

混合光纖同軸網路之動態頻道分配機制

Dynamic channel allocation scheme over HFC network

朱國志 *劉安哲 *李維聰 詹寶珠

成功大學電機工程系 *逢甲大學資訊工程系

台南市大學路 1 號 *台中市文華路 100 號

email: chukc@sparc4.ee.ncku.edu.tw *email: [wtlee@fcu.edu.tw](mailto:wtleee@fcu.edu.tw)

摘要

混合光纖同軸網路是一種多頻道的網路。Multimedia Cable Network System (MCNS) 為現今在混合光纖同軸網路中最具影響力的標準，在標準中並未規範有關於多頻道的運作方式。因此當一個頻道的負載過重時，卻無法將部分使用者切換至其他負載較輕的頻道，造成頻道間的負載不平衡，影響了網路的整體效能。在本篇論文，我們提出了一個動態頻道分配法則，這個法則使用了 MCNS 標準中原有控制訊息。利用我們的法則控制上行頻寬分配表的內容，可以將在重負載頻道的使用者移動至輕負載的頻道，以達到分散流量至各頻道間的目的。經過我們的模擬驗證，我們發現動態頻道分配法則，的確可以達到使各個頻道間負載平衡，並可顯著提升整個網路的整體效能。

關鍵詞：混合光纖同軸網路、MCNS、DOCSIS、多頻道網路、頻道分配機制

1. 簡介

近年來網路快速的發展，各種新的網路服務被推出，如：線上連線遊戲、Voice over IP (VoIP) 等服務，造成上網的人數急遽增加，對於網路的頻寬需求也隨之呈倍數成長。傳統家中電話網路經由數據機所能提供的頻寬，早已無法滿足大多數人的需求，此時具有高頻寬

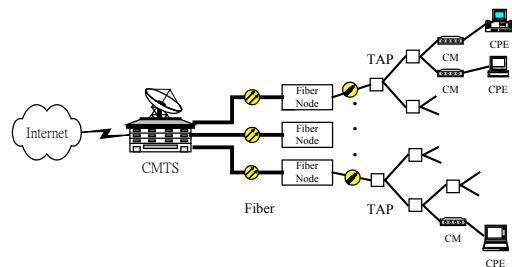


圖 1 HFC 網路架構圖

及高普及率的 Hybrid Fiber Coaxial (HFC) 網路，便成為家庭中取代傳統電話網路對外的最佳方案之一。據資策會的統計在過去一年，國內約有 18 萬家庭用戶使用 HFC 網路上網，今年度更將成長至 25 萬個家庭用戶，而在美國用戶數至今也有 4500 萬，由這些數字將可以看出 HFC 網路將會在未來幾年之中，扮演著家庭對外網路的重要角色。

圖 1 是 HFC 網路的架構圖，整個網路是呈現一個樹狀的架構，並且有著許多和其他網路不同的特點如下：

1. Cable Modem Terminal System (CMTS) 控制整個網路的運作，所有的 Cable Modem (CM) 要傳送資料都需經由 CMTS 的控制及安排。
2. 具有多條上行頻道及下行頻道，其中上行頻道是負責傳送 CM 的資料到 CMTS。CM 的資料要傳送到 CMTS，CM

必須先利用競爭的方式將頻寬需求送至 CMTS，再經過 CMTS 允許及排程後，才能利用 CMTS 保留的頻寬傳送資料。至於下行頻道則是讓 CMTS 利用廣播的方式將資料傳送至 CM。

3. CMTS 在 CM 開機起始時，便會指定 CM 使用哪一個上行及下行頻道。在設定完成後，非經 CMTS 要求變更頻道，CM 均需固定使用該上、下行頻道傳送及接收資料。
4. 頻道是共享的，也就是說一個頻道的頻寬將有許多使用者共享。
5. 利用 TDM 的方式將每一個頻道分成很多個小時槽(mini-slot)，每個 mini-slot 是傳送資料最基本的單位。
6. 用戶數多、傳輸距離長、傳遞延遲時間大。

目前在 HFC 網路上最普及的一個標準是由 Multimedia Cable Network System (MCNS) Partners Ltd. 所提出的 MCNS 標準 Data Over Cable System Interface Specification (DOCSIS) 規格[1]，在北美的佔有率高達八成以上，目前這個規格的最新版本為 DOCSIS 1.1 版。DOCSIS 1.1 是針對以上 HFC 網路的諸多特性所設計的一個標準，在標準中對 CMTS 及 CM 之間的運作方式及支援 Quality of Service (QoS)皆有一個詳細的描述。至於當單一頻道使用者太多，如何將一些 CM 轉移到其他傳輸量較少的頻道上傳送及接收資料以提高系統的使用效率，有關於這類多頻道的運作方式在標準中則僅提供相關頻道轉換的控制訊息，而實際如何管理及運作則開放給 CM 及 CMTS 的各家生產廠商自行設計開發。

在本篇論文中，我們將針對於此提出一個運作在 HFC 網路上遵循 DOCSIS 1.1 標準的動態頻道分配機制，藉由這個動態頻道分配機

制，將可以有效的平衡各頻道間的負載，增加整個系統的傳送效率。在下面的章節中將先對 DOCSIS 1.1 規格作一個介紹，之後的第三章我們將提出一個新的動態頻道分配機制，並詳細描述其運作方式。第四章部分，我們將利用程式模擬，將先比較採用了動態頻道分配機制和未使用任何多頻道分配機制的 HFC 網路效能差別，其次比較彼此在支援 QoS 傳送的差別，並對於結果做出一些討論。最後第五章，我們將對這篇論文做出結論及未來展望。

2. DOCSIS 1.1 規格

HFC 網路在 1990 初期便已進入一個蓬勃發展的時代，但是因為沒有一個公認的標準被制定出來，造成各家廠商生產的 CM 無法互連。1996 年初由北美的有線電視網路業者與系統廠商決定組成 MCNS 聯盟，並委託美國 CableLabs [2]著手制定一個新的標準，稱為 MCNS 標準。1996 年底草案出爐，隔年初推出 DOCSIS 1.0 正式版本，並於 1998 年 3 月經 ITU 通過，正式成為國際標準。為了補強 DOCSIS 1.0 在支援 QoS、資料安全性及封包傳輸效率的不足，在 1999 年 3 月 CableLabs 又推出了 DOCSIS 1.1，以提供使用者在 HFC 網路上有更完善傳輸環境。未來在 2002 年，Cablelabs 將再推出 DOCSIS 2.0，利用更改調變方式的方法，大幅增加實體層傳輸頻寬的能力，以單一頻道更大的頻寬對抗其他的寬頻傳輸競爭對手，如：非對稱數位用戶迴路 (ADSL)，屆時多頻道的管理更將顯的重要。

在接下來的內容，我們將先介紹 DOCSIS 1.1 規格的基本運作方式，其次介紹標準中支援 QoS 的種類，最後介紹標準對於多頻道的支援機制。

2.1 基本運作方式

當 CM 開機後連接上 HFC 網路，必須做初始化註冊的動作，這些動作包含了和 CMTS 完成同步及調距(ranging)、擷取運作參數(其中

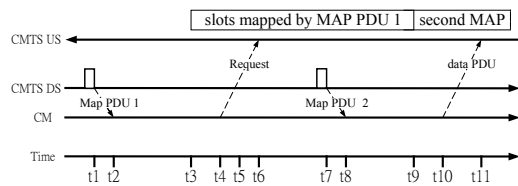


圖 2 HFC 網路基本運作圖

就包含了 CM 使用的上、下行頻道編號)、建立 IP 及安全性連線。在註冊完成後，便可利用 CMTS 指定的上、下行頻道做資料傳輸。

每個一段時間，CMTS 就會在下行頻道送出上行頻寬分配表 (MAP)，用以規範某一個上行頻道下一段區間 mini-slot 的使用方式，這些 mini-slot 可能被分為競爭時槽、資料傳送時槽、競爭/資料時槽及系統維護時槽。CM 則根據收到的 MAP 得知上行時槽的分配方式，進而正確的將資料傳送至 CMTS。

如圖 2，CM 欲傳送資料至 CMTS。在 t1，CMTS 利用下行頻道(DS)定期傳遞 MAP。MAP 在 t2 抵達 CM。CM 根據 MAP 的描述得知下一段(t3-t9)上行頻道的時槽分配狀況，並於 t4 時送出頻寬需求(bandwidth request)至上行頻道的競爭時槽傳送給 CMTS。頻寬需求在 t6 時送至 CMTS，CMTS 如同意使用者的需求，則在經排程後，在下一個週期 t7 時送出 MAP，這一個 MAP 中則有描述著 CMTS 保留給 CM 傳送資料的時槽時間範圍。t8 時，CM 收到 MAP，並在 t10 送出資料到 CMTS 指定保留的資料時槽內完成傳送。

2.2 支援 QoS 的種類

DOCSIS 標準從 1.1 版起開始支援的 QoS 的部分，使得一些即時性的服務得以順利的運作在 HFC 網路上，目前 DOCSIS 1.1 規範的服務種類共有以下五類：

1. Unsolicited Grant Service (UGS)：此類服務被設計支援週期性需要固定大小頻寬的即時性服務，如：VoIP。此類服務由 CM 提出經 CMTS 允許後，CMTS 便會週期性的保留固定大小的頻寬供 CM 傳

送資料，直到 CM 提出終止服務為止。

2. Real-Time Polling Service (rtPS)：此類服務被設計為支援週期性需要變動大小頻寬的即時性服務，如：MPEG 影片。針對此類服務，CMTS 會週期性的詢問 CM，是否有即時性資料要傳送，並根據 CM 的回應保留頻寬給 CM 傳送資料。
3. Unsolicited Grant Service with Activity Detection (UGS/AD)：這類服務被設計支援 UGS 這類週期性固定大小頻寬的資料流，但是有時候資料流會短暫停止傳送的服務，如：VoIP with silence suppression。對於此類服務，在 CM 有資料傳送時，CMTS 均週期性的保留頻寬供資料傳送；如 CM 無資料傳送時，CMTS 則會定期詢問 CM 是否有資料要傳送。
4. Non-Real-Time Polling Service (nrtPS)：這種服務被設計支援一段期間需要變動大小的非即時性服務，如：需高頻寬的 FTP。CMTS 則是會定期保留競爭頻寬的機會給這些要求的 CM。
5. Best Effort Service (BE)：此類服務則是提供給一般不需服務保證的資料使用，CM 要使用頻寬均需利用競爭頻寬的方式向 CMTS 提出請求。

2.3 多頻道轉換的支援機制

多頻道的使用可以使整個網路能使用的總頻寬增大及服務人數增多。HFC 網路原本就是一個多頻道的網路環境，CMTS 可以同時管理數個上、下行頻道供 CM 傳送資料，並且也可以指派任何一台運作中的 CM 轉移到其他上、下行頻道運作。

但是在 HFC 網路中，CM 要使用一條上行頻道，除了 CMTS 的許可外，CMTS 也需確保 CM 能在 CMTS 指定的下行頻道中，讀取到描述該上行頻道的 MAP，如此 CM 才能根據 MAP 正確傳送上行資料。因為不同的上行

頻道就需要用不同的 MAP 描述，為了方便在不同下行頻道的 CM 都能接受到他想要的 MAP，在 DOCSIS 1.1 中使用了在每一條下行頻道中均傳送所有上行頻道的 MAP，如此不論 CM 上行頻道如何的轉換，都可以在下行頻道收到描述該上行頻道的 MAP。

當 CMTS 要某一台 CM 切換至其他頻道，只需要送出控制訊息，CM 便會在實體層頻率變換及功率調整完成後，之後藉由改讀取另一個上行頻道的 MAP，便可達到變換上行頻道的目的。目前在 DOCSIS 1.1 中提供了五個控制訊息可供 CMTS 及 CM 相互溝通切換頻道之用。

雖然在 DOCSIS 中對於頻道的轉換提供了很完善的控制訊息，但是他們卻未對何時需要將 CM 切換頻道及切換至哪一個頻道等這些管理機制做任何規範，其目的是希望讓學界及廠商能根據自己的需求設計出不同特性的 CM 及 CMTS。因此本篇論文則將重點放在於設計一個動態頻道分配機制，可以藉由 DOCSIS 規格提供的控制訊息，將負載過高頻道內的 CM 切換致負載較低的頻道內，以達到頻道負載平衡的目的，同時也增加網路的傳輸效能。

3. 動態頻道分配機制

在這一章中，我們將要提出一個動態頻道分配機制，並說明他的詳細運作過程。首先我們將先對網路提供服務的流量(traffic)特性作一個描述，以做為頻道間分配流量時的參考。其次，我們將逐漸介紹整個分配機制的運作過程。最後，我們將利用例子來說明整個法則的運作過程。

3.1 服務之類別與描述

為了便於統計及分配各頻道的流量，我們將 DOCSIS 在 QoS 中提供的五種服務依照其頻寬分配特性分成了下列兩類：

1. 週期性服務(Periodic Service, PS)：此類

服務每隔一段固定週期就必須給予使用者固定的頻寬，此類服務如：UGS 及 UGS/AD。

2. 非週期性服務(Aperiodic Service, AS)：此類服務只有當 CMTS 有收到使用者的頻寬需求，才需配置頻寬給使用者。此類服務如：rtPs、nrtPS 及 BE。

我們利用 $\langle r_i, u_i, j_i \rangle$ 這三個參數來描述第 i 個服務的頻寬需求特性，其中 r_i 是資料要求每次間隔多少個 mini-slot 就要被服務到、 u_i 是代表該服務每次傳輸所需的 mini-slot 數量、 j_i 則是每次傳輸週期的容忍差異值。因此對於一個要求 CMTS 每 4 個時槽時間要能提供 1 個時槽供其傳輸資料，並且其傳輸週期容忍差值為 2 的 PS，可以表示為 $\langle 4, 1, 2 \rangle$ 。而對於一個 AS 要求 5 個時槽傳輸資料，則表示為 $\langle -1, 5, -1 \rangle$ ，其中因為 r_i 及 j_i 參數對 AS 並無作用，所以我們均以 -1 來表示。

3.2 服務分配頻寬規則及限制

在動態頻道分配機制對於不同服務分配頻道及頻寬有以下的規則及限制，以遵循 DOCSIS 規格及確保 QoS 和網路傳輸效率。

1. CMTS 在安排分配頻寬的順序，是以前已獲許可傳送之 PS 資料為優先，其次為舊有的 AS 資料，最後則為新加入獲允許傳送的 PS 及 AS 資料。
2. 對於相同種類的服務，我們則以傳輸週期較小且累積需求時槽較多的服務先做頻寬的分配。例如：CMTS 收到 $\langle 4, 1, 0 \rangle$ 和 $\langle 64, 6, 2 \rangle$ 這兩個 PS 要求，則 CMTS 將先分配頻寬給限制條件較嚴格的 $\langle 4, 1, 0 \rangle$ ，之後在分配給 $\langle 64, 6, 2 \rangle$ 這筆資料。這樣的安排將可以避免如先安排 $\langle 64, 6, 2 \rangle$ ，將會無法安排 $\langle 4, 1, 0 \rangle$ 的情況發生，可以提高頻寬的使用率及增加對 PS 資料的接受率。
3. 多頻道的頻寬分配方式將採用水平式的分配方式，也就是說僅可能的將相同使

用者傳輸服務所需的時槽安排在同一頻道內。因為根據之前的研究[3]，採用另一種垂直式的分配方式，也就是將同一個使用者傳輸服務所需的時槽平均分散在每個頻道內，和水平式分配方法的效能比較起來，水平式分配方法會有較好的時槽使用率。

4. CMTS 允許使用者傳遞同一筆資料時，使用不同的上行頻道傳送。但是在切換頻道時，因為此時實體層的要變更傳送器頻率及調整發送功率，所以此時 CM 將無法傳送資料至 CMTS，我們則稱這段轉換時間為轉換頻道延遲 d 。因此如果 CMTS 指定 CM 轉換頻道傳送資料，CM 將會有 d 個 mini-slot 時間無法傳送資料。
5. 在分配資料使用時槽時，資料時槽使用率最低的頻道為我們選擇最優先分配的頻道，如欲切換頻道傳送，切換的目的頻道以資料時槽使用率第二低的頻道為優先考量。
6. 上行頻道除了供 CM 傳送資料外，同時也必須週期性的提供時槽供 CM 傳送頻寬需求及系統維護資料，我們稱這段時間為上行頻道競爭及維護時間，對於這段時間的長度我們用 γ 代表，而在這段時間 CM 將無法傳送一般性的資料。因為 PS 資料對傳輸延遲有很嚴格的要求，如果有一筆 PS 資料要求的服務間隔 r_i 小於 γ ，CMTS 將不可能滿足其要求，所以會拒絕此一 PS 資料要求頻寬的要求。
7. 為了能更有效利用頻寬，我們定義了一個頻道壅塞的參數 α ，當頻道的負載大於 α 時，我們可以降低 PS 的頻寬需求，從每 r_i 個 mini-slot 配置頻寬一次，降為每 $r_i + j_i$ 個 mini-slot 才配置頻寬一次，如此在不違反 PS 的頻寬需求下，並且可以降低網路一些負擔。以下方程式就是

PS 服務中 r_i 的配置法則。根據之前的研究[4]，頻寬的使用量(U)到達 70%時，系統的延遲時間會急速上升，因此在此處我們將 α 訂為 70%。

$$r_i = \begin{cases} r_i + j_i & U \geq \alpha \\ r_i & U < \alpha \end{cases}$$

3.3 動態頻道分配機制之運作方式

接下來要介紹的是動態頻道分配機制的整個運作過程，為了方便表示所有上傳資料時槽的使用情形，我們利用矩陣的方式來表示。利用矩陣依照 CMTS 允許的 CM 的頻寬來分配資料時槽，之後再將矩陣做為 MAP，經由下行頻道傳送給 CM，CM 則就依照 MAP 定義的內容傳送資料。以下就是詳細的說明。

3.3.1 計算傳輸矩陣大小

系統初始時以及新的 PS 資料的使用者加入或舊有的 PS 退出時，我們必須要產生一個新的傳輸矩陣。首先我們根據使用者所要求的流量特性來計算傳輸矩陣的大小，此處的傳輸矩陣我們是使用 Buffer Ring 的方式來實現。傳輸矩陣的欄位長度 L_0 則是所有 PS 資料的傳輸週期 r_i 的最小公倍數，如此可滿足各筆 PS 資料不同的頻寬需求。但受限於 DOCSIS 1.1 中定義一個 MAP 所能規範的最大時槽數為 4096，所以傳輸矩陣的欄位長度 L_0 如下：

$$L_0 = lcm(\Delta) \quad ; \Delta \text{ 代表所有 PS 資料的 } r_i$$

$$L_0 = \begin{cases} L_0 \times \lceil L_0 / 4096 - r \rceil & L_0 \leq 4096 - r \\ L_0 & L_0 > 4096 \end{cases}$$

3.3.2 產生初始矩陣

計算完傳輸矩陣長度 L_0 後，首先 CMTS 先根據系統設定，填入競爭及維護時槽的區間在傳輸矩陣中，在對應位置填入 1 代表這個時槽已被使用。之後，我們則按前面所說的規則將之前 CMTS 已允許的 PS 資料，依照有效時槽選擇規則，選擇有效時槽填入 1 進入傳輸矩陣中，以代表該時槽已被使用，至於有效時槽

選擇規則的詳細運作方式，這部分我們將在下一個小節做說明。如圖 3，為四條上行頻道所組成的傳輸矩陣，傳輸矩陣中填入 1 者代表該時槽已被使用，矩陣中的值為 0 則代表該時槽未被使用，可供其他服務使用。此時我們再將舊有未傳送完成的 AS 資料依序安排使用未使用時槽傳送。

在產生完初始矩陣後，真正要傳送到網路上的 MAP 所規範的時槽數不見得要等於 L_0 的長度。因為我們是採用 Buffer Ring 的方式來儲存矩陣的，當資料讀到最後一筆時，下一筆就回到第一筆的位置，所以如圖 3，我們可以先送 L_d 長度的矩陣內容做成 MAP 送下去，下次則繼續從 L_{d+1} 的位置繼續取 L_d 長度的資料送下去，如遇到了矩陣的最後一筆則又繞回第一筆讀取，因此下一次讀取的欄位編號將是 L_{d+1} 到 L_0 及 0 到 $L_d - (L_0 - L_{d+1})$ 。因此在沒有新的 PS 資料加入或舊有的 PS 資料退出情況的前提下，當 AS 資料傳送完，我們便將其佔用的時槽清為 0，如此一來傳輸矩陣將可以一直反覆使用，並可加入新的 AS 資料。

3.3.3 有效時槽選擇規則

有效時槽選擇規則是定義了每個服務要放在多頻道哪一個時槽位置的方法。換句話說，當我們在計算完初始矩陣的大小後，之後在建立初始矩陣，並且要將每個服務安插進入初始矩陣，至於如何判斷安插在哪裡的方法就是有效時槽選擇規則，運作方式如下：

1. 依照前面的頻寬分配規則，我們選出資料時槽使用率最低的頻道 US_x 及使用率第二低的頻道 US_y 。

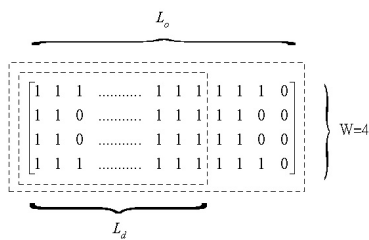


圖 3 傳輸矩陣圖

2. 由這兩個頻道的傳輸矩陣狀態，依照下面方程式由這兩個頻道建立起時槽最低使用率頻道的有效時槽矩陣 $US_i'[j]$ 。

$$US_i'[j] = \begin{cases} - ,if\ US_x[j]=0, \text{ and } \exists k, US_y[k]=0 \\ \quad \text{and } j-d \leq k \leq j+d \\ 0 ,if\ US_x[j]=0, \text{ and } \forall k, US_y[k]=1 \\ \quad \text{and } j-d \leq k \leq j+d \\ 1 ,if\ US_x[j]=1 \end{cases}$$

在上式中 $US_i'[j]='-'$ 的時槽，代表第 j 個時槽可以被使用，而且為 CMTS 最優先配置的時槽。 $US_i'[j]=0$ 代表第 j 時槽也可以使用，但為 CMTS 第二優先配置的時槽。 $US_i'[j]=1$ 則代表這個時槽不可以被使用。而 d 則是轉換頻道延遲。

3. 在完成有效時槽矩陣 $US_i'[j]$ 後，之後我們在利用此矩陣建立頻道分配矩陣 $A[j]$ ，建立方式如下方程式。

$$A[j] = \begin{cases} - , if\ US_i'[j]='-' \\ i , if\ US_i'[j]=1 \\ i , if\ US_i'[j]=0 \text{ and } US_i[j]=1 \\ \quad \text{and } \forall K, US_i'[k]=0, US_i[k]=0 \\ \quad \text{and } j-d \leq k \leq j+d \\ 0 , otherwise \end{cases}$$

在上式中當 $A[j]='-'$ 表示在時槽最低使用率的頻道的第 j 個資料時槽為 CMTS 最優先配置的時槽。 $A[j]=i$ 代表可供配置資料的第 j 個時槽是屬於頻道 i ，此時槽為次優先建議配置。 $A[j]=0$ 則表示該時槽無法被分配。

4. CMTS 則依據服務的特性先從 $A[j]='-'$ 之最優先配置時槽去選擇。配置完成後再回到第一步繼續配置下一筆資料。

3.3.4 動態頻道分配機制之運作流程

至此，我們對整個動態頻道分配機制的運作過程做一個整理，圖 4 為其流程圖。其運作

如下：

1. CMTS從目前提出申請的PS資料中找出服務間隔最短的優先分配時槽。
2. 將選出PS資料的要求服務間隔 r_i 與之前初始傳輸服務矩陣長度 L_0 求最小公倍數，作為新的初始傳輸矩陣的長度，並建立新的初始傳輸矩陣。
3. 找出時槽使用率最低的兩個頻道，建立最低使用率時槽的有效時槽矩陣 US_i' 。
4. 建立最低使用率頻道的頻道分配矩陣 A 。
5. 判斷頻道分配矩陣內的可使用時槽是否可滿足該PS資料。如不足則拒絕其頻寬請求；可以則分配時槽給該筆PS資料。
6. 如果還有其他PS資料未被分配時槽服務則返回步驟1。否則則進入步驟7。
7. 開始對AS資料安排時槽服務，直到可用時槽全部使用完畢或全部要求都以服務完畢。

3.4 動態頻道分配機制運作範例

下面我們將用例子來說明整個動態頻道分配機制的運作流程。假設在一個有四個上行頻道的HFC網路，原先整個網路已有資料被傳送，其初始傳輸矩陣欄位長度為32，其使用情況如圖5。此時有兩筆PS資料向CMTS提出傳送申請，這兩筆資料要求的頻寬特性分別為 $\langle 4, 1, 1 \rangle$ 與 $\langle 8, 2, 1 \rangle$ 。

1. CMTS先根據提出申請的PS資料所要求頻寬最多及服務間隔時間最短的最優先處理，此處則為 $\langle 4, 1, 1 \rangle$ 。
2. 由CMTS之前的初始傳輸服務矩陣長度和 $\langle 4, 1, 1 \rangle$ 的 r_i 值取最小公倍數為32，因此建立起的初始傳輸矩陣還是和圖5的相同。
3. CMTS先根據提出申請的PS資料所要求頻寬最多及服務間隔時間最短的最優先處理，此處則為 $\langle 4, 1, 1 \rangle$ 。

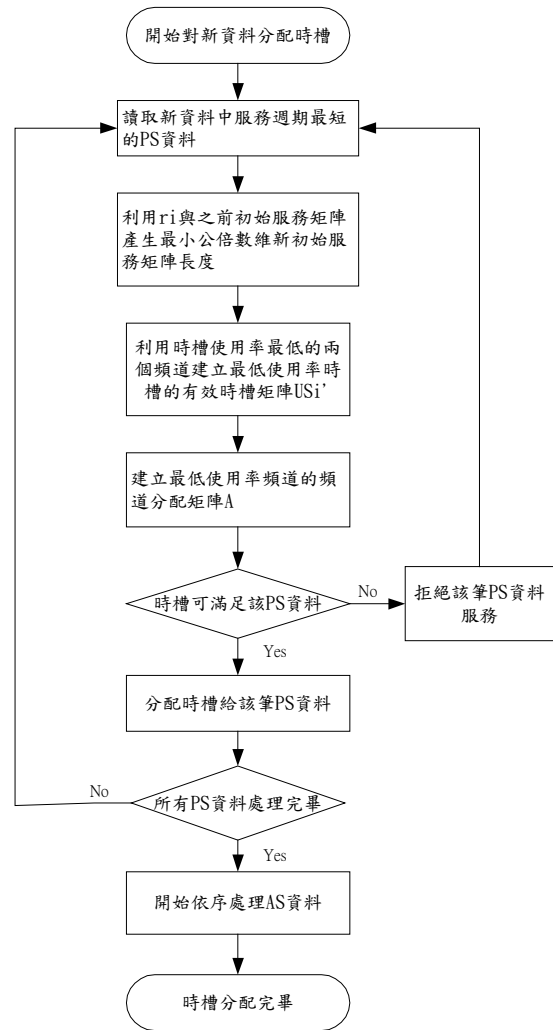


圖4 動態頻道分配機制流程圖

US1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0		
US2	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	
US3	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
US4	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0

圖5 原始頻道狀況圖

4. 由CMTS之前的初始傳輸服務矩陣長度和 $\langle 4, 1, 1 \rangle$ 的 r_i 值取最小公倍數為32，因此建立起的初始傳輸矩陣還是和圖5的相同。
5. 找出使用率最低的頻道 US_x 為US1，次低的頻道 US_y 則為US3，利用我們之前介紹的方法為這兩個頻道建立建立起US1的有效時槽矩陣 US_i' 。如圖6。

US ₄	1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0
US ₃	1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0
US ₁	1 1 0 - 1 1 - - 1 1 0 - 1 1 - - 1 1 0 - 1 1 - - 1 1 0 - 1 1 - - 1 1 0 - 1 1 - -

圖 6 PS 資料<4、1、1>之有效時槽矩陣

US ₁ '	1 1 0 - 1 1 - - 1 1 0 - 1 1 - - 1 1 0 - 1 1 - - 1 1 0 - 1 1 - -
US ₂	1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 0
US ₃	1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0
US ₄	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1
A	0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0

圖 7 PS 資料<4、1、1>之矩陣

US ₁	1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1
US ₂	1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 0
US ₃	1 1 1 1 0 - - 1 1 1 1 - - 1 1 1 1 0 - - 1 1 1 1 1 - - 1 1 1 1 1 - -
US ₄	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1
A	0 0 1 0 3 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 3 0 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

圖 8 PS 資料<8、2、1>之矩陣

- 由時槽有效矩陣 US_j' ，我們套用前面描述的方法，產生頻道分配矩陣 A。如圖 7。
- 我們檢視可指派時槽是否可滿足此一服務，如不行則拒絕此一項服務。在此例可指派的優先時槽可以滿足服務的需求。
- 最後利用頻道分配矩陣 A 可得到，PS 資料所分配到的資料時槽為位於第 1 條頻道的 A[4,8,12,16,20,24,28,32]等時槽。如圖 7。

接著 CMTS 再回到第一個步驟循序處理<8、2、1>此筆 PS 資料。圖 8 則為最後之結果，我們可由頻道分配矩陣 A 看到此一資料分配到的是位在第 2 條頻道的 A[5,6,13,14,21,22,29,30]等時槽。

在新加入的 PS 資料安排時槽結束後，我們再開始安排新加入 AS 資料的時槽分配，對於 AS 資料我們只需要檢視傳輸矩陣中有空間，再考慮不違反符合頻道轉換延遲 d ，我們就可以分配時槽給該筆 AS 資料。

參數	描述
使用者數量	200
上行頻道數目	4
上行頻道頻寬	3Mbps
流量分佈	Poisson 分佈

表 1 模擬環境介紹

4. 效能模擬與討論

這一章我們將利用程式模擬我們的方法，並且和原始 HFC 網路做頻道負載平衡的比較，最後並將提出我們的方法對提昇整個網路 QoS 效能的一些模擬結果及討論。

4.1 模擬環境介紹

表 1 是整個模擬所共同使用的參數，除此之外，在這些模擬中，資料為 AS 與 PS 的比例為 1:1，兩者的傳輸速率為隨機產生，而使用者則隨機選擇所使用的起始頻道編號。之後的實驗如果還有使用其他的模擬參數，將會在各實驗的介紹中分別說明。

4.2 頻道頻寬使用率之比較

首先我們要比較使用了動態頻道分配方法和未使用任何多頻道管理方法的傳統 HFC 網路，在多頻道環境之下，各頻道間的負載分布情形如何。圖 9 為傳統 HFC 網路的各頻道負載分佈圖，圖 10 為使用了動態頻道分配機制的各頻道負載分佈圖，圖 11 為兩個方法各頻道平均負載比較圖。

由這幾個結果，我們可以看出傳統 HFC 網路的 CM，在開機起始後由 CMTS 指定使用頻道後，之後再也無法更改使用頻道，因此當所使用的頻道壅塞時，也無法使用其他負載較輕的頻道。使用動態頻道分配機制的 HFC 網路，因為 CMTS 隨時根據各頻道的使用情形，利用 MAP 調整使用各頻道的 CM 數，因此可以讓每個頻道的負載相當接近，如此可以讓整

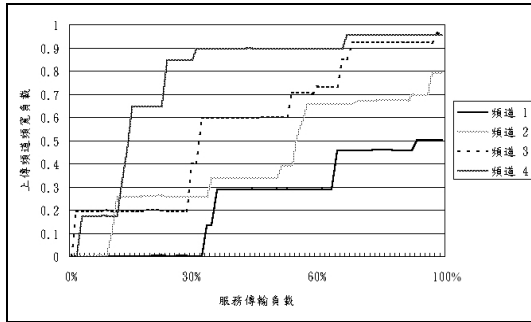


圖 9 傳統 HFC 網路的各頻道負載分佈圖

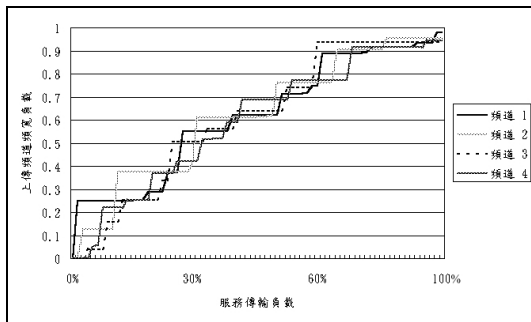


圖 10 動態頻道分配機制的頻道負載分佈圖

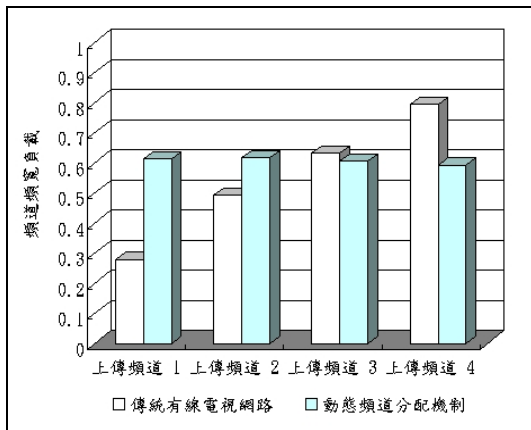


圖 11 各頻道平均負載比較圖

個系統真正可傳送的頻寬數接近最大值。

4.3 PS 資料需求接受度之比較

在這個實驗中，我們將探討使用動態頻道分配機制是否對整個 QoS 機制有效能上的影響。在實驗中，我們將持續增加系統的流量，看看系統因頻寬不足而拒絕 PS 服務的機率為何。圖 12 為上傳頻道的負載變化和 PS 資料被拒絕的機率。

由這個結果，我們可以看出使用動態頻道分配機制將可以使 HFC 網路頻道的頻寬有較

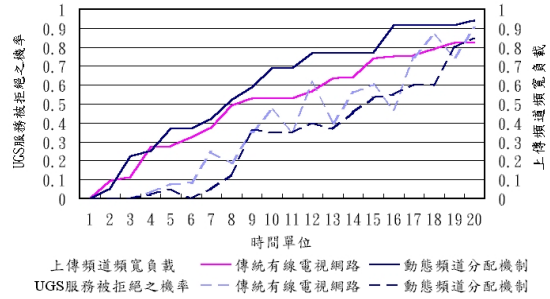


圖 12 上傳頻道負載變化和 PS 資料被拒絕的機率

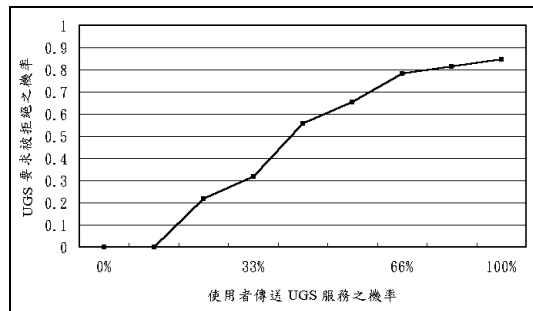


圖 13 PS 資料被拒絕的比例圖

高的使用率，也因此降低了 PS 資料被拒絕的機率。

4.4 PS 資料影響之探討

PS 的資料是定期都需要由 CMTS 保留頻寬供其傳送，對於整個網路頻寬的需求非常的大。這種類型的資料如果佔整個網路的比例太多，將會影響到本身及其他類型資料的傳送。因此接下來的實驗將探討，整個網路 PS 資料的比例不要超過多少較為合適。圖 13 為 PS 資料佔所有服務比例與 PS 資料被拒絕的比例。由圖中我們可以看出當使用者傳送 PS 資料超過 33% 時，拒絕率一直持續爬昇，代表此時網路的負載會很沉重，因此建議 PS 資料的比例不要超過系統總資料的 33%，以避免影響到本身及其他的資料傳送。

5. 結論與未來展望

HFC 網路在近年來網路快速的發展中始終佔有一席之地。HFC 網路為一多頻道網路架

構,但是在目前最普遍的HFC網路標準MCNS中,只有定義多頻道運作的控制訊息,卻未定義多頻道的管理運作方式,本篇論文即針對此處提出了一個動態頻道分配機制,這個機制是利用CMTS統計各個頻道使用者的要求,之後在平均分配各頻道的要求,利用MAP傳送下去控制各個CM,使其能在CMTS指定的頻道傳送資料,進而達到負載平衡的目的。

在模擬中比較了我們的動態頻道分配機制與傳統HFC網路之間,在各頻道負載平衡及總傳輸頻寬上的差別,可以看出我們的機制都可以帶來較好的效果。之後我們在針對PS這一種服務做探討,因為使用動態頻道分配機制將可以使各個頻道間的實際總傳輸頻寬上升,因此對於PS資料的拒絕率也就低於傳統HFC網路。最後,因為PS資料佔所有資料的比例如果太高,將很容易影響資料及其他資料傳送,所以我們也對PS資料做了一個探討,經由模擬結果我們得知PS的資料比例最好不要超過總資料比例的33%,避免影響其他服務的傳送。

現在在我們的實驗室有實際的CM及CMTS設備,因為我們所設計的動態頻道分配機制是遵循MCNS標準,所以未來我們考慮將這套方法實做在我們的CMTS上,以比較理論和實做上的差異。

6. 參考文獻

- [1] Cable Television Laboratories, Inc.,
Data-Over-Cable Service Interface Specifications, Radio Frequency Interface Specification, SP-RFIV1.1-I07-010829,
August 2001
- [2] <http://www.cablemodem.com>
- [3] Nen-Fu Huang, Te-Lung Liu, Ching-Fang Hsu, "QoS supported dynamic traffic scheduling in WDM/TDM networks with arbitrary tuning latencies", Global

Telecommunications Conference, 2000.
GLOBECOM '00. IEEE, Volume: 2, 2000
Page(s): 1308 -1312 vol.2

- [4] Ying-Dar Lin, Chen-Yu Huang, Wei-Ming Yin, "Allocation and scheduling algorithm for IEEE 802.14 and MCNS in hybrid fiber coaxial networks", IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 44, No. 4, December 1998.