

在 IEEE 802.16j 網路中具多裝置同步傳輸與最大等待時間考量的上行排程機制

劉映劭

中興大學網媒所
n9783001@cs.nchu.edu.tw

高勝助

中興大學資工系
sjkao@cs.nchu.edu.tw

摘要

IEEE 802.16j 中繼轉送技術可擴大網路服務範圍和強化無線傳輸訊號，也使得基地台和用戶端間的傳輸路徑，被劃分為基地台對中繼站和中繼站對用戶端的傳輸組合，因此根據不同使用者間的傳輸組合，資源排程將具備多裝置同步傳輸的特性。基於此特性，許多研究方法相繼提出，但都存在不相容於 IEEE 802.16j 環境的問題。因此本論文針對 IEEE 802.16j 上行傳輸方向，提出一個具多裝置同步傳輸能力與最大等待時間考量的基地台排程機制(MT-MLF)。由實驗結果可知，透過設計的多裝置同步傳輸技術和資源分配規則，相較於傳統 IEEE 802.16j 排程機制，MT-MLF 在系統上行平均傳輸速率和最大等待時間違反比例效能表現上都有顯著提升。

1.1 研究動機與目的

IEEE 802.16j[1]是基於 IEEE 802.16 標準的增修版本，以加入中繼站的方式來達成資料轉送能力，其運作模式可分為透明式中繼站和非透明式中繼站，分別以強化系統傳輸訊號和增加系統覆蓋範圍為主要目標。IEEE 802.16j 網路中資料傳輸路徑由於中繼站的加入，使原本用戶端到基地台的單一連結，被劃分為用戶端到中繼站的存取連結(Access Link)和中繼站到基地台的中繼連結(Relay Link)。因此 IEEE 802.16j 的訊框結構不論在上行子訊框或下行子訊框都由存取區域(Access Zone)與中繼區域(Relay Zone)所組成。

為了避免網路中各傳輸裝置間的訊號干擾，WiMAX 基地台以傳輸裝置為單位進行頻寬資源的分配，用戶端藉由解讀 MAP 訊息，可在特定的訊框區間進行資料的傳送或接收。但此方式在 IEEE 802.16j 架構下，也間接限縮頻寬資源的利用效率，其原因為假設兩用戶端針對不同的接收端裝置，例如基地台與中繼站，進行資料傳輸，且兩用戶端之間不存在訊號的重疊干擾，那麼實際上兩用戶端是可在相同的訊框區間進行資料傳送。為達成此目標，偵測與建構網路中各裝置間的潛在干擾關係，是在進行資源排程前，必須先完成的步驟。

因此本論文針對 IEEE 802.16j 透明式中繼網路架構，提出一個針對上行傳輸方向具多裝置同步傳輸能力與最大等待時間考量的基地台排程機制 MT-MLF，透過其中所設計的干擾偵測流程，並搭配資源分配規則與訊框動態調整的策略，在優先滿足即時性連線需求的前提下，以提升網路系統傳輸速率與頻寬資源利用率為主要目標。

2.1 IEEE 802.16j 透明式中繼模式

透明式中繼站不具資源排程能力，僅依基地台的排程規劃，在上行方向轉送來自用戶端的連線資料給基地台或是在下行方向選擇性地支援轉送來自基地台的連線資料給用戶端，因此將透明式中繼站布建在基地台訊號範圍內，藉此強化系統訊號傳輸品質與系統傳輸效能，如圖 1 所示，由圖中可知用戶端與透明式中繼站同樣接收來由基地台發出的週期性控制訊息如 Preamble、DL-MAP 和 UL-MAP，透過這些訊息可與基地台進行同步

作業和了解頻寬資源的分配規畫。就用戶端而言，傳輸過程中並不知道中繼站的存在，因此透明式中繼網路中基地台依然主導整體頻寬資源的分配利用。

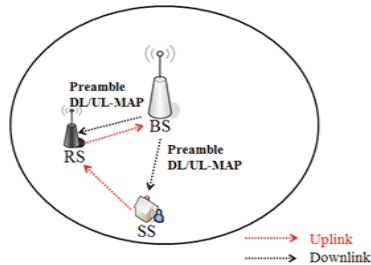


圖 1. 透明式中繼網路

2.2 IEEE 802.16j 透明式訊框結構

圖 2 為標準中訂定的 IEEE 802.16j 透明式訊框結構，由於 IEEE 802.16j 在實體層採用正交分頻多工存取(Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA)技術，因此訊框是由頻率和時間組成的二維結構，做為縱軸的頻率是以次載波(Sub-channel)為單位，橫軸為時間以符碼(Symbol)為單位，所有的次載波可進一步分為數個次載波群組，這些次載波群組則稱為次通道(Sub-channel)。時槽(slot)做為實體資源分配的最小單位，是由一個次通道和數目不等的符碼所組成，視使用的次通道方法而定；多個時槽可再組成一個 Burst。

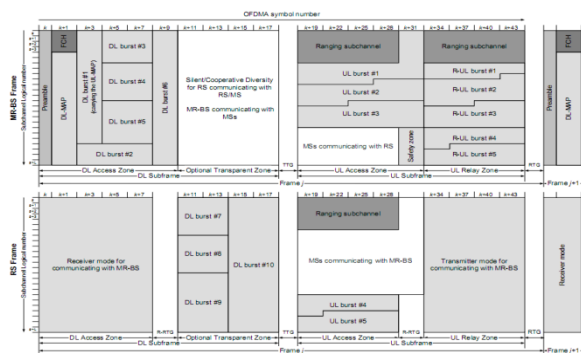


圖 2. IEEE 802.16j 透明式訊框結構

一條經由中繼轉送的連線其資料路徑不論在上行或下行方向，用戶端與基地台或用戶端與中繼站之間的連線定義為存取連結

(Access link)，而中繼站與基地台或中繼站與中繼站之間的連線則定義為中繼連結(Relay Link)。

2.3 中繼式網路的網路進入程序

當用戶端開機後，在進入網路存取服務之前，必須經過一連串與基地台間的溝通協調步驟，以取得身分認證與連線傳輸所需的運作參數，此程序稱為網路進入(Network Entry)，如圖 3 所示。

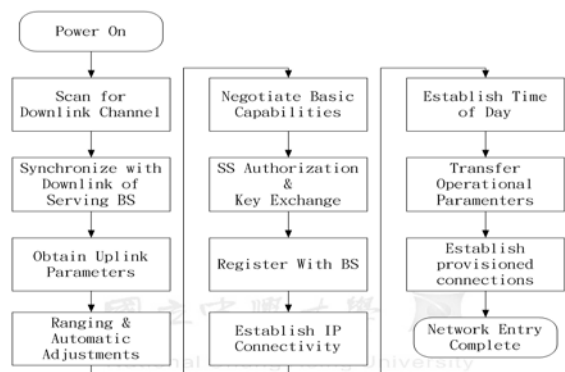


圖 3. 用戶端網路進入程序

中繼站的網路進入程序大致上與用戶端相同，除了再加入鄰近節點測量、存取路徑選擇和操作參數配置等步驟，以便偵測中繼站附近的其他中繼站台，並決定中繼站在傳輸路徑上的父節點裝置(基地台或其他中繼站)，並由基地台配置相關的運作參數。

2.4 相關研究

近年來許多研究方法也提出類似多裝置同步傳輸機制。在[2][3][4]中，作者基於 spatial independency 技術，利用地形地物對傳輸訊號產生的遮蔽關係，安排互不干擾的裝置同時進行傳輸，但此方式只適用事先規畫好的網路環境，因此在網路布建上相對缺乏彈性。在[5][6][7]中，則透過事先得知的裝置間干擾關係，藉由所設計的排程策略達成多裝置的同步傳輸，這類型方法適用於動態的網路環境，因此如何偵測網路中的訊號干擾關係成為關鍵，但[5][6]並未針對完整的訊號干擾偵測與

干擾關係的建立流程有詳細說明，並且[5][6]使用的 PHY 層 OFDM 調變技術也相異於 IEEE 802.16j 採用的 OFDMA 技術；再者[5][6][7]也都未針對 IEEE 802.16j 的訊框特性採取相對應的排程策略，排程策略也以傳輸速率做為主要考量，未探討其他的 QoS 參數。

3 MT-MLF 排程機制

為解決 2.4 節提到的各項問題，本論文提出 MT-MLF 機制。在避免訊號干擾前提下，MT-MLF 可最大化各 Burst 內可同時進行傳輸的裝置數量，並以連線最大容許等待時間和時槽資源利用效率設計資源分配規則，並搭配動態調整上行子訊框內區間比例，主要目標為提升網路系統上行平均傳輸速率並降低違反最大等待時間的即時封包數。3.1 節首先說明多裝置同步概念與干擾偵測步驟；3.2 節詳細說明 MT-MLF 頻寬資源分配流程和相關細節。

3.1 裝置同步概念與干擾偵測步驟

圖 4 為中繼式網路，假設用戶端 B 對基地台提出連線請求，同時用戶端 A 也有與中繼站的資料傳輸等待進行，若能將 A、B 兩用戶端的資料傳輸排入同一個 Burst 內，將有助於提升系統上行傳輸容量，使得更多用戶端有機會獲得資源服務，此即為多裝置同步傳輸概念。為達成此目標，網路中各裝置間潛在的訊號干擾關係必須在進行頻寬資源排程前先行偵測並建立完成。3.1.1 節和 3.1.2 節為一系列的干擾偵測與干擾關係建立流程步驟。

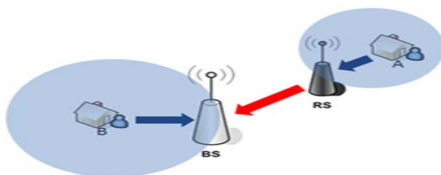


圖 4. 中繼式網路

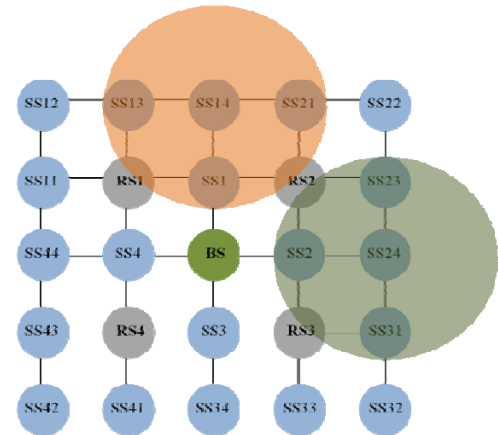


圖 5. 模擬 IEEE 802.16j 網路拓模

3.1.1 建立裝置分群表

以圖 5 所示的網路架構做為說明，當中有一個基地台 BS 和四個中繼站 $RS_i (i=1,2,3,4)$ ，每個 RS 下有四個透過它與基地台通訊的用戶端 $SS_{ij} (i=1,2,3,4 \text{ \& } j=1,2,3,4)$ 。假設目前 SS14 與 RS1 間有傳輸需求，從圖中可知 SS14 傳輸訊號除了其父節點裝置 RS1 會收到外，SS14 的訊號範圍也及於鄰近非父節點的 RS2，若 SS24 和 RS2 間也有連線等待進行，那麼排程時若將兩用戶端 SS14 與 SS24 連線排入同一 Burst 內，這將使得 RS2 接收端發生訊號的干擾碰撞導致資料漏失。因此干擾偵測的重點在於接收端裝置對其他傳送端訊號的收聽關係，此部分可再細分為內部干擾偵測和外部干擾偵測。內部干擾意思為一接收端裝置若同時收到兩個以上子節點裝置的資料傳輸，那麼該接收端裝置將會產生訊號干擾碰撞；外部干擾則為用戶端訊號擴及鄰近非父節點接收端裝置所造成，如上述 SS14 傳輸時造成 RS2 的訊號干擾即為外部干擾。

基於上述理由首先在基地台內建立一份裝置分群表，此表以各接收端裝置做為分群依據，每個群組內成員為與接收端裝置直接通訊的子節點裝置，如圖 5 中，將會產生 GBS、GRS1、GRS2、GRS3 和 GRS4 五個群組，如

表 1 所示。裝置分群表可用以避免可能的內部干擾狀況，例如 GRS1 群組內的用戶端 SS11 已被排入一 Burst 內，此時同群的其他用戶端將被視為凍結狀態，意即 SS12、SS13 和 SS14 不可同時排入 SS11 存在的 Burst 內；此外裝置分群表可再配合 3.1.2 節後續的干擾偵測機制，進一步使得 MT-MLF 進行多裝置同步傳輸排程時具備避免外部干擾的能力。裝置分群表建立時所需的裝置間從屬資訊，基地台可由 2.3 節提到的網路進入程序獲得。

表 1. 裝置分群表

群組名稱	GBS	GRS1	GRS2	GRS3	GRS4
接收端父節點裝置 & 隸屬接收端裝置的子節點裝置	BS	RS1	RS2	RS3	RS4
	SS1	SS11	SS21	SS31	SS41
	SS2	SS12	SS22	SS32	SS42
	SS3	SS13	SS23	SS33	SS43
	SS4	SS14	SS24	SS34	SS44
	RS1				
	RS2				
	RS3				
	RS4				

3.1.2 建立內外干擾關係表

標準中提供名為 Sounding 的訊號機制，基地台要求各用戶端依序發送一個預先定義的傳輸訊號，以此訊號估計上行通道品質狀況。運用類似概念，可以偵測潛在的外部干擾關係。

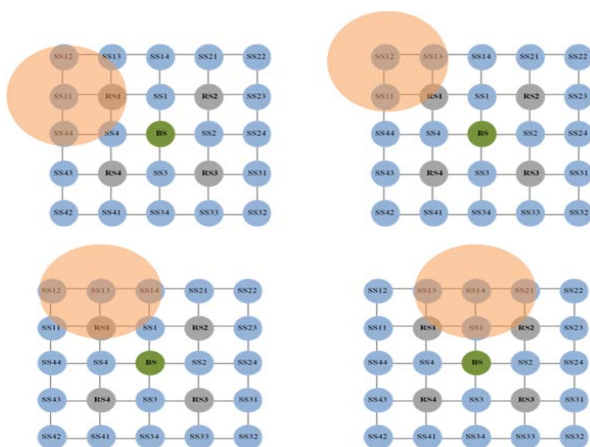


圖 6. 隸屬 RS1 子節點裝置 sounding 過程

首先，基地台分配每個用戶端獨立的頻寬資源，要求用戶端依序送出傳輸訊號，圖 6 為隸屬 RS1 的各個用戶端 SSij(i=1 & j=1,2,3,4) 在獨立資源區間內的訊號傳輸過程，由圖中可知 RS1 會收到其子節點用戶端的傳輸訊號，而鄰近 RS2 則會收到由 SS14 發出的傳輸訊號；RSi(i=2,3,4)下的各用戶端 SSij(i=2,3,4 & j=1,2,3,4) 和直接與 BS 通訊的用戶端 SSi(i=1,2,3,4)也依此方式執行。過程中每個中繼站和基地台記錄對各用戶端訊號的聽取狀況，直到所有用戶端傳送完畢，各中繼站回報內部所紀錄的訊號聽取狀況給基地台，因此基地台藉由整合收集資訊，可在內部建構出一份上行方向以接收端裝置為主的訊號偵測表，如表 2 所示，當中○代表接收端裝置收到此用戶端所送出的傳輸訊號，反之●則代表接收端裝置未收到此用戶端訊號。

例如基地台排程器由表中得知 RS1 收到來自 SS1、SS4、SS44 和 Sij(i=1 & j=1,2,3,4) 發出的傳輸訊號，透過 3.1.1 節建立的裝置分群表可知 Sij(i=1 & j=1,2,3,4)為隸屬 RS1 的子節點裝置、SS1 和 SS4 屬於 BS 的子節點裝置而 SS44 屬於 RS4 的子節點裝置，因此排程時就可避免把{SS1 or SS4}→BS 和 SS44→RS4 排入 SSij(i=1 & j=1,2,3,4)→RS1 所使用的 Burst 內，以此避免在 RS1 產生外部干擾狀況。

表 2. 以接收端裝置為主的訊號偵測表

SS	SS1	SS2	SS3	SS4	SS11	SS12	SS13	SS14
RS1	○	●	●	○	○	○	○	○
RS2	○	○	○	●	●	●	●	○
RS3	○	○	○	○	○	○	○	○
RS4	○	○	○	○	○	○	○	○
BS	○	○	○	○	○	○	○	○
SS	SS21	SS22	SS23	SS24	SS31	SS32	SS33	SS34
RS1	○	○	○	○	○	○	○	○
RS2	○	○	○	○	○	○	○	○
RS3	○	○	○	○	○	○	○	○
RS4	○	○	○	○	○	○	○	○
BS	○	○	○	○	○	○	○	○
SS	SS41	SS42	SS43	SS44				
RS1	○	○	○	○				
RS2	○	○	○	○				
RS3	○	○	○	○				
RS4	○	○	○	○				
BS	○	○	○	○				

接著基地台依據表 2，整合擴充裝置分群表，得出內外干擾關係表做為最終排程時避免干擾的參考標準，如表 3 所示。

表 3. 內外干擾關係表

GRS1				
成員	外部干擾			
RS1	SS1	SS4	SS44	
SS11				
SS12				
SS13				
SS14	RS2			

GRS2				
成員	外部干擾			
RS2	SS1	SS2	SS14	
SS21				
SS22				
SS23				
SS24	RS3			

GRS3				
成員	外部干擾			
RS3	SS2	SS3	SS24	
SS31				
SS32				
SS33				
SS34	RS4			

GRS4				
成員	外部干擾			
RS4	SS3	SS4	SS34	
SS41				
SS42				
SS43				
SS44	RS1			

GBS			
成員	外部干擾		
BS			
SS1	RS1	RS2	
SS2	RS2	RS3	
SS3	RS3	RS4	
SS4	RS1	RS4	

表 3 內成員欄位由原本裝置分群表內的父節點接收端裝置和子節點用戶端所組成，外部干擾欄位則透過接收端為主的訊號偵測表所得，成員若為接收端裝置，則在其外部干擾欄位記錄除子節點裝置外其能聽到訊號的非子節點裝置，成員若為隸屬接收端裝置的子節點用戶端則在外部干擾欄位記錄其訊號所能及的非父節點接收裝置。以表 3 中 GRS1 為例說明，成員包含做為接收裝置的 RS1 和其下的子節點用戶端 SS11、SS12、SS13 和 SS14，由表 2 訊號偵測表可知 RS1 會另外收到 SS1、SS4、SS44 的傳輸訊號，因此在外部干擾欄位記錄這些裝置資訊，又由於 SS14 其訊號範圍擴及 RS2，因此也將 RS2 記錄在 SS14 的外部干擾欄位。假設此時用戶端 SS14 獲得排程服務，那麼排程器將會檢查做為傳輸端的 SS14 和做為接收端的 RS1 他們的外部干擾欄位，由表 3 中可知 SS14 和 RS2 之間存在外部干擾關係，因此以 RS2 做為接收端的傳輸連線將不會被排程器挑選排入 SS14→RS1 存在的 Burst 內，以避免在 RS2 產生訊號干擾導致

資料漏失；相同的 RS1 與 SS1、SS4 和 SS44 也存在外部干擾關係，因此排程器不會挑選這三個裝置連線排入 SS14→RS1 存在的 Burst 內，而當 SS14→RS1 被排程後，同群內其餘用戶端裝置 SS11、SS12 和 SS13 的連線傳輸也不會被排入同一 Burst 內，以避免內部干擾的產生。因此 MT-MLF 最終藉由表 3 內外干擾關係表就可在避免干擾的前提下，達成多裝置同步傳輸目的。

3.2 頻寬資源分配流程和相關步驟

在具備安排多裝置同步傳輸能力後，MT-MLF 再以實體層時槽做為資源分配基礎，並進一步納入各連線在時間上的 QoS 需求做為排程考量。因此 3.2.1 節首先介紹連線頻寬需求與實體層時槽對應關係；3.2.2 節介紹連線的最大容許等待訊框數；3.2.3 節則為 MT-MLF 資源分配規則。

3.2.1 連線頻寬需求與實體層時槽對應關係

受不同傳輸環境影響，一個 WiMAX 訊框所能使用的頻寬容量並非固定值，因此若以總頻寬做為全部可用資源標準，可能導致 MAC 層的資源排程無法與實體層資源確實應對。因此引用 HUF[8]提出的可適性調變與編碼率和時槽容量之間的對應關係如表 4，把以位元組為單位的頻寬請求轉換成所需的實體層時槽數。

表 4. 調變編碼與時槽容量對應關係

調變	編碼率	時槽容量(byte/個)
BPSK	1/2	3
	2/3	4
	3/4	4.5
	5/6	5
QPSK	1/2	6
	2/3	8
	3/4	9
	5/6	10
16QAM	1/2	12
	2/3	16
	3/4	18
	5/6	20
64QAM	1/2	18
	2/3	24
	3/4	27
	5/6	30

3.2.2 最大容許等待訊框數

一條透過中繼轉送的用戶端連線，其資料路徑由用戶端到中繼站的存取連結和中繼站到基地台的中繼連結所組成，所以在 IEEE 802.16j 上行子訊框劃分出具不同運作模式的 Access Zone 和 Relay Zone，兩者分別保留給存取連結和中繼連結使用，因此一條即時性連線，基地台必須同時考量兩連結的時效特性做集中式排程。假設一用戶端連線只獲得存取連結上所需的頻寬資源，但在中繼連結卻未獲得排程機會，那麼該連線中超過最大容許等待時間的封包便會被丟棄。為了盡量降低即時性連線封包的逾時比例，MT-MLF 納入最大容許等待時間參數做為排程考量。

WiMAX 以長度 5ms 的訊框做為資源分配單位，MT-MLF 引用 HUF[8]提出的公式(1)將各連線的最大容許等待時間轉換成最大容許等待訊框數，公式(1)中 ML 代表連線的最大容許等待時間，FD 則為一個訊框的時間長度，兩者相除取下界即為此連線的 deadline 值，例如 deadline=2 表示再過兩個訊框即屆滿該連線所能等待的時間上限，當 deadline 值遞減為 0 該連線封包將被丟棄。因此 MT-MLF 以 deadline 值做為連線時效性需求指標，資源分配時必須優先服務 deadline 值即將遞減為 0 的連線。所以在 2-Hops 傳輸路徑中，當用戶

端連線的 deadline=2 時必須優先給予資料路徑上存取連結所需的頻寬資源，接著再滿足該連線在中繼連結上的頻寬需求，如此才能在 deadline 值遞減為 0 前，完成此連線的資料傳輸路徑。

$$\text{最大容許等待}(\text{deadline}) = \frac{\text{ML}}{\text{FD}} \dots(1)$$

3.2.3 資源分配規則

在不同網路環境中，Access Zone 和 Relay Zone 在上行方向所佔的資源比例，影響整體資源使用效率。因此 MT-MLF 針對當前各連線即時性需求等特性，以動態方式調整每個上行子訊框 Access Zone 和 Relay Zone 的資源比例。3.2.3.1 節先說明 MT-MLF 資源分配策略；3.2.3.2 節再說明基於此分配策略的 Access Zone 和 Relay Zone 比例動態調整方法。

3.2.3.1 MT-MLF 資源分配策略

進行資源分配前，排程器藉由公式(2)計算各連線的時槽利用率(SU)，並由高到低排序；公式(2)中 BR 表示連線頻寬需求的位元組數，SR 則為該連線經由 byte-to-slot 轉換後所需的時槽數，SC 則為一個時槽能載送的位元組數。由 SU 值做排序目的是為了在資源分配過程中可優先選取時槽利用率較高的連線，以提升網路系統傳輸效能。

$$\text{Slot_Utilization}(\text{SU}) = \dots(2)$$

圖 7 為資源分配流程圖。為避免中繼站成為傳輸效能上的瓶頸，因此排程方法首先選取中繼站內 deadline=1 的中繼連結給與所需的時槽資源，若有剩餘可用時槽，接著選取用戶端 deadline≤2 的存取連結分配其所需的時槽資源。基於連線時效性需求，因此以上述過程做為第一步驟，由於 deadline=1 的中繼連結再經過一個訊框即逾時，因此必須在當前訊框獲得排程機會；而用戶端內存在兩種不同資料路徑的即時性連線，一種透過中繼站轉送到基

地台，由於本論文傳輸路徑以 2-hops 為前提，因此當連線 deadline=2 時必須優先獲得排程機會，才能在期限內完成路徑上的存取連結和中繼連結，而另一種連線則直接與基地台通訊，因此當 deadline=1 時為其必須獲得資源分配的最後期限。利用 MT-MLF 具備的多裝置同步技術，步驟一中每當選取一用戶端存取連結後，基地台排程器會根據內外干擾關係表，挑選其他用戶端的存取連結排入同一 Burst 內，挑選對象優先順序為剩餘 deadline≤2 的用戶端即時性連線、deadline>2 的用戶端即時性連線和用戶端非即時性連線。在每個 Burst 內盡量提高可同步傳輸的裝置數，若此 Burst 內無法再排入其他裝置傳輸，則進行下一個 Burst 的資源規劃。

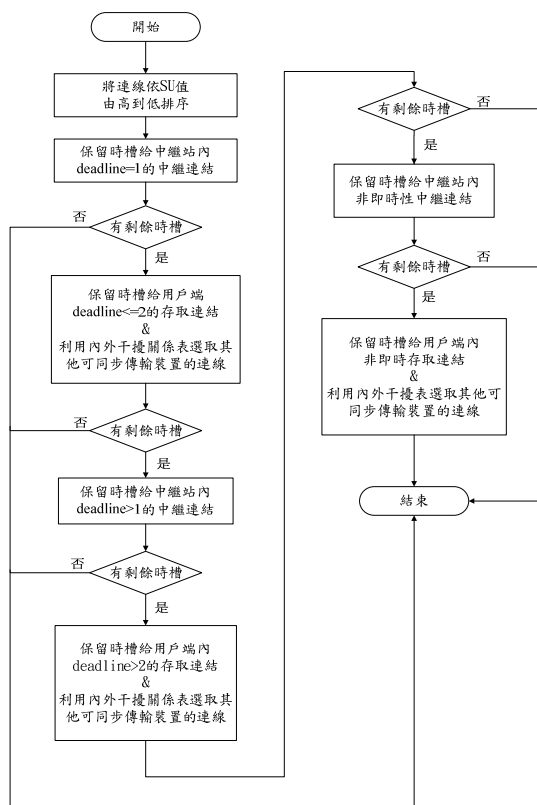


圖 7. MT-MLF 資源分配流程圖

完成第一步驟後檢查是否還有時槽資源，若有則步驟二繼續滿足中繼站內即時性連線資源需求，接著服務用戶端即時性連線，如同步驟一當一用戶端連線排入 Burst 後，再根據內外干擾關係表挑選其他可同步傳輸裝置

的連線排入相同 Burst 內，挑選對象優先順序為其餘 deadline>2 的用戶端即時性連線和用戶端非即時性連線。完成上述步驟若還有時槽資源，步驟三則以相同規則分別服務中繼站和用戶端內非即時性連線。

3.2.3.2 Access Zone / Relay Zone 動態比例分配

3.2.3.1 節資源分配策略實做在動態調整 Access Zone 和 Relay Zone 比例上，此調整概念依據各裝置連線資源需求，首先使用 Column-major 方式逐步計算與保留 Access Zone 與 Relay Zone 所需的頻寬資源，待所有連線需求獲得滿足或時槽資源用盡後，以最終得到的 Access Zone 和 Relay Zone 比例，做為實際分配時槽資源和產生 UL MAP 的依據，而實際分配採用 Row-major 方式，以符合標準的規定。

表 5. 各裝置連線頻寬需求

裝置	連線	最大等待延遲	時槽需求數	時槽利用率
RS1	Traffic 01	1	5	0.98
RS3	Traffic 03	7	6	0.84
RS4	Traffic 04	15	4	0.88
SS1	Traffic S1	1	5	0.97
SS3	Traffic S3	10	3	0.99
SS4	Traffic S4	None	7	0.73
SS11	Traffic 11	None	4	0.85
SS24	Traffic 24	2	5	0.92
SS32	Traffic 32	None	3	0.98
SS42	Traffic 42	8	2	0.75

以 3.1.1 節圖 5 網路拓撲為例子，假設目前有數個裝置提出連線頻寬需求，如表 5 所示(此為方便解釋說明並不等於實際網路情況)。資源分配過程以圖 8 (A)~(H)說明。由圖 8(A)可知目前上行子訊框共有 36 個時槽資源，依據 3.2.3.1 節資源分配策略，首先將各連線依 SU 值排序，接著挑選 deadline=1 的中繼連結，因此 RS1 Traffic 01 將優先獲得服務機會，由於 Access Zone 和 Relay Zone 為兩矩形區塊，各裝置在兩區塊內有不同的行為模式，因此兩區塊不得交錯分配，由圖 8(B)來說明，當分配 Traffic 01 五個時槽後，可將右邊第一行共 6 個時槽視為暫時 Relay Zone 區

(A). 共 36 個時槽資源

				T01
				T01
				T01
				T01
				T01
				RZ

(B).

G1	G2			T01
G1	G2			T01
G1	G2			T01
G1	G2			T01
G1	AZ			T01
G2	AZ			RZ

(C).

G1	G2		T03	T01
G1	G2		T03	T01
G1	G2		T03	T01
G1	G2		T03	T01
G1	AZ		T03	T01
G2	AZ			T03

(D).

G1	G2		T04	T03	T01
G1	G2		T04	T03	T01
G1	G2		T04	T03	T01
G1	G2		RZ	T03	T01
G1	AZ		RZ	T03	T01
G2	AZ		RZ	T04	T03

(E).

G1	G2	TS4	T04	T03	T01
G1	G2	TS4	T04	T03	T01
G1	G2	TS4	T04	T03	T01
G1	G2	TS4	RZ	T03	T01
G1	TS4	TS4	RZ	T03	T01
G2	TS4	AZ	RZ	T04	T03

(F).

Access Zone			Relay Zone		

(G).

(H). AZ 和 RZ 所佔資源比例 ..

完成第一步驟滿足即將逾時連線後，第二步驟繼續服務中繼站內 $deadline > 1$ 的即時性連線 RS3 Traffic 03 和 RS4 Traffic 04，圖 8(E)和圖 8(F)為時槽分配過程。最終在服務完用戶端非即時性連線 SS4 Traffic S4 後，也決定出在上行子訊框中 Access Zone 和 Relay

4.1 模擬環境與實驗參數

4.2 實驗數據與結果分析

在 2.4 節相關研究提及由於現行各排程機制採用不同於 IEEE 802.16j 的實體層技術或是在設計方法上未能符合 IEEE 802.16j 訊框結構特性，因此無法在相同比較基礎上進行實驗評估。基於此原因，模擬實驗另行設

定三種排程機制，分別為只使用 Traffic Priority 做為 QoS 考量的排程機制(TP)、使用 MT-MLF 中資源分配規則但不具多裝置同步能力的排程機制(SUML)和只具備多裝置同步能力的排程機制(MDST)做為比較對象。

由於實驗目的主要是在評估排程機制具備多裝置同步技術並搭配資源分配規則在效能上帶來的影響，因此以每個用戶端產生一條傳輸連線做為前提。實驗參數除了各中繼站的子節點用戶端個數依實驗需求設定外，其餘如用戶端連線類型、用戶端使用的調變與編碼率、連線最大等待時間等都由亂數隨機分配。

實驗網路架構如圖 9 所示。把各個中繼站的子節點裝置分為兩類型，一類型裝置訊號只及於其父節點中繼站，如圖 9 中 A 透過 RS1 與 BS 通訊，其訊號並不會被鄰近 RS5 和 RS2 接收到，另一類型裝置其訊號除了父節點中繼站會收到外，也會擴及鄰近非父節點中繼站，如 B 和 C 都透過 RS1 與 BS 通訊，鄰近的 RS5 和 RS2 分別會收到 B 和 C 送出的傳輸訊號，而直接與 BS 連線的用戶端設定其傳輸訊號會被鄰近的兩個中繼站接收到，如 D 直接與 BS 通訊，同時 RS2 和 RS3 也會收到來自 D 的傳輸訊號。模擬實驗數據如圖 10 和圖 11。

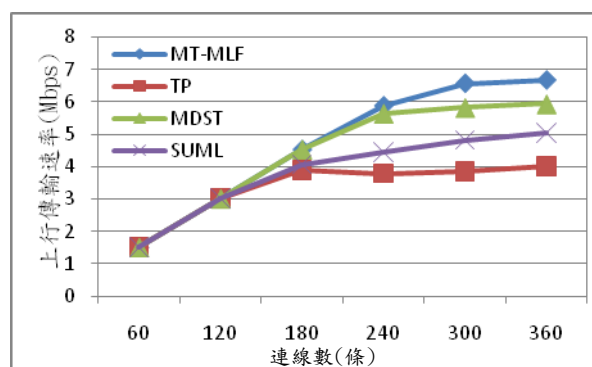


圖 10. 系統上行平均傳輸速率 vs. 連線數

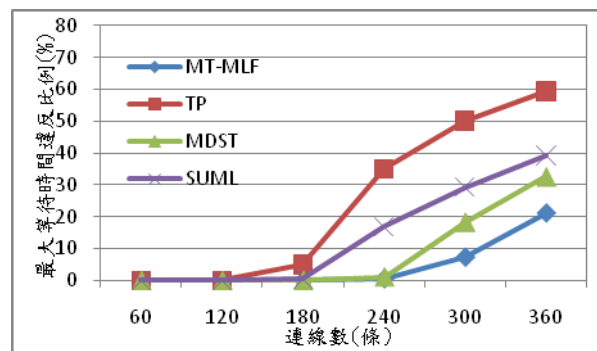


圖 11. 最大等待時間違反比例 vs. 連線數

MT-MLF 藉由內外干擾關係表可掌握拓撲中裝置間潛在的訊號干擾關係，以此避免進行多裝置同步排程時內部干擾和外部干擾的產生。由圖中可知當連線數小於 120 條時，系統傳輸容量足以應付網路中各即時連線頻寬需求，意即每條即時性連線在最大等待時間截止前都能獲得足夠的頻寬資源，所以此時各排程機制在系統上行平均傳輸速率都處於穩定成長狀態，也沒有逾時封包的產生。

隨著網路內用戶端個數持續上升，當總連線數超過 120 條後，TP 受限於系統傳輸容量已達滿載，因此在傳輸速率表現上漸趨平緩，且即時連線間的排擠效應，使得最大等待時間違反比例快速攀升；相同情況也發生在 SUML，但由於 SUML 經由 SU 值排序，並優先滿足即將逾時連線，因此在相同情況下，上行平均傳輸速率仍能持續上升，最大等待時間違反比例也較 TP 為佳。但將兩者對比 MT-MLF 和 MDST 可得知系統傳輸容量仍是效能可有效提升的主要關鍵，因為 MT-MLF 和 MDST 排程具備多裝置同步傳輸能力，相同的頻寬資源可服務更多的使用者，因此當連線數小於 240 條時，MT-MLF 和 MDST 平均傳輸速率仍穩定成長，每個使用者都能獲得頻寬資源和時效需求的滿足，但當網路中連線數超過 240 條後，由於系統容量逐漸達到滿載，因此開始有連線封包無法在 deadline 期限內獲得需求的資源，隨著連線數的增加，MT-MLF

和 MDST 在最大等待時間違反比例上也逐步攀升；不同於 MDST 只具備多裝置同步傳輸能力，MT-MLF 考量連線時槽利用率並優先滿足 $\text{deadline}=1$ 的中繼連結與 $\text{deadline}\leq 2$ 的存取連結，因此能使系統優先排入較佳的連線並積極滿足連線的時效性需求，所以在兩個效能指標表現上依然優於 MDST。

5 結論

MT-MLF 以設計的資源分配策略中連線時槽利用效率與連線時效性需求做為排程考量，優先滿足即將逾時連線的同時，也可使系統充滿 SU 值較高的連線，並搭配多裝置同步傳輸技術，以此提升各 Burst 內可排程裝置數。MT-MLF 資源分配策略運作在動態調整 Access Zone 和 Relay Zone 資源比例的基礎上，以確保存取區域和中繼區域所使用的資源都能處於最佳的利用狀態。因此由實驗結果可知，MT-MLF 排程機制不僅能提升系統傳輸速率，也可積極滿足即時性連線的時效性需求。

參考文獻

- [1] IEEE. 802.16j/D9: Draft Amendment to IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16 : Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Multi-hop Relay Specification, Feb. 2009.
- [2] D. C. Schultz, B. Walke, R. Pabst and T. Imrich, "Fixed and planned relay based radio network deployment concepts," WWRF, Oct. 2003.
- [3] W.-H. Park and S. Bahk, "Resource management policies for fixed relays in cellular networks," IEEE GLOBECOM, Nov. 2006.
- [4] I-K. Fu, W.-H. Sheen and F.-C. Ren, "Deployment and Radio Resource Reuse in IEEE 802.16j Multi-hop Relay Network in Manhattan-like Environment," 6th International Conference on Information, Communications & Signal Processing, Dec. 2007.
- [5] H. Izumikawa, K. Saito, N. Fuke, T. Ueda and K. Sugiyama, "MAP Multiplexing in IEEE 802.16 Mobile Multi-Hop Relay," PIMRC'06, Sept. 2006.
- [6] X. Guo, W. Ma, Z. Guo, X. Shen and Z. Hou, "Adaptive Resource Reuse Scheduling for Multihop Relay Wireless Network Based on Multicoloring," IEEE Communications Letters, Vol. 12, No. 3, Mar. 2008.
- [7] Wen-Suai Huang, "A New MAP Multiplexing Approach for Improving the Channel Utilization in IEEE 802.16j Networks," Master's thesis, National Chung Hsing University, Jun. 2009.
- [8] Yi-Neng Lin, Che-Wen Wu, Ying-Dar Lin, Yuan-Cheng Lai, "Highest Urgency First (HUF): A Latency and Modulation Aware Bandwidth Allocation Algorithm for WiMAX Base Stations", Computer Communications, vol. 32, p332-342, Feb. 2009.
- [9] V. Genc, S. Murphy and J. Murphy, "Performance Analysis of Transparent Relays in 802.16j MMR Networks," 6th International Symposium on WiOPT, Apr. 2008.
- [10] Mobile WiMAX – Part I : A Technical Overview and Performance Evaluation, WiMAX Forum, Aug. 2006
- [11] G. Senarath, W. Tong, P. Zhu, H. Zhang, D. Steer, D. Yu, M. Naden and D. Kitchener, "Multihop System Evaluation Methodology: Traffic Models," IEEE C802.16j-06/024r1, <http://www.ieee802.org/16/relay/>, May, 2006.