

利用訊號變化與遮蔽效應之802.11 MAC 碰撞避免協定

Collision Avoidance 802.11 MAC Protocol with Signal Variation and Masking Effect

PoYueh Chen(陳柏岳)

YenFu Lu(盧彥甫)

ChingWen Chen(陳青文)

逢甲大學資訊工程學系

逢甲大學資訊工程學系

逢甲大學資訊工程學系

afa0728@gmail.com

text6538@gmail.com

chingwen@fcu.edu.tw

摘要

在以 IEEE 802.11 DCF 為標準的多跳躍無線網路中，傳輸對的鄰居節點會進入 NAV 狀態，並且在傳輸對完成傳輸時結束 NAV 狀態以避免與傳輸中的節點發生碰撞。然而當一個節點在 NAV 狀態時，如果此時其鄰居開始進行資料傳輸，當此節點離開 NAV 狀態後，可能會與正在傳輸資料的節點產生碰撞而影響網路效能。這個狀況在 Ad-Hoc Network 和網路環境密度高的情況下更為嚴重。為了解決此種碰撞問題，在本篇論文中我們提出一個 MAC 層碰撞避免協定。主要分成三個部分，當某一節點處於 NAV 狀態時，1.如果可以收到其鄰居節點的控制訊號並且不會收到原傳輸對的訊號時，其要監聽其鄰居節點是否發出控制訊號來調整其 NAV 狀態時間以避免在 NAV 狀態結束後發生產生碰撞。2.如果節點同時會收到原傳輸對與其鄰居節點訊號時，並且鄰居節點的控制訊號強度比上原傳輸對訊號強度大於接收控制訊號的門檻值時，雖然節點處在同時收到兩者的訊號，但是根據遮蔽效應還是可以收到鄰居節點的控制訊號進而調整其 NAV 時間以避免碰撞發生。3.當節點會同時收到兩者訊號，並且接收的鄰居節點的控制訊號強度不足以遮蔽原通訊對的訊號而無法變遮蔽原通訊對的訊號而無法辨識時，此時利用偵測訊號強度變化來預測是否有鄰居節點傳輸對正在傳輸來改變 NAV 時間。實驗模擬結果顯示我們提出的協定碰撞發生比率較傳統 802.11 DCF 協定減少 60%，同時比起其他的研究也減少約 41%。除此之外，傳輸延遲以及重傳次數也能有較好的表現，整體網路輸出量也因此有所提昇。

關鍵詞： IEEE 802.11 DCF、NAV、碰撞、SINR

Abstract

IEEE 802.11 DCF is widely used and able to avoid the collisions of the hidden terminal problem in a wireless network. However, there may be collisions existing in the DCF MAC protocol. That is, when a node in NAV state does not receive any control signal, a collision may occur after the node ends the NAV period. In this paper, to solve this collision problem, a detailed analysis about the problem is given. Afterwards, according to the analysis, we utilize the "masking effect" and the detection of signal variation to design the MAC collision avoidance protocol. With the received signal strength and the variation of received signal strength of a node, the node can determine whether there are other transmissions occurring in the transmission range. Therefore, a node can determine whether the period of NAV state can be extended to avoid collisions. Simulation results show that our proposed MAC protocol can efficiently reduce 60% and 41% collisions than the IEEE 802.11 DCF protocol and OCS-MD. In addition, our proposed MAC protocol also shows shorter transmission delay and lower retransmissions than the 802.11 DCF and OCS-MD to have better network throughput.

Keywords: DCF, NAV, collision, SINR

一、緒論

無線多重跳躍網路使用 IEEE 802.11 a/g/b/n 作為傳輸協定，其中 IEEE 802.11 Distributed Coordination Function(DCF)[1]為碰撞避免機制，利用 BEB 演算法 (Binary Exponential Backoff Algorithm) 以及虛擬載波偵測機制 (Virtual Carrier Sense Mechanism) 來避免資料傳輸時產生的碰撞。BEB 演算法是調整封包傳輸前等待的時間來錯開節點傳輸的順序。而虛擬載波偵測機制使用四項交握 (Four-Way Handshake) 來預留傳輸通道使用權，其控制訊號分別為 RTS (Request to Send)、CTS (Clear to Send)、DATA 以及 ACK 四種。節點在傳輸資料之前會先完成四項交握，交握的作用包括設定傳送者與接收者之間的同步以及建立通訊連結。

傳送者首先送出 RTS 控制訊號，接收者回覆 CTS 控制訊號。傳送者接收到相對應的 CTS 控制訊號後，即開始傳輸資料 (DATA)。當接收者正確無誤地接收資料後會回覆 ACK 以通知傳送者此次傳輸成功。另外，所有接收到 RTS 及 CTS 控制訊號的鄰近節點會設置 NAV (Network Allocation Vector) 狀態，NAV 狀態下的節點禁止發送訊號，以避免影響即將開始的資料傳輸，直到傳輸結束才將 NAV 狀態解除。IEEE 802.11 DCF 機制雖然確保建立通訊的通訊對可以順利傳輸，但還是會發生以下的碰撞問題。

如圖 1.1 為例，當節點 A 傳輸資料給節點 B 前，會先執行四向交握後傳輸資料。當節點 A 正在傳輸資料的時刻，節點 E 與節點 D 也開始傳送資料，當節點 D 執行到四向交握的第二步回傳 CTS 時，由於鄰近節點 C 在 NAV 狀態，且在節點 A 訊號範圍內，因此節點 C 無法收到 D 所發出的控制訊號 CTS。因此當節點 C 在結束 NAV 狀態之後欲發送訊號時，就會造成節點 D 的碰撞。

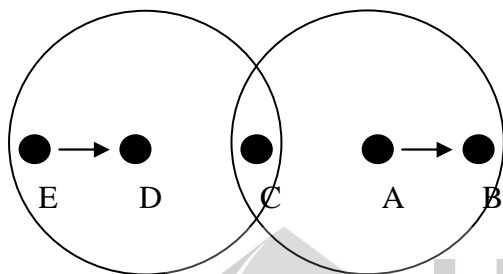


圖 1.1 碰撞問題示意圖

過去在解決碰撞問題的研究中，為了減少碰撞的發生，在 802.11 DCF 機制下的四項交握發送採用功率控制 (Power control) 的方法，利用減少控制訊號功率的方式，將傳輸的範圍縮小，以減少控制訊號造成的碰撞問題。然而縮減了控制封包 (RTS/CTS) 的訊號涵蓋範圍，可

能會增加與鄰居節點的碰撞機會，且沒法解決上述節點收不到控制訊號所造成的碰撞問題。而另一類解決碰撞問題的研究，採用 Time-Division Multiple-Access (TDMA) 排程的方式，節點藉由選擇不同的時間區間 (Time slot) 來錯開傳輸時間，使隱藏節點問題不易發生，然而時間切割的方式仍然無法解決碰撞問題。綜觀上述的方法，雖然功率控制和時間切割的方式解決了一部分的碰撞問題，然而當節點收不到控制訊號時，這些碰撞問題還是容易發生。

本篇論文中，我們提出一個偵測訊號變化機制和利用訊號強度遮蔽特性的一個 IEEE 802.11 MAC 碰撞避免協定，我們首先分析碰撞問題的發生狀況，依照節點扮演不同的角色 (傳送或接收端) 進行問題的分類和整理。接著依據問題的分析設計一個訊號強度遮蔽的方式，使節點可以正確地收到控制訊號進而延長 NAV 時間，以避免發生碰撞。當訊號無法遮蔽時就透過監測訊號強度變化的方式來判斷是否有鄰近節點正在傳輸，透過調整 NAV 狀態的持續時間，以避免碰撞問題發生。

二、相關研究

在 IEEE 802.11 DCF 機制下 [1] 與多重速率環境下，在單一傳輸速率 (Single Rate) 的環境下，每一個節點的傳輸速率均一致，若控制訊號的傳輸速率與資料訊號的傳輸速率相同，則鄰近節點接收控制訊號並設置 NAV 的範圍與資料訊號的影響範圍相等。但是多重傳輸速率 (Multi-Rate) 的環境下，每一個節點皆可以任意調整其傳輸速率，而不同的傳輸速率採用的訊號調變技術及訊號解調技術不盡相同，造成各種傳輸速率皆擁有不同的傳輸範圍，較高的傳輸速率傳輸範圍較小，較低的傳輸速率則擁有較廣的傳輸範圍。在多重傳輸速率的環境之下，為了避免鄰近節點干擾到正在通訊的節點，因此控制訊號通常使用較低的基本傳輸速率來傳送。

過去有部分研究在解決碰撞問題的同時致力於空間重用性 (Spatial Reuse)，以傳輸功率控制 (Transmission Power Control) 的方式改變訊號的覆蓋範圍，在局部區域內允許多組通訊對同時進行通訊，使得網路整體輸出量得以提升。而另一方面的研究希望採用時間切割分配的方式，使不同傳輸對的傳輸時間錯開避免碰撞發生，並讓通道呈現忙碌而不是空閒的狀態。在第一與第二小節我們將分別對上述兩種技術相關文獻進行研討。

2.1 傳輸功率控制

傳輸功率控制是利用控制傳輸時的訊號功率來減少多餘的干擾和控制訊號影響範圍。減少傳輸功率可將訊號的傳輸範圍縮小，可減少被設置 NAV 狀態的鄰居節點並減少訊號對其他通訊對所造成的碰撞。如下圖(2.1)所示，當節點使用傳輸功率控制後，傳輸所影響的範圍縮小，使得節點所影響的範圍較小減少碰撞問題的發生。

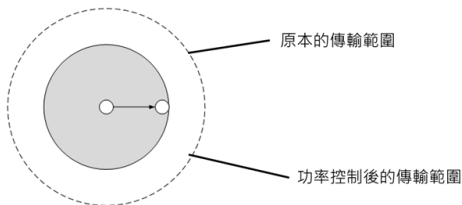


圖 2.1 傳輸功率控制

在 Shih 等人所提出的 CAPC (Collision Avoidance Power Control MAC protocol) [2] 著重於解決訊號干擾問題，他們經由訊號能量強度的計算，使用較高的訊號能量強度來抵抗其他鄰近節點的訊號干擾，但是實驗結果顯示其網路輸出量方面的提升有限。另外，RCRC (Receiver Carrier-sensing Range Cover)、ARPC (Adaptive Range-Based Power Control) [3]、F-RCRC (Fragmentation-based RCRC) [4] 也使用類似的傳輸干擾模型，MRPC (Multi-Rate supported Power Control) [5] 則是上述方法支援多重速率的改進版本，而 [6-7] 採用廣播功率控制的方式，使節點的傳輸範圍錯開傳輸對覆蓋的範圍以避免碰撞。

傳輸功率控制的機制雖然有機會減少碰撞問題並允許多組通訊對同時傳輸，但若縮小控制訊號的傳輸功率，未收到控制訊號的鄰近節點發送訊號時可能會影響到正在通訊的通訊對。但若縮小資料訊號的傳輸功率，會使得訊號接收者容忍的干擾訊號強度相對減少，功率縮小越多被干擾的機會越高；不對資料訊號的傳輸功率進行調整又無法降低訊號對於鄰近節點的干擾。經由上述分析我們可以了解傳輸功率控制，碰撞問題依舊存在，其效能上的提升也因而受到限制。

2.2 時間切割

時間切割(Time-Division)分配的方式，是將不同傳輸對給予一個隨機時間區間，透過適當的延長 Backoff time 機制和給予一個延遲變數以錯開其傳輸時間，避免碰撞問題發生來增加網路輸出量。最早以 EBA(Early Backoff Announcement)[8] 節點在廣播時會隨機帶一個 Backoff number 給其他節點，避免多個節點在同一時間區間做資料傳輸的動作，但是這使得

其他節點很難競爭到傳輸通道，且還是有可能在同一時間區間發生碰撞問題。而 [9-16] 為了提高網路的輸出量，採用傳輸排程的方式使傳輸對依序傳輸，並藉此來避免節點傳輸的碰撞干擾，[17-18] 透過調整 Contention Window 來調整傳輸時間，[19] 將路徑上的節點以 hop count 的節點順序去選擇時間區間去決定傳輸的時間。然而這些方式時間切割的方式，當節點收不到訊號而無法辨別時，還是無法解決問題。

三、利用訊號變化與遮蔽效應之 802.11 MAC 碰撞避免協定

為了解決之前所述的碰撞問題，我們利用偵測訊號變化和訊號遮蔽效應使節點能偵測到控制訊號，進一步調整 NAV 持續時間來解決碰撞問題。在本章節中，我們先對此種碰撞問題的狀況進行分析，接著根據分析結果分為以下情況來討論，1. 如果可以收到其鄰居節點的控制訊號並且不會收到原傳輸對的訊號時，其要監聽其鄰居節點是否發出控制訊號來調整其 NAV 狀態時間以避免在 NAV 狀態結束後發生產生碰撞。2. 如果節點同時會收到原傳輸對與其鄰居節點訊號時，並且鄰居節點的控制訊號強度比上原傳輸對訊號強度大於接收控制訊號的門檻值時，雖然節點處在同時收到兩者的訊號，但是根據遮蔽效應還是可以收到鄰居節點的控制訊號進而調整其 NAV 時間以避免碰撞發生。3. 當節點會同時收到兩者訊號，並且接收的鄰居節點的控制訊號強度不足以遮蔽原通訊對的訊號而無法辨識時，此時利用偵測訊號強度變化來預測是否有鄰居節點傳輸對正在傳輸來改變 NAV 時間。

3.1 分析碰撞問題的情況

我們首先分析四種可能的情況(如圖 3.1)，節點 C 因為 AB 之間的傳輸進入 NAV 的狀態，而之後 DE 傳輸前的四項交握控制訊號 C 並沒辦法收到，因此必須分析 C 發送的訊號是否會造成 DE 之間的碰撞。

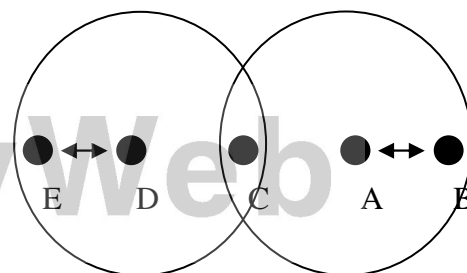


圖 3.1 鄰近兩組傳輸對示意圖

1. 當 D 為傳送方，發出的訊號為 RTS 時，且 A 亦為傳送方。如圖 3.2。

分析: 此時C有可能因為持續收到A的資料訊號而無法收到D發出的RTS。當AB傳送完而C結束NAV的狀態, 此時若C要傳送有可能影響D無法收到RTS或ACK。然而在此之前雖然C無法收到D發出的RTS, 但是它可以偵測到D持續傳送資料而進入等待狀態。此時並不會干擾到D收取ACK。唯一的碰撞機會為D接收CTS的時候, 然而此時間非常短暫, 亦會超過C在傳送前等待的Backoff Time。

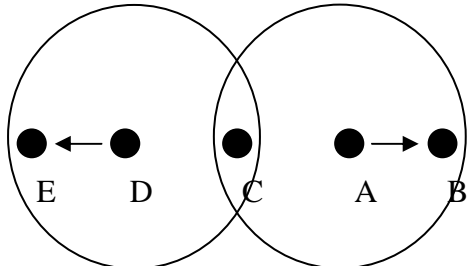


圖 3.2 A 為傳送方, D 為傳送方

2. 當D為傳送方, 且A為接收方。如圖 3.3。
分析: 此時C只會收到A發出的CTS或ACK, 不會因為A而無法收到D發出的RTS訊號。因此當C在NAV的狀態時依然能收到D發出的RTS, 若能適時的更新NAV的持續時間則能避開碰撞。

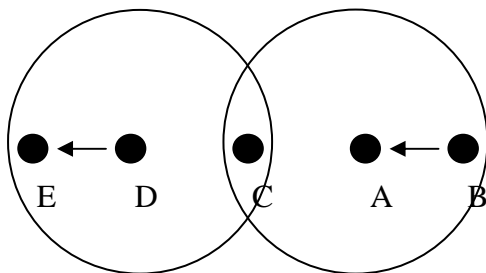


圖 3.3 D 為傳送方, A 為接收方

3. 當D為接收方, 且A為傳送方。如圖 3.4。

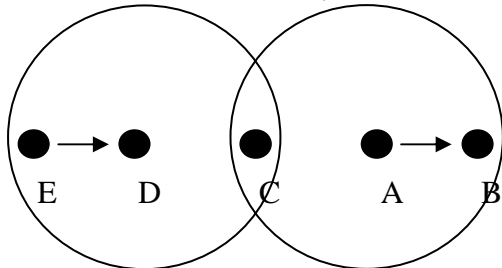


圖 3.4 D 為接收方, A 為傳送方

分析: 此時C會因為持續收到A的訊號而無法收到D發出的CTS。當AB傳送完而C結束NAV的狀態, 此時C並無法知道D正在接收資料, 因此當C要發送訊號時會造成DE間的碰撞, 且此種碰撞非常容易發生。因此此種碰撞為本論文欲解決的重心。

4. 當D為接收方, 且A亦為接收方。如圖 3.5。

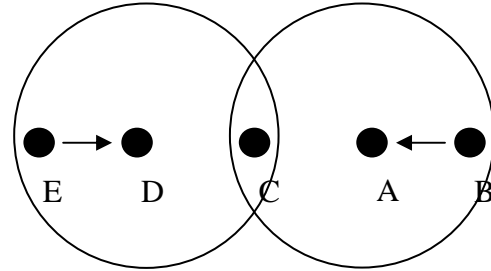


圖 3.5 當 D 為接收方, A 為接收方

分析: 此時C只會收到A發出的CTS或ACK。因此當C在NAV的狀態時依然能收到D發出的CTS。因此若能適時更新C的NAV持續時間則碰撞不會發生。

根據上述四種狀況的分析與歸納, 我們將狀況分成以下兩種情況進行討論: (1) 節點收得到控制訊號的狀況, 以及 (2) 節點收不到控制訊號的狀況。

在第一種情況中, 節點已進入NAV狀態, 若沒理會其他節點所發出的控制訊號, 則在結束NAV狀態時發出控制訊號就會造成碰撞。所以我們修改DCF機制, 讓節點在NAV狀態也必須監聽其他節點的控制訊號並適時的更新NAV的持續時間。而在第二種狀況中, 由於節點接收不到控制訊號, 因此我們提出監測訊號變化的方式, 使節點在NAV狀態雖然無法辨識控制訊號, 仍可根據目前的訊號強度變化, 判定有傳輸對在傳輸, 而適當的延長NAV狀態的時間。

3.2 節點收得到控制訊號的處理方式

前述章節 3.1 的碰撞分析, 我們可以發現在某些狀況下節點其實是收的到其他傳輸對所發出的控制訊號, 只是處在NAV狀態沒去處理。而在NAV狀態結束之後想傳輸, 會造成其他傳輸對的碰撞。所以在這邊修改了DCF機制, 節點雖然處在NAV狀態也要監聽其他節點是否有發出控制訊號, 並延長其NAV狀態時間。

當我們修改後NAV狀態的節點以圖 3.3 為例, 當節點C收到節點A的控制訊號CTS進入NAV狀態, 當節點C收到其他傳輸對所發送的控制訊號時, 更新其NAV狀態的時間(如圖 3.6)。

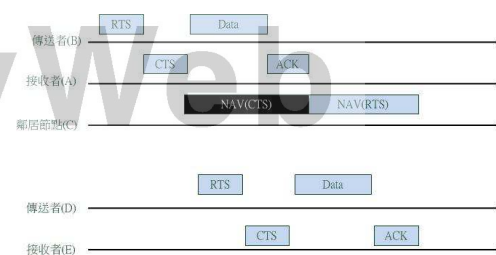


圖 3.6 NAV 狀態時間延長示意圖

然而節點亦有可能收不到控制訊號，我們在章節 3.3 接下來說明，如何透過訊號遮蔽與監測訊號變化來解決節點收不到控制訊號的問題。

3.3 節點收不到控制訊號的狀況

由章節 3.1 的碰撞分析，節點由於控制訊號與其他訊號碰撞收不到控制訊號，而在結束 NAV 狀態之後可能會發生碰撞問題。為了解決 DCF 機制下節點收不到控制訊號的問題，我們提出一個新的媒體存取控制層協定，讓節點雖然處在其他訊號的傳輸範圍內，也能知道其他傳輸對正在傳輸，適時的延長 NAV 狀態時間，進一步避免碰撞問題的發生。

首先我們對傳統 IEEE 802.11 DCF 標準進行修改，改採用偵測接收訊號強度以及比對 SINR 值方式，取代當訊號同時接收到就認定為碰撞的方式，使得發送出的 RTS/CTS 控制訊號能夠使節點接收到，而當節點所接收的 RTS/CTS 控制訊號強度和 SINR 值強度沒過通訊門檻時，則透過監聽訊號分貝的變化判定有其他傳輸對正在傳輸，適時的延長 NAV 狀態時間。在介紹我們的方法之前，我們先說明傳輸速率的門檻與傳輸距離的關係。

3.3.1 分析傳輸距離與接收到的訊號強度關係

在無線網路的環境之下，當傳輸對節點間的距離越遠，傳輸訊號的強度隨距離增加而衰退越嚴重。而訊號強度越差就代表傳輸的錯誤率越高，為了降低訊號的傳輸封包錯誤，無線網路的協定通常就會以較低傳輸速度進行編碼和傳輸，因此當距離越遠，節點能傳輸的資料速率就會越低。

首先我們以 802.11b 為例，不同傳輸速率必須達到的門檻值[8]。如表(3.1)。接著透過 Eq.(1)來推導不同資料傳輸速率的傳輸距離關係，當傳送端節點與接收段節點做傳輸時，接收端所接收的訊號強度必須滿足其訊號門檻值，以 11Mbps 與 1Mbps 為例，其門檻值如表格(3.1)所示，假設傳輸節點的天線和使用功率相同，其中 11Mbps 可以傳輸的最遠距離為 d1，1Mbps 可以傳輸的最遠距離為 d2，其中 P_{signal} 表示訊號強度(dBm)，而訊號衰退係數 n 為 2，環境雜訊 N_0 為 1。

$$P_{signal} = 10 \log_{10} \frac{P_r}{N_0} = 10 \log_{10} \frac{P_t \left(\frac{1}{d}\right)^n \times \beta}{N_0} \quad (1)$$

$$SINR \quad (dB) = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} \quad (2)$$

表 3.1 802.11b 傳輸門檻值

IEEE 802.11b 傳輸速率門檻值[8]	
Rates (Mbps)	Signal-to-noise-ratio (dB)
11	6.99
5.5	5.98
2	1.59
1	-2.92

透過 Eq.(1) 我們可以推導 d1:d2 = $\frac{\sqrt[2]{P_t \times \beta}}{10^{6.99/10}} = \frac{\sqrt[2]{P_t \times \beta}}{10^{-2.92/10}} = 0.32:1$ ，我們再依序推導出各個傳輸速率的傳輸距離，如表(3.2)所示。

表 3.2 傳輸速率與傳輸距離關係表

資料傳輸速率 (Mbps)	訊號強度門檻值 (dB)	傳輸距離比 值
11	6.99	0.32
5.5	5.98	0.36
2	1.59	0.60
1	-2.92	1

由於使用不同的傳輸速率，會影響傳輸的影響範圍和鄰近節點的 NAV 狀態時間。因此在過去研究中[2-6]，為了減少碰撞問題節點採用功率控制(Power control)的方式來減少碰撞問題的發生，然而收到 RTS/CTS 控制訊號的節點反而變少，碰撞問題還是可能出現。

3.3.2 遮蔽效應

透過表格(3.2)可以計算出各傳輸速率 11、5.5、2、1Mbps 的傳輸距離。雖然不同環境下所使用的天線增益和發送功率不同，實際傳輸範圍有所差異，但也是按照比例變動。為了接下來方便說明，我們假設當節點以 11Mbps 的傳輸範圍為 63 公尺，而其餘傳輸速率的傳送範圍 5.5Mbps 為 71 公尺、2Mbps 為 119 公尺、1Mbps 為 200 公尺。而在多重速率環境下，接收端訊號辨識門檻主要是取決於訊號雜訊比(Signal-to-Interference and Noise Ratio, SINR)是否滿足其門檻值，Eq.(2)為 SINR 的計算公式， P_{Signal} 為節點接收的訊號功率、 P_{Noise} 周圍環境雜訊功率(沒其他訊號干擾訊號時設為 1)、 $SNR_{threshold}$ 訊號雜訊比的門檻值。

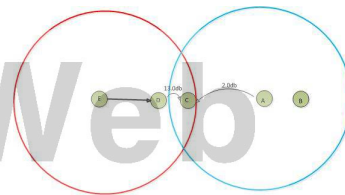


圖 3.7 遮蔽效應範例

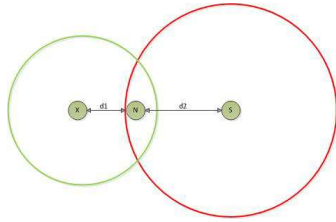


圖 3.8 遮蔽距離比值推算

以圖 3.8 為例，透過表 3.2 我們可以知道資料傳輸速率為 5.5Mbps 時，所需要的 SINR 門檻值為 5.98 dB，以圖 3.2 為例：假設節點 C 離 A 較遠收到之訊號強度為 2.0 dBm，而 C 離 D 較近收到的訊號強度為 13.0 dBm，此時透過 Eq.(2)，節點 C 所收到節點 D 所發出的訊號 SINR 比值為 $13 / 2 = 6.5 > 5.98(\text{dB})$ ，此時節點 D 可以收到的訊號強度大於 5.5Mbps 所需要的門檻值，所以節點 C 是能辨識節點 D 所發出的訊號，而並不是在 IEEE 802.11 DCF 機制下節點 A 發出的訊號與節點 D 發出的訊號相互碰撞無法辨識，此狀況為節點 D 所發出的訊號遮蔽了節點 A 所發出的訊號，我們稱為遮蔽效應。

然而此狀況容易發生嗎？如圖 3.8 我們先分析在此相交傳輸範圍內存在一點時，節點 S 和節點 X 距離比值為何，節點 X 的訊號能夠遮蔽節點 S 的訊號。此時節點 N 會同時收到傳輸對 α 節點 S 的訊號傳輸和傳輸對 β 節點 X 的訊號，傳輸對 β 節點 X 的控制訊號能讓節點 N 收到，使節點 N 了解有其他傳輸對正在傳輸，適時延長 NAV 狀態時間，而透過 Eq.(2) 所示：
$$\text{SINR} = \frac{P_{\text{Signal}_X}}{P_{\text{Signal}_S}} \geq \text{SINR}_{\text{threshold}}$$

，傳輸對 β 節點 X 才能成功讓節點 N 收到控制訊號。為了方便計算，我們今天假設 11、5.5、2、1Mbps 的傳輸門檻值為 10、8、6、4，而控制訊號通常以最低傳輸速度 1 Mbps 做傳輸以達到最遠的覆蓋範圍，所以 RTS/CTS 的 $\text{SINR}_{\text{threshold}}$ 為 4，而傳輸對 β 要成功讓節點收到訊號 $\text{SINR} = \frac{P_{\text{Signal}_X}}{P_{\text{Signal}_S}} \geq 4$ ，結合 Eq.(1) 我們可以得到

$$\frac{P_{\text{Signal}_X}}{P_{\text{Signal}_S}} = \frac{10 \log \left[\frac{P_t \left(\frac{1}{d1} \right)^n \times \beta}{N_0} \right]}{10 \log \left[\frac{P_t \left(\frac{1}{d2} \right)^n \times \beta}{N_0} \right]} \geq 4 \tag{3}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{1}{d2} \right)^2 \geq 4 \Rightarrow d1 : d2 = 1 : 1.58$$

所以我們可以得知當節點 X 和節點 S 距離節點 N 的距離比 $d1:d2=1:1.58$ 時，節點 X 的控制訊號就有機會成功讓節點 N 收到，讓節點 N 適時延長 NAV 狀態時間，避免碰撞問

題。

由 Eq.(3) 我們得到節點 X 和 S 的距離比為 1:1.58 時可以成功讓節點 N 收到控制訊號，接著我們帶入傳輸距離數值去計算此狀況的存在機率。假設 11、5.5、2、1Mbps 的傳輸距離為 63、71、119、200 公尺，則如圖 3.9 所示，當節點 N 位於傳輸對 α 的傳輸最遠距離 200 公尺時，此時傳輸對 β 節點 X 只要距離節點 N 小於 126.5 公尺時 ($d1 \leq 126.5$ 公尺)，則節點 X 的控制訊號可以讓節點 N 收到；而當傳輸對 β 的節點 X 為傳輸對 α 的傳輸範圍外一點（如圖 3.10），此時節點 X 可以讓節點 N 收到控制訊號的最遠距離 $d1=79$ 公尺，而節點 N 與節點 S 距離為 122 公尺。

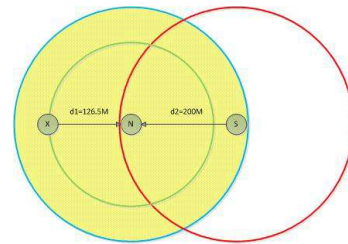


圖 3.9 遮蔽距離推算

(節點 N 距離節點 S 為最遠距離)

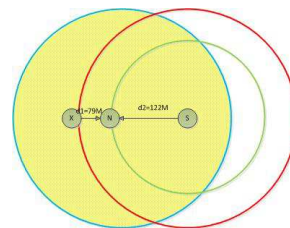


圖 3.10 遮蔽距離推算

(節點 X 為節點 S 為傳輸範圍外一點)

透過上面分析，我們得知節點 N 與節點 S 的距離在 122 公尺~200 公尺之間，而節點 X 的位置位於節點距離要小於等於 126.5 公尺時，節點 X 的訊號才能利用遮蔽效應成功讓節點 N 收到，適時延長 NAV 狀態時間，以避免碰撞問題。而我們透過面積分析，節點 N 存在此範圍內的機率為 62.7%，而節點 X 位於可成功讓節點 N 收到控制訊號的範圍機率為 40%，所以兩個狀況要同時發生的機率約為 25%。

根據上述分析結果，我們可以發現使用遮蔽效應的方式使節點成功收到控制訊號的狀況只有約 25% 的機會，還有很多狀況沒法透過此方式來解決節點收不到控制訊號，在結束 NAV 狀態之後發出控制訊號造成其他傳輸對碰撞的狀況。為了解決無法透過遮蔽效應解決碰撞問題的狀況，我們使用了監聽訊號與訊號雜訊比變化的方式來解決這種無法使用遮蔽效應的狀況。

3.3.3 監聽訊號和訊號雜訊比的變化

當傳輸對無法以遮蔽效應將控制訊號傳送給鄰近節點，使其適時更新 NAV 狀態。此時我們透過監聽訊號變化和訊號雜訊比的變化，使鄰近節點可以判定有其他傳輸對正在傳輸，而適時的延長 NAV 狀態時間避免碰撞問題。

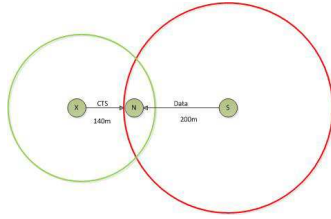


圖 3.11 訊號監聽範例

以圖 3.11 為例，節點 N 為傳輸對 α 節點 S 節點發送 Data 的傳輸範圍鄰近節點，此時由於 Data 為正在發送之訊號，節點 N 所接收的訊號分貝和訊號雜訊比應該呈現一個穩定的數值，所以當節點 X 發送控制訊號(CTS)過來時，節點 X 所接收到的訊號分貝和雜訊比會有所變化。在這邊我們透過 Eq.(1) 計算節點 N 分別收到節點 S 和節點 X 的訊號分貝為何，再利用 Eq.(2) 計算分別接收節點 S 和節點 X 的訊號雜訊比為何，我們透過表(3.3)發現，當節點 N 只接收到傳輸對 α 節點 S 所發送的 Data 時，其累積接收的訊號強度為 -3.04(dBm) 而訊號雜訊比為 -3.04(dB)，而當節點 X 發出 CTS 時，此時節點 N 所收到的訊號強度變成 1.786，而訊號雜訊比透過 Eq.(2) $\Rightarrow \text{SINR} = \frac{P_{\text{Signal}_S}}{P_{\text{Signal}_X}} = 0.017$ ，節點 N 可以偵

測到兩者同時有變化，則可以判定有節點傳輸，延長 NAV 狀態時間。

表 3.3 鄰近節點 N 的訊號接收變化訊號雜訊比變化

節點 N	訊號強度 (dB)	訊號雜訊比 (dBm)
只接收節點 S 的 Data	-3.04	-3.04
只接收節點 X 的 CTS	0.054	0.054
兩種訊號同時接收	1.786	0.017

然而當節點 X 距離節點 N 越遠，節點 X 所發送的控制訊號的強度也隨著衰減，假設節點 X 與節點 N 距離為 150 公尺，同樣的我們透過 Eq.(3) 計算其發送的訊號強度為 -0.55(dBm) 而訊號雜訊比為 -0.55(dB)，同樣的

節點 N 此時接收到的訊號強度和訊號雜訊比會有所變化，然而節點 N 距離節點 X 的距離也同為 150 公尺，所以節點 N 發出訊號使節點 X 收到的訊號強度和雜訊比相同。於章節 3.3.2，我們提到訊號辨識門檻主要是取決於訊號雜訊比(SINR)是否滿足其門檻值，如圖 3.11 傳輸對 β 在傳輸時節點 X 與 Y 不管用什麼傳輸速率，必定會過傳輸速率門檻(Eq.(4))才能夠傳輸。

而節點 N 在結束 NAV 狀態所發送的訊號由於距離過遠訊號強度為負。我們透過 Eq.(2) 節點 N 所發送的訊號對於傳輸對 β 為 P_{noise_n} ，對於本來傳輸對 β 此時 SINR 已經過門檻值，而雜訊多增加訊號強度為負的強度，並不會造成門檻值突然就過不了，能夠正常繼續傳輸碰撞問題並不會發生，我們稱此狀況為反遮蔽。

透過上述分析，當節點與節點之間的距離越來越遠，發出的訊號強度的也就有可能為負分貝，此時鄰近節點 N 發送的訊號就有可能被反遮蔽，節點 N 不需要延長 NAV 狀態時間。假設節點 X 與節點 N 之間的距離為 $d_{\text{Avoidance}}$ ，透過 Eq.(1) 推導

$$P_{\text{signal}} = 10 \log_{10} \frac{P_r}{N_0} = 10 \log_{10} \frac{P_t \left(\frac{1}{d_{\text{Avoidance}}} \right)^n \times \beta}{N_0} < 0$$

我們可以算出當 $d_{\text{Avoidance}}$ 大於等於 141 公尺時，此時發送出去的訊號強度會衰退為負值而不會造成傳輸對 β 的碰撞問題。所以在這邊我們所需要監聽的訊號強度變化 P_{change} 只有相距為 127 公尺~140 公尺的訊號強度變化，而透過 Eq.(1) 我們可以算出 P_{change} 介於 0.05(dB)~0.90(dB) 時，而訊號雜訊比同時有變化，我們則調整鄰近節點 N 延長 NAV 狀態時間，以避免碰撞問題的發生。

四、模擬

4.1 模擬環境

在本章節中，我們將對多重速率環境下提出的方法進行模擬和分析，MAC 演算法包括本篇論文所提出的方法以及 IEEE 802.11 標準。我們將用的模擬工具為 NS2 (version 2.34) [16]，模擬時間為 20 秒，應用層使用 CBR 模型，路由層使用 AODV 路由協定[17]，實體層則依據通道條件使用不同的傳輸模型，較長的傳輸距離使用 Two Ray Ground 模型。另外，模擬使用 IEEE 802.11b 做為無線網路標準，因此資料傳輸的訊號有四種速率，分別是 1 Mbps、2 Mbps、5.5 Mbps 和 11 Mbps，而 IEEE

DCF機制的控制訊號則是使用基本傳輸速率 1 Mbps 發送。相關模擬參數設定如下表 4.1 所示。比較對手 802.11b、和透過動態調整 back off time 來避免碰撞問題的 OCS-MD[15]。

表 4.1 模擬參數設定

參數名稱	參數內容
模擬時間	20 秒
無線網路標準	IEEE 802.11b standard
資料傳輸速率	1 Mbps、2 Mbps、5.5 Mbps 以及 11 Mbps
基本傳輸速率	1 Mbps
有效傳輸範圍	200 m
應用層傳輸模型	CBR (Constant Bit Rate)
封包長度	應用層 (CBR): 1000 Bytes 傳輸層 (UDP): 500 Bytes、1000 Bytes
封包產生率	(0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5) Mbps
路由層協定	AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing)
實體層傳輸模型	Two Ray Ground、Friis (Free Space)
訊號頻率	2.4 GHz

4.2 模擬結果

由於 OCS-MCS 是透過 backoff time 時間的調整來讓不同節點的傳輸對傳輸時間錯開，以避免產生封碰撞問題，但在多重跳躍網路環境裡來源端到目的端的傳輸路徑是由不同的傳輸速率的傳輸對所組成，且由於路徑上的節點和干擾傳輸對越多，造成傳輸某些節點的 backoff time 會維持在較長區間，因而無形中拉高了資料到達目的端的等待時間，如圖 4.1、4.2 所示。而我們所提出的方法在有多重傳輸對同時傳輸的情況下，延長了受影響範圍內的 NAV 狀態節點的 NAV 時間，使傳輸對在傳輸資料時較不受碰撞干擾，解決碰撞問題的同時變相減少了碰撞問題所延長的封包等待時間，如圖 4.1、4.2 所示，隨著封包產生率上

升網路環境越來越擁塞容易產生碰撞，我們的方法改善也較好。

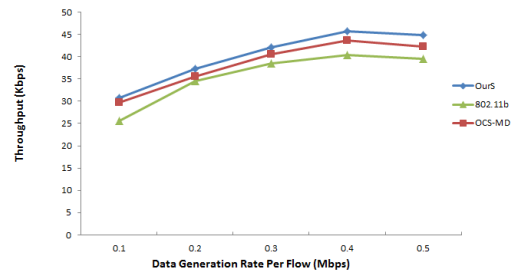


圖 4.1 網路吞吐量(200 節點)

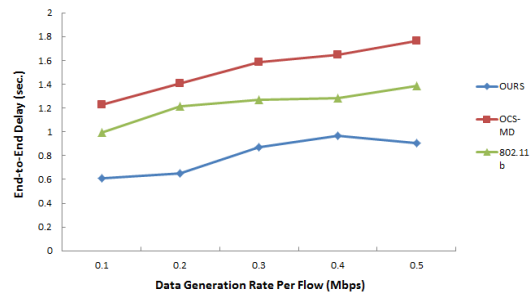


圖 4.2 封包傳輸延遲時間

在改變 back off time 的方法裡 OCS-MD 雖然透過改變 back off time 時間的方式使傳輸時間錯開避免發生碰撞問題，然而在多重跳躍網路環境下，路徑上節點和傳輸對不止一個，使變動 back off time 的方法還是有可能產生碰撞，並且路徑上 hop-count 較大的節點 back off time 的區間可能較大，而使傳輸機會減少，MAC 層的吞吐量相對減少。在我們的方法裡透過訊號雜訊比去決定封包是否接收成功，所以會屏蔽較弱的訊號不造成碰撞問題，且由於將傳輸對影響範圍內之影響節點使其保持 NAV 狀態，使碰撞問題不易發生。然而由於在多重速率環境下，單一範圍內可能有許多傳輸對正在傳輸，使周遭節點訊號雜訊比和訊號分貝偵測沒過門檻，而誤判鄰近無傳輸對正在傳輸，且因為透過訊號雜訊比判定是否接收成功，所以碰撞還是會發生，如圖 4.3、4.4 所示。

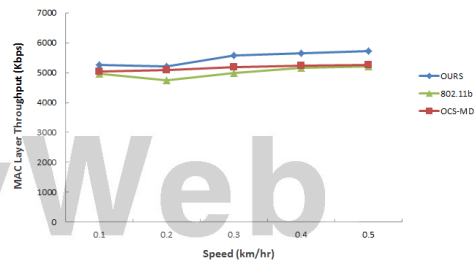


圖 4.3 MAC 層吞吐量

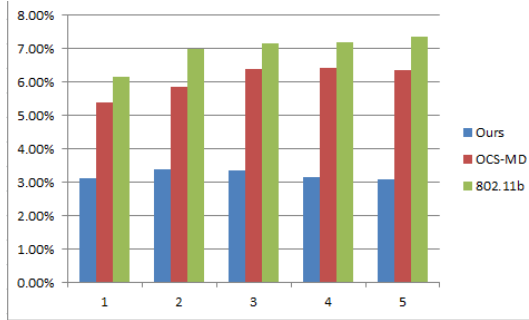


圖 4.4 碰撞機率

透過圖 4.4 碰撞機率，可以看到雖然 OCS-MD 盡量解決了由於 back off time 所造成同時傳輸所造成的封包碰撞，然而當封包產生率上升使網路越來越擁塞時碰撞還是容易發生，而這也反映到在多重跳躍網路下，當資料需要經過多個節點才能到達目的端時，封包到達率並不是表現的那麼良好，如圖 4.5。

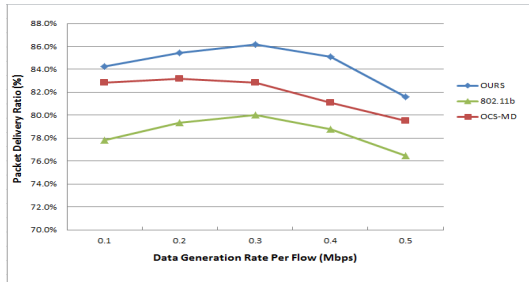


圖 4.5 封包到達率

第五章 結論與未來工作

在採用 IEEE 802.11 DCF 分散式系統協調機制的無線網路環境中，存在有節點結束 NAV 狀態，想要與其他節點做資料而傳輸，而造成碰撞問題。為了解決碰撞問題，我們以訊號遮蔽和監測訊號強度變化的方式，使節點可以收到其他傳輸對控制訊號，適時調整 NAV 狀態時間進而解決碰撞問題，以減少節點傳輸失敗的次數，進而提高整體網路輸出量。

在本篇論文中，我們提出一個基於訊號遮蔽與監測訊號變化的媒體存取控制協定，利用接收訊號強度以及計算並比對 SINR 值的方式，以及利用監測訊號強度變化。當 NAV 狀態的鄰近節點偵測到有其他傳輸對正在傳輸，能適時的調整 NAV 狀態時間，如此可以進一步避免可能發生的碰撞問題。

另外，當訊號無法遮蔽使鄰近節點接收控制訊號，我們採用監測訊號強度變化的方式來判斷是否鄰近節點周遭有節點正在通訊，而這部分的監測可能會有誤判的狀況，未來我們將對這部分進行分析與討論，使得此論文所提出方法能夠有效運用於更多元的環境中。

誌謝

This research was supported by the National Science Council (NSC102-2221-E-035-030-MY2)

參考文獻：

- [1] Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification, IEEE Std. 802.11, 1997.
- [2] K.-P. Shih and Y.-D. Chen, "CAPC: A Collision Avoidance Power Control MAC Protocol for Wireless Ad Hoc Networks," IEEE Communications Letters, Vol. 9, Issue 9, pp. 859-861, September 2005.
- [3] K.-P. Shih, Y.-D. Chen, and C.-C. Chang, "Adaptive Range-Based Power Control for Collision Avoidance in Wireless Ad Hoc Networks," Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC '07), pp. 3672-3677, Glasgow, Scotland, 24-28 June 2007.
- [4] K.-P. Shih, C.-C. Chang, and Y.-D. Chen, "A Fragmentation-Based Data Collision Free MAC Protocol with Power Control for Wireless Ad Hoc Networks," Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2008), pp. 1786-1791, Las Vegas, Nevada, USA 31 March-3 April 2008.
- [5] K.-P. Shih, C.-C. Chang, and Y.-D. Chen, "MRPC: A Multi-Rate Supported Power Control MAC Protocol for Wireless Ad Hoc Networks," Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2009), pp. 1-6, Budapest, Hungary, 5-8 April 2009.
- [6] Liqun Fu, Soung Chang Liew, "Effective Carrier Sensing in CSMA Networks under Cumulative Interference" IEEE Trans. Mobile Computing, vol. 12, No.4, April 2013.
- [7] Han-Chuan Luo, Eric Hsiao-Kuang Wu, Member, IEEE "A Transmission Power/Rate Control Scheme in CSMA/CA-Based Wireless Ad Hoc Networks" IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 62, NO. 1, JANUARY 2013

- [8] J. Choi et al., "EBA: an enhancement of the IEEE 802.11 DCF via distributed reservation," *IEEE Trans. Mobile Computing*, vol. 4, 2005.
- [9] J. Yee and H. Pezehki-Esfahani, "Understanding wireless LAN performance trade-offs," [Online]. Available: <http://www.commsdesign.com>, 2002.
- [10] G. Brar, D.M. Blough, and P. Santi, "Computationally Efficient Scheduling with the Physical Interference Model for Throughput Improvement in Wireless Mesh Networks," *Proc. ACM MobiCom*, 2006.
- [11] Jinkyu Lee, Student Member, IEEE, and Ikjun Yeom, "Avoiding Collision with Hidden Nodes in IEEE 802.11 Wireless Networks", *IEEE Communications Letters*, Vol. 13, No. 10, October 2009
- [12] G. Sharma, R. Mazumdar, and N. Shroff, "On the Complexity of Scheduling in Wireless Networks," *Proc. ACM MobiCom*, 2006
- [13] Goussevskaia, Y. Oswald, and R. Wattenhofer, "Complexity in Geometric SINR," *Proc. ACM MobiHoc*, 2007.
- [14] T. Moscibroda, R. Wattenhofer, and A. Zollinger, "Topology Control Meets SINR: The Scheduling Complexity of Arbitrary Topologies," *Proc. ACM MobiHoc*, 2006.
- [15] Qifei Zhang, Wei Liu, Bo Cheng, Wenqing Cheng "Improve IEEE 802.11 Performance with Collision Sequential Resolution Algorithm" This full text paper was peer reviewed at the direction of IEEE Communications Society subject matter experts for publication in the WCNC 2007 proceedings.
- [16] XiaoYing Lei, Seung Hyong Rhee "Sender-Initiated Reservations for Reducing Collisions in 802.11 MAC" *Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), 2013 Fifth International Conference*
- [17] Kai Huang, Guixia Kang, Hao Wang, Guixin Wang" An Adaptive Contention Window Algorithm to Hybrid OFDMA/CSMA Mechanism in WLANs" *Communications and Information Technologies (ISCIT), 2012 International Symposium*
- [18] Yingxia Sunl, Dewei Yang!, Weizhen Tian2, Wenlong Liul" Optimized Backoff Algorithm of IEEE 802.11 DCF" *Wireless Communications & Signal Processing (WCSP), 2013 International Conference*
- [19] Upadhyay. R, Tokekar. S, Vyavahare. P." Class of Collision Resolution Schemes with Multistep Distribution for IEEE 802.11," *India Conference (INDICON), 2012 Annual IEEE*
- [20] The Network Simulator - NS2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [21] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," *Proceedings of WMCSA*, pp. 90-100, 25-26 February 1999, New Orleans, Louisiana, USA.