

# LTE 系統之動態分配資源的下行 QoS 機制

陳俞樺

國立中興大學  
通訊工程研究所

timegamer@ares.ee.nchu.edu.tw

蔡智強

國立中興大學  
電機工程學系

jchiangt@nchu.edu.tw

張詠勝

國立中興大學  
電機工程學系

cys@ares.ee.nchu.edu.tw

柯勤彥

國立中興大學  
電機工程學系

kcy@ares.ee.nchu.edu.tw

## 摘要

當無線通訊網路的發展日新月異，且隨著智慧型手機的效能越來越高，進一步造就了許多網路應用程式的產生，在現今智慧手機的高效能下，執行多個網路應用程式已經不是問題了，那麼該如何有效控管網路資源的使用就是一個必須要去解決的課題。

行動網路已經發展到第四代行動通訊網路，主要有 WiMAX 和 LTE 兩大陣營，然而 LTE 相較被看好，雖然有廠商已經做出 LTE 的相關硬體，但卻還沒被使用，所以必須使用網路模擬器來進行研究，本文使用了 Esti-Net 網路模擬器來進行 LTE 網路上對於不同程式傳輸的資源分配保留研究。

**關鍵詞：**Esti-Net、LTE、網路模擬器。

## Abstract

When mobile network bandwidth is bigger than before, the performance of smart phone is better than before, the two things make more network applications than before. It is not difficult to execute a lot of network applications at the same time. But it is difficult to assign network resources well. So we have to find out how to assign network resources.

Now, mobile network has entered the fourth generation. It can divide into two camps, WiMAX and LTE. Many people think that LTE will be better than WiMAX. Although the machine of LTE has created but LTE system did not deploy yet. If we want to research LTE system we need to use network simulation. In this paper, we use Esti-Net to research how assign network resources is better than now.

**Keywords:** Esti-Net, LTE, network simulation.

## 1. 前言

近年來由於行動上網的普及以及對於網路的需求增加，現有的 3G 行動通訊網路已經不能夠滿足使用者的需求，因此推動了 4G 行動通訊網路的發展。目前 4G 行動通訊網路主要有 IEEE 所推行的 WiMAX[1](Worldwide Interoperability for Microwave Access) 與 3GPP[2] 所推行的 LTE[3](Long Term Evolution)這兩大陣營，近年來 LTE 的發展越來越被看好，成為未來 4G 行動通訊

網路的發展重心。

LTE 採用了正交頻分多址 (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA) 的射頻接收技術以及  $2 \times 2$  和  $4 \times 4$  多輸入多輸出 (Multi-input Multi-output, MIMO) 的分集天線技術，同時支援頻分雙工 (Frequency-Division Duplex, FDD) 和時分雙工 (Time-division duplex, TDD)，速率方面預估可達到上行 50Mbps、下行 100Mbps。在此環境下，將允許更多網路應用程式的使用，但是該如何避免網路資源的濫用呢？在這樣的狀況下，QoS[4] 的機制將顯得非常的重要。

然而在 3GPP 已經開始制定 LTE Release 12[5] 的現今，雖然廠商已經研發出相對應的設備但是尚未使用，所以必須透過網路模擬器來架設實驗所需的環境，進一步達成研究的目的，同時網路模擬器也有節省人力部屬以及方便觀察研究數據的優點。

為了實現 QoS 的機制，本為提出了動態資源分配的方法，利用不同的傳輸埠，將封包分類並且分配合理的資源來實現 QoS 的機制，使得無線網路資源可以更有效的利用。

## 2. 背景介紹

LTE 主要的系統架構是由 EPC (Evolved Packet Core)[6] 與 E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network)[7] 所構成，整體稱為 EPS (Evolved Packet System)，圖 1 為 LTE 系統架構圖。

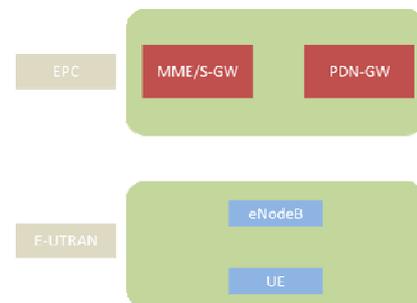


圖 1 LTE 系統架構

### 2.1 EPC

EPC 由 MME[8](Mobility Management Entity)、PDN-GW[9](Packet Data Network Gateway) 以及

S-GW[10](Serving Gateway)組成。

MME 管理核心網路，主要處理 Control-plane 的訊息，如移動性、身分認證以及安全管理。S-GW 管理系統內 User-plane 的訊息，如資料封包的 Routing/Forwarding 以及 Mobility Anchor(eNB 間的換手)。PDN-GW 則是負責 User-plane 的外部連結 (Internet)。

在溝通方面，PDN-GW 與 S-GW 透過 S5 介面來溝通，S-GW 則透過 S1 介面與 eNB 來溝通，S1 介面可以分為 Control-plane 的 S1-MME 介面(與 MME 做連結)和 User-plane 的 S1-U 介面(與 S-GW 做連結)。

## 2.2 E-UTRAN

E-UTRAN 為 LTE 下的無線架構，包括用戶端 UE 以及基地台 eNB[11]，eNB 之間透過 X2 介面溝通，UE 與 eNB 之間透過 LTE-Un 介面溝通。

如圖 2 所示，此無線介面跟舊有的無線通訊系統不同的地方在於，為了減少與核心網路溝通產生的延遲，除了 NAS 的移動性管理需與核心網路通訊外，其他曾只在 UE 和 eNB 間通訊。

LTE-Un 可分為三層：

Layer 3：NAS[12](Non-Access Stratum)主要做移動管理、Bearers 設定以及用戶的附著與認證等；RRC(Radio Resource Control)主要是管理無線資源。

Layer 2：PDCP[13](Packet Data Convergence Protocol)主要執行標頭壓縮和加密動作；RLC(Radio Link Control)包含了 ARQ 重傳機制以及配合下層 MAC 的 Frame 大小而進行封包的分割與重組；MAC(Medium Access Control)主要是做 QoS 的排程動作及 HARQ。

Layer 1：PHY(Physical)將資料轉為實體訊號發送，包括 OFDMA、MIMO 等相關技術。

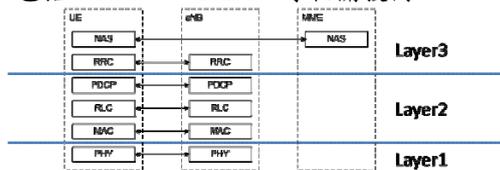


圖 2 E-UTRAN 各層對應

## 2.3 EPS 行動管理程序

EPS 行動管理程序簡稱 EMM[14]，其主要功能為 UE 的行動管理，如使用者身分之保密以及使用者目前的位置。

## 2.4 EPS 會話管理程序

EPS 會話管理程序主要是在支援 EPS bearer[15] 對於 UE 和 MME 之間的控制，其功能為啟動、取

消、修改 EPS bearer 以及 UE 的資源請求。

## 2.5 QoS

在 LTE 的系統中，EPS 的 QoS 控制，其基本單位為 EPS Bearer，依據不同的 QoS，可以將 QoS Bearer 分為 GBR[16](Guaranteed Bit Rate)以及 Non-GBR 這兩大類。

GBR 是指 Bearer 所需求的 Bit Rate 可以持續地保持，亦即在網路負載高的情形下，也能夠保持 Bearer 所對應的 Bit Rate。

相反地，Non-GBR 是指在網路負載高的情形下，Bearer 可以降低速率的需求。

因為 Non-GBR Bearer 不需要佔據固定的網路資源，所以可以長時間的建立，但是 GBR Bearer 通常是在需要的情況下才會建立。

表 1 為各種 QCI[17](QoS Class Identity)之敘述，在 LTE 系統中，QoS 分為等級一到等級九，從表可以看出，等級二到等級五為 GBR 的服務，等級一以及等級六到等級九為 Non-GBR 的服務。

表 1 QCI 表

QCI	Resource	Priority	Packet delay (ms)	Packet loss	Example services
1	GBR	2	100	$10^{-2}$	Conversational voice
2		4	150	$10^{-3}$	Conversational video(live streaming)
3		3	50	$10^{-3}$	Real time gaming
4		5	300	$10^{-6}$	Non-conversational video(buffered streaming)
5	Non-GBR	1	100	$10^{-3}$	IMS signaling
6		6	300	$10^{-6}$	Video, TCP-based
7		7	100	$10^{-6}$	Voice, Video(live streaming), interactive gaming
8		8	300	$10^{-3}$	Video(buffered streaming), TCP-based
9		9		$10^{-6}$	

## 3. 相關文獻

早在行動通訊進入 3G 時代後，因為網路的頻寬增加，造就了許多網路應用程式的出現，在這些網路應用程式開始壓縮到正常的影音通訊時，就已經有 QoS 的相關研究出現。

在[18]中作者提出了一種排程的方法，利用表 2 將進入 MAC 層的封包依據 QCI 分成五個不同等級的 M-QoS，最高的兩個等級為 GBR Bearer，其餘為 Non-GBR Bearer，如圖 3 所示，接著封包經過 TD Scheduler 與 FD Scheduler 兩道排程才將附有封包資訊的 PRB(Physical Resources Block)[19]送給 UE 端。

在 TD Scheduler 中[18]的作者先依據 M-QoS 將封包排列出兩個優先順序的清單，一個為 GBR，

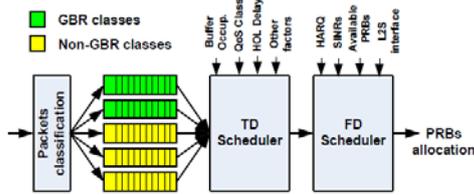


圖 3 一般 LTE MAC 排程框架[18]

表 2 QCI 與 MAC QoS 對照表

	Service Type(QCI)	MAC QoS Class
GBR	QCI 1	M-QoS 1
	QCI 2	M-QoS 2
Non-GBR	QCI 7	M-QoS 3
	QCI 8	M-QoS 4
	QCI 9	M-QoS 5

另一個為 Non-GBR，接著進入 FD Scheduler 後，會依照 GBR 的清單，先對應分配 SINR 值最高的 PRB 做資源承載，排完 GBR 封包後才會排 Non-GBR。

[20]的作者相較於[18]的作者的不同處在於多了一個允許控制(Admission Control)，封包進入 MAC 層後，Admission Control 會判斷是否有可用的資源讓 GBR 類型封包繼續傳輸或是丟棄。

[21]的作者除了增加 Admission Control 之外，對於 Scheduler 比較特別，並沒有分 TD Scheduler 和 FD Scheduler。

在上述的三篇文獻當中，[18]只有對於不同種類的服務做出判別，在排程時優先對於即時性的封包(如即時語音、即時影像等)做排程，接著再對非即時性的封包做排程，其結果等同於對 GBR 封包提前處理，但是對 Non-GBR 的部分卻有整體性質的提升。[20]與[21]中對於 GBR 的部分則先以 Admission Control 處理完再進行細部的分配排程，其結果可以使得 GBR 傳輸封包的效能提升。

## 4. 系統設計與實作

### 4.1 設計構想

在上述的三篇文獻當中，分別對於 GBR 與 Non-GBR 有個別的長處，於是本論文提出一個方法對於 GBR 與 Non-GBR 去做分配的工作，其演算法如圖 4。

在 3GPP LTE 技術規格文件內，對於封包的排程是在 MAC 層內進行，在此層內封包進入 Scheduler 後，會先判斷是 GBR 封包還是 Non-GBR 封包。

若是 GBR 封包的話，會依照此 GBR 封包所預定的速率與此類封包之前的平均速率之比值來判定權重，如式(1)所示，M 表示權重，GBR 表示 GBR 所預定的速率，R 表示封包之前的平均速率，如果權重值愈高則排序會愈前面。

$$M = \frac{GBR}{R} \quad (1)$$

若是 Non-GBR 封包的話則是依照服務類型的

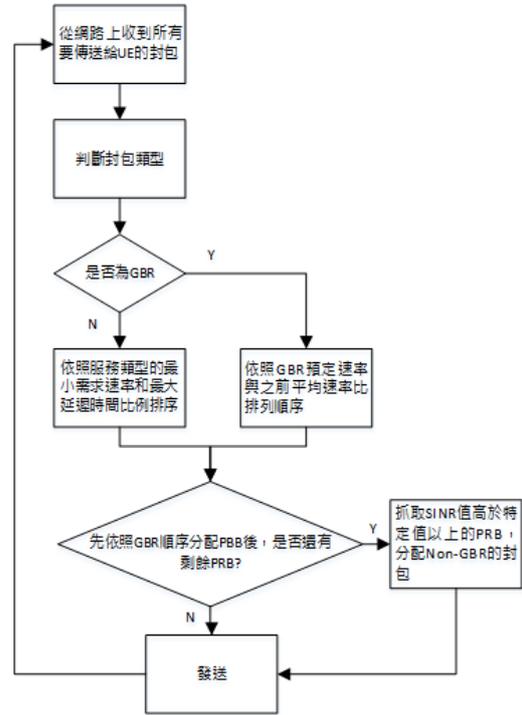


圖 4 演算法流程構想

最小需求速率與最大延遲時間之比值來判定權重，如式(2)所示，M 表示權重， $R_{min}$  表示最小需求速率， $D_{max}$  表示最大延遲時間。

$$M = \frac{R_{min}}{D_{max}} \quad (2)$$

接下來先依照編排好的 GBR 封包順序來排定 PRB，接著檢查是否有剩餘的 PRB，若是有剩餘的 PRB 才去編排 Non-GBR 封包，再來重新抓取封包並且編排順序，這個構想是基於：

1. 因為 GBR 封包都是以即時性的類別為主，先編排 GBR 封包可以確保封包快速抵達 UE 端。
2. 若是整個系統被 GBR 封包塞滿，也可以編排其先後順序。
3. 因為 Non-GBR 封包並非即時性(如 Web、FTP、Mail)，權重編排方式可依照延遲時間去做調整。

### 4.2 實做架構

由於 EstiNet 底下的 LTE 模組還不算完善，第一它並不支援 QoS 的功能，也不能判斷封包類型，第二它並不支援 PRB 的功能，第三它在物理層訊框只有 TDD 並未支援 FDD，並且不算很穩定，所以退而求其次實現先實現以下兩點以求對於特定封包的資源保留：

1. 封包分類:對於不同種類的服務做分類
2. 封包編排:分類好的封包依照中要性編排順序發送

在不能分辨是由什麼應用程式傳出的封包的環境條件下，需要去分析還有什麼方式可以分類封包，我們想到利用不同傳輸埠下去分類。

在 EstiNet 的 LTE 模組封包傳遞並非與以往網路中封包格式相同，它在封包格式前加了一個自行定義的標頭，並且需要用到分類時並非最上面的 LIF 層，因為經過了各個子層的封裝與傳送所以必須另外在尋找傳輸埠的位址。

依據 eNB 的模組堆疊可以看到由上往下分別 Interface、LIF、RRC、RLC、MAC、OFDMA、CM 根據程式碼所描繪對於每個協定層在模擬器封包的改變看到在 LIF 層與 RRC 層可以使用模擬器內部的 API pkt\_sget()取得封包儲存的開頭位置外，繼續往下層傳遞封包會繼續對資料做增減的動作，此時必須層層的去尋找儲存位址，另外要在排除他們自定義的 LteComDataHdr 長度與 IP 長度去取得封包的傳輸埠。

這邊注意 EstiNet 的排程式並非在於 MAC 層而是在 OFDMA 層，所以判斷封包傳輸埠的程式也將寫在 ENB\_OFDMA 這個模組內。

在一層層的模組傳遞封包後，原本的封包架構改變，因為必須要在 OFDMA 層分析，取得傳輸埠的程式流程圖如圖 5：

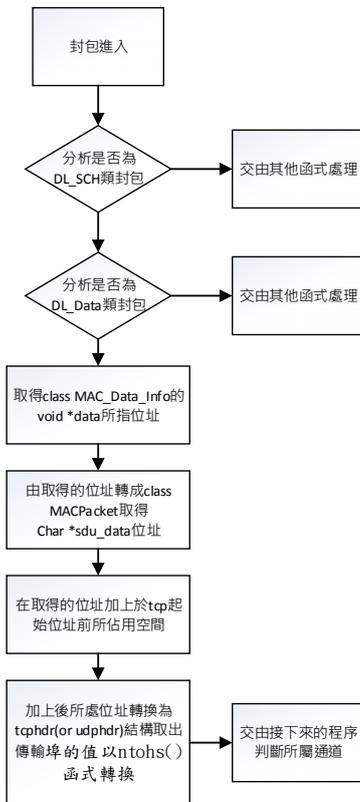


圖 5 傳輸埠取得流程圖

倒數第二步的 ntohs()函式是為了從網路位元組順序將 16 位元數量轉換到主機位元組順序

(Big-Endian 到 Little-Endian)以利接下來判斷。

當封包進入 OFDMA 模組後會依照類型進入不同通道，圖 6 為 MAC 層與 OFDMA 層通道對應：

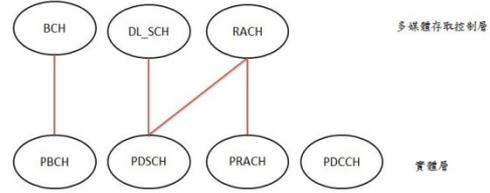


圖 6 通道對應圖

由圖 6 可以看出對於 DL\_SCH 的封包會對應到 PDSCH 通道，在 PDSCH 通道又可分為一般下行資料封包與控制封包，在模組內區分為 PDSCH 與 ConTrol\_PDSCH 兩種類別，裡面又各有一個 list 存放兩種封包排序，這邊為了要區分封包種類新增了一個 class QoS\_PDSCH 並在裡面定義一個 PDSCH 結構的 list 以存放有 QoS 需求的封包如

ConTrol_PDSCH	PDSCH_	PDSCH_	PDSCH_	...
PDSCH	PDSCH_	PDSCH_	PDSCH_	...
QoS_PDSCH	PDSCH_	PDSCH_	PDSCH_	...

圖 7 PDSCH 通道分類

在封包要進入 PDSCH 通道前依照圖 7 PDSCH 通道分類

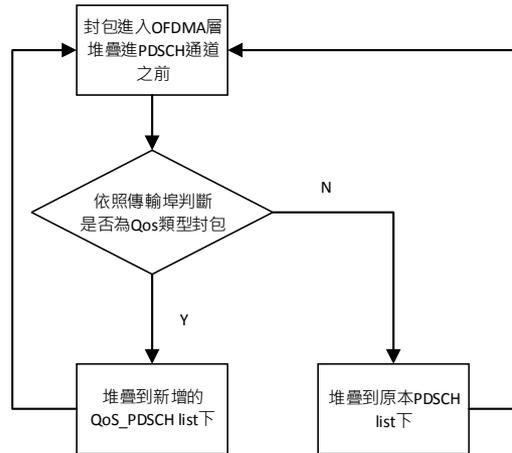


圖 8 封包分類

排程的啟動是依照系統計時器按時啟動，依照設定的 Timer 啟動 SubFrameScheduler 子函式編排，要送出的封包並封裝成 TddFrame 的形式給 UE，在 SubFrameScheduler 子函式啟動時優先安排系統資訊封包後可以先提取 QoS\_PDSCH 的封包優先送給 UE，圖 9 為進入 SubFrameScheduler 子函式修改過後的程是流程圖。

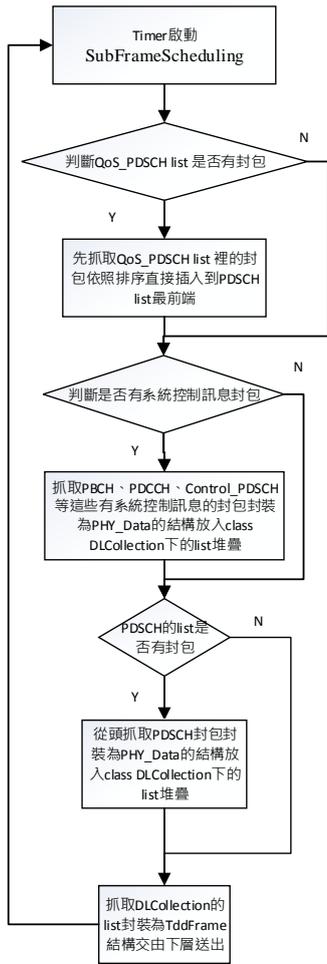


圖 9 修改後 SubFrameScheduler 函式流程圖

## 5. 模擬與成果

### 5.1 模擬環境

因為模擬器程式編寫時受限於模擬器支援不足，原本構想無法達成，因此可實行的部分剩下：

1. 封包分類
2. 保證等級較高的封包先行傳輸

圖 10 為建立的網路拓撲示意圖。

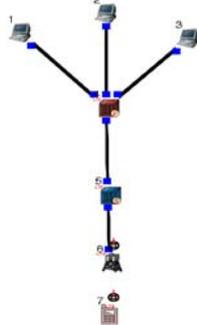


圖 10 模擬架設的網路拓撲

架設的 LTE 網路拓撲使用三台 Host 端以 UDP 傳輸，分別使用 port 6700、7700、8700 傳輸至一台 UE 端，在 QoS\_PDSCH 序列的大小限制一次最多有 7 個封包搬移到 PDSCH 序列前端，這設定是要防止所有的頻寬全部被 QoS\_PDSCH 的封包所占用，設定第 0 秒到第 10 秒之間只有以 port 7700 的 Host 傳輸，第 10 秒開始其他兩台 Host 加入傳輸，模擬時間為 60 秒，以不間斷的封包不停傳輸至 UE 的方式去觀察不同傳輸埠的 throughput 變化。

### 5.2 模擬成果數據

圖 11、圖 12 分別為從第 0 秒到 60 秒模擬結束時不同 port 的即時 throughput 與平均 throughput。

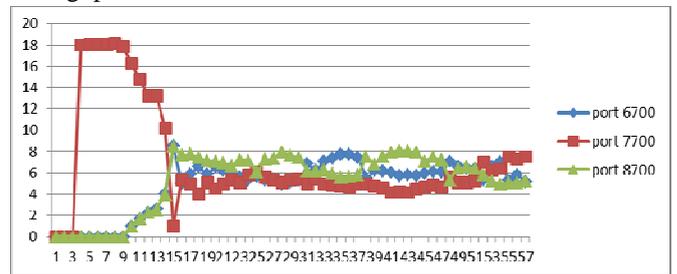


圖 11 修改前不同 port 之間時間與 throughput 圖

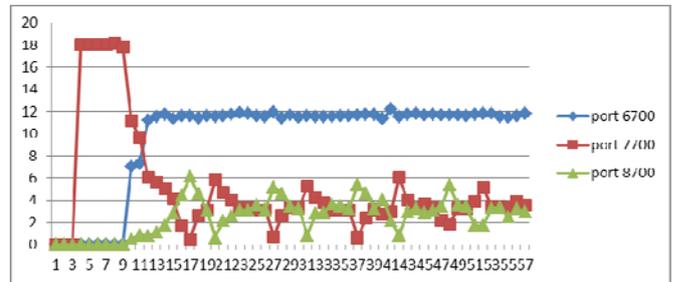


圖 12 修改後不同 port 之間時間與 throughput 圖

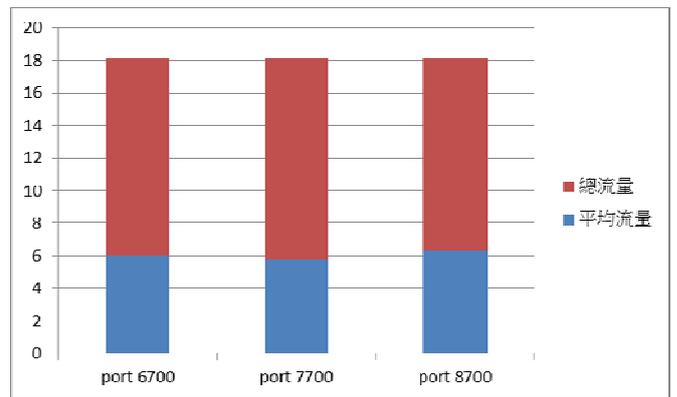


圖 13 修改前不同 port 的平均 throughput

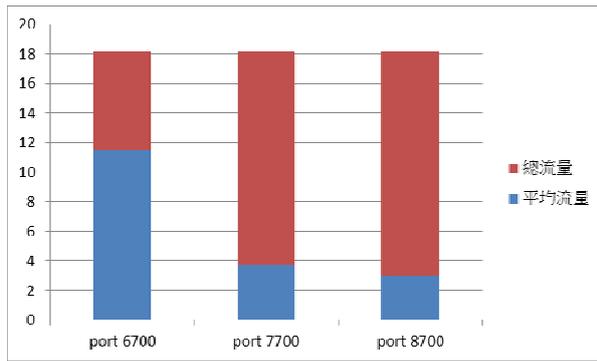


圖 14 修改後不同 port 的平均 throughput

在圖 11 系統尚未修改前可以看到流量幾乎都是平均分配的狀態。圖 12 在系統做過修改後，一開始 throughput 全由 port7700 的電腦占據，是因為這時間只有他一台 Host 在傳輸，在第十秒之後另外兩台 Host 加入傳輸後由於使用 port 6700 的 Host 封包可以提前傳輸，所以反應在圖 4-2 的數據上可以看到此 Host 在開始傳輸後一直擁有一定量的 throughput 保留。

總流量與平均流量對照圖可以看出在圖 14 修改後的系統比起圖 13 尚未修改的系統確實可以保留一定的資源量給需要的封包使用。

## 6. 結論與未來展望

### 6.1 結論

本論文為了使LTE網路的資源有效的保留給較需要的網路應用程式，所以提出了一個可以調整資源分配的演算法以應用於LTE網路，這方法可以依照不同的權重排序封包的演算法以達到在LTE下實行更有效率的QoS。

雖然方法已經提出，但在實行過程中卻發現所提出的演算法不能於所使用的模擬器上達成，所以轉而先以達到能在模擬器上達到可以實行部分QoS的功能。

雖沒實現出原本的演算法，不過透過在模擬器上修改新增出來的功能上確實可以實現對於特定程式的流量保留，對於特定類的封包傳輸的流暢度確實可以提高。

### 6.2 未來展望

在未來的計畫中，將會思考並修改如何確實能夠再EstiNet上實行完整QoS的方法。並且在能完整實行的模擬器上繼續修改所提出的動態資源分配演算法讓LTE網路可以有效的利用每一分資源。

## 致謝

本篇論文的研究是由行政院國家科學委員會所補助，計畫編號：NSC 101-2221-E-005-034。

## 參考文獻

- [1] Wikipedia-WiMAX, <http://zh.wikipedia.org/wiki/WiMAX>, Jun 2012.
- [2] 3GPP, <http://www.3gpp.org/>.
- [3] Wikipedia-LTE, <http://zh.wikipedia.org/wiki/LTE>, Jun 2012.
- [4] Wikipedia-QoS, <http://zh.wikipedia.org/wiki/QoS>, Jun 2012.
- [5] 3GPP, "Rel-12\_description\_20120316", Mar 2012.
- [6] 3GPP - The Evolved Packet Core, <http://www.3gpp.org/The-Evolved-Packet-Core>, Jun 2012.
- [7] 3GPP TS 36.300 V8.3.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 (Release 8)", Dec 2007.
- [8] MME, <http://www.goinglte.com/glossary/mme-mobility-management-entity/>, Jun 2012.
- [9] PGW - PDN Gateway, [http://www.acronymfinder.com/PDN-\(Packet-Data-Network\)-Gateway-\(PGW\).html](http://www.acronymfinder.com/PDN-(Packet-Data-Network)-Gateway-(PGW).html), Jun 2012.
- [10] Serving (S) System Architecture Evolution Gateway (GW)- SG, [http://www.fullchipdesign.com/tyh/lte\\_4g\\_sgw.htm](http://www.fullchipdesign.com/tyh/lte_4g_sgw.htm), Jun 2012.
- [11] Evolved Node B (eNB), <http://www.althos.com/tutorial/UMTS-LTE-tutorial-evolved-node-b-eNB.html>, Jun 2012.
- [12] About NAS, <http://lte-epc.blogspot.tw/2010/06/about-nas-non-access-stratum.html>, Jun 2012.
- [13] PDCP, <http://www.javvin.com/wireless/PDCP.html>, Jun 2012.
- [14] EPS mobility management (EMM), <http://www.lteandbeyond.com/2012/12/EMM-ECM-eps-mobility-management-and-connection-management.html>, Jun 2012.
- [15] 3gpp - What is the EPS Bearer?, <http://3gpp.wikispaces.com/What+is+the+EPS+Bearer%3F>, Jun 2012.
- [16] 5.1.2.1.29 Guaranteed Bit Rate for 32298-880, <http://es.scribd.com/doc/87700748/45/Guaranteed-Bit-Rate>, Jun 2012.
- [17] QoS Class Identifier (QCI), <http://lte-epc.blogspot.tw/2011/10/qos-class-identifier-qci.html>, Jun 2012.
- [18] Zaki, Y., "Multi-QoS-Aware Fair Scheduling for LTE", *IEEE Proceedings of 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring) (VETECS.2011)*, PP. 1-5, May 2011.
- [19] Jim Zyren, "Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer," <https://www.element14.com/community/servlet/JiveServlet/downloadBody/13380-102-1-42319/3GPPEVOLUTIONWIP.pdf>, Jul 2007.
- [20] Anas, M. Dept. of Electron. Syst., Aalborg Univ., Aalborg Rosa, C.; Calabrese, F.D.; Pedersen, K.I.; Mogensen, P.E., "Combined Admission Control and Scheduling for QoS Differentiation in LTE", *IEEE Proceedings of 68th Vehicular Technology Conference (VETECS.2008)*, PP. 1-5, Sept 2008.
- [21] Delgado, O. ECE, Concordia Univ., Montreal, QC, Canada Jaumard, B., "Joint Admission Control and Resource Allocation with GoS and QoS in LTE Uplink", *IEEE Proceedings of 2010 GLOBECOM Workshops (GC Wkshps) (GLOCOMW.2010)*, PP. 829-833, Dec 2010.