.

3. Model MANET-a i komunikaciono okruženje

Spomenućemo pretpostavke vezane uz komunikacione parametre, mrežnu arhitekturu i mrežni saobraćaj:

- čvorovi su opremljeni prenosivim komunikacijskim uređajima koji se napajaju iz baterija, a vek trajanja baterije nameće ograničenja u području dometa signala, a time i u komunikacionoj aktivnosti (slanje i primanje podataka) i u računarskoj snazi takvih uređaja
- veza između čvorova nije prelazna, tj. ako čvor A može da komunicira direktno s čvorom B, a čvor B direktno komunicira s čvorom C, to ne znači da čvor A može direktno da komunicira s čvorom C. To je tzv. problem skrivenog terminala
- pretpostavićemo da čvorovi koriste stalne indentifikacione oznake (kao npr. IP adrese)
- svaki čvor ima iste mogućnosti, odnosno svaki čvor je sposoban da izvršava neku od funkcija iz iste grupe mrežnih servisa, pa ipak ne moraju svi čvorovi, nužno, izvršavati istu funkciju istovremeno.

Takođe, ako čvor ima neku zadatu funkciju u mreži to ne znači da je njegova funkcija nepromenljiva nego se vremenom i sa potrebama menja.

MANET je peer-to-peer mreža koja omogućava direktnu komunikaciju s bilo koja dva čvora kad postoje uslovi za slanje signala i kada čvorovi imaju dovoljno snage za odašiljanje signala. Ako između početnog i odredišnog čvora ne postoji direktna veza tada se koristi multihop način uspostavljanja veze.

Dakle, celokupna komunikacija među entitetima ove mreže se ostvaruje slanjem radio signala, ali propagacija takvog signala jako je osetljiva na različita pogoršanja u komunikacionom kanalu pa spojenost čvorova u mreži nije garantovana, štaviše povremeni prekidi a i povremena spojenost su gotovo normalna pojava. Većina prenosnih uređaja imaju ograničene izvore energije (baterije), pa zbog toga snagu kojom se odašilje signal treba što je moguće više smanjiti. Osim toga domet signala svakog uređaja je ograničen, a i kanal koji koristi svaki mobilni uređaj je i prostorno ograničen, jer više uređaja može da koristi isti komunikacioni kanal samo ako su dovoljno udaljeni jedan od drugoga. To ima za posledicu, pošto je domet svakog uređaja mnogo manji nego što je raspon mreže, da komunikacija među dva čvora

zavisi od čvorova koji se nalaze između njih, tj. bez njih ne bi ni mogla biti uspostavljena komunikacija između dva najudaljenija čvora. Zbog mogućih brzih kretanja čvorova i promjenjivih uslova širenja signala (propagacije) mrežne informacije, kao što su ruting tabele postaju jako brzo nekorisne. Tako česta rekonfiguracija mreže može uzrokovati čestu izmenu kontrolnih informacija među čvorovima, a koje služe da bi se ruting tabele obnovile i da bi svaki čvor mogao znati oblik i trenutno stanje mreže. Međutim, kako te informacije imaju kratko trajanje, što znači da se izmenjuje veliki broj kontrolnih poruka, većina tih informacija neće biti ni iskorištena. To znači da je frkvencijski propusni opseg - bandwidth korišćen za slanje kontrolnih informacija uzaludno trošen, odnosno na taj način može doći do zagušenja veze.

3.1 Zahtevi za MANET

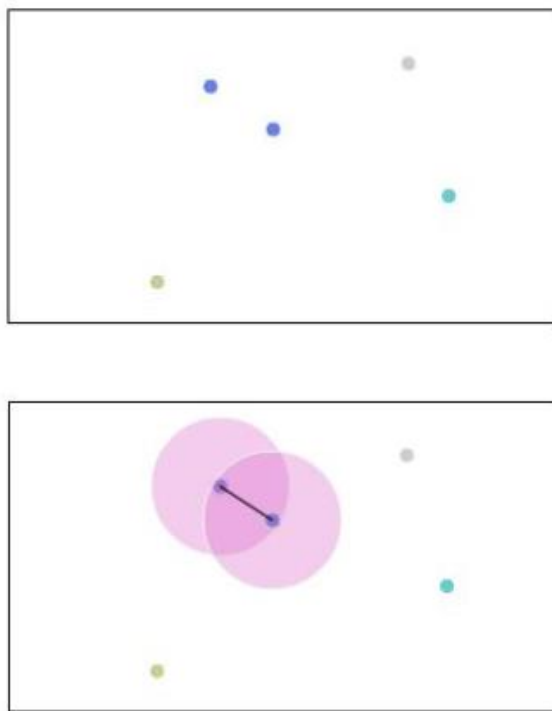
Dakle na bazi prethodno predloženog modela od MANET-a se očekuje:

- robusno usmeravanje (eng. robust routing) i algoritmi za praćenje promene topologije mreže da bi se povećala pouzdanost i dostupnost – da se smanji mogućnost da deo mreže ostane izolovan od ostatka mreže
- adaptivni algoritmi i protokoli da se čvorovi mogu prilagoditi čestoj promeni propagacije signala, promeni topologije mreže i uslovima saobraćaja u mreži
- protokole i algoritme koji će slati što manje kontrolnih poruka da štede komunikacione resurse (kanale)
- višestruke (različite) rute između izvorišnog i odredišnog čvora – da ne dolazi do protoka saobraćaja samo između određenih čvorova, tj. da ne dolazi do zagušenja na toj ruti, te da se poveća pouzdanost
- robusnu mrežnu arhitekturu da se izbegne osetljivost na greške u mreži, zagušenja na čvorovima koji imaju veliki broj čvorova vezanih na sebi.

4. Princip rada MANET mreže

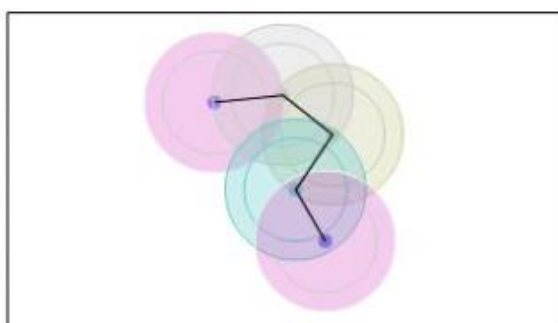
Ako odredimo dva čvora koji žele međusobno da komuniciraju (na slici plavi), a moći će direktno da komuniciraju ako se nalaze jedan drugome u području doseg signala i takav način komunikacije među čvorovima naziva se Singlehop.

Dok se Multihop način komuniciranja odvija kada čvorovi koji žele da komuniciraju nisu u doletu, ali vezu mogu ostvariti samo ako među njima postoji dovoljan broj čvorova tako da je između svaka dva susedna čvora ostvarena direktna komunikacija (singlehop).



Slika 2: Komuniciranje dva čvora u MANET mreži - Singlehop

Svaki čvor u takvoj mreži osim što je odredište informacionih paketa i takođe vrši funkciju usmerivača za pakete koji imaju druge odredišne čvorove. Znači čvorovi međusobno zavise jedan od drugoga da bi veza u mreži postojala.



Slika 3: Multihop način komuniciranja u MANET mreži

Pošto ne postoji centralni element u takvoj mreži neophodno je koristiti posebne protokole, koji osim što osiguravaju prosleđivanje paketa od čvora do čvora, moraju pronaći odgovarajući put od izvorišnog do odredišnog čvora i proveravati da li veza još postoji ili da li je prekinuta pa u slučaju prekida određene rute pronaći novu i uspostaviti vezu.

4.1 Protokoli

Za razliku od standardnih i bežičnih mreža u ad-hoc mrežama ne postoji postavljena infrastruktura ni neka centralna jedinica koja bi nadgledala i upravljala radom mreže. Zbog takve mrežne arhitekture i prirode ad-hoc mreže (česte promene topologije mreže) standardni protokoli za usmeravanje (eng. routing) i ostali standardni protokoli ne mogu biti korišćeni, pa se koriste tzv. distributivni protokoli. Zato najvažniju ulogu u razvoju MANET-a ima upravo razvoj algoritama za protokole koji će moći da se prilagode mreži i zahtevima koji su ranije navedeni.

Odsustvo namenskih rutera otežava ostvarivanje bezbednosti u Ad-hoc bežičnim mrežama. Ovaj zadatak je još teži usled mobilnosti čvorova, ograničene procesorske snage i ograničene dostupnosti resursa, kao što su napajanje i propusni opseg. Protokoli rutiranja namenjeni za

upotrebu u tradicionalnim kablovskim mrežama ne mogu se koristiti u MANET mrežama. Specifične karakteristike ovih mreža zahtevaju posebne protokole rutiranja koji se bave rešavanjem identifikovanih izazova u ovim mrežama [11]. Takvi protokoli rutiranja treba da poseduju karakteristike navedene na slici 4

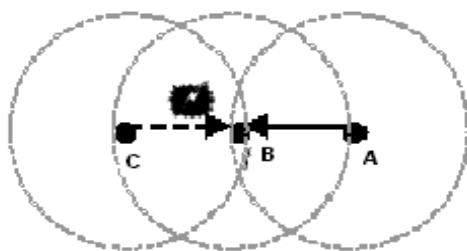


Slika 4: Karakteristike protokola rutiranja u mobilnim Ad-hoc mrežama [3]

Upotrebljivost nekog od postojećih protokola za MAC sloj, kao npr. CSMA (Carrier Sense Multiple Access) u području radio signala je ograničena zbog problema "Skrivenog čvora" i "Izloženog čvora".

4.2 Problem skrivenog čvora

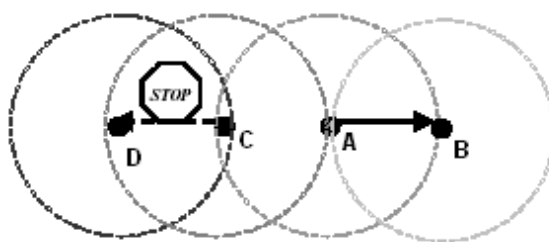
Problem se javlja jer su mreže koje rade s radio signalima potpuno drugačije od mreža kao npr. LAN jer na primer ne garantuju tako dobru spojenost kao LAN. Kao što smo već rekli veza među čvorovima nije prelazna. Znači dok čvor A komunicira s čvorom B čvor C takođe želi da komunicira s čvorom B, ali kako je veza neprelazna on pomoću standardnog protokola CSMA ne može čuti da je A trenutno u komunikacionom kanalu zbog "prepreke", čvora B, pa zaključuje da je medijum slobodan i da može da komunicira s čvorom B. Što za posledicu ima da dolazi do kolizije na čvoru B, kao što je prikazano na slici 5.



Slika 5: Problem skrivenog čvora

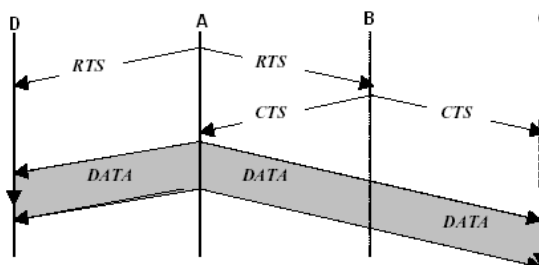
4.3 Problem izloženog čvora

U ovom slučaju čvor A komunicira s čvorom B, dok čvor C želi da uspostavi komunikaciju s čvorom D. Koristeći CSMA protokol, čvor C osluškuje da li neko koristi medijum, pa čuje čvor A da je trenutno koristi medijum, pa ne pokušava da komunicira s čvorom D. Iako nema razloga zašto čvor C ne bi mogao da komunicira s čvorom D dok je A u komunikaciji s B, jer čvor B nije u dometu signala čvora C te ne bi došlo do kolizije kao što ni D nije u dometu čvora A.



Slika 6: Problem izloženog čvora

Problemi su rešeni korištenjem MASA protokola (Medium Access Collision Avoidance). U MASA protokolu, pre slanja podataka prvo se uspostavlja tzv. RTS/CTS komunikacija. Čvor A želi da komunicira i prvo što radi je da šalje kontrolni paket RTS (Request To Send), kojeg čuju svi čvorovi te neće pristupiti komunikacionom kanalu dok RTS/CTS dijalog ne završi. Odredišni čvor nakon prijema RTS paketa odgovara sa drugim kratkim kontrolnim paketom CTS (Clear To Send). Taj paket takođe čuju svi čvorovi pa neće pokušati da pristupaju kanalu dok god traje slanje paketa s podacima. Dok za čvor A prijem CTS paketa da je RTS/CTS komunikacija uspešno završila i da može početi slanje paketa sa podacima.



Slika 7: Protokol MASA (Medium Access Collision Avoidance).

5. Ruting protokoli u MANET-u

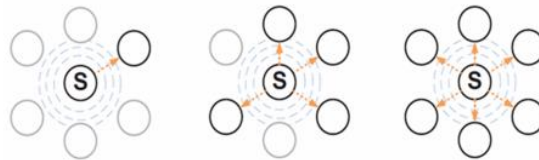
Problem usmerivanja (ruting-a) u osnovi je problem pronalaženja najkraćeg puta. Osnovni zahtevi za čvorove u procesu usmerivanja paketa i pronalaženja rute do odredišnog čvora:

- svaki čvor mora imati informaciju o svojim susednim čvorovima, odnosno gde oni mogu proslediti pakete
- svaki paket podataka sadrži informaciju o odredišnom čvoru u svom zaglavlju
- svaki čvor ima svoju routing tabelu u kojoj se nalazi popis čvorova u mreži, za koje čvor trenutno zna da postoje, odnosno ne zna zbog česte promene topologije mreže, na osnovu koje prosleđuje pakete
- kada čvor primi paket podataka, on ga prosleđuje susednom čvoru. To prosleđivanje vrši svaki čvor koji se nalazi na ruti prema odredištu dok paket ne stigne na odredište

5.1 Klasifikacija postojećih MANET protokola rutiranja

Glavni ciljevi protokola rutiranja jesu pronalaženje i održavanje ruta između čvorova u dinamičnoj topologiji uz korišćenje minimalnih resursa. Protokol je skup standarda ili pravila za razmenu podataka između dva uređaja. Protokoli rutiranja svrstani su prema načinu prosleđivanja paketa u:

- tačka– tačka,
- tačka – više tačaka i
- emisione protokole rutiranja (slike 8 i 9).

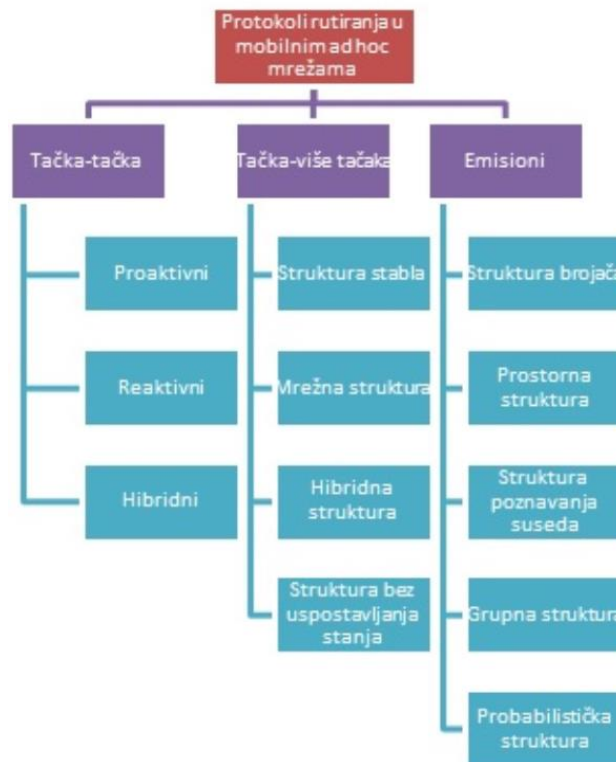


a) Tačka-tačka b) Tačka – više tačaka c) Emisioni

Slika 8 – Klasifikacija MANET protokola rutiranja zasnovana na načinu prosledivanja paketa [3]

Tačka – više tačaka (engl. multicast) protokoli rutiranja koriste se kada jedan čvor treba da pošalje istu poruku, ili tok podataka, na više destinacija. Tačka – više tačaka je prenos podataka od jednog čvora do n prijemnika, što znaci da će samo jedna kopija poruke biti dostavljena svim prijemnicima. Time će komunikacioni troškovi biti smanjeni u odnosu na slučaj kada bi jedinstvenu poruku tačka-tačka mehanizmom trebalo dostaviti višestrukim prijemnicima. Zbog svojih karakteristika, tačka – više tačaka neretko je pogodniji mehanizam komunikacije [6]. Ipak, najbolji rezultati ostvaruju se primenom odgovarajuće klase protokola rutiranja za njima odgovarajuće namene.

Emisioni protokol (engl. broadcast) jeste emitovanje od jednog ka svim ostalim čvorovima u mreži. Emisija (engl. broadcast) jeste osnovni režim rada na bežičnom kanalu. Naime, svaka poruka koja se prenosi na bežičnom kanalu primljena je na svim susedima koji se nalaze na rastojanju od jednog skoka (engl. hop) od pošiljaoca.



Slika 9: Klasifikacija MANET protokola rutiranja [3]

Pored toga, protokoli rutiranja mogu se klasifikovati prema tome da li je adresna topologija ravna ili hijerarhijska, ili na osnovu korišćenja određenih resursa. Ove kategorije nisu međusobno isključive, jer pojedini protokoli rutiranja mogu biti svrstani u više grupa.

5.2 Tačka-tačka protokoli rutiranja

Rutiranje je najosnovnija funkcija u mrežama za ostvarivanje komunikacije i prenosa paketa. Da bi MANET mreža bila prakticno upotrebljiva, funkcionalan i efikasan tačka-tačka protokol rutiranja je neophodan [9]. Tačka-tačka protokoli rutiranja kreirani za upotrebu u mobilnim

Ad-hoc bežičnim mrežama mogu se klasifikovati po mehanizmu ažuriranja informacija o rutama u tri kategorije:

- proaktivne (periodične),
- reaktivne (na zahtev) i
- hibridne.

5.3 Proaktivni protokoli rutiranja

Kod proaktivnih (periodičnih) protokola rutiranja svaki čvor održava jednu ili više tabela kako bi sačuvao mrežnu topologiju i informacije o rutama. Ove tabele često se ažuriraju periodičnom razmenom informacija o rutama, koje se uopšteno emituju kroz celu mrežu. Proaktivni protokoli rutiranja međusobno se razlikuju po načinu otkrivanja i ažuriranja informacija o rutama, kao i po vrstama informacija koje se čuvaju u tabelama rutiranja.

Proaktivni protokoli rutiranja održavaju aktuelnim tabele rutiranja kroz periodične kontrolne poruke. Stoga, proaktivni protokoli rutiranja uvek imaju kompletnu tabelu rutiranja i spremni su da razmenjuju pakete u bilo kom trenutku. Svaki čvor održava jednu ili više tabela za skladištenje informacija o rutama. Čvorovi reaguju na promene u topologiji mreže propagiranjem ispravki kroz mrežu, radi održavanja konzistentnosti. Oblasti u kojima se različiti protokoli rutiranja razlikuju jesu broj potrebnih tabela vezanih za rutiranje i tehnike kojima čvorovi emituju promene u mrežnoj strukturi.

Ovaj tip protokola održava sveže liste destinacija i njihovih ruta periodičnim distribuiranjem tabela rutiranja kroz mrežu. Glavni nedostaci ovih algoritama su velika količina aktivnih ruta za održavanje i spora reakcija na restrukturiranje i otkaze.

5.4 Reaktivni protokoli rutiranja

Reaktivni protokoli rutiranja, poznati i kao protokoli rutiranja na zahtev, predloženi su isključivo za mobilne Ad-hoc bežične mreže. Osnovna karakteristika ovih mreža je njihova dinamična topologija. S obzirom na to da protokoli rutiranja prate promenu topologije, redovno ažuriranje globalne topologije je neophodno na svakom čvoru. Ponekad dobijene informacije o rutama mogu isteći pre nego što se za njima ukaže potreba, što dodatno komplikuje stvari i utiče na rasipanje propusnog opsega. Koncept reaktivnih (na zahtev) protokola rutiranja osmišljen je kako bi se smanjila količina nepotrebnih ispravki ruta, a samim tim i iskorišćenost kapaciteta veza.

Reaktivni protokoli rutiranja, za razliku od proaktivnih, ne održavaju informacije o mrežnoj topologiji i ruti do svakog čvora unutar mreže. Rute se pronalaze kada se za to ukaže potreba (na zahtev) korišćenjem procesa otkrivanja ruta. Generalno, kada je ruta potrebna sa izvora A propagira se zahtev unutar mreže kako bi se pronašla ruta do željenog odredišta B. Kada čvor B primi zahtev za rutom (engl. Route Request, RREQ) on šalje odgovor za rutom (engl. Route Response, RREP) nazad ka čvoru A. Kada se RREQ zahtev pošalje putem dvosmerne veze, RREP se šalje nazad kroz isti link. Kod reaktivnih protokola rutiranja koriste se osnovne metode za otkrivanje ruta i njihovo održavanje. Jednom otkrivena ruta održava se dokle god je odredište dostupno duž svake rute od izvora ili dokle god je ruta potrebna

Reaktivni protokoli rutiranja mogu se kategorizovati prema načinu prenošenja ruta kao:

- navođenje tačne rute i
- od tačke do tačke.

Kod protokola rutiranja sa navođenjem tačne rute (engl. source routing) svi paketi podataka nose kompletne adrese duž rute od izvornog do odredišnog čvora. Dakle, paket podataka se na osnovu svog zaglavlja upućuje ka odredištu duž ranije uspostavljene rute. Prednosti korišćenja ove vrste protokola su nepostojanje potrebe za održavanjem aktivne rute ka odredištu na čvorovima koji se nalaze duž date rute.

Kod protokola rutiranja „skok po skok“ (engl. hop-by-hop) u paketu podataka treba navesti samo destinaciju i adresu sledećeg skoka. Čvorovi se tako koriste za prosleđivanje paketa ka odredištu duž rute. Korišćenje tabele rutiranja na svakom čvoru u mreži obezbeđuje prednost protokolu rutiranja „skok po skok“, jer dinamičko ažuriranje mrežne topologije osigurava da čvorovi dobijaju najnovije informacije o topologiji i samim tim mogu da prosleđuju pakete podataka duž najboljih ruta.

Reaktivni protokoli rutiranja mogu se brzo prilagoditi promenama ruta. Takođe, ne zahtevaju prekomerno iskorišćenje resursa usled periodičnih kontrolnih poruka ukoliko su rute sačuvane u okviru tabele rutiranja ili ukoliko se mreža nalazi u stanju mirovanja. Međutim, otkrivanje novih ruta na zahtev stvara prekomerno plavljenje mreže koje može dovesti do zagušenja, a neretko su loše rute otkrivene. Kao rezultat, javlja se gubitak paketa prilikom prenosa i veliko kašnjenje prilikom uspostavljanja novih ruta.

5.5 Hibridni protokoli rutiranja

Hibridni protokoli rutiranja pokušavaju da iskombinuju najbolje karakteristike proaktivnih i reaktivnih protokola rutiranja. Često se sastoje od dva klasična protokola rutiranja:

- proaktivnog (periodičnog), i
- reaktivnog (na zahtev).

Hibridni protokoli rutiranja dele mrežu u oblasti koje se nazivaju zone, koje mogu biti preklapajuće ili nepreklapajuće, u zavisnosti od algoritma koji se koristi kod određenog hibridnog protokola rutiranja. Zona rutiranja određenog čvora može se definisati kao udaljenost od tog čvora ili kao deo određenog geografskog područja. Proaktivni protokol rutiranja funkcioniše unutar zona i odgovoran je za uspostavljanje i održavanje ruta do odredišta koja se nalaze unutar zona. S druge strane, reaktivni protokol rutiranja odgovoran je za uspostavljanje i održavanje ruta ka odredištima koja se nalaze izvan zona.

5.6 Tačka – više tačaka protokoli rutiranja

Tačka – više tačaka protokoli rutiranja mogu se klasifikovati prema načinu kreiranja ruta u četiri kategorije [5]:

- struktura stabla,
- mrežna struktura,
- hibridna struktura i
- struktura bez uspostavljanja stanja.

5.7 Emisioni protokoli rutiranja

Emisioni protokoli rutiranja mogu se svrstati u sledeće kategorije [14]:

- struktura brojača,
- prostorna struktura,
- struktura poznavanja suseda,
- grupna struktura i
- probabilistička struktura.

5.8 Poređenje tačka–tačka protokola rutiranja

Proaktivni protokoli rutiranja oslanjaju se na mehanizam ažuriranja tabele rutiranja koji podrazumeva stalno propagiranje informacija o rutama, bez obzira na to da li se i koliko često ove rute koriste. S druge strane, kod proaktivnih protokola rutiranja sve informacije o rutama

uvek su na raspolaganju u tabeli rutiranja svakog čvora. Ova karakteristika, iako korisna, generiše značajnu količinu kontrolnog saobraćaja unutar mreže i znatnu potrošnju energije. Pošto su propusni opseg i baterijsko napajanje ograničeni resursi unutar MANET mreže, to postaje ozbiljno ograničenje [13].

Prednost proaktivnih protokola rutiranja ogleda se u činjenici da se ruta do odredišta može odmah odrediti, bez odlaganja. Nedostaci su generisanje veće količine kontrolnog saobraćaja i samim tim većeg korišćenja propusnog opsega, čak i kada se mreža nalazi u stanju mirovanja, što može dovesti do zagušenja mreže. Pored toga, proaktivni protokoli rutiranja sporije reaguju na topološke promene unutar mreže. Stoga, proaktivni protokoli rutiranja preporučuju se za upotrebu u mobilnim Ad-hoc mrežama sa umerenom dinamikom.

Nasuprot njima, kod reaktivnih protokola rutiranja znatno niža vrednost propusnog opsega koristi se za održavanje tabele rutiranja. Takođe, energetske su efikasniji. Međutim, kod reaktivnih protokola rutiranja čvor koji želi ostvariti komunikaciju sa udaljenim čvorom do kojeg ne poznaje rutu moraće sačekati dok takva ruta ne bude otkrivena, čime se ostvaruje znatno veće kašnjenje pri uspostavljanju komunikacije. Reaktivni protokoli rutiranja preporučuju se za upotrebu u mobilnim Ad-hoc mrežama kod kojih čvorovi imaju visok stepen mobilnosti.

Reaktivni protokoli rutiranja suočavaju se sa problemom skaliranja, kada u mreži postoji veliki broj čvorova. Obim ovog problema zavisi od toga koji reaktivni protokol rutiranja se koristi i od posmatranog scenarija.

Hibridni protokoli rutiranja teoretski su napredniji od čisto proaktivnih i reaktivnih protokola rutiranja. Međutim, preterana kompleksnost u njihovoj praktičnoj realizaciji, kao i činjenica da njihova efikasnost u velikoj meri zavisi od broja čvorova koji iniciraju saobraćaj ka odredišnim čvorovima, kao i zone u okviru koje se nalaze, čine hibridne protokole rutiranja manje zastupljenim.

5.9 Izbor tačka–tačka protokola rutiranja u MANET mreži

Kada je reč o izboru protokola rutiranja unutar MANET mreže, reaktivni pristup ostvaruje bolje rezultate kada je mobilnost čvorova visoka i kada je količina saobraćaja koja se prenosi između čvorova mala. S druge strane, proaktivni protokoli rutiranja preporučljivi su kada je mreža generalno statična i kada je količina generisanog saobraćaja između čvorova visoka. Ako je potrebno ostvariti balans između različitih modela mobilnosti čvorova i različitih količina generisanog saobraćaja među čvorovima unutar jedne mreže, preporučuje se upotreba hibridnih protokola rutiranja koji kombinuju obe klase protokola – proaktivne i reaktivne.

Sumarne karakteristike proaktivnih, reaktivnih i hibridnih tačka–tačka protokola rutiranja prikazane su u tabeli 1 [4].

Tabela 1 – Sumarne karakteristike proaktivnih, reaktivnih i hibridnih tačka-tačka protokola

<i>Karakteristika</i>	<i>Proaktivni (periodični)</i>	<i>Reaktivni (na zahtev)</i>	<i>Hibridni</i>
Organizacija mreže	Ravna/hijerarhijska	Ravna	Hijerarhijska
Širenje topoloških informacija	Periodično	Na zahtev	Oba metoda
Dostupnost ruta i kašnjenje	Uvek su dostupne, bez kašnjenja	Dostupne su po potrebi	Oba metoda
Suočavanje sa mobilnošću čvorova	Periodične ispravke	Održavanje ruta	Oba metoda
Količina generisanih kontrolnih poruka	Visoka	Niska	Srednja

6. Zaključak

U doba savremenih mobilnih bežičnih komunikacionih sistema kada broj mobilnih uređaja nadmašuje broj ljudi koji žive na planeti za čitavu milijardu, nezaobilazno važno mesto zauzimaju mobilne mreže koje se stvaraju u nepredvidivim uslovima, na terenu – takozvane Ad-hoc mobilne mreže – MANET.

Topologija mobilnih Ad-hoc mreža može biti dinamična i nepredvidljiva. Tradicionalni protokoli rutiranja koji se koriste kod kablovskih mreža ne mogu biti direktno primenjeni na mobilne Ad-hoc bežične mreže, jer brojne usvojene pretpostavke ne važe u mobilnom bežičnom okruženju.

Tako, na primer, jedna od pretpostavki je da čvor može primiti bilo koju emitovanu poruku od drugih čvorova unutar iste podmreže (engl. subnet). Međutim, to nije slučaj kod čvorova u bežičnoj MANET mreži, usled činjenice da je propusni opseg kod ove vrste mreža ograničen. Dakle, model MANET mreža uvodi brojne izazove za protokole rutiranja.

Svaki model protokola rutiranja se ponaosob bolje ponaša u određenom okruženju. Nijedan od njih nije savršen za primenu u svim opsezima mobilnosti čvorova, količine generisanog saobraćaja, broja čvorova i sl. Zbog svojih karakteristika, tradicionalni protokoli rutiranja koji se koriste za kablovske mreže ne preporučuju se za upotrebu u MANET mrežama.

Tri glavne grupe tačka-tačka protokola rutiranja su proaktivni, reaktivni i hibridni protokoli rutiranja.

Osnovna karakteristika proaktivnih protokola rutiranja jeste činjenica da svaki čvor održava rute do svih drugih čvorova u mreži. Čvorovi povremeno ažuriraju ove informacije, bez obzira na to da li se date rute koriste.

S druge strane, kod reaktivnih protokola rutiranja čvorovi pronalaze rute samo između onih čvorova koji žele ostvariti komunikaciju. Ova vrsta protokola rutiranja efikasnije koristi propusni opseg bežičnih veza i ograničene resurse mobilnih čvorova.

Kod proaktivnog pristupa osnovni problem je visok stepen iskorišćenja resursa i protoka kada to nije neophodno. Kod reaktivnog pristupa glavni problem je kašnjenje prilikom uspostavljanja novih ruta. Kod oba proaktivna i reaktivna pristupa javlja se problem skalabilnosti.

Radi ublažavanja ovih problema nastala je nova hibridna vrsta tačka-tačka protokola rutiranja. Hibridni protokoli rutiranja kombinuju proaktivni i reaktivni pristup kako bi postigli bolje performanse.

Međutim, nijedan od postojećih protokola rutiranja nije pogodan za mobilne Ad-hoc mreže sa velikim brojem čvorova, ukoliko svaki od čvorova ima različitu brzinu kretanja i količinu generisanog saobraćaja.

Činjenica da je priroda protokola rutiranja proaktivna ili reaktivna ima dalekosežne posledice na performanse protokola rutiranja u različitim scenarijima.

Glavne razlike ogledaju se prvenstveno u načinu otkrivanja i održavanja ruta, što diktira dalje ponašanje protokola rutiranja. Generalno, proaktivni protokoli rutiranja pogodni su za primenu u mrežama sa visokim kapacitetom veza, dok reaktivni protokoli rutiranja bolje funkcionišu u mrežama niskih kapaciteta.

Svakako primena savremenih MANET mreža je izuzetna i potrebno je kontinuirano pratiti, proučavati i unapređivati protokole u mobilnim ad-hoc mrežama jer su one svakim danom sve zastupljenije.

Bibliografija

1. <https://www.connected-uk.com/more-mobile-devices-in-the-world-than-people-how-many-do-you-have/> pristupljeno februara 2018.
2. Rudančić D. "Sustavi za praćenje i vođenje procesa - Mobilne ad-hoc mreže (MANET)", Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2004, Zagreb
3. Dejan M. Tepšić, Mladen Đ. Veinović „Klasifikacija MANET protokola rutiranja“, Vojnotehnički Glasnik / Military Technical Courier, 2015., Vol. LXIII, No. 1
4. Gill, A., Diwaker, C., 2012, Comparative Analysis of Routing in MANET, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 2(7), pp.309–314.
5. Junhai, L., Danxia, Y., Liu, X., Mingyu, F., 2009, A Survey of Multicast Routing Protocols for Mobile Ad-Hoc Networks, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 11(1), pp.78–91.
6. Kant, K., Awasthi, L. K., 2010, Unicast and Multicast Routing Protocols for MA- NETs: A Comparative Survey, International Journal of IT & Knowledge Management (IJITKM), Special issue.
7. Kaur, R., Rai, M. K., 2012, A Novel Review on Routing Protocols in MANETs, Undergraduate Academic Research Journal (UARJ), 1(1), pp.103–108.
8. Kumar, A., Sharma, D., Kumar, S., Shukla, S., 2013, Performance Valuation of Re- active Routing Protocols, International Journal of Research in Computer Applications and Robotics, 1(6), pp.39–44.
9. Mani, U., 2013, Chandrasekaran, R., Dhulipala, S., Study and Analysis of Routing Protocols in Mobile Ad-hoc Network, Journal of Computer Science, 9(11), pp.1519–1525.
10. Pathak, S., Jain, S., 2013, A Survey: On Unicast Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Network, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 3(1), pp.204–210.
11. Ranjan, P., Ahirwar, K. K., 2011, Comparative Study of VANET and MANET Routing Protocols, Proceedings of the International Conference on Advanced Computing and Communication Technologies, pp.517–523.

12. Sondi, P., Gantsou, D., Lecomte, S., 2010, Performance Evaluation of Multimedia Applications Over an OLSR-Based Mobile Ad Hoc Network Using OPNET, Proceedings of the 12 th International Conference on Computer Modelling and Simulation, pp. 567–572.
13. Stefanović, R., Pavlović, B., 2013, Sigurnost protokola rutiranja u ad hoc mrežama i mogući napadi u mreži, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, 61(2), pp.200–217.
14. Williams, B., Camp, T., 2002, Comparison of Broadcasting Techniques for Mobile Ad Hoc Networks, Proceedings of the 3rd ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc), pp.194–205.

Istorija rada:

Rad primljen: 27.07.2018.

Prva revizija: 26.09.2018.

Prihvaćen: 05.11.2018.