

# 802.11 無線區域網路之智慧型指數臨界線性倒退 機制

## A Smart Exponential-Threshold-Linear Backoff Mechanism for IEEE 802.11 WLANs

柯志亨<sup>1</sup>

國立金門技術學院電資研究所<sup>12</sup>  
[smallko@gmail.com](mailto:smallko@gmail.com)<sup>1</sup>

魏志成<sup>2</sup>

[weidaman@hotmail.com](mailto:weidaman@hotmail.com)<sup>2</sup>

丁建文<sup>3</sup>

國立高雄應用科技大學資訊管理系<sup>3</sup>  
[jwding@cc.kuas.edu.tw](mailto:jwding@cc.kuas.edu.tw)<sup>3</sup>

### 摘要

本文將基於無線區域網路 IEEE 802.11 分散式協調功能協定 (Distributed Coordination Function, DCF)，提出一個可以增進以競爭視窗為基礎無線網路的整體效能的方法，稱為智慧型指數臨界線性倒退機制 (Smart Exponential-Threshold-Linear Backoff Mechanism, 簡稱 SETL)。這個機制藉由設定一個臨界值去決定無線區域網路中每個競爭節點在每次傳輸後不論成功或失敗、競爭視窗 (Contention Window, CW) 改變的行為。當一個傳輸節點本身目前的 CW 小於所設定的臨界值時，這個時候傳輸節點以指數型式快速調整本身 CW 的大小以降低碰撞發生的機率。相反的，如果傳輸節點本身目前的 CW 已大於臨界值的話，傳輸節點本身的 CW 就以線性較慢的方式調整，以避免延遲傳輸的情形發生。透過數學分析和大量的模擬實驗，結果顯示不管在網路負載較輕或很重的時候，本文所提出的 SETL 的機制，比其他相關的演算法，如二元指數倒退、指數增加指數減少、線性增加線性減少等演算法，提供較好的整體傳輸的吞吐量及較低的碰撞發生率。

**關鍵字：**802.11 分散式協調功能協定，倒退演算法，競爭視窗，二元指數倒退。

### 一、前言

近來無線區域網路 (Wireless Local Area Networks, WLANs) 無所不在且受到廣泛歡迎使用。更多如筆記型電腦、掌上型電腦及個人數位助理等無線行動計算裝置出現，使得使用無線區域網路變得更加方便。無線區域網路已成功地應用在健康照護、製造業、零售業、倉儲業、圖書館及大專院校…等各領域。當無線網路傳輸品質大幅提昇，大家開始利用無線區域網路傳送多媒體影音和視訊資料。

IEEE 802.11[1]的協定包括媒體儲存取控制 (Medium Access Control, MAC) 和實體層 (Physical Layer, PHY) 的詳細規範是無線區域網路最主要的標準。在無線區域網路中，傳輸媒體的 PHY 為所有傳輸節點共同使用並且有連結範圍的限制。MAC 協定提供免競爭的集中式協調功能 (Point Coordination Function, PCF) 和以競爭為基礎的分散式協調功能 (Distributed Coordination Function, DCF) 等方法解決無線網路節點競爭使用傳輸頻道的問題，很多的研究

顯示 PCF 方法因為有太多的控制訊框以致於無法提供足夠好的服務品質[2]。大多數的行動節點都使用 DCF 而非使用 PCF 的機制。因此，本文研究的動機在於無線區域網路 IEEE 802.11 DCF 傳輸效能的改進。

在 IEEE 802.11 標準，DCF 是最主要支持非同步資料傳送的方法，基於載波偵測多重處理碰撞避免（Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA）的協定，並利用穩定的二元指數倒退（Binary Exponential Backoff, BEB）的策略讓傳輸競爭節點分享傳輸媒體，所有行動節點都以相同的優先權競爭使用傳輸頻道。當一個節點在第一次嘗試傳送一個封包前，隨機選擇一個離散均勻分佈介於 0 和  $CW_{min}-1$ （ $CW_{min}$  為最小競爭視窗）間的整數為倒退時間（Backoff time），當頻道被其他節點佔據使用的時候，傳輸節點的倒退時間會被凍結；相反的，當偵測到頻道是空閒的時間間隔超過 1 個 DCF 訊框間隔的時間（Distributed Inter Frame Space, DIFS），傳輸節點的倒退時間開始倒數至 0 後開始傳送封包。在每次傳送時如果發生碰撞，競爭視窗大小會加倍直到達到  $CW_{max}$  為止（ $CW_{max}$  為最大競爭視窗），並重新依據  $CW$  產生倒退時間。相反的，如果競爭節點成功傳送封包後，二元指數倒退機制將  $CW$  值重設為  $CW_{min}$ 。圖 1 說明 IEEE 802.11 DCF 基本運作機制。無線區域網路中利用二元指數倒退機制避免碰撞的發生，但對於整體傳輸效能仍有相當的改善空間。

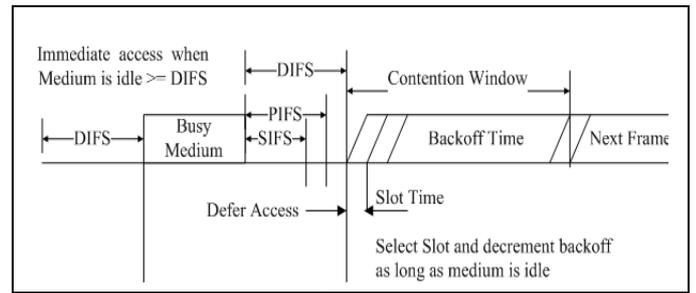


圖 1. IEEE 802.11 DCF 基本運作機制

在無線區域網路中，當一個競爭傳輸節點不管在什麼時候傳送資料時若發生碰撞，必須增加  $CW$  的大小以儘量避免碰撞發生，但同時也可能因為倒退時間加長，造成傳輸吞吐量衰減和傳輸延遲。相反的，當一個競爭傳輸節點傳送封包成功後，降低  $CW$  而得到更好的傳輸效能，但也可能因為  $CW$  變得太小，多個傳輸節點因選擇相同的倒退時間而提高碰撞的機率。因此，如何智慧地有效調整  $CW$  的大小是一個很重要的議題。於是，有很多相關的方法被提出來藉由調整  $CW$  的大小以適應網路負載以改善整體傳輸效能。這些方法大致上可分為以量測為基礎和不以量測為基礎的方法兩類。在以量測為基礎的方法[3-5]中，必須透過競爭節點間彼此交換訊息或利用複雜的計算，首先建立競爭傳輸節點數和最佳  $CW$  間的關係、再者每個競爭傳輸節點必須監測周遭附近其他節點的活動以估算網路中競爭節點數、最後依據所估算的競爭節點數的多寡來調整  $CW$  的大小。然而這些方法必須耗費相當的資源並且有實作上困難的缺點，尤其當量測或計算誤會時，可能造成更糟的傳輸效能。而不以量測為基礎的方法不會改變控制參數的設定值（如  $CW_{min}$ 、 $CW_{max}$  值等）且容易實作，只是改變二元指數倒退機制，如[6]提出指數增加指數減少（Exponential Increase Exponential Decrease,

EIED)、基於多重增加線性減少 (Multiple Increase Linear Decrease) [7], 另一種演算法為線性增加線性減少 (Linear Increase Linear Decrease, LILD) [8-9]等。

本文研究目的即提出一個倒退機制, 稱為智慧型指數臨界線性倒退機制 (Smart Exponential-Threshold-Linear Backoff Mechanism, 簡稱 SETL)。這個機制藉由設定一個臨界值去決定無線區域網路中每個競爭節點在每次傳輸後不論成功或失敗、競爭視窗 (Contention Window, CW) 改變的行為。每個節點藉由自我調整 CW 值, 使整體無線區域網路達到較高傳輸效能及較低的碰撞率。

本文組織如下, 第二節我們將討論相關的研究, 如 802.11 DCF、EIED 和 LILD 等不同倒退機制。第三節描述、建立本文所提出的 SETL 機制及數學分析模型。第四節藉由大量的模擬實驗和透過實驗結果數值分析, 比較本文所提出 SETL 倒退機制和其他倒退演算法的效能。最後一節第五節為本文的結論並且提出將來可以繼續努力研究的方向。

## 二、相關研究探討

### (一) IEEE 802.11 DCF 機制

在 IEEE 802.11 DCF 的機制下, 每一個要傳送封包的節點都要先偵測傳輸頻道的活動, 當偵測到傳輸媒體是空閒的且時間等於或超過一個 DCF 訊框間隔 (Distributed Inter-Frame Space, DIFS) 時間, 在下一個立即緊接的時槽開始傳送封包。相反地, 如果頻道是忙碌的, 傳送節點必須等待直到頻道是空閒的時間超過一個 DIFS 時間, 並且在傳送封包前先隨機產生

一個倒退時間, 當頻道是空閒的這倒退時間計數器就一直倒數, 當頻道是忙碌的這倒數時間計數器被凍結; 必須等到這頻道又被偵測到是空閒的且時間超過一個 DIFS 時間。當節點的倒退時間計數器倒數至 0 的時候節點開始傳送封包。這倒退時間是平均在 0 和  $W_i-1$  ( $W_i$  為目前 CW) 之間隨機選一個數, 當一開始傳輸的時候設定  $W_0=CW_{min}$ , 在每次碰撞後 CW 是加倍的, ( $W_i = 2 * W_{i-1} = 2^i * CW_{min}$ ) 直到最大值  $CW_{max}$ 。 ( $W_i = 2 * W_{i-1} = 2^i * CW_{min}$ 、 $CW_{max} = 2^m * CW_{min}$ )。參數 m 代表最大倒數的階數。相反的如果傳送成功, CW 將重設為最小值  $CW_{min}$ , 在 IEEE 802.11 DCF 對直序展頻 (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) 的實體頻道中,  $CW_{min} = 32$ ,  $CW_{max} = 1024$  和  $m = 5$ 。圖二為二元指數倒退機制及載波偵測多重處理碰撞避免的一個傳輸範例。圖 3 表示在 IEEE 802.11 DCF 中 BEB 倒退演算法。圖 4 為 BEB 倒退演算法 CW 變化情形。並且假設  $CW_{min}$  的值為 32 及  $CW_{max}$  的值為 1024。

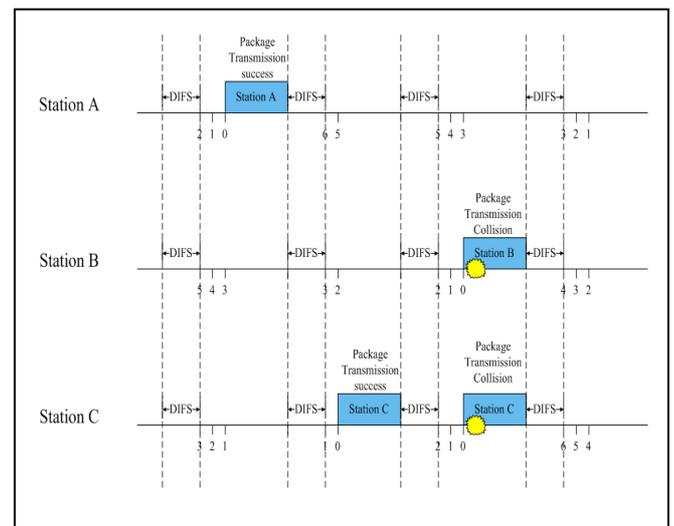


圖 2. 二元指數倒退機制及載波偵測多重處理碰撞避免的一個傳輸範例

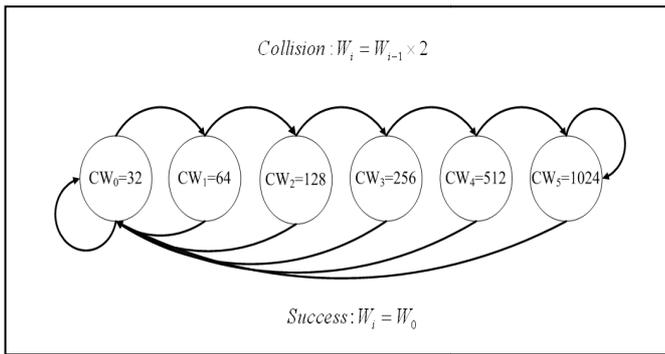


圖 3. IEEE 802.11 DCF 中 BEB 倒退機制

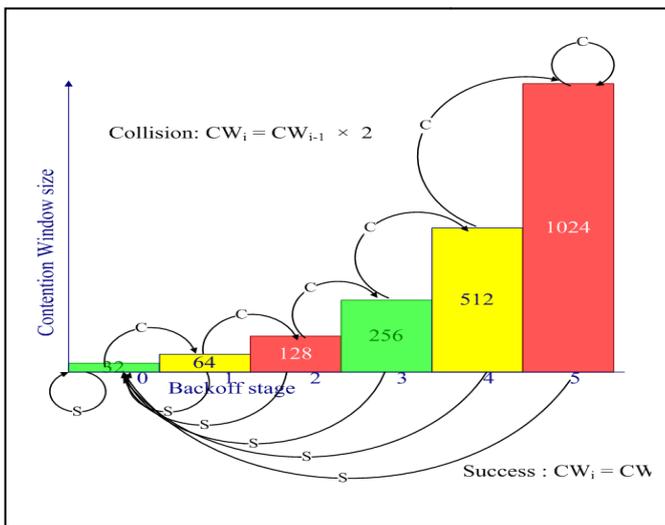


圖 4. BEB 倒退機制 CW 變化情形

時候將 CW 加倍、而成功傳送後將 CW 減為原來的一半。EIED 和 BEB 方法在傳送失敗時是一樣的，差別在於成功傳送 EIED 的方法避免直接將 CW 變成  $CW_{min}$ ，而逐次減為原來的一半以減少碰撞發生的機率。EIED 的機制在無線網路上競爭節點數較少的時候，將 CW 值以較快速的方式作調整可以避免碰撞的發生，確實可以改善整體的傳輸效能，但是當競爭節點數較多的時候，雖然需要較大的 CW 避免碰撞的發生，但 CW 若改變太快、太靈敏以致無法有效適應網路的負載，反而造成傳輸延遲情形發生，以致影響整體的傳輸效能。圖 5 表示 EIED 倒退機制。圖 6 說明 EIED 倒退機制 CW 變化的情形。

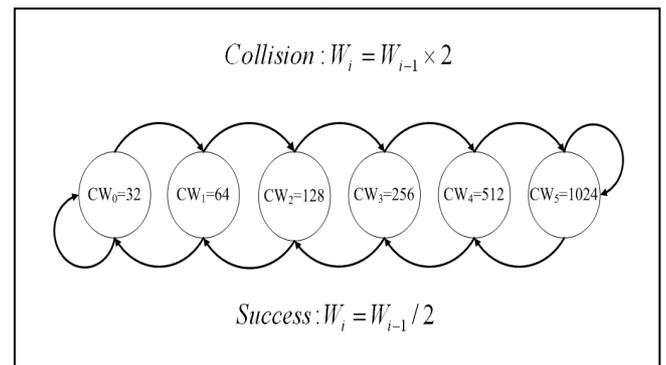


圖 5. EIED 倒退機制

## (二) EIED 倒退機制

在 EIED 倒退的方法，不管任何時候競爭節點傳送封包時，若發生傳送碰撞時，CW 的大小以倒退因子  $r_I$  的倍數增加。相對的，在成功傳送後則除以倒退因子  $r_D$  降低。EIED 倒退演算法可以下列式子表示。

- $W_i = \min[r_I * W_{i-1}, CW_{max}]$  當傳送發生碰撞時。
- $W_i = \max[W_{i-1} / r_D, CW_{min}]$  當傳送成功時。

當  $r_I$  和  $r_D$  的倒退因子值設為 2 的時候，CW 以指數型式增加或減少，即在傳輸發生碰撞的

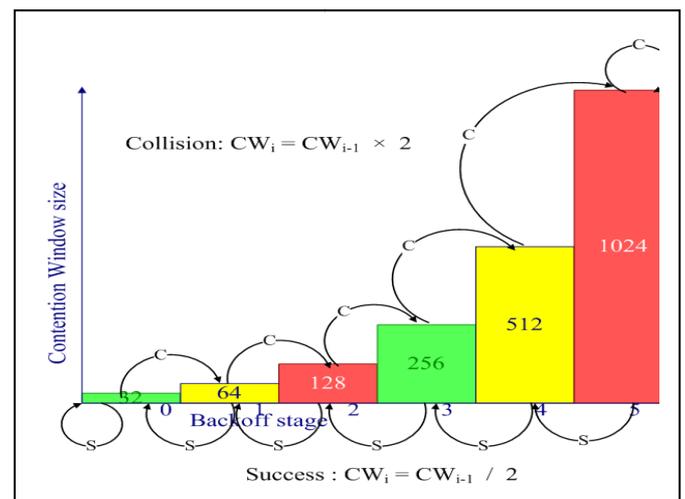


圖 6. EIED 倒退機制 CW 變化情形

### (三) LILD 倒退機制

LILD 方法是 MILD 機制的改善，LILD 方法是以線性方式增加或減少 CW。LILD 倒退演算法可以下表示。

- $W_i = \min[W_{i-1} + CW_{\min}, CW_{\max}]$  當傳送發生碰撞時。
- $W_i = \max[W_{i-1} - CW_{\min}, CW_{\min}]$  當傳送成功時。

LILD 方法比 EIED 較緩慢的方式改變 CW 值。當網路競爭節點數較少時，緩慢調整 CW 容易使競爭節點間選擇相同倒退時間而增加碰撞發生的機率，相反的，當競爭節點數較多時，卻比較能適應網路負載變化情形，減少網路傳輸延遲。圖 7 表示 LILD 倒退機制。

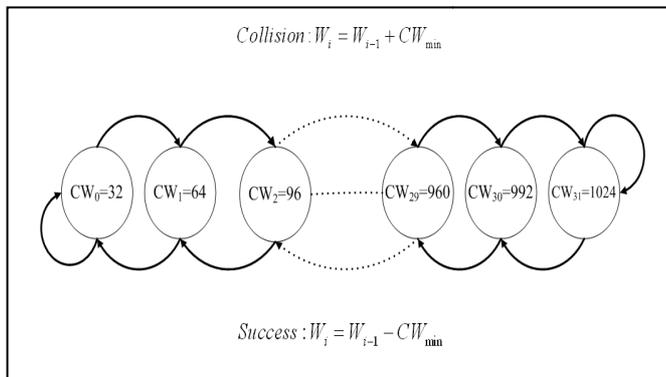


圖 7. LILD 倒退機制

### (四) 相關研究比較結論

在以競爭為基礎的 DCF 協定，CW 值的調整是非常重要的。一個可依據無線網路環境適當的調整 CW 的解決機制、將可改善無線區域網路整體傳輸的吞吐量並且避免碰撞的發生。就如同所討論的，EIED 的方法提供一個較快速 CW 的改變，較適用於網路競爭節點較少的環

境，可以降低碰撞發生的機率。但另一方面，LILD 的方法改變 CW 較為緩慢，比較適用於網路競爭節點較多的環境，可以避免傳輸延遲的情形。當再次傳送資料的時候，競爭節點必須權衡資料傳送延遲和碰撞的問題。因此，本文提出一個新的倒退機制，智慧型指數臨界線性倒退機制 ( Smart Exponential-Threshold-Linear Backoff Mechanism, SETL )，同時結合 EIED 和 LILD 方法的好處，更進一步，我們藉由調整當傳輸節點成功傳送後 CW 改變的作法，可以有效改善無線區域網路整體的傳輸效能。

### 三、智慧型指數臨界線性倒退機制

就如同在第二節所討論的，在無線網路競爭節點數較少的環境，EIED 的方法運作效能比 LILD 好，相反地，當無線網路競爭節點數多的環境，LILD 比 EIED 可以得到更好的效能。為了能夠不管在網路節點多寡的環境中都能夠有好的傳輸效能，本論文提出 SETL 倒退機制，定義一個 CW 的臨界值，即  $CW_{\text{threshold}}$ 。當一個競爭節點的 CW 已經大於  $CW_{\text{threshold}}$  的時候，表示 CW 已經較大，這時以 LILD 較慢的方法調整 CW，避免倒退的時間過長造成傳輸延遲。當一個競爭節點的 CW 小於  $CW_{\text{threshold}}$  時，表示 CW 相對較小時，則以 EIED 較快速的方法來調整 CW，以適應無線網路環境，避免碰撞的發生。

然而，在每一次傳輸成功後，我們所學習的所有倒退機制在下次傳輸封包時都直接降低 CW，以減少傳輸延遲增強傳送封包的吞吐量，但是此時並不真正表示無線網路中競爭節點數減少，直接降低 CW 反而提高再次傳送時整體網路碰撞的機率並造成傳輸效能的降低。因此，我們設定一個記錄連續成功傳輸次數的

計數器”S”，當每次成功傳送後計數器的值加1，並且CW不改變直到計數器的值達到我們設定的值。也就是說，當一個競爭節點連續成功傳送的次數達到我們設定的次數後，我們比較目前CW和 $CW_{threshold}$ 值，如果CW大於 $CW_{threshold}$ 則以線性方式調整減少，反之若CW小於 $CW_{threshold}$ 則以指數方式調整減少。當競爭節點的CW不管因為傳送成功或碰撞而調整後，計數器的值都必須歸零。

圖 8 表示 SETL 倒退機制。

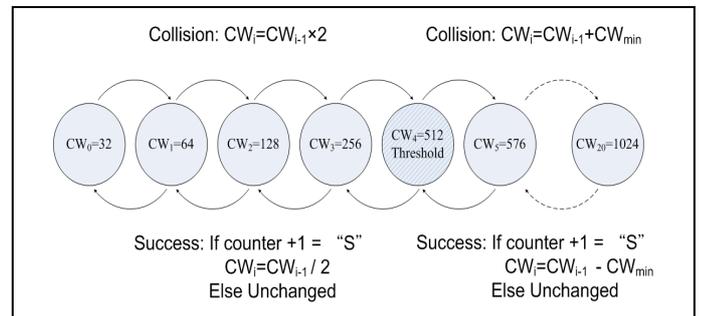


圖 8. SETL 倒退機制

### (一) SETL 倒退機制的演算

本論文所提出 SETL 倒退機制的演算詳細說明如下：

- **碰撞**：和所有倒退機制一樣，比較 $CW_{threshold}$ 值以增加CW值，也就是當目前CW值小於 $CW_{threshold}$ 則以指數方式調整增加， $W_i = [W_{i-1} * 2]$ 。否則目前CW值大於或等於 $CW_{threshold}$ 則以線性方式調整增加， $W_i = \min[W_{i-1} + CW_{min}, CW_{max}]$ 。並且將連續成功傳輸計數器值歸零。
- **成功傳送**：首先將連續成功傳輸計數器的值加1，若是計數器值已達到預設值，則將目前CW值比較 $CW_{threshold}$ 值來減少CW，也就是如果目前CW值小於或等於 $CW_{threshold}$ 值則CW以指數方式調整減少， $W_i = \max[W_{i-1} / 2, CW_{min}]$ 。相反的若是目前CW大於 $CW_{threshold}$ 則以線性方式調整減少， $W_i = (W_{i-1} - CW_{min})$ 。CW值調整後並將計數器的值歸零。若是連續成功傳輸計數器的值尚未達預設值，則計數器的值和CW的值都不改變。
- **空間**：如果偵測頻道是空間的，和所有倒退機制一樣，將倒退計數值減1。

### (二) SETL 數學分析模型

參考 Bianchi[3]，本論文利用馬可夫鏈 (Markov Chain) 模型分析 SETL 機制的飽和吞吐量，在飽和模式下，無線區域網路中任一傳輸節點、隨時都有封包要傳送。 $s(t)$ 則是傳輸節點在時間 $t$ 的 backoff stage 的隨機程序。而隨程序 $b(t)$ ，代表傳輸節點在時間為 $t$ 時的 backoff 值。二者形成二維程序 $\{s(t), b(t)\}$ ，亦即第 $s(t)$ 的倒數階段、倒數計數器為 $b(t)$ 的狀態，構成了 Discrete-Time Markov Chain，並假設這個 Markov Chain 是穩定分佈且是非關連性的，其狀態移轉的機率為 $P\{s(t+1), b(t+1)|s(t), b(t)\}$ 即狀態 $s(t), b(t)$ 到狀態 $s(t+1), b(t+1)$ 的機率，圖 9 表示本論文所提出 SETL 倒退機制的馬可夫鏈模型。在 SETL 數學模型的分析過程中所用到的符號說明如表 1。

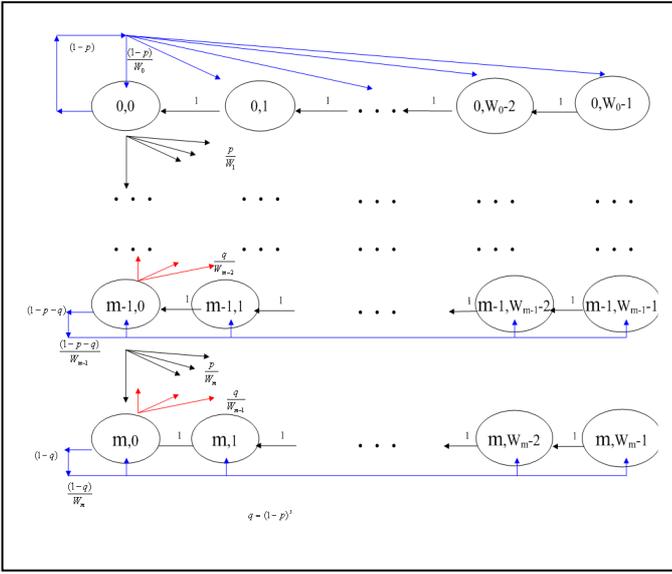


圖 9. SETL 馬可鏈倒退機制的馬可夫鏈模型。

表 1. SETL 倒退機制馬可夫鏈分析模型符號表

符號	符號說明
P	一個傳輸節點傳輸封包碰撞的機率
$q = (1-p)^s$	一個傳輸節點連續成功傳送 s 次的機率
r	$p/q$
$\tau$	一個傳輸節點在任一隨機時槽傳送封包機機率
i	目前 backoff stage
m	最大 backoff stage
j	CW 臨界值所在 backoff stage
W	CW 的最小值，即 CWmin
Wth	CW 的臨界值， $Wth = CWthreshold = 2^j \times W$
W <sub>i</sub>	在 stage i 的 CW 值。

首先將圖 8 中各 stage 的 CW 整理如下：

$$W_i = \begin{cases} 2^i \times W & 0 \leq i \leq j \\ W_{th} + (i-j) \times W = 2^j \times W + (i-j) \times W & j < i \leq m \end{cases} \quad (1)$$

SETL 的 Markov Chain 的 non-null one-step transition probability 表示如下：

$$\begin{cases} P\{i, k|i, k+1\} = 1, & k \in [0, W_i - 2], i \in [0, m] \\ P\{0, k|0, 0\} = \frac{(1-p)}{W_0}, & k \in [0, W_0 - 1] \\ P\{i, k|i-1, 0\} = \frac{p}{W_i}, & k \in [0, W_i - 1], i \in [1, m] \\ P\{m, k|m, 0\} = \frac{p}{W_m}, & k \in [0, W_m - 1] \\ P\{i-1, k|i, 0\} = \frac{q}{W_{i-1}}, & k \in [0, W_{i-1} - 1], i \in [1, m] \\ P\{i, k|i, 0\} = \frac{(1-p-q)}{W_i}, & k \in [0, W_i - 1], i \in [1, m-1] \end{cases} \quad (2)$$

方程式 (2) 中第一個式子表示傳輸節點 backoff timer 倒數情形；第二個式子表示在 stage 0 成功傳送封包；第三個式子表示在 stage i-1 傳送失敗；第四個式子表示在 stage m 傳送失敗；第五個式子表示在 stage i 連續成功傳送 s 次的情形；第六個式子表示在 stage i 成功傳送封包但尚未連續達 s 次的情形。

馬可夫鏈的穩定狀態分佈 (Stationary distribution) 為  $b_{i,k} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{s(t) = i, b(t) = k\}$ ,  $i \in [0, m], k \in [0, W_i - 1]$ ，很容易得到

$$b_{i,0} = r^i \times b_{0,0} \quad 0 \leq i \leq m \quad (3)$$

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i} \times b_{i,0} \quad 0 \leq i \leq m \quad (4)$$

因為所有穩定存在狀態的機率總和必須為 1，所以

$$\begin{aligned} 1 &= \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,k} = \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,0} \times \frac{W_i - k}{W_i} \\ &= \sum_{i=0}^m b_{i,0} \times \frac{W_i + 1}{2} \end{aligned} \quad (5)$$

將第 (1) (3) (4) 式代入第 (5) 式可求得  $b_{0,0}$ ，進而求出網路傳輸節點在任一時槽傳送一個訊框的機率為

$$\begin{aligned} \tau &= \sum_{i=0}^m b_{i,0} = b_{0,0} \times \frac{1 - r^{m+1}}{1 - r} \\ &= \frac{2 \times \Delta_5}{W \times (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4) + \Delta_5} \end{aligned} \quad (6)$$

上式中所用到的符號說明如下：

$$\Delta_1 = \frac{1 - (2r)^{j+1}}{1 - 2r}$$

$$\Delta_2 = (2^j - j) \times \frac{r^{j+1} \times (1 - r^{m-j})}{1 - r}$$

$$\Delta_3 = \frac{(j+1) \times r^{j+1} - m \times r^{m+1}}{1 - r}$$

$$\Delta_4 = \frac{r^{j+2} \times (1 - r)^{m-j-1}}{(1 - r)^2}$$

$$\Delta_5 = \frac{1 - r^{m+1}}{1 - r}$$

接著可以找到任一傳輸節點傳送封包撞碰的機率為

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \quad (7)$$

在選定的時槽上至少有一個傳輸節點要傳送封包的機率為

$$P_{tr} = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \quad (8)$$

又在有傳輸節點傳送封包的情況下，傳送成功機率為

$$P_s = \frac{n\tau(1 - \tau)^{n-1}}{1 - (1 - \tau)^n} \quad (9)$$

因此，可以求出無線區域網路整體正規化網路傳輸量

$$S = \frac{P_s P_{tr} E[P]}{(1 - P_{tr})\sigma + P_{tr} P_s T_s + P_{tr} (1 - P_s) T_c} \quad (10)$$

其中  $P_s P_{tr} E[P]$  表示有資料要傳而且傳送成功的情況中，平均傳送的封包大小。 $\sigma$  為一個時槽的時間； $T_s$  表成功傳送封包時媒體被偵測到忙碌的平均時間； $T_c$  表發生碰撞時媒體被偵測到忙碌的平均時間，在標準處理模式計算如下：

$$T_s = T_c = \text{DIFS} + \text{DATA} + \text{SIFS} + \text{ACK} \quad (11)$$

### (三) SETL 數學分析模型驗證

為了驗證本文所提出 SETL 倒退機制的數學分析模型的正確性，本節利用以 C++ 程式語言所撰寫的程式作模擬實驗。在模擬的過程中，每個傳輸節點的運作完全依據 IEEE 802.11 的規範。為了比較本文所提出 SETL 機制和 IEEE 802.11 DCF 機制的整體效能，並且同時以數學分析及模擬程式來計算及模擬 IEEE 802.11 DCF 機制的結果。在本節數學分析及程式模擬的過程中所用到的參數為跳頻展頻調變技術 (Frequency-Hopping Spread Spectrum, FHSS) 實體層的系統值如表 2。

表 2、IEEE 802.11 DCF 標準參數

<b>Packet payload</b>	<b>8184bits</b>
<b>MAC header</b>	<b>272bits</b>
<b>PHY header</b>	<b>128bits</b>
<b>ACK</b>	<b>112bits+PHY header</b>
<b>Channel bit rate</b>	<b>1 Mbit/s</b>
<b>Slot time</b>	<b>50μs</b>
<b>DIFS</b>	<b>128μs</b>
<b>SIFS</b>	<b>28μs</b>
<b>Propagation Delay</b>	<b>1μs</b>
<b>CWmin</b>	<b>32</b>
<b>CWmax</b>	<b>1024</b>
<b>CWthreshold</b>	<b>512</b>
<b>continuous consecutive successful counter "S"</b>	<b>1</b>

假設資料傳送的速率為 1 Mbit/sec，每個傳送封包的大小都為 8184bits，且在本文所提出的 SETL 倒退機制中，假設每個競爭傳輸節點的成功傳輸計數器的值預設為 1、並且假設  $CW_{threshold}$  的值為 512、 $CW$  的最大指數調整 backoff stage 為 4、全部最大 backoff stage 為 20，並且只考慮基本處理模式。

如同圖 10 所顯示的數值結果，不管 IEEE 802.11 DCF 的機制或本文所提出的 SETL 的機制，數學分析結果和程式模擬的結果都非常接近。並且本文所提出的 SETL 機制比 IEEE 802.11 DCF 的機制，特別是在競爭傳輸節點數很多的時候，可以得到更好的系統傳輸飽和吞吐量。

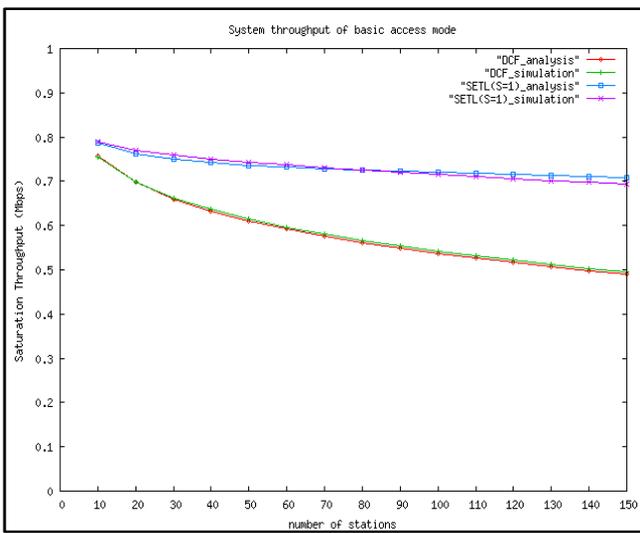


圖 10. IEEE 802.11 DCF 和 SETL 機制的數學分析和模擬結果

## 四、 模擬結果與分析

### (一) 模擬參數設定

這個單元的模擬實驗中使用 NS-2[9] 模擬器。在模擬實驗過程，假設每個傳輸節點都有足夠的封包隨時都在傳送，由實驗結果計算整體標準化飽和吞吐量 (Normalized Saturation Throughput) 的效能。並且我們假設傳輸媒體是沒有錯誤的而且沒有隱藏節點的問題。無線區域網路競爭節點數設定由 10 每次增加 10 到 150。

實驗過程中 802.11 b 無線區域網路系統參數 (PHY: DSSS) 如表 3。

表 3 802.11 b 無線區域網路系統參數

<b>Packet payload</b>	8184bit
<b>MAC header</b>	272bit
<b>PHY header</b>	128bits
<b>ACK</b>	112bits+PHY header
<b>Channel bit rate</b>	11 Mbit/s
<b>Slot time</b>	20 $\mu$ s
<b>DIFS</b>	50 $\mu$ s
<b>SIFS</b>	10 $\mu$ s
<b>Propagation Delay</b>	1 $\mu$ s
<b>CW<sub>min</sub></b>	32
<b>CW<sub>max</sub></b>	1024

### (二) 模擬結果分析

在第一個模擬實驗中，比較本文所提出 SETL 倒退演算法和其他相關演算法的系統效能。在 SETL 演算法中先將  $CW_{threshold}$  設定為 512，連續成功傳輸計數器設為 1，以避免成功傳輸計數器的設定值因素影響實驗模擬的結果。圖 11 顯示各不同倒退演算法在不同節點數的標準化飽和吞吐量。

由模擬實驗結果可看出當競爭節點增加時整體網路傳輸吞吐量降低。如同在第 2 個單元所討論的，當競爭節點數小於 90 時，EIED 方法比 LILD 方法得到較好的整體效能。相反的，如果競爭節點數超過 90 以上，LILD 方法比 EIED 方法的整體效能較好。但是不管節點數多寡，本文所提出的 SETL 倒退演算法的系統效能比 EIED 和 LILD 的方法都好。圖 12 為各種不同演算法的碰撞率，如同預期的，SETL 倒退演算法比其他演算法的碰撞發生率都低。由模擬實驗結果，SETL 倒退演算法比 EIED 和 LILD 等方法有較好的整體吞吐量及較低的碰撞發生率。

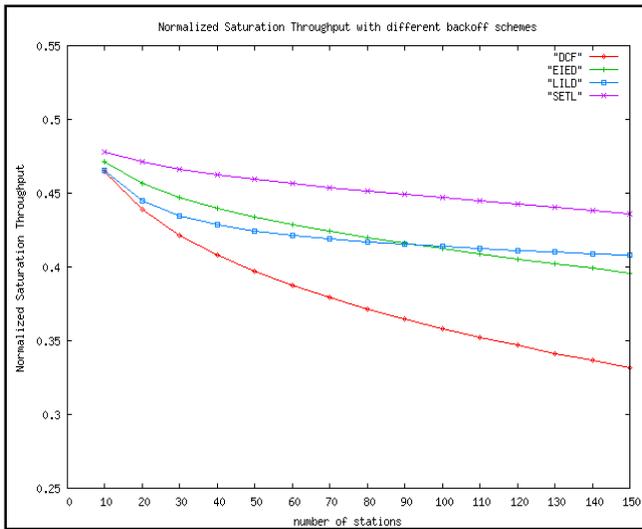


圖 11. 各不同倒退演算法的標準化飽和吞吐量

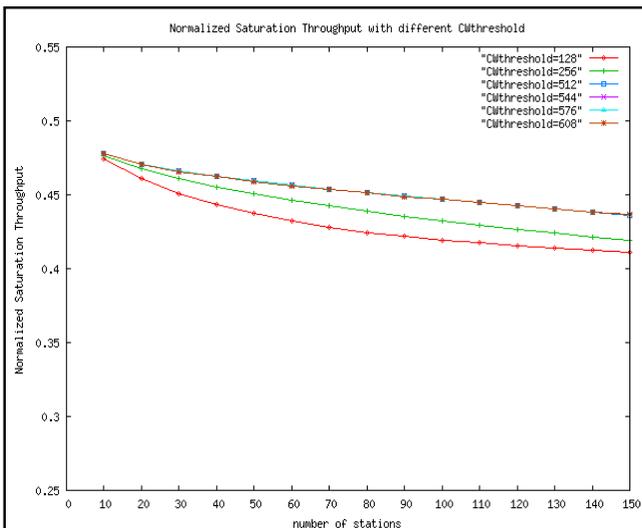


圖 12. 各不同倒退演算法的碰撞率

在第二個模擬實驗中，研究不同  $CW_{\text{threshold}}$  值的設定對整體傳輸效能的影響，以計算較佳的  $CW_{\text{threshold}}$  設定值。如同在第一個實驗中，先將每個節點成功傳輸計數器的值預設為 1，避免計數器預設值的因素影響實驗結果。在 SETL 倒退方法中，分別設定  $CW_{\text{threshold}}$  為 128, 256, 512, 544, 576 和 608，模擬系統整體標準化吞吐量及碰撞發生率。經由模擬實驗結果如同圖 13 和圖 14 顯示，當  $CW_{\text{threshold}}$  設定為 544, 576 和 608，整體效能非常接近，可是由

實驗數值結果顯示，發現  $CW_{\text{threshold}}$  值設定為  $544(CW_{\text{max}}/2 + CW_{\text{min}})$  時，競爭節點數從 10 到 150 都有較好的整體傳輸標準化吞吐量及較低的碰撞發生率。

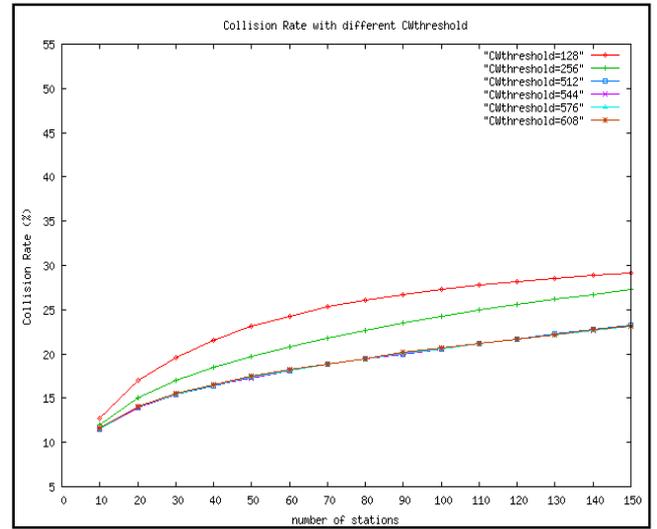


圖 13. 不同  $CW_{\text{threshold}}$  值的標準化飽和吞吐量

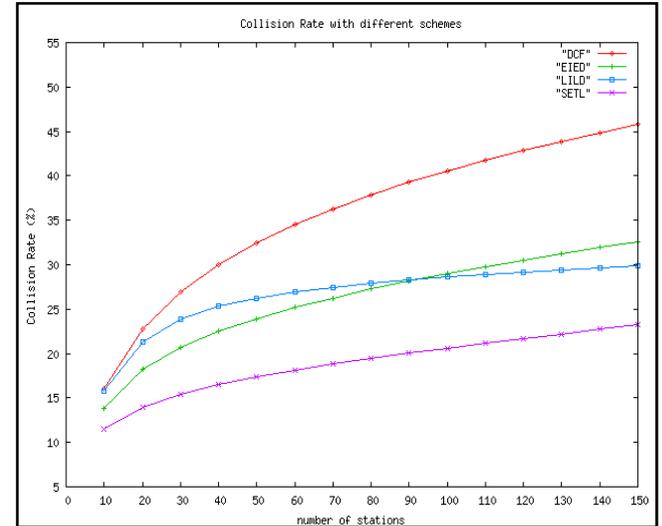


圖 14 不同  $CW_{\text{threshold}}$  值的碰撞率

在第三個模擬實驗中，討論不同成功傳輸計數器預設值的設定對整體效能的影響。依第二個模擬實驗結果，設定  $CW_{\text{threshold}}$  值為 544，競爭節點數由 10 每次增加 20 到 150。圖 15 為不同成功傳輸計數器預設值對不同競爭節點數

的飽和吞吐量。由圖 15 可看出當競爭節點數為 10 的時候，計數器預設值設為 2；節點數介於 30 和 50 之間，計數器預設值設為 3；節點數為 70，計數器預設值設為 4；當節點數介於 90 到 150 之間，計數器預設值設為 5，可得到較好整體吞吐量。

但是最重要的是，由模擬實驗結果發現，不管競爭節點數多寡即使超過 150 個節點同時競爭頻道，可藉由適當計數器預設值的設定得到整體較好的吞吐量。

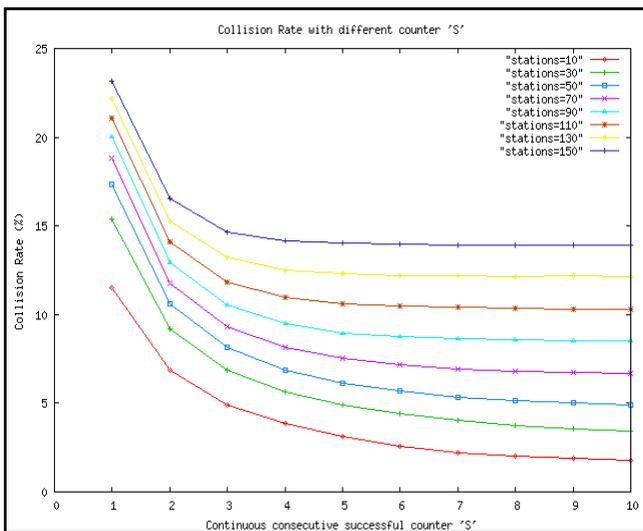


圖 15 不同成功傳輸計數器預設值的飽和吞吐量

圖 16 為不同成功傳輸計數器預設值對不同競爭節點數的碰撞發生率，由模擬結果發現，當增加計數器的預設值可以有效的降低碰撞發生率，但是卻無法再增強整體傳輸吞吐量，這是因為每個競爭節點的 CW 經碰撞變大後，相對很難降低下來，以致每個節點都會有較長倒退時間造成傳輸延遲，雖然可以有效降低碰撞發生率，但是整體傳輸吞吐量卻也受到限制。

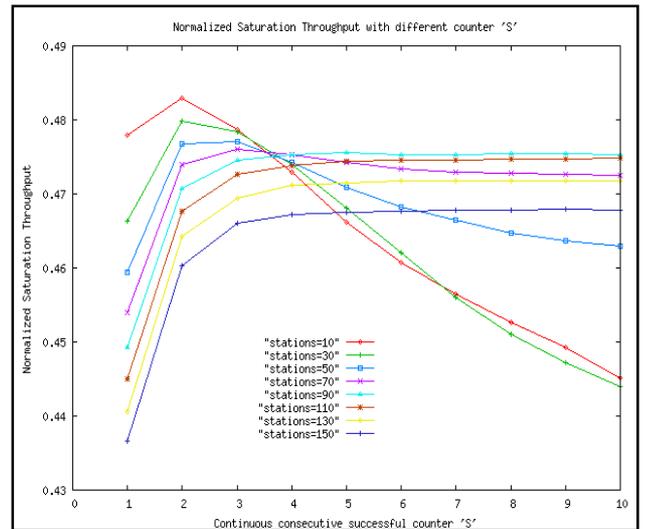


圖 16 不同成功傳輸計數器預設值的碰撞率

## 五、結論

本文提出一個智慧型指數臨界線性倒退機制 ( Smart Exponential-Threshold-Linear Backoff Mechanism, SETL )，增強基於視窗競爭無線網路的效能。每個競爭節點藉由  $CW_{threshold}$  的設定，動態的以指數或線性方式調整競爭視窗的大小。更進一步，利用成功傳輸計數器預設值的設定，避免在每次成功傳輸後直接降低競爭視窗的大小提高碰撞發生的機率。由模擬實驗結果，本文所提出 SETL 倒退演算法比其相關演算法運作得更好。

更進一步，在相同以競爭為基礎的無線網路環境中，利用 SETL 倒退機制的成功計數器預設值的權重設定，解決無線區域網路中多重速率效能表現異常 ( performance anomaly ) 的問題，將是可以繼續努力的方向。

## 參考文獻

- [1] IEEE stand for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, ISO/IEC 802-11:1999(E), Aug 1999.

- [2] W. K. Kuo, C. Y. Chan, and K. C. Chen, "Time bounded services and mobility management in IEEE 802.11 wireless LANs," in Proc. IEEE Personal Wireless Communication Conference, 1997, pp. 157-161.
- [3] G. Bianchi, L. Fratta, and M. Oliveri, "Performance Evaluation and Enhancement of the CSMA/CA MAC protocol for 802.11 Wireless LANs," in Proc. PIMRC'96, Taipei, Taiwan, Oct. 1996, pp. 392-396.
- [4] F. Cali, M. Conti, and E. Gergori, "Dynamic Tuning of the IEEE 802.11 Protocol to Achieve a Theoretical Throughput Limit," IEEE/ACM Trans. Networking, vol. 8, no. 6, pp. 785-799, Dec. 2000.
- [5] D. Qiao and K. G. Shin, "UMAV: A Simple Enhancement to the IEEE 802.11 DCF," in Proc. The 36<sup>th</sup> Hawaii International Conference on System Science (HICSS-36), Hawaii, Jan. 2003.
- [6] N. Song, B. Kwak, J. Song, and L. E. Miller, "Enhancement of IEEE 802.11 distributed coordination function with exponential increase exponential decrease backoff algorithm," The 57<sup>th</sup> IEEE Semiannual Spring VTC, vol. 4, April 2003.
- [7] V. Bharghavan, A. Demers, S. Shenker, and L. Zhang, "MACAW: A Media Access Protocol for Wireless LAN's," Proceeding ACK SIGCOMM'94, London, England, 1994
- [8] V. Vitas, "Throughput analysis of linear backoff scheme in wireless LANs," IEEE Electronic Letters, vol. 39, no 1, pp. 99-100, 2003.
- [9] P. M. Soni and A. Chockalingam, "Analysis of link-layer backoff scheme on point-to-point markov fading links," IEEE Transactions on Communications, vol. 51, no. 1, pp. 29-32, 2003.
- [10] The Network Simulator – NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.