

具服務品質考量之 IEEE 802.16j 行動式中繼站換手路徑選擇研究

王鈺鑫

國立東華大學資訊工程學系

E-mail: m9921117@ems.ndhu.edu.tw

陳旻秀

國立東華大學資訊工程學系

E-mail: mxchen@mail.ndhu.edu.tw

摘要

IEEE 802.16j 標準中增加了具中繼能力的中繼站(Relay Station, RS),可幫助基地台(Base Station, BS)佈署於多種環境,亦可於大眾交通工具上服務多個行動終端。這種群體式的行動小型網路稱為網路移動性(Network Mobility, NEMO)。而行動網路的換手影響服務品質。在傳統的換手機制下存在了封包遺失率高、換手延遲時間長和傳輸速率不足等問題。針對 NEMO 下的群體換手,我們提出了一個具服務品質考量之 MRS (Mobile RS, MRS) 換手路徑選擇機制,可依系統的負載量來衡量換手目標的條件,選擇最佳的換手目標和換手時機,另外,我們也定義一系統負載量計算,做為系統分配網路資源的依據。最後,我們透過自行設計的模擬程式來驗證選擇機制的效能,實驗結果顯示,我們所提出的機制與其他方法比較擁有較佳的效能。

關鍵詞: 群體換手、行動式中繼站、網路移動性、服務品質、WiMAX。

Abstract

WiMAX is one of the 4G mobile communication standard, while the main feature of the IEEE 802.16j is the Relay Station (RS). RS can be deployed in various environment, it can also serve numbers of Mobile Stations (MS) on a moving vehicle at a time with Mobile RS (MRS). The movement of a small network is called Network Mobility (NEMO). In a NEMO environment, the traditional handover mechanism can cause higher packet loss, higher handover latency and lower data transfer rate. To solve these problems, we propose a handover selection strategy with QoS consideration for the MRS. The strategy can select the most applicable target station or RS according to the load condition of the system, and thus determine the appropriate handover timing. In addition, we define a system load measurement, it can also be used in the system resource allocation. We also implement a simple simulation system to examine these handover strategies. The results shows that the proposed method has better performance.

Keywords: Group Handover, Mobile RS, NEMO, QoS, WiMAX.

1. 簡介

隨著無線傳輸的頻寬增加,各類型的網路服務應用也應運而生,為了滿足這些服務應用,服務品

質(Quality of Service, QoS)也帶入無線網路傳輸的規範當中。QoS 是通訊標準中最高重視的,它關係到網路使用者的體驗,在 WiMAX 標準中定義五種服務類型,不同的服務類型有不同的 QoS 等級;然而影響 QoS 的因素非常多,如何在移動下維持合理的 QoS 亦為許多研究人員的研究目標。

在無線網路中,訊號間的轉換與漫遊極為重要,無縫(Seamless)移動可提供不同網路切換時無干擾的服務,這種網路間的切換稱為換手(Handoff, HO)。另一方面,當使用者位在一大眾交通工具如公車、火車等使用網路服務時,該交通工具就可視為一個群組網路,可服務多個行動裝置並同時移動,這種網路移動模式就稱為網路移動性(Network Mobility, NEMO)。為了支援網路移動服務,NEMO 支援移動式 IP(Mobile IP)與會話發起協議(Session Initiation Protocol, SIP)等架構,但這些方式存在了換手延遲較長、高封包遺失率等問題。

在 NEMO 環境中,換手由基地台(Base Station, BS)管理,好處是可簡化換手時移動節點的運算,但大量的基地台會造成佈建成本的增加,不符經濟效益,因此 WiMAX 網路中的中繼站(Relay Station, RS)扮演了重要的角色。另外移動式 RS(Mobile RS, MRS)亦可實現如 NEMO 的運作環境。NEMO 擁有的缺點於 WiMAX 網路中同樣存在,如何在群組換手的條件下減少換手延遲與封包遺失率亦是本論文的研究目標。

自從 IEEE 802.16e-2005 標準加入了行動性的支援,在 IEEE 802.16j-2009 標準中更加入了多重跳躍中繼(Multi-hop Relay, MR)架構,除了傳統的基地台(BS)外,藉由中繼站(RS)的佈建增加系統容量,進而降低佈建成本;另外,在 IEEE 802.16j-2009 中,除了一般的行動台終端(Mobile Station/Subscriber Station, MS/SS)可移動之外,另外加入了可移動的行動式中繼站(Mobile Relay Station, MRS),可佈建於大眾交通工具,亦可服務多個 MS。而當使用者在移動時使用無線網路,除了移動所造成的訊號衰減外,最影響服務品質的就是基地台間的換手,不同的連線路徑除了影響傳輸速率、資料封包延遲時間和封包遺失率外,亦可能造成連線中斷、無法提供服務的情形,對於服務品質的影響甚鉅,因此換手目標的選擇為重要的議題。

除了改善現有的換手機制外,選擇更佳的換手目標較為實際。因此本篇論文中,我們提出一個在 IEEE 802.16j 標準下具 QoS 考量的 MRS 換手目標選擇策略,根據服務的要求與系統的資源利用情況,

選擇最佳的換手目標和換手時機，希望藉由此策略讓 MRS 能維持一定的服務品質。另外我們也定義一負載衡量 (Load Measurement) 機制作為系統容量估算的依據，最後我們並實作一個模擬程式來驗證我們所提出的方法。

2. 背景知識與相關研究

IEEE 802.16 標準中定義了兩個部分：實體層 (Physical Layer, PHY) 與媒介存取控制層 (Medium Access Control Layer, MAC)。PHY 層包含系統運作的調變技術、頻寬、物理參數、訊框 (Frame) 運作等；MAC 層則包含了傳送資料的封裝、加密、功率控制以及換手機制等。

在 IEEE 802.16e 標準以前，系統站台以基地台 (Base Station, BS) 和行動台 (Mobile Station/Subscriber Station, MS/SS) 為主，因此網路的佈建需使用高成本的 BS 才能完成，且存在連線覆蓋差、傳輸效果不佳等問題，因此制定了 IEEE 802.16j [3] (或稱 IEEE 802.16j-2009，由 IEEE 802.16-2009 [2] 增訂)，目的即是解決系統穩定性和佈建成本問題。IEEE 802.16j 加入了多重跳躍 (Multi-Hop, MR) 與中繼 (Relay) 機制，並加入了低成本的中繼站 (Relay Station, RS) 架構，不需增加 BS 即可克服上述問題，並可延伸覆蓋範圍、提高系統容量、增加系統彈性。本論文以 IEEE 802.16j 為研究背景，我們在以下章節皆以此標準作描述。

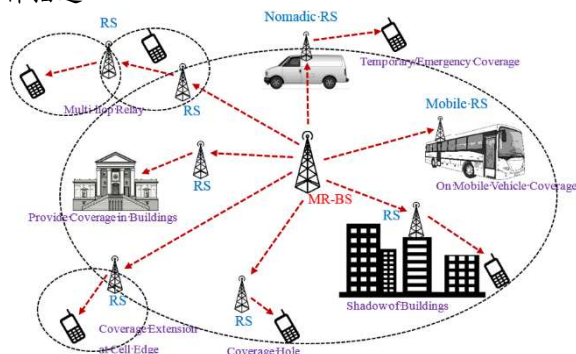


圖 1. IEEE 802.16j MR 網路運作情景

2.1 IEEE 802.16j 中繼站

中繼站 (RS) 的主要功能就是作為 MR-BS 與 MS 間的中繼點，負責轉送來自 MS 的上行 (Up Link, UL) 資料和來自 MR-BS 的下行 (Down Link, DL) 資料，可增加網路覆蓋範圍及提升系統容量。依 RS 的功能與特性，可分為穿透式 RS (Transparent RS, TRS) 與非穿透式 RS (Non-transparent RS, NT-RS)。

(1) 穿透式中繼站 (TRS)

不會傳送前置訊號 (Preamble)、訊框控制標頭 (Frame Control Header, FCH)、DL-MAP/UL-MAP 等廣播訊息，僅單純做資料轉送。資料排程由 MR-BS 負責，屬集中式排程 (Centralized Scheduling)。可提升資料傳輸能力。

中繼能力可僅支援 UL 或 UL/DL 皆支援。僅支援在 MR-BS 範圍內的二次跳躍 (2-Hop) 中繼。

(2) 非穿透式中繼站 (NT-RS)

會傳送前置訊號、FCH、DL-MAP/UL-MAP 等廣播訊息，可將其視為 MR-BS。可支援集中式排程和分散式排程 (Distributed Scheduling)，由 MR-BS 負責排程或 RS 自行負責。可佈署於 MR-BS 邊緣，提升資料傳輸能力及延伸覆蓋範圍。中繼能力需 UL 和 DL 皆支援。

RS 為了有助於網路的架設，因應佈建於各種不同環境中的要求，並為了增加系統彈性，RS 亦可分為三種型態：固定式 RS (Fixed RS, FRS)、游牧式 RS (Nomadic RS, NRS)、行動式 RS (Mobile RS, MRS)。

- FRS 主要佈建於建築物、MR-BS 覆蓋邊緣、至高點等訊號死角，可提升室內環境連線品質、改善因建築物遮蔽所造成的訊號損失、增加 MR-BS 的覆蓋範圍，讓使用者透過 RS 也能進入網路。
- 當無線訊號進入建築物內部時，訊號強度將大幅降低，故 NRS 主要佈建於建築物內部，一方面接收室外基地台訊號，另一方面處理室內其他裝置或其他 RS，加強建築物內訊號品質。NRS 亦可作短暫移動，視網路壅塞情形提供適當服務。
- MRS 運作於移動環境下，故主要佈建於大眾交通工具如公車、火車上，提高使用者於高速環境下的服務品質，MRS 可同時服務車上的使用者，避免因移動情形下造成的換手問題，如服務中斷、換手頻繁等。

2.2 IEEE 802.16j PHY 層簡介

根據 PHY 層的定義，在資料傳輸方面，IEEE 802.16j 可支援分時多工 (Time Division Duplex, TDD) 及分頻多工 (Frequency Division Duplex, FDD)，TDD 模式可在相同頻率、不同時間下做 DL 及 UL 傳輸，FDD 則使用不同的頻率於相同的時間下傳輸，由於頻道資源的限制，大部分的應用皆以 TDD 模式運作，故本文也以 TDD 模式為考量；另外資料的傳輸則封裝成一訊框架構 (Frame Structure)，可依每個 MS 所使用的傳輸參數和調變及編碼方式 (Modulation and Coding Scheme, MCS) 來調整每個訊框內傳輸的觸發 (Burst)。

◆ IEEE 802.16j TDD 訊框架構

在 Relay 模式下，訊框架構基本上與一般的 TDD 訊框相同，一個 Relay 訊框切割成 DL 及 UL 兩個區間，但 DL 與 UL 區間內依 RS 連線需求繼續切割成存取區 (Access Zone, AZ) 和中繼區 (Relay Zone, RZ)，Access Zone 為 BS 或 RS 與 MS 間通訊使用，Relay Zone 則為 BS 與 RS 或 RS 與 RS 間通訊使用。

在前述文章中有提到，RS 分為 TRS 和 NT-RS

兩種, TRS 僅支援 2-Hop 傳輸, NT-RS 則支援 2-Hop 以上的 MR 架構, 並可串接多個 RS, 兩種 RS 的訊框架構亦不相同, 接下來我們主要以 NT-RS 做介紹。

非穿透模式中, 資源的排程可為集中式 (Centralized Mode) 或分散式 (Distributed Mode), 集中式排程下, BS 負責產生控制訊息傳送至底下附屬的 RS, NT-RS 則根據 BS 的 R-MAP 和 FCH 運作進行 Access Zone 的運作, 若系統大於 2-hop, 則每個 NT-RS 需各自產生控制訊息。分散式排程下, 每個 NT-RS 可產生自己的 R-MAP 和 FCH 訊息, 並廣播至鄰近的站台。

非穿透中繼的運作又分為兩個模式: 分時傳送與接收 (Time-division Transmit and Receive, TTR) 和同時傳送與接收 (Simultaneous Transmit and Receive, STR), STR 模式允許 NT-RS 在不同頻率下同時與下層和上層的站台通訊, TTR 模式則相反, TTR RS 可於相同或相異的頻率上運作, 這是因為 TTR RS 在與上層和下層站台通訊時是分時運作的, 目前的應用也主要基於 TTR 架構。

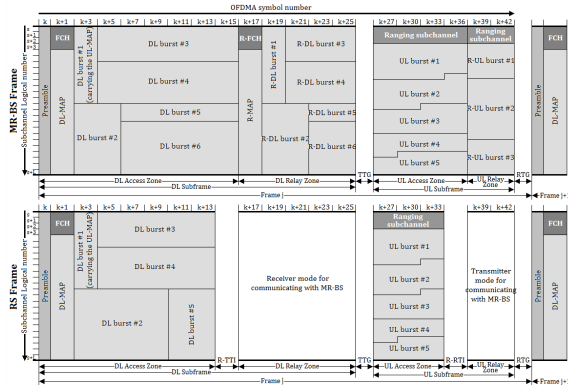


圖 2. 非穿透式 TTR 中繼訊框架構

TTR 狀態下的 RS 在中繼時有兩種方式, TTR RS 需至少支援其中一種, 但無法同時運作兩種, DL 子訊框至少包含一個 Access Zone, UL 子訊框可包含多個 Access Zone 和 Relay Zone。

- 第一種方式: Multi Frame 架構
允許多個 RS 或 MR-BS 訊框組合成多重訊框架構 (Multi Frame), 其中的 Relay Zone 為一種重覆模式 (Repeating Pattern), 可供 MR-BS 和 RS 使用整個 Relay Zone, 且 MR-BS 和 RS 可指定每個 Multi Frame 中的 Relay Zone 為傳輸、接收或閒置狀態。舉例來說, 一個 2-Hop Multi Frame 可用來指定奇數 Hop 的 RS 於 DL 奇數的 Relay Zone 傳輸, 偶數 Hop 的 RS 則於 DL 偶數的 Relay Zone 傳輸, 如圖 3 所示。
- 第二種方式: Single Frame 架構
將 Relay Zone 切割成多個小 Relay Zone 的單訊框架構 (Single Frame), MR-BS 和 RS 可指定每個訊框中的小 Relay Zone 為傳輸、接收或閒置模式, 同上範例, 奇數 Hop RS 可於 DL Relay Zone 中傳輸, MR-BS 和偶數 Hop RS 則於下一個 DL Relay Zone 中傳輸, 如圖 4 所示, 相較於 Multi

Frame, Single Frame 可於一個訊框內同時進行多個傳輸, 但由於 Relay Zone 的切割, 站台可用的資源也較少。

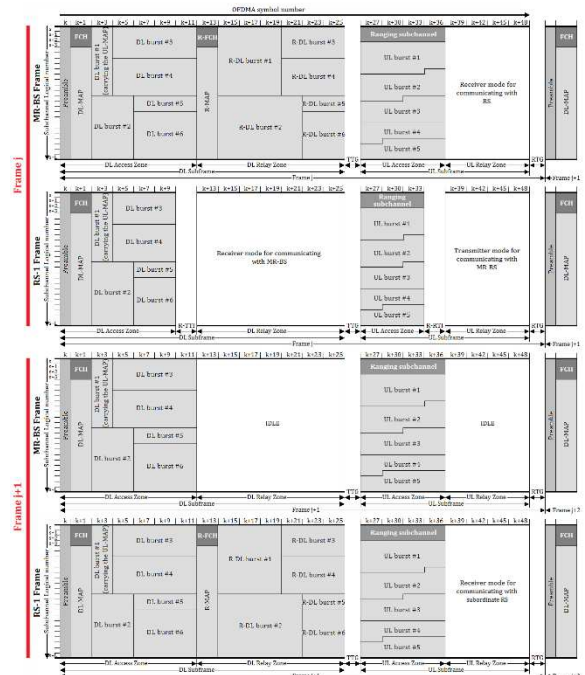


圖 3. 3-Hop 模式下的多重訊框架構

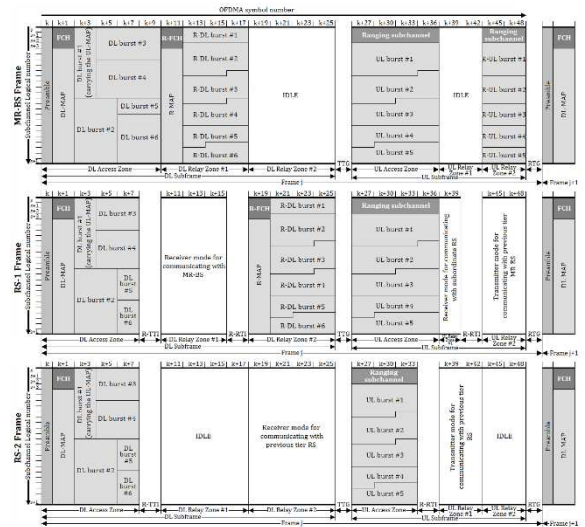


圖 4. 3-Hop 模式下的單訊框架構

2.3 IEEE 802.16j MAC 層簡介

MAC 層依功能的差異分為以下三個子層: 匯聚子層 (Service Convergence Sublayer, CS)、通用子層 (Common Part Sublayer, CPS) 和加密子層 (Security Sublayer)。其中 CPS 層為 MAC 的核心部分, 負責網路的頻寬分配、連線的設置及維護、資源分配、QoS 管理、換手管理等。CPS 層經 SAP 接收來自 CS 層的資料, 將其轉換成 MAC PDU (MPDU) 傳送至 PHY 層。

◆ QoS 服務類別

自 IEEE 802.16e 標準開始定義了五種 QoS 服務類別，每條連線依資料的傳輸型態可支援其中一種。

- **Unsolicited Grant Service (UGS)**

支援即時性 (Real-time) 的服務與固定的封包大小，如 T1/E1 專線和 VoIP 服務除了靜音抑制 (Silence Suppression) 功能。此服務類型提供週期性且固定大小的流量，即固定位元率 (Constant Bit Rate, CBR) 服務，可減少不必要的 Overhead 與延遲，且可滿足即時性服務的需求流量。BS 根據最小保留傳輸率 (Minimum Reserved Traffic Rate) 來提供頻寬，即最大承受傳輸率 (Maximum Sustained Traffic Rate)，另外 UGS 服務不支援競爭式 (Contention-Based) 的頻寬請求。

- **Real-Time Polling Service (rtPS)**

支援即時性服務與可變的封包大小，如 MPEG 影片串流或具靜音抑制的 VoIP 服務。BS 會週期性的提供單點傳播 (Unicast) 或揹負式 (Piggyback) 請求機會供 MS 請求服務，可滿足最小傳輸速率，另外此服務亦不支援競爭式的頻寬請求。

- **Extended rtPS (ertPS)**

ertPS 結合了 UGS 以及 rtPS 的優點，支援可變的封包大小與 Unicast 特性，與提供 Unicast 和 Piggyback 的請求模式，MS 並可向 BS 改變頻寬大小。

- **Non-Real-Time Polling Service (nrtPS)**

提供非即時性且具延遲容忍 (Delay-Tolerant) 的資料傳輸，如 FTP 服務。nrtPS 亦提供週期性的 Unicast 服務請求，讓 MS 即使在網路壅塞時仍可提出頻寬要求，與 rtPS 不同的是，ertPS 可支援競爭式的頻寬請求。

- **Best Effort (BE)**

提供無最小傳輸率要求的服務，無法提供 QoS 保證，如 HTTP 服務。BE 在資料排程的優先權也是最低的，只能提供 MS 競爭式的頻寬要求，依可用資源的多寡提供服務。

◆ IEEE 802.16j MAC 換手程序

在 MAC 換手程序中，可分為網路拓樸的獲得以及實際的換手程序，結束後則是網路的重入步驟，移動節點如 MS 和 MRS 的換手程序大致相同，MRS 則另外增加幾個步驟。

- **網路拓樸的取得**

MR-BS 和 NT-RS 會利用 MOB_NBR-ADV 訊息廣播網路中各站台資訊，MR-BS 和 RS 會經由骨幹網路或中繼連結 (Relay Link, RL) 取得包含在 MOB_NBR-ADV 中的資訊，每個不同服務區域的 NT-RS 皆可廣播其特有的 MOB_NBR-ADV 訊息。

在集中式排程 (Centralized Scheduling) 模式下，RS 會通知 MR-BS 所需頻寬來傳送 MOB_NBR-ADV 訊息，接著 RS 可於其服務範圍內傳送此訊息；在分散式排程 (Distributed Scheduling) 模式下，RS 會週期性的廣播

MOB_NBR-ADV 訊息。

- **MRS 換手程序**

原始換手的起始條件為連線的通道品質，或是否滿足 QoS 要求，換手的程序包含以下六個步驟：

(1) Cell 重新選擇 (Cell Reselection)，MRS 進行換手前會蒐集鄰近站台的資訊，MRS 可進行主動掃描或利用鄰近站台廣播的 MOB_NBR-ADV 訊息，作為換手目標的選擇依據。

(2) 換手的決策和初始化 (HO Decision and Initiation)，決定讓 MRS 換手至目標站台，可由 Serving BS 或是 MRS 自己決定，若由 MRS 所起始的換手，MRS 會發送 MOB_MSHO-REQ 訊息和自行掃描到的鄰近站台資訊至 Serving BS。若為 Serving BS 所起始的換手，則 Serving BS 會發送 MOB_BSHO-REQ 訊息並提供建議的 BS List 至 MRS。

(3) 與目標基地台同步 (Synchronization to Target BS DL)，MRS 會先與 Target BS 進行 DL 連線的同步，以便取得 DL 及 UL 傳輸之參數。

(4) 測距 (Ranging)，在網路重入的過程中需進行測距，測距為 MRS 與 Target BS 間物理參數交換的過程。MRS 會發送 RNG-REQ 訊息通知 Target BS 進行測距。

(5) 終止 MRS 訊息交換 (Termination of MRS Context)，當 MRS 已換手至 Target BS 後，MRS 會傳送一個 MOB_HO-IND 訊息通知舊 Serving BS，則舊 Serving BS 會中斷與 MRS 的連線，並將所有該 MRS 的資訊移除。

(6) 換手取消 (HO Cancellation)，MRS 可隨時利用 MOB_HO-IND 訊息告知 Serving BS 取消換手，但若超過 Resource_Retain_Timer 才通知，則 Serving BS 已無 MRS 相關資訊，MRS 須重新進行網路重入步驟以獲得服務。

整個換手程序由 MR-BS 控制，RS 則負責 MRS 和 MR-BS 間換手相關訊息的中繼。換手程序完成後，新路徑的路由資訊和 QoS 資訊就會更新。而 MRS 另外有四個步驟可選擇是否執行。

(7) 存取站台選擇 (Access Station Selection)，Target BS 可指示 MRS 進行存取站台選擇。

(8) MRS 運作參數設定 (MRS Operational Parameters Configuration)，Target BS 可重新設定 MRS 的運作參數。

(9) 重新建立通道連線 (Tunnel Connection)，Target BS 為 MRS 重新建立通道連線。

(10) MS CID 資料對應 (MS CID Mapping)。Target BS 會通知欲換手的 MRS 將新的 CID 和其附屬 MS 的舊 CID 做對應，在換手完成後，MRS 會將 CID 做更新，再發送 MAC PDU 至附屬 MS，另外此步驟在通道連線 (Tunnel-Based) 的傳輸下不需進行。

在 MRS 的換手中，MR-BS 或 MRS 同樣採用 MOB_HO-REQ 訊息決定換手起始時機，以 MR-BS 角度而言，MRS 可視為一個 MS，使換手程序縮短，

但還是可經由 CID 辨別其為 MRS。

◆ 換手選擇策略

由於 IEEE 802.16j 並無規範換手的決策與選擇目標站台的策略，但一般情形下，當移動節點所接收到的訊號強度衰減時，勢必要換手到訊號更好的站台，在一般的情況下，距離最近的站台訊號強度也越高，而 MRS 的換手策略亦沿用 MS 之換手策略。

一些文獻提出換手策略的研究，在[6]針對 NT-RS 環境下提出一個分散式路徑選擇方式，即在 UCD (Uplink Channel Descriptor) 訊息中增加一個 TLV，內容為記錄通道可用頻寬、訊噪比 (SNR)、跳躍次數 (Hop Count)。當一個新的 MS 或 RS 進入網路時，會掃描所有鄰近站台直到可用為止，新 MS 會接收到來自鄰近站台的 UCD 訊息，接著建立一相鄰站台列表，將中繼連結的參數更新至 UCD 中，再從該列表中計算每個路徑的連線成本，選擇成本最小的站台為換手目標，此架構原則上以跳躍次數越少的站台為優先，可減少傳輸的延遲時間和找尋最佳傳輸路徑。

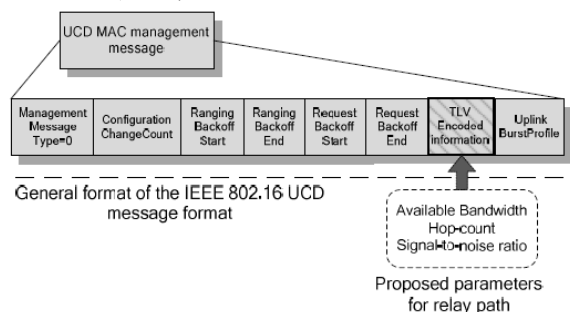


圖 5. UCD 訊息增加 TLV 參數

[8]提出一個結合自適調變編碼 (Adaptive Modulation and Coding, AMC) 技術的目標選擇機制，基於 Erceg Model，作者訂出一個資料傳輸速率臨界值，在 MS 移動的情形下，根據 BS 和 RS 的位置計算出與 MS 間的傳輸速率，若 2-Hop 情形下速率無法達到臨界值，則選擇 1-Hop，即直接與 BS 換手，反之亦然。此架構即在選擇傳輸速率最高的路徑，可改善網路的端對端容量。但由於作者所提出的架構基於高速公路的環境中，車子移動的方向較為固定且速度變化不大，RS 的佈建也較為單純，因此較不適用於都會區的環境，應用層面也較為狹窄。

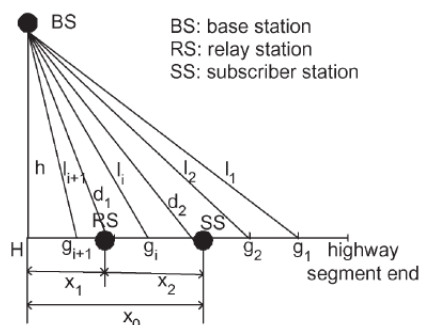


圖 6. 高速公路換手策略

3. 系統架構

由於 IEEE 802.16j 標準規格書中並無定義允入控制與換手選擇之演算法，因此我們在此定義一簡單的負載控制計算，可決定是否接受移動節點進入網路時所作的連線要求，並作為之後換手機制的系統負載衡量。而我們所提出的具 QoS 考量之換手選擇機制，可針對 MRS 此類具大量封包與流量要求的移動節點進行有效的換手程序，並可降低 MRS 被允入控制拒絕的機率。

3.1 負載控制計算

IEEE 802.16 架構中，OFDMA 資源分配的最小單位為一個 Slot，由多個 Symbol 組成，多個 Slot 再組成 Burst，每個訊框中可使用的 Slot 會因訊框的持續時間、Symbol 的數量、Zone 的分配等因素而改變。而 MR-BS 也要隨時監控訊框內 Slot 的使用狀況，因此我們在 MS/MRS 進入網路允入控制計算時，將所做的服務要求轉換成所需的 Slot 數量。首先，我們先計算出一個訊框內可供使用的 Slot 數量，以 DL 為例，DL 內可使用的 Symbol 數量為：

$$ASym_{DL} = SPF * R_{DL} \quad (1)$$

其中 SPF 我們定義為一個訊框中包含的 Symbol 數量，根據 IEEE 802.16 標準定義，在 10MHz 的頻寬和 5ms 的訊框長度下，每個訊框有 48 個 Symbol，若頻寬為 7Mhz，則有 34 個 Symbol； R_{DL} 為訊框中 DL 所佔的比例，如此一來也可推導出 $ASlot_{UL} = SPF - AS_{DL}$ 。計算出 DL 可用的 Symbol 後，我們即可算出 DL 可用的 Slot：

$$ASlot_{DL} = \left(\frac{ASym_{DL} - preamble}{PUSC_{DL}} \right) * SCH_{DL} \quad (2)$$

preamble 為每個 Zone 開頭 Preamble 所占用的 Symbol 數量，其功用為 MRS 與 MR-BS 進行頻率同步、時間同步時的資訊交換； $PUSC_{DL}$ 為 DL 的 PUSC (Partial Usage Subcarrier)，即每個 Subchannel 中皆含一組 Pilot Subcarrier，相較 FUSC (Full Usage Subcarrier) 可降低同頻道間的干擾 (Co-channel Interference)；每個 Slot 由兩個 Symbol 所組成，封包可分散於多個 Symbol 上，降低訊號間的干擾；最後乘上 SCH_{DL} ，為 DL 內的 Subchannel 數量。

由於在 Relay 的模式中，DL 及 UL 會各切割成 Access Zone 和 Relay Zone，因此各 Zone 內的可用 Slot 計算如下：

$$ASlot_{DLA} = ASlot_{DL} * R_{DLA} \quad (3)$$

以上為 Access Zone 的計算， R_{DLA} 為 DL 內 Access Zone 的比例。在 Relay Zone 的部分，由於訊框又分為 Single Frame 與 Multi Frame 模式，可用的 Slot 數量亦不相同。

$$ASlot_{DLRm} = ASlot_{DL} * R_{DLR} \quad (4)$$

$$ASlot_{DLRS} = (ASlot_{DL} * R_{DLR}) / (H - 1) \quad (5)$$

$$R_{DLR} = 1 - R_{DLA} \quad (6)$$

在 Multi Frame 模式中，系統使用 Relay Zone

的全部資源，不需切割，因此可用 Slot 如同 Access Zone 分配，如公式 4 所示。Single Frame 模式則依據系統跳躍次數切割 Relay Zone，其中 H 為系統的 Hop 數，每個小 Relay Zone 可供不同 Layer 的 RS 使用，如公式 5 所示。公式 6 則表示 Relay Zone 與 Access Zond 之比例關係。切割過的 Relay Zone 雖然可用資源驟減，但同一個 Frame 下不同 Hop 的 RS 可同時傳輸，減少 Relay 的延遲時間。

在計算出訊框內可用的 Slot 後，接著我們計算每個 MS/MRS 所要求的資源，並轉換成相對的 Slot。首先，我們先算出一個 OFDMA Symbol 的週期，即每個 Basic Symbol 加上循環字首 (Cyclic Prefix, CP) 的長度，公式如下：

$$L = \frac{N_{SC}}{R_S} + \frac{N_{CP}}{R_S} \quad (7)$$

$$N_{CP} = N_{SC} * R_{CP} \quad (8)$$

N_{SC} 為 Subcarrier 的數量，在 OFDMA 訊號產生前須經過 IFFT 轉換，這裡我們直接代入快速傅立葉轉換 (IFFT) 的長度，標準為 256、512 或 1024； R_S 為取樣 (Sampling) 比例，在 OFDMA PHY 中採用 28/25 或 8/7； N_{CP} 為循環字首長度，為 IFFT 長度中所佔的長度，根據 IEEE 802.16 標準定義，比例可為 1/32、1/16、1/8 或 1/4。

接著，我們計算實際傳輸率轉換前的位元率 (Bit Rate)，計算方式如下：

$$BR = R_{MS}/CR \quad (9)$$

R_{MS} 為 MS 或 MRS 所要求的傳輸率，單位為 Kbps； CR 為 MS/MRS 所使用的 MCS 之碼率 (Code Rate)，即傳送的資料中，實際資料所佔的比例，如 1/2、2/3 或 3/4，剩下的比例為更正碼。計算出位元率後，我們即可計算資料傳送所使用的 Subcarrier 數量，計算如下：

$$SC = BR * L/B_{SC} \quad (10)$$

B_{SC} 為一個 Subcarrier 所傳送的位元數，會因 MCS 的不同而改變，例如，QPSK 為 2-bit，16QAM 為 4-bit，64QAM 為 6-bit。得出位元數後，我們即可計算出所需的 Slot 數：

$$Slot_{MS} = \frac{SC}{SPF} / Frm_Per_Sec \quad (11)$$

SPF 同公式 1 所定義，為一個訊框中包含的 Symbol 數量； Frm_Per_Sec 為每秒所傳送的訊框數量，若一個訊框長度為 5ms，則每秒會有 200 個訊框。

在計算出一個 MS/MRS 所需的 Slot 後，我們將其代入允入控制的判斷條件式中。首先我們計算出每個 MR-BS 底下的 NT-RS 所要求的系統容量：

$$C_k = C_k^A + C_k^R \quad (12)$$

針對 RS_k 分別計算其 Access Zone 與 Relay Zone 的要求容量，我們將系統容量定義為其所要求之傳輸速率轉換後的 Slot 數。

$$\begin{aligned} C_k^A &= \sum_{x \in N_k^{MS}} Slot_x \\ C_k^R &= \sum_{x \in N_k^{RS}} C_x \end{aligned} \quad (13)$$

在 Access Zone 所佔用的容量，為 RS_k 所服務之 MS 要求的 Slot 數總和，轉換過程如公式 8；Relay Zone 的部分則為 RS_k 底下所串接之 RS 總容量；另外每個訊框的 Access Zone 為各 BS/RS 專屬使用，Relay Zone 由 BS 負責，供底下的 RS 共用，另外，由 BS 直接服務的 MS 不需佔用 Relay Zone，因此在 BS_j 的 Access Zone 和 Relay Zone 的計算亦可代入上述公式。最後，允入控制的判斷式如下：

$$\begin{aligned} a. ASlot_{DLA_k} &\geq \sum_{x \in N_k^{MS}} C_k^A \\ b. ASlot_{DLR_k} &\geq \sum_{x \in N_k^{RS}} C_k^R \end{aligned} \quad (14)$$

在 Access Zone 及 Relay Zone 所佔用的系統容量均不可超過一個訊框所能提供的最大 Slot 數，若加入一新的連線會超過系統負荷，則允入控制機制將拒絕此連線。另外，由於每個 Zone 內的 Burst 是依照發送對象之 MCS 進行封裝，故每個 MS 所佔用的 Slot 數不盡相同；另外，Access Zone 與 Relay Zone 為分時運作，MR-BS 與其底下的 RS 均為固定式，因此 Relay Zone 內的 Slot 佔用視為 MR-BS/RS 與 RS 間的 MCS 封裝而來，每個服務 MS 所佔用的情況在 Relay Zone 內較為平均，與 Access Zone 不同。

3.2 具 QoS 考量之換手目標選擇

經過 3.1 節的計算步驟，我們可知服務站台的資源使用情況，雖然系統在網路初始時即進行允入控制，並拒絕無法提供服務的連線，但行進時的換手步驟同樣會需要允入控制配合。若以 MS 的移動來看，由於單一 MS 的需求相較所有服務的 MS 而言，所佔用的系統容量較小，連線被拒絕的機率也較低；若為 MRS，情況會大不相同，由於 MRS 同時服務多個 MS，亦隨時可能加入新 MS 或移除 MS，並為一同移動的情況下，MRS 與其附屬 MS 視為單一團體，所要求的系統容量亦增加許多，換手時被拒絕的機率也大大提升。

我們提出的換手目標選擇機制加入判斷系統中容量的佔用情況，主要選擇容量被佔用最低，或是服務 MS 最少的站台，但由於現實中的情況多變，當無適合的新站台可選擇時，我們也盡量延長與舊服務站台的連線時間，使服務中斷的時間能減少，我們將運作流程分為三個步驟：

- Step 1
蒐集 MRS 鄰近且位於連線範圍內的所有服務站台，MRS 可藉 MOB-NBR_ADV 訊息，或 MRS 主動掃描鄰近的站台，並加入 Candidate List 中，準備進入換手程序。

- Step 2
若 Candidate List 中的站台為 Intra-BS 的範圍，則僅需考量目標站台的 Access Zone 佔用情形，MRS 依據該站台廣播的資訊，得到該站台服務之 MS 數量，與利用公式 8 計算出本身所需之 Slot 數，計算是否可進行換手，判斷式如下：

$$ASlot_{DLA_i} \geq C_i^A + Slot_{MRS_k}$$

i : target BS/RS ID (15)

若 Candidate List 中的站台為 Inter-BS 的情形，則應考量該目標站台之 Access Zone 與 Relay Zone，Relay Zone 之判斷同上述公式 3-12，另外需區別 Single Frame 與 Multi Frame，定義如下：

$$ASlot_{DLR(s,m)_i} \geq C_i^R + Slot_{MRS_k}$$

i : target BS/RS ID (16)

以上判斷若出現兩個以上的候選站台，我們以距離較近或 ASlot 量較多的站台為優先，這是因為短距離在無線電傳輸的路徑損失影響較少，使傳輸速率較快，資料錯誤率也較小。

篩選出合適的目標站台後，即開始計算可換手的時機點。一般來說，換手的時機為目標站台之訊號強度大於目前服務的站台時，此方式雖然較單純但無法提升平均傳輸速率，因此我們加入一訊號臨界值 (Threshold)，首先我們定義 MRS 與服務站台間之訊噪比 (Signal to Noise Ratio, SNR)，單位為 Decibel (dB)：

$$SNR = K - (20 * \log_{10}(dist)) \quad (17)$$

dist 為兩站台之直線距離；K 為常數，假設 BS 之最大傳輸範圍為 350m，則 K=55.88，若為 500m，則 K=58.98，依此類推。求出 SNR 後，接著我們定義 SNR 與 MCS 之關係，如表 2. 所示。

表 1. 調變與編碼 SNR 臨界值

Modulation	Coding Rate	Receiver SNR Threshold (dB)
QPSK	1/2	5.0
QPSK	3/4	7.5
16QAM	1/2	9.5
16QAM	3/4	12.0
64QAM	2/3	15.0
64QAM	3/4	20.0

採用更高級的 MCS，傳輸的效率較高，對應的 Slot 量也會較少，因此我們盡量採用 16QAM 以上的調變，如與目標站台之 SNR 值超過 9.5dB 後才進行換手，但與目前服務站台之 SNR 值亦不可過低，於是我們定義臨界值的估算為：

a. $SNR_T \geq 9.5$

$SNR_S \geq 7.5$

b. $SNR_S \leq 7.5$

T: target station; S: serving station (18)

a: MRS 與目標站台之 SNR 大於 9.5dB 且與目前服務站台之 SNR 大於 7.5dB，當 MRS 進入此範圍內即進行換手；b: 若 MRS 與目前服務站台之 SNR 小於 7.5dB 時強制進行換手。

● Step 3

以上的步驟若無法選擇合適的目標站台，或目標站台無法接受 MRS 的服務要求，且 MRS 持續移動下，我們只好延長與目前服務站台的連線時間，在 SNR 值小於 5dB 後，即將離開服務站台之連線範圍並換手至距離最近之目標站台。

另外在 Step 2 中，即使是 Intra-BS 換手的情形下，MRS 在換手時亦可能遭拒絕，即 MRS 欲換手至系統最大 Hop 數之 RS，由於 MRS 亦是 RS 的一

種，若串接至最大 Hop 的 RS 底下，系統總 Hop 將會增加，若為 Single Frame 模式下，Relay Zone 勢必再進行切割，如此一來該 RS 服務之 MS 將受到影響，並可能拒絕 MRS 之連線，若發生此情形，我們同樣採用前段描述之策略。最後，我們將以上步驟流程整理成圖 7。

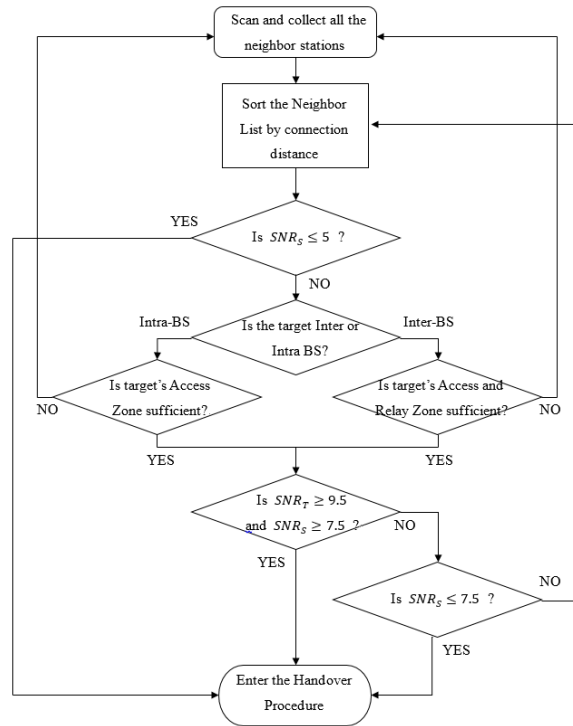


圖 7.

4. 實驗模擬與效能評估

我們將提出的機制與選擇距離最近站台、選擇最短跳躍站台等方式，進行效能之比較，另外我們將 QoS 換手機制加入最短跳躍考量，可使 QoS 換手獲得最佳的運作效能。

圖 8. 為模擬的地圖環境，地圖大小為 1000×1000 平方公尺，每 200 公尺為一個交叉路口；地圖中並包含 11 個服務站台，其中有兩個 MR-BS，位於地圖的左上角及右下角；另外共有 9 個固定式 RS 分別串接於兩個 MR-BS，節點 3~8 為 BS1 所控制，節點 9~11 為 BS2 所控制，BS1 之最大跳躍數為 4-Hop，BS2 則為 3-Hop。所有服務站台之連線範圍均為 350 公尺，固定服務站台的配置使地圖中任何地方均可被覆蓋。在固定服務站台間的連線，我們設定每個服務站台間的 MCS 為 16QAM 3/4 以平均 Relay Zone 內的 Slot 使用量。

移動節點的部分，MS 與 MRS 可隨意於地圖上移動，由於本模擬主要量測 MRS 之效能，因此我們將 MS 隨機佈署於地圖上任何地方且不進行移動，固定其服務站台，並將其視為每個服務站台的背景流量 (Background Traffic)。另外，由於我們的模擬程式無法將每個 QoS 種類進行詳細的資料排程，且為了將實驗組與對照組之差距明確呈現，因此我們在模擬中每個節點連線均採用週期性的

Constant Bit-Rate Service (CBR)，即 UGS 服務，詳細的模擬參數如表 2.所示。

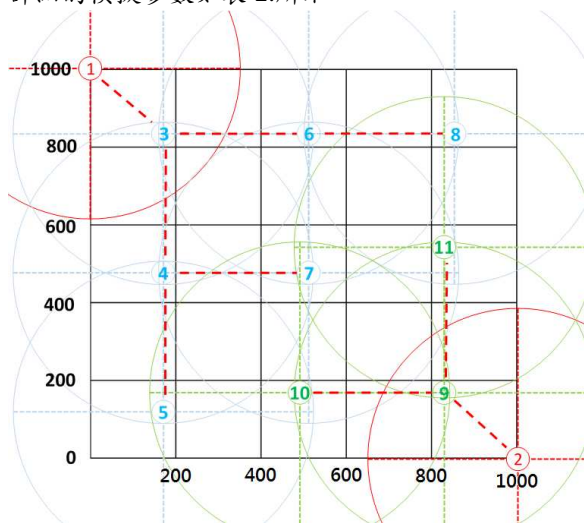


圖 8. 實驗模擬環境
表 2. 實驗模擬參數

Parameters	Value
PHY	OFDMA
FFT Size	1024
DL Subcarrier Allocation (DL-PUSC)	2
UL Subcarrier Allocation (UL-PUSC)	3
DL Subchannels	30
UL Subchannels	35
Channel Bandwidth	10 MHz
Sampling Factor	28/25
Cyclic Prefix Ratio	1/8
DL / UL Ratio	1:1
Access / Relay Zone Ratio	1:1
Frame Duration	5 ms
Symbols per Frame	48
Frame Structure	TDD Single / Multi Frame
Service Type	UGS (CBR)
MCS	QPSK 1/2, 3/4; 16QAM 1/2, 3/4; 64QAM 2/3, 3/4
Simulation Time	500 sec

MRS 資料傳輸速率的多寡，我們依 MRS 附屬的 MS 數量決定，如 MRS 附屬 5 個 MS，每個 MS 要求 64 Kbps 的 UGS 服務，則該 MRS 就會向服務站台要求 320 Kbps 的流量；10 個 MS 就是 640 Kbps，依此類推。我們將環境的背景流量設定 10 到 100 個 MS 的範圍，MRS 則固定附屬 15 個 MS。由於我們設定每個移動節點均要求 UGS 服務，且每個移動節點隨機進入網路，因此我們對於每條連線採取先到先服務 (First Come First Serve) 的策略。

4.1 資料傳輸速率分析

如圖 9.所示，在 Single Frame 模式下，因模擬環境為 4-Hop 的情形，Relay Zone 可用的資源過少，隨著背景流量的增加，MRS 被拒絕連線的機率也漸增，在選擇距離最近站台的機制下，MRS 可能會選擇 Hop 數較多的站台，該站台連線路徑上使用的背景流量也較多，加上 MRS 無法預測網路資源使用的情形，且在背景流量為隨機分布的情況，換手後被拒絕連線的機率也會提升，造成資料傳輸速率大幅下降。但此種選擇機制下，服務站台持續保持訊號較佳的狀態，路徑損失也相對較少，故於 Multi Frame 模式，如圖 10.所示，系統負載較輕的情況下，選擇距離最近的換手目標會有較好的傳輸速率；但背景流量超過 60 個 MS 且系統負載加重時，傳輸速率遞減的幅度也較高。

在選擇 Hop 數最低站台的機制下，選擇的目標站台其連線路徑上的背景流量也較少，連線被拒絕的機率也較低，故相對距離最近的機制下，傳輸速率也較為高。

在以 QoS 考量的選擇機制下，我們預先計算系統的負載量及目標站台連線路徑上的背景流量，使 MRS 能盡量選擇可提供服務的目標站台，並決定換手的時機，如此可降低換手後被拒絕連線的機率，傳輸速率相較前述兩種機制也較佳；故於 Multi Frame 的模式，傳輸速率下降的幅度也較為低。若再加入 Hop 數最少的選擇條件，有助於選擇背景流量更少的站台，傳輸速率也會再提升。

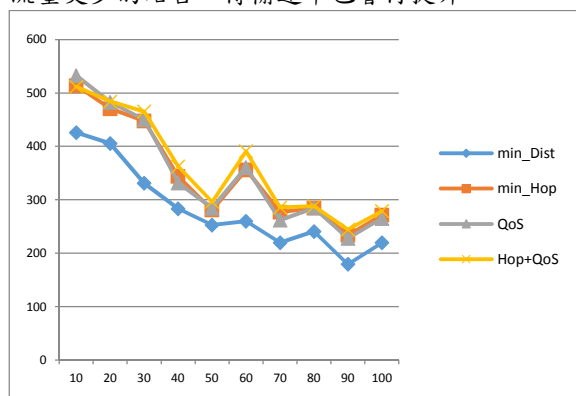


圖 9. MRS 附屬 15MS 之 Single Frame 傳輸速率

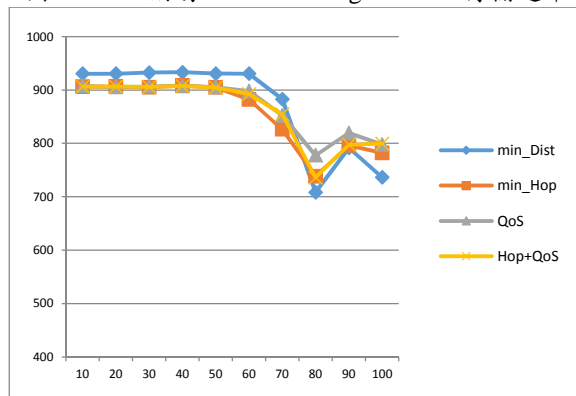


圖 10. MRS 附屬 15MS 之 Multi Frame 傳輸速率

4.2 端點延遲分析

我們根據在不同數量的背景流量下，分析

MRS 所接收到的平均封包傳送的端點延遲。如圖 11.所示，在 Single Frame 的模式下，因可用資源的限制，連帶使得傳輸速率的低落，尤以選擇距離最近站台機制最為明顯，我們採用的端點延遲計算包含連線失敗的部分，當連線被拒絕時，封包無法傳送至目標 MRS，我們即累計封包傳送的訊框時間，連線中斷時間越長，累計的就越多，故高連線拒絕率的機制其端點延遲亦越長。而 Multi Frame 的模式下，如圖 12.所示，因可用的資源較多，背景流量直至 60MS 之後才可看出差異，亦可發現選擇距離最近站台其延遲上升幅度較其他機制都來的大。

在以 QoS 考量的選擇機制下，因其考量系統與目標站台的資源使用情形，且換手時機機制能縮短網路中斷的時間，在兩種 Frame 的模式下皆較其他機制佳，尤以 Multi Frame 模式下更能看出差距。

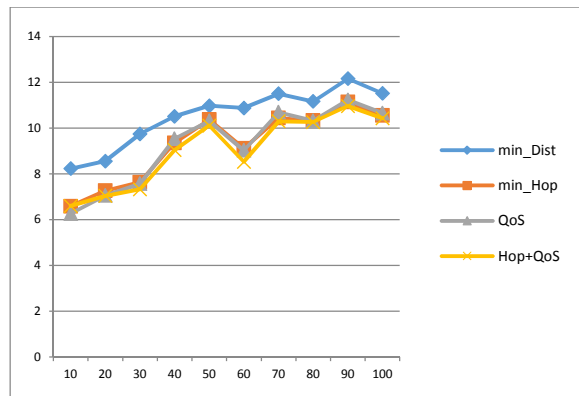


圖 11. MRS 附屬 15MS 之 Single Frame 端點延遲

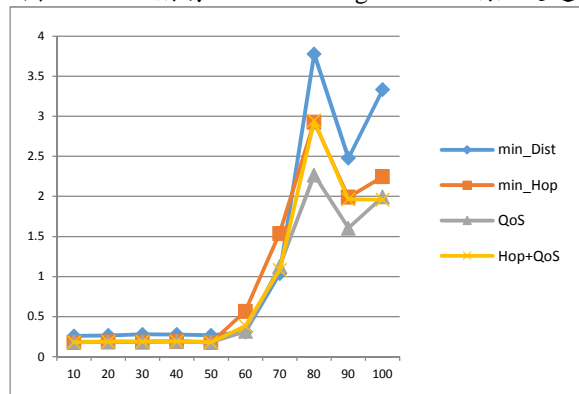


圖 12. MRS 附屬 15MS 之 Multi Frame 端點延遲

4.3 換手失敗率分析

接著我們同樣在不同數量的背景流量下，分析 MRS 在換手後遭目標站台連線拒絕的機率。在 Single Frame 模式下，如圖 13.所示，選擇最近站台的機制由於無法估算系統資源使用狀態，且若 MRS 欲換手置系統最大 Hop 數之 RS 時，系統將成為 5-Hop，Relay Zone 也將進行重新切割，使得可用資源更加減縮，如此系統亦無法保證原本服務之 MS 流量，將使 MRS 連線拒絕的機率提升。而採用選擇最少 Hop 數的機制較能避免此種問題，但選擇 Hop 數少的站台相對的雙方之連線距離也

較為遠，使得換手的次數較為提高。

而採用 QoS 考量的選擇機制，我們將盡量避免 MRS 連線至系統 Hop 數最大的 RS，若候選站台僅此一個 RS，也會縮短在此 RS 範圍逗留之時間，連線失敗率也較低。另外在 Multi Frame 的模式，如圖 14.，在 80MS 的背景流量下，超過 15 個 MRS 附屬 MS 後，可看出各機制間的差異，其中仍以 QoS 考量的選擇機制較佳。

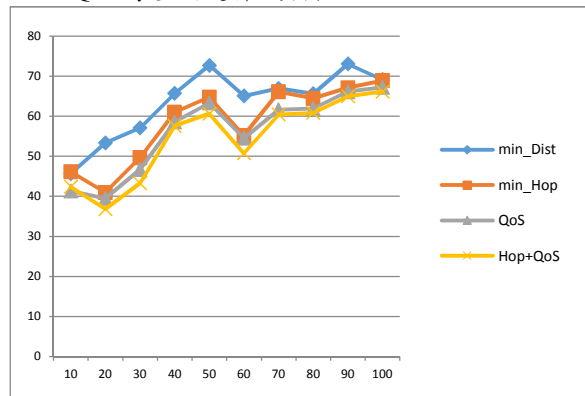


圖 13. MRS 附屬 15MS 之 Single Frame HO 失敗率

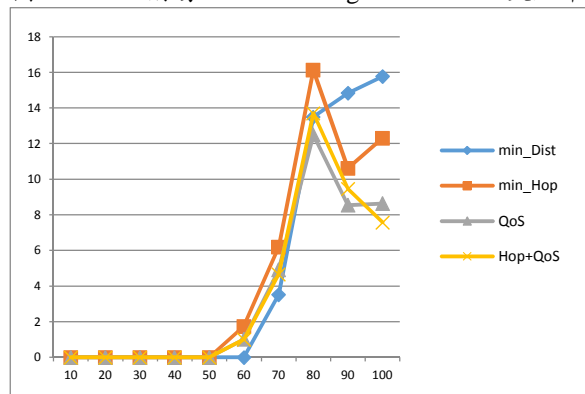


圖 14. MRS 附屬 15MS 之 Multi Frame HO 失敗率

4.4 換手延遲分析

這裡我們統計每次 MRS 執行換手時所測得的平均換手延遲時間，換手延遲以選擇的目標站台為依據，選擇 Hop 數越少的站台其換手延遲也會降低，故 Single Frame 模式與 Multi Frame 模式，兩者之換手延遲結果相似，如圖 15.和 16.所示。以選擇距離最近站台的機制下，若 MRS 距離 MR-BS 越遠，所選擇的 RS Hop 數就越高，換手延遲也最為嚴重；而選擇最短 Hop 數的機制其換手延遲大幅降低，但此機制為掃描到 Hop 數少的站台即換手，會因此增加換手的次數。

在以 QoS 為考量的選擇機制下，MRS 會選擇連線路徑上較少背景流量的站台為目標，相對較 Hop 數少的站台有更好的服務效能，若再加上 Hop 數少的條件，可獲得更佳的效果。

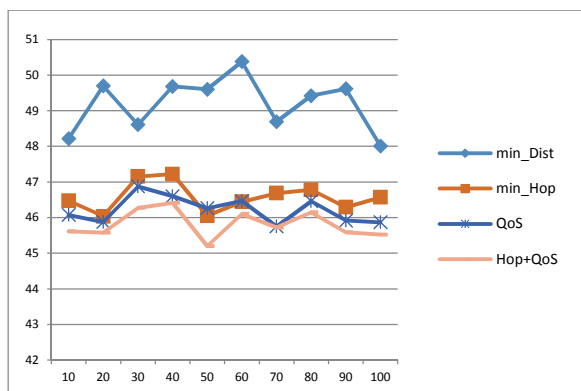


圖 15. MRS 附屬 15MS 之 Single Frame 換手延遲

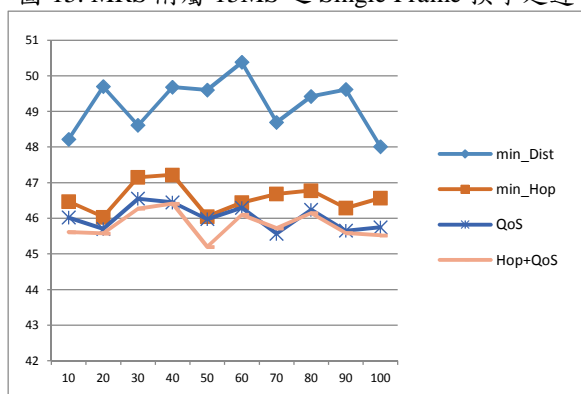


圖 16. MRS 附屬 15MS 之 Multi Frame 換手延遲

5. 結論

本篇論文提出了一個具 QoS 考量之行動式中繼站的換手選擇策略，可在系統架構不變的情形下，提供適合群組換手之選擇目標，此策略可評估整個系統及目標服務站台之資源利用狀態，並可決定換手的時機點與縮短連線中斷的時間，適合 MRS 此類具大量的資料服務要求的節點使用。

經由我們設計的模擬程式所實驗的結果，與其他選徑策略相比，本論文所提出的策略可有效的降低連線拒絕率，並提升資料傳輸率及降低封包傳送的端點延遲，更可降低換手時的延遲時間，加速換手的流程。另外，本策略於 Single Frame 及 Multi Frame 的架構下皆能有效提升 MRS 的服務品質，尤其是在 Multi Frame 架構下更能突顯其優點。

參考文獻

[1] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems - Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands. IEEE Std. 802.16e-2005.

[2] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems. IEEE Std. 802.16-2009.

[3] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems - Amendment 1:

Multihop Relay Specification. IEEE Std. 802.16j-2009.

[4] N. A. Ali, A. M. Taha, H. S. Hassanein, "LTE, LTE-Advanced and WiMAX: Towards IMT-Advanced Networks", John Wiley & Sons, November 2011.

[5] Z. F. Tao, A. F. Li, K. H. Teo, J. Y. Zhang, "Frame Structure Design for IEEE 802.16j Mobile Multihop Relay (MMR) Networks", IEEE Global Communications Conference (IEEE GLOBECOM), November 2007.

[6] S. J. Ann, K. G. Lee, and H. S. Kim, "A Path Selection Method in IEEE 802.16j Mobile Multi-hop Relay Networks", 2nd International Conference on Sensor Technologies and Applications, 2008: pp. 808-812.

[7] S. Y. Kim, S. J. Kim, S. W. Ryu, H. W. Lee and C. H. Cho, "Performance Analysis of Single-Frame Mode and Multi-Frame Mode in IEEE 802.16j MMR System", The 19th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2008.

[8] Yu Ge, Su Wen, Y. H. Ang, and Y. C. Liang, "Optimal Relay Selection in IEEE 802.16j Multihop Relay Vehicular Networks", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 59, No. 5, 2010: pp. 2198-2206.

[9] H. Zhang, X. Wang, and Y. Huang, "A Novel Path Selection Mechanism for IEEE 802.16j Network", IEEE 71st Vehicular Technology Conference, 2010.

[10] P. Kolomitro, A. M. Taha and H. Hassanein, "A Performance Comparison of Frame Structures in WiMAX Relay Networks", 6th IEE International Workshop on Performance and Management of Wireless and Mobile Networks (P2MNET), 2010: pp. 769-776.

[11] C. So-In, R. Jain and A. K. Al-Tamimi, "Resource Allocation in IEEE 802.16 Mobile WiMAX", Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA), CRC Press, April 2010.

[12] J. I. del-Castillo, F. M. Delicado, J. Delicado and J. M. Villalon, "OFDMA Resource Allocation in IEEE 802.16 Networks: A Performance Comparative", Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC), 2010.

[13] M. Abdennebi, Y. Ghamri-Doudane and Y. Li, "Adaptive CAC with Traffic Flows Classification for IEEE 802.16 Networks", IFIP Wireless Days (WD), 2010.

[14] J. Sultan, N. Misran, M. Ismail and M. T. Islam, "A Spectrally Efficient Macrodiversity Handover Technique for Interference-Limited IEEE 802.16j Multihop Wireless Relay Networks", ETRI Journal, Vol. 33, No. 4, Korea, 2011: pp. 558-568.