

具備QoS功能之軟體定義後端網路測試場域

QoS-capable SDN-enabled Mobile Backhaul Field Test

賴冠豪
Guan-Hao Lai

中文摘要

為了滿足 5G 網路的需求，在人口密集的地方大量增設小型基地台 (Small Cell) 是目前提出的方法之一，但是要讓 Small Cell 正常運作，則必須要在 Small Cell 和核心網路之間佈署線路，不過若是要為大量的 Small Cell 部署線路，則必然要耗費大量的成本，因此，較佳的解決方法為利用目前已佈署的網路來增設 Small Cell。

使用已部署的網路來增設 Small Cell 雖然可以節省大量的成本花費，但是存在著另一個問題，即該網路能否提供原本網路和行動網路所需的服務品質，例如：利用企業網路部署 Small Cell，除了要能滿足行動網路的需求，還必須維持企業網路的運作正常；不過可確定的是，傳統的交換機並無法提供異質網路所需的服務品質，為此，我們將傳統交換機更換成 SDN 交換機，在工研院內建立了 SDN-enabled Mobile Backhaul，除了可以維持原本企業網路的運作，也能給予行動網路所需的服務品質。

Abstract

In order to meet the requirement of 5G network, deploying a lot of Small Cell in densely populated areas is one of the proposed method. However, the network must be deployed between Small Cell and core network for the proper operation of Small Cell. However, deploying the network for large number of Small Cell will cost a lot of time and money. Thus, the preferred solution is using the network that has been existed to deploy the Small Cell.

Although it could reduce the cost by using the existed network to deploy the Small Cell, but there exists another problem: could the existed network supply the QoS of original network and mobile network? For example, deploys the Small Cells by enterprise network. In addition to provide the required QoS of mobile backhaul, it is necessary to keep the original enterprise network working normally. And it is certain that legacy switch can't supply the QoS for heterogeneous network. For this reason, we build a SDN-enabled Mobile Backhaul in ITRI by replacing the legacy switch with SDN switch. Finally, the SDN-enabled Mobile Backhaul not only maintains the network function of enterprise network, and it can supply the requested QoS for mobile network.

關鍵詞(Key Words)

軟體定義網路 (Software-defined Network ; SDN)

行動網路 (Mobile Network)

後端網路 (Mobile Backhaul)

服務品質 (Quality of Service ; QoS)

1 · 前言

5G 網路是現在各國通信業者都積極研發的技術，雖然目前還未有正式的技術效能規格，但是根據多個組織所提供的 5G 願景與白皮書，可以發現雖然對於應用情境和需求的想像不大一樣，但都強調兩項特點，1) 網速的改進，2) 容納大量連網裝置；而為了容納更多的流量，5G 技術將使用高頻訊號來提供更快的傳輸速度，但是缺點是高頻訊號的傳送距離很短，這表示未來將增建更多的小型基地台 (Small Cell) 來增加訊號覆蓋範圍，而在人口密集的地方，如：企業、校園...等，也能透過增建小型基地台來解決大量連網裝置的問題。

電信業者若要增建小型基地台，就必須在小型基地台和核心網路 (Evolved Packet Core; EPC) 之間布建線路，但是布建新的線路將會消耗大量的金錢與時間，因此，較好的方法為使用目前已布建的線路；但在行動網路中，由於影音內容和網路應用的發展，以及手機連網設備數量快速增加，導致網路頻寬的供給不足，而最直接的解決方法就是增加更多的網路頻寬，但是，無線電頻譜是有限的，所以增加已布建線路的網路頻寬並無法解決無線頻寬不足的問題，所以，要在有限的頻寬中確保服務品質，又可維持整體網路效能，服務品質保證 (Quality of Service ; QoS) 即為最佳選擇。

QoS 是一種控制機制，可以針對不同用戶或是不同的資料流採用相應不同的優先級，或是根據應用程式的需求，保證資料流的效能達到一定的水準，不過傳統的交換機並不具備這樣的功能，為此，我們引進了 Software-defined Network (SDN)，SDN 是一種網路架構，將交換機的 Control Plane 和 Data Plane 分離，並以軟體方式實作 Control Plane，透過這個架構可以讓網管人員以中央控制的方式，不需更動硬體裝置即可用程式動態規劃網路，除此之外，SDN 也能針對不同的應用服務給予對應的服務品質，因此，為了滿足異質網路的需求，我們利用 SDN 交換機建置一個 SDN-enabled Mobile Backhaul 實驗場域，透過 SDN 的特性，該實驗場域可以同時滿足企業網路與

Mobile Backhaul 的需求。

在接下來的章節中，會先在第二章分析行動網路的 QoS 需求，接下來第三章將介紹 SDN 中能提供的 QoS 功能，而第四章則展示場域建置和實驗結果，最後則是結論。

2 · Mobile backhaul 的 QoS 需求

2.1 Mobile backhaul 的封包種類

LTE (Long Term Evolution) 為 3GPP 所制定的新一代 4G 無線行動寬頻通訊系統，如下圖 1 所示 [1]，其網路架構主要分為無線部分 E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) 與核心網路部分 EPC (Evolved Packet Core)。而在其訊息傳輸方面分離了 Control Plane 與 User Plane，用以區分網路控制封包及用戶實際傳輸的資料封包。

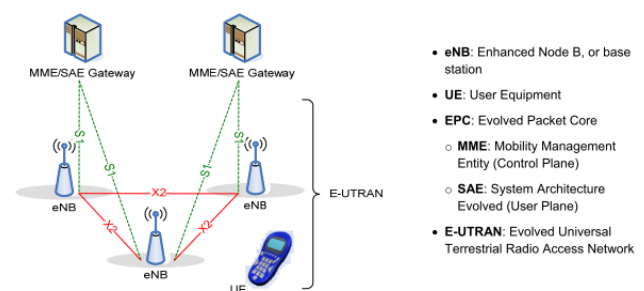


圖 1 LTE 網路架構

2.2.1 Control Plane

Control Plane，主要負責傳遞移動性、身分認證及安全性等訊息，而在這之中，關於移動性也就是手機 Handover 的議題，目前不在我們的考慮範圍，因此在 LTE 的架構中，會經過 Backhaul 的網路控制封包有以下幾種：Small Cell 與移動性管理組件 (Mobility Management Entity; MME) 建立 S1 介面傳送的訊息、確認 S1 LINK 健康程度的 Heartbeat 以及用戶端 (UE) 對 Small Cell 發起附著需求的 Attach Procedure (圖 2)。

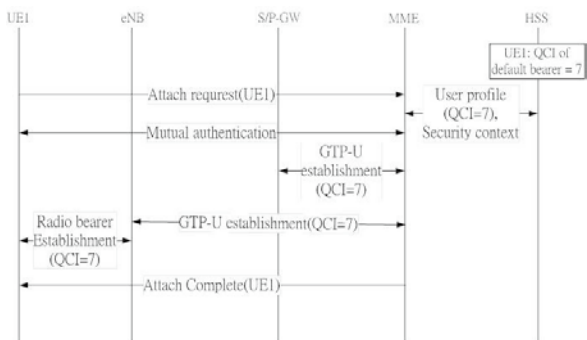


圖 2 Attach Procedure

2.2.2 User Plane

User Plane 即為用戶傳輸的資料封包，當用戶連上 Small Cell，便要進行身分認證、金鑰協商等動作，完成之後歸屬用戶伺服器 (Home Subscriber Server; HSS) 會針對不同的用戶或是同一用戶的不同應用服務之資料封包指派對應的 QoS Class Identifier (QCI)，QCI 的值定義了傳輸要求，包含轉發優先級、最大時延、可接受的丟包數量、是否要求保證速率... 等，如圖 3 所示，因此，當這些資料封包在 Backhaul 中傳輸的時候，就可以透過辨識 QCI 的值來給予對應的服務品質。

Traffic Type	Priority	Packet Delay	Example Services
S1-MME	1	20 ms	S1AP
S1-U/QCI= 5	1	100 ms	IMS Signaling
S1-U/QCI= 1	2	100 ms	Conversational Voice
S1-U/QCI= 3	3	50 ms	Real Time Gaming
S1-U/QCI= 2	4	150 ms	Live Streaming
S1-U/QCI= 4	5	300 ms	Buffered Streaming
S1-U/QCI= 6	6	300 ms	TCP-based (e.g. e-mail, chat, etc)
S1-U/QCI= 7	7	100 ms	Interactive Gaming
S1-U/QCI= 8	8	300 ms	TCP-based (e.g. e-mail, chat, etc)
S1-U/QCI= 9	9	300 ms	TCP-based (e.g. e-mail, chat, etc)

圖 3 Backhaul QoS Requirement

2.2 QoS 需求

在 Backhaul 中，不論是 Control Plane 或是 User Plane，每種封包皆有其所需的 QoS，如圖 3 所示 [2]，Control Plane 的封包，也就是 S1-MME，擁有最高的傳送優先權，而且必須保證不會有封包遺失的情況發生；而在 User Plane 部分，從圖中可以看到 S1-U 還區分成多種 QCI 等級，而且各自擁有不同的傳送優

先權以及允許延遲時間，因此該如何辨識封包的等級，並給予對應的服務品質，便是我們建置場域時一個很重要的課題。

2.3 辨識封包種類的方法

在 Control Plane 方面，如圖 4 所示，S1-MME 在傳輸層使用 Stream Control Transmission Protocol (SCTP)，因此在我們建置的 SDN-enabled Mobile Backhaul 場域中，SDN 交換機可以透過辨識 SCTP 封包再加上封包上的 IP、MAC 等資訊來確認該封包是否為網路控制封包。

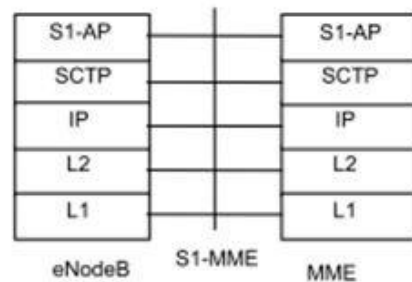


圖 4 S1-MME 介面

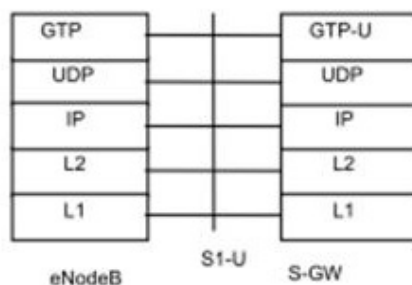


圖 5 S1-U 介面

而在 User Plane 的部分，當 UE 傳送的資料封包經過 Small Cell 的時候，會在封包最外層加上一層包裝，如圖 5 所示 [3]，因此封包最外層便不再是 UE 而是 Small Cell 的資訊，除此之外，因為封包外層還多加了 GTP-U (GPRS Tunneling Protocol for the user plane)，所以 User-plane 的封包便能以穿隧 (Tunneling) 的方式在 UE 與 Packet Data Network Gateway (PDN-GW) 間傳輸，中間

經過 eNB、Serving Gateway (S-GW)，使得用戶依然可使用 IPv4、IPv6 或 Point-to-point Protocol (PPP) 等任意格式在核心網路中傳送，但這樣的機制反而導致 SDN 交換機無法清楚辨識封包屬於哪一個 UE，再加上目前 SDN 交換機也無法辨識 GTP-U 中的內容，所以沒辦法辨識不同 UE 傳送的資料封包而給予對應的服務品質；為了解決這個問題，我們利用 Small Cell 和 S-GW 可以修改資料封包 Differentiated Services Code Point (DSCP) 的特性，我們設計了一個 QCI-DSCP Mapping Table，並將其放到 S-GW 的 User Plane (我們使用的 Small Cell 並不支援這個功能)，如此一來，資料封包在進入 Backhaul 的時候，S-GW 便會檢查該資料封包所屬的 QCI 等級給予對應的 DSCP 值，因此資料封包在 Backhaul 中轉送的時候，SDN 交換機就可以根據資料封包上面的 DSCP 值來判斷該封包的 QCI，並給予對應的服務品質。

3 · OpenFlow 的 QoS 功能

為了解決傳統網路的問題，SDN 將網路分成 Control Plane 和 Data Plane 兩部分，並且使用一項通訊協定 (如：OpenFlow [4]) 擔任 Control Plane 和 Data Plane 之間溝通橋梁；而在 OpenFlow 的架構中，每一個 OpenFlow 交換機都有著至少一個 Flow Table，而 Flow Table 則由 Flow Entry 組成，並由 Flow Entry 來決定進入交換機的封包該如何處理與轉送。

Flow Entry 主要分成三個部分：1) Match Field，2) Counters，3) Action，當封包進入交換機的時候，便會分析該封包的 Header 並查找有無 Match Field 相符的 Flow Entry，接著更新相符的 Flow Entry 之 Counter 值，之後再對該封包執行該 Flow Entry 所指定的 Actions，Actions 除了可以直接指定 Output Port 之外，也能加入 Meter、Set_Queue 等指令來進行頻寬限制或優先傳送等功能，另外，這些指令也能同時使用，以實現更複雜的 QoS 功能。

3.1 Meter

Meter 的主要功能為限制頻寬上限，如下

圖 6 所示，Packet Generator 發送 Flow 1 200M 的流量進入交換機之後，會受到 Meter 1 的限制，因此經過交換機轉送之後便只剩下 100M 的流量；另外，當多個 Flow 受到單一 Meter 限制時，如下圖 7 所示，可以看到 Flow 1 和 Flow 2 同時受到 Meter 1 的限制，並且在經過交換機轉送之後皆剩下 50M 的流量。

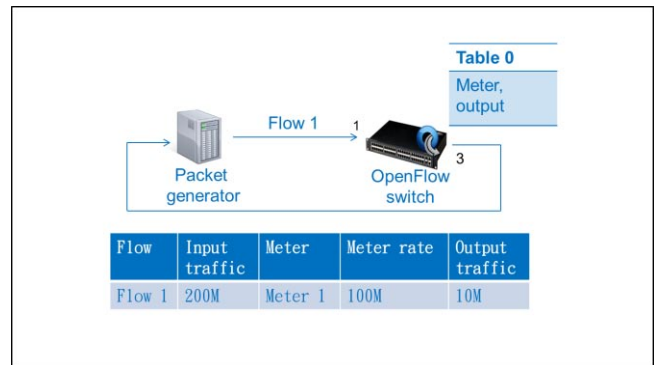


圖 6 Meter 示意圖

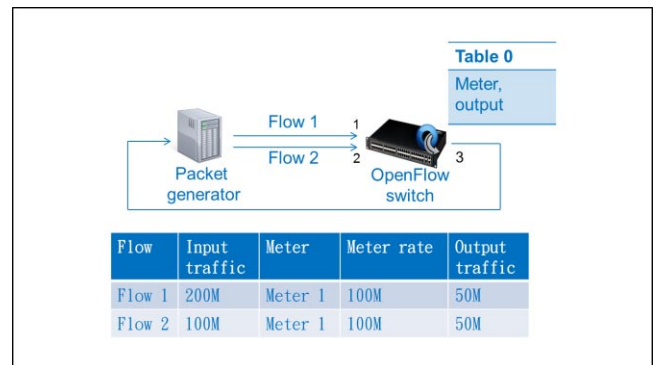


圖 7 共用 Meter 示意圖

3.2 Queue

在我們所使用的 OpenFlow Switch 中，每個 Port 都有 8 個 Queue，而每個 Queue 皆有一個 Queue ID：0~7，Queue ID 越大，傳送優先權越大，除此之外，每個 Queue 都可以設定其 Min & Max Rate，分別代表該 Queue 的保證頻寬和頻寬上限，Queue 的運作方式如下圖 8 所示，首先，我們設定 Port 3 的 Queue 1 之 Min Rate 為 500M，Queue 2 之 Min Rate 為 700M，然後設置 Flow Entry，讓 Packet Generator 發送出的 Flow 1、2 分別進入 Port 3 的 Queue 1、2，從圖中的表格可以

看到在頻寬分配上，因為 Queue 2 的優先權大於 Queue 1，因此 Flow 2 先得到 700M 的保證頻寬，然後才輪到 Flow 1 獲得頻寬，但是由於鏈結的總頻寬上限為 1G，因此 Flow 1 最終得到 300M 的頻寬。

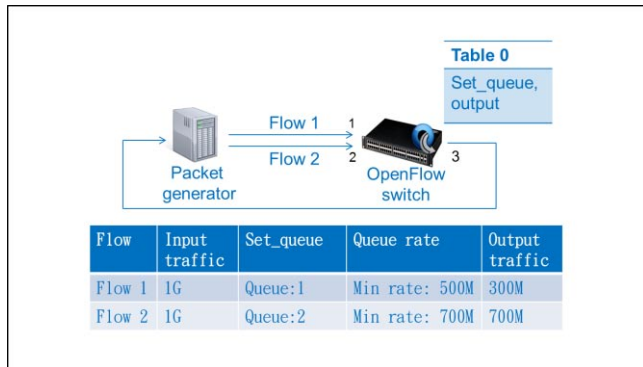


圖 8 Queue – Priority & Min Rate 示意圖

3.3 Meter + Queue

Meter 和 Queue 這兩個指令不僅可以單獨使用，也能夠同時存在，而我們所使用的交換機之 Flow Entry 若同時存在 Meter 和 Queue 的時候，則會先執行 Meter 的動作，再執行 Queue 的動作，其實驗結果可參考下圖 9，在該實驗中，我們一樣使用 Packet Generator 發送各 60M 的 Flow 1、2，當 Flow 1、2 進入交換機後，都會受到 Meter 1 的頻寬限制並且平分 100 M 的頻寬上限，因此皆得到 50M 的頻寬，接下來，Flow 1、2 會分別進入 Queue 1、2，但因為 Queue 1 的 Max Rate 設定為 45M，所以最終 Flow 1 剩下 45M 的流量，Flow 2 剩下 50 M 的流量。

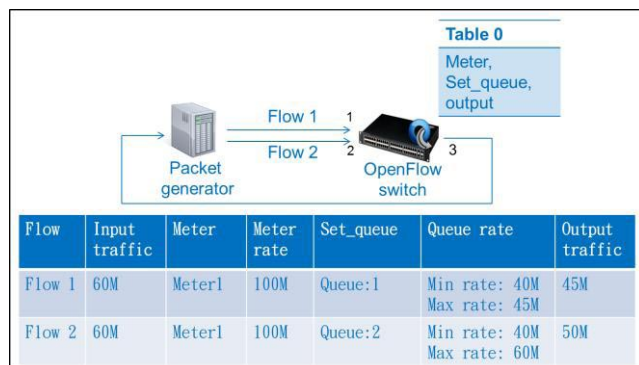


圖 9 Meter + Queue 示意圖

4 . 場域建置與驗證

4.1 場域建置

去年，我們在工研院51館、52館建置了一個 SDN-enabled Mobile Backhaul，如下圖 10，該網路架構中包含數台 Small Cell、OpenFlow 交換機、SDN Controller 及行動核心網路重要元件組成。而在這之中，Small Cell 型號為盟創 PCM-12800，OpenFlow交換器型號有Edgecore 4600及Edgecore 5712[5]，EPC型號為Cisco ASR 5000，另外，使用一台搭載 Intel i7 870 2.93Hz，1.6GB RAM，安裝的作業系統為 Ubuntu 12.04 的桌上型電腦來執行 OpenDaylight Helium SR3[6] 版本的 Controller。

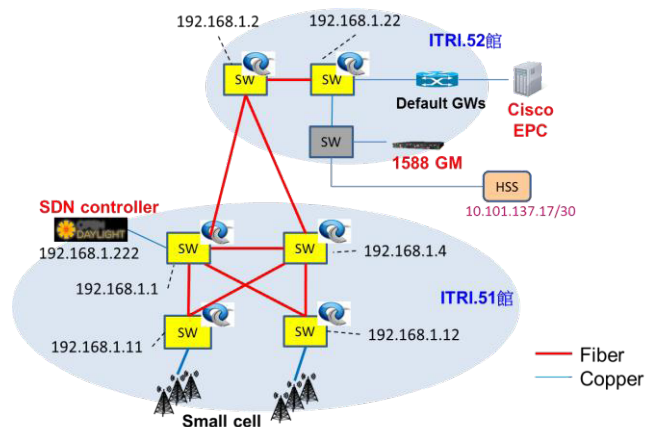


圖 10 SDN-enabled Mobile Backhaul 架構

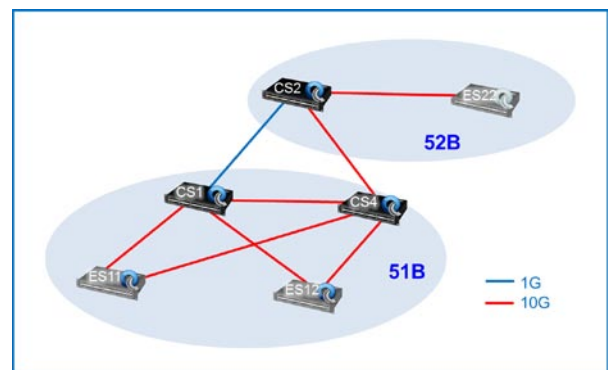


圖 11 場域線路頻寬配置圖

另外，在線路配置方面，SDN-enabled Mobile Backhaul 由六台 OpenFlow 交換機組成，其中52館和51館有兩條跨館光纖線路，一條連接 CS2 和 CS1，另一條連接 CS2 和

CS4。線路頻寬分配上，CS2 和 CS1 間的網路連線為 1G，而 CS2 到 CS4 和其餘的線路都是 10G，如圖 11 所示。

4.2 QoS 驗證

4.2.1 Field Trial Experiment

為了驗證我們建置的 SDN-enabled Mobile Backhaul 可以提供一個高可靠性的網路，首先，我們設計了一個 Field Trial 實驗環境，如圖 12 所示，Small Cell 的分配如下，IP 為 10.10.200.2 的 Small Cell 藉由 ES11 連接到 SDN-enabled Mobile Backhaul，其餘的 Small Cell 皆透過 ES12 連接到 SDN-enabled Mobile Backhaul。EPC 與 Streaming Server 則是透過一個傳統支援第三層協定之路由器當作預設閘道並透過 ES22 連接到 SDN-enabled Mobile Backhaul，目的在於讓手機封包可以在 EPC 內部各網路元件如 MME、PDN-GW 和 S-GW 之間傳遞。另外在 51 館還有一台訊務分析儀透過 ES12 和 ES11 連接到 SDN-enabled Mobile Backhaul，其目的在於向 SDN-enabled Mobile Backhaul 發送封包，以模擬網路壅塞情況。

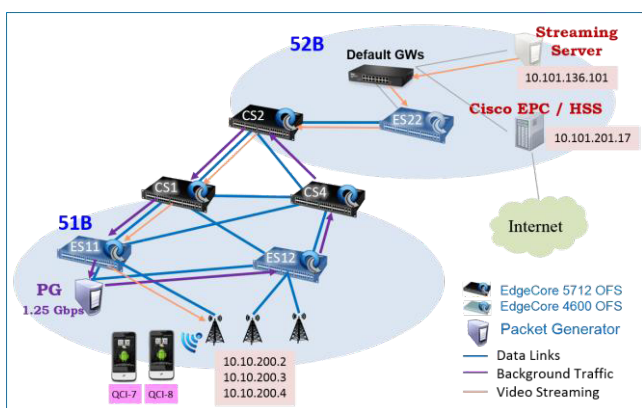


圖 12 Field trial 實驗環境

為了呈現手機不同服務等級的差異性，所以我們讓兩台手機連上我們的 Small Cell (10.10.200.2)，接著 HSS 分別為兩台手機指派兩種不同服務等級的 QCI，分別是 QCI 7 和 QCI 8，並在 EPC 上為這兩種 QCI Service 在下行方向的封包表頭給予不同的 DSCP 值，其

中 QCI 7 比 QCI 8 具有較高的優先權等級，所以 QCI 7 的手機在網路壅塞的情況下，其封包延遲亦會小於 QCI 8，對應的 DSCP 值和各種封包所擁有的 QoS 如下圖 13 所示。

	Traffic	QoS mechanisms
Field trial	Control message	Set_queue:7
	GTP (dscp:18)	Set_queue:5
	GTP (dscp:10)	N/A
	Background traffic	N/A

圖 13 封包對應之 QoS – Field Trial

為了更加凸顯實驗效果，所以我們加入串流影像來呈現結果，為此我們在 52 館架設一台主機，並在其上安裝 Streaming Server 來發送影片，而手機則是透過 Small Cell 連接到 SDN-enabled Mobile Backhaul，之後透過 EPC 建立連線，其後再從 Streaming Server 接收串流影像。

為了造成網路的 Downlink 壅塞，所以讓訊務分析儀產生 1.25G 的 Background 流量，其繞送路徑如圖 12 所示：PG → ES12 → CS4 → CS2 → CS1 → ES11 → PG。由於 CS2 和 CS1 之間的頻寬是 1G，而送出的 1.25G 封包會經由 CS2 轉送到 CS1，所以便造成 Downlink 壅塞，而此時就可以看出 QCI 7 影像畫面依然順暢，而 QCI 8 則出現畫面延遲的情況。

4.2.2 Lab Trial Experiment

為了驗證高優先權的封包有低延遲的優勢且沒有封包遺失的疑慮，因此我們在相同的網路拓模下，讓訊務分析儀產生四種不同優先權的封包來模擬行動通訊情境，由高到低分別是：SCTP > GTP_High (QCI: 7) > GTP_Low (QCI: 8) > Background，其流量分別為 10M、250M、250M 和 540M，其封包對應的 DSCP 值和所擁有的 QoS 如圖 14 所示。

	Traffic	QoS mechanisms
Lab trial	S1-MME	Set_queue:7
	QCI:7 (dscp:18)	Set_queue:3
	QCI:8 (dscp:10)	Set_queue:2,
	Background traffic	max_rate

圖 14 封包對應之 QoS – Lab Trial

另外，為了讓網路發生壅塞，我們將 CS2 和 ES22 間的流量上限改為 1G。此外，為了讓 SCTP、GTP_High 和 GTP_Low 有優先傳送封包之權利，分別給予 Queue 7、Queue 3 和 Queue 2，因此沒有指定 Queue 的 Background 封包其優先權最低。繞送封包方面，SCTP 和 GTP_High 有相同的繞送路徑 (ES12 → CS4 → CS2 → ES22)，GTP_Low 有自己的繞送路徑 (ES11 → CS4 → CS2 → ES22)，Background 亦是 (ES11 → CS1 → CS2 → ES22)，但每個路徑經過的 SDN 交換機總數都一樣並且最終都會經由 CS2 (發生壅塞的 OFS) 傳送給 ES22 之後再傳回訊務分析儀，如圖 15 所示。

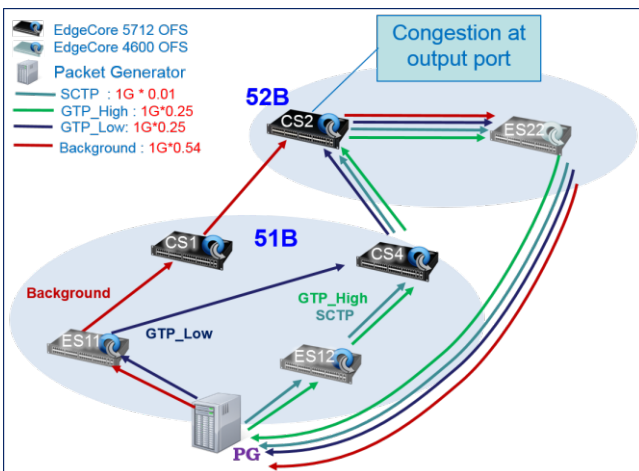


圖 15 Lab trial 實驗環境

在上述的環境下，其實驗結果如圖 16 所示。其結果顯示出，有設置 Queue 的封包皆沒有任何遺失的封包且延遲皆小於 1ms。此外，圖 16 亦顯示出延遲的高與低將取決於封包

的優先權等級，其原因在於 Queue 的優先權等級，等級越高就可以越快將封包發送出去，等級低的則需要等到交換機中等級高的封包發送完才能發送封包，因此低優先權具有較高的延遲時間。

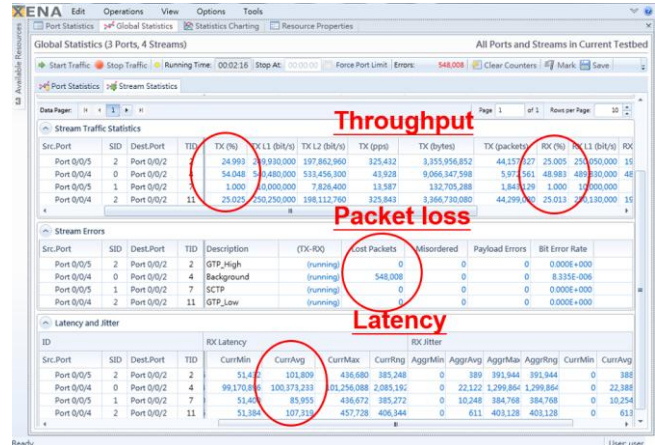


圖 16 Lab trial 實驗結果

5. 結論

在本文中，首先說明了未來 5G 的發展將以廣建大量的 Small Cell 來增加網速以及連網裝置的數量，為此，若要減少成本的支出，則必須整合已布建的網路，但是，原本網路裡的傳統交換機並不能滿足 QoS 需求，因此，我們建置 SDN-enabled Mobile Backhaul 來解決異質網路的 QoS 需求。

而在 LTE 的架構中，會經過 Backhaul 的封包可分成網路控制封包和用戶的資料封包兩種，並且各自都有不同 QoS，為了讓 SDN 交換機可以成功辨識以提供對應的 QoS，特別是資料封包的部分，因此，我們讓資料封包在進入的 Backhaul 的時候，可以針對 QCI 在封包上加入對應的 DSCP 值，以便讓 SDN 交換機可以透過 DSCP 值來辨識封包所屬的 QCI 等級以提供對應的 QoS；接著，我們介紹了 SDN 交換機能提供 QoS 的功能：Meter 和 Queue，以及這兩個功能的使用方法和運作方式，並將這兩個功能應用在我們的實驗場域上。

最後我們展示了在工研院 51 館和 52 館建置的 SDN-enabled Mobile Backhaul 實驗場域，

而且在實驗中我們成功的讓手機用戶透過 Small Cell 經由該實驗場域連上核心網路並且藉由撥放影片可以看出用戶之間有著不同的服務品質，除此之外，我們也使用訊務分析儀來模擬各種封包的傳送，因此，透過數據結果可以看到我們建置的場域能夠滿足 Backhaul 裡各種封包所需的 QoS 之需求；在未來，我們將持續擴充該場域之功能，而於此場域所測得的效能數據將提供給營運商做為實際營運布建之參考，同時也提供測試場域給 OpenFlow 設備商進行技術優化，驗證與展示其進入 Backhaul 網路的能量，協助國內網通廠成為營運商的設備供應商。

參考文獻

[1] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2, 3GPP TS 36.300 v13.4.0, 2016.

[2] Policy and charging control architecture, 3GPP TS 23.203 v14.0.0, 2016.

[3] General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access, 3GPP 23.401 v14.0.0, 2016.

[4] OpenFlow Switch Specification 1.3.0.
<https://www.opennetworking.org/index.php>

[5] Edgework Networks. <http://www.edge-core.com/>

[6] OpenDaylight. <https://www.opendaylight.org/>

作者簡介

賴冠豪



工研院資通所寬頻網路與系統整合技術組副工程師，專長為軟體定義網路。