

# 小型基地台回程網路資料流管理方法

## Traffic Management for Small Cell Backhaul Networks

黃貴笠 王俊傑 王慕良  
Kuei-Li Huang, Chun-Chieh Wang, Mu-Liang Wang

### 中文摘要

小型基地台(Small Cell Base Station)因大量佈建須透過回程網路(Backhaul)與局端閘道器(Gateway)相連，使用者的傳輸品質可能因回程網路的流量管理過於複雜，而無法得到品質的保障。可程式化網路是一種可以增加回程網路頻寬管理能力的�方法，透過軟體來調整網路繞送行為與機能，讓資料流可以更加動態即時地管理。然而，小型基地台與局端閘道器間透過通道(Tunnel)來通訊，一般可程式化網路無法識別資料流特性，無法做出正確的頻寬管理決定，亦或是需要解析通道，取得資料流資訊，耗費成本過高。本論文提出透過小型基地台協助可程式化網路識別資料流，以實現動態頻寬管理的方法。透過小型基地台的協助，可程式化網路的中控器可以在不需要透視通道封包內容的情況下即可識別資料流，並可依此實現動態頻寬管理等功能，並降低回程網路建置成本。

### Abstract

Small cell base stations in a massive deployment needs coupling with a backhaul network and edge gateway to connect back to core network. Users in such a massive deployment may perceive a degradation on quality of service. To this end, programmable networking, which features dynamic routing behavior adjustment, enables backhaul networks to manage data traffic in a more flexible way. However, communications between small cell base stations and edge gateways rely on a tunneling mechanism which avoid a normal programmable network from correctly distinguishing data traffic flows. This paper proposes a method which, by help of small cell base stations, enables a programmable network to identify data traffic flows without resolving the encapsulated (tunneled) data packets.

### 關鍵詞(Key Words)

頻寬管理 (Bandwidth Management ; BM)

小型基地台回程網路 (Small Cell Backhaul Network ; SCBN)

可程式化網路 ( Programmable Network ; PN )

### 1 · 前言

無線裝置與應用軟體廠商不斷推陳出新，使得使用者更加依賴行動網路使用網路影音與視訊、巨量資料的處理等，網路資料量傳輸在短短幾年間，以倍數成長；為了提供消費者更

寬廣的頻寬、更優質的網路傳輸品質，電信業者只能不停的尋找解決方案，以符合未來使用者頻寬需求。相較於佈建小型基地台 ( Small Cell ) 形成小型基地台網路系統，無線接取技術對於網路容量成長的作用是慢的，加上頻帶的取得牽扯層面廣，費工耗時，因此，未來小

型基地台將大量佈建，產業資金的投入以及後面所支持的標準之制訂，均朝向小型基地台網路系統的主軸發展。我們可以見到，2018年，Small Cell的佈建將是MIMO基地台佈建的將近八倍，以符合未來使用者頻寬需求。[1]

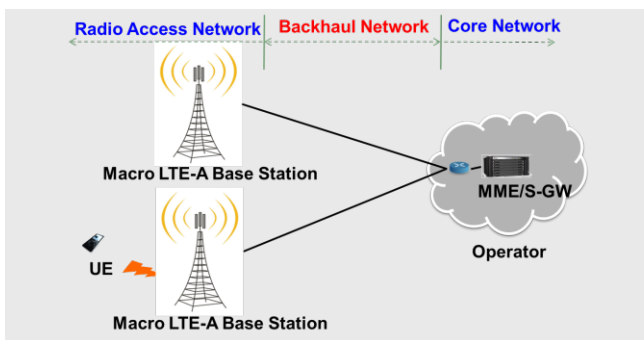


圖 1 傳統大型基地台佈建情境

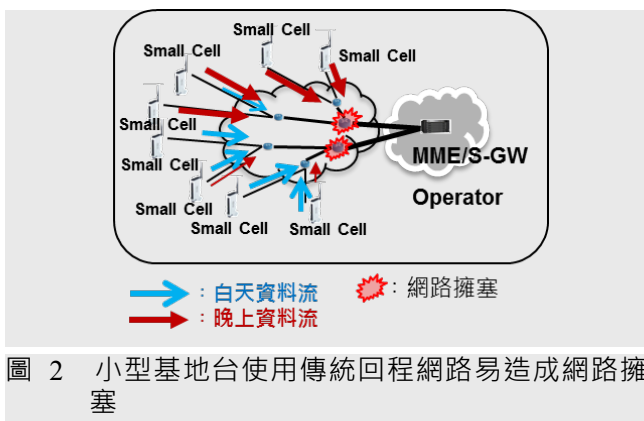


圖 2 小型基地台使用傳統回程網路易造成網路擁塞

如圖1所示，傳統3GPP LTE大型基地台佈建情境下，因為基地台數目不多，傳統回程網路較單純，多採用專線的方式將資訊回程至核心網路。也因此，3GPP透過DiffServ實現回程網路的頻寬管理機制，僅將資料流管理的功能只放在小型基地台以及服務閘道器，中間的交流器、路由器等，並沒有資料流管理的能力。然而如圖2所示，未來小型基地台大量佈建，資料流的變動性大，白天的資料流特性與晚上的資料流特性不相同，而回程網路中某些網路路由設備的路由處理效能不足，很有可能因流量集中到該路由設備，造成網路嚴重擁塞的問題。例如：晚上時，圖上半部的小型基地台使用者較多，資料流多從上半部的小型基地台繞送集中到上方最靠近行動管理單元/服務閘道器(Mobility Management Entity; MME/Serving Gateway; S-GW)的網路路由設備，形成網路擁

塞。如果中間的交換器、路由器沒有有足夠的能力來合作協同繞送封包，則此擁塞的現象無法改善，整體網路效能無法提升。為了讓中間的交換器、路由器有管理資料流的功能，本論文利用可程式化網路，提出一創新機制，透過小型基地台分擔可程式化網路控制器的工作，讓回程網路可以很容易的辨識資料流，達成所需要的頻寬管理需求。本機制的技術特性如下：讓可程式化網路控制器無須做複雜的資料流辨識，即可依照其頻寬管理參數與屬性做及時的回程網路調整，滿足3GPP所規範的頻寬管理要求；本機制無須支援GTP通道技術之路由器或交換器，就可辨識資料流，意即可辨識資料流之數據承載的QCI，並且可使用最大頻寬以及保證頻寬資訊做動態流量管理等功能，因此，本機制亦解決了DiffServ無法支援最大頻寬以及保證頻寬功能的問題。最後，本設計不用修改核網設備，是個可實現度很高的方法。

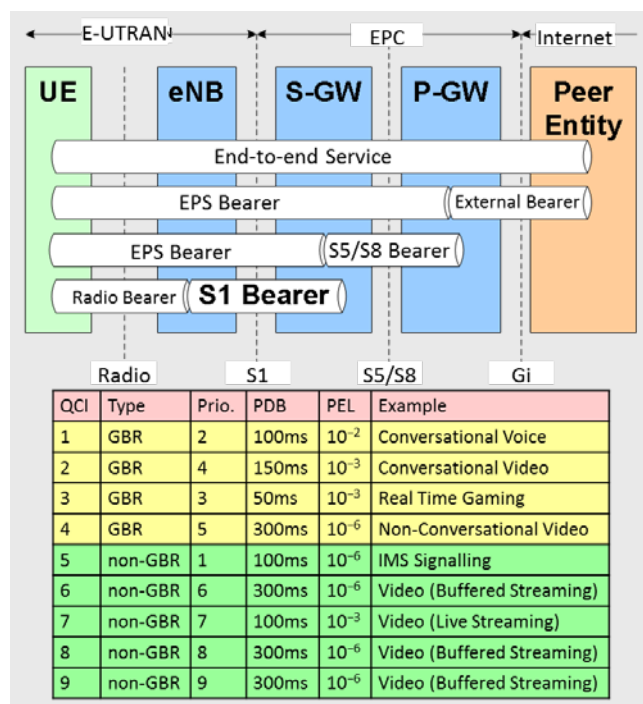


圖 3 3GPP QoS架構與網路傳輸品質控制類別

## 2. 相關背景知識與現有技術問題

### 2.1 3GPP 網路傳輸服務品質保證服務

為了在電信網路中提供服務品質保證服務，3GPP 提出了新的服務品質(Quality of

Service ; QoS) 概念[2]。如圖3所示，在LTE 電信網路的無線端(Radio)，採用流量區別，並且於架構上採用多重數據承載(Bearer)，根據不同的QCI(Quality Control Indicator)去決定各承載之傳輸先後順序。LTE網路環境下，數據承載的建立由行動管理單元控制；當數據承載建立過程中，MME將給予各個數據承載相對應的QCI值，此QCI值將有各自對應的QoS；而此QoS代表了EPS Bearer的傳輸品質保證，透過此QCI機制可以確保各數據承載符合3GPP所要求的數據承載QoS以及傳輸延遲[3]。

## 2.2 DiffServ

DSCP(Differentiated Services Code Point)，又稱DiffServ，是目前3GPP 回程網路的頻寬管理機制，運作方式如圖4所示。無線端的頻寬管理採用的是QCI機制，而要將資料往後送到回程網路時採用DiffServ機制，基地台會資料封裝成GTP-U[4]封包，並且在外層的封包標頭標記DSCP的代碼，做為資料流的識別。然而，未來大量小型基地台佈建時，回程網路不再單純，如圖2所示，使用者移動導致網路負載變動而且會隨時間以及使用者的頻寬需求而變化，白天的資料流與晚上資料流樣式以及出現的位置都不同，變動性大，管理複雜度增高很多，而且需要動態且即時的調整，難以做適當的頻寬管理，達到原有3GPP所制定的QoS標準。

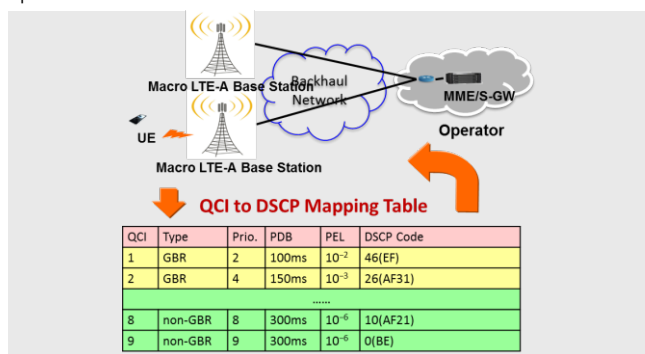


圖 4 3GPP DSCP機制

## 2.3 可程式化網路

如圖5所示，可程式化網路的設計，例如：軟體定義網路 (Software-Defined Network ; SDN[5])，由於具有中央控管的特性以及可以動

態即時調整網路繞送行為之功能，很適合用來做為新一代回程網路的架構。SDN 控制器 (SDN Controller)以中央控制的方式，重新規劃網路，控制網路流量，具備高度的流量管理應變能力，可實現高複雜度回程網路之頻寬管理的目的。SDN 控制器以軟體演算法方式，利用不同的傳輸路徑與控制底層流量方式，實現可程式化網路，達到動態頻寬管理的目的。

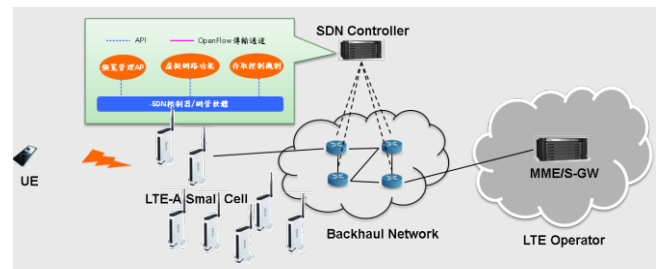


圖 5 可程式化網路示意圖

## 2.4 現有資料流管理技術問題

在回程網路越來越複雜的情況下，現有頻寬管理機制 (DiffServ) 將越來越難以滿足3GPP標準的要求，而且也回程網路的交換器以及路由器不一定支援DiffServ，加上，如圖6所示，DiffServ無法支援最大頻寬 (Maximum Bitrate ; MBR) 以及保證頻寬 (Guaranteed Bitrate ; GBR) 的機制，現行的頻寬管理機制可能無法因應變動性大的網路負載，提供適當的頻寬管理功能。

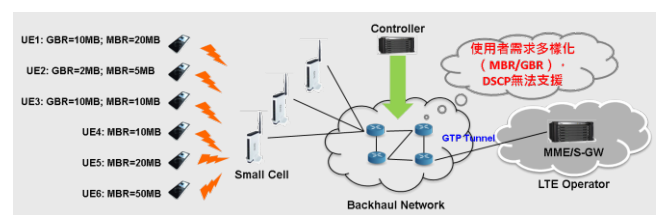


圖 6 現有回程網路的DSCP(DiffServ)功能無法支援MBR/GBR示意圖

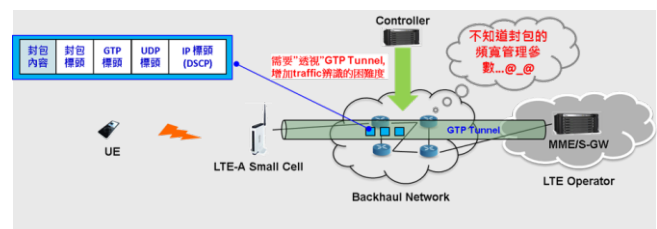


圖 7 現有回程網路需要複雜度高的分析GTP-U封包動作後方能做頻寬管理示意圖

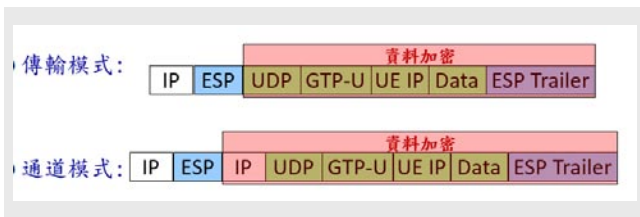


圖 8 3GPP現有加密傳輸模式之示意圖

另一方面，如圖7所示，由於回程網路並未參與小型基地台與核心網路的訊息交換，無法知道基地台與服務閘道器之間建立的頻寬管理參數與設定，如需要做頻寬管理，則回程網路需要能夠分析經過GTP加密的使用者封包，換言之，交換器以及路由器要能透視分析GTP通道(Tunnel)內的使用者封包，才能依照分析後所取得的資訊以處理不同的數據承載；交換器以及路由器要有深度封包分析(Deep Packet Inspection；DPI[6])的功能，所費成本必然高昂。最後，如圖8所示，目前的技術無法支援未受信任的(Untrusted)回程網路。3GPP規定未受信任的回程網路的傳輸，封包需要使用IPSec [7]加密，由於封包已加密，網路交換器以及路由器無法透過深度封包分析辨認IP層以上的封包資訊，如：Source/Destination Port Number (UDP)和TEID (GTP-U Header)。

## 2.4 相關文獻討論

以下就目前利用SDN來做資料流管理技術做文獻的探討，共有6篇相關文獻，茲探討如下。透過架構改善來增進資料流管理文獻有三，目前與Small Cell以及SDN相關的文獻仍很少，多著重在SDN與電信網路架構整合及新概念行動回程網路(Mobile Backhaul)與SDN的整合：文獻[8]中提出SDN與EPC整合的架構，將控制平面與繞送平面分離，資料流管理的部分為維持原EPC的設計，SDN需額外具備有分散式QoS執行(Distributed QoS Enforcement)的能力。文獻[9]中提出垂直轉發(Vertical Forwarding)和水平轉發(Horizontal Forwarding)的概念，其實也是重疊網路(Overlay)的概念，並探討各種可能需要垂直轉發和(或)水平轉發的架構，是一種新的資料流管理架構。文獻[10]利用SDN做行動回程網路以及核心網路的繞送資源整合與分配的概念架構，其中，也提到QoS

覺知之負載平衡(QoS-aware Load Balancing)與重新繞送(Re-routing)等可能的SDN應用機制。透過利用SDN架構提出資料流管理技術的文獻有三：文獻[11]提出一SDN資料流管理方法，透過深度封包分析，解析封包的特性後，利用SDN做適應性動態調整資料流的繞送路徑；文獻[12]提出SDN架構下電信網路的故障轉移(Failover)方法，在網路路由設備，如：LTE網路中的服務閘道器損壞時，SDN控制器可以即時將資料流引導到另一服務閘道器；文獻[13]在無線環境下利用換手以及資料流管理達到負載平衡的目的，透過SDN，除了可以動態調整繞送路由外，也聚合不同的資料流，加強負載平衡的效果。

## 3. 基於SDN的資料流管理方法

### 3.1 系統架構與基本流程

基本流程的概念如圖9所示，首先，小型基地台在使用者裝置(User Equipment; UE)建立數據承載時就會為此數據承載設計封包標記，而此標記資訊連同最大頻寬以及保證頻寬資訊以及數據承載的所有的QoS資訊，小型基地台都會通知SDN控制器，SDN控制器依這些資訊設定路由器或交換器的繞送行為。因此，在使用者裝置送封包到小型基地台後，回程網路中的路由器或交換器只要認得封包上的標記就可以知道此封包的資料流特性，也就知道如何處理。在可程式化的回程網路下，有數據承載的所有的QoS資訊，可以支援動態流量管理。封包可接受動態流量管理的範圍從小基地台將GTP-U封包標記開始，直到終點服務閘道器為止。

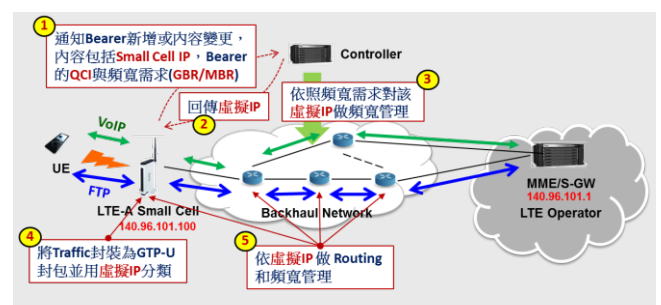


圖 9 基於SDN的資料流管理方法基本流程示意圖

表1以及表2分別展示圖9中SDN控制器所維護GTP-U封包分類封裝資訊以及小型基地台所維護GTP-U封包分類封裝資訊。其中，上行以及下行的封包格式如圖10所示，以圖9中的VoIP資料流為例，根據表2，資料流的TEID是7802、對應到的虛擬IP為192.168.101.2，因此，上行以及下行封包在GTP-U的標頭部分的TEID就都是7802，而在上行封包的來源IP位址則是虛擬IP，192.168.101.2，目的地IP位址為服務閘道器的IP位址；下行封包的來源IP位址為服務閘道器的IP位址，而目的地IP位址則是虛擬IP，192.168.101.2。

表 1 圖9中SDN控制器所維護GTP-U封包分類封裝資訊

Controller所維護GTP-U封包分類封裝資訊						
QCI	MBR DL	MBR UL	GBR DL	GBR UL	虛擬IP	Small Cell IP
1	20 Mbps	2 Mbps	1 Mbps	1 Mbps	192.168.101.2	140.96.101.100
5	20 Mbps	2 Mbps	-	-	192.168.101.1	140.96.101.100

表 2 圖9中小型基地台所維護GTP-U封包分類封裝資訊

Small Cell所維護GTP-U封包分類封裝資訊						
TEID	QCI	MBR DL	MBR UL	GBR DL	GBR UL	虛擬IP
7802	1	20 Mbps	2 Mbps	1 Mbps	1 Mbps	192.168.101.2
5601	5	20 Mbps	2 Mbps	-	-	192.168.101.1

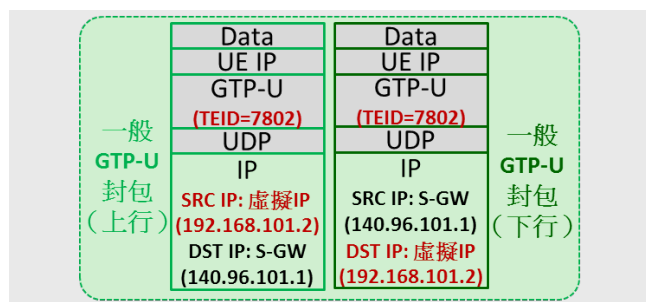


圖 10 上行、下行封包格式示意圖

本論文所提出之回程網路頻寬管理方法的系統架構如圖11所示，無線資源管理(Radio Resource Management；RRM)模組中內的數據承載管理器(Bearer Manager)負責管理數據承載與虛擬IP之間的連結關係以及負責趨動Bearer Information Notification訊息流程以通知SDN控制器。而SDN控制器中的數據承載管理器則負責維護所有的數據承載QoS資訊，包

括：QCI、MBR、GBR等，以及透過SDN控制器中的資料流管理器來設定路由器或交換器內的資料流繞送表(Flow Table)，以達到所預期的繞送行為。

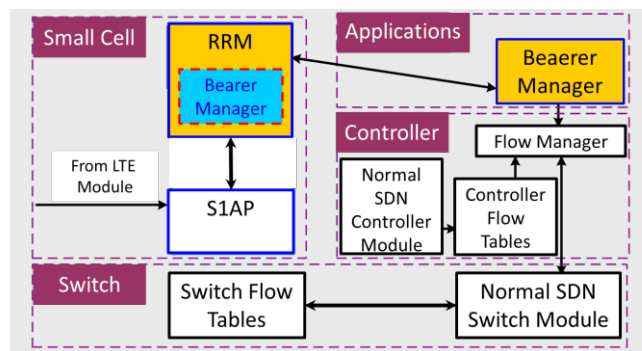


圖 11 系統架構與功能模組

### 3.2細部流程

頻寬管理資訊通報流程如圖12所示，每次當有新的數據承載被建立或變更QoS時就會執行此流程。其步驟如下：

- Step 1. 使用者裝置連上小型基地台並建立數據承載
- Step 2. 小型基地台取得數據承載的QCI和GBR/MBR資訊
- Step 3. 小型基地台提供小型基地台IP位址，其數據承載的QCI與GBR/MBR資訊給SDN控制器
- Step 4. SDN控制器指定一個虛擬IP (192.168.101.3)給該數據承載
- Step 5. 回報此數據承載的GTP-U Transport Layer Address為虛擬IP (192.168.101.3)
- Step 6. SDN控制器依據數據承載的QCI、虛擬IP與GBR/MBR資訊設定路由器或交換器

在頻寬管理資訊通報流程執行完畢之後，SDN控制器上數據承載QoS資訊以及路由器或交換器上的資料流繞送表設定如表4的所示。假設使用者裝置建立了一條連線，在小型基地台與服務閘道器之間也會因此建設一條通道，其TEID(Tunnel Endpoint ID)為156，QCI為4，詳細QoS資訊請見表3。路由器或交換器A、B上的資料流繞送表設定原則上是大同小異的，會有一條Flow Entry是依照上下行看封包的

來源或是目的地IP位址，判斷往哪一個hop的埠送，送出之前會做Enqueue的頻寬管理動作，以符合流量限制。

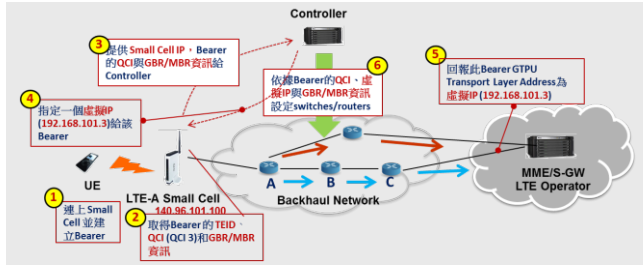


圖 12 頻寬管理資訊通報流程

表 3 圖12中SDN控制器的資訊記錄表

TEID	QCI	MBR DL	MBR UL	GBR DL	GBR UL	虛擬IP
156	4	20 Mbps	2 Mbps	2 Mbps	1 Mbps	192.168.101.3

當資料封包做上行繞送的時候，其繞送行為如圖13所示，其步驟如下：

- Step 1. 使用者裝置送封包至小型基地台
- Step 2. 小型基地台將封包封裝成GTP-U封包，並依數據承載的 TEID指定 GTP-U的來源IP位址(Source IP)
- Step 3. 交換器A/B/C依來源IP位址繞送封包

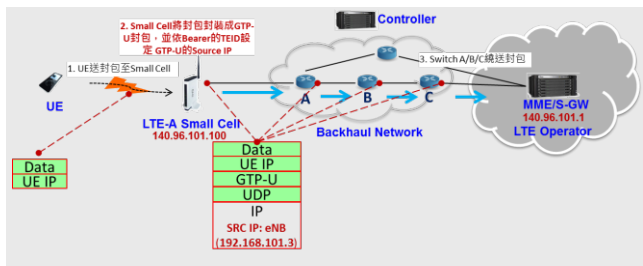


圖 13 封包處理及繞送流程 (上行)

當資料封包做上行繞送其間，交換器A/B/C的資料流繞送表如表4所示。

表 4 圖13中交換器A/B/C的資料流繞送表

	Source IP Addr	Action (s)
A	192.168.101.3	Enqueue = port_to_B:queue01
B	192.168.101.3	Enqueue = port_to_C:queue01
C	192.168.101.3	Enqueue = port_to_S-GW:queue01

當資料封包做下行繞送的時候，其繞送行為如圖14所示，其步驟如下：

- Step 1. 服務閘道器將資料流封裝成GTP-U封包，來源IP位址為其相對應的虛擬IP位址
- Step 2. 交換器A/B/C依虛擬IP位址繞送封包

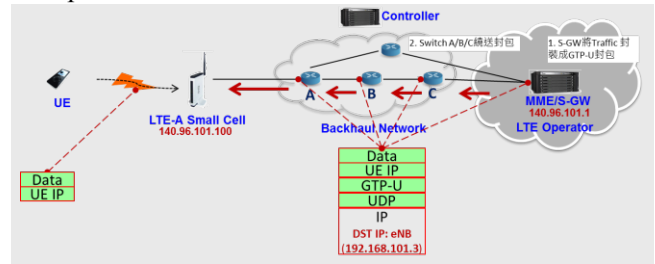


圖 14 封包處理及繞送流程 (下行)

當資料封包做下行繞送其間，交換器A/B/C的資料流繞送表如表5所示。

表 5 圖14中交換器A/B/C的資料流繞送表

	DST IP Addr	Action (s)
A	192.168.101.3	Enqueue = port_to_SC:queue01
B	192.168.101.3	Enqueue = port_to_A:queue01
C	192.168.101.3	Enqueue = port_to_B:queue01

依照3GPP的標準流程，當使用者裝置要開始傳輸前，服務閘道器會啟動數據承載建立的流程，以E-RAB SETUP REQUEST 訊息通知該使用者裝置的服務小型基地台(Serving Small Cell)，當E-RAB SETUP REQUEST送到服務小型基地台時，該小型基地台會透過Bearer Information Notification訊息通知SDN控制器，並取得所建立之數據承載的TEID以及虛擬IP。在數據承載建立流程完畢之後，該數據承載在SDN控制器設定完其下的交換器以及路由器後，即可透過小型基地台與服務閘道器之間通道傳送資料。

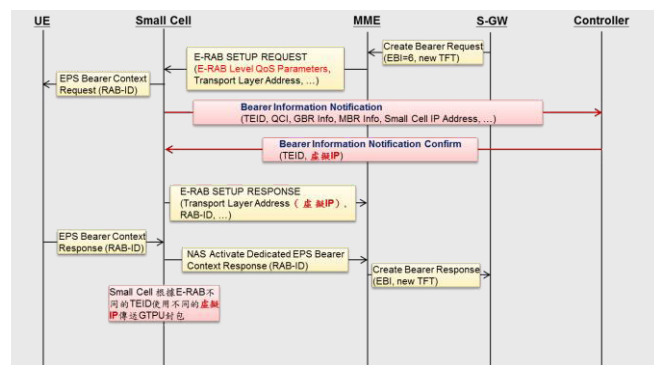


圖 15 Bearer Information Notification流程

### 3.3 資料流負載平衡

由於從小型基地台將GTP-U封包的來源IP位址標為一特殊的虛擬IP位址後，此封包就可以在回程網路中動態接受頻寬管理，其間，回程網路可以利用QCI、MBR、GBR等資訊來做動態的頻寬管理，如圖16所示，UE1的數據承載相對應的TEID是133而UE2的數據承載相對應的TEID是156，由於A-B-C繞送路徑的流量過大，因此可以將UE1的流量改由另一條A-D的路徑繞送。

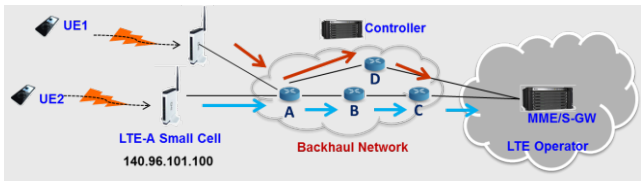


圖 16 Bearer Information Notification流程

表 6 圖16中SDN控制器的資料流繞送表

Switch	Source IP Addr	Action (s)
A	192.168.101.3	Enqueue = port_to_B:queue01
	192.168.101.6	Enqueue = port_to_D:queue01
B	192.168.101.3	Enqueue = port_to_C:queue01
C	192.168.101.3	Enqueue = port_to_S-GW:queue01
D	192.168.101.6	

表 7 圖16中SDN控制器的資料流繞送表

TEID	QCI	MBR DL	MBR UL	GBR DL	GBR UL	Source IP Addr.
156	4	9 Mbps	2 Mbps	2 Mbps	1 Mbps	192.168.101.3
133	3	2Mbps	2 Mbps	1 Mbps	1 Mbps	192.168.101.6

### 3.4 實現資料流分類用的虛擬IP位址配置

有兩種實現資料流分類用的虛擬IP位址配置的方法。

方法1：Centralized IP 位址配置，由SDN控制器統籌配置一IP位址區間給各小型基地台，由小型基地台自行分配 IP 位址給數據承載，例如：Small Cell 01，其IP位址是140.96.101.100，分配到了192.168.\*.\*的虛擬IP位址區段，Small Cell 02其IP位址是140.96.101.200，分配到了192.101.200.\*的虛擬IP位址區段。

方法2：Distributed IP 位址配置，由小型基地台依照小型基地台的IP位址計算出一IP位址區間，例如：Small Cell 01，其IP位址是：

140.96.101.100，計算出的IP位址區間為101.100.\*.\*、Small Cell 02，其IP位址是140.96.101.200，計算出的IP位址區間為101.200.\*.\*。

## 4 . 效能比較與討論

如表8所示，相較於其他的方法，我們所提出的方法可以支援OpenFlow 1.0以上的版本，除了DSCP的方法也可以支援OpenFlow 1.0以上的版本之外，LTEHaul、CloudEPC、CellSDN以及ONF所提出的方法均需要OpenFlow 1.3以上的版本才能支援；在交換器/路由器是否需要DPI功能的方面，我們所提出的方法不需要DPI的支援即可達到「利用GBR/MBR提升頻寬管理效能」的目的，而DSCP以及LTEHaul在設計上不支援交換器/路由器的DPI功能，也因此無法利用GBR/MBR提升頻寬管理效能。在CloudEPC、CellSDN以及ONF所提出的方法的部分，則是需要在「交換器/路由器支援DPI功能」的條件下方能達到「利用GBR/MBR提升頻寬管理效能」的目的，此外，這些方法需要用到IPSec的環境下，例如Untrusted Backhaul Network 環境，就無法透過DPI的方式，達到「利用GBR/MBR提升頻寬管理效能」的目的。反之，我們的方法對IPSec封包仍可以實現「利用GBR/MBR提升頻寬管理效能」的目的。

表 8 所提出的方法與各種方法的比較表

	支援的 OpenFlow 版本	交換器 是否需要 DPI功能	能夠利用 GBR/MBR 提升頻寬管理 效能	支援 Untrusted Backhaul Network (支援IPSec)
DSCP [2]	1.0+	No	No	No
LTEHaul [8]	1.3+	No	No	Yes
CloudEPC [6]	1.3+	Yes	Yes	No
CellSDN [6]	1.3+	Yes	Yes	No
ONF[6]	1.3+	Yes	Yes	No
Proposed Solution	1.0+	No (成本低)	Yes	Yes

## 5 . 結論

本論文提出透過小型基地台協助可程式化網路識別資料流，以實現動態頻寬管理的方法

法。透過小型基地台回報數據承載的相關資訊，可程式化網路的中控器可以在不需要透視通道封包內容的情況下即可識別資料流，並可依此實現動態頻寬管理等功能，並降低回程網路建置成本。

## 參考文獻

- [1] Cisco VNI 2015, [http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/service-provider/visual-networking-index-vni/index.html?CAMPAIGN=Mobi\\_1#~mobile-forecast](http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/service-provider/visual-networking-index-vni/index.html?CAMPAIGN=Mobi_1#~mobile-forecast)
- [2] 3GPP, TS 23.107: "Quality of Service (QoS) concept and architecture," Release 8.
- [3] 3GPP, TS 25.912, "Feasibility study for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)," Release 8.
- [4] 3GPP, TS 29.274, "3GPP Evolved Packet System (EPS); Evolved General Packet Radio Service (GPRS) Tunnelling Protocol for Control plane (GTPv2-C); Stage 3," Release 8.
- [5] ONF, <https://www.opennetworking.org>
- [6] P.-C. Lin, Y.-D. Lin, T.-H. Lee, and Y.-C. Lai, "Using string matching for deep packet inspection," *Computer*, vol. 41, no. 4, pp. 23-28, April 2008.
- [7] N. Doraswamy and D. Harkins. *IPSec: The New Security Standard/or the Internet, Intranets, and Virtual Private Networks*. Prentice Hall PTR, second edition, March 2003.
- [8] L. E. Li, Z. M. Mao and J. Rexford, "Toward software-defined cellular networks", *Proc. Eur. Workshop Software Defined Network*, pp. 7-12, 2012
- [9] G. Hampel, M. Steiner, and T. Bu, "Applying software-defined networking to the telecom domain," in *Proceedings IEEE INFOCOM*, 2013, pp. 3339-3344.
- [10] D. Bojic, "Advanced Wireless and Optical

Technologies for Small-Cell Mobile Backhaul with Dynamic Software-Defined Management", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no. 9, pp. 86-93, 2013.

- [11] L. Qian, B. Wu, R. Zhang, W. Zhang, and M. Luo, "Characterization of 3g data-plane traffic and application towards centralized control and management for software defined networking," in *IEEE Big Data*, 2013.
- [12] S. B. H. Said, M. R. Sama, K. Guillouard, L. Suci, G. Simon, X. Lagrange, and J.-M. Bonnin, "New control plane in 3GPP LTE/EPC architecture for on-demand connectivity service," in *IEEE 2nd International Conference on Cloud Networking (CloudNet)*, Nov. 2013, pp. 205-209.
- [13] S. Namal, I. Ahmad, A. Gurtov and M. Ylianttila, "SDN based inter-technology load balancing leveraged by flow admission control", *Proc. IEEE SDN4FNS*, pp. 1-5, 2013

## 作者簡介

### 黃貴笠



現任工研院資通所先進通訊系統與標準發展技術部工程師。國立交通大學資訊科學與工程博士。專長於網際網路通信協定與網路行為數學分析。  
E-mail: GaryHuang@itri.org.tw

### 王俊傑



現任工研院資通所網路通訊服務技術部技術經理。國立交通大學資訊工程碩士。  
E-mail: jjwang@itri.org.tw

### 王慕良



現任工研院資通所行動網路系統技術部工程師。專長於WiMAX、LTE核心網路通訊協定、行動應用服務。  
E-mail: wml@itri.org.tw