

# 在隨意網路下以切割通道與最小控制頻寬保留策略來改善

## 媒體存取傳輸效率之方法

陳青文

逢甲大學資訊工程系

chingwen@fcu.edu.tw

賴俊良

朝陽科技大學資訊工程系

s9267606@cyut.edu.tw

### 摘要

行動隨意網路 (Mobile Ad hoc Network, 簡稱為 MANET) 已經是繼無線網路 (wireless networks) 之後重要的發展趨勢。如何提高行動隨意網路的傳輸效率是一個重要的議題。本篇著重在改善媒體存取層的分散協調與終端問題, 媒體存取層的分散協調機制利用每個主機等待一個亂數配置的隨機訊框時間來減少碰撞的發生, 但是在高負載的情況下, 要分散碰撞的機率必須加長隨機訊框時間, 而這段等待時間將會造成許多頻寬的浪費, 許多研究提出動態調整隨機訊框的方法, 但在以全部頻寬等待的環境下, 改善成果仍然有限; 而交握協定雖然以控制訊號確保了資料訊框的使用權, 有效改善了終端問題, 但是卻因為不同的傳輸延遲時間造成資料訊框的終端問題。因此我們考慮的目標與方法是以切割通道來避免終端問題與減少分散協調時間所造成的頻寬浪費, 並以最小控制頻寬保留策略來分配通道頻寬, 以提高頻寬的使用率。而因為切割通道可以有效改善分散協調的浪費, 因此並不需要做調整隨機訊框的動作。經過模擬分析我們的方法比 IEEE 802.11 最高增加了 11% 的輸出, 證明我們的方法可以有效改善分散協調與終端問題。

**關鍵詞:** 行動隨意網路、分散協調、終端問題、頻寬配置

### 一、簡介

行動隨意無線網路能夠在沒有事先建置基礎架構 (infrastructure) 的環境下, 由無線行動主機臨時組成網路。任何網路中相鄰的兩個無線網路裝置皆可互相通訊而不需要透過固定的基地台幫忙傳遞訊息。因此, 隨意行動無線網路的優點就是網路可以不受預先部署的限制快速建立起來, 缺點則是因為無線裝置的增加、減少及移動都會改變網路的拓撲。而整個網路拓撲的成員都要負擔繞路 (routing) 的工作, 對行動主機有限的資源, 如: 頻

寬、運算能力、電池壽命等等, 無非是一項重大的負擔, 因此如何有效地使用資源便成為隨意行動無線網路重要的研究方向。以網路層來說 (Fig.1), 因為行動主機處於移動的狀態造成網路拓撲的改變, 使得原來建立的繞路路徑 (routing path) 無法使用必須重新尋找新的路徑, 所以必須要定期的去維護或是重建繞路路徑。一般繞路通訊協定研究主要可分四大類, 第一類為定期更新與廣播繞路表的前置計算繞路法 (proactive, 又稱為 table driven), 這類的研究有 DSDV [3]、WRP [4]等; 第二類為主機需要傳送資料時, 才進行尋找路徑的回應式繞路法 (reactive, 又稱為 on demand), 這類的研究有 DSR [5]、AODV [6]等; 第三類為利用群組架構的叢集繞路法 (cluster), 每個叢集中會有一個叢集管理員, 負責記錄叢集成員的資訊, 叢集內通訊以廣播為主的前置計算繞路法, 而叢集間以回應式繞路法通訊, 如 ZRP [7]、ARCH[8]等; 第四類為搭載全球定位器 (GPS) 來計算資料傳遞方向的定位式繞路法 (location), 如 LAR [9]、GEO [10]。

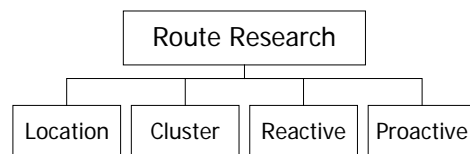


Fig.1 繞路演算法研究分類

在媒體存取層的研究主要在解決兩類問題。第一類為解決無線網路特有的終端問題 (terminal problems), 以交握協定 (handshake) 淨空通道以傳送資料訊框 (frame)。第二類為減少競爭 (contention) 與碰撞 (collision) 的分散協調 (DCF) 問題, 以動態調整隨機訊框 (backoff) 來減少頻寬的浪費。

隨著交握協定的使用, 在交握階段的終端問題已經被有效改善, 但是卻會因為傳輸延遲不同, 而導致資料訊框出現終端問題。另一方面, 動態調整隨機訊框的方法, 在部分情況下減小隨機訊框時間, 但是仍然以全部頻寬等待, 因此改善成果有限。

為了能兼顧資料訊框的終端問題與分散協調

的浪費，我們提出了『在隨意網路下以切割通道與最小控制頻寬保留策略來改善媒體存取傳輸效率之方法』。首先我們以切割通道減小控制通道頻寬，降低分散協調的頻寬浪費；並以通道分離的特性解決資料階段的終端問題。

切割通道大部分以三種方式來實現，第一種為分頻多重存取(Frequency Division Multiple Access, 簡稱 FDMA)，在頻率上直接切割，將總頻寬切成多個等寬頻帶的子通道。第二種為分時多重存取(Time Division Multiple Access, 簡稱 TDMA)，以時間為單位將通道切割成等長的時槽(time slot)，是以時間座標為基礎。第三種為分碼多重存取(Code Division Multiple Access, 簡稱 CDMA)，在不同的資料訊號混合了不同的資料代碼，而彼此的資料並不會互相干擾。目前已經有許多以切割通道為基礎解決終端問題的研究被提出，但是卻因減小了控制通道頻寬而造成超載的情形。在我們的方法中也以最小控制頻寬保留策略，適當配置通道頻寬以提高頻寬使用率。

以下第二章將先介紹分散協調與終端問題，接著第三章說明本篇提出的方法，第四章透過模擬顯示改善的成果，最後第五章做一個總結。

## 二、分散協調與終端問題相關研究

本章將說明分散協調與終端問題相關研究。

無線網路媒體存取通訊協定 IEEE 802.11 架構在單通道(single channel)的基礎上，其媒體存取協定我們將其分為三個階段(Fig.2)，第一階段為分散協調期間，在發出交握訊號之前，主機會先檢查無線通道是否處於淨空狀態，為了避免碰撞發生，當某個傳送者佔據通道時，主機會隨機為每個訊框選定一段延後時間，稱為隨機訊框。第二階段為交握期間，主機利用 RTS (Request To Send, 簡稱 RTS) 與 CTS (Clear To Send, 簡稱 CTS) 兩個控制訊號交換的方式來為資料訊框保留媒體使用權，並避免終端問題的發生。第三階段為資料傳送時期，將資料訊框傳送給目的主機，目的主機並回應確認訊號 (ACK) 以表示資料接收無誤。

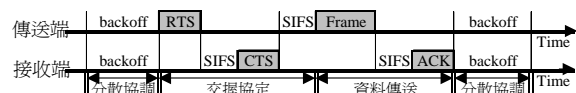


Fig.2 IEEE 802.11 媒體存取三個階段

分散協調機制因為在單通道環境下必須以全部頻寬等待隨機訊框，在主機密集與高負載狀況下，隨機訊框也需要加大以分散碰撞機率，而加大隨機訊框將會因為過長的等待時間而造成頻寬的浪費，導致傳輸效率下降。因此有許多的研究提出減小隨機訊框的方法，主要可分為三種：第一種利

用傳送成功的狀態來減小隨機訊框[12-15]。第二種以輪詢的方式，篩選出有傳送需求的主機來調整隨機訊框[16]。第三種則以統計的方法，計算出各種環境下的隨機訊框來做調整[17]。

而早期被使用在無線封包網路中的載波偵測多重存取通訊協定 (Carrier Sense Multiple Access protocols, 簡稱 CSMA [18])，在傳送前會先以載波偵測無線通道是否處於閒置狀態下，條件成立才允許傳送，用來預防在相同範圍內的主機同時使用無線通道而造成碰撞。但是 CSMA 卻會因為隱藏的終端問題 (Fig.3) 導致傳輸效率快速的降低。主要是因為隱藏的主機無法載波偵測到來源主機的訊號。

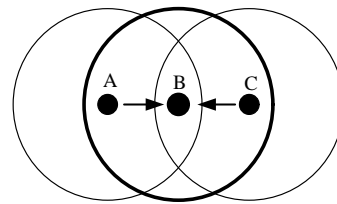


Fig.3 隱藏的終端問題：A 的訊號範圍僅能到達 B，主機 C 因為無法載波偵測到 A 的訊號，因此發出訊號干擾了 A 與 B 的存取

後來避免碰撞多重存取通訊協定 (Multiple Access Collision Avoidance protocol, 簡稱 MACA[22]) 被提出來，在來源主機有傳送需求時，會在通道廣播要求傳送訊號 (Request To Send, 簡稱 RTS)，目的主機接收到 RTS 訊號後，會在通道回應準備傳送訊號 (Clear To Send, 簡稱 CTS)，此時其他鄰居主機聽到 RTS 或 CTS 的交握訊號會以網路配置向量 (Network Allocation Vector, 簡稱 NAV) 禁止本身發出訊號以免干擾正在存取的動作，來源主機接收到 CTS 訊號後，便將資料訊框傳送給目的主機。MACA 利用交握協定淨空兩主機的通道確保了資料訊框的使用權。有效改善了交握階段的終端問題，IEEE 802.11 也以交握協定為基礎。

雖然交換控制訊號的方法已經有效改善了交握階段的終端問題，但是因為不同的傳送延遲時間，將使得終端問題發生在資料訊框期間，如 Fig.4 主機 B 的 CTS 尚未到達 C，而 C 已經發出 RTS 干擾了 A 的資料訊框，因此發生了碰撞，我們稱此為資料訊框的終端問題。

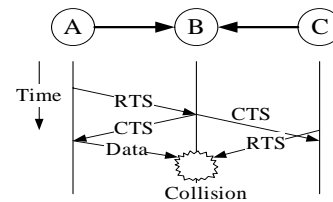


Fig.4 傳送延遲時間造成的終端問題，主機 C 因為尚未接收到 B 的 CTS 訊號，而發出訊號與 A 的資料封包在資料階段產生碰撞。

而在分散協調的研究中，雖然以各種方法來縮短隨機訊框的時間，但是仍然需要以全部頻寬等待隨機訊框，且短訊號間隔目前是無法調整的，因此改善的成果依然有限。

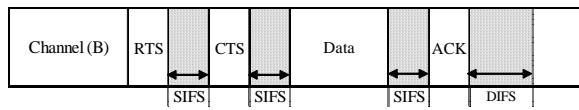


Fig.5 以全部頻寬在短訊號間隔與隨機訊框造成的頻寬浪費。

為了改善分散協調的頻寬浪費與資料訊框的終端問題，以下將提出我們的方法。

### 三、提出的方法

經過觀察與整理，以切割通道的方式可以有效降低終端問題與隨機訊框問題，首先說明使用的通道模型：將總頻寬透過 FDMA、TDMA、CDMA 其中一種技術切割為兩個子通道，第一個為控制通道，用來傳送控制訊號進行交握協定；第二個為資料通道，用來傳送資料訊框與回應訊號，如 Fig.6。

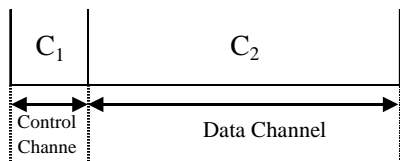


Fig.6 通道模型，將總頻寬切割為一個控制通道與一個資料通道。

先解釋切割通道可以避免資料訊框的終端問題，原本以單一通道在交握期間的終端問題已經受到良好的控制，但是因為不同的傳送延遲時間卻造成了資料訊框的終端問題，若以不同通道傳送不同的控制訊號，傳送延遲時間問題依然存在，但是卻以不同的通道避免掉了碰撞的情形；如 Fig.7，主機 A 與 B 在通道 1 傳送交握訊號，主機 B 的 CTS 因為傳送延遲尚未到達 C，而 C 已經在通道 1 發出 RTS 訊號，而 A 以通道 2 傳送資料訊框，但是 A 的資料訊框與 C 的控制訊號是以不同通道傳送的，雖然傳送延遲時間問題依然存在，但是卻以不同通道避免了碰撞。

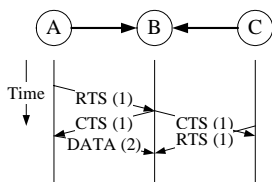


Fig.7 主機 C 以通道 1 傳送 RTS，但主機 A 使用通道 2 傳送資料訊框，因此避免了資料階段的碰撞。

再觀察切割通道改善分散協調的情形，研究中動態調整隨機訊框仍然以全部的頻寬做為等待時間，等待時間中所有的主機是不允許進行溝通

的，這之間的頻寬浪費雖然以動態調整隨機訊框來減緩，但以全部頻寬所造成的浪費依然非常可觀，因此改善成果依然有限。若總頻寬被切割為兩個子通道，僅僅以較少的頻寬等待短訊號間隔與隨機訊框，因此降低了浪費的頻寬，也解決了單通道無法改善短訊號間隔頻寬的問題 (Fig.8)，所以也不需要過於注重頻寬的浪費而做控制隨機訊框時間的動作。

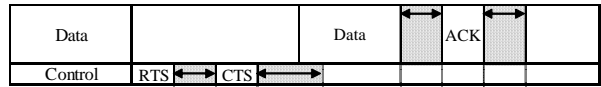
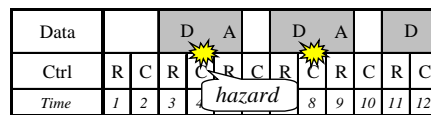


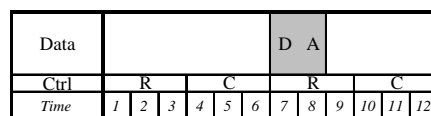
Fig.8 因切割通道使用較少頻寬等待 SIFS 與 DIFS。

完成了以切割通道降低資料訊框的終端問題與分散協調頻寬浪費後，在研究中我們也注意到了切割通道必須適當配置通道頻寬。一般切割通道時通常忽略了頻寬配置策略，傳統觀念認為控制訊號長度非常短且所佔的頻寬非常小，資料通道頻寬越大能夠使資料傳輸量變大，進而使效能越好，因此盡量加大資料通道頻寬，相對減小控制通道頻寬；或是未考慮頻寬配置而使用均分法使兩個通道的頻寬均相同。對於使用單通道的通訊協定確實如此，以全部的頻寬來傳送控制訊號，傳送時間是非常短的，但是對於切割通道來說，因為切割頻寬的關係使得訊號傳送時間拉長，造成多通道效率的瓶頸，尤其是影響效率的控制通道必須保留一定的頻寬配置，才能發揮傳輸效率。

頻寬配置策略在多通道的設計中是自然而且必須的條件。我們用管線化的角度來配置多通道的頻寬，最佳的狀態是每完成一次交握協定就傳送一次資料訊框，如果能在資料訊框傳送完畢前，正好完成下一次交握協定，就能提高資料通道的使用率，因此若控制通道頻寬過大，會因為資料通道尚未釋放通道，而造成無通道可使用的危障情形 (Fig.9a)；若控制通道頻寬過小傳送時間過長，交握協定需較長的時間完成，會造成資料通道大部分處於閒置狀態 (Fig.9b)，也容易發生控制訊號超載情形。從此處我們也可以知道，存取效率的掌控關鍵在於控制通道，因此控制通道必須保留在最小頻寬以上。



(a)



(b)



(c)

Fig.9 切割通道在不同頻寬配置的結果 (a)控制通道頻寬過大導致第二次交握協定無法使用資料通道 (b)控制通道頻寬過小導致資料通道處於閒置狀態 (c)最佳比例，每次交握協定皆可以使用資料通道。

而頻寬比例如何計算呢？控制通道頻寬為  $B_c$ 、資料通道頻寬為  $B_d$ ，總頻寬為  $B$ ，因此頻寬比例的關係為：

$$B_c + B_d = B$$

我們希望在每完成一次交握協定後，即能使用一次資料通道，交握協定包含了來源主機傳送 RTS 與目的主機回應 CTS，因此一次交握協定的時間  $T_h$  為：

$$T_h = T_{RTS} + T_{CTS}$$

一次交握協定的時間  $T_h$  等於傳送一次資料封包  $T_d$  與確認封包  $T_a$ ：

$$T_h = T_d + T_a$$

交握訊號傳送的時間為資料長度除以頻寬 (Length of message/Bandwidth)，因此  $T_h$ 、 $T_d$ 、 $T_a$  各為：

$$T_h = \frac{L_h}{B_c} \quad (T_{RTS} = \frac{L_{RTS}}{B_c}, T_{CTS} = \frac{L_{CTS}}{B_c})$$

$$T_d = \frac{L_d}{B_d}$$

$$T_a = \frac{L_a}{B_d}$$

因此最佳比例為：

$$B_c + B_d = B \dots\dots\dots(1)$$

且

$$\frac{L_{RTS} + L_{CTS}}{B_c} = \frac{L_d + L_a}{B_d} \dots\dots\dots(2)$$

舉例各訊號的長度如表一：

表一：頻寬配置範例

訊號	RTS	CTS	Data	Ack
長度	16	16	1024	16

單位：Bytes

將參數代入 EQU.1 與 EQU.2 中為：

$$B_c + B_d = B$$

且

$$\frac{16 + 16}{B_c} = \frac{1024 + 16}{B_d}$$

因此通道的頻寬比例為：

$$B_c : B_d = 2 : 65$$

若考慮到訊號間隔、碰撞機率、鄰居數量等等，控制通道比例最小需大於 2 以上，否則將會容易發生傳輸瓶頸與超載的情形。

完成了最小控制通道頻寬配置後，接下來將以模擬來驗證我們的方法。

#### 四、模擬與成果

本章我們提出模擬數據，為了顯現出切割通道的特性與其效益，我們將通道模型的總頻寬設定與 802.11 相同皆為 2Mbps/sec，另一方面為了顯現切割通道改善的分散協調與終端問題，並比較出頻寬配置策略與所增加的效率，我們設定了三組不同的頻寬參數，第一組的頻寬使用均分法，將通道頻寬平均切割為二個相等的通道作為控制、資料通道使用，簡稱為 NC。第二組將資料通道頻寬盡量加大，而相對減小控制通道頻寬，簡稱為 LC。第三組使用頻寬配置策略，保留最小控制通道頻寬外，其餘頻寬作為資料通道使用，簡稱為 OC。

因為提出的方法為新的通道模型，我們此次以 C++ 撰寫模擬程式，並將模擬參數設定如表二：

表二：模擬參數

參數	模型	802.11	NC	LC	OC
模擬空間		1000M*1000M			
行動主機數量		10~200個			
主機總頻寬		2Mbps/sec			
傳輸半徑		200M			
模擬時間		300Sec			
移動速度		10~50Km/hr			
變換方向時間		10Sec			
移動角度		隨機選擇			
控制訊號長度(RTS/CTS)		16bytes			
資料封包長度(Data Packe)		1024bytes			
確認訊號長度(ACK)		16bytes			
短訊號間隔(SIFS)		50us			
分散協調時間(Backoff)		200us			
頻寬配置與通道比例			$B_c : B_d$	$B_c : B_d$	$B_c : B_d$
			1 : 1	1 : 66	2 : 65

首先觀察在不同主機數量對整體傳輸效率的影響 (Fig.10)，NC 與 LC 在未考慮頻寬配置的情形下，在控制通道造成了嚴重的危障情形，因此傳輸效率比單通道的 802.11 還差，說明了切割通道的頻寬配置對傳輸效率具有關鍵性的影響；而 OC 以切割通道避免了資料訊框的終端問題與降低了隨機訊框的頻寬浪費，因此比單通道最高增加了約 11% 的輸出，說明了切割通道對終端問題與隨機訊框的改善是非常明顯的。

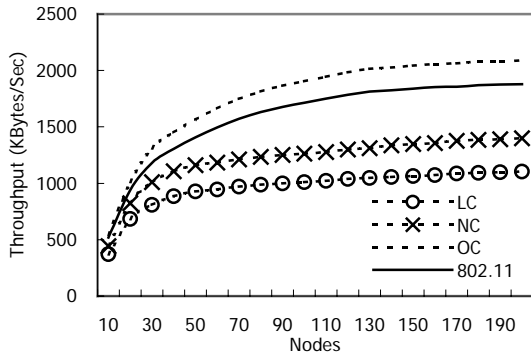


Fig.10 主機數量對傳輸效率的影響。

每個主機的頻寬使用率方面 (Fig.11)，LC 與 NC 因未考慮頻寬配置，而使得頻寬使用率非常不理想，在主機數量大於 100 以上時，頻寬使用率已經快速的降低至 5% 以下；而 OC 仍然比 802.11 最高增加了約 2% 的使用率，顯示在每個主機的頻寬使用率方面 OC 以切割通道有效的改善了避免終端問題且降低隨機訊框，並配合頻寬配置策略達到提高頻寬使用率的目標。

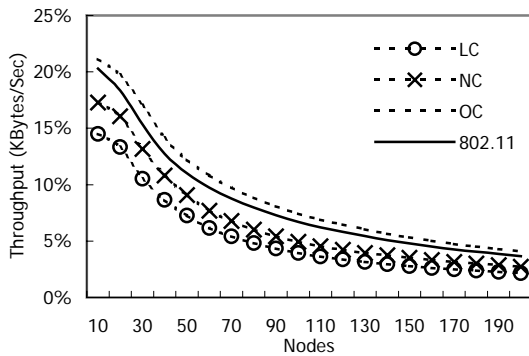


Fig.11 在不同個主機環境下對頻寬使用率的影響

我們對鄰居數量與頻寬使用率做更進一步的了解 (Fig.12)，當鄰居數量僅僅等於 1 個時，週邊只有目的主機，沒有資料訊框的終端問題所造成的碰撞，分散競爭的隨機訊框等待情形也不明顯，因此 802.11 此時的頻寬使用率高達了 80% 以上。但是當主機數量大於 2 以上時，彼此鄰居會因為不同的傳送延遲而造成資料訊框的終端問題，與因為要分散協調而加長了隨機訊框，因此利用切割通道可以避免終端問題與降低隨機訊框的頻寬浪費，因此在鄰居數量大於 2 以上的情形，OC 的特色才能表現出來。

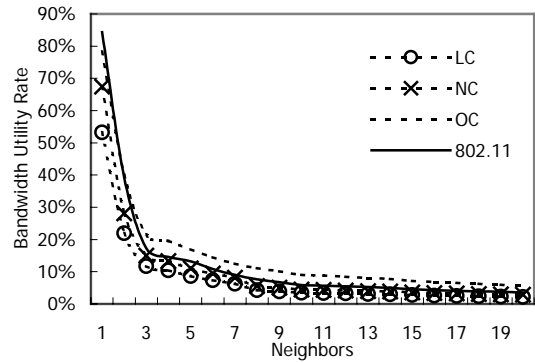


Fig.12 在不同個鄰居數量對頻寬使用率的影響

最後觀察速度對傳輸效率的影響 (Fig.13)，切割通道在速度越快時，下降的曲線比 802.11 快許多，這是因為切割通道的控制通道頻寬比 802.11 小，交握協定時間比較長，因此加快速度將會造成碰撞與交握失敗的情形增加，802.11 以全部頻寬用大量的重新交握來提高成功的機率，因此切割通道因為小的控制通道頻寬，在速度增加的情況是比較不利的。

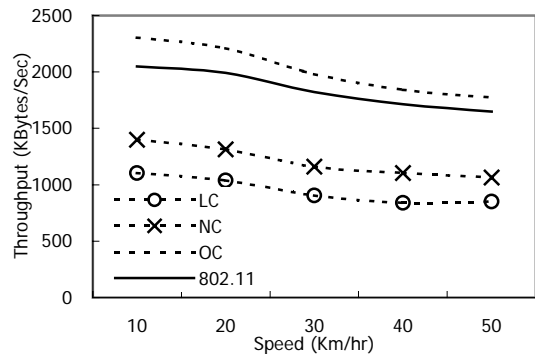


Fig.13 速度對傳輸效率的影響。

## 五、結論

我們用較以往不相同的方式來增加隨意網路的傳輸效率，主要利用三個方法來達成目標：

(一) 以切割通道降低隨機訊框的頻寬浪費：大部分研究以調整隨機訊框的方法，忽略了架構在單通道基礎上仍然必須以全部頻寬等待，因此切割通道將使得控制通道頻寬減小，進而降低了隨機訊框與短訊號間隔的浪費；而切割通道也比較不需要注重隨機訊框的控制。

(二) 以切割通道避免資料訊框的終端問題：雖然無法解決不同傳送延遲的問題，但是以切割通道避免了資料訊框的終端問題，將使得媒體存取從交握協

定至資料訊框能順利傳送，不容易受到干擾。

(三)最小控制通道頻寬保留策略：在切割通道必須注意通道頻寬的配置，透過模擬的展現，可以了解通道頻寬配置將會對頻寬使用率有關鍵性的影響。

透過模擬程式的驗證我們提出的方法有顯著的改善，雖然在速度增加時對切割通道有不佳的影響，但是透過降低分散協調的浪費與避免資料訊框的終端問題，已經使傳輸效率有明顯的改善，我們將再繼續探討相關的議題，期望能再提出更好的解決方案。

## 七、參考文獻

- [1] *IEEE Std 802.11-1997: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, USA, 1997.
- [2] Institution of Electrical and Electronic Engineers. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Higher speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band, 1999.
- [3] Charles E. Perkins, Pravin Bhagwat; "Highly dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector routing (DSDV) for Mobile Computers," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, *Proceedings of the conference on Communications architectures, protocols and applications*, vol. 24 issue 4, October 1994.
- [4] S. Murthy, J.J. Garcia-Luna-Aceves; "An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks," *Journal of ACM/Balzer Mobile Networks and Applications (Special Issue on Routing in mobile Communications Networks)*, pp. 183-197, 1996.
- [5] J. Broch, D.B. Johnson, D.A. Maltz; "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Wireless Networks," *Mobile Ad-hoc Networks (manet)*, <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>, Aug. 1998.
- [6] C. Perkins, E. M. Royer, S. Das; "Ad hoc on Demand Distance Vector (AODV) Routing," *Mobile Ad-hoc Networks (manet)*, <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>, Aug. 1998.
- [7] Z. J. Haas and M. R. Pearlman; "The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks," *Mobile Ad-hoc Networks (manet)*, <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>, Nov. 1997.
- [8] Elizabeth M. Belding-Royer; "Multi-Level Hierarchies for Scalable Ad Hoc Routing," *ACM Wireless Networks*, vol. 9 issue 5, September 2003.
- [9] Y.-B. Ko and N.H. Vaidya; "Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks," *Proceedings of the 4th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, Dallas, TX, pp.66-75, October 1998.
- [10] Young Bae Ko, Nitin H. Vaidya; "Flooding-based Geocasting Protocols for Mobile Ad Hoc Networks," *ACM Mobile Networks and Applications*, vol. 7 issue 6, December 2002.
- [11] Bianchi, G.; "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function" *Selected Areas in Communications*, IEEE Journal on Vol. 18, issue 3, pp.535-547, March 2000.

- [12] Z. J. Haas and J. Deng; "On Optimizing the Backoff Interval for Random Access Schemes," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 51, no. 12, pp. 2081-2090, December 2003.
- [13] Chonggang Wang; Bin Li; Bo Li; Sohraby, K.; "An effective collision resolution mechanism for wireless LAN" *Computer Networks and Mobile Computing, ICCNMC 2003*. International Conference, pp.18-25, Oct 2003.
- [14] J. Deng, P. K. Varshney, and Z. J. Haas, "A New Backoff Algorithm for the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function," *Proc. of Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation (CNDS '04)*, San Diego, CA, USA, January 18-21, 2004.
- [15] Chonggang Wang; Weiwen Tang; "A probability-based algorithm to adjust contention window in IEEE 802.11 DCF" *Communications, Circuits and Systems, 2004. ICCAS 2004*. vol. 1, pp.418-422, 27-29 June 2004.
- [16] Daji Qiao; Shin, K.G.; "UMAV: a simple enhancement to the IEEE 802.11 DCF" System Sciences, *Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference* on 6-9 Jan, pp. 9, 2003.
- [17] Raptis, P.; Vitsas, V.; Paparrizos, K.; Chatzimisios, P.; Boucouvalas, A.C.; "Packet Delay Distribution of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function" *World of Wireless Mobile and Multimedia Networks, 2005. WoWMoM 2005*. pp.299-304, June 2005.
- [18] F. A. Tobagi, L. Kleinrock; "Packet Switching in Radio Channels: Part I - Carrier Sense Multiple-Access Modes and Their Throughput Delay Characteristics," *IEEE Transactions on Comm.*, vol. COM-23, no. 12, pp. 1400-1416, 1975.
- [19] F. A. Tobagi, L. Kleinrock; "Packet Switching in Radio Channels: Part II - The Hidden Terminal Problem in Carrier Sense Multiple-Access Modes and the Busy-Tone Solution," *IEEE Transactions on Comm.*, vol. COM-23, no. 12, pp. 1417-1433, 1975.
- [20] F. A. Tobagi, L. Kleinrock; "The Effect of Acknowledgment Traffic on the Capacity of Packet-Switched Radio Channels," *IEEE Transactions on Comm.*, vol. COM-26, no. 6, pp. 815-826, 1978.
- [21] D.J. Baker, A. Ephremides; "The Architectural Organization of a Mobile Radio Network via a Distributed Algorithm," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 29 issue 11, pp.1694-1701, Nov 1981.
- [22] P. Karn; "MACA - a New Channel Access Method for Packet Radio," *ARRL/CRRL Amateur Radio 9th Computer Networking Conference*, pp. 134-40, 1990.
- [23] Vaduvur Bharghavan, Alan Demers, Scott Shenker, Lixia Zhang; "MACAW: a Media Access Protocol for Wireless LAN's," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, *Proceedings of the conference on Communications architectures, protocols and applications*, vol. 24 issue 4, October 1994.
- [24] Chane L. Fullmer, J. J. Garcia-Luna-Aceves; "Floor Acquisition Multiple Access (FAMA) for Packet Radio Networks," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, *Proceedings of the conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communication*, vol. 25 issue 4,

- October 1995.
- [25] Chane L. Fullmer, J. J. Garcia-Luna-Aceves; "Solutions to Hidden Terminal Problems in Wireless Networks," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, *Proceedings of the ACM SIGCOMM '97 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communication*, vol. 27 issue 4, October 1997.
- [26] J.J. Garcia-Luna-Aceves, Chane L. Fullmer; "Floor Acquisition Multiple Access (FAMA) in Single Channel Wireless Networks," *ACM Mobile Networks and Applications Journal, Special Issue on Ad-Hoc Networks*, vol. 4, 1999.
- [27] K. Xu, M. Gerla, S. Bae; "How Effective is the IEEE 802.11 RTS/CTS Handshake in Ad Hoc Networks?," *IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '02)*, November 2002.
- [28] Zhenyu Tang, J. J. Garcia-Luna-Aceve; "Hop Reservation Multiple Access (HRMA) for Multi-channel Packet Radio Networks," *Proc. IEEE IC3N: Seventh International Conference on Computer Communications and Networks*, Lafayette, Louisiana, October 1998.
- [29] A. Muir, J. J. Garciauna-Aceves; "A Channel Access protocol for Multi-hop Wireless Networks with Multiple Channels," *Proceedings of the IEEE International Conference on Conzuzunications*, pp. 1617-1621, 1998.
- [30] A. Nasipuri, S. R. Das; "Multi-channel CSMA with Signal Power-based Channel Selection for Multi-hop Wireless Networks," *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)*, September 2000.
- [31] S.-L. Wu, C.-Y. Lin, Y.-C. Tseng, J.-P. Sheu; "A New Multi-Channel MAC Protocol with On-Demand Channel Assignment for Multi-Hop Mobile Ad Hoc Networks," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, September 2000.
- [32] Gang Qiang; Zengji Liu; Susumu Ishihara; Tadanori Mizuno; "CDMA-based Carrier Sense Multiple Access Protocol for Wireless LAN," *Vehicular Technology Conference, 2001 (IEEE VTS 53<sup>rd</sup>)*, vol. 2, 6-9 May 2001.
- [33] Haas, Z.J., Jing Deng; "Dual Busy Tone Multiple Access (DBTMA)-A Multiple Access Control Scheme for Ad Hoc Networks," *IEEE Transactions on Comm.*, vol. 50 no. 6, June 2002.
- [34] Andrea Baiocchi, Alfredo Todini, Andrea Valletta; "Why a Multi-channel Protocol can Boost IEEE 802.11 Performance," *Proceedings of the 7th ACM international symposium on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*, October 2004.