

在 HFC 網路上 DOCSIS 標準中碰撞解決演算法之效能研究

鍾昆錚

逢甲大學資訊工程系

m9102675@knight.fcu.edu.tw

朱國志

成功大學電機工程系

李維聰

淡江大學電機工程系

摘要

HFC 網路由於具有高頻寬及高普及的特性，為目前普遍的家庭聯外網路解決方案之一。DOCSIS 協定是目前在 HFC 網路上最多廠商遵循的協定，在這個協定中的碰撞演算法使用了一個名為 TBEB 的演算法，這個演算法是利用後退視窗來解決碰撞。在本篇論文中我們將建立起一個 TBEB 演算法的模型，並且推導出後退視窗大小與系統 Throughput 之間的關係與可以得到最佳 Throughput 值的後退視窗大小值。網路管理者可以依照自己對 Throughput 的需求，利用我們的結果來設定 TBEB 演算法中的參數，經由控制後退視窗的大小，使 HFC 網路能夠產生滿足網路管理者的 Throughput。

關鍵詞：HFC，DOCSIS，TBEB 演算法，馬可夫鏈。

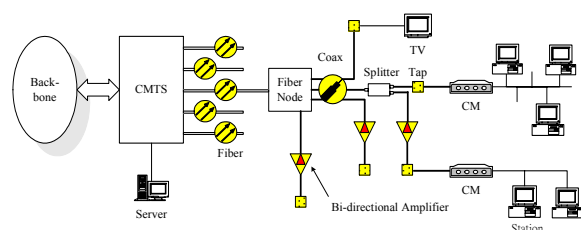
一、簡介

近年來，各種多媒體網路服務的興起，如：網路電話、Video Conference 及 Video on Demand、Online Game，使得人們可以突破距離的限制，在家中和世界各地的人們進行溝通。許多多媒體網路服務都具有很高的頻寬需求，傳統的電話網路已無法滿足這些服務的頻寬需求。Hybrid Fiber Coaxial

(HFC) 網路因為具有高頻寬及高普及性的特性，使得 HFC 網路成為住家網路的最佳解決方案之一。

圖一是 HFC 網路的架構圖。Cable Modem Terminal System (CMTS) 管理著網路中所有的 Cable Modem(CM)，Station 經由 CM 連接上 HFC 網路。HFC 網路是由光纖及同軸電纜線所混合建構而成的網路，從 CMTS 到 Fiber Node 端使用光纖，而從 Fiber Node 到 Station 則是使用同軸電纜線。HFC 網路最大的傳送距離可達 80 公里，所以在網路中需要設置 Bi-Directional Amplifier 以維持信號的品質。此外在網路中的 Splitter 及 Tap 裝置的作用是将信號分配至 CM。

HFC 網路是屬於共享式的網路架構，因此 CM 在傳送資料時碰撞將是無法避免的。為了使得 HFC 網路能有效率的運作，一個管理 HFC 網路的協定是必須的。目前在有線電視網路中，Data Over Cable System Interface Specification (DOCSIS) Protocol 是最具影響力的一個標準。在 DOCSIS 中為了避免碰撞影響到 Data Packet Data Unit(PDU) 順利的傳送。因此當 CM 要傳送資料時，均需先向 CMTS 傳送 Request PDU 請求保留傳送 Data PDU 的頻寬。如此 CMTS 在接收到 CM 的 Request PDU 後，將會保留頻寬供 CM 傳送資料，也因此 CM 傳送 Data PDU 時將不會有碰撞發生。雖然避免了 Data PDU 的碰撞，但是當有兩個以上的 CM 同時傳送 Request PDU 時，此時 Request PDU 仍會發生碰撞。對於傳送 Request PDU 所可能發生的碰撞，在 DOCSIS 中是採用 Truncated Binary Exponential Back-off (TBEB) Algorithm 演算法來解決碰撞。這個碰撞解決演算法很類似 Ethernet



圖一 HFC 網路架構圖

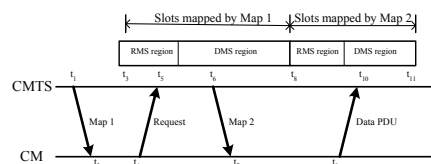
中所使用的碰撞解決演算法，在演算法中有 Data_Backoff_Start (DBS) 及 Data_Backoff_End (DBE) 這兩個參數，可以分別決定後退視窗 (Back-off Window) 的開始值及結束值。在本篇論文中我們將利用馬可夫鏈 (Markov Chain) 模型建立起 TBEB 演算法的模型。利用分析的結果，我們將可以根據目前的碰撞機率，選擇由方程式所求得的對應 DBS 及 DBE 值，以使系統得到最佳的 Throughput 值。

這篇論文由下列部分組成。第二章我們將針對 DOCSIS Protocol 及 TBEB 演算法詳細的運作方式做一個介紹。第三章中我們提出了一個 TBEB 演算法的二維模型。藉由馬可夫鏈的特性，我們可以由目前 Station 的碰撞機率，預測網路未來的 Throughput，並且從中得到碰撞機率、碰撞視窗及 Throughput 相互關係的方程式。第四部份是數值分析，在此部分我們將利用前面提出的 Model，討論不同 DBS 及 DBE 對網路 Throughput 的影響。最後一個章節我們將對這篇論文做一個結論並提出未來工作。

二、DOCSIS 協定的介紹

DOCSIS 協定是由 Cable Television Laboratories (CableLabs) 所提出的一個標準[1]，其規範了 HFC 網路實體層及媒體存取層的運作方式。HFC 網路是一個雙向的網路架構，其中從 CM 到 CMTS 方向被稱為上行頻道，而 CMTS 到 CM 端被稱為下行頻道。以北美地區為例，上行頻道的頻譜範圍被分配在 5 MHz – 42 MHz。一個頻譜大小為 6.4 MHz 的上行頻道在使用 Synchronous Code Division Multiple Access (S-CDMA) 的方式調變，將可以提供 30.72Mbps 的頻寬。至於下行頻道的頻譜範圍則被分配在 54-860 MHz，以一個頻譜為 6MHz 大小的下行頻道，利用 256 QAM 的方式調變，將可以提供 42 Mbps 的頻寬。

在 DOCSIS 協定中，上行頻道被分割成一個個大小相同的 Minislot。CMTS 將這些 Minislot 指派為下列兩種 Minislot: 第一種為 Request Minislot



圖二 DOCSIS 協定傳送資料的運作流程

(RMS)，這類 Minislot 是提供給 CM 傳送 Request PDU，以向 CMTS 申請保留頻寬來傳送 Data PDU。第二種為 Data Minislot (DMS)，當 CMTS 接受 CM 的請求後，CMTS 將會保留 DMS，供 CM 傳遞 Data PDU。CMTS 利用週期性的傳遞 Bandwidth Allocation Map (MAP) 告知 CM，在上行頻道中 Minislot 的分配結果，CM 則根據 MAP 的指示傳遞 Request 或 Data PDU 到對應 RMS 及 DMS 中。圖二為 DOCSIS Protocol 傳送資料的運作流程，其過程說明如下：

1. 在時間 t_1 ，CMTS 送出 MAP_1 。 MAP_1 記載著上行頻道在 t_3 - t_8 間 Minislot 的配置結果。
2. 當 MAP_1 在 t_2 到達 CM 端。如果 CM 有資料要傳送，CM 將可根據 MAP_1 所提供的資訊，在 t_4 時 RMS 區間，將 Request PDU 傳送至 CMTS。
3. CM 傳送的 Request PDU 在 t_5 時到達 CMTS。CMTS 在排程後產生了 MAP_2 ， MAP_2 記錄著 t_8 - t_{11} 間上行頻道 Minislot 的分配結果。在 t_6 時，CMTS 經由下行頻道將 MAP_2 傳送給所有 CM。
4. 在 t_7 ，CM 收到了 MAP_2 。經由 MAP_2 的描述，CM 得知 CMTS 為其保留 DMS 所在的位置。在 t_9 時，CM 傳送 Data PDU 在 CMTS 指定的 DMS 內。
5. 在 t_{10} 時，CM 傳送的 Data PDU 到達 CMTS，CM 完成資料傳送的動作。

在上述的運作流程中，當 CM 在 t_4 傳送 Request PDU 至 CMTS 時，將可能會有碰撞發生。在 DOCSIS Protocol 中是使用 Truncation Binary Exponential Back-off (TBEB) Algorithm[1] 來解決此處可能發生的碰撞。圖三為 TBEB 演算法的運作流程圖。首先 CMTS 會定期指定 DBS 及 DBE 的值給 CM，其中 DBS 決定了後退視窗 (Back-off window) 的起始值，而 DBE 則決定了後退視窗的

推導出 DBS、DBE 與 Throughput 之間的關係方程式後。之後利用關係方程式分析 TBEB 演算法在 Throughput 上的表現。

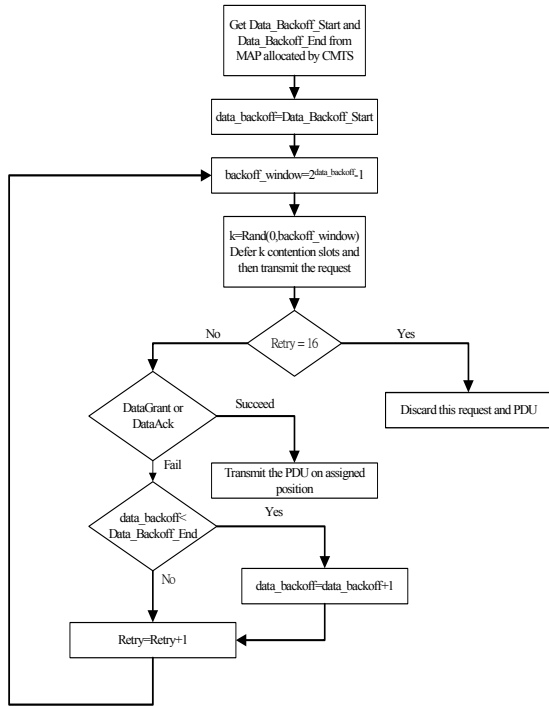
三、系統效能分析

這一章節我們將分成三個部分來探討系統的效能。首先，我們會先介紹模型的建構過程及概念。其次，我們將在建構出來的馬可夫鏈模型下，討論 Frame 傳送的行為，經過推導後我們將可以得到單一 Station 傳送 Data PDU 的平穩機率 τ 。最後，我們將藉由 τ 及 DOCSIS 的標準得到系統 Throughput 的預測值。

(一) 模型的建立

我們考慮 n 台 Station，且這些 Station 在競爭成功後都會立刻傳送 PDU，換句話說，我們考慮的網路處於 Saturation Condition。我們令 $w(t)$ 為一個隨機過程，用以表達一個 Station 在 Slot Time 為 t 時的後退視窗大小。在這個模型中，我們使用整數且離散的 Time Scale，也就是說 t 和 $t+1$ 是兩個連續的 Slot Time。此處我們假設 Slot Time 為一個常數 ϵ ，由於在傳輸的過程中，兩個連續的 Slot Time 間可能會包含一次成功的傳輸(當別台 Station 成功傳送時需要等待)。因此，兩個連續的 Slot Time 區間可能會遠大於 ϵ 。

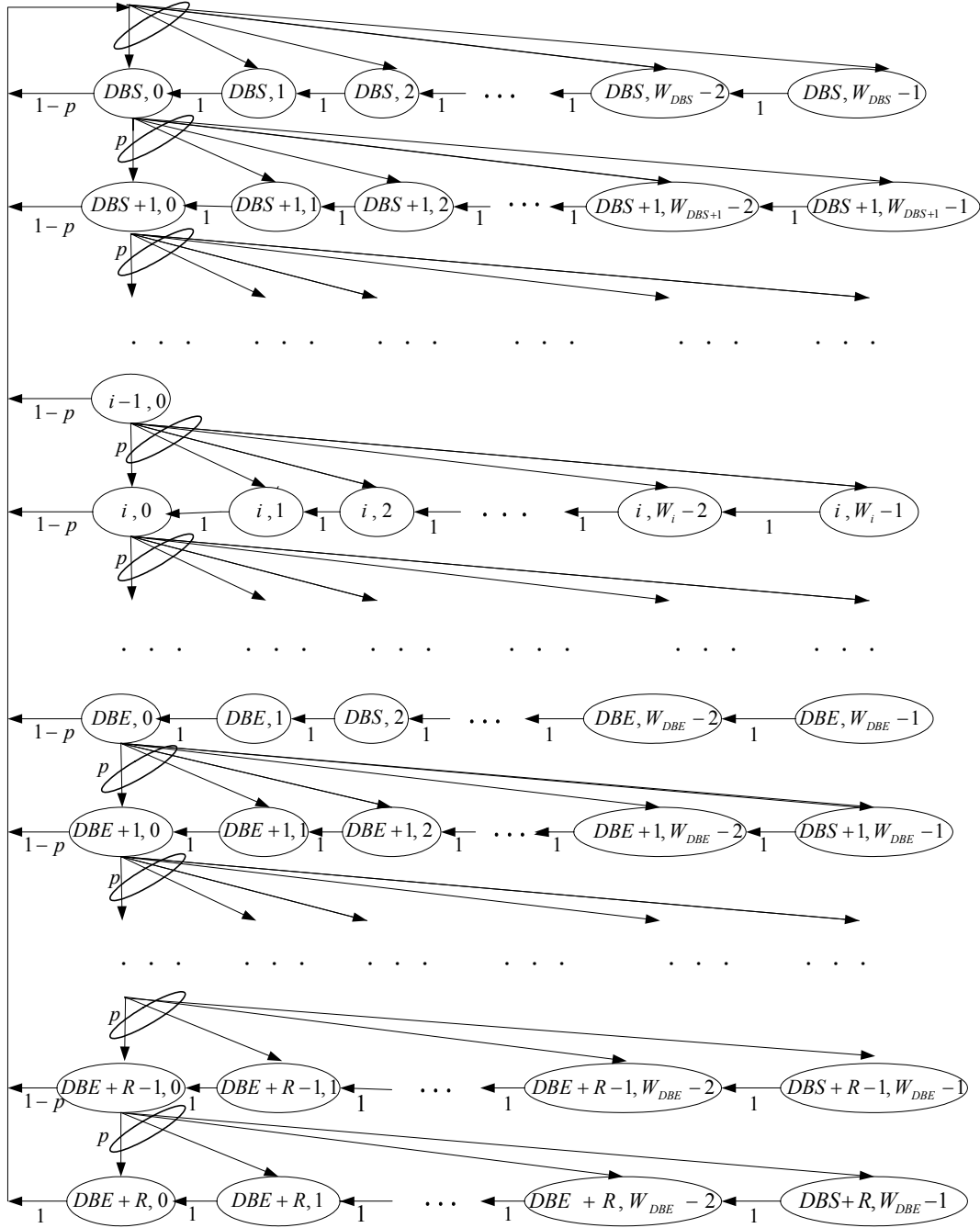
由於後退視窗大小的值會依賴於過去的傳輸(e.g. 當 $w(t)$ 選定之後，一直到其後退到 0 之前，我們都可以很清楚它在這期間任何時刻的值)，因此隨機過程 $w(t)$ 是 non-Markovian。利用馬可夫鏈的規則，我們定義另一個隨機過程 $s(t)$ ，在這裡我們使用 $s(t)$ 來表示 Station 在時間 t 下的 Back-off Stage ($DBS, \dots, DBE+R$)。此處 DBS 代表了開始的 Back-off Stage, DBE 表示最大的 Back-off Stage, 而 R 則代表重試的 Back-off Stage。為了便於說明，我們定義了 $W=CW_{min}$ (i.e., 一個 Slot Time), 此時我們可以採取一個新的表示法 $W_i=2^i W$ ，在這裡 i 稱為 Back-off Stage，且 $i \in (DBS, DBE + R)$ 。



圖三 TBEB 演算法運作流程圖

最大值。為了方便說明，我們先定義一個變數 $data_backoff$ 來存放目前後退視窗的值。當 CM 有資料要傳送時，CM 會設定 $data_backoff$ 值等於 DBS，並且把後退視窗的起始值大小設定為 $2^{data_backoff}$ ，之後 CM 會從 $0 - 2^{data_backoff}-1$ 的範圍內隨機選取一個值 k ，在經過等待 k 個 RMS 後，便傳送 Request PDU。如果 Request PDU 發生碰撞，且 $data_backoff$ 小於 DBE 值，此時 CM 會將 $data_backoff$ 值加 1 後，並且重複前面隨機選取 k 值及等待傳送的步驟。整個碰撞解決演算法將會持續直到 Request PDU 傳送成功或 Request PDU 重傳超過最大重傳次數 16 次，此時 Request PDU 將被丟棄並結束整個傳送的过程。

在 DOCSIS 協定中，為了追求更好的效能，所以 CMTS 可以參考目前的網路狀況，隨時更改 DBS 及 DBE 的值並通知 CM 更改。但是關於何時更改 DBS 及 DBE 的機制，則在協定中並未定義，開放給業界及學界自行定義。因此在這篇論文中，我們將探討如何調整 DBS 及 DBE 值，藉由控制後退視窗大小使得系統獲得最佳的 throughput 值。下一章節我們將先建立起 TBEB 演算法的模型，並



圖四 Markov chain model

圖四為我們建構出來的二維 Process, $\{s(t), w(t)\}$ 。其中 p 為條件碰撞機率，且為一值為常數的獨立事件機率；它代表的意義即為一個 Packet 在頻道上傳送時遭遇碰撞的機率。

(二) 傳送機率

首先，由於二維過程 $\{s(t), w(t)\}$ 是一個離散時間的馬可夫鏈。因此我們可在此馬可夫鏈中找到唯一非零單步轉移機率，我們將它表示如下：

If $i \leq DBE$

$$\begin{cases} p\{i, k | i, k+1\} = 1 & k \in [0, w_i - 2] & i \in [DBS, DBE] & (1) \\ p\{DBS, k | i, 0\} = \frac{(1-p)}{w_{DBS}} & k \in [0, w_{DBS} - 1] & i \in [DBS, DBE] & (2) \\ p\{i, k | i-1, 0\} = \frac{p}{w_i} & k \in [0, w_i - 1] & i \in [DBS+1, DBE] & (3) \end{cases}$$

If $E < i \leq E + R$

$$\begin{cases} p\{i, k | i, k+1\} = 1 & k \in [0, w_{DBE} - 2] & i \in [DBE+1, DBE+R] & (4) \\ p\{DBS, k | i, 0\} = \frac{(1-p)}{w_{DBS}} & k \in [0, w_{DBS} - 1] & i \in [DBE+1, DBE+R-1] & (5) \\ p\{i, k | i-1, 0\} = \frac{p}{w_{DBE}} & k \in [0, w_{DBE} - 1] & i \in [DBE+1, DBE+R] & (6) \\ p\{DBS, k | DBE+R, 0\} = \frac{p}{w_{DBS}} & k \in [0, w_{DBS} - 1] & & (7) \end{cases}$$

根據 TBEB 演算法的規則，我們建立起圖四的模型並推導出方程式(1)到(7)中的七個單步轉移機率。這七個機率所代表的意義分別如下：方程式(1)到(3)是描述 Back-off Stage 位於 DBS 與 DBE 之間的情形。方程式(1)表示的是 Back-off Time Counter 每次都會減 1；方程式(2)是在成功的傳送之後，新的 Packet 必須重新設定 Back-off Stage $=DBS$ 後並開始競爭，且此時後退視窗大小是在 $(0, w_{DBS} - 1)$ 這段範圍內隨機選擇的；方程式(3)表示的是若在 Back-off Stage $i-l$ 處傳送時發生碰撞，則將 Back-off Stage 加 1，並且在 $(0, w_i - 1)$ 這段範圍隨機重新選擇新的後退視窗值。接下來的方程式(4)到(6)是我們考慮 Back-off Stage 增加超過 DBE 且小於等於 $DBE+R$ 值時的情形。方程式(4)表示的是 Back-off Time Counter 每次都會減 1；方程式(5)為在成功傳送之後，新的 Packet 必須重新設定 Back-off Stage $=DBS$ 且開始下一次競爭，且此時後退視窗大小是在 $(0, w_{DBS} - 1)$ 這段範圍內隨機選擇的；方程式(6)是若碰撞發生在 Back-off Stage $i-l$ 處，由於此時 $DBE < i \leq DBE + R$ ，因此 Back-off Stage 將不會再遞增，且其 Back-off Stage 會停留在 DBE ，而新的後退視窗大小也會在 $(0, w_{DBE} - 1)$ 這段範圍中隨機選擇；方程式(7)則為在第 16 次的競爭時，若競爭失敗，則其後退視窗將會重設；而若競爭成功，其後退視窗將會重新開始。

為了推導上的方便，我們先假設此馬可夫鏈具有平穩分布，並令此分布為 $w_{i,k}$ 。至於 $w_{i,k}$ 的存在性，我們將會在稍後的地方證明。有了以上的假設之後，我們可將 $w_{i,k}$ 表示為

If $i \leq DBE$,

$$w_{i,k} = \lim_{t \rightarrow \infty} p\{s(t) = i, w(t) = k\}, \quad i \in (DBS, DBE), k \in (0, w_i - 1)$$

If $i > DBE$,

$$w_{i,k} = \lim_{t \rightarrow \infty} p\{s(t) = i, w(t) = k\}, \quad i \in (DBE+1, DBE+R), k \in (0, w_{DBE} - 1)$$

且有其下關係式

$$w_{i-1,0} \cdot p = w_{i,0}$$

由 Chapman-Kolmogorov 方程式[2]，我們可得

$$w_{i,0} = p^i \cdot w_{0,0} \quad DBS \leq i \leq DBE + R \quad (8)$$

由馬可夫鏈的規則及我們之前定義的單步轉移機率，我們可將 $w_{i,k}$ 表示如下

$$w_{i,k} = \begin{cases} w_i - k \left\{ (1-p) \sum_{l=DBS}^{DBE+R-1} w_{l,0} + w_{DBE+R,0} \right\} & i = DBS \quad k \in (0, w_i - 1) \\ w_i \left\{ p \cdot w_{i-1,0} \right\} & DBS < i \leq DBE \quad k \in (0, w_i - 1) \\ \frac{w_{DBE} - k}{w_{DBE}} \cdot p \cdot w_{i-1,0} & DBE < i \leq DBE + R \quad k \in (0, w_{DBE} - 1) \end{cases} \quad (9)$$

將(8)式套用生成函式：

$$\sum_{l=DBS}^{DBE+R-1} w_{l,0} = \frac{p^{DBS} (1 - p^{DBE+R-DBS})}{1-p} \cdot w_{0,0}$$

我們可將(9)重寫為

$$\begin{cases} w_{i,k} = \frac{w_i - k}{w_i} w_{i,0} & i \in (DBS, DBE) \quad k \in (0, w_i - 1) \\ w_{i,k} = \frac{w_{DBE} - k}{w_{DBE}} w_{i,0} & i \in (DBE + 1, DBE + R) \quad k \in (0, w_{DBE} - 1) \end{cases} \quad (10)$$

我們針對剛剛假設的平穩分布 $w_{i,k}$ 做個說明。

由我們的模型中可以發現這個馬可夫鏈是不可約的(Irreducible)，非週期且非零遞迴的，因此這個馬可夫鏈即擁有遍歷性(Ergodicity)，由於上面條件成立，我們可以得知平穩分布存在。至此我們已證明了我們上面的假設。有了平穩分布後，由機率守恆關係，我們可推導出下式 [3]

$$1 = \sum_{i=DBS}^{DBE} \sum_{k=0}^{w_i-1} w_{i,k} + \sum_{i=DBE+1}^{DBE+R} \sum_{k=0}^{w_{DBE}-1} w_{i,k} \quad (11)$$

由式(8)與式(10)的關係，我們發現所有 $w_{i,k}$ 的值均可由 $w_{0,0}$ 與條件碰撞機率 p 表示 (i.e., $w_{0,0}$ 與 p 的線性組合)。因此我們可將(11)式簡化為

$$\begin{aligned} 1 &= \sum_{i=DBS}^{DBE} \sum_{k=0}^{w_i-1} w_{i,k} + \sum_{i=DBE+1}^{DBE+R} \sum_{k=0}^{w_{DBE}-1} w_{i,k} \\ &= \sum_{i=DBS}^{DBE} w_{i,0} \sum_{k=0}^{w_i-1} \frac{w_i - k}{w_i} + \sum_{i=DBE+1}^{DBE+R} w_{i,0} \sum_{k=0}^{w_{DBE}-1} \frac{w_{DBE} - k}{w_{DBE}} \\ &= \sum_{i=DBS}^{DBE} w_{i,0} \cdot \frac{w_i + 1}{2} + \sum_{i=DBE+1}^{DBE+R} w_{i,0} \cdot \frac{w_{DBE} + 1}{2} \\ &= \frac{w_{0,0}}{2} \cdot \frac{Y}{X} \end{aligned} \quad (12)$$

其中

$$X = (1 - 2p) \cdot (1 - p)$$

$$Y = W[(1-p)(2p)^{DBS} (1 - (2p)^{DBE-DBS+1}) + (1-2p) \cdot 2^{DBE} \cdot p^{DBE+1} (1-p^R)] + (1-2p)p^{DBS} (1 - p^{DBE+R+1-DBS})$$

如此我們可得到 $w_{0,0}$

$$w_{0,0} = \frac{2X}{Y}$$

現在我們可以得到單一 Station 在任一隨機選擇 Slot Time 間傳送 Packet 的平穩機率 τ 。唯有當 Back-off Time Counter 等於 0 時，工作站才有可能傳輸，因此

$$\begin{aligned} \tau &= \sum_{i=DBS}^{DBE+R} w_{i,0} = p^{DBS} \frac{1-p^{DBE+R+1-DBS}}{1-p} \cdot w_{0,0} \\ &= \frac{2p^{DBS}(1-2p)(1-p^{DBE+R+1-DBS})}{Y} \end{aligned} \quad (13)$$

根據上式我們可以推導出未來的條件碰撞機率 p 如下，即以傳輸的角度來看，系統在穩態下的條件碰撞機率。

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \quad (14)$$

(三) Throughput 分析

在推導出 τ 之後，我們就可以定義在分析 Throughput 部分所需使用的所有參數。首先，令 p_{tr} 為系統在任意 Slot Time 傳送的機率。換句話說，就是”至少一台”Station 在隨機選定 Slot Time 內傳送的機率。值得注意的是，這個機率不同於 τ 所代表的是”恰好一台”Station 在隨機選定 Slot Time 內傳送的機率，因此

$$p_{tr} = 1 - (1 - \tau)^n \quad (15)$$

當 p_{tr} 定義好了，我們就可以定義在頻道上成功傳輸的機率 p_s ，由於此機率代表的是碰撞不會發生的狀況，因此我們可以寫成下式：

$$p_s = \frac{\binom{n}{1} \tau (1 - \tau)^{n-1}}{p_{tr}} = \frac{n \tau (1 - \tau)^{n-1}}{1 - (1 - \tau)^n} \quad (16)$$

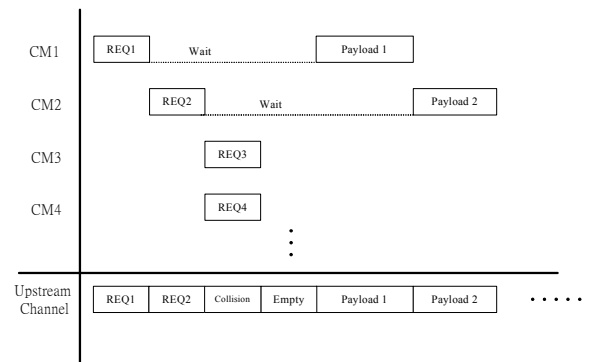
接下來，我們定義系統效能 S 如下：

$$\begin{aligned} S &= \frac{E[\text{Payload in a slot time}]}{E[\text{Total Slot Time of Channel}]} \\ S &= \frac{P_{tr} P_s E[p]}{(1 - P_{tr})\varepsilon + P_{tr} P_s (E[p] + \varepsilon) + P_{tr} (1 - P_s)\varepsilon} \end{aligned} \quad (17)$$

此處我們令 $E[p]$ 為 Packet Payload Size， ε

則代表了一個沒有傳送資料的 Minislot 經過的時間(i.e.,即一個 Slot Time)。由於在一個 Slot Time 下成功傳送的機率為 $p_{tr} \cdot p_s$ ，因此在一個 Slot Time 下成功傳送的平均 Payload 大小可表示為 $p_{tr} p_s (E[p] + \varepsilon)$ ，其中 $E[p] + \varepsilon$ 代表的是一次成功傳輸時，系統所需花費的處理時間。至於 Minislot 沒有傳送資料(i.e.,即還沒有 Packet 要送)的機率為 $(1 - p_{tr})$ ，而系統要判斷該 Minislot 是否有搭載資料需要花費一個 Slot Time 的時間 ε 。系統碰撞機率為 $p_{tr}(1 - p_s)$ ，而且當系統在處理一次碰撞所需花費的時間為一個 Slot Time，也就是為 ε 。很直觀的， $E[p]$ 及 ε 均使用相同的單位。由於在 DOCSIS 下，CM 資料的傳送都經由上行頻道，因此我們的 Throughput 在此只針對上行頻道作考量。圖五為 DOCSIS 上行頻道的傳送模型，以 CM 的角度來看，當一台 CM 傳送需求成功時，其將會傳送 REQ (Request) 及 Payload 等資料。如果傳送需求失敗，則將只會傳送 REQ，之後再重送。從上行頻道的角度來看，如果 Minislot 的狀態為碰撞、空的或只收到一個 REQ，其所佔用 Upstream 的時間都是一個 Slot Time；如果收到的是 Payload 則佔用的時間則視 Payload 長度決定。

所以由方程式(13)中,我們推導出單一工作站傳送 Packet 的平穩機率 τ ，為了滿足重試 16 次的要求，此處的 R 我們定義為 $R = 16 - DBE + DBS$ ，接著帶入方程式(13)到(17)即可算出網路未來的 Throughput。



圖五 DOCSIS 上行的傳送模型

四、數值結果與討論

這一個章節中，我們將利用前面所推導出的模組，來探討在不同碰撞機率下，該如何選擇 DBS 及 DBE 值才可以使得系統獲得最佳的 Throughput 值。此外我們也將分析不同的 DBS 及 DBE 值組合，在不同碰撞機率下對 Throughput 的影響。最後我們將探討目前在 Ethernet 上所使用 DBS=0、DBE=10 的設定在 Throughput 上的表現。

為了方便表示在以下的討論中，我們將使用 (DBS, DBE) 的表示方式來表示 DBS、DBE 值。如：(0,10) 即代表 DBS=0, DBE=10。此外，為了便於統計結果，在以下的討論中，我們所統計的數據範圍將只包括碰撞機率從 0.05 到 0.95 間，每隔 0.05 取樣一點共 19 組的資料。特別說明的是因為在碰撞機率等於 0.5 時，方程式(13)和方程式(17)會無法獲得數據結果。所以在討論中碰撞機率等於 0.5 中的結果，都是利用碰撞機率等於 0.499 所求得的趨近值。表一為在以下的討論中，我們所使用到的參數列表。

(一) 系統最佳 throughput 值討論

首先，我們將探討在不同的碰撞機率下，DBS, DBE 該如何設定才可以得到最佳的 Throughput 值。利用 MATLAB 計算統計方程式(13)到(17)，我們得到了在不同碰撞機率下，可獲得系統最佳 Throughput 的 DBS 及 DBE 組合，我們將結果列在表二。由表二中，我們可以發覺到在碰撞機率低的時候，要得到最佳 Throughput 值，DBS 及 DBE 值都需要設定為比較大的值。主要的原因是因為當碰撞機率低的時候，網路的負載相對也會很低，如果 DBS 及 DBE 使用比較大的值，幾乎可以讓所有的頻寬需求在第一次競爭就成功，因此 Throughput 自然也就會比較高。反之，如果 DBS 及 DBE 選擇比較小的值，則雖然每次傳

表一 參數表

Parameter	Default Value
Station	1000
Mean payload size	368.1 Bytes
Minislot size	16 bytes
Minislot duration	25 micro second
Success time (Ts)	1375 micro second
Collision time (Tc)	800 micro second

表二 在不同碰撞機率下，可獲得系統最佳 Throughput 的 DBS 及 DBE 組合

Collision Probability	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	
DBS	6	6	6	6	6	6	
DBE	10	10	10	8	7	7	
Collision Probability	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	
DBS	6	5	5	5	4	5	
DBE	7	10	9	8	10	7	
Collision Probability	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95
DBS	5	5	0	4	3	2	1
DBE	7	7	10	7	7	7	7

送的延遲時間都比較短，但是由於後退視窗的範圍較小，所以自然會有較多的碰撞發生，而較多的碰撞及碰撞後冗長的碰撞解決時間將會減緩頻寬需求的傳送，使得 Throughput 比不上 DBS 及 DBE 設定較大的組別。

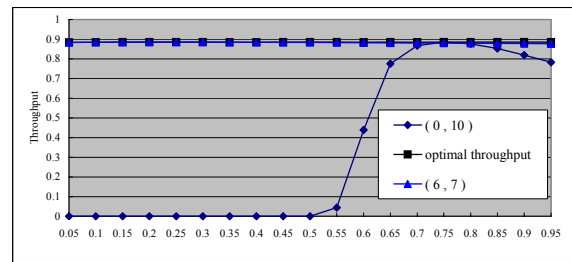
當碰撞機率上升時，DBS 及 DBE 的值則有變小的趨勢。主要是因為當碰撞機率增加時，代表有越多的頻寬需求要傳送，使用較大的後退視窗會降低碰撞的發生機會，但是也會使得每一個頻寬需求將花費更多時間在倒數後退視窗值，其最終結果就是造成每個頻寬需求的傳送時間都會拉的很長，因此自然無法獲得較高的 Throughput。反之，如果我們將 DBS 及 DBE 的值不要設的那麼大，此時雖然會因

為後退視窗較小，造成較多的碰撞發生而使得傳送成功率變低，但是由於多數的頻寬需求可以在較短時間內傳送或重傳，使得傳送成功的頻寬需求總數反而高於 DBS 及 DBE 都設定很大值的組別，也因此能獲得較高的 Throughput。

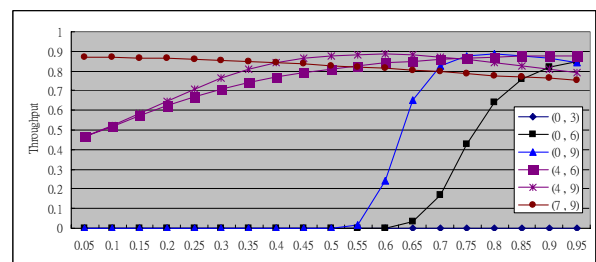
(二) 不同 DBS、DBE 值的設定在 Throughput 上的表現比較

Ethernet 和 DOCSIS Protocol 兩者所使用的碰撞解決演算法相當類似。而在 Ethernet 中其後退視窗開始值為 0，結束值則為 10。目前也有許多 CM 廠商也仿效 Ethernet 的設定將 DBS 設為 0，DBE 設為 10。(0,10)這組組合是不論後退機率如何的變動，都使用相同的 DBS 及 DBE 組合，這種整個碰撞機率區域只使用一個 DBS 及 DBE 組合的方式，我們稱之為 Single Mode。這和我們前一部份探討系統最佳 Throughput 值的做法不同。之前的探討是只要碰撞機率改變時，我們就會改用另外一組合適的 DBS 及 DBE 組合，因此在整個碰撞機率區間中，我們會使用到很多組的 DBS 及 DBE 組合。這種隨碰撞機率不同，改變 DBS 及 DBE 的做法，在網路負載變動激烈時，將會造成系統很大負荷。使用 Single Mode 的方法雖然會損失一點效能，但卻可以減低 CM 頻繁切換 DBS 及 DBE 的負擔。

為了要和(0,10)做一個比較，因此在這邊我們將要找出在 Single Mode 下的可以得到最佳 Throughput 的 DBS 及 DBE 組合。同樣套用方程式(13)到(17)，經由 MATLAB 的計算及比較，我們得到在 Single Mode 下可產生最佳 Throughput 的組合為(6,7)。圖五為(0,10)、(6,7)及前一部份表一的 DBS 及 DBE 組合在不同碰撞機率下的 Throughput 的表現。我們可以發現到(6,7)所展現出來的 Throughput 值和表一設定的系統最佳 Throughput 差距不大。此外(0,10)在碰撞機率小於 0.5 之前，Throughput



圖五 (0,10)、(6,7)及得到系統最佳 Throughput 所使用的 DBS 及 DBE 組合在不同後退機率下的 Throughput 的表現



圖六 不同後退視窗範圍的代表組別在不同碰撞機率下之 Throughput 表現

偏低的主要原因是因為當時的負載太輕所導致[4]，而在碰撞機率等於 0.55 之後 Throughput 則快速上升，直到碰撞機率大於 0.75 後，Throughput 則開始緩慢下降，主要原因是因為在高碰撞機率下，CM 的後退視窗值會維持在一個很大的值，使得 CM 要花費更多的時間在倒數後退視窗，造成真正傳送到網路上的資料反而不如後退視窗值較低的時候。

(三) DBS 及 DBE 在不同碰撞機率下對 Throughput 的影響

接下來我們將針對不同的 DBS 及 DBE 組合，在碰撞機率改變時，會對其 Throughput 有何影響做一個探討。為了看出變化的趨勢，我們將採用 Single Mode 的方式，並將 DBS 及 DBE 做以下的分組。首先我們將 DBS 及 DBE 值依所可能選擇的數值範圍從 0 到 10 依照數值大小分成小、中、大三個區間，其中 0 到 3 我們稱為小後退視窗區間，4 到 6 稱為中後退視窗區間，7 到 10 則是大後退視窗區間。之後，我們列出三個區間值所有可能的組合分別

是(小,小)、(小,中)、(小,大)、(中,中)、(中,大)及(大,大),並對應前面挑選出(0,3)、(0,6)、(0,9)、(4,6)、(4,9)及(7,9)這些組別來依序來代表上述的可能組合。

根據方程式(13)到(17)以及 MATLAB 的計算統計,我們得到圖六為上面這些組合在不同碰撞機率下的 Throughput 表現。我們可以發現當 DBS 及 DBE 值都設定在小後退視窗範圍時,Throughput 的表現會很差。比較(0,6)及(4,6)我們則可以發現,當 DBE 設在中後退視窗範圍時,隨著碰撞機率一直上升,Throughput 也會跟著一起增加,而 DBS 如果一開始設成較大的值,將有助於在較低碰撞機率時獲取較佳的 Throughput 值。最後我們觀察(0,9)、(4,9)及(7,9)等三個組別,我們發現當 DBE 的值設在大後退視窗範圍時,當碰撞機率大於某一點後,原本上升的 Throughput 便會開始下降,而 DBS 值設的越大,這個轉折點便會越早出現在較低碰撞機率上。

五、.結論與未來工作

碰撞解決演算法對於整個網路的效能會有很大的影響。在 DOCSIS Protocol 中所使用的 TBEB 碰撞解決演算法,預留了 DBS 及 DBE 這兩個參數,可以供網路管理者調整碰撞演算法的運作效能。在這篇論文中,我們提出了一個模型,可以根據目前的碰撞機率,預測出未來的 Throughput。利用這個模型所推導的方程式,我們找出了表一中,在不同碰撞機率下要獲得最佳 Throughput 值所需設定的 DBS 及 DBE 值。之後我們則比較了系統最佳 Throughput、(0,10)及 Single Mode 下最佳 Throughput 組合(6,7),這三組在 Throughput 上的表現,我們發現(6,7)和系統最佳 Throughput 的差距並不大。最後我們討論在不同碰撞機率下,DBS 及 DBE 值的設定範圍對 Throughput 的影響。利用上述的結果將更能夠提供網路管理者利用調整 DBS 及 DBE 值,來

得到管理者需要的 Throughput。

在未來的工作上。我們將放在下列兩個方向。首先評估網路的效能除了 Throughput 外,Delay Time 也是很很重要的一點。未來我們會將研究重點放在如何調整 DBS 及 DBE 值,以獲得系統最佳的 Delay Time。其次,我們將一併探討 DBS 及 DBE 值對 Throughput 及 Delay Time 兩者之間相互的影響。

六、參考文獻

- [1] Cable Television Laboratories, Inc., Data-over-Cable Service Interface Specifications, Radio Frequency Interface Specification, SP-RFiv2.0-I02-020617, June 2002.
- [2] Sheldon M. Ross, Stochastic process. New York: John Wiley & Sons, 1983.
- [3] L. Kleinrock, Queueing Systems Vol I: Theory, New York: John Wiley & Sons, 1975.
- [4] Sung-Hyun Cho, Jae-Hyun Kim and Sung-Han Park, "Performance evaluation of the DOCSIS 1.1 MAC protocol according to the structure of a MAP message", Communications, 2001. ICC 2001. IEEE International Conference on , Volume: 6 , 11-14 June 2001.