

# 無接縫家庭閘道器之 MAC 層研究

陳毓璋 夏傑興 楊陳俊 陳偉銘  
樹德科技大學 資訊工程系

[sclass@ms1.hinet.net](mailto:sclass@ms1.hinet.net) [s95639110@mail.student.stu.edu.tw](mailto:s95639110@mail.student.stu.edu.tw) [s96639106@mail.student.stu.edu.tw](mailto:s96639106@mail.student.stu.edu.tw)  
[s97639104@mail.student.stu.edu.tw](mailto:s97639104@mail.student.stu.edu.tw)

## 摘要

隨著網路的蓬勃發展，許多不同的網路型態紛紛問世。而在家庭網路中，最常見傳輸技術以 Ethernet、電話線(HomePNA)、電源線(HomePlug)、Cable 與目前眾所皆知的無線區域網路 IEEE802.11a/b/g/n 等，並透過家用閘道器(Residential Gateway)管理不同的網路。網路的發展，不僅帶給人們便利。頻寬將不在受到限制，傳輸範圍會更遠更廣，同時傳輸速度也會更快。對於 QoS (Quality of Service)的迫切要求，也就日益增大。隨著各種的網路逐漸成熟，異質網路的溝通將是無法避免的，再者目前大多數網路都可支援到 Ethernet，但 Ethernet 中的 MAC 格式並無定義任何關於 QoS 訊息之欄位，使得傳輸的資料毫無 QoS 保證可言。而 QoS 將成為未來必須討論的問題，像是在通訊過程中通話的品質、網路資料傳輸的正確性、傳輸速度、甚至於第二層與第三層的 QoS 保證，將是未來必須考慮的重要問題。本文將整合 Wi-Fi、WiMAX 以及 DOCSIS 於家庭異質網路中，以改善 Ethernet 於第二層所缺乏之 QoS 保證以及目前第三層繞送 QoS 保證之問題。為了改善上述問題，本文提出 Seamless Residential Gateway (SRG)架構，並於架構中加入本文所提出的封包整合機制。讓使用者只需使用 SRG 則可提供異質網路間 Format Mapping 與 QoS Mapping，來支援 QoS 傳輸服務品質保證，讓使用者擁有良好的延展性網路，以改善目前家庭異質網路的缺點。

**關鍵詞：**Wi-Fi、WiMAX、DOCSIS、異質網路、QoS。

## Abstract

With the network technology spread rapidly, there are many different network topology has been development. Wireless and broadband network are all-pervasive as well by users increase. For Home Networks, Ethernet, HomePNA, HomePlug, Cable Network, and IEEE 802.11 are the most popular communication techniques. The development of the Internet brings people convenience.

Bandwidth will no longer be a problem; on the other hand the QoS requirement is urgent.

The communication protocol over Heterogeneous Networks is necessary. Most Heterogeneous Networks is bound by Ethernet. But the package format of Ethernet protocol has no field to keep the QoS messages. The communication quality, data transfer accuracy, transmission bandwidth are the important issues must be considered in future.

This paper will integrate WiFi, WiMAX and DOCSIS into the family heterogeneous networks. It also provide an Seamless Residential Gateway (SRG) structure which can solve the problem of network QoS guarantee on the OSI level 2 and level 3. SRG could provide Format Mapping and QoS transfer guarantees on heterogeneous networks. Finally, we will show the simulation results to prove the high efficiency of SRG structure.

**Keywords:** Wi-Fi, WiMAX, DOCSIS, Heterogeneous Network, QoS.

## 1. 前言

以目前網路技術的進步，逐漸有許多不同類型的網路陸續推出，但是以目前的技術大部分是以單一網路做存取及傳輸。且在不同的網路環境要傳輸資料到另一種網路下，可能需要透過層層關卡才能傳輸到目的端，如圖 1 所示：在 Cable 網路下的行動裝置(Mobile Node, MN)欲傳輸資料給 WiMAX 網路下的 MN，可能需要透過層層處理才能抵達。在傳輸的過程中會受到許多限制，導致傳輸延遲與傳輸品質相繼變差。假使不需再透過層層處理，而直接傳輸至目的端，則可減少許多繁雜的程序，進而提升傳輸效率。再者目前大多數網路都可支援到 Ethernet，但是由於 Ethernet 的 MAC 格式當中並無定義任何關於 QoS 訊息之欄位，使得傳輸資料毫無 QoS 保證可言。為了克服這樣的問題，我們必須考慮在異質網路之間要如何進行溝通。

通常一般的研究中，是將第二層(Data-Link Layer)考慮成理想狀態，而造成異質網路的溝

通於第二層中沒有明確的整合，像是每種網路的 MAC Format 轉換與 QoS 之間的對應。為了提升網路傳輸品質，且達到異質網路間彼此是相互溝通，讓傳輸具有 QoS 保證，是目前我們必須重視的問題。

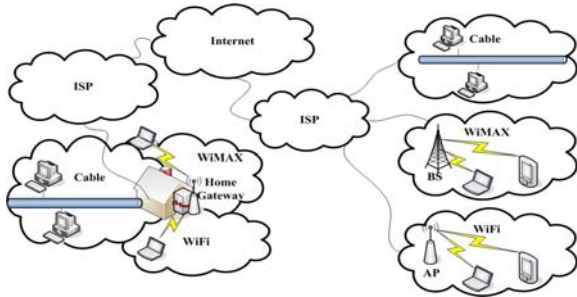


圖 1 網路傳輸架構圖

隨著下一個世代的家庭網路環境，將會結合各種不同性質的網路傳輸技術，而為了有效管理居家網路，便誕生了家用閘道器 (Residential Gateway)[10][11]，讓家用閘道器成為新一代居家管理者。由於目前家用閘道器主要只針對於支援網路設備進行控管，並整合居家中的多種異質網路環境[2][12]與通訊協定，但使用者透過家用閘道器也只能限於同種網路下運作，並無法達到異質網路間溝通與交換。再者目前大多數網路都可支援到 Ethernet，但 Ethernet 的 MAC 格式當中並無定義任何關於 QoS 訊息之欄位，如圖 2 所示。使得傳輸資料毫無 QoS 保證可言。基於上述因素，本篇將提出無縫居家閘道器 (Seamless Residential Gateway) 並加入本文所提出的封包整合機制。

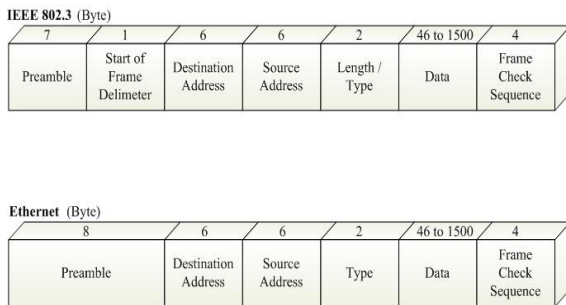


圖 2 IEEE 802.3 與 Ethernet MAC Format

## 2. 相關研究及背景

本章節將簡單的介紹 SRG 所使用到的三種網路 DOCSIS、IEEE 802.11、IEEE 802.16 並加以整合。以下將簡單的介紹這三種網路的 MAC Format。

### 2.1 DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification)

DOCSIS[1][8][12]是由 CableLabs 與一些公司所一起開發的國際標準。DOCSIS 於 Cable System 上定義通訊與操作支援介面需求。並利用有線電視網路在光纖同軸混合 (Hybrid Fiber/Coax, HFC) 架構上提供網際網路接取服務。最初於 1997 年時提出 DOCSIS 1.0 規格，隨後於 1999 年升級到 1.1 版本，並加入具有 QoS 的功能。到 2.0 時，其主要提升傳輸速率與支援 IPv6 等功能。而目前最新的規格為 3.0 的版本。DOCSIS 主要分為兩大標準體系，一者為北美的 DOCSIS，另一者為歐洲國家所修改的 DOCSIS，簡稱“EuroDOCSIS”。這兩種標準之間的差異在於電視頻帶寬度 (TV Channel Bandwidths)。歐洲的有線頻帶是遵守 PAL (Phase Alternating Line) 標準，可傳輸頻寬為 8 MHz。而北美的有線頻帶則是遵守 NTSC (National Television Systems Committee) 系統的標準，可傳輸頻寬為 6 MHz。

DOCSIS 主要的變化可在 OSI 的實體層與 MAC 層明顯比較出來。在實體層方面，DOCSIS 1.0/1.1 規範說明 Channel Width 在 200 kHz 與 3.2 MHz 之間。於 2.0 規範則說明 Channel Width 在 6.4 MHz。而在調變 (Modulation) 方面，DOCSIS 1.0/1.1 規範指出下行的調變使用 64-level QAM 或 256-level QAM，上行的調變則採用 QPSK 或 16-level QAM。於 DOCSIS 2.0 規範則指出上行可以使用 32-QAM、64-QAM 及 128-QAM。至於 MAC 層方面，DOCSIS 1.0/1.1 規範中使採用 TDMA 模式。於 DOCSIS 2.0 規範中則是採用 TDMA 與 S-CDMA 這兩種模式。並於 DOCSIS 1.1 版本後，在 MAC 層中加入 QoS 功能，提供相關應用支援，並依照不同的服務給予不同的優先權等級。DOCSIS 3.0 主要的特色為 IPV6 與通道綁定 (Channel Bonding) 上的管理。雖然在 DOCSIS 1.0/1.1 的上行速率限制於 10.24 Mbit/s，但其他的版本則是提升至每個頻道能夠有 30.72 Mbit/s 的上行吞吐量 (throughput)。下行方面，所有版本至少支援每個頻道能夠有 42.88 Mbit/s 的下行吞吐量。圖 3 為 DOCSIS MAC Format。

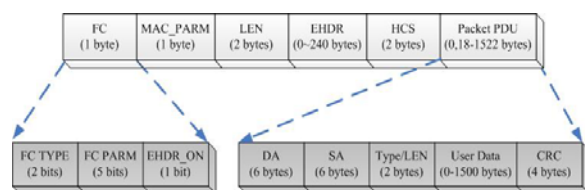


圖 3 DOCSIS MAC Format

## 2.2 IEEE 802.11

IEEE 802.11 無線區域網路為近年來相當熱門的網路傳輸技術。最早的 802.11 的規格是由美國國際電機電子學會 (IEEE) 於 1997 年制定完成，可支援 2Mbps 的資料速率，隨後 802.11b 的出現，將 2Mbps 的資料速率提升至 11Mbps。至 802.11a 時傳輸的資料速率則提升至 54Mbps。而實體層方面，802.11b 的頻段範圍主要工作於 2.4 GHz 頻段，802.11a 的頻段範圍則是使用 5GHz 的頻段。在媒介存取層方面，定義適用於所有無線網路系統的傳輸規格，且為了支援 QoS 需求應用，IEEE 針對媒介存取層新增了 802.11e[3][5] 協定。圖 4 為 IEEE 802.11e MAC Format。

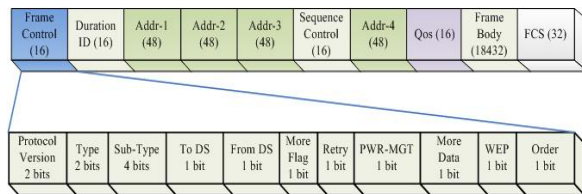


圖 4 802.11e MAC Format

在 IEEE 802.11 無線區域網路運作中，主要包含四種主要的元件，其介紹如以下所述：

**工作站(Station):**為具有無線網路介面的裝置，可以連線到無線網路，如筆記型電腦、智慧型手機等，統稱為工作站。

**基地台(Access Point, AP):**具有無線與有線網路的橋接功能的裝置，在網路上使用的訊框(frame)需透過轉換才能傳送至不同類型的網路環境。

**無線媒介(Wireless Medium):**在 802.11 網路下，工作站之間的傳遞，主要透過無線媒介於實體層(Physical layer)、或是 MAC 層(MAC layer)之間進行傳遞訊框的動作。802.11 最初於實體層定義了兩種射頻(Radio Frequency)方式和一種紅外線(infrared)傳輸的方式。

**傳輸系統(Distribution System):**由幾部基地台所構成的較大的網路區域，彼此之間相互溝通，並隨時掌握工作站的動向。而傳輸系統主要是將訊框傳輸至目的端。

## 2.3. IEEE 802.16

IEEE 802.16[3][4][10]為近年來較為熱門的無線傳輸技術之一，主要是為了解決最後一哩的問題，所發展出的無線傳輸技術，其優點為傳輸距離可高達 48 公里、傳輸頻寬比起現

有的 3G 或 3.5G 系列來得高，且又定義了較為完整的 QoS 機制。實體層方面，使用頻段範圍主要工作於 2~66 GHz 頻段，根據所使用的頻帶高低可區分為視距(Line-Of-Sight, LOS)與非視距(NLOS)兩種。於 LOS 範圍內則使用 2~11 GHz 頻帶，而 NLOS 範圍內則使用 10~66 GHz 頻帶。而在 MAC 層中分別定義了三個子層，分別為 Service-Specific Convergence Sublayer (CS)、MAC Common Part Sublayer (CPS)以及 Security Sublayer。CS 子層主要負責接收這些外部網路資料，並將這些資料至 SDU (Service Data Units)轉換或映射，在對這些 SDU 進行分類，然後在交付給 CPS 子層。而 CPS 子層主要實現 MAC 層的核心功能，這些功能包含頻寬分配、QoS 支援、系統存取、連結的建立與維護等。最後 Security Sublayer，則是提供封包加密與密鑰管理等相關機制。

IEEE 802.16d[9]為固定無線存取的標準，而 IEEE 802.16e [6][7]則是為了支援移動特性而所開發出的標準。圖 5 為 IEEE 802.16d MAC Format 與 IEEE 802.16e MAC Format。這兩種傳輸協定主要由 Base Station (BS)及 Subscriber Station (SS)這兩個元件所組成，其傳輸的方式可分成 Point-to-Multipoint (PMP)與 Mesh 這兩種。



圖 5 802.16d MAC Format 與 802.16e MAC Format

## 3. 研究方法

圖 6 為本文中所提出之 Seamless Residential Gateway (SRG)架構。由於 Docsis 與 WiMAX 這兩種網路分別由不同的 ISP 服務，將由各自 ISP 分配一個 IP，故在 SRG 中將會有兩個 IP，因此，SRG 將面臨如何有效管理 IP。由於在 SRG 架構中 DOCSIS、Wi-Fi 和 WiMAX 的封包格式不同，故在架構中加入封包格式之轉換機制。進行這三種網路封包格式的整合時，會考慮 QoS 欄位的延伸性，並結合 DOCSIS 3.0、Wi-Fi(802.11e)與 WiMAX 之 QoS 對應，讓使用者在傳輸時其 QoS 的傳輸等級也能彼此對應，以提供使用者能擁有更好的傳輸品質保證，其 Protocol Stack 如圖 7 所示。



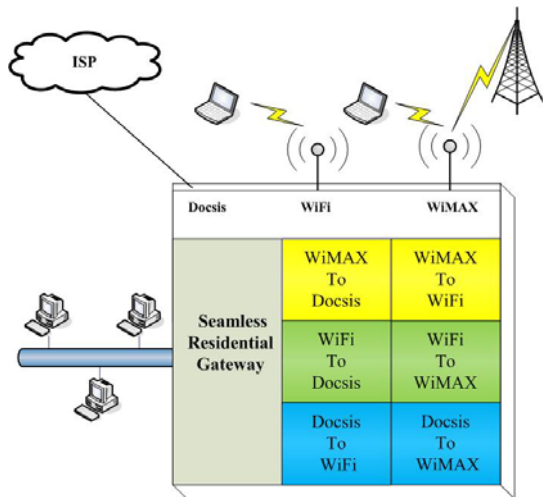


圖 6 Seamless Residential Gateway 架構圖

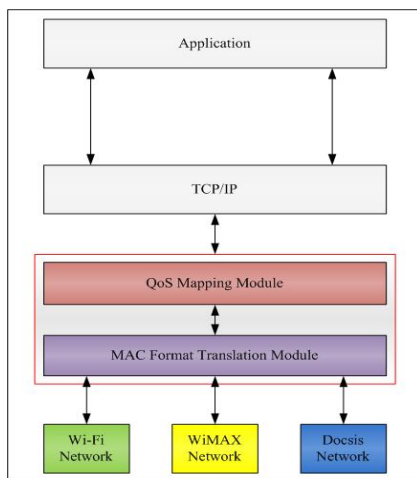


圖 7 Protocol Stack

由於目前大多數網路都可支援到 Ethernet，但 Ethernet 的 MAC 格式當中並無定義任何關於 QoS 訊息之欄位，使得傳輸資料毫無 QoS 保證可言。當使用者在使用網路進行封包傳輸時，則傳輸資料需不斷地繞送(Routing)直到目的端接收為止，這段期間將面臨到傳輸延遲與無法保證傳輸品質。為了改善上述之問題，讓使用者不管使用哪種網路只需透過 SRG 傳輸，藉由 SRG 有效管理 QoS 傳輸品質，並達到延伸 QoS 的保證，而使封包傳輸過程中有效的利用頻寬，以及降低封包遺失或延遲狀況產生，進而提升網路傳輸效率降低網路建置成本。

### 3.1 IEEE 802.11

主要針對各種網路中的 Type 欄位之間的對應。在每種網路中 Type 及 Subtype 欄位分別描述數種 Frame 的功能，當 Wi-Fi MAC 格式中，若要傳輸資料時，為了使轉換後 DOCSIS

MAC 格式能夠識別其傳輸類型，其 Frame Control 欄位中的 Type 欄位與 Sub-Type 欄位分別給予相對應的值，以便於 FC 欄位可以識別其傳輸類型，表 1、表 2、表 3 互為三種網路的 Type 欄位對應表。

表 1 WiFi 欄位對應表

802.11e		
Type	Sub-Type	描述
00	0110	Header 型態辨識
10	0000	資料不做任何變動
11	0011	頻寬的管理
11	0001	資料封裝
11	0010	頻寬的要求
11	0000	資料分割

表 2 WiMAX 欄位對應表

802.16d/e		
HT	Type	描述
0	N/A	Header 型態辨識
0	000000	一般的 Payload
0	000001	Grant Management SubHeader
0	000010	Packing SubHeader
0	000011	Grant Management SubHeader 及 Packing SubHeader
0	000100	Fragmentation SubHeader

圖 8 為 Wi-Fi MAC 轉換成 DOCSIS MAC 格式。在目的位址(DA)與來源位址(SA)的對應，則需要依照 To DS 欄位與 From DS 欄位來決定。Wi-Fi 中的目的位址與來源位址。藉此對應至 DOCSIS 中 Packet PDU 欄位的 DA 欄位與 SA 欄位。DOCSIS 雖於 EHDR 欄位中定義傳輸優先權之相關欄位，故 Wi-Fi MAC 轉換至 DOCSIS MAC，其 QoS 欄位則對應至 DOCSIS 欄位中的 EHDR 欄位，藉以維持提供 QoS 傳輸之服務。

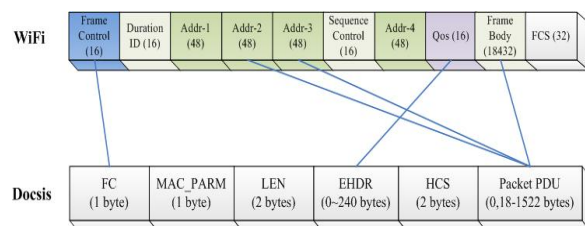


圖 8 WiFi MAC 對應 DOCSIS MAC

圖 9 為 Wi-Fi MAC 轉換成 WiMAX MAC 格式，由於 802.16 d/e MAC 格式中，並無定義來源位址與目的位址，為了讓 Wi-Fi 封包經過轉換後，仍然可以得知其來源位址與目的位址，將透過 802.16 d/e MAC 格式中的 Payload 欄位去制定 SA 與 DA，藉此對應 Wi-Fi 中的目的位址與來源位址。

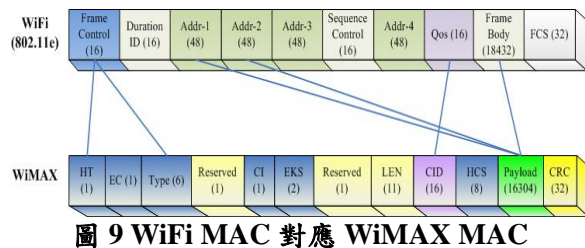


圖 9 WiFi MAC 對應 WiMAX MAC

圖 10 為 WiMAX MAC 轉換成 DOCSIS MAC 格式，由於 802.16 d/e MAC 格式中，並無定義來源位址與目的位址，為了讓 WiMAX 封包經過轉換後，仍然可以得知其來源位址與目的位址，將透過 802.16 d/e MAC 格式中的 Payload 欄位制定出來源位址與目的位址，藉此對應 DOCSIS 中的 DA 欄位與 SA 欄位。為了提供 QoS 相關服務，CID 欄位則對應至 DOCSIS 欄位中的 EHDR 欄位，藉以維持提供 QoS 傳輸之服務。

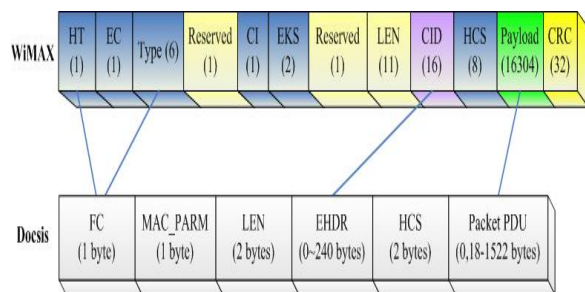


圖 10 WiMAX MAC 對應 DOCSIS MAC

表 3 DOCSIS 欄位對應表

DOCSIS 3.0		
FC Type	FC PARM	描述
11	01000	Header 型態辨識
00	00000	Packet PDU MAC Frame Format
11	00010	Request Frame
11	01011	資料封裝
11	00100	Queue Depth-based Request Frame
11	00011	Fragmentation Header

### 3.2 QoS Mapping

在本文中，由於 Wi-Fi、WiMAX 及 Cable 這三種網路各有屬於自己本身的 QoS 架構，為了讓 SRG 在進行封包轉換時，也能同時依照現屬的 QoS 格式與封包類型進行 QoS 轉換，以達到 QoS 透通性，讓使用者在經由 SRG 轉換傳輸時，維持相同等級的 QoS 傳輸，而無須擔心轉換後其 QoS 傳輸的等級也受到變動。圖 11 為異質網路之 QoS 對應架構圖。

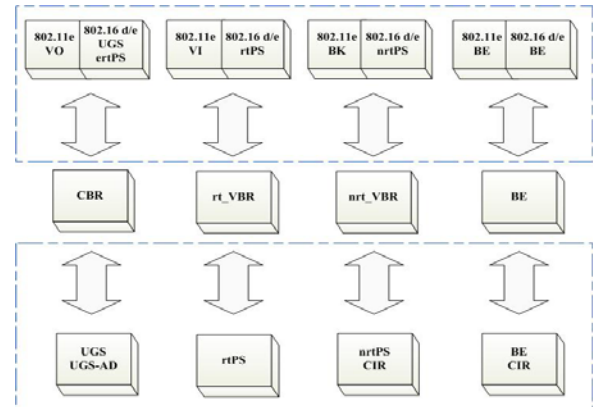


圖 11 異質網路之 QoS 對應架構圖

圖 11 異質網路之 QoS 對應架構圖由於 Docsis 與 WiMAX 這兩種網路分別由不同的 ISP 服務，將由各自 ISP 分配一個 IP，故在 SRG 中將會有兩個 IP。因此，SRG 將面臨如何有效管理 IP。而要確認網路使用哪個 IP 則是採用 ARP 的方式，由 MAC 位址找出 IP 位址。在 Docsis 網路中有支援到 ARP 協定。而在 IEEE 802.16 中，並無提到 ARP 方面的支援且也無定義任何 MAC Address。而在 IETF 最新的 IEEE 802.16 草案[10]中，有提到利用 Proxy ARP 的方式來改善目前 IEEE 802.16 的缺點，且 SS 將有屬於自己的 MAC Address，所有 SSs 之間的 packets 將透過 access router 來回應。故 Docsis 與 WiMAX Interface 所使用的 IP，可藉由 ARP 得知。

### 4. 模擬與分析

本文模擬是使用 Java 來模擬 SRG 中的封包整合機制，並整合這三種網路。圖 12 為異質網路環境示意圖，針對家庭異質網路中使用 SRG 於 LAN 或是 MAN 中進行模擬。在家庭異質網路中，分別有 WiMAX 網路下的使用者與 Cable 網路下的使用者及 Wi-Fi 網路下的使用者，這些使用者只需要透過 SRG 轉換封包後，即可與另一端任意網路進行溝通。

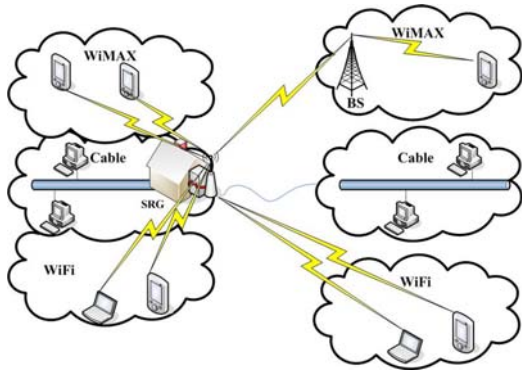


圖 12 異質網路環境示意圖

圖 13 為模擬 DOCSIS MAC 格式對應至 Wi-Fi MAC 格式，其 DOCSIS MAC 格式與 Wi-Fi MAC 格式數據則以十六進制表示。在這些數據當中可明顯看出，除了目的端位址、來源端位址、QoS 欄位以及資料欄位，其餘欄位則依照其欄位特性而進行變動，使用者仍然可以得知其傳輸資料內容，且將 QoS 之相關訊息一併延伸下去。圖 14 中可看出 DOCSIS MAC 格式與 Wi-Fi MAC 格式每個欄位所代表的結果。DOCSIS 的 FC\_PARM 欄位，這個欄位為 5 bits 並以二進位表示，其值為"00000"表示這個封包為一般資料封包，經由 SRG 轉換成 Wi-Fi 的 Type 與 Sub-Type 欄位，其 Sub-Type 值經轉換過後為"0000"，其資料傳輸類型一樣對應到一般資料封包，能夠讓使用者識別其傳輸類型。

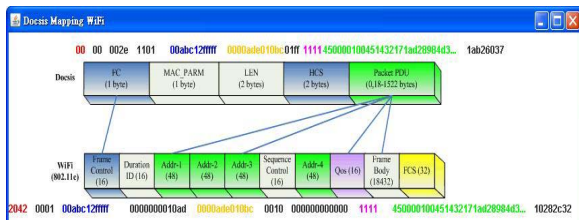


圖 13 DOCSIS MAC 對應 WiFi MAC



圖 14 DOCSIS MAC 格式與 WiFi MAC 格式

圖 15 為大型網路環境示意圖，主要是 LAN、MAN 以及 WAN 所建構而成在 MAN 或 LAN 的環境下，兩種不同的網路環境要達到相互溝通，需透過不斷繞送方可將資料傳輸至另

一端網路的使用者。例如：當節點 0 欲傳輸資料給予節點 2 時，則最少繞送次數為 6 次，最多則不下於此。如此一來，隨著繞送次數的多寡，間接影響到傳輸延遲，且無法保證傳輸品質。

圖 16 為加入 SRG 的大型網路環境示意圖，若使用者是透過 SRG 進行傳輸的話，則由 SRG 負責將資料封包轉換成 WiMAX 封包，再藉由 WiMAX BS 負責將資料轉送至目的端。由於 WiMAX BS 其涵蓋範圍相當廣泛，足以形成 MAN 的環境，故只要位於 WiMAX BS 的涵蓋範圍當中，即可接收到來至於 WiMAX BS 所傳輸的資料。

本文在 Routing 上不考慮資源與成本，只考慮最短路徑，故在 Routing 部分本文將採用 Dijkstra's Path 演算法來計算出圖 15 與圖 16 之網路的每個節點之間傳輸的繞送次數。圖 17 為 Routing Cost 的比較圖，可明顯比較出，未加入 SRG 的網路 WLC 會隨者傳輸距離來決定繞送次數的大小，故所需的 Route Cost 呈現線性般成長，反之，MLC 則是維持著水平狀態。故藉由 MLC 得知，使用 SRG 比起一般傳統傳輸方式其 Route Cost 還低。故在 SRG 網路時，即可減少許多不必要的傳輸繞送，又可藉由 WiMAX 所提供之 QoS 服務來掌控其傳輸品質。

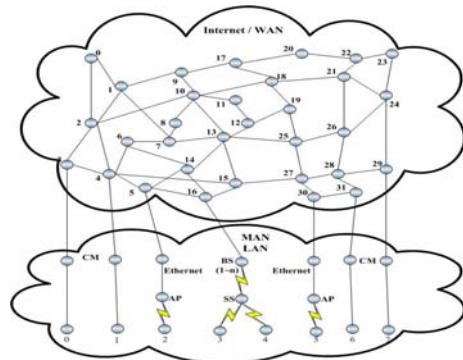


圖 15 未加入 SRG 之網路環境示意圖

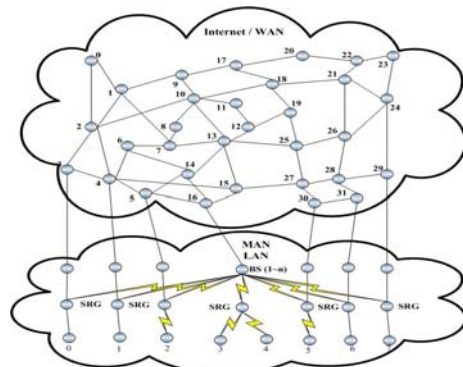


圖 16 加入 SRG 之網路環境示意圖



## 5. 結論

本文主要整合三種異質網路，藉由本文所提出 SRG 架構，並於 SRG 架構中加入封包轉換機制，即可針對封包交換與 QoS 轉換達到異質網路間的傳輸，並透過 SRG 可以有效控管異質網路間的傳輸，以改善 Ethernet 於第二層所缺乏之 QoS 保證以及目前第三層繞送 QoS 保證之問題，達到具有 QoS 服務品質保證及擁有良好延展性的網路。只要位於 WiMAX BS 的範圍內，透過 SRG 傳輸，即可減少許多不必要的傳輸繞送，又可藉由 WiMAX 所提供之 QoS 服務來掌控其傳輸品質，進而提升網路傳輸效率、降低網路建置成本、延伸 QoS 保證，改善目前家庭異質網路的缺點。

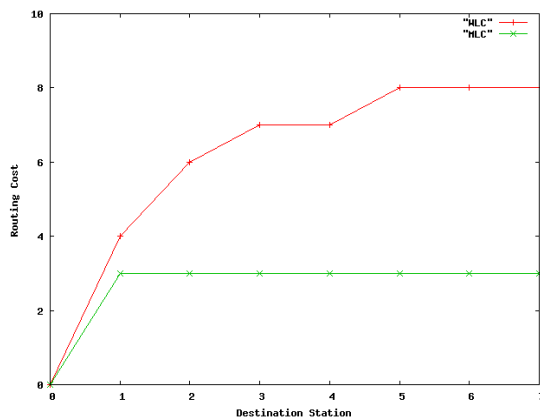


圖 17 Routing Cost 比較圖

## 參考文獻

- [1] Al-Khatib W., Rajeswari A., Gunavathi K., "Bandwidth Allocation Algorithm for DOCSIS Based HFC Broadband Networks", *Signal Processing, Communications and Networking, 2007. ICSCN '07. International Conference on, 2007*, pp. 452-458
- [2] Aura Ganz, Kitti Wong thavarawat, Anan Phonphoem, "Q-Soft: software framework for QoS support in home networks", *Computer Networks, vol. 42, May 2003*, pp. 7-22
- [3] Berlemann, L., Hoymann, C., Hiertz, G.R., Mangold, S., "Coexistence and Interworking of IEEE 802.16 and IEEE 802.11(e)", *Vehicular Technology Conference, 2006. VTC 2006-Spring. IEEE 63rd, 2006*, pp. 1-5.
- [4] Cicconetti, C., Erta, A., Lenzini, L., Mingozi, E., "Performance Evaluation of the IEEE 802.16 MAC for QoS Support", *IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING, vol. 6, Jan. 2007*, pp. 26 – 38
- [5] Davcevski M., Janevski T., "Analysis of IEEE 802.11e QoS in multimedia environment", *Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services, 2005. 7th International Conference on, 2005*, pp. 45-48.
- [6] David Teyao Chen, "On the Analysis of Using 802.16e WiMAX for Point-to-Point Wireless Backhaul", *Radio and Wireless Symposium 2007 IEEE, 2007*, pp. 507-510.
- [7] Howon Lee, Taesoo Kwon, Dong-Ho Cho, Geunhui Lim, Yong Chang, "Performance Analysis of Scheduling Algorithms for VoIP Services in IEEE 802.16e Systems", *Vehicular Technology Conference, 2006. VTC 2006-Spring. IEEE 63rd, 2006*, pp. 1231-1235.
- [8] Huei-Jiun JU, WanJiun Liao, "Adaptive Scheduling In DOCSIS-Based CATV Networks" *Computer Communications and Networks, 2002. Proceedings. Eleventh International Conference on 14-16 OCT. 2002*, pp.543 – 547
- [9] IEEE Std 802.16, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area networks: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access System", *LAN/MAN Standards committee of the IEEE Computer Society, 2004*.
- [10] IETF, "Transmission of IP over Ethernet over IEEE 802.16 Networks draft - ietf - 16ng - ip - over - ethernet - over - 802.16-06", April, 2008.
- [11] Jiann-Liang Chen, Ming-Chiao Chen, Yi-Ru Chian, "QoS management in heterogeneous home networks", *Computer Networks, vol. 51, August 2007*, pp. 3368-3379.
- [12] Wei-Tsong Lee, Kun-Chen Chung, Kuo-Chih Chu, Jen-Yi Pan, "DOCSIS performance analysis under high traffic conditions in the HFC networks", *Broadcasting, IEEE Transactions on, vol. 52, 2006*, pp. 21-30.
- [13] Yu-Chang Chen, Ja-Hsing Hsia, Yi-Ju Liao, "Advanced Seamless Vertical Handoff Architecture for WiMAX and Wi-Fi Heterogeneous Networks with QoS Guarantees", *Submitted to Elsevier Computer Communications 2007*, pp. 46-53