

UNIVERZITET U SARAJEVU  
**ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**  
ODSJEK ZA TELEKOMUNIKACIJE

## NS-3 Epidemic routing

PROJEKTNI ZADATAK IZ PREDMETA SIMULACIJA PROCESA U TELEKOMUNIKACIJSKIM MREŽAMA  
TEORIJSKI DIO

Ćutahija Zerina, 1685/17085  
Hasanbegović Selma, 1574/17753  
Mahovac Nerman, 1575/17919  
Repeša Almin, 1684/17550  
Velić Nejra, 1634/17313

Sarajevo, 2019. godina

---

# Sadržaj

<b>Sadržaj</b>	<b>i</b>
<b>Uvod</b>	<b>ii</b>
<b>1 Opis problema</b>	<b>1</b>
1.1 Mogući scenariji za testiranje . . . . .	2
1.2 Modeliranje Epidemic routing protokola . . . . .	4
<b>2 Postojeća rješenja</b>	<b>7</b>
2.1 Rješenja u drugim simulatorima . . . . .	7
2.1.1 NS-2 . . . . .	7
2.1.2 ONE . . . . .	7
2.1.3 NS-3 . . . . .	8
2.2 Načini prikazivanja rezultata . . . . .	8
<b>Zaključak</b>	<b>10</b>
<b>Popis slika</b>	<b>11</b>
<b>Popis tablica</b>	<b>12</b>
<b>Literatura</b>	<b>13</b>

---

# Uvod

Zbog sve veće popularnosti sveprisutne komunikacije i želje za prenosom podataka između bežičnih mobilnih uređaja, kao što su mobilni telefoni, laptopi, tableti i slično, razvijen je niz tehnologija radi omogućavanja komunikacije između krajnjih, mobilnih, uređaja, bez obzira na garanciju postojanja veze između njih. DTN (*Delay Tolerant Networking*) ili umrežavanje sa tolerancijom na kašnjenje predstavlja navedenu tehnologiju čiji je cilj osigurati efikasnu komunikaciju između uređaja u mreži bez garantovane kontinuirane veze [1].

DTN, dakle, predstavlja pristup rješavanju problema s povezivanjem određenih mobilnih ad hoc mreža, tačnije DTN rješava tehničke izazove u komunikaciji između uređaja koji gube konekciju zbog njihove mobilnosti. DTN se primarno primjenjuje prilikom međuplanetarnog umrežavanja [2], ali i u mrežama vozila, za praćenje divljih životinja i sl. Međutim, DTN se još uvijek javlja sa mnogim ograničenjima. Zbog nedostatka sinhronog povezivanja sa kraja na kraj, mobilni uređaji moraju nositi poruke i prosljeđivati ih oportunistički kada dođu do odredišta, što rezultuje niskim brzinama prenosa, ali i izuzetno dugim vremenima kašnjenja koja, u konačnici, mogu značajno uticati na uspješnost prenosa poruka [1]. Zbog toga DTN predstavlja protokole rutiranja koji će poboljšati uspješnost prenosa paketa zbog svoje tolerancije na dinamičnost čvorova i linkova date mreže. Razni protokli rutiranja su predloženi u svrhu poboljšanja performansi ad hoc bežičnih mreža: *Spray and Wait*, *Epidemic*, *PRoPHET* i sl.

*Epidemic routing* je jednostavan protokol koji se može opisati "*store-carry-forward*" principom, gdje mobilni čvor prima paket, smješta ga u privremenu memoriju i prenosi ga do ostalih čvorova u mreži, te prosljeđuje paket čvorovima sa kojima stupi u kontakt, a koji ne posjeduju kopiju tog paketa u svojoj memoriji, analogno širenju zaraznih bolesti. Proces 'zaražavanja' čvorova se nastavlja sve dok paket ne stigne do odredišta. Na ovaj način je osiguran prenos podataka sa visokom vjerovatnošću čak i ukoliko nikako ne postoji potpuna konekcija između izvora i odredišta [3]. Epidemic routing protokol ima najbolje performanse ukoliko svaki čvor posjeduje *buffer* sa beskonačnom memorijom.

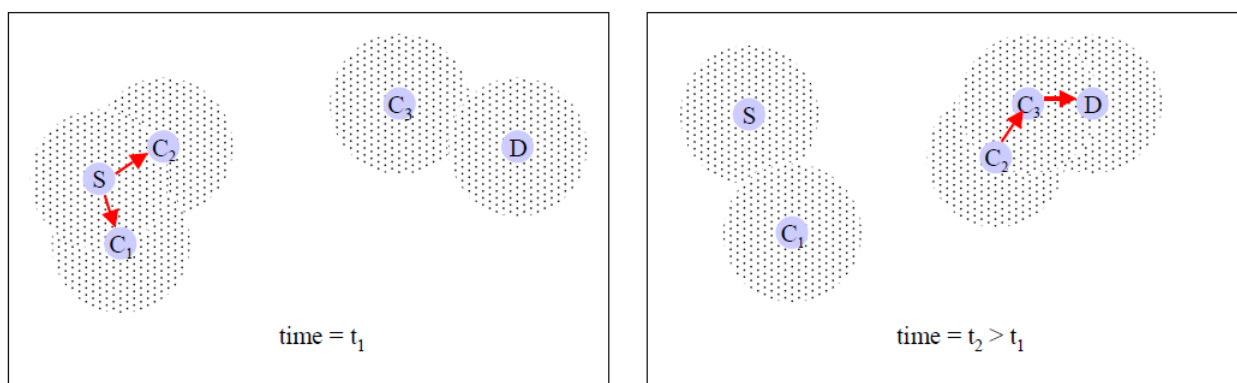
Glavni cilj ovoga rada jeste teorijski obraditi *Epidemic routing* protokol. Rad se sastoji iz dva poglavlja. Prvo poglavlje daje opis problema, u kojem je opisan princip rada *Epidemic routing* protokola, na osnovu kojeg su izvedeni mogući scenariji testiranja kao i ograničenja pod kojim će se modelirati određena simulacijska rješenja za navedene scenarije. Drugo poglavlje sadrži opis postojećih rješenja u različitim simulatorima, te moguće načine za prikazivanje dobijenih rezultata. Na kraju rada je izveden generalni zaključak, dat je popis slika, tabela i korištene literature.

# 1. Opis problema

*Epidemic Routing* protokol je kontrolisani rutirajući protokol specijalno dizajniran za upotrebu u bežičnim ad hoc mrežama mobilnih čvorova sa više hoppova; za isprekidane ili rijetke mreže [4]. Ime "*Epidemic*" predstavlja viralno širenje paketa tokom komunikacije između čvorova u mreži. Predložen je kao jedan od protokola DTN-a u svrhu minimizacije vremena kašnjenja, te u konačnici poboljšanja uspješnosti prenosa paketa.

*Epidemic routing* protokol jeste protokol za DTN, baziran na plavljenju (*flooding*). Svaki čvor u mreži propagira poruku/paket kroz mrežu tako što pravi replike istih i predaje ih svim čvorovima sa kojima je stupio u kontakt, analogno širenju zaraznih bolesti. Propagacija poruke se dešava sve dok poruka ne stigne na odredišni čvor ili dok se istekne rok za isporuku iste. Pošto je riječ o neograničenom plavljenju, *Epidemic routing* protokol je u stanju postići najbolje brzine prenosa poruka kada svaki od čvorova posjeduje *buffer* sa beskonačnom memorijom.

Ogromna prednost *Epidemic routing* protokola jeste njegova jednostavnost jer ne zahtjeva znanje o mreži. Također, osigurana je velika redundantnost zbog toga što će svaki čvor u mreži primiti repliku poruke koja se prenosi principom 'zaražavanja', što ovaj protokol čini izuzetno otpornim na greške na čvorovima i/ili u mreži. Međutim, nedostatak ovog protokola rutiranja jeste zahtjev za beskonačnim veličinama buffer-a, propusnog opsega i snage potrebne za prenos svih replika poruka.



Slika 1.1: (a) Izvorišni čvor S predaje kopije poruke nosiocima  $C_1$  i  $C_2$ , (b) koji iste prenose do odredišta D, nakon određenog vremena [5]

Performanse protokola postaju znatno lošije ukoliko svaki čvor ima ograničene resurse. Navedeno se dešava zbog potrebe za odbacivanjem poruka uslijed *overflow*-a memorije, koja je konačnog kapaciteta. Tačnije, dati protokol nije pogodan za 'guste' mreže jer bi broj duplikata/kopija paketa prilikom rutiranja na svakom čvoru bio preveliki [4].

Na slici 1.1 je prikazan princip *Epidemic routing* protokola gdje su moblini čvorovi prikazani tamnim krugovima, a osjenčeni dio predstavlja njihov bežični opseg komunikacije. Izvor S treba poruku prenijeti do odredišta D, a zbog nepostojanja direktne veze između njih, izvorišni čvor plavljenjem prenosi kopije poruke do čvorova C\_1 i C\_2. Navedeni postupak se može opisati kao 'zaražavanje' čvorova, a svaki od 'zaraženih' čvorova u svojoj privremenoj memoriji smješta odgovarajuću kopiju poruke, ukoliko je prethodno nisu imali u memoriji. Zbog same prirode *Epidemic routing* protokola, kao i mobilnosti čvorova, nakon određenog vremena će čvorovi C\_1 i C\_2 stupiti u kontakt sa odredišnim čvorom D, te mu, u konačnici, dostaviti poruku.

Dakle, glavni ciljevi *Epidemic routing* protokola su:

- povećanje brzine prenosa poruka,
- smanjenje vremena kašnjenja,
- smanjiti količinu ukupnih resursa koje se troše za dostavu poruka, i
- povećanje postotka uspješno dostavljenih poruka do njihovog odredišta.

## 1.1. Mogući scenariji za testiranje

Kako je jedan od ciljeva ovog rada ispitivanje ponašanja *Epidemic routing* protokola u različitim uvjetima i scenarijima, u nastavku su opisani neki od karakterističnih scenarija za testiranje istog. Iako u radovima navedenim u literaturi simulacije nisu vršene u jedinstvenom simulatoru (korišteni su ns-2, ns-3, ONE), značajne su radi sticanja uvida u raznolikosti situacija sa kojima se može susresti navedeni protokol te mogu poslužiti u svrhu uspješnije analize i interpretacije rezultata dobijenih odgovarajućom simulacijom.

**Analitičko modeliranje** navedeno u [6] pretpostavlja zatvorenu mrežu od  $N$  čvorova (bez graničnih efekata), veličine  $L[m] - L[m]$ . Unutar te mreže čvorovi se kreću po nekom određenom modelu mobilnosti te se zahtjeva da obrazac mobilnosti bude nezavisan, nesputan i stacionaran, tj. brzina i smjer kretanja čvora su slučajno odabrane vrijednosti i nezavisne od drugih čvorova, kao i da parametri mobilnosti ostanu konstantni u vremenu, čime se u ovom analitičkom modeliranju **Random Waypoint Model** isključuje iz razmatranja. Iz navedenih razmatranja se može naslutiti da će različiti scenariji proizilaziti iz promjene broja čvorova, veličine posmatranog prostora, modela mobilnosti, te će rezultati simulacije zavisiti i od parametara kao što su veličina poruke, brzina slanja poruka i veličina buffer-a. Korištenjem različitih scenarija i promjenom parametara simulacije, posmatra se isporuku paketa te rezultate simulacije u zavisnosti od navedenih veličina.

U [7] je evaluacija izvršena kroz tri različita scenarija mobilnosti i to:

- **Helsinki scenario mobilnosti** - *default*-ni scenario za ONE simulator te se obično pojavljuje u DTN literaturi koja se bavi simulacijama,
- **Bold Alligator** - svojevrsna interpretacija vježbe Američkog mornaričkog korpusa,
- **Omaha** - interpretacija historijskog amfibijskog napada na Omaha plažu u II svjetskom ratu.

U nastavku je detaljno objašnjen svaki od navedenih scenarija.

### Helsinki scenario

Helsinki scenario posmatra ponašanje DTN u urbanom okruženju. Helsinki model mobilnosti je konstruisan tako što je prigradski dio Helsinkija podijeljen u homogenu rešetku sa ćelijama veličine  $200 \times 200$  metara dok je gradsko područje podijeljeno na ćelije veličine  $500 \times 500$  metara, te su sve polazne i odredišne tačke povezane sa najbližim čvorom cestovne mreže, a kretanja čvorova (pješaci, ljudi u automobilima, vozovima i slično) su posmatrana u jednom radnom danu, u svrhu prikupljanja podataka kako bi se konstruisao pogodan model mobilnosti za simulaciju u urbanom okruženju [8]. Helsinki scenarij mobilnosti, između ostalog, postavlja ograničenja na veličinu buffer-a osnovnog čvora (5, 10, 25, 50 i 100 MB), kao i brzinu prenosa osnovnog čvora (6, 12, 24, 36 i 54 Mbps) od koje zavisi i broj razmjenjenih poruka između čvorova u kontaktu.

### Bold Alligator

Bold Alligator scenario je osmislio Kevin Kileen u svrhu proučavanja performansi DTN u vojnim sredinama. Navedeni scenario ograničava dvije varijable i to: veličinu buffera marinaca i drone čvora i brzinu linka. Ukoliko usporedimo veličine generisanih poruka pojedinih čvorova, zapažamo sljedeće: slučajno izabran marinac generiše poruku veličine između 250 KB i 500 KB, i to svakih 5 do 10 sekundi koristeći generator slučajnih brojeva sa uniformnom raspodjelom, slučajno izabran Humvee (visokomobilno višenamjensko vozilo na kotačima) generiše poruku veličine između 500 KB i 1 MB svakih 10 do 20 sekundi, dok slučajno izabran brod generiše poruku veličine između 500 KB i 1MB svakih 25 do 35 sekundi. Dakle, veličina generisanih poruka zavisi od čvora koji se posmatra, a općenito čvor pohranjuje između 5 i 20 poruka za svakih 5 MB buffera. Generalno, ovaj scenario generiše značajno veći broj poruka od ostalih, dok promjena navedenih ograničenja daje uvid u uticaj resursa na performanse.

### Omaha scenario

Omaha scenario je još jedan vojno baziran scenario napravljen u svrhu proučavanja performansi DTN. Tokom simulacije mijenja se veličina buffera osnovnih čvorova i to između 5 MB i 100 MB za datu brzinu slanja. Za ovaj scenarij je karakteristično što brzina prenosa varira između 6 Mbps i 54 Mbps za sve čvorove i svi čvorovi imaju isti opseg brzina. Iako sa istom stopom proizvodnje poruka, Omaha sadrži manji broj čvorova u odnosu na ostale scenarije mobilnosti.

U nekim karakterističnim scenarijima se koriste i poznati modeli mobilnosti kao što je **Random Waypoint model mobilnosti**. Navedeni model se koristi za modeliranje ponašanja mobilnih korisnika (npr. u ad-hoc mrežama) koji se kreću cik-cak putanjama od jedne do druge tačke, imaju brzinu u intervalu od  $[vmin, vmax]$ , te im je smjer kretanja slučajan. Tačke su uniformno distribuirane po čitavoj površini, te u općem slučaju postoji svojevrsna pauza između dva kretanja čvora.

Dodatni model mobilnosti koji je korišten jeste **Static Grid model**. U navedenom modelu su čvorovi poredani tako da čine mrežu čvorova na određenoj udaljenosti. Mreža koju čine čvorovi je sastavljena od horizontalnih i vertikalnih putanja kojima se kreću čvorovi. Na mjestu križanja putanja, čvorovi biraju pravac kretanja i to sa određenom vjerovatnoćom. Dakle, čvor, prilikom kretanja duž vertikalnih i horizontalnih putanja, ima određenu slobodu pri biranju pravca kretanja.

Generalno, što se tiče mogućih scenarija za testiranje, može se zaključiti, na osnovu mnogobrojnih radova navedenih u literaturi, da se gotovo uvijek pribjegava upotrebi specifičnih scenarija, dok se različiti scenariji najčešće postižu promjenom nekog od parametara kao što su raspon prenosa, površina na kojoj se posmatraju čvorovi, broj čvorova, veličina buffera, brzine čvorova, veličine paketa. Različiti scenariji se postižu čak i promjenom modela mobilnosti (Random Waypoint model, Shortest Map based model). Doista, pri simuliranju treba obratiti pažnju najviše na kontekst, te scenario prilagoditi situaciji koju želimo testirati.

U našem slučaju, u svrhu testiranja, poželjno bi bilo iskoristiti različite scenarije mobilnosti, te promjenom njihovih karakterističnih parametara (veličina buffera, brzina prenosa), posmatrati performanse protokola u smislu vrijednosti parametara: omjer prenosa poruka MDR (*Message Delivery Ratio*), prosječno kašnjenje i odnos MRO (*Message Replication Overhead*) [7].

## 1.2. Modeliranje Epidemic routing protokola

U ovom odjeljku je dat osvrt na modeliranje simulacijskog rješenja Epidemic routing protokola, pri čemu je fokus stavljen na određene pretpostavke i ograničenja. Prije samog opisa modeliranja ovog rješenja, potrebno je analizirati rješenje u svrhu razumijevanja njegovog ponašanja. Kroz ns-3 mrežni simulator je simulirano ponašanje *Epidemic Routing* protokola, gdje se koriste parametri za kontrolu i ponašanje samog protokola, kao što su dužina buffer-a, pozicija čvora, pohranjeni paketi i slično [3].

Opći ulazni parametri simulacije su prikazani u tabeli 1.1, dok je prilikom modeliranja simulacijskog rješenja potrebno voditi računa o parametrima prikazanim u tabeli 1.2.

Tablica 1.1: Opći ulazni parametri simulacije [4]

Parametri	Opis parametara
nWifis	broj čvorova koji učestvuju u epidemijskom rutiranju
txpDistance	udaljenost predajnika i prijmenika
nodeSpeed	brzina kretanja čvorova kroz mrežu
nodeContainer	kontejner čvorova
Net deviceContainer	kontejner mrežnih uređaja

Postoji nekoliko parametara korištenih za simulaciju *Epidemic routing* protokola, a navedeni su u tabeli 1.2. Prvi parametar, **HopCount**, je broj koji opisuje broj puta koliko paket može preplaviti mrežu prije nego što biva odbačen. Ova vrijednost bi trebala biti veća ili jednaka dijametru mreže da bi se izbjeglo odbacivanje paketa prije nego što se pošalje između najudaljenijih čvorova u mreži. Međutim, ovaj parametar, tj. broj hop-ova predstavlja svojevrsno ograničenje jer može dovesti do zagušenja mreže, ukoliko bi ovaj broj bio previsok. S druge strane, smanjenjem broja hop-ova, značajno se povećava vrijeme kašnjenja (slika 2.2, lijevo), te se treba voditi računa prilikom odabira vrijednosti istog.

Sljedeći je **QueueLength**, predstavlja maksimalan broj paketa koji može stati u red čekanja. Da bi se izbjeglo odbacivanje paketa zbog prepunjenja reda čekanja, ova vrijednost treba biti veća od broja različitih tipova paketa u cijeloj mreži. **QueueEntityExpireTime** predstavlja maksimalno vrijeme koje paket provodi u redu čekanja od vremena njegovo generisanja. Biranje ovog parametra zavisi od korištene aplikacije.

**BeaconInterval** je vrijeme u sekundama nakon kojeg se tzv. *beacon* okvir šalje broadcast (svim čvorovima u mreži), ovaj parametar treba birati u svrhu ostvarenja minimalnog kašnjenja. Prilikom izvođenja simulacija korištenjem ns-3 ovaj interval opada kako se broj generisanih paketa povećava. **BeaconRandomness** predstavlja gornju granicu uniformne raspodjele slučajnog vremena koje je dodaje na *BeaconInterval* da bi se izbjegla kolizija, a mjeri se u milisekundama. **HostRecentPeriod** se koristi da se postavi vrijeme u sekundama za period tokom kojeg hostovi ne mogu razmjenjivati vektore [3], arijednost ovog parametra bi trebala biti veća od iste postavljenje za *BeaconInterval*.



Tablica 1.2: Parametri simulacije *Epidemic Routing* protokola [4]

Parametri	Opis parametara
HopCount	maksimalan broj hopova koje paket može da izvrši prije nego njegovog odbacivanja; vrši sličnu funkciju kao TTL, a pošto 8-bitni opseg TTL-a nije dovoljno velik, koristi se 32-bitni
QueueLength	maksimalan broj paketa koji može biti pohranjen u buffer-u
QueueEntityExpireTime	maksimalno vrijeme koje paket može živjeti od trenutka kada je generisan sa izvora, uz pretpostavku sinhronizirane mreže
HostRecentPeriod	vrijeme, u sekundama, tokom kojeg host ne može razmijeniti vektore
BeaconInterval	srednje vrijeme između slanja beacon paketa
BeaconRandomness	slučajan broj milisekundi koji se dodaje na početak Beacon intervala u svrhu izbjegavanja kolizije

Pored navedenih, postoje i dodatna ograničenja na koja treba obratiti pažnju prilikom simuliranja *Epidemic routing* protokola. Naime, *Epidemic routing* protokol nije funkcionalan ukoliko postoji više od jedne adrese na svakom sučelju. U tom slučaju će dodatne adrese biti zanemarene. Jedno od ključnih ograničenja koje se postavlja jeste odnos broja čvorova i broja izvora/odredišta. Ukoliko se broj izvora i odredišta ne podudara sa brojem čvorova u mreži neće biti moguće uopće izvršiti simulaciju protokola. Također, ovaj protokol pretpostavlja da se vrši razmjena mnogih *beacon* okvira u vremenu kada su čvorovi u dometu. Ukoliko to nije slučaj, paketi se uopće neće isporučiti.

Postoje još i parametri koji opisuju aplikaciju za koju se koristi ovaj način rutiranja. U tom smislu se definišu svi parametri važni za slanje paketa: **PacketSize** (veličina paketa), **DataStart** (početak podataka u paketu), **DataEnd** (kraj podataka u paketu), **Source\_num** (broj izvora), **Sink\_num** (broj sink-a) [4].

Dakle, prilikom simuliranja *Epidemic routing* protokola važno je obratiti pažnju na navedene parametre iz tabela iznad kao i na modele mobilnosti koji uvode i vlastita ograničenja. Također, pored navedenog, kao ograničavajući faktor se može smatrati i odabir odgovarajućeg alata za simulaciju zbog činjenice da za identične parametre, rješenja simulirana u različitim simulatorima imaju različite performanse. Rješenja u drugim simulatorima su detaljno opisana u narednom poglavlju.

---

## 2. Postojeća rješenja

### 2.1. Rješenja u drugim simulatorima

Za simuliranje *Epidemic routing* protokola predloženo je nekoliko različitih alata. U nastavku su navedeni i objašnjeni neki od najznačajnijih.

#### 2.1.1. NS-2

Jedno od mogućih rješenja je dato u radu [5], u kome je implementacija urađena koristeći **Monarch nadogradnju** ns-2 simulatora sa implementacijom IEEE 802.11 specifikacije. Analizirana je brzina isporuke poruka i potrošnja resursa pod brojnim različitim scenarijima. Rezultati pokazuju da je *Epidemic routing* protokol u mogućnosti dostaviti gotovo sve poruke u scenarijima u kojima postojeći ad hoc protokoli ne isporučuju nikakve poruke zbog ograničene povezanosti čvorova. Za jedan reprezentativni scenarij, *Epidemic routing* protokol isporučuje 100% poruka pretpostavljajući dovoljan buffer-ing po čvoru za spremanje između 10-25% poruka nastalih u scenariju. Iako *Epidemic routing* može povećati potrošnju resursa, u nekim okolnostima to je jedina održiva tehnika za uspješno dostavljanje podataka.

#### 2.1.2. ONE

ONE (*Opportunistic Network Environment*) simulator je baziran na korištenju Java programskog jezika za simuliranje protokola usmjeravanja u DTN-u. Ovaj simulator, za razliku od IP mreža, koristi poruke za generisanje prometa, tako da nema definicije zaglavlja paketa. Poruke su slične snopovima iz skupa protokola jer su poruke osnovna jedinica DTN podataka. Za razliku od IP paketa, poruke mogu biti bilo koje veličine, te se obrađuju kao jedan objekat. Dakle, ne dozvoljava se fragmentacija poruka niti širenje tih fragmenata putem mreže. Ako čvor u potpunosti ne primi poruku, onda čvor odbacuje djelomično primljenu poruku. Također, poruke ne nose upute za upravljanje, a čvorovi dijele kontrolne informacije direktnim pristupom strukturi podataka drugog čvora u memoriji.

ONE simulator ne uključuje upute za razmjenu kontrolnih informacija u svoje rezultate simulacije [7]. U radu [9] se testira *Epidemic routing* protokol koristeći najkraći model kretanja, koji se temelji na mapi, i slučajni model kretanja. Analizirani simulator se ne fokusira samo na simulaciju protokola za pronalažanje putanje, već i na modeliranje

mobilnosti. ONE je moguće proširiti dodavanjem različitih biblioteka. Također, uključuje i kombinaciju modula za izvještavanje i analizu. Osim navedenog, moguće je izvršiti prikaz slike u grafičkom obliku ili nekom drugom odgovarajućem obliku, ali se može omogućiti i uvoz slike sa *Open Street Map*.

### 2.1.3. NS-3

Protokoli usmjeravanja ns-3 zahtijevaju pakete za slanje poruka, otkrivanje čvorova i dijeljenje informacija o usmjeravanju između čvorova. Budući da ns-3 implementira cjelokupni mrežni niz, NS-3 protokoli definišu grupe paketa koje generiše jedan izvorni čvor namijenjen drugom čvoru kao poruka. Poruka je ekvivalentna RFC-5050 snopovima kao osnovna jedinica DTN podataka. UDP paketi koji se koriste za dijeljenje informacija o usmjeravanju između čvorova su kontrolni paketi. Kontrolni paketi nisu poruke jer su usmjereni na protokol usmjerenja i prema tome nisu osnovna jedinica DTN podataka. Protokoli pretpostavljaju IP-sloj konvergencije. Za razliku od ONE simulatora, ns-3 ne može generirati poruku kao pojedinačni objekat bilo koje veličine, pa se velike poruke segmentiraju u grupe pojedinačnih paketa. Svakom paketu dodijeljeno je zaglavlje s prilagođenim identifikatorom koji svaki paket povezuje s ostatkom DTN poruke. Ta se arhitektura integrira s postojećom bazom kodova i ne zahtijeva izmjenu protokola ispod sloja usmjeravanja [7]

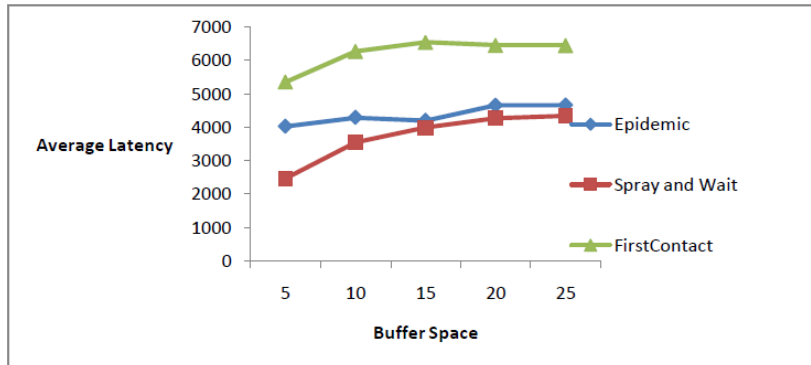
U implementaciji *Epidemic routing* protokola u radu datom u [3] u ns-3 simulatoru je dodano nekoliko korisničkih parametara izvan izvorne implementacije ns-2 da bi izmijenili ponašanje usmjeravanja i predstavili smjernice za odabir svakog parametra. Izvorna implementacija *Epidemic routing* protokola, koja je rađena na simulatoru ns-2, koristila je protokol nazvan Internet MANET (*Mobile Ad Hoc Networking*) Enkapsulacijski protokol (IMEP).

IMEP pruža protokol epidemičnog usmjeravanja sa servisom obavješćavanja koja obavještava protokol usmjeravanja kada dva čvora dođu u rang jedan drugome. Međutim, IMEP nije bio implementiran u ns-3, pa je zbog toga odlučeno da se doda *beaconing* mehanizam kao dio implementacije *Epidemic routing* protokola za ns-3. Taj mehanizam je u osnovi emitiranje kontrolnih paketa u paketu s informacijama o pošiljaocu. Kad čvor primi signal, znat će da se nalazi u rangu čvora koji je prenio *beacon* paket. U ovoj primjeni, korisnik može odrediti koliko često se *beacon* šalje putem **BeaconInterval** parametra. Analizirana je primjena epidemic routing-a s različitim rasponom prijenosa. *Epidemic routing* daje 100% paketne isporuke za različite domete prenosa i broji skokove sve dok u buffer-u ima dovoljno prostora za sve pakete. Međutim, kako se smanjuje količina paketa, isporuka se proporcionalno smanjuje.

## 2.2. Načini prikazivanja rezultata

Nakon izvršenja simulacija protokola rutiranja nekim od nabrojanih simulatora (u ovom slučaju je riječ o ns-3), rezultati simulacije se prikazuju grafički i to korištenjem linijskih dijagrama i histograma, gdje je primjer histograma prikazan na slici 2.1 i on, u ovom

slučaju, prikazuje usporedba *Epidemic routing* protokola sa ostalim DTN protokolima na osnovu određenih parametara.



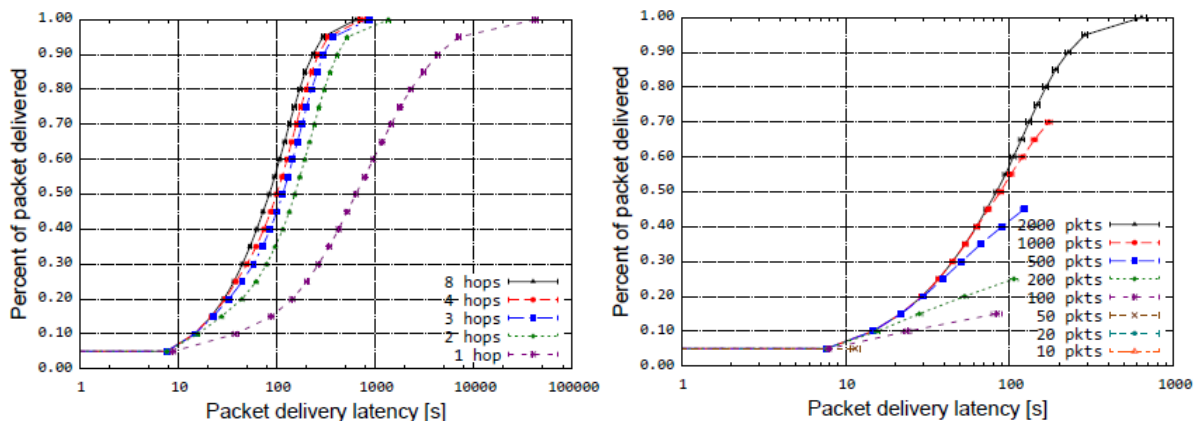
Slika 2.1: Primjer histograma za usporedbu različitih DTN protokola rutiranja [10]

Pri razmatranju *Epidemic routing* protokola, grafički se prikazuju sljedeći rezultati simulacije:

- zavisnost vremena kašnjenja od omjera uspješno prenesenih paketa,
- zavisnost vremena kašnjenja, količine *overhead*-a i omjera prenesenih paketa od broja čvorova, i
- zavisnost prosječnog kašnjenja, količine *overhead*-a i vjerovatnoće uspješnog prenosa paketa od veličine *buffer*-a.

Dakle, grafički se prikazuju zavisnosti veličina koje govore o performansama samog protokola rutiranja u odnosu na parametre koji se podešavaju u skladu sa ograničenjima.

U ovom konkretnom slučaju, na slikama ispod su prikazana dva različita načina testiranja u zavisnosti od postavljenih ograničenja, tačnije u zavisnosti od broja *hop*-ova i veličine *buffer*-a (slika 2.2). Za svaki slučaj grafički je predstavljena zavisnost vremena kašnjenja paketa od postotka isporuke paketa.



Slika 2.2: CDF za varijaciju broja *hop*-ova (lijevo) i veličine *buffer*-a (desno) [3]

---

# Zaključak

Cilj ovog rada je bio teorijski obraditi *Epidemic routing* protokol. *Epidemic routing* protokol je jedan od najranijih protokola rutiranja koje je predstavio DTN u svrhu poboljšanja uspješnosti prenosa paketa do odredišta zahvaljujući principu "*store-carry-forward*". Zbog same prirode protokola, tačnije prenosom paketa principom 'zaražavanja' susjednih mobilnih čvorova, isti nastoji osigurati što je moguće manje vrijeme kašnjenja uz velike brzine prenosa i veliku vjerovatnoću uspješnog prenosa. *Epidemic routing* protokol je izuzetno pogodan kod rijetkih ili isprekidanih mreža, a najbolje performanse ostvaruje za mrežu u kojoj čvorovi posjeduju *buffer* sa beskonačnom memorijom.

U radu je detaljno opisan princip *Epidemic routing* protokola, navedeni su različiti mogući scenariji za njegovo testiranje i ograničenja na koja je potrebno obratiti pažnju prilikom testiranja. Također, navedena su i objašnjena rješenja u različitim simulatorima, dok je fokus stavljen na ns-3. Shodno tome, analizirani su karakteristični parametri simulacije u svrhu razumijevanja načina implementacije *Epidemic routing* protokola, te njegovog naknadnog simuliranja.

Naredni korak predstavlja praktični dio, odnosno simuliranje *Epidemic routing* protokola u ns-3 simulatoru. Korištenjem scenarija objašnjenih u teorijkom dijelu rada, potrebno je ispitati ponašanje protokola te prikazati dobijene rezultate na načine prikazane u ovom radu. Također je potrebno analizirati ponašanje protokola kao i rezultate dobijene simulacijom, te iste usporediti sa teorijskim pretpostavkama, odnosno očekivanim vrijednostima.

---

# Popis slika

1.1	(a) Izvorišni čvor S predaje kopije poruke nosiocima $C_1$ i $C_2$ , (b) koji iste prenose do odredišta D, nakon određenog vremena [5]	1
2.1	Primjer histograma za usporedbu različitih DTN protokola rutiranja [10]	9
2.2	CDF za varijaciju broja <i>hop</i> -ova (lijevo) i veličine <i>buffer</i> -a (desno) [3]	9

---

# Popis tablica

1.1	Opći ulazni parametri simulacije [4]	5
1.2	Parametri simulacije <i>Epidemic Routing</i> protokola [4]	6

---

# Bibliografija

- [1] L. Wan, F. Liu, Y. Chen, and H. Zhang, “Routing Protocols for Delay Tolerant Networks: Survey and Performance Evaluation,” 2015.
- [2] “InterPlanetary Networking Special Interest Group (IPNSIG).” [Online]. Available: <http://ipnsig.org/introducing-delay-disruption-tolerant-networking-dtn/>
- [3] M. J. F. Alenazi, Y. Cheng, D. Zhang, and J. P. G. Sterbenz, “Epidemic routing protocol implementation in ns-3,” in *WNS3*, 2015.
- [4] T. Henderson, “Epidemic Routing,” 2017. [Online]. Available: <https://github.com/tomhenderson/epidemic-routing/blob/master/doc/epidemic.rst>
- [5] A. Vahdat and D. Becker, “Epidemic Routing for Partially Connected Ad Hoc Networks,” 2000.
- [6] Q. Wang and Z. J. Haas, “Analytical Model of Epidemic Routing for Delay-Tolerant Networks,” in *Proceedings of the 1st ACM workshop on High performance mobile opportunistic systems*. ACM, 2012, pp. 1–8.
- [7] J. P. Rohrer and A. N. Mauldin, “Implementation of Epidemic Routing with IP Convergence Layer in ns-3,” in *WNS3*, 2018.
- [8] Itf, “Shared Mobility Simulations for Helsinki,” 2017.
- [9] S. Gupta, R. C. Poonia, and X.-Z. Gao, “Performance Evaluation of Epidemic Routing Protocol for Delay Tolerant Network Based on Node Movement Model.”
- [10] M. Aneja and V. Garg, “Simulation of Epidemic, Spray and Wait and First Contact Routing Protocols in Delay Tolerant Network,” *IOSR journal of electronics and communication engineering*, pp. 30–34, 2015.
- [11] X. Zhang, G. Neglia, J. F. Kurose, and D. F. Towsley, “Performance Modeling of Epidemic Routing,” in *Networking*, 2006.
- [12] Y. Lin, B. Li, and B. Liang, “Stochastic analysis of network coding in epidemic routing,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 26, 2008.
- [13] R. Thakur and K. L. Bansal, “Delay Tolerant Networks: An Analysis of Routing Protocols with ONE Simulator,” 2016.
- [14] F. Herbertsson, “Implementation of a Delay-Tolerant Routing Protocol in the Network Simulator NS-3,” 2010.
- [15] F. De Rango, S. Amelio, and P. Fazio, “Enhancements of epidemic routing in delay tolerant networks from an energy perspective,” in *2013 9th international wireless communications and mobile computing conference (IWCMC)*. IEEE, 2013, pp. 731–



735.

- [16] B. B. Bista and D. B. Rawat, "EA-Epidemic: An Energy Aware Epidemic-Based Routing Protocol for Delay Tolerant Networks," *JCM*, vol. 12, pp. 304–311, 2017.
- [17] Z. Feng and K.-W. Chin, "A Unified Study of Epidemic Routing Protocols and their Enhancements," *2012 IEEE 26th International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops PhD Forum*, pp. 1484–1493, 2012.
- [18] L.-Å. Norden, "Simulation and Analysis of Opportunistic Routing Protocols," 2013.
- [19] W. Navidi, T. Camp, and N. B. Bauer, "Improving the Accuracy of Random Waypoint Simulations Through Steady-State Initialization," 2003.
- [20] A. N. Mauldin, "Comparative Analysis of Disruption Tolerant Network Routing Simulations in the One and NS-3," 2017.