

UNIVERZITET U BEOGRADU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

Aleksandar Popović, 2020/0059

Simulacija zagušenja pomoću ns-3
projekat iz predmeta Primena modernih telekomunikacija

mentor:
prof. dr Milan Bjelica

Beograd, jul 2023.

Sažetak

U ovom radu je pomoću simulatora NS-3 pokazano kako zagušenje mreže utiče na propusnost saobraćaja. Simulirana je mreža od četiri računara, međusobno povezanih u topologiju zvezde gde dva računara tokom trajanja simulacije generišu saobraćaj ka trećem. Loša propusnost je pokazana velikim brojem odbačenih paketa. Posle se mreža poboljšava tako što se proširi kapacitet linka koji je usko grlo i napravi se poređenje rezultata.

Ključne reči: ns-3, simulacija, zagušenje

Sadržaj

1	Uvod	4
2	Opis simulacije	5
2.1	Opis mreže	5
2.2	Pokretanje simulacije	6
2.2.1	Preduslovi	6
2.2.2	Pokretanje skripte	7
2.3	Opis skripte	7
2.3.1	Kreiranje uređaja i veza između njih	7
2.3.2	Dodela adresa	8
2.3.3	Izvor saobraćaja	8
2.3.4	Prijem saobraćaja	9
2.3.5	Izvršavanje simulacije i snimanje izveštaja	9
3	Rezultati	10
4	Napomene	11
4.1	Izgubljeni paketi u poboljšanoj topologiji	11
4.2	Izbor L4 protokola	12
5	Zaključak	13
	Literatura	14
	Prilozi	15
	Struktura direktorijuma projekta	15
	<i>run.sh</i>	15
	<i>topology.h</i>	16
	<i>topology.cc</i>	17
	<i>main.cc</i>	19

Spisak slika

2.1	<i>Topologija</i>	5
-----	-----------------------------	---

Spisak tabela

2.1	Adrese mrežnih uređaja	6
3.1	Pre proširenja	10
3.2	Posle proširenja	10
4.1	Posle proširenja, veći paket	11
4.2	Pre proširenja, TCP	12

Glava 1

Uvod

U ovom radu će se obraditi simulacija zagušenja mreže pomoću simulatora NS-3(Network Simulator 3). Simulator je slobodan softver; njegov izvorni kod je javno dostupan za proučavanje i izmenu.

U simulaciji će se pokazati kako preopterećenje veze dovodi do gubitaka paketa i kako se performanse poboljšavaju posle povećanja kapaciteta linka.

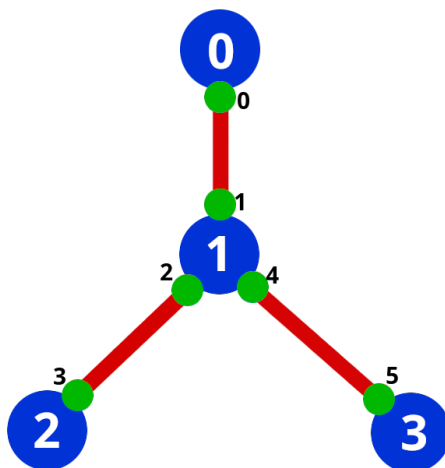
U nastavku će biti opisan postupak pokretanja simulacije, opis simulirane topologije i pregled rezultata.

Glava 2

Opis simulacije

2.1 Opis mreže

Topologija simulirane mreže je predstavljena na slici 2.1. Mreža se sastoji od četiri računara koja su povezana PPP (*Point to Point Protocol*) vezama. Na računarima označenim brojevima 2 i 3 su instalirane aplikacije koje šalju UDP (*User Datagram Protocol*) pakete ka računarima označenim brojem 0.



Slika 2.1: *Topologija*

Prvobitno su kapaciteti svih linkova isti i iznose 1 Mbps. Tokom perioda od 20 sekundi aplikacije konstantno šalju pakete veličine 200 B brzinom od

625 paketa u sekundi. Tako se prouzrokuje zagušenje saobraćaja u mrežnom uređaju u računar 0 koji se manifestuje gubitkom paketa. Potom se kapacitet linka poveća na 10 Mbps i posmatra se kako su se promenile performanse mreže.

Redovi u mrežnim uređajima su podešeni tako da mogu da prime 1024 paketa. Ako u trenutku kad je red za slanje pun u uređaj prispe paket za slanje, taj paket će biti odbačen. IP adrese dodeljene mrežnim uređajima su navedene u tabeli 2.1

Tabela 2.1: Adrese mrežnih uređaja

Mrežni uređaj	Adresa
0	10.0.0.2
1	10.0.0.1
2	10.0.1.2
3	10.0.1.1
4	10.0.2.2
5	10.0.2.1

2.2 Pokretanje simulacije

2.2.1 Preduslovi

Simulator je potrebno instalirati na *Linux* operativnom sistemu pridržavajući se zvaničnog uputstva. [1] Posle instalacije je potrebno napraviti promenljivu okruženja `NS3ROOT` koja će imati vrednost putanje do korena NS-3 simulatora pokretanjem sledeće komande u terminalu:

```
$ NS3ROOT=putanja_do_direktorijuma
```

Pošto je doseg ove promenljive vezan za sam proces terminala, preporučuje se da se na kraj fajla `~/.bashrc` doda linija:

```
export NS3ROOT=putanja_do_direktorijuma
```

Tako će i prilikom ponovnog pokretanja sistema biti definisana ova promenljiva.

2.2.2 Pokretanje skripte

U direktorijumu projekta se nalazi *Bash* skripta `run.sh`. Potrebno ju je korišćenjem terminala učiniti izvršivom i pokrenuti je na sledeći način:

```
$ chmod u+x run.sh
$ ./run.sh
```

Skripta radi tako što sve fajlove iz `h/` i `src/` direktorijuma projekta kopira u `scratch/` direktorijum simulatora. Posle kopiranja pokreće kompilaciju i izlazne fajlove snima `output/` direktorijum. U `output/` direktorijumu će se pojaviti dva izlazna XML fajla u kojima će se naći broj odbačenih paketa na svakom mrežnom uređaju.

2.3 Opis skripte

Glavni deo skripte je u funkciji `void buildTopology(bool optimize)` koja u zavisnosti od parametra pravi mrežu u kojoj je link između računara 0 i 1 kapaciteta 1 Mbps ili 10 Mbps.

2.3.1 Kreiranje uređaja i veza između njih

```
NodeContainer nodes;
nodes.Create(4);

InternetStackHelper internet;
internet.Install(nodes);

PointToPointHelper p2p;
p2p.SetQueue("ns3::DropTailQueue",
    "MaxSize", StringValue(QueueSize));
p2p.SetDeviceAttribute("DataRate",
    StringValue(BaseBandwidth));
p2p.SetChannelAttribute("Delay", StringValue(LinkDelay));
NetDeviceContainer n2n1 = p2p.Install(nodes.Get(2),
    nodes.Get(1));
NetDeviceContainer n3n1 = p2p.Install(nodes.Get(3),
    nodes.Get(1));
if(optimize){
p2p.SetDeviceAttribute("DataRate",
    StringValue(IncreasedBandwidth));
```

```

}
NetDeviceContainer n1n0 = p2p.Install(nodes.Get(1),
    nodes.Get(0));

```

Možemo primetiti da će veza između računara 0 i 1 biti povećanog kapaciteta ako parametar `optimize` ima vrednost `true`.

2.3.2 Dodela adresa

U ovom delu skripte će se mrežnim uređajima dodeliti IP adrese i popuniće se tabele rutiranja.

```

Ipv4AddressHelper ip;

ip.SetBase("10.0.0.0", "255.255.255.0");
Ipv4InterfaceContainer i1i0 = ip.Assign(n1n0);

ip.SetBase("10.0.1.0", "255.255.255.0");
Ipv4InterfaceContainer i2i1 = ip.Assign(n2n1);

ip.SetBase("10.0.2.0", "255.255.255.0");
Ipv4InterfaceContainer i3i1 = ip.Assign(n3n1);

Ipv4GlobalRoutingHelper::PopulateRoutingTables();

```

2.3.3 Izvor saobraćaja

Na računarima 2 i 3 su instalirane aplikacije koje šalju UDP pakete ka računaru 0. Aplikacije će biti pokrenute u trajanju od 20 sekundi.

```

uint16_t port = 9;
OnOffHelper sender("ns3::UdpSocketFactory",
    InetSocketAddress(i1i0.GetAddress(1),port));
sender.SetAttribute("OnTime",
    StringValue("ns3::ConstantRandomVariable[Constant=1]"));
sender.SetAttribute("OffTime",
    StringValue("ns3::ConstantRandomVariable[Constant=0]"));
sender.SetAttribute("DataRate", StringValue(BaseBandwidth));
sender.SetAttribute("PacketSize", UIntegerValue(200));
ApplicationContainer senderApps =
    sender.Install(NodeContainer(nodes.Get(2), nodes.Get(3)));
senderApps.Start(Seconds(0.0));
senderApps.Stop(Seconds(20.0));

```

2.3.4 Prijem saobraćaja

Aplikacija za prijem saobraćaja na računaru 0 će biti aktivna 10 sekundi duže zbog eventualnih paketa u redovima čekanja na slanje.

```
PacketSinkHelper sink("ns3::UdpSocketFactory",  
    InetSocketAddress(Ipv4Address::GetAny(),port));  
ApplicationContainer sinkApps = sink.Install(nodes.Get(0));  
sinkApps.Start(Seconds(0.0));  
sinkApps.Stop(Seconds(30.0));
```

2.3.5 Izvršavanje simulacije i snimanje izveštaja

Za analizu simulacije je upotrebljena ns3::FlowMonitor klasa čiji opis je dostupan u dokumentaciji.[2]

```
Ptr<FlowMonitor> flowMonitor;  
FlowMonitorHelper flowMonitorHelper;  
flowMonitor = flowMonitorHelper.InstallAll();  
  
Simulator::Stop(Seconds(30.0));  
Simulator::Run();  
  
flowMonitor->SerializeToXmlFile  
    (optimize?"izlaza.xml":"izlazbez.xml", false,true);  
Simulator::Destroy();
```

Glava 3

Rezultati

U tabeli 3.1 su prikazani rezultati simulacije pre proširenja, a u tabeli 3.2 posle proširenja.

Tabela 3.1: Pre proširenja

Poslato paketa	24998
Primljeno paketa	13144
Izgubljeno paketa	11854

Tabela 3.2: Posle proširenja

Poslato paketa	24998
Primljeno paketa	23808
Izgubljeno paketa	1190

Rezultati su pokazali da je zbog uskog grla drastično smanjen kvalitet saobraćaja. Posle optimizacije je procenat izgubljenih paketa smanjen sa 47.42% na 4.76%.

Glava 4

Napomene

4.1 Izgubljeni paketi u poboljšanoj topologiji

U ovom delu rada će biti objašnjeno zašto i posle proširenja linka dolazi do izgubljenih paketa. Kada se pogleda brzina slanja paketa u aplikacijama, može se prmetiti da je protok jednak 10 Mbps (paketi veličine 200 B brzinom 625 paketa u sekundi).

Konsultacijom dokumentacije simulatora se vidi da se podešavanje veličine paketa koji će generisati `OnOffApplication` odnosi samo na veličinu korisnog dela paketa (*payload*), na koji će se dodati još 8 B UDP zaglavlja, 20 B IP zaglavlja i 2 B PPP zaglavlja.

Može se izračunati da iz reda za slanje mrežnog uređaja paketi izlaze brzinom od $\frac{10^6}{230 \cdot 8} \approx 544$ paketa u sekundi. Tada je relativna razlika brzine pristizanja paketa u red i brzine izlaska paketa iz reda jednaka 81 paket u sekundi. U simulaciji su aplikacije pokrenute tokom 20 sekundi i za to vreme će se u mrežnim uređajima računara 2 i 3 prispeti $81 \cdot 20 = 1620$ paketa „viška”. Pošto je veličina reda za slanje 1024 paketa, može se izračunati da će posle popunjavanja reda biti odbačeno $1620 - 1024 = 596$ paketa, što se slaže sa rezultatima simulacije.

Tabela 4.1: Posle proširenja, veći paket

Poslato paketa	12498
Primljeno paketa	12498
Izgubljeno paketa	0

Ako se simulacija izmeni tako da aplikacije generišu pakete veličine 400 B. Tada u redove slanja paketi dolaze brzinom $\frac{10^6}{400 \cdot 8} = 312.5$ paketa u

sekundi, a odlaze brzinom $\frac{10^6}{430 \cdot 8} \approx 291$ paketa u sekundi. Tada je relativna razlika brzina dolaska i odlaska paketa 21.5 paketa u sekundi. Za 20 sekundi biće generisano $21.5 \cdot 20 = 430$ paketa „viška”. Pošto je red veličine 1024 paketa, neće doći do odbacivanja paketa. U tabeli 4.1 je prikazan rezultat ove simulacije.

4.2 Izbor L4 protokola

U ovom delu rada će biti objašnjeno zašto je kao protokol transportnog sloja u simulaciji iskorišćen UDP umesto TCP.

Cilj simulacije je bio da se pokaže zagušenje, pa TCP nije bio pogodan jer implementira razne algoritme za izbegavanje zagušenja. [4]

U tabeli 4.2 je dat rezultat simulacije pre proširenja kapaciteta linka između računara 0 i 1. Brojani su samo paketi koji su išli ka računaru 0. Nisu brojani povratni paketi sa kontrolnim podacima.

Tabela 4.2: Pre proširenja, TCP

Poslato paketa	5834
Primljeno paketa	5567
Izgubljeno paketa	267

Glava 5

Zaključak

U ovom projektu je prikazana simulacija zagušenja korišćenjem NS-3 simulatora. Opisana je mreža u kojoj je zagušenje pokazano i objašnjena je skripta kojom je simulacija kreirana. Pokazano je kako nedovoljan kapacitet linka negativno utiče na kvalitet saobraćaja. Topologija je relativno jednostavna jer cilj rada nije bila kompleksnost, nego pokazivanje mogućnosti analize mreže uz pomoć simulatora.

Literatura

- [1] *ns-3 Tutuorial*, izdanje za ns-3.38, 2023; dostupno online:
<https://www.nsnam.org/docs/release/3.38/tutorial/ns-3-tutorial.pdf>
- [2] ns-3 dokumentacija: <https://www.nsnam.org/docs/doxygen/index.html>
- [3] Milan Bjelica, *Telekomunikacione i računarske mreže*, Mensa Srbije, 2021.
- [4] Wesley Eddy, *RFC 9293, Transmission Control Protocol (TCP)*, RFC Editor, 2022, <https://www.rfc-editor.org/info/rfc9293>

Prilozi

Struktura direktorijuma projekta

```
pmt-projekat/  
├── run.sh  
├── h/  
│   ├── topology.h  
├── src/  
│   ├── main.cc  
│   └── topology.cc  
└── output/
```

run.sh

```
#!/bin/bash  
  
mkdir -p "$NS3ROOT/scratch/projekat"  
  
pushd src  
for file in $(ls)  
do  
cp $file "$NS3ROOT/scratch/projekat/$file"  
done  
popd  
  
pushd h  
for file in $(ls)  
do  
cp $file "$NS3ROOT/scratch/projekat/$file"  
done  
popd
```

```
mkdir -p output
OUTDIR="$PWD/output"

pushd "$NS3ROOT"
./ns3 build
./ns3 run scratch/projekat/main.cc --cwd=$OUTDIR
popd
```

topology.h

```
#pragma once
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>
#include <cassert>

#include "ns3/core-module.h"
#include "ns3/internet-module.h"
#include "ns3/point-to-point-module.h"
#include "ns3/network-module.h"
#include "ns3/applications-module.h"
#include "ns3/ipv4-global-routing-helper.h"
#include "ns3/flow-monitor.h"
#include "ns3/flow-monitor-helper.h"

#define BaseBandwidth "1Mbps"
#define IncreasedBandwidth "10Mbps"
#define QueueSize "1024p"
#define LinkDelay "5ms"
#define PacketSize 200

using namespace ns3;

void buildTopology(bool optimize);
```

topology.cc

```
#include "topology.h"

void buildTopology(bool optimize){
    NodeContainer nodes;
    nodes.Create(4);

    //instalacija steka protokola na cvorovima
    InternetStackHelper internet;
    internet.Install(nodes);

    //pravimo linkove
    PointToPointHelper p2p;
    p2p.SetQueue("ns3::DropTailQueue",
        "MaxSize", StringValue(QueueSize));
    p2p.SetDeviceAttribute("DataRate",
        StringValue(BaseBandwidth));
    p2p.SetChannelAttribute("Delay", StringValue(LinkDelay));
    NetDeviceContainer n2n1 = p2p.Install
        (nodes.Get(2), nodes.Get(1));
    NetDeviceContainer n3n1 = p2p.Install
        (nodes.Get(3), nodes.Get(1));
    if(optimize){
        p2p.SetDeviceAttribute("DataRate",
            StringValue(IncreasedBandwidth));
    }
    NetDeviceContainer n1n0 =
        p2p.Install(nodes.Get(1), nodes.Get(0));

    //dodela IP adresa
    Ipv4AddressHelper ip;

    ip.SetBase("10.0.0.0", "255.255.255.0");
    Ipv4InterfaceContainer i1i0 = ip.Assign(n1n0);

    ip.SetBase("10.0.1.0", "255.255.255.0");
    Ipv4InterfaceContainer i2i1 = ip.Assign(n2n1);

    ip.SetBase("10.0.2.0", "255.255.255.0");
    Ipv4InterfaceContainer i3i1 = ip.Assign(n3n1);
```

```

Ipv4GlobalRoutingHelper::PopulateRoutingTables();

//izvor saobracaja
uint16_t port = 9;
OnOffHelper sender("ns3::UdpSocketFactory",
    InetSocketAddress(Ili0.GetAddress(1),port));
sender.SetAttribute("OnTime",
    StringValue("ns3::ConstantRandomVariable[Constant=1]"));
sender.SetAttribute("OffTime",
    StringValue("ns3::ConstantRandomVariable[Constant=0]"));
sender.SetAttribute("DataRate", StringValue(BaseBandwidth));
sender.SetAttribute("PacketSize", PacketSize);
ApplicationContainer senderApps =
    sender.Install(NodeContainer(nodes.Get(2), nodes.Get(3)));
senderApps.Start(Seconds(0.0));
senderApps.Stop(Seconds(20.0));

//prijem saobracaja
PacketSinkHelper sink("ns3::UdpSocketFactory",
    InetSocketAddress(Ipv4Address::GetAny(),port));
ApplicationContainer sinkApps = sink.Install(nodes.Get(0));
sinkApps.Start(Seconds(0.0));
sinkApps.Stop(Seconds(30.0));

//snimanje izvestaja
AsciiTraceHelper ascii;
Ptr<OutputStreamWrapper> stream = ascii.CreateFileStream
    (optimize?"bezoptimizacije.tr":"saoptimizacijom.tr");
p2p.EnableAsciiAll(stream);
p2p.EnablePcapAll(optimize?
    "bezoptimizacije":"saoptimizacijom");

Ptr<FlowMonitor> flowMonitor;
FlowMonitorHelper flowMonitorHelper;
flowMonitor = flowMonitorHelper.InstallAll();

Simulator::Stop(Seconds(30.0));
Simulator::Run();

```

```
flowMonitor->SerializeToXmlFile(optimize?  
    "izlazsa.xml":"izlazbez.xml",false,true);  
Simulator::Destroy();  
}
```

main.cc

```
#include "topology.h"  
  
int main(int argc, char* argv[]){  
    Config::SetDefault  
        ("ns3::Ipv4GlobalRouting::RespondToInterfaceEvents",  
         BooleanValue(true));  
  
    buildTopology(false);  
    buildTopology(true);  
  
}
```