



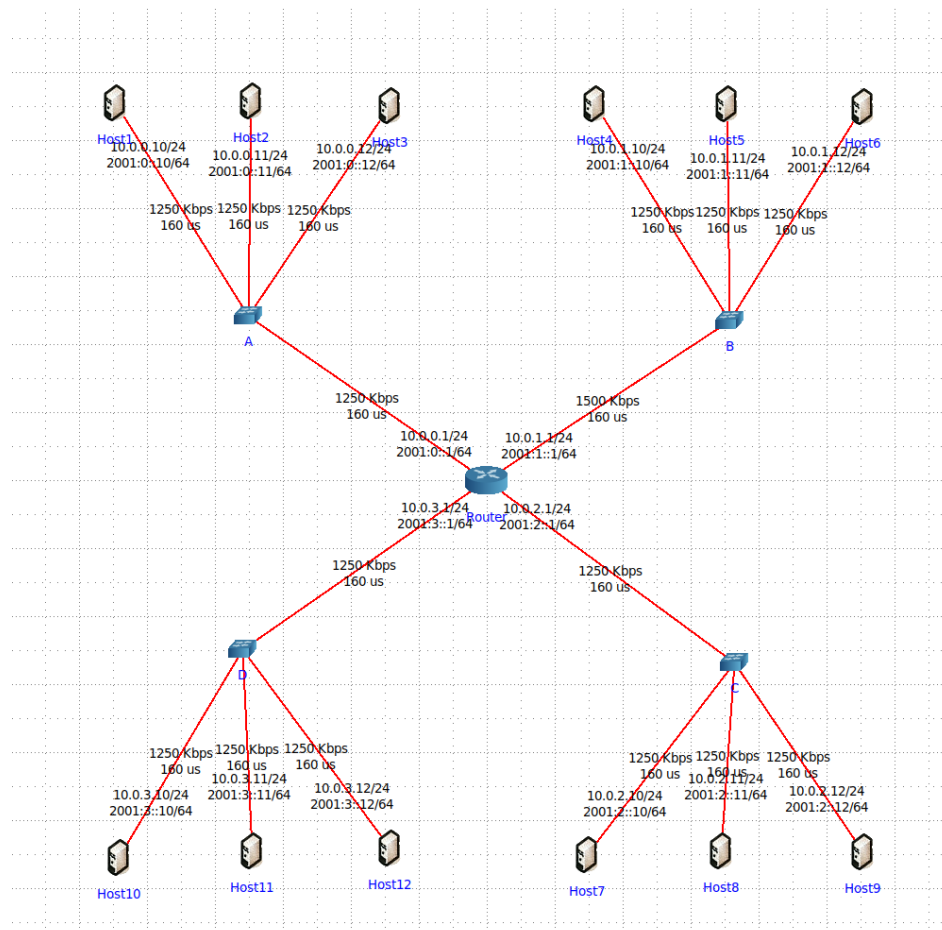
## Δίκτυα Επικοινωνιών (2022-2023)

Διονύσιος Ρηγάτος (P3200262)

Χριστόφορος Παπαποστόλου (P3150208)

### Εργασία 2

- 1) Δομήσαμε ένα δίκτυο σε χώρο 1km x 1km με 4 υποδίκτυα. Τα υποδίκτυα A, C, D περιέχουν υπολογιστές που διαχειρίζονται στελέχη χρήστες και το υποδίκτυο B περιέχει server hosts. Οι clients είναι τα υποδίκτυα C, D.



## 2) Traffic Flows

### VOIP Push to Talk

Θα προσομοιώσουμε μία φωνητική κλήση (VOIP) τύπου push-to-talk (PPT) μεταξύ δύο χρηστών. Πιο συγκεκριμένα, οι χρήστες θα χρησιμοποιούν την εφαρμογή Discord η οποία χρησιμοποιεί το WebRTC πρωτόκολλο για real-time peer-to-peer communication, και θα μιλάνε (transmit) ανά τυχαία διαστήματα κάποιων δευτερολέπτων. Χρησιμοποιείται UDP για ταχύτητα.

Nodes: N1-N8

Ports: 5100, 5101

Flows: x2

Protocol: UDP

Pattern: 0-5s random BURST 100kbps randomly every 10s

### File Transfer

Ο server στέλνει στον client ένα αρχείο (που ο client αιτήθηκε – πρόκειται για download). Αυτό γίνεται μέσω του πρωτοκόλλου TCP για λόγους reliability αλλά καθώς και είναι σημαντικό το congestion control στην προκειμένη περίπτωση. Τα δεδομένα στέλνονται με σταθερό ρυθμό – δηλαδή πρόκειται για ένα periodic pattern. Εδώ έχουμε 2x512kbps flows για να προσομοιώσουμε την μεταφορά ενός αρχείου 1MB. Χρησιμοποιούμε τα ports 20(command port) και 21(data port).

Nodes: N4-N7

Ports: 20, 21

Flows: x2

Protocol: TCP

Pattern: Periodic 512kbps

### Video Stream (Movie)

Ο client παρακολουθεί ένα βίντεο από έναν server. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, ο χρήστης παρακολουθεί το season finale του Better Call Saul στο Netflix, το οποίο χρησιμοποιεί TCP καθώς παρέχει δυνατότητα για το adaptive streaming που αλλάζει την ποιότητα του βίντεο ανάλογα της δυνατότητας της γραμμής.

Επιπροσθέτως χρησιμοποιεί burst pattern καθώς το βίντεο στέλνεται σε κομμάτια έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να φορτώσει κάποιο κομμάτι της ταινίας/βίντεο καθώς φορτώνει το άλλο και να μην υπάρχουν διακοπές. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο χρήστης έχει το φθηνότερο plan του Netflix και αδύναμη σύνδεση στο ίντερνετ και συνεπώς το βίντεο είναι 360p 30fps, και άρα περίπου 2mbps (σύμφωνα

με έρευνα για το Netflix συγκεκριμένα).

Nodes: N5-N10

Ports: 6100, 6101

Flows: x2

Protocol: TCP

Pattern: 3s fixed BURST 1024kbps randomly every 3s (CUSTOM)

#### Video Call w/ PPT VOIP

Ο client βρίσκεται σε μια βίντεο κλήση με έναν άλλο client. Θα χρησιμοποιηθεί το πρωτόκολλο UDP για ταχύτητα και periodic pattern αφού το βίντεο που μεταδίδεται θα είναι σταθερού ρυθμού. Πρόκειται για 360p 30fps κλήση (δεν χρειάζεται ακριβώς όσο bandwidth όσο το Netflix). Επίσης οι συμμετέχοντες θα χρησιμοποιούν VOIP PPT για να μιλάνε – το οποίο αναλύθηκε και πιο πάνω.

Nodes: N2-N9

Ports 1: 6000, 6001

Flows 1: x2

Protocol 1: UDP

Pattern 1: Periodic 512kbps

Ports 2: 5000, 5001

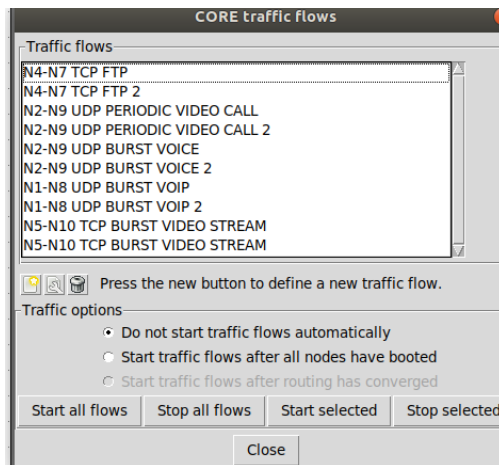
Flows 2: x2

Protocol 2: UDP

Pattern 2: 0-5s random BURST 100kbps randomly every 10s

#### ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ:

- Στα VOIP λειτουργήσαμε με τον περιορισμό της εκφώνησης πως πρέπει τα flows να πηγαίνουν από τα A, B στα C, D. Ιδανικά το ένα flow θα πηγαίνει π.χ. από τον N2 στο N9 και το δεύτερο από τον N9 στο N2. (ο περιορισμός ήταν περίεργος για την γενική ελεύθερη φύση της εργασίας)
- Τα source ports για ένα flow είναι ίδια με το destination. π.χ. UDP BURST από N2-N9 φεύγει από το Port 5000 του N2 στο Port 5000 του N9.
- Η γραμμή του υποδικτύου B προς το router είναι εσχεμμένα υψηλότερων αντοχών (1500kbps έναντι 1250kbps) καθώς το υποδίκτυο φιλοξενεί servers.



3)

Τα υποδίκτυα A, C, D έχουν bandwidth 1250kbps ενώ το B έχει bandwidth 1500kbps (από το switch προς το router). Όλες οι γραμμές έχουν delay 160 us.

### A) Average RTT Measurements

Για κάθε μέτρηση θα στείλουμε 100 πακέτα από τον κόμβο N9 στον κόμβο N2. Θα ξεκινήσουμε χωρίς καθόλου flows και θα τα αυξάνουμε σταδιακά. Έγινε η χρήση της παρακάτω εντολής:

```
ping 10.0.0.11 -c 100
```

1) Κανένα flow

```
100 packets transmitted, 100 received, 0% packet loss, time 100214ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.369/6.670/34.535/7.737 ms
```

2) File Transfer flow

```
100 packets transmitted, 100 received, 0% packet loss, time 99907ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.386/7.600/63.396/10.470 ms
```

3) Video Call flow (χωρίς video call VOIP)

```
100 packets transmitted, 98 received, 2% packet loss, time 99486ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.869/3282.112/8323.282/3059.941 ms
```

4) Video Call flow (w/ video call VOIP)

```
100 packets transmitted, 94 received, 6% packet loss, time 99691ms
rtt min/avg/max/mdev = 4293.178/6742.650/9367.060/1291.689 ms
```

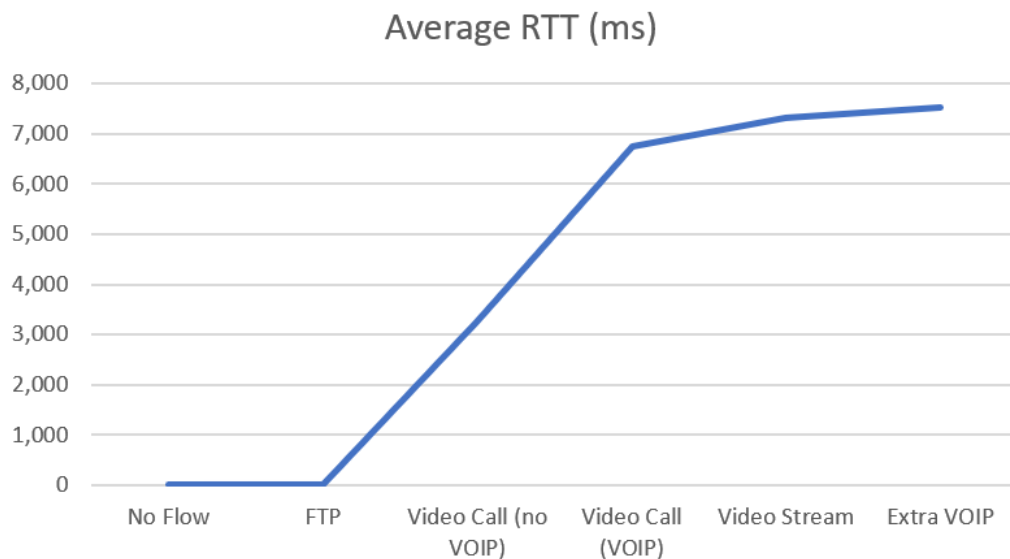
#### 5) Video Stream flow

```
100 packets transmitted, 90 received, 10% packet loss, time 99488ms
rtt min/avg/max/mdev = 3321.242/7326.423/11120.352/2120.687 ms
```

#### 6) Independent VOIP flow

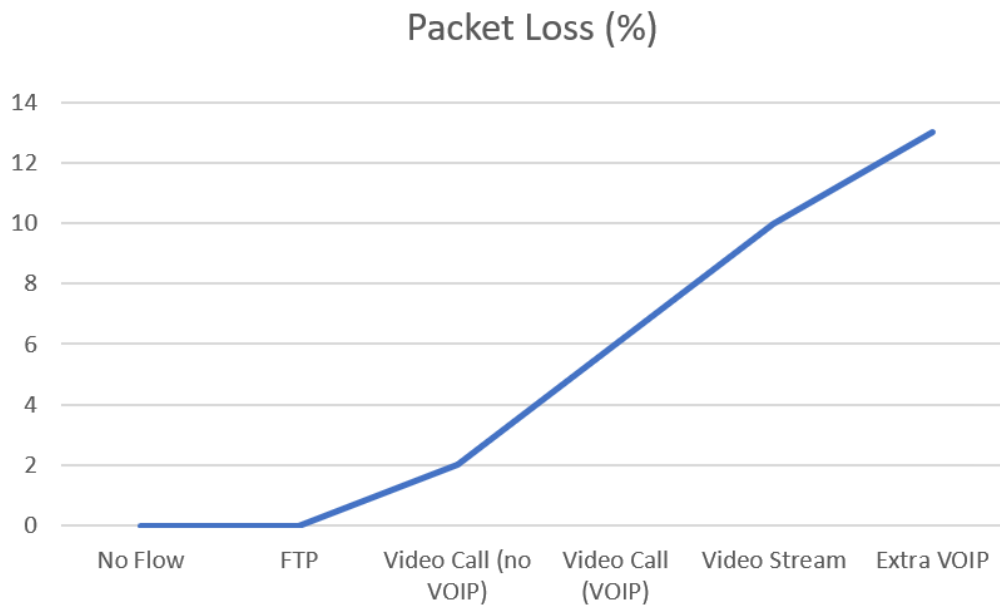
```
100 packets transmitted, 87 received, 13% packet loss, time 99609ms
rtt min/avg/max/mdev = 4353.614/7514.874/8241.404/831.357 ms
```

Ακολουθεί διάγραμμα που δείχνει την αύξηση του average RTT (σε ms) από τα παραπάνω αποτελέσματα καθώς ενεργοποιούνται τα flows του δικτύου.



### Γ) Packet Loss Measurements

Θα χρησιμοποιήσουμε τις μετρήσεις από το (Α), καθώς περιέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες (packetloss ανά μέτρηση) για την απάντηση του ερωτήματος. Συνεπώς ισχύουν και οι οδηγίες του ερωτήματος για το πως έγιναν οι μετρήσεις. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι φυσιολογικά καθώς οι γραμμές του δικτύου είναι περιορισμένες και το video call και το video streaming το επιβαρύνουν σημαντικά.



### Β) Μετρήσεις throughput

Σε αυτό το υποερώτημα θα κάνουμε μετρήσεις με την χρήση του εργαλείου iperf3 από τον destination κόμβο (π.χ. N9) προς τον source κόμβο (π.χ. N2). Οι μετρήσεις που έγιναν αποτυπώνουν την επίδραση που έχει το κάθε flow στο δίκτυο (όπως αναφέρθηκε στο Q/A session στις 11/1) είτε το δίκτυο είναι άδειο, είτε περιέχει μόνο αυτό το flow, είτε το δίκτυο είναι υπερφορτωμένο με flows. Έγιναν bar charts με y axis το throughput σε kbps που δείχνουν το αποτέλεσμα για κάθε κατάσταση του δικτύου, δηλαδή του bandwidth από τα αποτελέσματα του iperf3.

Ο server (src κόμβος) τρέχει την εντολή `iperf3 -s -p 7575`

Ο client (dst κόμβος) τρέχει την εντολή `iperf3 -c <SRV_IP> -p 7575`

## Video Call w/ PPT VOIP (N2-N9)

```
root@Host9:/tmp/pycore.40483/Host9.conf# iperf3 -c 10.0.0.11 -p 7575
Connecting to host 10.0.0.11, port 7575
[ 4] local 10.0.2.12 port 59880 connected to 10.0.0.11 port 7575
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth   Retr  Cwnd
[ 4] 0.00-1.00   sec    370 KBytes  3.03 Mb/s   0    38.2 KBytes
[ 4] 1.00-2.00   sec    127 KBytes  1.04 Mb/s   0    42.4 KBytes
[ 4] 2.00-3.01   sec    127 KBytes  1.04 Mb/s   0    48.1 KBytes
[ 4] 3.01-4.00   sec    127 KBytes  1.05 Mb/s   0    56.6 KBytes
[ 4] 4.00-5.00   sec    255 KBytes  2.08 Mb/s   0    80.6 KBytes
[ 4] 5.00-6.00   sec    318 KBytes  2.61 Mb/s   0    115 KBytes
[ 4] 6.00-7.00   sec    318 KBytes  2.61 Mb/s   0    158 KBytes
[ 4] 7.00-8.00   sec    509 KBytes  4.16 Mb/s   0    222 KBytes
[ 4] 8.00-9.00   sec    445 KBytes  3.66 Mb/s   0    286 KBytes
[ 4] 9.00-10.01  sec    445 KBytes  3.63 Mb/s   0    341 KBytes
-----
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth   Retr
[ 4] 0.00-10.01  sec    2.97 MBytes  2.49 Mb/s   0
[ 4] 0.00-10.01  sec    1.45 MBytes  1.22 Mb/s   0
sender
receiver
```

1. No Flows Active

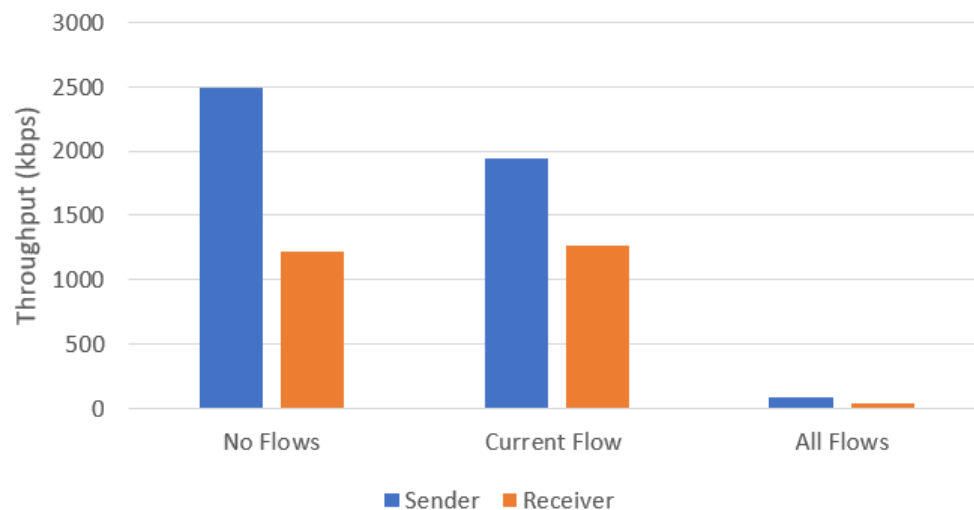
```
root@Host9:/tmp/pycore.40483/Host9.conf# iperf3 -c 10.0.0.11 -p 7575
Connecting to host 10.0.0.11, port 7575
[ 4] local 10.0.2.12 port 59892 connected to 10.0.0.11 port 7575
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth   Retr  Cwnd
[ 4] 0.00-1.00   sec    396 KBytes  3.24 Mb/s   0    39.6 KBytes
[ 4] 1.00-2.00   sec    191 KBytes  1.56 Mb/s   0    46.7 KBytes
[ 4] 2.00-3.01   sec    127 KBytes  1.04 Mb/s   0    52.3 KBytes
[ 4] 3.01-4.00   sec    191 KBytes  1.57 Mb/s   0    60.8 KBytes
[ 4] 4.00-5.00   sec    255 KBytes  2.08 Mb/s   0    83.4 KBytes
[ 4] 5.00-6.00   sec    318 KBytes  2.61 Mb/s   0    117 KBytes
[ 4] 6.00-7.00   sec    382 KBytes  3.13 Mb/s   0    164 KBytes
[ 4] 7.00-8.00   sec    191 KBytes  1.56 Mb/s   1    171 KBytes
[ 4] 8.00-9.00   sec    191 KBytes  1.57 Mb/s   0    173 KBytes
[ 4] 9.00-10.00  sec    127 KBytes  1.04 Mb/s   0    177 KBytes
-----
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth   Retr
[ 4] 0.00-10.00  sec    2.31 MBytes  1.94 Mb/s   1
[ 4] 0.00-10.00  sec    1.50 MBytes  1.26 Mb/s   0
sender
receiver
```

2. Current Flow Active

```
root@Host9:/tmp/pycore.34707/Host9.conf# iperf3 -c 10.0.0.11 -p 7575
Connecting to host 10.0.0.11, port 7575
[ 4] local 10.0.2.12 port 59820 connected to 10.0.0.11 port 7575
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth   Retr  Cwnd
[ 4] 0.00-4.93   sec    76.4 KBytes  127 Kbits/sec  2    14.1 KBytes
[ 4] 4.93-4.93   sec     0.00 Bytes  0.00 bits/sec  0    14.1 KBytes
[ 4] 4.93-4.93   sec     0.00 Bytes  0.00 bits/sec  0    14.1 KBytes
[ 4] 4.93-4.93   sec     0.00 Bytes  0.00 bits/sec  0    14.1 KBytes
[ 4] 4.93-5.00   sec     0.00 Bytes  0.00 bits/sec  0    14.1 KBytes
[ 4] 5.00-6.00   sec     0.00 Bytes  0.00 bits/sec  0    14.1 KBytes
[ 4] 6.00-7.00   sec     0.00 Bytes  0.00 bits/sec  0    14.1 KBytes
[ 4] 7.00-8.00   sec     0.00 Bytes  0.00 bits/sec  0    14.1 KBytes
[ 4] 8.00-9.00   sec     0.00 Bytes  0.00 bits/sec  0    14.1 KBytes
[ 4] 9.00-10.00  sec    31.1 KBytes  255 Kbits/sec  0    28.3 KBytes
-----
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth   Retr
[ 4] 0.00-10.00  sec    107 KBytes  88.0 Kbits/sec  2
[ 4] 0.00-10.00  sec     42.4 KBytes  34.7 Kbits/sec
sender
receiver
```

3. All Flows Active

## Video Call w/ PPT VOIP (N2-N9)



## Video Live Stream (N1-N8)

```
root@Host8:/tmp/pycore.40483/Host8.conf# iperf3 -c 10.0.0.10 -p 7575
Connecting to host 10.0.0.10, port 7575
[ 4] local 10.0.2.11 port 40350 connected to 10.0.0.10 port 7575
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth  Retr  Cwnd
[ 4] 0.00-1.00  sec   328 KBytes  2.68 Mbits/sec    0   38.2 KBytes
[ 4] 1.00-2.01  sec   191 KBytes  1.55 Mbits/sec    0   43.8 KBytes
[ 4] 2.01-3.00  sec   127 KBytes  1.05 Mbits/sec    0   50.9 KBytes
[ 4] 3.00-4.00  sec   191 KBytes  1.57 Mbits/sec    0   59.4 KBytes
[ 4] 4.00-5.00  sec   191 KBytes  1.56 Mbits/sec    0   77.8 KBytes
[ 4] 5.00-6.02  sec   318 KBytes  2.57 Mbits/sec    0   112 KBytes
[ 4] 6.02-7.00  sec   382 KBytes  3.17 Mbits/sec    0   158 KBytes
[ 4] 7.00-8.00  sec   445 KBytes  3.66 Mbits/sec    0   219 KBytes
[ 4] 8.00-9.01  sec   445 KBytes  3.63 Mbits/sec    0   283 KBytes
[ 4] 9.01-10.00 sec   445 KBytes  3.66 Mbits/sec    0   345 KBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth  Retr
[ 4] 0.00-10.00  sec  2.99 MBytes  2.51 Mbits/sec    0
sender
receiver
```

1. No Flows Active

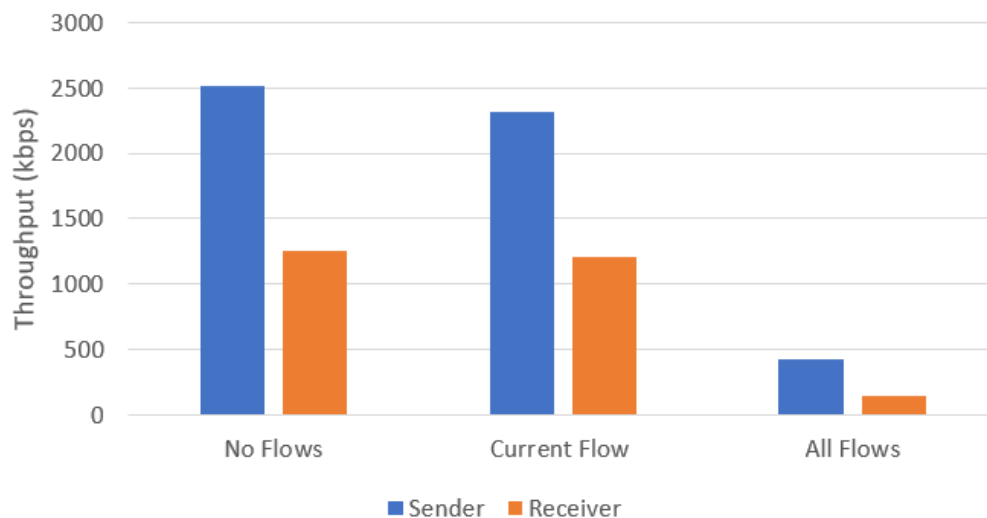
```
root@Host8:/tmp/pycore.40483/Host8.conf# iperf3 -c 10.0.0.10 -p 7575
Connecting to host 10.0.0.10, port 7575
[ 4] local 10.0.2.11 port 40346 connected to 10.0.0.10 port 7575
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth  Retr  Cwnd
[ 4] 0.00-1.00  sec   355 KBytes  2.90 Mbits/sec    0   38.2 KBytes
[ 4] 1.00-2.00  sec   191 KBytes  1.56 Mbits/sec    0   45.2 KBytes
[ 4] 2.00-3.00  sec   127 KBytes  1.04 Mbits/sec    0   50.9 KBytes
[ 4] 3.00-4.00  sec   191 KBytes  1.56 Mbits/sec    0   59.4 KBytes
[ 4] 4.00-5.00  sec   191 KBytes  1.56 Mbits/sec    0   79.2 KBytes
[ 4] 5.00-6.00  sec   318 KBytes  2.61 Mbits/sec    0   115 KBytes
[ 4] 6.00-7.01  sec   255 KBytes  2.07 Mbits/sec    0   156 KBytes
[ 4] 7.01-8.00  sec   445 KBytes  3.67 Mbits/sec    0   211 KBytes
[ 4] 8.00-9.01  sec   445 KBytes  3.62 Mbits/sec    0   264 KBytes
[ 4] 9.01-10.00 sec   318 KBytes  2.62 Mbits/sec    0   320 KBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth  Retr
[ 4] 0.00-10.00  sec  2.77 MBytes  2.32 Mbits/sec    0
sender
receiver
```

2. Current Flow Active

```
root@Host8:/tmp/pycore.40483/Host8.conf# iperf3 -c 10.0.0.10 -p 7575
Connecting to host 10.0.0.10, port 7575
[ 4] local 10.0.2.11 port 40336 connected to 10.0.0.10 port 7575
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth  Retr  Cwnd
[ 4] 0.00-1.59  sec   76.4 KBytes  392 Kbits/sec    1   14.1 KBytes
[ 4] 1.59-2.00  sec    0.00 Bytes  0.00 bits/sec    0   14.1 KBytes
[ 4] 2.00-3.00  sec    0.00 Bytes  0.00 bits/sec    0   14.1 KBytes
[ 4] 3.00-4.01  sec   31.1 KBytes  253 Kbits/sec    0   28.3 KBytes
[ 4] 4.01-5.00  sec    0.00 Bytes  0.00 bits/sec    0   28.3 KBytes
[ 4] 5.00-6.00  sec   31.1 KBytes  255 Kbits/sec    0   33.9 KBytes
[ 4] 6.00-7.01  sec    0.00 Bytes  0.00 bits/sec    0   33.9 KBytes
[ 4] 7.01-8.00  sec   187 KBytes  1.54 Mbits/sec    0   49.5 KBytes
[ 4] 8.00-9.00  sec    0.00 Bytes  0.00 bits/sec    0   49.5 KBytes
[ 4] 9.00-10.00 sec   191 KBytes  1.56 Mbits/sec    0   69.3 KBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth  Retr
[ 4] 0.00-10.00  sec   516 KBytes  423 Kbits/sec    1
sender
[ 4] 0.00-10.00  sec   180 KBytes  147 Kbits/sec
receiver
```

3. All Flows Active

## Video Live Stream (N1-N8)





## Video Stream (N5-N10)

```
root@Host10:/tmp/pycore.40483/Host10.conf# iperf3 -c 10.0.1.11 -p 7575
Connecting to host 10.0.1.11, port 7575
[ 4] local 10.0.3.10 port 49888 connected to 10.0.1.11 port 7575
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth       Retr   Cwnd
[ 4] 0.00-1.00   sec    304 KBytes  2.49 Mbits/sec    0   29.7 KBytes
[ 4] 1.00-2.00   sec    165 KBytes  1.35 Mbits/sec    0   35.4 KBytes
[ 4] 2.00-3.00   sec    124 KBytes  1.02 Mbits/sec    0   41.0 KBytes
[ 4] 3.00-4.00   sec    191 KBytes  1.56 Mbits/sec    0   50.9 KBytes
[ 4] 4.00-5.00   sec    191 KBytes  1.56 Mbits/sec    0   74.9 KBytes
[ 4] 5.00-6.00   sec    318 KBytes  2.60 Mbits/sec    0   109 KBytes
[ 4] 6.00-7.01   sec    318 KBytes  2.60 Mbits/sec    0   157 KBytes
[ 4] 7.01-8.00   sec    382 KBytes  3.14 Mbits/sec    0   205 KBytes
[ 4] 8.00-9.01   sec    382 KBytes  3.11 Mbits/sec    0   256 KBytes
[ 4] 9.01-10.00  sec     573 KBytes 4.74 Mbits/sec    0   329 KBytes

[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth       Retr
[ 4] 0.00-10.00  sec    2.88 MBytes 2.42 Mbits/sec    0
[ 4] 0.00-10.00  sec    1.42 MBytes 1.19 Mbits/sec
```

1. No Flows Active

```
root@Host10:/tmp/pycore.40483/Host10.conf# iperf3 -c 10.0.1.11 -p 7575
Connecting to host 10.0.1.11, port 7575
[ 4] local 10.0.3.10 port 49882 connected to 10.0.1.11 port 7575
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth       Retr   Cwnd
[ 4] 0.00-1.01   sec    355 KBytes  2.89 Mbits/sec    0   39.6 KBytes
[ 4] 1.01-2.00   sec    127 KBytes  1.05 Mbits/sec    0   43.8 KBytes
[ 4] 2.00-3.00   sec    63.6 KBytes 519 Kbits/sec    0   46.7 KBytes
[ 4] 3.00-4.01   sec    63.6 KBytes 521 Kbits/sec    0   50.9 KBytes
[ 4] 4.01-5.02   sec    127 KBytes  1.03 Mbits/sec    0   65.0 KBytes
[ 4] 5.02-6.00   sec    63.6 KBytes 528 Kbits/sec    0   73.5 KBytes
[ 4] 6.00-7.01   sec    127 KBytes  1.04 Mbits/sec    0   87.7 KBytes
[ 4] 7.01-8.01   sec    63.6 KBytes 523 Kbits/sec    0   97.6 KBytes
[ 4] 8.01-9.01   sec    63.6 KBytes 520 Kbits/sec    0  106 KBytes
[ 4] 9.01-10.01  sec     0.00 Bytes  0.00 bits/sec    0  112 KBytes

[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth       Retr
[ 4] 0.00-10.01  sec    1.03 MBytes 864 Kbits/sec    0
[ 4] 0.00-10.01  sec    551 KBytes 451 Kbits/sec
```

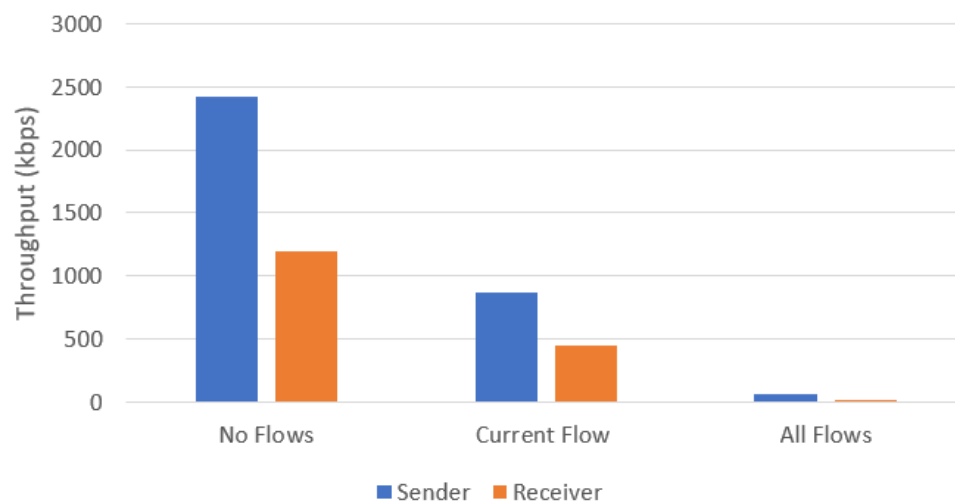
2. Current Flow Active

```
root@Host10:/tmp/pycore.40483/Host10.conf# iperf3 -c 10.0.1.11 -p 7575
Connecting to host 10.0.1.11, port 7575
[ 4] local 10.0.3.10 port 49866 connected to 10.0.1.11 port 7575
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth       Retr   Cwnd
[ 4] 0.00-7.77   sec    76.4 KBytes 80.5 Kbits/sec    2   14.1 KBytes
[ 4] 7.77-7.77   sec     0.00 Bytes  0.00 bits/sec    0   14.1 KBytes
[ 4] 7.77-7.77   sec     0.00 Bytes  0.00 bits/sec    0   14.1 KBytes
[ 4] 7.77-7.77   sec     0.00 Bytes  0.00 bits/sec    0   14.1 KBytes
[ 4] 7.77-7.77   sec     0.00 Bytes  0.00 bits/sec    0   14.1 KBytes
[ 4] 7.77-7.77   sec     0.00 Bytes  0.00 bits/sec    0   14.1 KBytes
[ 4] 7.77-7.77   sec     0.00 Bytes  0.00 bits/sec    0   14.1 KBytes
[ 4] 7.77-8.00   sec     0.00 Bytes  0.00 bits/sec    0   14.1 KBytes
[ 4] 8.00-9.00   sec     0.00 Bytes  0.00 bits/sec    0   14.1 KBytes
[ 4] 9.00-10.00  sec     0.00 Bytes  0.00 bits/sec    0   14.1 KBytes

[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth       Retr
[ 4] 0.00-10.00  sec    76.4 KBytes 62.5 Kbits/sec    2
[ 4] 0.00-10.00  sec    14.1 KBytes 11.6 Kbits/sec
```

3. All Flows Active

## Video Stream (N5-N10)



## File Transfer (N4-N7)

<pre>root@Host7:/tmp/pycore.40483/Host7.conf# iperf3 -c 10.0.1.10 -p 7575 Connecting to host 10.0.1.10, port 7575</pre>									
<pre>[ 4] local 10.0.2.10 port 50888 connected to 10.0.1.10 port 7575</pre>									
[ ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Retr	Cwnd				
[ 4]	0.00-1.00	sec 399 KBytes	3.27 Mbits/sec	0	39.6 KBytes				
[ 4]	1.00-2.00	sec 191 KBytes	1.56 Mbits/sec	0	46.7 KBytes				
[ 4]	2.00-3.00	sec 191 KBytes	1.56 Mbits/sec	0	53.7 KBytes				
[ 4]	3.00-4.01	sec 127 KBytes	1.04 Mbits/sec	0	60.8 KBytes				
[ 4]	4.01-5.02	sec 255 KBytes	2.07 Mbits/sec	0	83.4 KBytes				
[ 4]	5.02-6.00	sec 318 KBytes	2.65 Mbits/sec	0	116 KBytes				
[ 4]	6.00-7.00	sec 382 KBytes	3.13 Mbits/sec	0	163 KBytes				
[ 4]	7.00-8.00	sec 382 KBytes	3.13 Mbits/sec	0	218 KBytes				
[ 4]	8.00-9.00	sec 445 KBytes	3.64 Mbits/sec	0	276 KBytes				
[ 4]	9.00-10.00	sec 382 KBytes	3.12 Mbits/sec	0	332 KBytes				
<hr/>									
[ ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Retr					
[ 4]	0.00-10.00	sec 3.00 MBytes	2.52 Mbits/sec	0	sender				
[ 4]	0.00-10.00	sec 1.58 MBytes	1.32 Mbits/sec		receiver				

<pre>root@Host7:/tmp/pycore.40483/Host7.conf# iperf3 -c 10.0.1.10 -p 7575 Connecting to host 10.0.1.10, port 7575</pre>									
<pre>[ 4] local 10.0.2.10 port 50884 connected to 10.0.1.10 port 7575</pre>									
[ ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Retr	Cwnd				
[ 4]	0.00-1.00	sec 76.4 KBytes	626 Kbits/sec	1	14.1 KBytes				
[ 4]	1.00-2.00	sec 62.2 KBytes	509 Kbits/sec	0	28.3 KBytes				
[ 4]	2.00-3.00	sec 218 KBytes	1.79 Mbits/sec	0	56.6 KBytes				
[ 4]	3.00-4.01	sec 346 KBytes	2.81 Mbits/sec	0	102 KBytes				
[ 4]	4.01-5.00	sec 191 KBytes	1.57 Mbits/sec	0	109 KBytes				
[ 4]	5.00-6.00	sec 255 KBytes	2.09 Mbits/sec	0	117 KBytes				
[ 4]	6.00-7.01	sec 191 KBytes	1.56 Mbits/sec	0	129 KBytes				
[ 4]	7.01-8.00	sec 255 KBytes	2.09 Mbits/sec	0	150 KBytes				
[ 4]	8.00-9.00	sec 382 KBytes	3.12 Mbits/sec	0	188 KBytes				
[ 4]	9.00-10.01	sec 382 KBytes	3.12 Mbits/sec	0	235 KBytes				
<hr/>									
[ ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Retr					
[ 4]	0.00-10.01	sec 2.30 MBytes	1.93 Mbits/sec	1	sender				
[ 4]	0.00-10.01	sec 1.25 MBytes	1.04 Mbits/sec		receiver				

1. No Flows Active

2. Current Flow Active

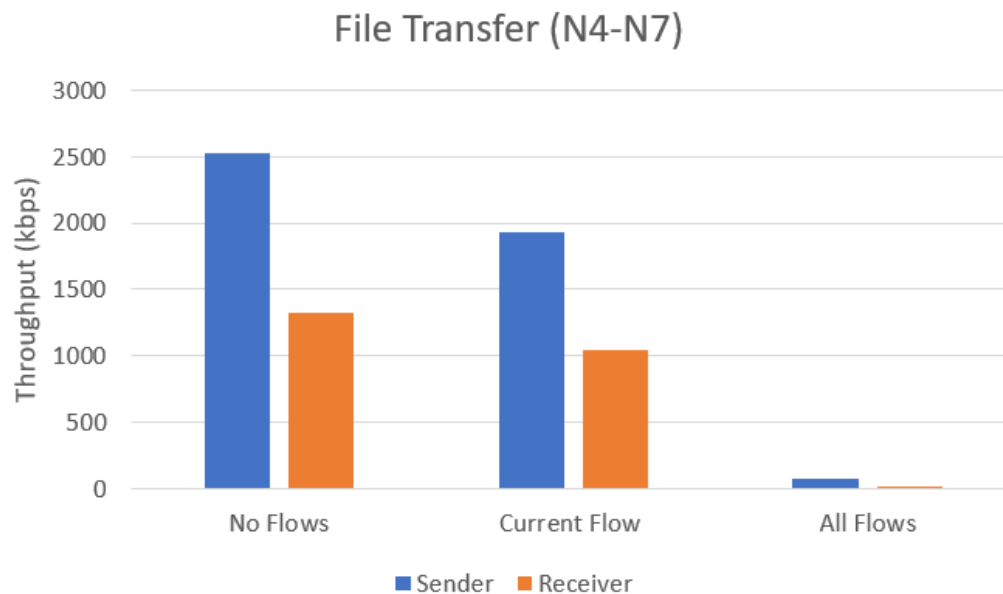
```
root@Host7:/tmp/pycore.40483/Host7.conf# iperf3 -c 10.0.1.10 -p 7575
Connecting to host 10.0.1.10, port 7575
[ 4] local 10.0.2.10 port 50866 connected to 10.0.1.10 port 7575
```

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Retr	Cwnd
[ 4]	0.00-8.04 sec	76.4 KBytes	77.8 Kbits/sec	2	14.1 KBytes
[ 4]	8.04-8.04 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec	0	14.1 KBytes
[ 4]	8.04-8.04 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec	0	14.1 KBytes
[ 4]	8.04-8.04 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec	0	14.1 KBytes
[ 4]	8.04-8.04 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec	0	14.1 KBytes
[ 4]	8.04-8.04 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec	0	14.1 KBytes
[ 4]	8.04-8.04 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec	0	14.1 KBytes
[ 4]	8.04-8.04 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec	0	14.1 KBytes
[ 4]	8.04-9.00 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec	0	14.1 KBytes
[ 4]	9.00-10.01 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec	0	14.1 KBytes

---

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Retr	sender	receiver
[ 4]	0.00-10.01 sec	76.4 KBytes	62.5 Kbits/sec	2		
[ 4]	0.00-10.01 sec	14.1 KBytes	11.6 Kbits/sec			

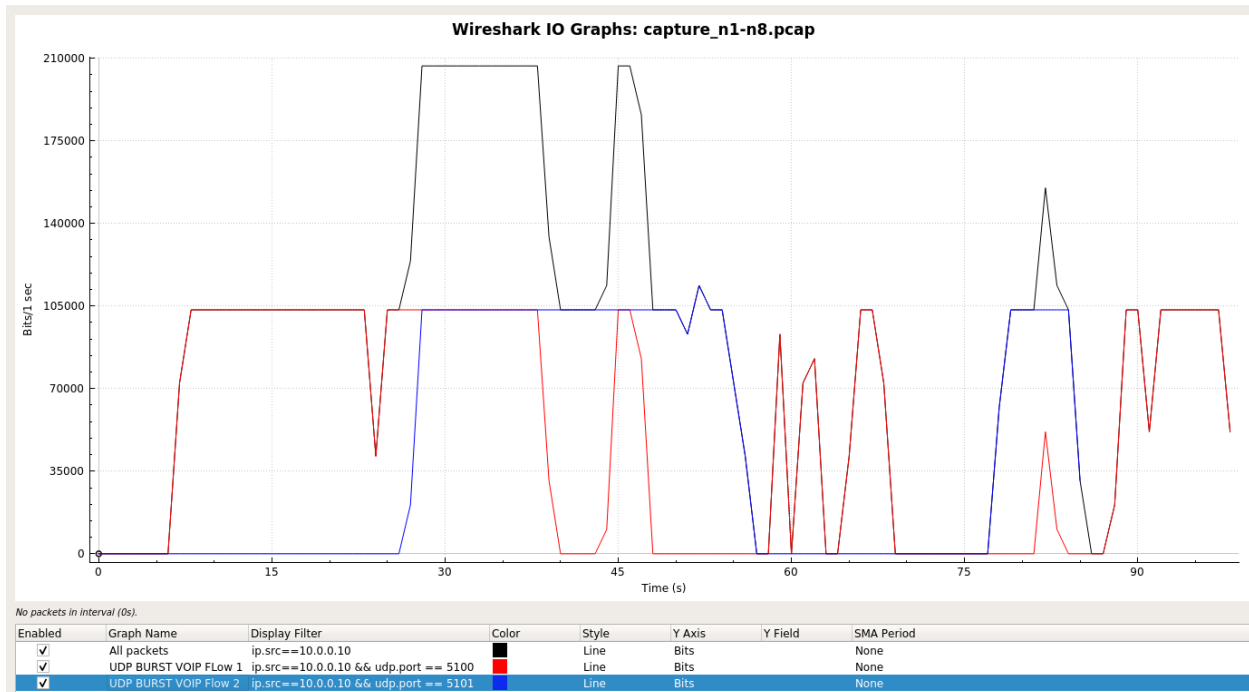
3. All Flows Active



4) Οι μετρήσεις έγιναν στους clients (υποδίκτυα C, D) και οι μετρήσεις εξάχθηκαν σε .pcap αρχεία. Έγινε μία μέτρηση σε κάθε client προς τον οποίο υπάρχει flow όπως εξηγήθηκε στο 2<sup>ο</sup> ερώτημα.

5) Ανάλυση των captures με Wirshark

### VOIP Push to Talk (N1-N8)

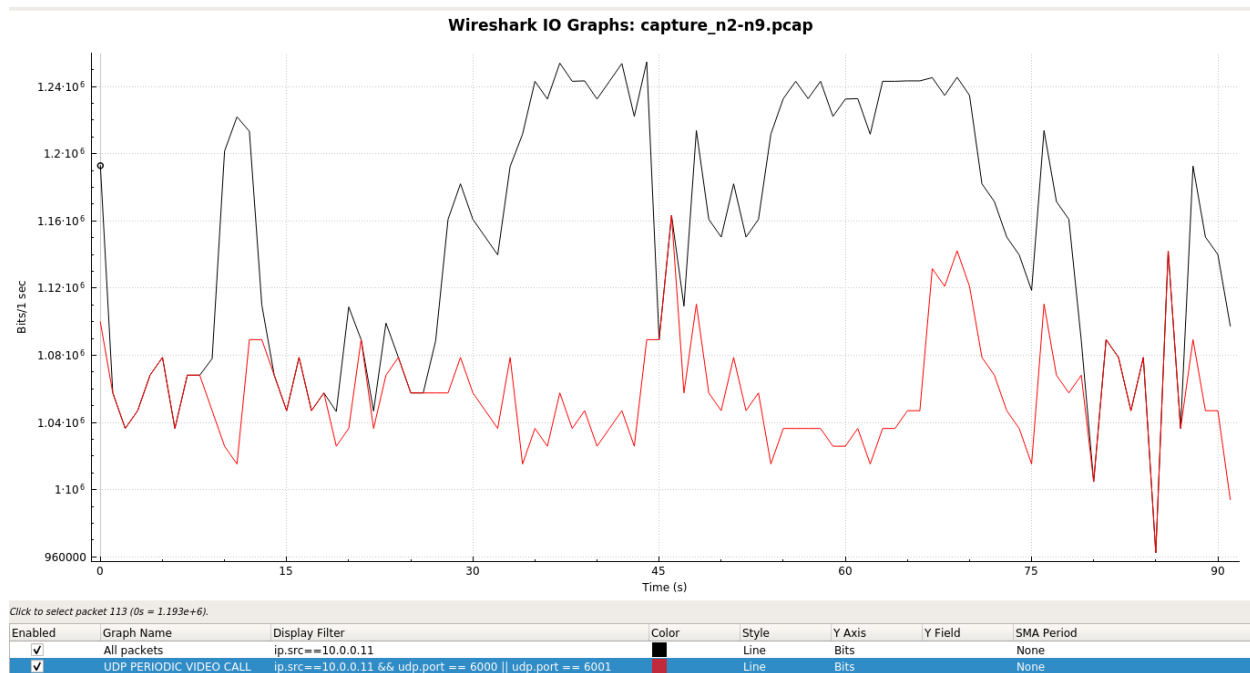


Έχουμε ενεργοποιήσει και τα x2 UDP 100kbps BURST flows από τον N1 προς τον N8 και φιλτράρουμε τις μετρήσεις ως εξής:

- Μαύρη γραμμή: Όλη η κίνηση από τον N1.
- Μπλε γραμμή: Burst pattern με UDP.PORT == 5100
- Κόκκινη γραμμή: Burst pattern με UDP.PORT == 5101

Μπορούμε να παρατηρήσουμε πως το burst pattern πράγματι στέλνει bits για κάποια δευτερόλεπτα (τυχαίο αριθμό) και μετά σταματάει για ένα τυχαίο χρονικό διάστημα. Με τον χρωματισμό των καμπυλών παρατηρούμε επίσης πως όταν και τα 2 burst flows είναι ενεργά, τα bits/sec κάνουν stack και τα bps διπλασιάζονται (200kbps) όπως φαίνεται στην μαύρη γραμμή (καθώς πρόκειται για 2x 100kbps burst flows). Επομένως από το διάγραμμα και την θεωρία συμπεραίνουμε πως τα flows πράγματι λειτουργούν as expected.

## Video Call w/ PPT VOIP (N2-N9)

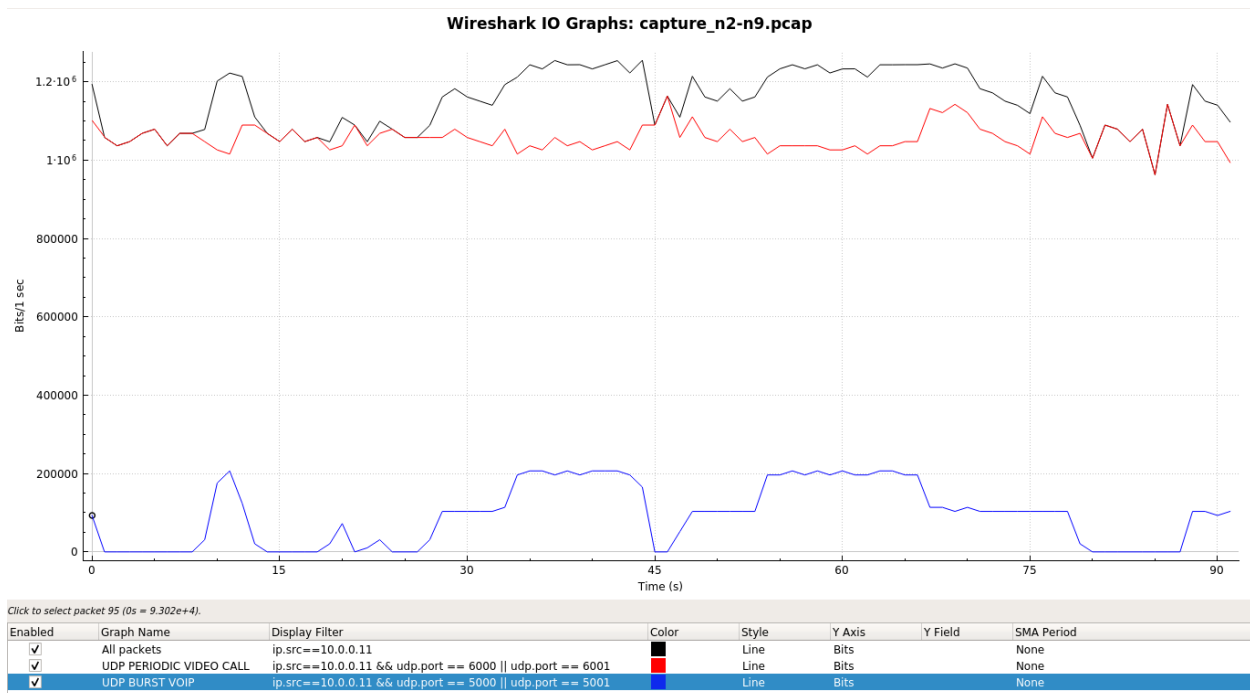


Έχουμε ενεργοποιήσει και τα x2 UDP 512kbps Periodic flows από τον N2 προς τον N9 και φιλτράρουμε τις μετρήσεις ως εξής:

- Μαύρη γραμμή: Όλη η κίνηση από τον N2.
- Κόκκινη γραμμή: Periodic pattern με UDP.PORT == 5000 or 5001

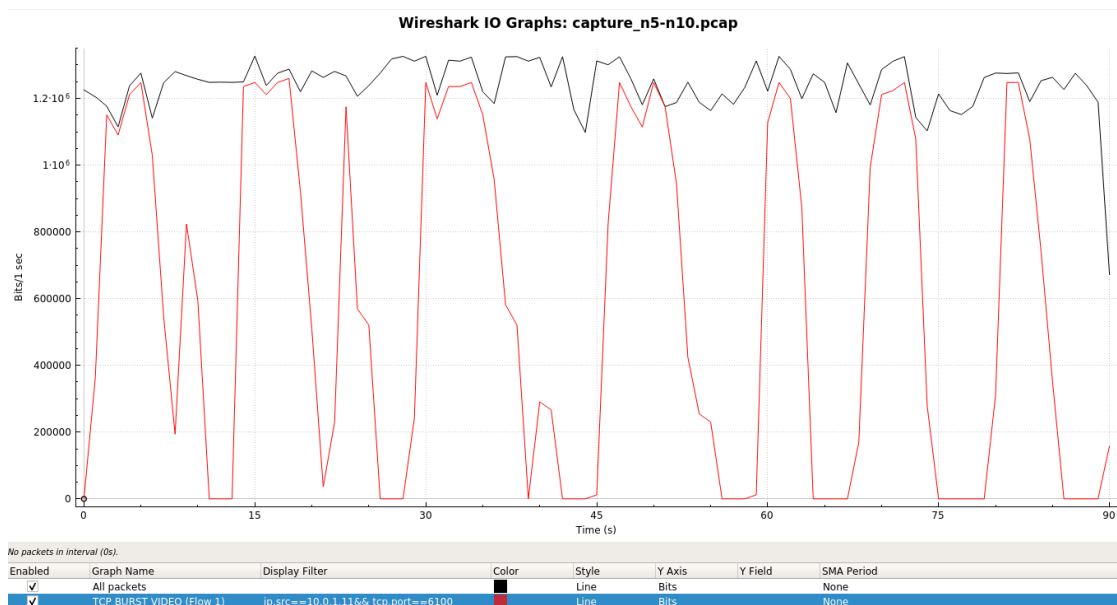
Καθώς η βίντεο κλήση από το συγκεκριμένο σενάριο απαιτεί υψηλό bandwidth και απαιτούνται x2 flows στο φίλτρο κρατάμε την κίνηση και από τα 2 αυτά periodic flows. Παρατηρούμε πως δεν αποτελούν όλη την κίνηση του δικτύου (καθώς υπάρχει και το PPT VOIP) αλλά ένα σημαντικό κομμάτι αυτής, λόγω των kbps που απαιτούν. Τα δύο αυτά flows, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, απαιτούν  $10^6$  bps, άρα 1000kbps, το οποίο είναι απόλυτα λογικό αφού πρόκειται για x2 512kbps flows. Η ροή είναι συνεχής, όπως και πρέπει καθώς πρόκειται για periodic pattern.

Παρατηρούμε πως το δίκτυο έχει και άλλη κίνηση πέρα από τα periodic flows για την βίντεο κλήση. Στη συνέχεια θα εξετάσουμε και την επιρροή που έχουν τα x2 BURST flows



Παρατηρούμε πως εάν εμφανίσουμε την μπλε γραμμή στο διάγραμμα (VOIP x2 Burst 100kbps flows), καταλαβαίνουμε την διαφορά μεταξύ VOIP και βιντεοκλήσεων, καθώς οι βιντεοκλήσεις είναι σημαντικά πιο απαιτητικές. Τα скаμπανεβάσματα που παρατηρούμε στη μαύρη γραμμή οφείλονται στο burst pattern των x2 flows για το VOIP – το οποίο και πάλι βρίσκεται στα 100-200 kbps ανάλογα εάν μεταδίδουν και οι 2 ταυτόχρονα.

## Video Stream (Movie) (N5-N10)



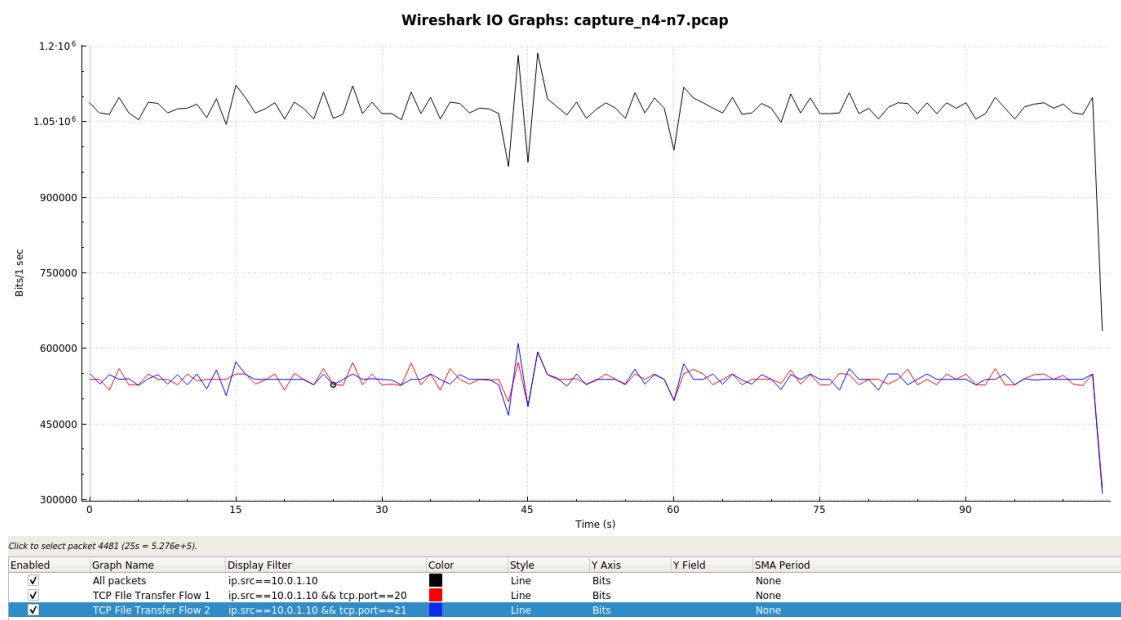
Έχουμε ενεργοποιήσει και τα x2 TCP 1024kbps BURST flows από τον N2 προς τον N9 και φιλτράρουμε τις μετρήσεις ως εξής:

- Μαύρη γραμμή: Όλη η κίνηση από τον N5
- Κόκκινη γραμμή: Το 1<sup>ο</sup> TCP 1024kbps BURST flow που αναπαριστά ένα chunk της ταινίας με port 6100.

Παρατηρούμε πως πράγματι, κάθε 0-3s υπάρχει ένα σταθερό 3s burst (όπως ορίσαμε στα flows του core αφού αποτελεί custom flow) μεγέθους έως και 1024kbps. Τα δύο αυτά flows αν και μεταδίδουν με burst pattern μαζί, στέλνουν συνεχώς δεδομένα στον πελάτη που παρακολουθεί μια ταινία και συνεπώς δεν υπάρχει buffering. Μιας και το όριο της γραμμής είναι 1250kbps, παρατηρούμε επίσης πως δεν ξεπερνιέται αυτό το όριο. Τέλος, με την χρήση εργαλείων του wireshark μπορούμε να επιβεβαιώσουμε την 3way χειραίφια του TCP που γίνεται από τις θύρες 6100 και 6101 του source (N5) προς τις ίδιες θύρες του destination (N10).

Time	10.0.1.11	10.0.3.10	Comment
1.784379128	6100	6100	Seq = 0
1.785140137	6100	6100	Seq = 0 Ack = 1
1.787147225	6101	6101	Seq = 0
1.787155915	6101	6101	Seq = 0 Ack = 1
1.789095373	6100	6100	Seq = 1 Ack = 1
1.793000549	6101	6101	Seq = 1 Ack = 1
1.793987687	6100	6100	Seq = 1 Ack = 1
1.794006237	6100	6100	Seq = 1 Ack = 1281
1.800813910	6101	6101	Seq = 1 Ack = 1
1.800836650	6101	6101	Seq = 1 Ack = 1281

## File Transfer (N4-N7)

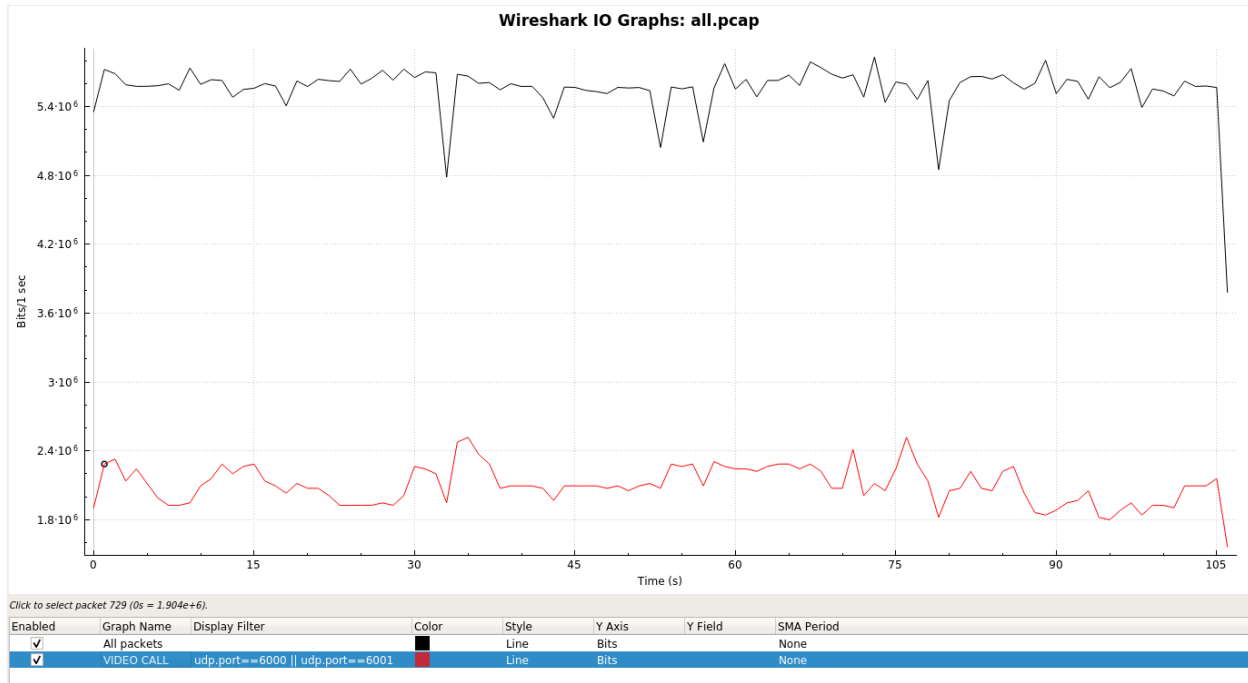


Έχουμε ενεργοποιήσει τα x2 Periodic 512kbps TCP flows που αποτελούν την μεταφορά ενός αρχείου από τον server N4 στον client N7. Οι μετρήσεις μας αποτελούν:

- Μαύρη γραμμή: Όλη την κίνηση από τον N4 προς τον N7.
- Κόκκινη γραμμή: Το 1<sup>ο</sup> Periodic 512kbps TCP flow από τον N4 με port 20.
- Μπλε γραμμή: Το 2<sup>ο</sup> Periodic 512kbps TCP flow από τον N4 με port 21.

Αρχικά παρατηρούμε πως τα x2 Periodic flows έχουν σταθερή κίνηση – as expected. Όταν υπάρχουν διακυμάνσεις σε αυτά (π.χ. 45 seconds) παρατηρούμε και πως αυτές επηρεάζουν την μαύρη γραμμή. Επιβεβαιώνεται επίσης από τις χρωματιστές γραμμές το bandwidth που απαιτεί κάθε flow, που είναι στα 512kbps, και συνολικά από την μαύρη γραμμή στα 1024kbps.

- Network Overload



Αυτή η μέτρηση έγινε στο κεντρικό router του δικτύου, με όλα τα flows ενεργά. Έχουμε τονίσει με κόκκινο την βίντεο κλήση μεταξύ των N2-N9 (x2 Periodic 512kbps UDP flows) για να τονίσουμε πως παρ' όλο που πρόκειται για 1Mbps flow και συνεπώς βρίσκεται κοντά στο όριο των γραμμών (1250Kbps), αποτελεί μόνο μικρό κομμάτι στην υπερφόρτωση του δικτύου.