

ПРЕГЛЕДНИ ЧЛАНЦИ  
REVIEW PAPERS  
ОБОЗОРНЫЕ СТАТЬИ

## KLASIFIKACIJA MANET PROTOKOLA RUTIRANJA

*Dejan M. Tepšić, Mladen Đ. Veinović*  
Univerzitet Singidunum, Beograd,  
e-mail: dejan.tepsic.10@singimail.rs; mveinovic@singidunum.ac.rs

DOI: 10.5937/vojtehg63-5706

OBLAST: telekomunikacije  
VRSTA ČLANKA: pregledni članak  
JEZIK ČLANKA: srpski

### Sažetak:

*Mobilne ad hoc mreže (MANET) jesu samokonfigurišuće mreže čvorova povezanih bežičnim vezama bez bilo kakvog oblika centralizovanog upravljanja. Trenutno su jedan od najvažnijih istraživačkih predmeta zbog velikog broja različitih primena (vojna, spasilačka itd.). U MANET mrežama svaki čvor istovremeno je terminal i ruter. Stoga svaki čvor mora biti sposoban da prosleđuje pakete do ostalih čvorova. Usled mobilnosti čvorova topologije kod ovih mreža sklone su čestim promenama. Tradicionalni protokoli rutiranja razvijeni za kablovske mreže ne mogu efikasno da rade u MANET mrežama, pa su za njih razvijeni posebni protokoli rutiranja.*

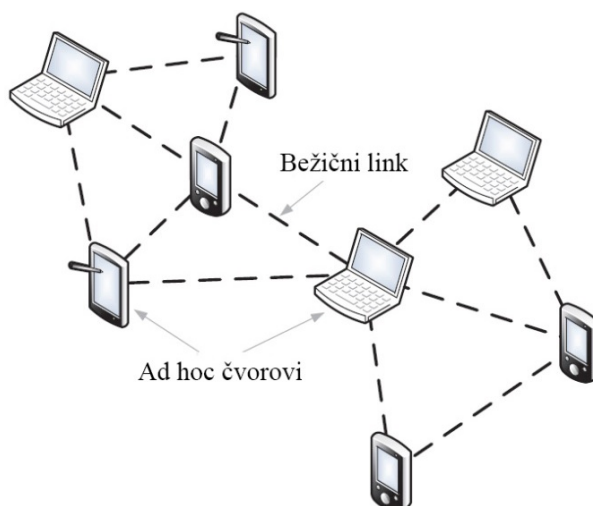
*Cilj ovog rada je istraživanje trenutnog stanja postojećih protokola rutiranja u MANET mrežama i poređenje različitih pristupa u njihovoj izvedbi. Protokoli rutiranja svrstani su prema načinu prosleđivanja paketa u tačka-tačka, tačka – više tačaka i emisione protokole rutiranja. Postoje tri glavne kategorije tačka-tačka protokola rutiranja za MANET mreže: proaktivni, reaktivni i hibridni.*

*Ključne reči: mobilne ad hoc mreže, bežične mreže, MANET, protokoli rutiranja.*

ZAHVALNICA: Rad je podržalo Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije kroz projekte TR32054 i ON174008.

## Uvod

Mobilna ad hoc mreža (MANET) jeste dinamična mreža koja omogućuje bežično umrežavanje u pokretu bez potrebe za prethodno izgrađenom mrežnom infrastrukturom (slika 1). Sastoji se od pokretnih čvorova, pri čemu čvor može biti čovek koji nosi ručni računar opremljen odgovarajućim uređajem za bežičnu komunikaciju, laptop računar, robot bez posade, odnosno svako ko je opremljen odgovarajućom opremom za bežičnu komunikaciju (Kumar, et al., 2013). MANET mreže funkcionišu bez centralizovane administracije, a čvorovi međusobno sarađuju kako bi obezbedili povezivanje.



Slika 1 – Mobilna ad hoc mreža koju čine uređaji povezani bežičnim putem  
Figure 1 – Mobile ad hoc network composed of devices connected wirelessly

U mobilnim ad hoc mrežama bežični uređaji detektuju prisustvo drugih uređaja radi formiranja funkcionalne mreže. Bežični uređaji mogu komunicirati sa drugim uređajima u okviru MANET mreže u samoorganizujućem obliku. Da bi podržali takve komunikacije, bežični uređaji u mobilnim ad hoc mrežama funkcionišu istovremeno i kao terminali i kao ruteri, što znači da mogu prosledivati pakete podataka od izvora do odredišta. Komunikacija se obavlja preko bežičnih veza pomoću bežičnih omnidirekcionih radio-interfejsa.

MANET mreže su veoma dinamične jer se mogu formirati na spontan i privremen način. Čvorovi se mogu nasumično pridružiti i napustiti mrežu, i mogu biti pokretni. Zbog dinamične prirode mreže ne postoji centralizovano upravljanje, već svi čvorovi samostalno i podjednako sarađuju na distribuirani način. Na taj način formira se mreža sa više skokova (engl. multihop). To podrazumeva da čvor ima ulogu terminala u ko-

munikaciji s kraja na kraj (engl. end-to-end) i istovremeno ulogu rutera za prosleđivanje paketa podataka do drugih terminala koji nisu u opsegu direktnog prenosa svojih izvornih čvorova. MANET mreža može raditi kao samostalna mreža, ili se može integrisati sa spoljnim mrežama, kao što je globalna internet mreža preko gejtveja (engl. gateway).

Čvorovi u takvoj mreži mogu biti vrlo pokretni, što uzrokuje stvaranje i raskidanje veza među njima. S obzirom na to da su čvorovi neprestano u pokretu, topologija mreže je promenljiva. MANET mreža je sposobna da izlaskom nekog čvora ili više njih iz mreže ne izgubi poslate pakete, već da sama pronađe novu rutu do odredišnog čvora.

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 borbeno 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.

## Pregled postojećih radova

Cilj ovog istraživanja jeste klasifikovanje postojećih protokola rutiranja u okviru bežičnih MANET mreža i poređenje različitih pristupa u njihovoj izvedbi. Postojeći radovi u ovoj oblasti delimično su to i učinili.

U istraživanju (Pathak, et al., 2013) 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 (Sondi, et al., 2010) 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 (Kaur, et al., 2012) 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.

## Protokoli rutiranja u MANET mrežama

Prilikom uspostavljanja komunikacije putem bežične mreže, ako dva čvora nisu direktno povezana putem komunikacionog linka, njihove međusobne poruke treba da budu prosleđene putem tranzitnih čvorova. Rutiranje je razmena informacija (paketa) od jednog čvora ka drugom. U tradicionalnim računarskim mrežama čvorovi sa namenom rutiranja paketa zovu se ruteri. Aplikacije na terminalima komuniciraju sa serverima, a paketi podataka prosleđuju se putem rutera ka svojim destinacijama. Za razliku od tradicionalnih računarskih mreža, MANET mreže ne prave razliku između terminala, servera i rutera. Bežične ad hoc mreže takođe se razlikuju od tradicionalnih bežičnih mreža sa baznim stanicama, kao što su mobilni telefonski sistemi, u kojima se poruke između terminala prenose putem baznih stanica. U bežičnim ad hoc mrežama čvorovi su ne samo terminali, već funkcionišu i kao ruteri koji prosleđuju poruke ka drugim čvorovima. Čvorovi formiraju samoorganizujuću mrežu bez centralizovane administracije i upravljanja. Dakle, bežične ad hoc mreže su distribuirani sistemi.

Ad hoc protokol rutiranja je konvencija, ili standard, koji kontroliše na koji način čvorovi odlučuju kako će prosleđivati pakete podataka između ostalih čvorova u MANET mreži (Wang, 2011). Efikasni mehanizmi za protokole rutiranja u okviru MANET mreža predmet su brojnih istraživanja, od kojih su samo neki postali opšteprihvaćeni standard.

U mobilnim ad hoc mrežama čvorovi nisu upoznati sa topologijom njihove mreže. Umesto toga, moraju je samostalno otkriti. Osnovna ideja je da svaki novi čvor objavi svoje prisustvo, a zatim osluškuje emisione odgovore koje emituju njegovi susedi. Svaki čvor uči o čvorovima u svojoj neposrednoj blizini i o načinu kako da ih dosegne.

Protokol rutiranja ima dve osnovne funkcije:

- pronalaženje rute za paketni prenos podataka od izvornog čvora ka odredišnom čvoru,
- identifikovanje i razmenu tabele rutiranja, potrebne za uspostavljanje ruta, otkrivanje prekida u rutama, ponovno uspostavljanje ili popravku ruta i optimizaciju iskorišćenosti propusnog opsega.

Čvorovi u mobilnoj ad hoc mreži funkcionišu kao ruteri koji otkrivaju i održavaju rute ka drugim čvorovima u mreži. 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 (Ranjan, et al., 2011). Takvi protokoli rutiranja treba da poseduju karakteristike navedene na slici 2.



Slika 2 – Karakteristike protokola rutiranja u mobilnim ad hoc mrežama  
 Figure 2 – Routing protocol characteristics in mobile ad hoc networks

### *Distribuiranost*

Protokol rutiranja treba da bude u potpunosti distribuiran, jer centralizovano rutiranje podrazumeva visok stepen kontrole radi poboljšanja pouzdanosti. Pošto su svi čvorovi mobilni, centralizovani protokol rutiranja je neprihvatljiv. Svaki čvor treba da vrši rutiranje koristeći podatke prikupljene od drugih čvorova.

### *Dinamičnost*

Pored pretpostavke da se saobraćaj ravnomerno distribuira u okviru mreže, i da se održava rutiranje između svih čvorova u mreži, protokol rutiranja mora biti prilagodljiv konstantnim promenama topologije izazvanim mobilnošću čvorova. Topologija ad hoc bežične mreže je veoma dinamična zbog mobilnosti čvorova, tako da se oni mogu kretati unutar i van dometa jedni od drugih. Stoga, da bi rute sa više skokova bile održive kroz celokupnu mrežu, protokol rutiranja mora reagovati na promene topologije.

### *Nepostojanje petlji u rutama*

Tokom konvergencije MANET mreže može nastati nekonzistentno stanje tabela rutiranja, što može izazvati petlje pri rutiranju (engl. routing loops). Dobar protokol rutiranja treba da bude bez petlji u rutama kako bi se izbeglo gubljenje paketa u komunikaciji.

## Komunikacija sa više skokova

Da bi se ostvarila komunikacija sa više skokova efikasan protokol rutiranja mora se izvršavati na svakom čvoru. Zbog decentralizovane prirode mreže svaki čvor je odgovoran za pronalaženje najbolje rute do odredišta za pakete podataka koje dobija.

### *Očuvanje energije*

Čvorovi u MANET mrežama poseduju ograničenu količinu energije u vidu baterijskog napajanja, tako da protokol rutiranja treba da bude visoko optimizovan radi očuvanja ovog resursa.

### *Bezbednost*

Protokoli rutiranja u mobilnim ad hoc mrežama podložni su brojnim napadima (Tepšić, et al., 2013), kao što su lažno predstavljanje, prisluškivanje mrežnog saobraćaja, presretanje i preusmeravanje poruka i sl. Stoga postoji potreba za uvođenjem preventivnih mera bezbednosti. Šifrovanje saobraćaja i autentifikacija mogu pomoći u rešavanju pitanja bezbednosti i sprečiti većinu takvih napada.

### *Ravnomerna distribucija opterećenja*

Kako broj čvorova koji postoje u određenoj geografskoj zoni varira, tako se menja i opterećenost bežičnog kanala. Dakle, ako broj čvorova raste, raste i opterećenost kanala. Dobar protokol rutiranja može savladati ove probleme putem ugrađenih mehanizama za ravnomernu distribuciju opterećenja preko celokupne mreže.

### *Kvalitet servisa*

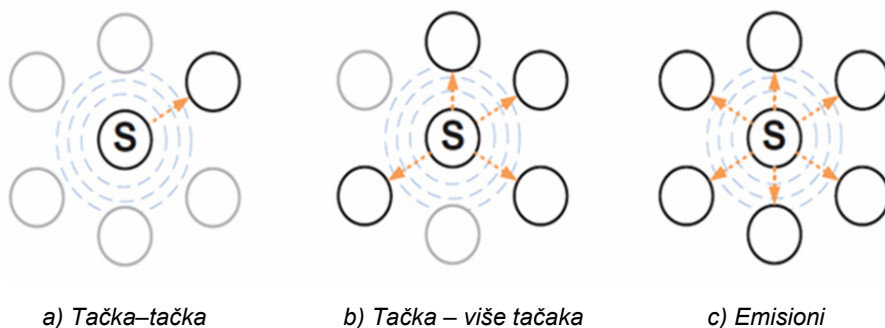
Protokol rutiranja treba da obezbedi određeni nivo kvaliteta usluga u realnom vremenu kako bi podržao trenutni saobraćaj.

### *Propusni opseg*

S obzirom na to da je propusni opseg u ad hoc bežičnim mrežama ograničen, propusnost svake bežične veze zasniva se na opsluženom saobraćaju i broju čvorova. Dakle, dobar protokol rutiranja treba da sveđe korišćeni propusni opseg na minimum.

## 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 3 i 4).

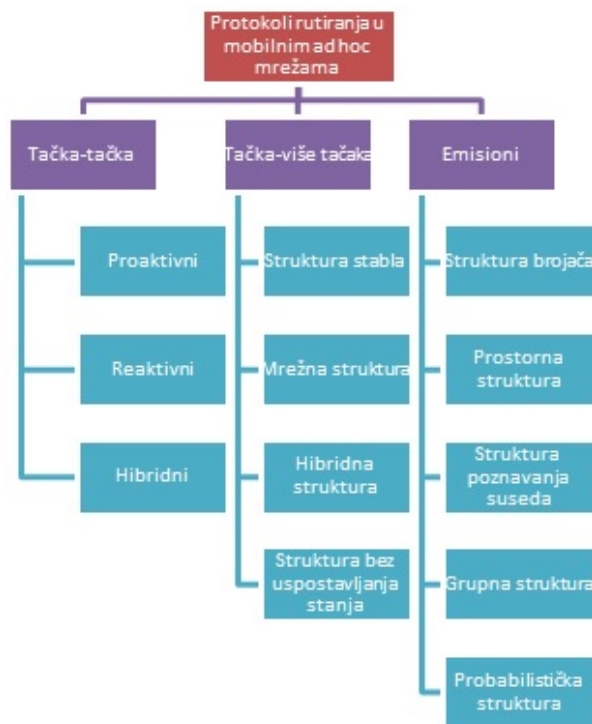


Slika 3 – Klasifikacija MANET protokola rutiranja zasnovana na načinu prosleđivanja paketa  
Figure 3 – Classification of MANET routing protocols based on the method of forwarding packets

Tačka-tačka (engl. unicast) prosleđivanje znači komunikaciju jedan na jedan, odnosno jedan izvor prenosi pakete podataka na jedno odredište. To je najveća klasa protokola rutiranja u mobilnim ad hoc mrežama.

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 znači 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 (Kant, et al., 2010). 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 4 – Klasifikacija MANET protokola rutiranja  
 Figure 4 – Classification of MANET routing protocols

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. Istraživanja u ovom radu odnose se prvenstveno na klasifikaciju tačka–tačka protokola rutiranja, zasnovanu na mehanizmu ažuriranja informacija o rutama.

## Tačka–tačka protokoli rutiranja

Rutiranje je najosnovnija funkcija u mrežama za ostvarivanje komunikacije i prenosa paketa. Da bi MANET mreža bila praktično upotrebljiva, funkcionalan i efikasan tačka–tačka protokol rutiranja je neophodan (Mani, et al., 2013). 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.



## *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 održanja 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.

## *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.

### *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.

## Tačka – više tačaka protokoli rutiranja

Tačka – više tačaka protokoli rutiranja mogu se klasifikovati prema načinu kreiranja ruta u četiri kategorije (Junhai, et al., 2009):

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

### *Struktura stabla*

Ova katagorija protokola potiče iz kablovskih mreža. Čvorovi u okviru jedne mreže formiraju zajedničko tačka – više tačaka stablo (engl. multicast tree). Kada pošiljalac šalje paket podataka, prijemnik prima paket od svog uzvodnog čvora u stablu i prosleđuje ga nizvodno duž veze u stablu. S obzirom na to da samo članovi stabla učestvuju u prenosu paketa podataka, propusni opseg veza racionalnije se koristi u poređenju sa emisionim protokolima.

### *Mrežna struktura*

Ova grupa protokola koristi strukturu mreže umesto strukture stabla za prenošenje paketa podataka. Mrežna struktura omogućuje redundantne veze između članova grupe. U poređenju sa protokolima koji se zasnivaju na strukturi stabla, ovi protokoli rutiranja u većoj meri koriste propusnu moć veza. Međutim, otporniji su na dinamičnost MANET mreže.

### *Hibridna struktura*

Kod hibridnog pristupa protokoli rutiranja kombinuju strukturu stabla i mrežnu strukturu kako bi poboljšali performanse MANET mreža. Međutim, sa visokim stepenom mobilnosti čvorova unutar MANET mreže dolazi do degradacije performansi i zagušenja veza.

### *Struktura bez uspostavljanja stanja*

Kod strukture bez uspostavljanja stanja, protokoli rutiranja ne stvaraju strukturu stabla ili mreže kako bi uspostavili komunikaciju u okviru MANET mreže. Umesto toga, adrese svih središnjih čvorova u komunikaciji od izvornog do odredišnog čvora sadržane su u zaglavlju paketa. Informacije o rutama čuvaju se samo na čvoru koji je pošiljalac poruke. Ovaj pristup pogodan je za male grupe čvorova. Degradacije performansi rastu sa stepenom mobilnosti čvorova unutar mreže.

## Emisioni protokoli rutiranja

Emisioni protokoli rutiranja mogu se svrstati u sledeće kategorije (Williams, et al., 2002):

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

### *Struktura brojača*

Kod tehnike strukture brojača, čvor koji primi emitovani paket inicira period kašnjenja i broji primljene duplikate istovetnog paketa. Kada istekne ovaj period, čvor reemituje paket samo ako broj dupliciranih paketa ne prelazi graničnu vrednost. Ako brojač prelazi graničnu vrednost, čvor pretpostavlja da su svi njegovi susedi već primili paket i sprečava dalje emitovanje istovetnog paketa. Predefinisana granična vrednost ključni je parametar u funkcionisanju ove tehnike.

### *Prostorna struktura*

Metoda prostorne strukture omogućuje čvoru da prosledi emitovani paket samo u okviru svoje zone pokrivanja. Zona pokrivanja određuje se dinamički, na osnovu razdaljine ili lokacije.

### *Struktura poznavanja suseda*

Struktura poznavanja suseda održava informacije o susednim čvorovima putem periodične razmene pozdravnih poruka (engl. Hello). Ove informacije zatim se koriste u odluci za reemitovanjem paketa. Cilj ovog mehanizma jeste formiranje malog podskupa čvorova za emitovanje paketa, tako da se omogući da svaki čvor u mreži primi originalni paket.

### *Grupna struktura*

Kod grupne strukture mreža je podeljena u nekoliko klastera koji formiraju kičmu mreže (engl. backbone). Svaki klaster ima jedan vodeći čvor (glava klastera) koji dominira nad ostalim članovima u klasteru, npr. odgovoran je za prosleđivanje paketa unutar klastera. Klasteri koji se međusobno preklapaju povezani su putem čvorova koji se nazivaju gejtveji (engl. gateway). Grupisanje čvorova u okviru MANET mreže jeste poželjno, iako proces formiranja i održavanja klastera u većini slučajeva nije trivijalan zadatak.

## *Probabilistička struktura*

Probabilistički metod jedan je od najjednostavnijih i najefikasnijih metoda emitovanja. Kod ovog pristupa svaki središnji čvor reemituje primljene pakete prema unapred definisanoj verovatnoći prosleđivanja. Verovatnoća prosleđivanja paketa sa određenog čvora u okviru MANET mreže određuje se na osnovu parametara mrežne topologije.

## 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 (Stefanović, et al., 2013).

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, energetski 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.

## 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 (Gill, et al., 2012).

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

*Table 1* – Summary characteristics of proactive, reactive and hybrid unicast routing protocols

<b>Karakteristika</b>	<b>Proaktivni (periodični)</b>	<b>Reaktivni (na zahtev)</b>	<b>Hibridni</b>
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. Postoji kašnjenje	Oba metoda
Suočavanje sa mobilnošću čvorova	Periodične ispravke	Održavanje ruta	Oba metoda
Količina generisanih kontrolnih poruka	Visoka	Niska	Srednja

## Zaključak

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.

U ovom radu predstavljeni su i klasifikovani postojeći protokoli rutiranja koji se koriste u okviru MANET mreža. Razmotrene su različite kategorije protokola rutiranja. Uočeno je da se svaki model protokola rutiranja ponaosob bo-

lje 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.

Konačno, 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.

### *Literatura*

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.

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.

Kant, K., Awasthi, L. K., 2010, *Unicast and Multicast Routing Protocols for MANETs: A Comparative Survey*, International Journal of IT & Knowledge Management (IJITKM), Special issue.

Kaur, R., Rai, M. K., 2012, *A Novel Review on Routing Protocols in MANETs*, Undergraduate Academic Research Journal (UARJ), 1(1), pp.103–108.

Kumar, A., Sharma, D., Kumar, S., Shukla, S., 2013, *Performance Valuation of Reactive Routing Protocols*, International Journal of Research in Computer Applications and Robotics, 1(6), pp.39–44.

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.

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.

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.

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<sup>th</sup> International Conference on Computer Modelling and Simulation, pp. 567–572.

Stefanović, R., Pavlović, B., 2013, *Sigurnost protokola rutiranja u ad hoc mrežama i mogućí napadi u mreži*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, 61(2), pp.200–217.

Tepšić, D., Veinović, M., 2013, *Napadi na IEEE 802.11 bežične mreže*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, 61(2), pp.242–271.

Wang, X., 2011, *Mobile Ad-Hoc Networks: Protocol Design*, InTech, 656 pp.

Williams, B., Camp, T., 2002, *Comparison of Broadcasting Techniques for Mobile Ad Hoc Networks*, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc), pp.194–205.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ «MANET»

ОБЛАСТЬ: телекоммуникации  
ВИД СТАТЬИ: обзорная статья  
ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

### Резюме:

*Беспроводные самоорганизующиеся ad hoc сети (MANET) – децентрализованные беспроводные сети, не имеющие постоянной структуры. Сети данного вида на сегодняшний день являются главным объектом исследований, так как их применение широко распространено в самых различных областях деятельности (военная, спасательная и т.д.).*

*Сети с высокой подвижностью узлов подлежат частому изменению в топологии. Так как традиционные протоколы маршрутизации, разработанные для проводных сетей, плохо работают в сетях MANET, для беспроводных сетей MANET разработаны специальные протоколы маршрутизации. Целью данной работы является исследование текущего состояния существующих протоколов маршрутизации в MANET сетях и сравнительный анализ различных вариантов их применения. Протоколы маршрутизации мобильных самоорганизующихся сетей подразделяются на следующие основные группы: протоколы с проактивной маршрутизацией, протоколы с реактивной маршрутизацией, гибридные протоколы.*

*Ключевые слова: мобильные самоорганизующиеся ad hoc сети; беспроводные сети, MANET; протокол маршрутизации.*



## CLASSIFICATION OF MANET ROUTING PROTOCOLS

FIELD: Telecommunications  
ARTICLE TYPE: Review Paper  
ARTICLE LANGUAGE: Serbian

*Summary:*

*Mobile ad hoc networks (MANETs) are self-configuring networks of nodes connected via wireless without any form of centralized administration. This kind of networks is currently one of the most important research subjects due to a huge variety of applications (military, emergency, etc.). In MANETs, each node acts both as a host and as a router, thus it must be capable of forwarding packets to other nodes. Because of the node mobility, topologies of these networks change frequently. Traditional routing protocols used in wired networks cannot work efficiently in MANETs. Therefore, special routing protocols for MANETs are needed. The objective of this paper is to research the current state of the art of existing routing protocols for MANETs, and to compare different approaches. Routing protocols are classified according to the method of forwarding packets into unicast, multicast and broadcast. There are three main classes of unicast routing protocols for MANETs: proactive, reactive and hybrid.*

*Introduction*

*A mobile ad hoc network (MANET) is a dynamic network that allows wireless networking on the go, without the need for pre-built network infrastructure. It consists of mobile nodes, where a node can be a man carrying a handheld computer equipped with appropriate devices for wireless communications, a laptop computer, a robot, or anyone who is equipped with the appropriate equipment for wireless communication. MANET networks operate without centralized infrastructure, while the nodes mutually cooperate to ensure connectivity.*

*MANET routing protocols*

*When establishing communication over the wireless network, if two nodes are not directly connected through a communication link, messages must be forwarded through transit nodes. Finding the routes between two nodes that send messages within the communication network is called routing. Routing protocols designed for use in traditional fixed networks cannot be used in MANET networks. The specific characteristics of these networks require special routing protocols that deal with solving the specific challenges.*

*Classification of the existing MANET routing protocols*

*Unicast routing protocols designed for use in mobile ad hoc wireless networks can be classified according to the mechanism of updating information on routes into three categories:*

*– proactive (periodic) routing protocols - each node maintains one or more tables in order to preserve the network topology and the information about the routes,*

– reactive (on-demand) routing protocols - routes are found only when needed,

– hybrid routing protocols - combines features of proactive and reactive routing protocol.

Multicast routing protocols

*Multicast routing protocols can be classified into four categories according to the route construction method: tree based, mesh based, hybrid, and stateless routing protocols.*

Broadcast routing protocols

*Broadcast routing protocols can be classified into the following categories: counter-based, area-based, neighbor-based, cluster-based and probabilistic-based methods.*

The choice of unicast routing protocol in MANETs

*When it comes to choosing a unicast routing protocol within the MANET network, the reactive approach achieves better results when node mobility is high and when the amount of traffic transmitted between the nodes is small. On the other hand, proactive routing protocols are recommended when the network is generally static, and when the amount of generated traffic between nodes is high. When a balance between the different models of the mobility of nodes and different amounts of generated traffic between nodes within a network is needed, it is recommended to use a hybrid routing protocol which combines both classes of protocols, a proactive one and a reactive one.*

Conclusion

*The topology of mobile ad hoc networks can be dynamic and unpredictable. Traditional routing protocols used in cable networks cannot be directly applied to mobile ad hoc wireless networks.*

*Three major classes of unicast routing protocols are proactive, reactive and hybrid.*

**Key words:** *Mobile ad hoc networks, Wireless networks, MANET, Routing protocols.*

---

Datum prijema članka/Paper received on: 16. 03. 2014.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 17. 04. 2014.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 19. 04. 2014.