資訊通訊概論

實驗：Experiment with adaptive QAM

組員：1103309 王聖允、1103318 詹承義

Experiment 4：

實驗 4-1：在此實驗中，我們試了以下幾種方式來測試網路的 Throughput：

（1）、從 google 雲端下載影片檔案

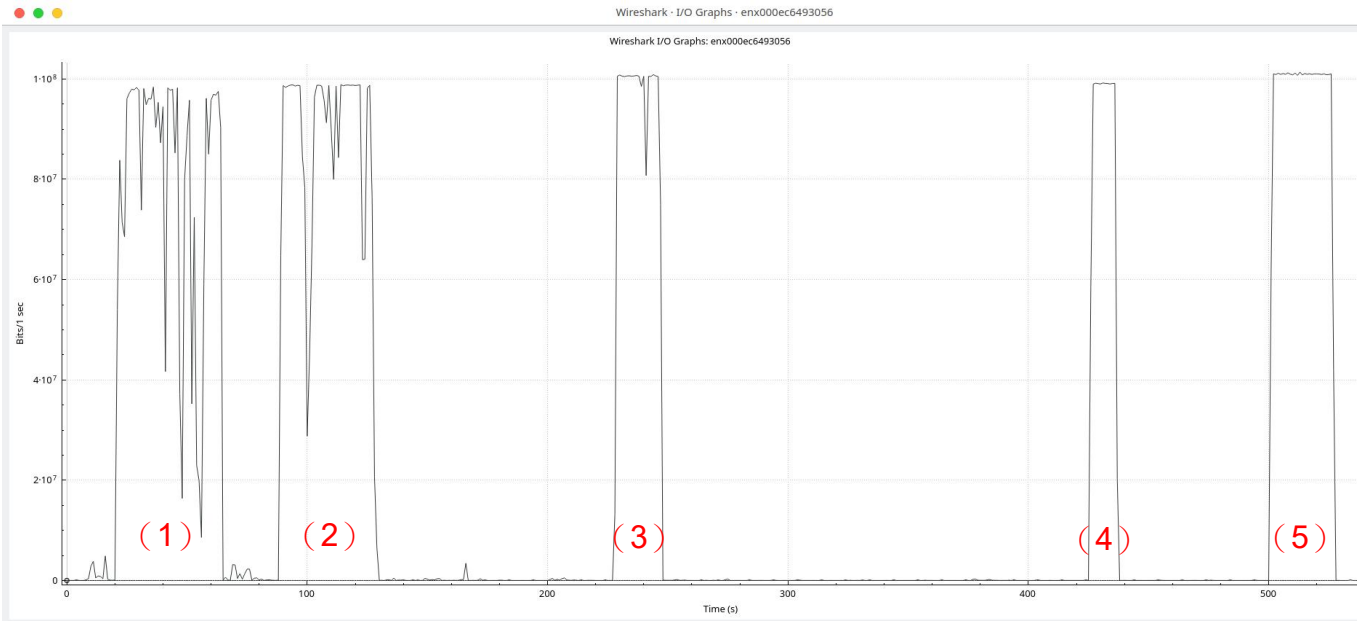
（2）、上傳影片檔案至 google 雲端硬碟

（3）、在內網使用 http 上傳影片檔案

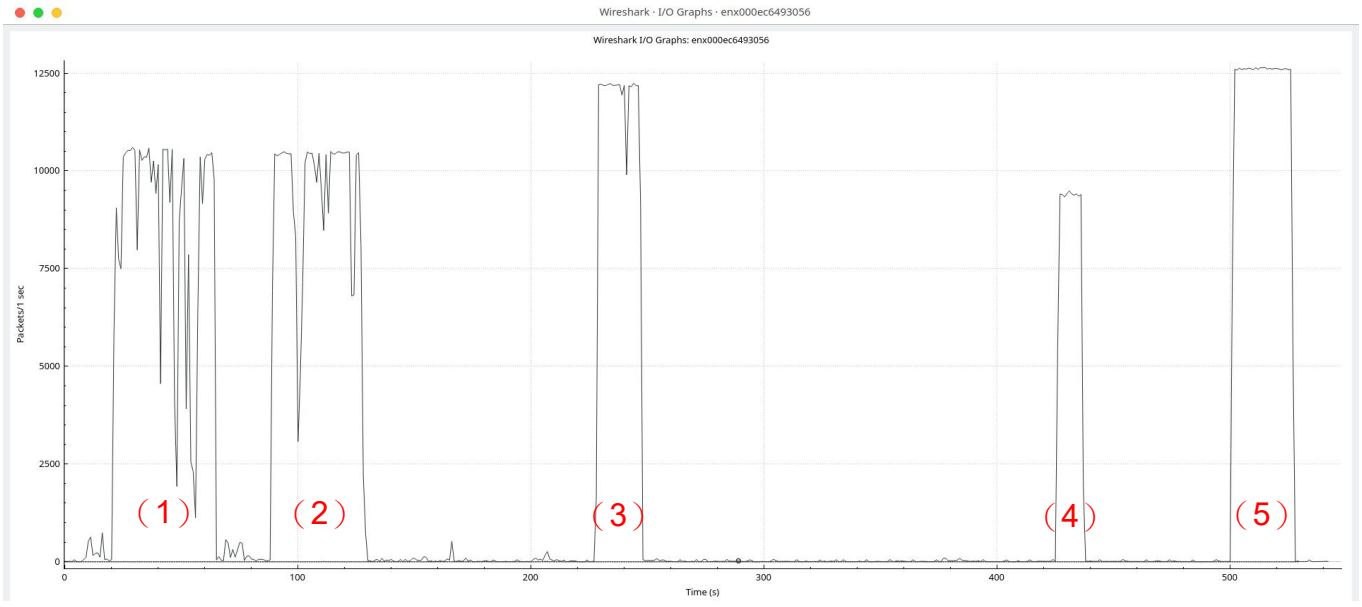
（4）、在內網用 sftp 套件下載影片檔案

（5）、在內網用 sftp 套件上傳影片檔案

得到以下結果：



▲圖一：Thoughput graph（bits per second）



▲圖二：Thoughput graph（packets per second）

由「圖一」可見，不管使用什麼方式上傳/下載，網路 Throuput 皆大約為 100M bits per second，但是在「圖二」中可以見到，不同方式的 packets per second 有高有低。以下簡略推斷原因：

（1）、

			Length	
192.168.0.174	172.217.163.33	QUIC	77	Protected Payload (KP0), DCID=fcdaebe36f1d5c6d
192.168.0.174	172.217.163.33	QUIC	77	Protected Payload (KP0), DCID=fcdaebe36f1d5c6d
172.217.163.33	192.168.0.174	QUIC	1292	Protected Payload (KP0)
172.217.163.33	192.168.0.174	QUIC	1292	Protected Payload (KP0)
172.217.163.33	192.168.0.174	QUIC	1292	Protected Payload (KP0)
172.217.163.33	192.168.0.174	QUIC	1292	Protected Payload (KP0)
172.217.163.33	192.168.0.174	QUIC	1292	Protected Payload (KP0)
172.217.163.33	192.168.0.174	QUIC	1292	Protected Payload (KP0)
172.217.163.33	192.168.0.174	QUIC	1292	Protected Payload (KP0)
172.217.163.33	192.168.0.174	QUIC	1292	Protected Payload (KP0)
172.217.163.33	192.168.0.174	QUIC	1292	Protected Payload (KP0)
172.217.163.33	192.168.0.174	QUIC	1292	Protected Payload (KP0)
172.217.163.33	192.168.0.174	QUIC	1292	Protected Payload (KP0)
172.217.163.33	192.168.0.174	QUIC	1292	Protected Payload (KP0)
172.217.163.33	192.168.0.174	QUIC	1292	Protected Payload (KP0)
172.217.163.33	192.168.0.174	QUIC	1292	Protected Payload (KP0)
172.217.163.33	192.168.0.174	QUIC	1292	Protected Payload (KP0)
172.217.163.33	192.168.0.174	QUIC	1292	Protected Payload (KP0)
172.217.163.33	192.168.0.174	QUIC	1292	Protected Payload (KP0)
172.217.163.33	192.168.0.174	QUIC	1292	Protected Payload (KP0)
192.168.0.174	172.217.163.33	QUIC	77	Protected Payload (KP0), DCID=fcdaebe36f1d5c6d
192.168.0.174	172.217.163.33	QUIC	77	Protected Payload (KP0), DCID=fcdaebe36f1d5c6d

▲圖三：Google drive 下載影片之封包規律

(2)、

			Length	
142.251.43.14	192.168.0.174	QUIC	70	Protected Payload (KP0)
192.168.0.174	142.251.43.14	QUIC	1292	Protected Payload (KP0), DCID=cca1f04b3e442b08
192.168.0.174	142.251.43.14	QUIC	1292	Protected Payload (KP0), DCID=cca1f04b3e442b08
192.168.0.174	142.251.43.14	QUIC	1292	Protected Payload (KP0), DCID=cca1f04b3e442b08
192.168.0.174	142.251.43.14	QUIC	1292	Protected Payload (KP0), DCID=cca1f04b3e442b08
192.168.0.174	142.251.43.14	QUIC	1292	Protected Payload (KP0), DCID=cca1f04b3e442b08
192.168.0.174	142.251.43.14	QUIC	1292	Protected Payload (KP0), DCID=cca1f04b3e442b08
192.168.0.174	142.251.43.14	QUIC	1292	Protected Payload (KP0), DCID=cca1f04b3e442b08
192.168.0.174	142.251.43.14	QUIC	1292	Protected Payload (KP0), DCID=cca1f04b3e442b08
192.168.0.174	142.251.43.14	QUIC	1292	Protected Payload (KP0), DCID=cca1f04b3e442b08
192.168.0.174	142.251.43.14	QUIC	1292	Protected Payload (KP0), DCID=cca1f04b3e442b08
192.168.0.174	142.251.43.14	QUIC	1292	Protected Payload (KP0), DCID=cca1f04b3e442b08
192.168.0.174	142.251.43.14	QUIC	1292	Protected Payload (KP0), DCID=cca1f04b3e442b08
192.168.0.174	142.251.43.14	QUIC	1292	Protected Payload (KP0), DCID=cca1f04b3e442b08
192.168.0.174	142.251.43.14	QUIC	1292	Protected Payload (KP0), DCID=cca1f04b3e442b08
192.168.0.174	142.251.43.14	QUIC	1292	Protected Payload (KP0), DCID=cca1f04b3e442b08
142.251.43.14	192.168.0.174	QUIC	70	Protected Payload (KP0)
142.251.43.14	192.168.0.174	QUIC	70	Protected Payload (KP0)

▲圖四：Google drive 上傳影片之封包規律

（3）、

Source	Destination	Protocol	Length	Info
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	8787 → 51296
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	8787 → 51296
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	8787 → 51296
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	8787 → 51296
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	8787 → 51296
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	8787 → 51296
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	8787 → 51296
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	8787 → 51296
192.168.0.174	140.138.242.143	TCP	1514	51296 → 8787
192.168.0.174	140.138.242.143	TCP	1514	51296 → 8787
192.168.0.174	140.138.242.143	TCP	1514	51296 → 8787
192.168.0.174	140.138.242.143	TCP	1514	51296 → 8787
192.168.0.174	140.138.242.143	TCP	1514	51296 → 8787
192.168.0.174	140.138.242.143	TCP	1514	51296 → 8787
192.168.0.174	140.138.242.143	TCP	1514	51296 → 8787
192.168.0.174	140.138.242.143	TCP	1514	51296 → 8787
192.168.0.174	140.138.242.143	TCP	1514	51296 → 8787
192.168.0.174	140.138.242.143	TCP	1514	51296 → 8787
192.168.0.174	140.138.242.143	TCP	1514	51296 → 8787
192.168.0.174	140.138.242.143	TCP	1514	51296 → 8787
192.168.0.174	140.138.242.143	TCP	1514	51296 → 8787
192.168.0.174	140.138.242.143	TCP	1514	51296 → 8787
192.168.0.174	140.138.242.143	TCP	1514	51296 → 8787
192.168.0.174	140.138.242.143	TCP	1514	51296 → 8787
192.168.0.174	140.138.242.143	TCP	1514	51296 → 8787
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	8787 → 51296
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	8787 → 51296
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	8787 → 51296
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	8787 → 51296
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	8787 → 51296
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	8787 → 51296
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	8787 → 51296
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	8787 → 51296
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	8787 → 51296
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	8787 → 51296
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	8787 → 51296

▲圖五：內網 http 上傳影片之封包規律

（4）、

Source	Destination	Protocol	Length	Info
192.168.0.174	140.138.242.143	TCP	66	53676 → 22 [ACK] Seq=529 Ack=56265
140.138.242.143	192.168.0.174	SSH	1514	Server: Encrypted packet (len=1448)
140.138.242.143	192.168.0.174	SSH	1514	Server: Encrypted packet (len=1448)
140.138.242.143	192.168.0.174	SSH	1514	Server: Encrypted packet (len=1448)
140.138.242.143	192.168.0.174	SSH	1514	Server: Encrypted packet (len=1448)
140.138.242.143	192.168.0.174	SSH	1514	Server: Encrypted packet (len=1448)
140.138.242.143	192.168.0.174	SSH	1514	Server: Encrypted packet (len=1448)
140.138.242.143	192.168.0.174	SSH	1514	Server: Encrypted packet (len=1448)
140.138.242.143	192.168.0.174	SSH	1514	Server: Encrypted packet (len=1448)
140.138.242.143	192.168.0.174	SSH	1514	Server: Encrypted packet (len=1448)
140.138.242.143	192.168.0.174	SSH	1514	Server: Encrypted packet (len=1448)
140.138.242.143	192.168.0.174	SSH	1514	Server: Encrypted packet (len=1448)
140.138.242.143	192.168.0.174	SSH	1514	Server: Encrypted packet (len=1448)
140.138.242.143	192.168.0.174	SSH	1514	Server: Encrypted packet (len=1448)
140.138.242.143	192.168.0.174	SSH	1514	Server: Encrypted packet (len=1448)
140.138.242.143	192.168.0.174	SSH	1514	Server: Encrypted packet (len=1448)
140.138.242.143	192.168.0.174	SSH	1514	Server: Encrypted packet (len=1448)
192.168.0.174	140.138.242.143	TCP	66	53676 → 22 [ACK] Seq=529 Ack=79433
140.138.242.143	192.168.0.174	SSH	1514	Server: Encrypted packet (len=1448)
140.138.242.143	192.168.0.174	SSH	1514	Server: Encrypted packet (len=1448)

▲圖六：內網 ftp 下載影片之封包規律

（5）、

Source	Destination	Protocol	Length	Info
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	22 → 53676 [ACK] Seq=1271
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	22 → 53676 [ACK] Seq=1271
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	22 → 53676 [ACK] Seq=1271
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	22 → 53676 [ACK] Seq=1271
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	22 → 53676 [ACK] Seq=1271
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	22 → 53676 [ACK] Seq=1271
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	22 → 53676 [ACK] Seq=1271
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	22 → 53676 [ACK] Seq=1271
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	22 → 53676 [ACK] Seq=1271
140.138.242.143	192.168.0.174	SSH	134	Server: Encrypted packet
192.168.0.174	140.138.242.143	SSH	1514	Client: Encrypted packet
192.168.0.174	140.138.242.143	SSH	1514	Client: Encrypted packet
192.168.0.174	140.138.242.143	SSH	1514	Client: Encrypted packet
192.168.0.174	140.138.242.143	SSH	1514	Client: Encrypted packet
192.168.0.174	140.138.242.143	SSH	1514	Client: Encrypted packet
192.168.0.174	140.138.242.143	SSH	1514	Client: Encrypted packet
192.168.0.174	140.138.242.143	SSH	1514	Client: Encrypted packet
192.168.0.174	140.138.242.143	SSH	1514	Client: Encrypted packet
192.168.0.174	140.138.242.143	SSH	1514	Client: Encrypted packet
192.168.0.174	140.138.242.143	SSH	1514	Client: Encrypted packet
192.168.0.174	140.138.242.143	SSH	1514	Client: Encrypted packet
192.168.0.174	140.138.242.143	SSH	1514	Client: Encrypted packet
192.168.0.174	140.138.242.143	SSH	1514	Client: Encrypted packet
192.168.0.174	140.138.242.143	SSH	1514	Client: Encrypted packet
192.168.0.174	140.138.242.143	SSH	1514	Client: Encrypted packet
192.168.0.174	140.138.242.143	SSH	1514	Client: Encrypted packet
192.168.0.174	140.138.242.143	SSH	1514	Client: Encrypted packet
192.168.0.174	140.138.242.143	SSH	1514	Client: Encrypted packet
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	22 → 53676 [ACK] Seq=1271
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	22 → 53676 [ACK] Seq=1271
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	22 → 53676 [ACK] Seq=1271
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	22 → 53676 [ACK] Seq=1271
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	22 → 53676 [ACK] Seq=1271
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	22 → 53676 [ACK] Seq=1271
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	22 → 53676 [ACK] Seq=1271
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	22 → 53676 [ACK] Seq=1271
140.138.242.143	192.168.0.174	TCP	66	22 → 53676 [ACK] Seq=1271

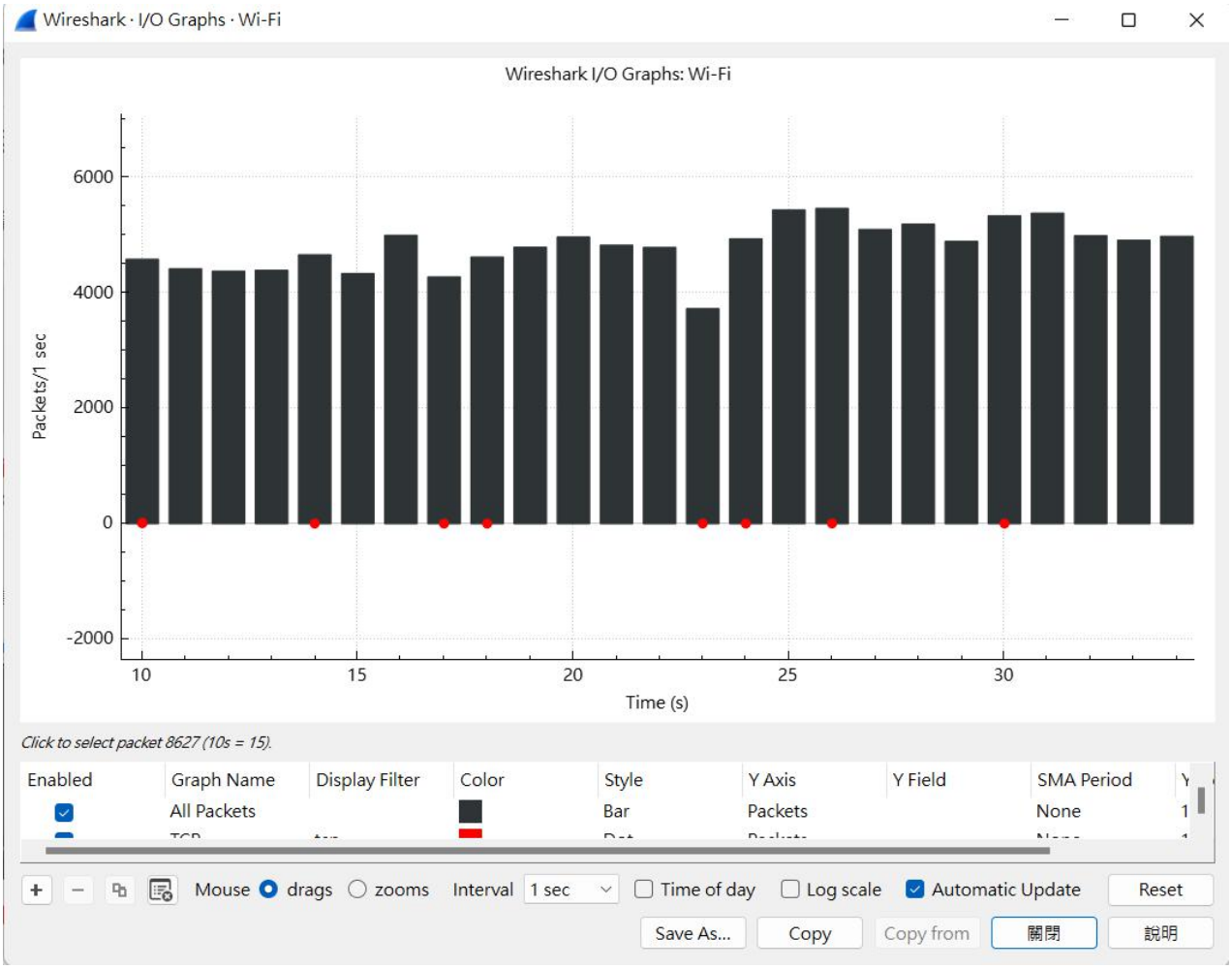
▲圖七：內網 ftp 上傳影片之封包規律

由「圖三」到「圖七」可見，不同的上傳/下載方式會有不同的封包長度和長短封包規律，所以當 bit-per-second throughput 固定為 100Mbps 時，短封包較多的傳輸方式就會有相對較高的 packets per second（例如圖五及圖七對應到圖二上的結果）；而圖三、圖四、圖六中短封包出現比率相對低，所以對應到圖二上(1)、（2）、（4）的 packets per second 較（3）、（5）低。

實驗 4-2、我們也測試上傳一部影片到雲端來觀察其產生的流量，我們分別連接乙太網路和手機熱點來觀察是否有差別。下圖是我們連接乙太網路來上傳影片所產生的流量變化，由此圖可知每秒平均傳輸了 5000 個封包：

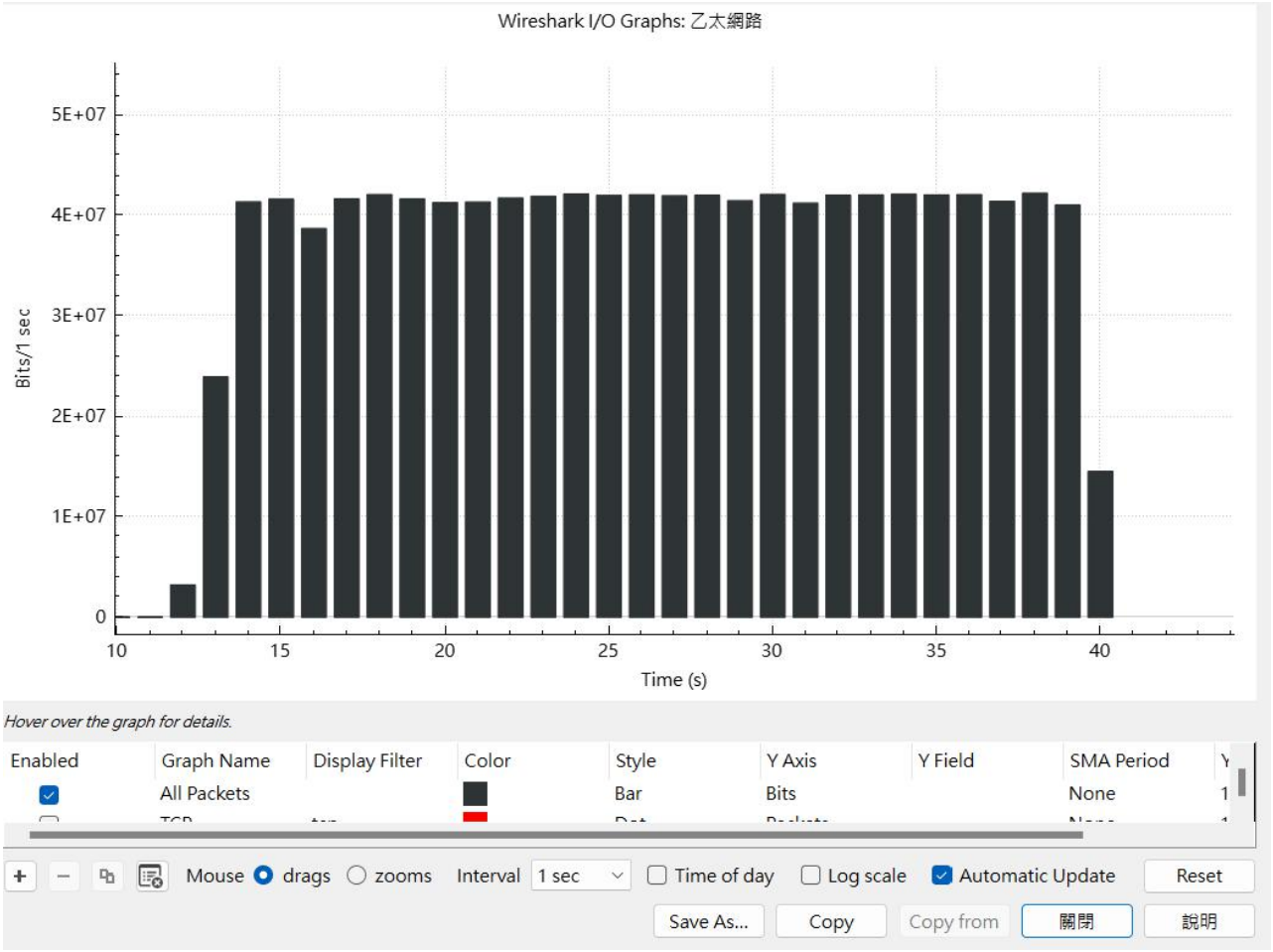
▲圖八：乙太網路 Packet per second

而下圖是我們連接手機熱點來上傳影片所產生的流量變化，由此圖可知每秒平均也傳輸了 5000 個封包：

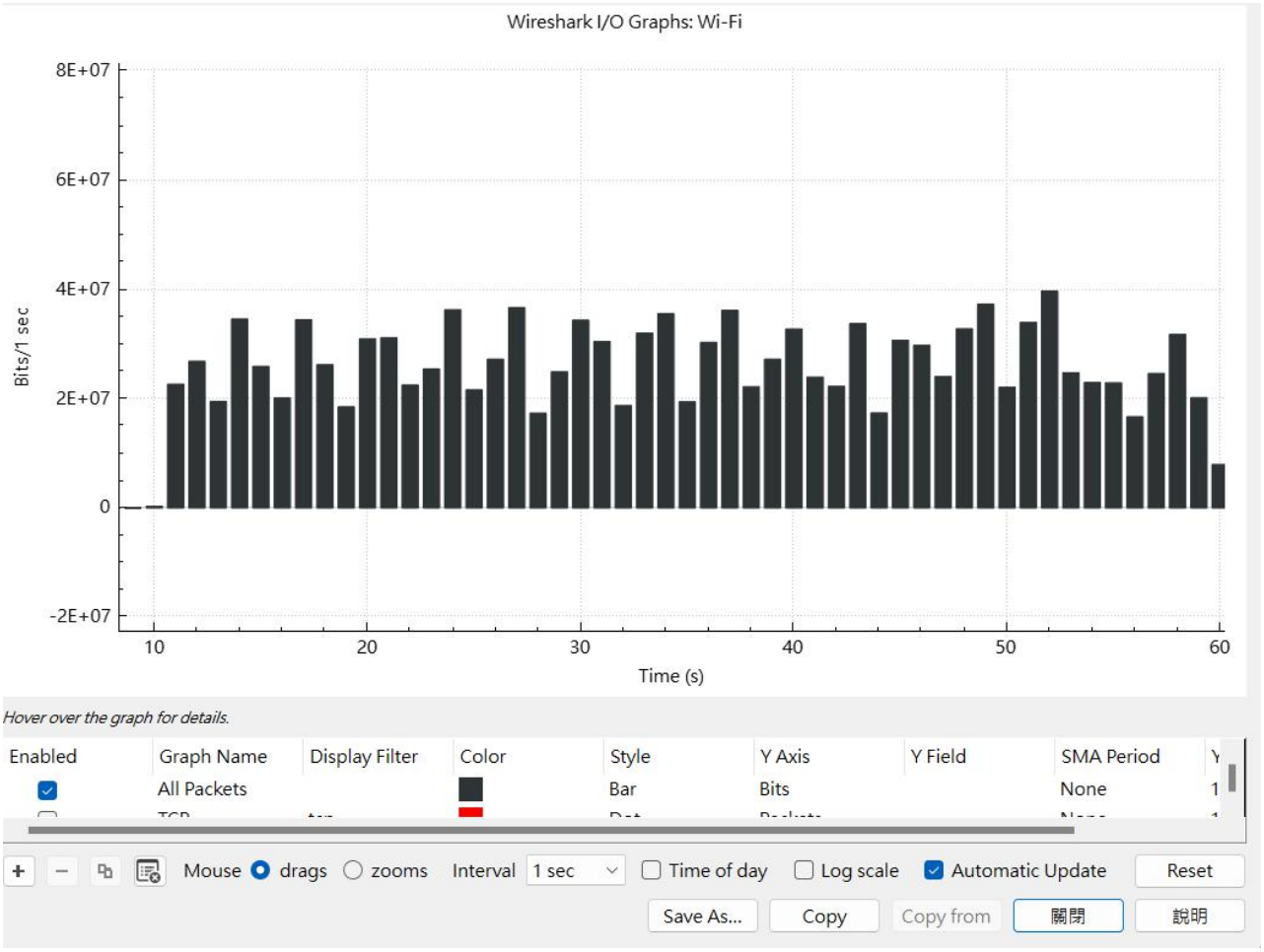


▲圖九：手機熱點 Packet per second

綜合以上兩張圖片，可知連接乙太網路的環境下 Packet per second 會跟連接手機熱點的 Packets per second 幾乎相同，但如果把單位變成每秒幾個 bits 那將會產生不太一樣的結果：



▲圖十：乙太網路 Bits per second



▲圖十一：手機熱點 Bits per second

由「圖十」及「圖十一」兩張圖能明顯看出連接手機熱點時的傳輸的資料數量起起伏伏,不像連接乙太網路時的平穩,而且傳輸量也略小於乙太網路。

Experiment 4 結論：在 4-1 中，就算 throughput 大約都落在 100M bits per second，但是每個通訊協定有不同的封包分配方式，最後分配用來傳輸影片檔案本身的封包形式不盡相同。所以在考慮上傳/下載速度時，不只要考慮網路的 bits per second，還要考量到傳輸檔案時封包分配的方式。而在 4-2 中，我們可以知道接網路線的乙太網路比手機熱點來得穩定。

Experiment 5：

本實驗配合使用 D-Link DIR-822 路由器，測試不同距離的 Wifi Throughput。以下我們看到此路由器 Wifi 規格：2.4GHz 為 802.11b/g/n、5GHz 為 802.11a/n 或 802.11ac（參考資料：D-Link 官網）。其中 802.11b 代表 Wifi 1、802.11a 為 Wifi 2、802.11g 代表 Wifi 3、802.11n 代表 Wifi 4、而 802.11ac 為 Wifi 5。下表根據維基百科整理出這幾代 Wifi 之資訊：

Wifi Generation	IEEE standard	最大 Linkrate	Highest order QAM
Wifi 1	802.11b (2.4GHz)	1 ~ 11 Mbit/s	
Wifi 2	802.11a (5GHz)	6 ~ 54 Mbit/s	64-QAM
Wifi 3	802.11g (2.4GHz)	6 ~ 54 Mbit/s	64-QAM
Wifi 4	802.11n (2.4 / 5GHz)	72 ~ 600 Mbit/s	64-QAM
Wifi 5	802.11ac (5GHz)	433 ~ 6933 Mbit/s	256-QAM

在此實驗中，我們在 Linux 系統中，配合「`iw dev wlo1 link`」指令來顯示精確的 Max bitrate 理論值及目前的 MCS index（可得知目前的訊號調變方式）（參考資料：askubuntu.com），並寫了一個 Bash Script 自動執行。以下為 Script 原始碼：

```
#!/bin/bash

count=1

while true
do
    echo
    echo -e "\e[1;33m[第 $count 次自動測試]
    \e[1;37m"
    echo
    iw dev wlo1 link | grep --color=auto
    "SSID\|signal\|tx bitrate"
    echo
    read -t 3
    count=$((count+1))
done
```

▲圖一：實驗用 Bash Script 原始碼

下圖為執行 Bash Script 之範例輸出，其中包含 SSID、訊號強度、bitrate 及 MCS index：

```
wilson@wilson:~$ ./experiment.sh

[第 1 次自動測試]

        SSID: public: int address2.4G = 511
        signal: -22 dBm
        tx bitrate: 72.2 MBit/s MCS 7 short GI


[第 2 次自動測試]

        SSID: public: int address2.4G = 511
        signal: -25 dBm
        tx bitrate: 72.2 MBit/s MCS 7 short GI
```

▲圖一：實驗用 Bash Script 範例輸出

接著只需要拿著筆電走動，觀察數值變化，根據 bitrate 推斷目前為第幾代 Wifi，並對照 MCS index table（mcsindex.com）即可知道目前之 QAM 調變方式。

在此實驗報告中，以在宿舍房間內常用的 5GHz Wifi 為例，紀錄在各個距離的測試資料：

```
[第 1 次自動測試]

        SSID: private: int position5G = 511
        signal: -41 dBm
        tx bitrate: 433.3 MBit/s VHT-MCS 9 80MHz short GI VHT-NSS 1
```

約 0.5 公尺：-41dBm、VHT-MCS 9（256-QAM）

```
[第 12 次自動測試]

        SSID: private: int position5G = 511
        signal: -55 dBm
        tx bitrate: 292.6 MBit/s VHT-MCS 6 80MHz short GI VHT-NSS 1


[第 13 次自動測試]

        SSID: private: int position5G = 511
        signal: -56 dBm
        tx bitrate: 260.0 MBit/s VHT-MCS 5 80MHz short GI VHT-NSS 1
```

約 4.5 公尺：-56dBm、VHT-MCS 6 & VHT-MCS 5（64-QAM）

```
[第 23 次自動測試]

        SSID: private: int position5G = 511
        signal: -64 dBm
        tx bitrate: 195.0 MBit/s VHT-MCS 4 80MHz short GI VHT-NSS 1
```

約 6 公尺（與 Router 隔牆）：-64dBm、VHT-MCS 4（16-QAM）

```
[第 27 次自動測試]

        SSID: private: int position5G = 511
        signal: -73 dBm
        tx bitrate: 65.0 MBit/s VHT-MCS 1 80MHz short GI VHT-NSS 1


[第 28 次自動測試]

        SSID: private: int position5G = 511
        signal: -76 dBm
        tx bitrate: 13.0 MBit/s VHT-MCS 1 VHT-NSS 1
```

約 9 公尺（與 Router 隔牆）：-73dBm、VHT-MCS 1（QPSK）

```
[第 32 次自動測試]

        SSID: private: int position5G = 511
        signal: -81 dBm
        tx bitrate: 6.5 MBit/s VHT-MCS 0 VHT-NSS 1
```

約 11 公尺（與 Router 隔牆）：-81dBm、VHT-MCS 0（BPSK）

```
[第 35 次自動測試]

        SSID: private: int position5G = 511
        signal: -80 dBm
        tx bitrate: 6.0 MBit/s
```

大於 11 公尺（與 Router 隔牆）：-80dBm（802.11a BPSK）

▲表一：5GHz Wifi 在不同距離之訊號及調變方式（3 秒測試一次）

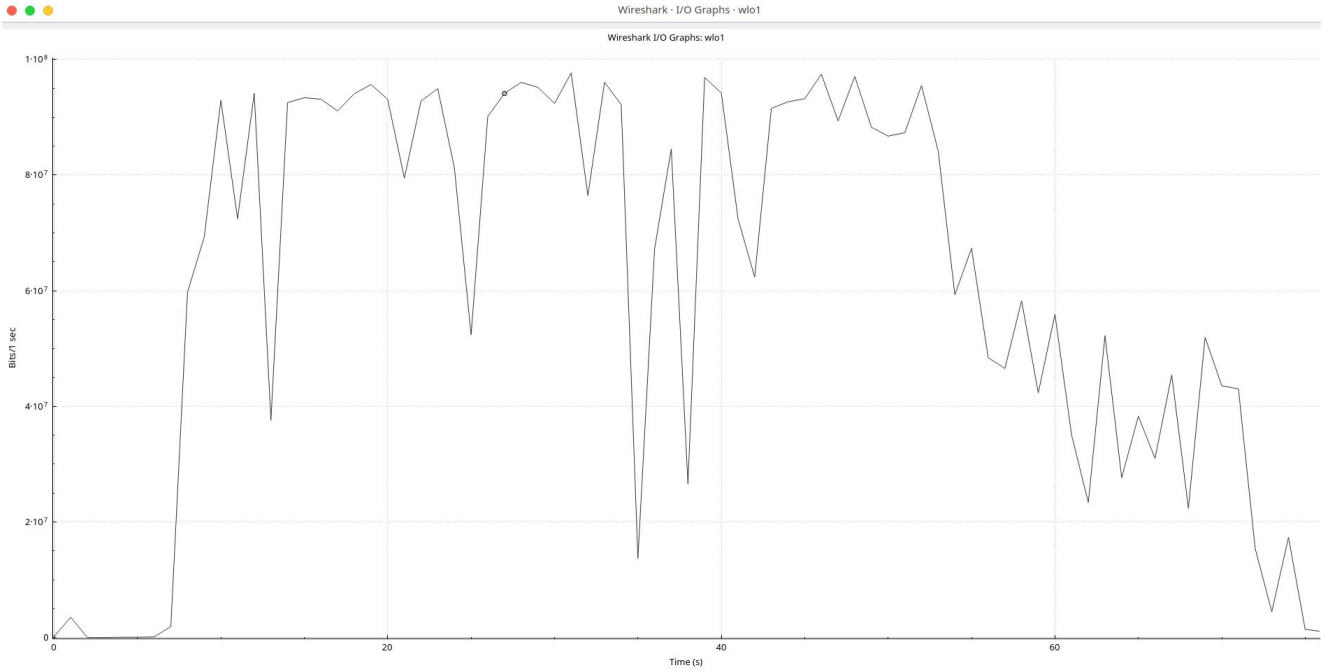
備註：標螢光筆處對照下圖「MCS index table」，可發現 tx bitrate 與圖表之 Data rate 相符

Modulation and coding schemes

MCS index[b]	Spatial Streams	Modulation type	Coding rate	Data rate (Mbit/s)[17]							
				20 MHz channels		40 MHz channels		80 MHz channels		160 MHz channels	
				800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
0	1	BPSK	1/2	6.5	7.2	13.5	15	29.3	32.5	58.5	65
1	1	QPSK	1/2	13	14.4	27	30	58.5	65	117	130
2	1	QPSK	3/4	19.5	21.7	40.5	45	87.8	97.5	175.5	195
3	1	16-QAM	1/2	26	28.9	54	60	117	130	234	260
4	1	16-QAM	3/4	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390
5	1	64-QAM	2/3	52	57.8	108	120	234	260	468	520
6	1	64-QAM	3/4	58.5	65	121.5	135	263.3	292.5	526.5	585
7	1	64-QAM	5/6	65	72.2	135	150	292.5	325	585	650
8	1	256-QAM	3/4	78	86.7	162	180	351	390	702	780
9	1	256-QAM	5/6	—	—	180	200	390	433.3	780	866.7

▲圖二：VHT-MCS index table。紅框處對照「表一」資料（擷取自：en.wikipedia.org）

除了找出距離與相對應的 QAM 之外，我們也測試了距離與 Throughput 的關係，如下圖：



▲圖三：Wifi I/O Graph（bits per second）

並且依照此圖繪製成下表，顯示距離與 Throughput 的關係：

距離	Data rate 理論值（表一 tx bitrate）	實際 Throughput
約 0.5 公尺	433.3 Mbit/s	約 95 Mbit/s
約 4.5 公尺	260 Mbit/s	約 95 Mbit/s
約 6 公尺	195 Mbit/s	約 95 Mbit/s
約 9 公尺	65 Mbit/s	約 50 Mbit/s
大於 11 公尺	6 Mbit/s	降低至接近 0 Mbit/s

由此可知，實際 Throughput 皆小於理論值，最後訊號不佳時顯示網路失敗並自動斷連。

Experiment 5 結論：因為報告篇幅緣故，沒有將 2.4GHz 的實驗結果放上來，但實驗步驟及結果與 5GHz 相似(除了 802.11n 之 QAM 及 MCS index 不同之外，其餘幾乎相同)。但我們發現 2.4GHz 之 Wifi 之可使用距離稍微比較遠，大約可到 18~20 公尺（中間有隔牆），由此可知，高頻之訊號比較容易衰減。現在了解以上種種資訊後，挑選路由器時可以自行比對規格，購買最符合自己需求的，不要只看廠商宣傳文宣上寫的廣告數字來抉擇（例如 D-Link 官網介紹此路由器的文宣中，有許多數字可能會誤導不懂的消費者，像是「最高支援 1200Mbps」代表的是所有裝置連線時的最高理論值相加的結果，單一裝置連線最高只支援 433.3Mbps）。在網路如此發達的時代，這些識讀是必要的。