

به نام خداوند بخشنده مهربان

موضوع:

گزارش پروژه دوم درس شبکه

شبیه سازی و تحلیل مکانیزم های ازدحام شبکه در tcp

ارائه شده توسط:

دکتر احمد خونساری

در:

دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تهران

گردآوری شده توسط:

علیرضا زارع نژاد اشکذری

بهار 99

## توضیح ساختار پروژه و فایل ها :

در پوشه ی اصلی یک فایل main.tcl وجود دارد که حاوی فایل otcl جهت پیاده سازی پروتکل و ساختار اصلی شبکه است.

پوشه ی plot حاوی تمامی نمودار ها و تصاویر شبیه سازی است. در این پوشه به ازای هر agent tcp یعنی به ازای Vegas ، Newreno ، Tahoe و به ازای هر دو flow موجود در شبکه به ازای هر کدام از متغیر های خواسته شده یعنی cwnd و goodput و packet loss و rtt نمودار آورده شده است. پس در این پوشه ۲۸ تصویر png وجود دارد.

همچنین در این پوشه سه دایرکتوری برای agent tcp و در داخل هر یک به ازای تمامی متغیر های cwnd و goodput و rtt و droprate یک فولدر وجود دارد که به ازای هر flow دو پوشه ، flow0 و flow1 وجود دارد که دیتاهای شبیه سازی ناشی از 10 بار اجرا در آن قرار دارد. همچنین از jupyter notebook برای کشیدن نمودار ها و کد پایتون جهت تحلیل فایل ها و tracefile استفاده شده است.

## نحوه ی اجرا:

ابتدا در دایرکتوری اصلی پروژه فایل Main.tcl را اجرا می کنیم. برای این کار کافی است به صورت زیر عمل کنیم. در command line می بایست نوع tcp و شماره فایل تولیدی را مشخص کنیم که فایل حاصل در پوشه مربوطه در flow قرار می گیرد. عملاً iteration را مشخص می کنیم. به عنوان مثال :

```
ns main.tcl Tahoe 1
```

فایل main را اجرا کرده و نوع tcp را Tahoe قرار می دهد و فایل txt.1 مرتبط را در پوشه های زیر قرار می دهد.

```
Tahoe/cwnd/flow0/1.txt
```

```
Tahoe/cwnd/flow1/1.txt
```

```
Tahoe/goodput/flow0/1.txt
```

```
Tahoe/goodput/flow1/1.txt
```

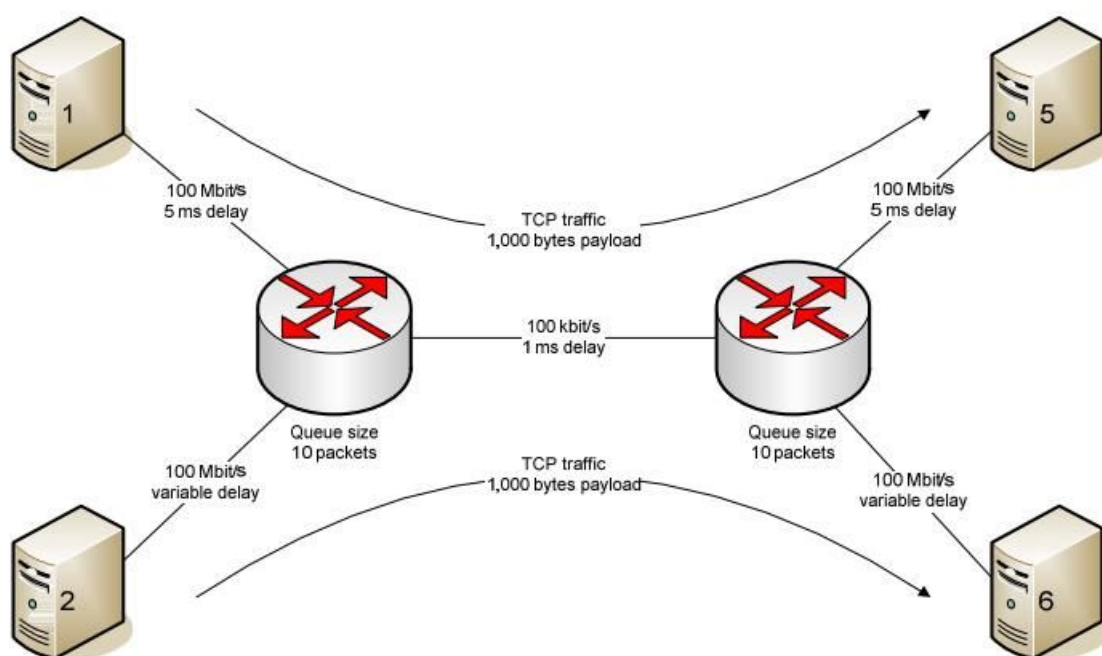
```
Tahoe/Newreno/flow0/1.txt
```

```
Tahoe/Newreno/flow1/1.txt
```

پس از اجرا فایل کافی jupyter notebook را در ترمینال زده و کد پایتون را اجرا کنیم تا میانگین داده ی ده بار اجرا به دست آیند و نمودارها کشیده شوند. نمودار های حاصل همان طور که گفته شد در پوشه plot قرار می گیرند.

## نحوه پیاده سازی شبکه مطلوب مسئله و نتیجه شبیه سازی:

با توجه به شبکه موجود در صورت پروژه و شکل زیر در فایل basic.tcl به شیوه ای که در ادامه توضیح داده می شود ، سعی میکنیم موارد مطرح شده را به کمک ns2 پیاده کنیم.



ابتدا نود های موجود را می سازیم. با توجه به شکل، نود های 0 و 2 نقش فرستنده و نود های 5 و 6 نقش گیرنده را دارند. دو روتر نیز در شکل وجود دارد.

```
# Create the nodes:
```

```
set n0 [$ns node]
```

```
set n1 [$ns node]
```

```
set n2 [$ns node]
```

```
set n3 [$ns node]
```

```
set n4 [$ns node]
```

```
set n5 [$ns node]
```

در ادامه به ایجاد لینک بین نود ها و نسبت دادن `transmission rate` و `propagation delay` به آن ها می پردازیم. برای این کار از `duplex-link` استفاده می کنیم که یک لینک دو طرفه خواهد بود و در این صورت `ack` ها در مسیر برگشت کاملاً قابلیت جابه جایی دارند

با توجه به اینکه تاخیر زمانی برای لینک بین نود 1 و روتر سمت چپ ، و نود 5 و روتر سمت راست مقدار متفاوتی در هر بار اجرا است ، برای این کار یک تابع تعریف می کنیم که عددی رندوم تولید کند.

```
proc randomGenreator {min max} {
    return [expr $min + round(rand() * ($max - $min))]
}
```

در ادامه نحوه ی مقدار دهی لینک ها را در فایل `tcl` آورده ایم.

```
$ns duplex-link $n0 $n2 100Mb 5ms DropTail
$ns duplex-link $n1 $n2 100Mb [randomGenreator 5 25]ms DropTail
$ns duplex-link $n2 $n3 100Kb 1ms DropTail
$ns duplex-link $n3 $n4 100Mb 5ms DropTail
$ns duplex-link $n3 $n5 100Mb [randomGenreator 5 25]ms DropTail
```

همان طور که در کد بالا آورده شده است لینک بین نود 0 و 2 دارای نرخ انتقال 100 مگابیت بر ثانیه و دیلی 5 میلی ثانیه است. همچنین لینک بین نود 1 و 2 دارای نرخ انتقال 100 مگابیت بر ثانیه و دیلی رندوم بین 5 تا 25 میلی ثانیه خواهد بود. لینک بین دو روتر دارای نرخ انتقال 100 کیلو بیت بر ثانیه و دیلی 1 میلی ثانیه است. نرخ انتقال برای لینک بین نود های 3 و 4 برابر 100 مگابیت بر ثانیه و دیلی 5 میلی ثانیه و در نهایت لینک بین نود 3 و 5 دارای نرخ انتقال 100 مگابیت بر ثانیه و دیلی رندوم است.

با توجه به اینکه گفته شده بود اندازه صف در روتر ها برابر 10 است و توجه به اینکه صف روتر در پورت خروجی آن است ، پس به صورت زیر این کار را انجام دادیم.

```
$ns queue-limit $n2 $n3 10
$ns queue-limit $n3 $n4 10
$ns queue-limit $n3 $n5 10
```

برای شکل بندی و جهت هر کدام از لینک ها تا به صورت شکل بالا در بیاید به صورت زیر عمل می کنیم.

```

$ns duplex-link-op $n0 $n2 orient right-down
$ns duplex-link-op $n1 $n2 orient right-up
$ns duplex-link-op $n2 $n3 orient right
$ns duplex-link-op $n3 $n4 orient right-up
$ns duplex-link-op $n3 $n5 orient right-down

```

تا به اینجا نود ها و لینک بین نود ها در شبکه شکل گرفت. حال به سراغ ایجاد دو flow و ایجاد agent های مربوطه برای ارسال و دریافت پکت ها می رویم.

همان طور که در صورت پروژه ذکر گردید ، قرار است شبیه سازی را برای سه agent مختلف tcp انجام دهیم و تحلیل های مربوطه را بنویسیم.

برای این کار می توانیم به شکل زیر عمل کنیم و نوع tcp را متناسب با چیزی که از command line گرفته ایم به وجود آوریم.

```

#set a TCP
if {$variant == "Tahoe"} {
    set tcp0 [new Agent/TCP]
    set tcp1 [new Agent/TCP]
} elseif {$variant == "Newreno"} {
    set tcp0 [new Agent/TCP/Newreno]
    set tcp1 [new Agent/TCP/Newreno]
} elseif {$variant == "Vegas"} {
    set tcp0 [new Agent/TCP/Vegas]
    set tcp1 [new Agent/TCP/Vegas]
}

```

tcp0 و tcp1 در حقیقت تا اینجا new شد. حال کافی است که نود های فرستنده را به tcp نسبت دهیم.

در نهایت کاری که می کنیم باید نود شروع و فرستنده پکت ها را برای دو جریان مشخص سازیم. این کار را توسط دستور زیر انجام می دهیم.

```
# Add a TCP sending module to node n0
$ns attach-agent $n0 $tcp0
# Add a TCP sending module to node n1
$ns attach-agent $n1 $tcp1
```

همان طور که در صورت پروژه ذکر شده ، باید برای پکت ها time to live را برابر ۶۴ قرار دهیم، این کار را توسط تنظیم کردن ttl برای دو جریان انجام می دهیم. در اینجا برای دو flow یک id در نظر گرفتیم و پکت ها هر flow را با رنگی مشخص کردیم.

```
$tcp0 set class_ 0
$tcp1 set class_ 1
$ns color 0 Red
$ns color 1 Blue
$tcp0 set ttl_ 64
$tcp1 set ttl_ 64
```

به طور مشابه باید نوع agent گیرنده پکت ها و نود دریافتی هر جریان را به طور جداگانه مشخص کنیم ، که به صورت زیر انجام می شود.

```
#Create a TCP receive agent (a traffic sink) and attach it to N5
set sink0 [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $n4 $sink0
```

```
#Create a TCP receive agent (a traffic sink) and attach it to N6
set sink1 [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $n5 $sink1
```

و در انتها برای شکل گیری جریان 0 از نود 0 به نود 5 و جریان 1 از نود 1 به نود 5 به شکل زیر عمل می کنیم.

```
$ns connect $tcp0 $sink0
```

```
$ns connect $tcp1 $sink1
```

حال برای اینکه پکت ها شروع به ارسال کنند و جریان داده ای برای هر دو flow شکل بگیرد از ftp به صورت زیر استفاده می کنیم.

```
# Setup a FTP traffic generator on "tcp0"
set ftp0 [new Application/FTP]
$ftp0 attach-agent $tcp0
$ftp0 set type_ FTP

# Setup a FTP traffic generator on "tcp1"
set ftp1 [new Application/FTP]
$ftp1 attach-agent $tcp1
$ftp1 set type_ FTP
```

در اینجا لازم است توضیحی داده شود. میتوانستیم به جای ftp از cbr استفاده کنیم تا ترافیک شبکه را به وجود آورد. از cbr زمانی استفاده می شود که نرخ فرستادن پکت ها بخواهد ثابت باشد و معمولاً در udp از آن استفاده می شود ولی tcp به خاطر داشتن مکانیزم کنترل ازدحام تفاوتی ندارد و اغلب لینک ها از ftp استفاده کرده اند.

خب تا در نهایت زمان انجام شبیه سازی را تعیین می کنیم. و با دستور run شبیه سازی را آغاز می کنیم.

```
# Schedule start/stop times
$ns at 0.0 "$ftp0 start"
$ns at 1000.0 "$ftp0 stop"
$ns at 0.0 "$ftp1 start"
$ns at 1000.0 "$ftp1 stop"

# Set simulation end time
$ns at 1000.0 "finish"
```

در اینجا نوشتن فایل tcl به اتمام می رسد. تنها نیاز به trace کردن یک سری variable است برای رسم نمودار و تحلیل به آنها نیاز داریم که در ادامه توضیح داده می شود.

فعلاً می خواهیم نتیجه شبیه سازی و فایل های تولیدی را توضیح دهیم.

ابتدا ns basic.tcl را در ترمینال وارد می کنیم. خروجی دو فایل خواهد بود. یکی فایل main.nam که برای شبیه سازی از آن استفاده می شود و در دایرکتوری اصلی قرار گرفته و برابر با آخرین اجرا می باشد و دیگری فایل trace که با پسوند tr. مشخص شده و در دایرکتوری مربوطه متناسب با نوع tcp دریافتی از command line در پوشه droprate/tracefiles قرار می گیرد.

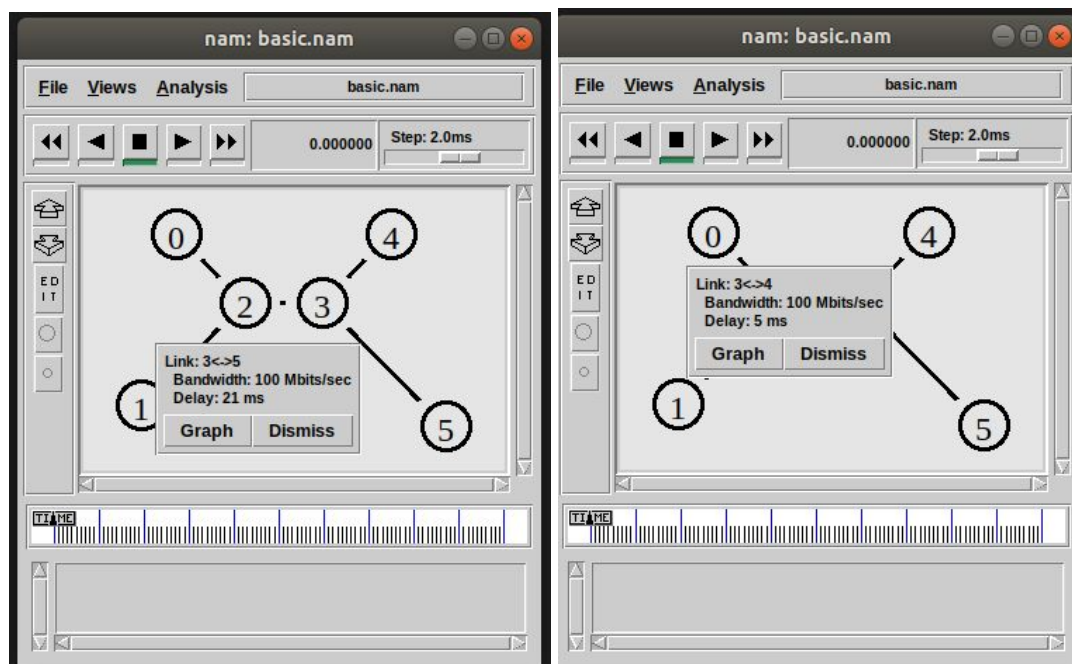
```
#Open the nam file basic.nam and the variable-trace file basic.tr
set namfile [open main.nam w]
$ns namtrace-all $namfile
set filetrace "$variant/droprate/tracefiles/$num_run.tr"
puts $filetrace
set tracefile [open $filetrace w]
$ns trace-all $tracefile
```

فایل num\_run.tr در حقیقت شامل event ها یعنی اطلاعاتی چون drop ، send ، receive شدن پکت ها در هر نود و یا trace کردن variable هایی است که مشخص می کنیم مثلا cwnd برا تعیین تغییرات سایز پنجره هر جریان tcp.

```
# Let's trace some variables
$tcpO attach $tracefile
$tcpO tracevar cwnd_
$tcp1 attach $tracefile
$tcp1 tracevar cwnd_
```

برای اجرای فایل شبیه سازی می توانیم دستور nam basic.nam را در ترمینال بزنیم. نتیجه شبیه سازی به صورت زیر خواهد بود. مثلا به شکل زیر خواهد بود و ملاحظه می کنیم که اطلاعات لینک ها به درستی تعیین شده است.





حال به توضیح نحوه پیاده سازی هر بخش می پردازیم.

### CWND یا نرخ تغییر پنجره در tcp

خب با توجه به اینکه در مرحله قبل توپولوژی شبکه را تعیین کردیم. حال با توجه به اطلاعات کی از command line گرفتیم با توجه به کد نوشته شده در زیر به ازای هر جریان عملیات یک فایل file\_cwnd نسبت داده می شود که در هر ثانیه در فایل مربوطه زمان و سایز پنجره window را نشان می دهد. این سایز را به وسیله ی دستور set cwnd در یافت می کنیم. فرمت فایل تولیدی در هر خط به شکل زیر است.

time space cwnd\_

```
proc plotWindow {tcpSource outfile} {
    global ns
    set now [$ns now]
    set cwnd [$tcpSource set cwnd_]

    ###Print TIME CWND for gnuplot to plot progressing on CWND
    puts $outfile "$now $cwnd"
    $ns at [expr $now+1] "plotWindow $tcpSource $outfile"
}

set file_cwnd0 "$variant/cwnd/flow0/$num_run.txt"
set file_cwnd1 "$variant/cwnd/flow1/$num_run.txt"

$ns at 0.0 "plotWindow $tcpO $outfile0"
$ns at 0.0 "plotWindow $tcp1 $outfile1"
```

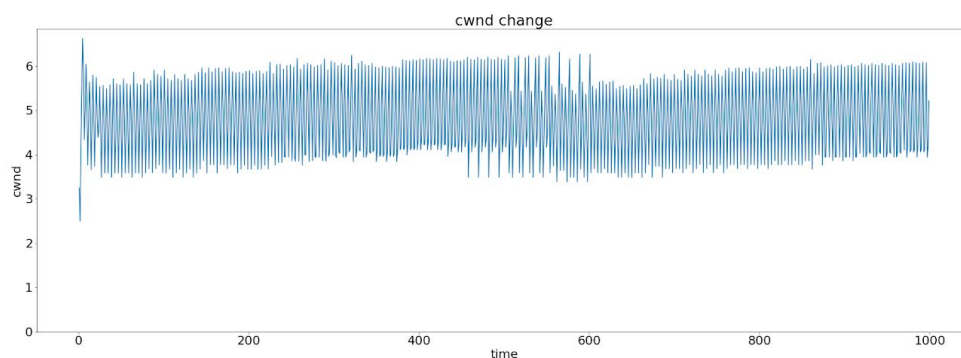
حال پس از اجرا ده بار این اسکریپت به کمک کد پایتون فایل ها را خوانده و میانگین داده های فوق را به دست می آوریم و در فایل `mean.txt` می ریزیم.

در نهایت به کمک `matplotlib` و یا `gnuplot` به سادگی از فایل نهایی نمودار مربوطه را می کشیم.

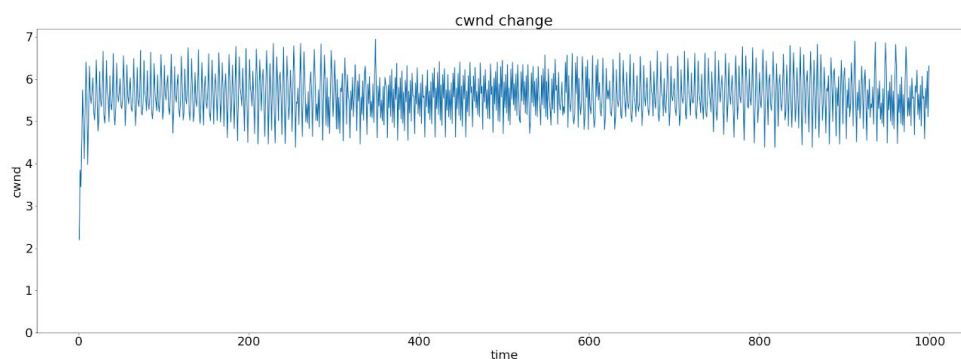
محور X زمان و محور Y شامل اندازه پنجره می باشد.

در زیر نمودار مربوط به هر حالت و نیز نمودار کلی شامل هر سه حالت `tcp` و هر `flow` آورده شده است.

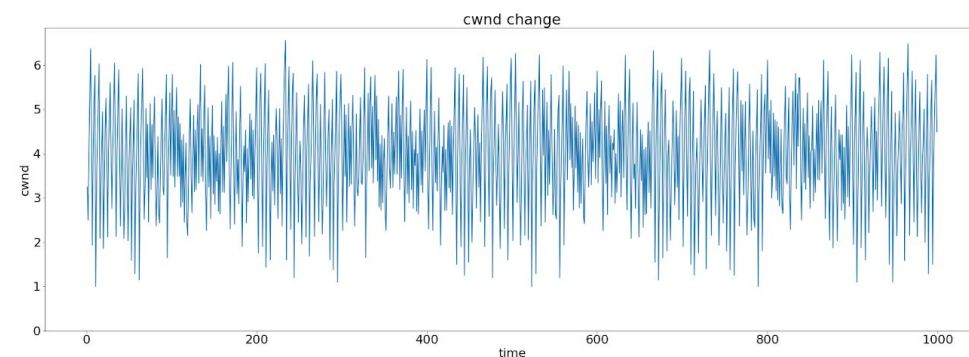
کد مربوطه نیز در فایل ژوپیتراورده شده است.



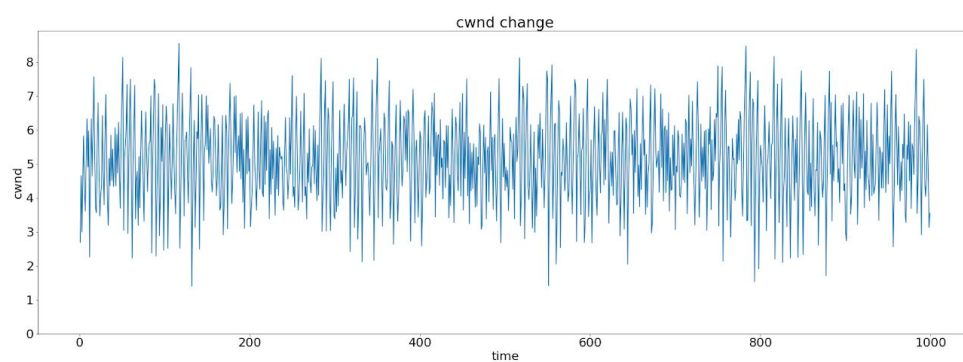
Newreno\_cwnd\_flow0



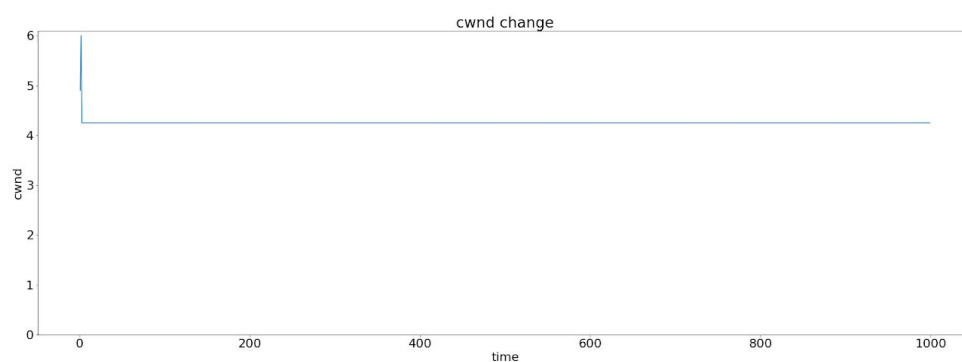
Newreno\_cwnd\_flow1



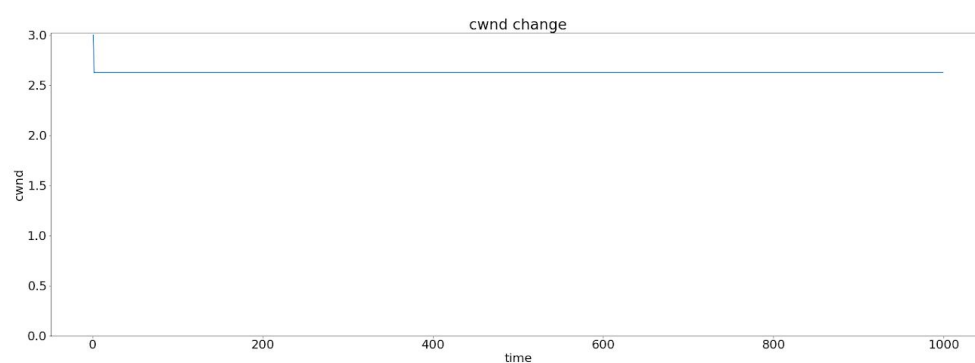
Tahoe\_cwnd\_flow0



**Tahoe/cwnd/flow1**



**Vegas/cwnd/flow0**



**Vegas/cwnd/flow1**



cwnd

### THROUGHPUT , GOODPUT

throughput در حقیقت مقدار دیتایی است که توسط مقصد دریافت می شود. average throughput در حقیقت مقدار throughput در واحد زمان است. فرض کنیم که receiver در اصل 60Mb دیتا را در 1 دقیقه دریافت می کند. پس throughput در این بازه ی زمانی برابر 60Mb است و متوسط throughput برابر 1Mb/s است.

دو نوع throughput داریم. در اینجا فقط به تشریح goodput می پردازیم. متوسط دیتایی است که در واحد زمان توسط receiver دریافت می شود به شرطی که retransmission نباشد.

برای اطلاعات مربوط به goodput کافی است که trace application را به tcp sink وصل کنیم.

```

TraceApp.ns
1  Class TraceApp -superclass Application
2  TraceApp instproc init {args} {
3      $self set bytes_ 0
4      eval $self next $args
5  }
6  TraceApp instproc recv {byte} {
7      $self instvar bytes_
8      set bytes_ [expr $bytes_ + $byte]
9      return $bytes_
10 }
11

```

عبارت -superclass نشان می دهد که کلاس traceapp بچه کلاس application است. کلاس فوق دو متد دارد.

یکی `init` که توسط اپراتور `new` فراخوانی می شود وقتی که یک شی از کلاس `traceapp` ساخته شود. همانند `constructor`. این تابع متغیر `bytes` را برابر صفر مقداردهی می کند. این متغیر تعداد بایت های دریافتی را نشان می دهد. متد دیگر نیز که درحقیقت `override` شده است ، `recv` می باشد. این متد مقدار پارامتر ورودی را با متغیر کلاس جمع می کند.

حال کافی است یک `object` از `traceapp` بسازیم و آن را به `tcp sink` وصل کنیم. و عملاً `tcp sink` وظیفه ی فراخوانی متد `recv` را دارد.

```
set traceapp0 [new TraceApp]      ;# Create a TraceApp object
set traceapp1 [new TraceApp]      ;# Create a TraceApp object

$traceapp0 attach-agent $sink0     ;# Attach traceapp to
$traceapp1 attach-agent $sink1     ;# Attach traceapp to TCPSink
$ns at 0.0 "$traceapp0 start"      ;# Start the traceapp object
$ns at 0.0 "$traceapp1 start"      ;# Start the traceapp object
```

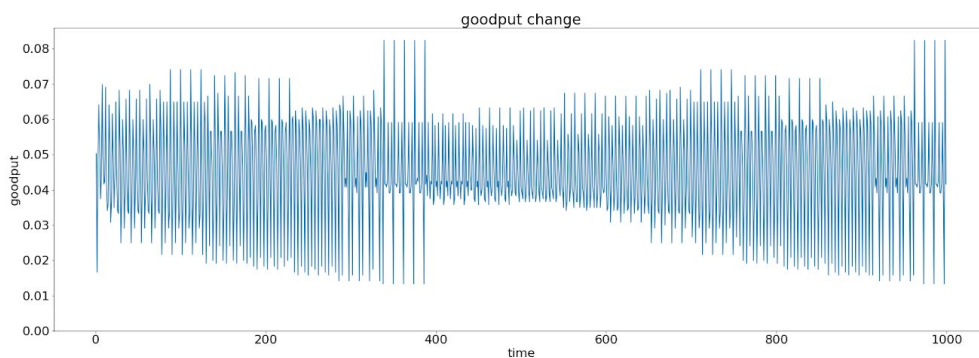
و به طور خلاصه تابع `throuput` به صورت زیر در خواهد آمد.

```
proc plotThroughput {tcpSink outfile} {
    global ns
    set now [$ns now]
    set nbytes [$tcpSink set bytes_]
    $tcpSink set bytes_ 0
    set time_incr 1.0
    set throughput [expr ($nbytes * 8.0 / 1000000) / $time_incr]
    ###Print TIME throughput for gnuplot to plot progressing on throughput
    puts $outfile "$now $throughput"
    $ns at [expr $now+$time_incr] "plotThroughput $tcpSink $outfile"
}
```

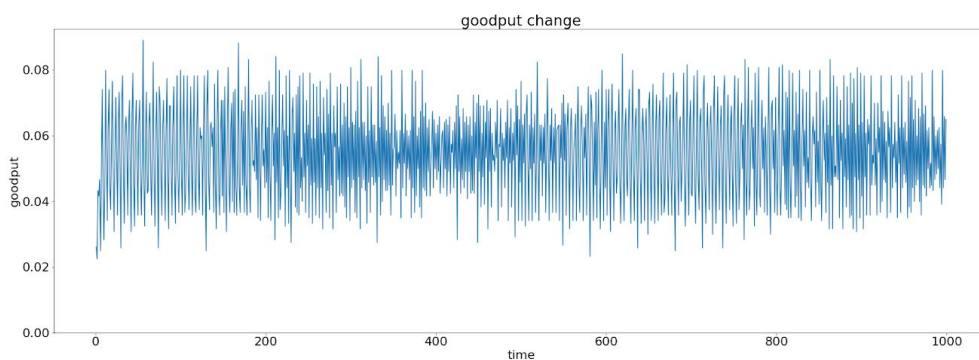
پس به طور خلاصه در `goodput` بسته ها و پکت هایی که در `sequence` مرتب دریافت می شوند شمارش می شود و این تاییدی بر تجمعی بودن `sequence` های دریافتی خواهد بود. `outfile` هم مطابق با آنچه از `command line` گرفته شد ، ساخته می شود.

```
set file_goodput0 "$variant/goodput/flow0/$num_run.txt"
set file_goodput1 "$variant/goodput/flow1/$num_run.txt"
```

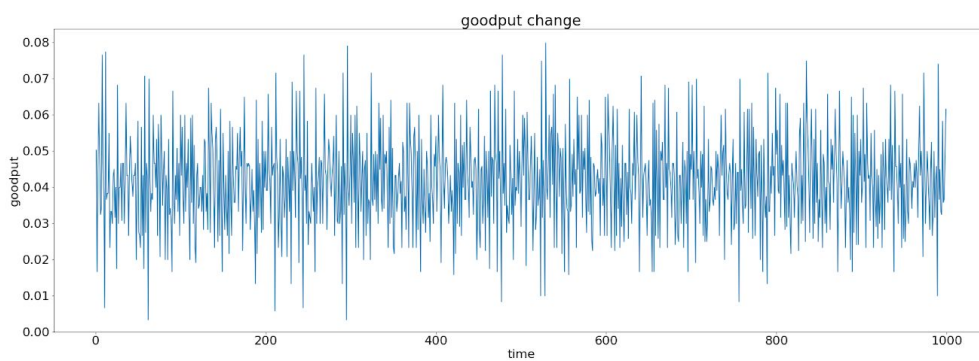
حال نمودارهای خروجی آورده شده است.



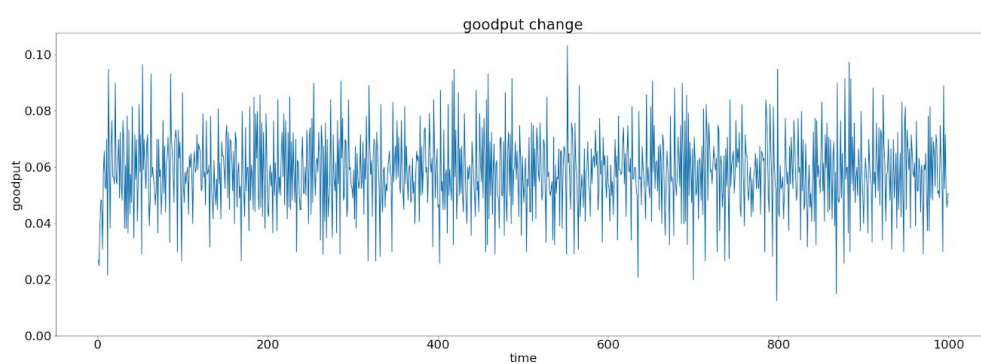
Newreno\_goodput\_flow0



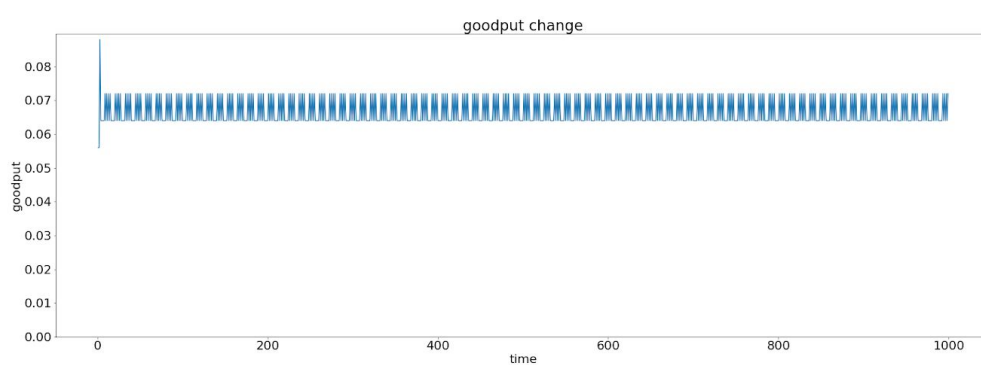
Newreno\_goodput\_flow1



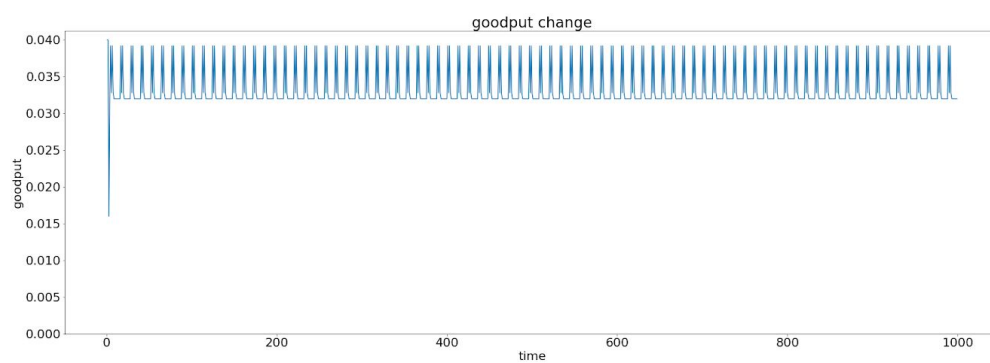
Tahoe\_goodput\_flow0



Tahoe\_goodput\_flow1

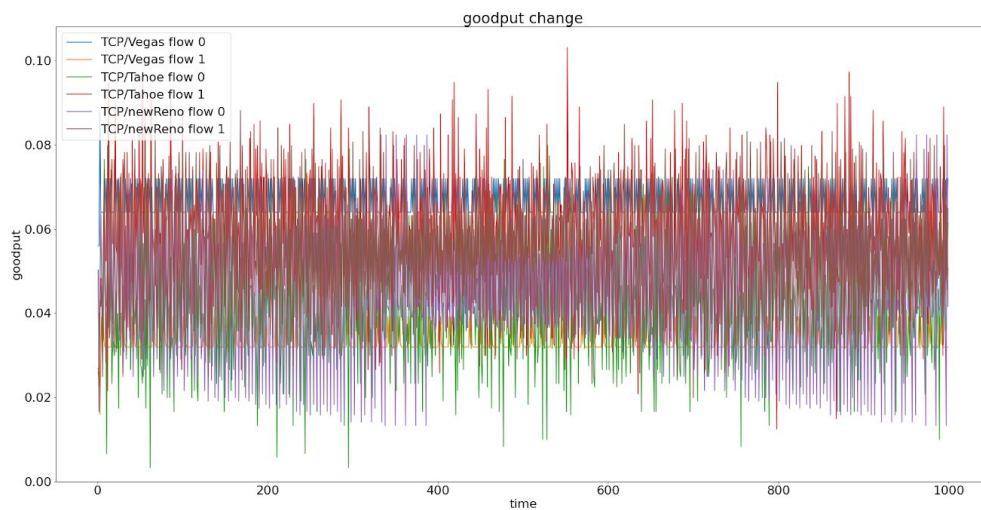


Vegas\_goodput\_flow0



Vegas\_goodput\_flow1





goodput

**RTT**

یا **round trip delay** در حقیقت مدت زمانی است که یک پالس سیگنال و یا یک پکت فرستاده شود و برگردد یا **ack** آن دریافت شود. و عملاً شامل **propagation delay** خواهد بود. کاربر اینترنت می تواند با کمک **ping** مقدار **rtt** را محاسبه کند. برای این منظور از **agent ping** استفاده می کنیم. و همچنین راه دیگری که وجود دارد با استفاده از **trace** کردن **rtt\_** در فایل خروجی پس از اجرا **ns basic.tcl** است که اطلاعات **rtt** را پس از تغییر به ما می دهد. در اینجا هر دو روش پیاده سازی کد آن آورده شده است.

```
# RTT Calculation Using Ping -----
set pO [new Agent/Ping]
$ns attach-agent $nO $pO
set p4 [new Agent/Ping]
$ns attach-agent $n4 $p4
#Connect the two agents
$ns connect $pO $p4
set p1 [new Agent/Ping]
$ns attach-agent $n1 $p1
set p5 [new Agent/Ping]
```



```

$ns attach-agent $n5 $p5
#Connect the two agents
$ns connect $p1 $p5
# Method call from ping.cc file
Agent/Ping instproc recv {from rtt} {
$self instvar node_
puts "node [$node_ id] received ping answer from \
$from with round-trip-time $rtt ms."
}
# -----

```

خب , برای trace کردن rtt نیز می توانیم به شکل زیر عمل کنیم.

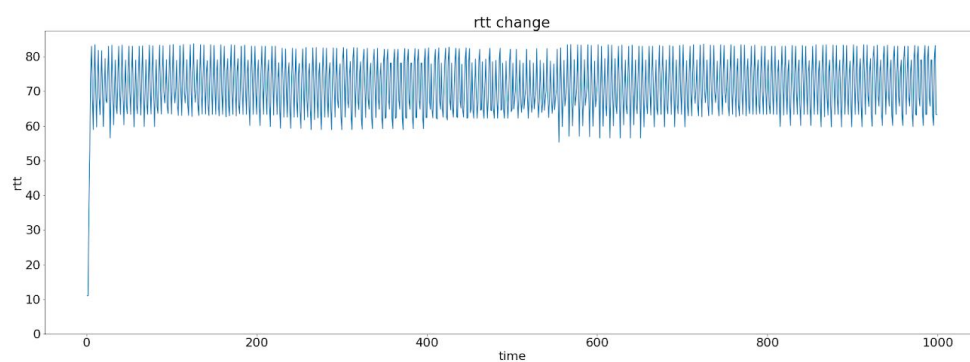
```

set file_rtt0 "$variant/rtt/flow0/$num_run.txt"
set file_rtt1 "$variant/rtt/flow1/$num_run.txt"
##### CALC RTT #####
for {set i 0} { $i < 1000 } {set i [expr {$i + 1}]} {
    $ns at $i "calcRtt $tcp0 $out0 $i"
    $ns at $i "calcRtt $tcp1 $out1 $i"
}
proc calcRtt {tcpSource outfile time} {
    set rtt [$tcpSource set rtt_]
    puts $outfile "$time $rtt"
}

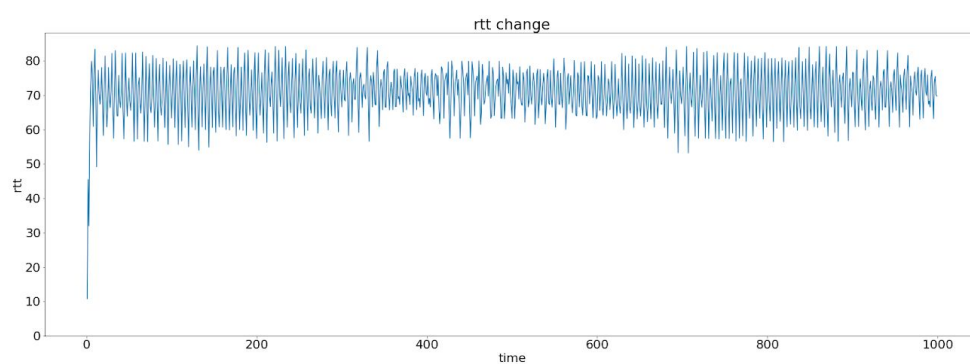
```

ابتدا فایل ها متناظر با نوع tcp و شماره فایل ساخته می شود. سپس یک حلقه به 1000 ثانیه داریم که هر بار اطلاعات rtt را از tcp دریافت می کنیم و در فایل میریزیم.

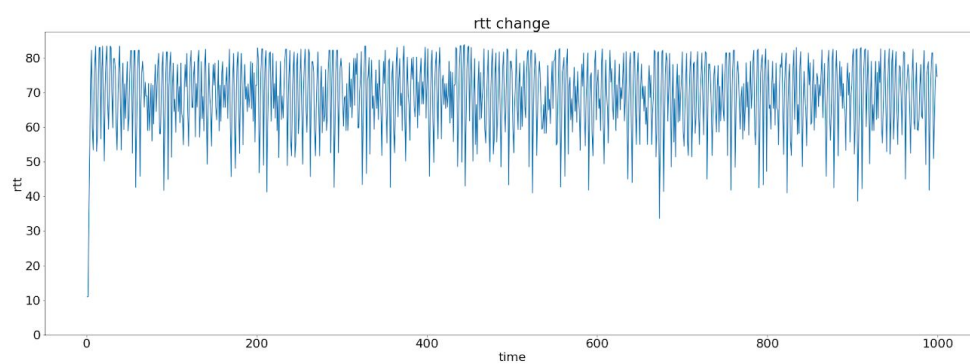
نمودار های در فایل ژوپیترو و در زیر آمده است. در انتها تنها کافی است میانگین گیری کنیم.



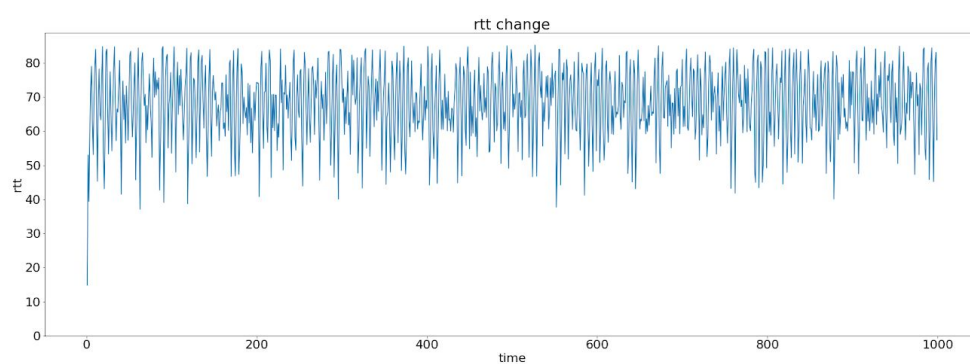
Newreno\_rtt\_flow0



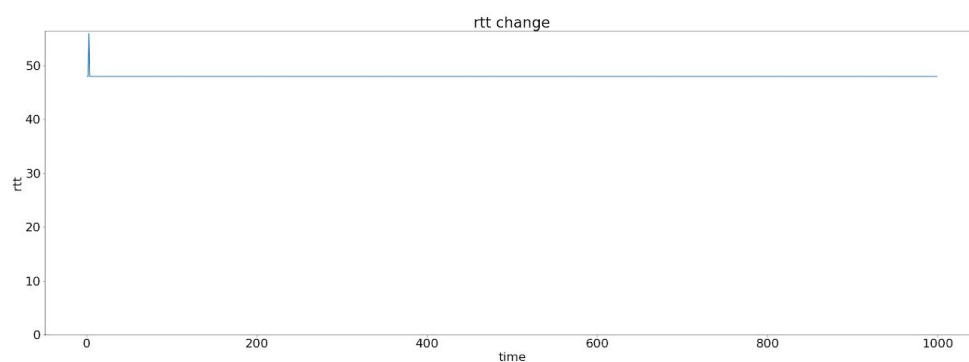
Newreno\_rtt\_flow1



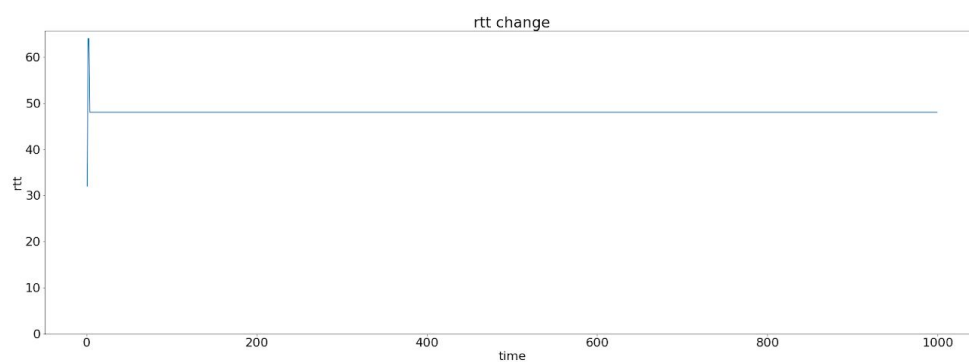
Tahoe\_rtt\_flow0



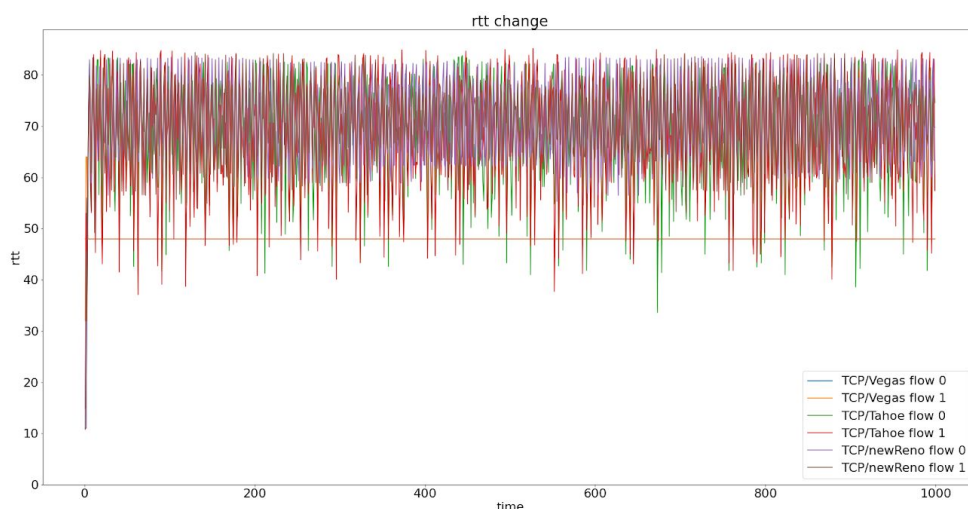
Tahoe\_rtt\_flow1



Vegas\_rtt\_flow0



Vegas\_rtt\_flow1



rtt

### DROP RATE

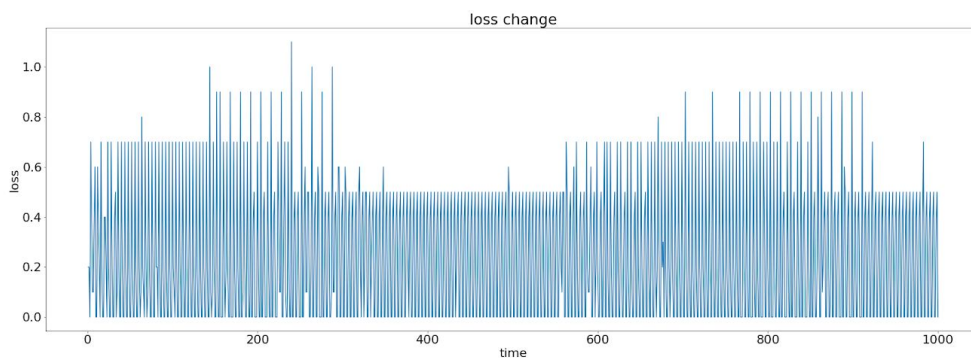
خب در اینجا کمی متفاوت عمل می کنیم و پس از اجرای اسکریپت tcl سعی می کنیم فایل trace درست شده را پارس کنیم و بدین ترتیب عمل کنیم که تعداد بسته های drop شده را در هر ثانیه به دست آوریم. برای مثال در ثانیه دو ، بسته هایی که با d- در فایل وجود دارند را در بازه زمانی 1 تا 2 به دست می آوریم. و به همین ترتیب ادامه می دهیم. همچنین می توانیم این کار را با شمارش بسته های که فرستاده شده و با تگ - مشخص شده و بسته هایی که ack آن ها دریافت شده انجام دهیم.

پس برای محاسبه نرخ از دست دادن بسته پس از اجرا کد ، از فایل trace شروع به خواندن می کنیم ، بدین ترتیب که در هر ثانیه تفاوت بسته ها فرستاده شده و ack شده را تقسیم به کل بسته های فرستاده شده در آن ثانیه می کنیم.

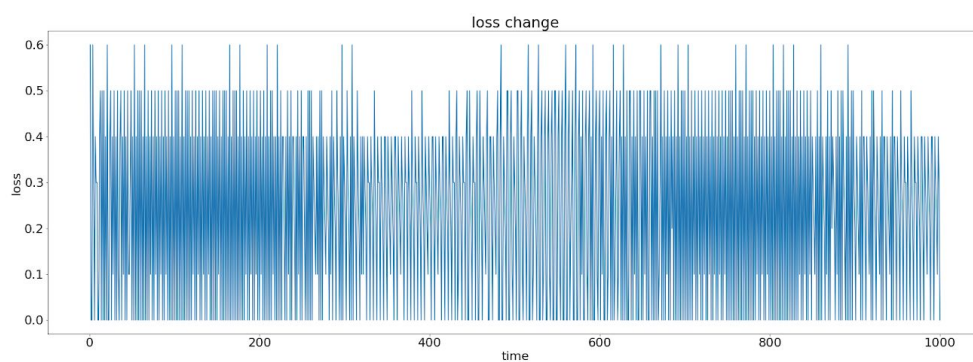
کد آن در زیر آمده است.

```
def getDropRate(tracepath):
    onlyfiles = [f for f in listdir(tracepath) if isfile(join(tracepath, f))]
    num_files = len(onlyfiles)
    for file in onlyfiles:
        drop0 = {}
        drop1 = {}
        count = 0
        for time in range(1001):
            drop0[time] = 0
            drop1[time] = 0
        with open (tracepath + "/" + file) as f:
            for line in f:
                sec = line.split()
                event = sec[0]
                time = float(sec[1])
                from_node = sec[2]
                to_node = sec[3]
                pkttype = sec[4]
                pktsize = int(sec[5])
                flow_id = sec[7]
                src_addr = sec[8]
                dst_addr = sec[9]
                seq_num = sec[10]
                if event == 'd' and flow_id == '0':
                    count+=1
                    drop0[int(float(time))]+=1
                elif event == 'd' and flow_id == '1':
                    count+=1
                    drop1[int(float(time))]+=1
```

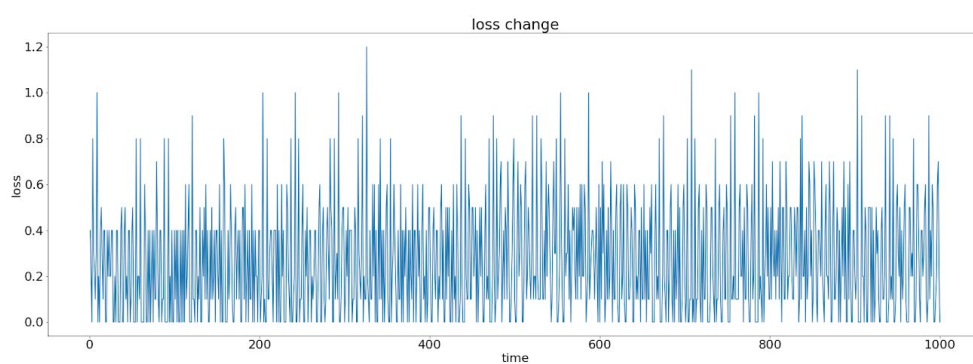
همان طور که در کد دیده می شود ، با خواندن هر فایل تریس در هر ثانیه نگاه می کنیم چند تا loss داشته ایم و این با d مشخص می شود. پس از ذخیره کردن تعداد لاس ها در هر ثانیه در فایل متناظر با فایل تریس ، از آن ها میانگین گرفته و در فایل mean.txt می ریزیم و نهایتا نمودار آن را می کشیم. در زیر نمودار ها آورده شده اند.



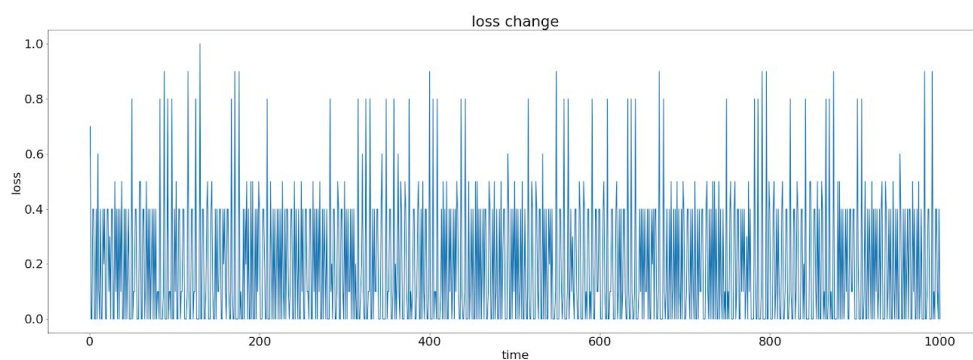
Newreno\_droprate\_flow0



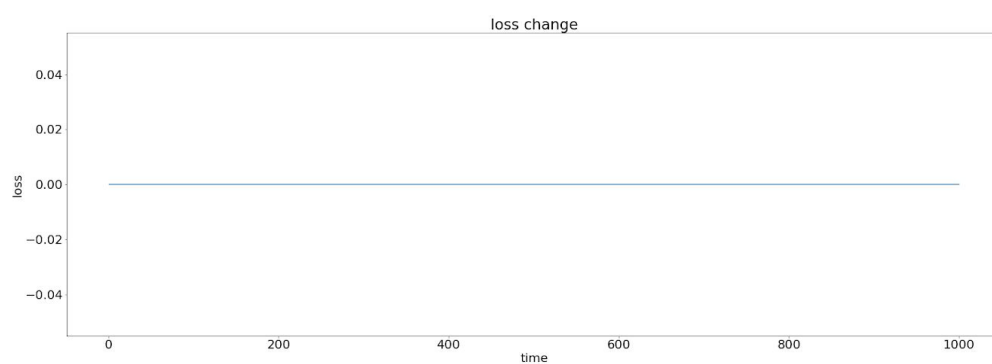
Newreno\_droprate\_flow1



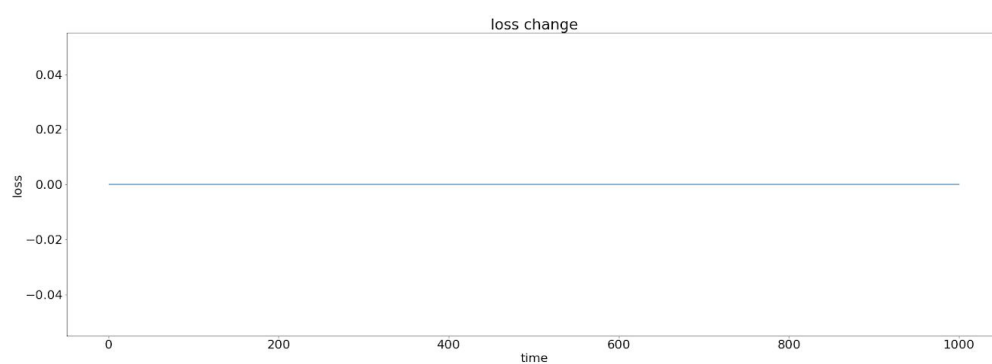
Tahoe\_droprate\_flow0



Tahoe\_droprate\_flow1



**Vegas\_droprate\_flow0**



**Vegas\_droprate\_flow1**