

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 在多重通道無線網狀網路中的分散式動態通道配置 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型  
計畫編號：NSC 95-2221-E-343-002-  
執行期間：95年08月01日至96年07月31日  
執行單位：南華大學資訊工程學系

計畫主持人：吳建民

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：王奕元、徐志偉、甘崇譽、吳建鴻、蔡佩君、藍毓凱

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96 年 08 月 23 日

## 中文摘要

從之前分時多重接取時槽分配協定的研究中，我們發現該協定在訊框長度增加後，並沒有一個便利的方式來縮短訊框長度。當網路的大小持續擴增，訊框長度會成長的非常迅速，特別是當我們把他設定為以兩倍的方式增長。當長訊框中有太多未使用的時槽，就會造成低落的頻道使用效率。在這篇論文中，我們提出一種可以既能夠增加訊框長度，也能夠回覆訊框長度的方式，這個方法叫做動態訊框長度頻道分配(DFLCA)。這個方法能夠更有效率的使用時槽，增進頻道的使用效率。在我們的方法中，利用增加一些控制標頭的方式來增進使用效率；我們可以證明這個方法所增進的頻道使用效率，花費這些控制標頭的頻寬是值得的。

**關鍵詞：**動態訊框長度頻道分配(DFLCA), 分時多重接取(TDMA), 跳躍式無線特殊網路(Ad Hoc Network)

## Abstract

From the channel assignment schemes in time division multiple access (TDMA) slot assignment protocols developed in previous studies, we have found that these protocols do not have a convenient frame length shrink scheme after the expansion of the frame length. As the network size grows, the frame length expands quickly, particularly when we set the frame length as a power of two. A very long frame may result in poor channel utilization when it contains many unused slots. In this paper, we propose a dynamic frame length expansion and recovery method called dynamic frame length channel assignment (DFLCA). This strategy is designed to make better use of the available channels by taking advantage of the spatial reuse concept. In DFLCA, the increase in the spatial reuse is achieved by adding certain amount of control overhead. We show that the bandwidth saved due to the channel spatial reuse is larger than the additional bandwidth spent on the control overhead.

**Keywords:** DFLCA, TDMA, Ad Hoc Networks.

## 一、介紹

在固定頻道分配的方式中，每個節點都被分配固定的頻道，被分配的頻道無法被其他節點所使用，因此，每個節點或是每個群組只會單獨使用已經被分配的頻道。但是因為網路的負載是隨時間變化的，使用固定頻道分配的方式會使得傳送效率變的很低。

現在大部分的研究都不考慮新節點的自主行為。一般的協定為了能夠確保新加入的節點有時槽

可以使用，必須事先保留足夠的時槽；因此會造成訊框中有大量未使用的時槽[1、2]。在[3]中，該作者提出解決跳躍式特殊無線網路中，隱藏節點的問題。

在[4]中，該作者提出聯合時槽分配協定(USAP)。這個方式考慮了新加入的節點的自主行為，並且為每個節點分配一個訊框。在這個方法中，每個訊框都有固定數量的時槽，因此必須分配足夠的訊框和時槽給每個節點。當網路大小不斷增加，會因為有太多沒分配的時槽，造成使用效率的低落。聯合時槽分配協定多重存取(USAP-MA) [5]利用減少網路中必須列入考慮的節點中未分配時槽的個數，來提昇聯合時槽分配協定的效率。然而，USAP-MA並未指出何時該改變訊框的長度，也沒提到該如何為一個新節點選擇一個未使用的時槽；此外，這個方式會因為過度浪費時槽，造成更低的頻道使用效率。

以USAP為基礎，動態時槽頻道分配(DTSA)被提了出來[6]。這個方法在多點式的跳躍式無線特殊網路中，考慮了更多自主行為。然而，這個方法依然是事先分配頻道的方式，為每個節點分配各自的時槽。當節點沒有資料要傳送的時候，該時槽依然不會釋放掉，這個機制造成低頻道使用效率；另外，當突然有大量資料必須傳送時，並沒有辦法提供額外的時槽來紓解這些流量。因此，在多點式跳躍無限特殊網路的環境下，DTSA的頻道使用效率效果不佳。

在這篇論文中，我們利用分時多重接取訊框長度來控制頻道的分配，這個方法就叫做動態訊框長度頻道分配。利用將未使用的時槽分配給新節點，以及當時槽不足時有自我擴增的能力這兩種方式，使得頻道的使用更有效率。此外，當未使用的時槽超過訊框長度的一半時，DFLCA還有自我縮減的能力。

在多點式跳躍特殊網路的環境下，我們將傳送訊框劃分成時間時槽的結構。利用分時多重接取的方式，在多點式跳躍無限特殊網路中產生頻道的時間時槽，接著，我們利用所提出的動態頻道分配方式，同時提供服務品質保證和資源有效利用；並且用來對頻道使用效率的最佳化，以及減少控制標頭長度。

## 二、動態訊框長度頻道分配

在這部份，我們將清楚地闡述在多點式跳躍無限特殊網路中，DFLCA運作的情況。協定中，TDMA格式有N個訊框，每個訊框裡面有M個時槽，N代表網路中節點的個數，在我們模擬中N是固定不變的。每個節點都負責各自的訊框，每個訊框中都包含控制頻道表和資料頻道表。M是一個可以改變的數字，當該節點沒有足夠的時槽可以接受新的連結時，M值就會做適當的調整。我們提出的協定，會根據當前的網路負載和節點的個數，利用動態的調整訊框的長度的方式，控制訊框

長度的增減。

## A. 訊框長度的描述

在 DFLCA 中，訊框的長度是可以根據節點數量或是網路拓樸來做動態的調整的。圖 1 表示 DFLCA 格式，位於其競爭區域的節點。節點 k 位於節點 i 和節點 j 重疊的競爭區域內。因為節點 k 是一個隱藏節點，所以節點 k 在選擇時槽來傳送的時候，必須注意到可能發生的碰撞。因此，當時槽 1 和時槽 2 已經被節點 j 取得後，節點 k 則必須選擇時槽 3 來傳送，否則節點 k 勢必會被拒絕傳送。每個節點所管理的訊框，其長度設為二的指數倍，如此一來，可以避免在 two-hop 競爭區域內，因為訊框長度不一致造成的碰撞問題。舉例來說，節點 k 處於一個訊框長度為 4 和一個訊框長度為 8 的競爭區域內，則節點 k 可以將自己管理的訊框長度設為 8，如此一來，就能夠避免封包在競爭區域內的碰撞。

如圖二表示，協定制定每個節點都有一個控制頻道和一個資料頻道。第一個時槽(0')為新節點要加入時，或是新連線要建立時所專用的。控制頻道的訊框長度為二的指數倍，而且其大小包括新節點的時槽；而資料頻道的訊框長度也如同控制頻道一般，只是訊框前頭少了一個時槽的長度而已。每個節點都會擁有一份控制頻道和資料頻道。

## B. 資料頻道

當節點有資料要傳送時，會利用自己的訊框發出一個時槽請求。資料封包中夾帶自己的訊框長度和時槽分配的資訊，傳送給周遭的鄰居。

## C. 控制頻道

控制頻道是由每個訊框的第一個時槽所構成的。時槽 0' 是專門作為控制用途，為相關的資料時槽所保留。假設某個節點想要保留一個時槽，就會利用相對應的控制時槽來競爭。當節點有資料要使用資料時槽傳送時，會利用接下來描述的四種階段，利用控制封包發送，來宣告取得一個時槽。

- 1) 請求階段：這是一個初始化的階段。節點會發出一個請求的封包，詢問周遭的鄰居他們對於各自訊框使用的狀況。
- 2) 回覆階段：這是取得時槽的第二階段。周遭的節點會回覆第一階段接受的到請求封包，封包內容包含自己的訊框長度和時槽分配狀況，以及已知的鄰居訊框資訊。
- 3) 保存階段：在這個階段，節點接收到第二階段回覆的資訊，接著發出通告封包，告知鄰居自己的訊框長度，以及訊框分配的情況。
- 4) 確認階段：這個階段，鄰居節點收到節點發出的通告封包，並且允許該節點使用該時槽。鄰居節點會回覆一個確認封包，代表接受該時槽的使用。

請參考圖 3，現在節點 i 想要傳送資料給節點 n1。在請求階段，節點 i 送出請求封包(REQP)，節點 i 的鄰居收到請求封包後，就會利用分配好的控制時槽送出回覆封包(RSPP)，節點 i 蒐集收到的每個封包後，挑選出一個沒有被使用的時槽，並且送出保存封包(RSRP)，節點 i 的鄰居收到保存封包之後，同樣利用分配好的時槽發出確認封包(CFMP)。最後，節點 i 正式取得第五個時槽；利用四個階段的保留機制如此一來就完成了。

## D. 動態頻道分配

在多點式跳躍無限特殊網路的環境中，DFLCA 的方式是以時槽的架構為基礎發展出來的。我們提出的協定中，訊框的長度會根據競爭區域內的網路流量或是節點個數做調整，利用這個方式來控制沒被使用到的時槽。當一個新加入的節點發現時槽的使用有衝突的情況時，此時會先傾聽並且蒐集周遭的節點使用時槽的狀況。利用我們的協定，能夠明顯的增進頻道重複使用效率，提昇網路的總流量。DFLCA 利用控制時槽和控制封包在各節點間的互相溝通，來取得可以使用時槽。DFLCA 頻道分配的方式如下：

- 1) 當一個無限節點有資料要傳送，卻沒有可以使用的時槽(FindSlot = False)。
- 2) 該節點為了蒐集時槽使用情況，會先傾聽周遭其他節點使用時槽的資訊。
- 3) 該節點會先將自己的訊框長度設為蒐集到的資訊中，周遭鄰居訊框長度的最大值。
- 4) 根據蒐集到的資訊，該節點更新自己的訊框表單。
- 5) 如果其中有未使用的時槽，則把 FindSlot 設為 True。
- 6) 假如 FindSlot 依然為 False，而且有其他連結使用兩個時槽以上，則利用溝通的方式，取得編號較大的時槽為己用。
- 7) 假如 FindSlot 為 False，且沒有其他連結使用多個時槽，則會將訊框的長度做倍增，並且複製前半段訊框使用的情況到後半段的時槽，接著將未使用的時槽分配給該節點使用。
- 8) 現在該節點取得自己可以使用的時槽了，接下來會發出保存封包告訴周遭的鄰居。
- 9) 鄰居收到保存封包後，回覆確認封包給該節點，並且將該訊框使用資訊也一併通知原節點 two-hop 的鄰居。

## E. 有效率的復原方式

DTSA 協定的一個限制就是訊框長度，當把它增加的方式設為倍增，可能會因為網路中有太多的節點而造成增長的速度太快。當傳輸完成，連線釋放掉之後，不斷的累積，便會造成訊框中存在太多未使用的時槽。

在 DFLCA 中所使用的有效率復原方式提昇了

訊框的使用效率。當時槽已經閒置一段時間，確定沒有資料要傳送了，節點會檢查自己的頻道分配表，目前未使用的時槽且沒有被標記的數量是大於還是小於訊框長度，假如超過一半數量的時槽是閒置狀態的，節點就會馬上釋放未被使用的時槽。接著，該節點發出“封包復原”的請求控制封包給周遭的鄰居；這個封包的目的是告訴鄰居要更新自己的頻道分配表，以及告知他們該時槽要釋放的訊息。鄰居收到封包後，會再跟本來的節點做確認的動作，發送回覆控制封包，公告自己更新的結果。這個方式在節點有時槽要釋放的時候發生作用，大大增進了訊框的使用率。

節點會釋放在資料頻道內沒有使用的時槽。當訊框內有超過一半時槽是未使用且沒有做標記的話，會使用下列的兩種控制封包與周遭的鄰居做訊框資訊的更新。

- 1) 更新頻道表階段(UCTP): 這是釋放時槽的第一個階段，會送出一個“更新頻道表”的封包給鄰居，通知鄰居更新各自的頻道表。
- 2) 確認頻道表階段(CCTP): 第二個階段是為了確認鄰居有接收到 UCTP 的封包。任何收到 CCTP 封包的節點，也要對頻道表進行更新和重新排程的動作。

在 DFLCA 協定中，有效率的回覆機制運作方式如下：

- 1) 當節點釋放某個時槽後，會檢查未使用的時槽是否超過訊框長度的一半。
- 2) 假如大於等於訊框長度的一半，節點就會啟動有效率的回覆機制，發出封包通知周遭的鄰居。
- 3) 鄰居收到封包後，會對各自的頻道表做更新，並且對時槽進行重新排序，接著會再與原節點做確認。
- 4) 最後鄰居會發出確認封包以及“準備請求”封包，為了下個控制封包送出前的這段時間，進行準備的動作。

請參考圖 4，節點 i 的時槽 1、6、7 都是閒置的狀態，訊框長度為 8。當節點 i 釋放時槽 5 的時候，因為節點 i 發現閒置的時槽數量大於等於訊框的長度，就會發出 UCTP 封包。節點 i 的鄰居收到 UCTP 封包時，鄰居會利用各自的控制時槽回覆 CCTP 封包。節點 i 自己會對訊框的長度和排序做調整，時槽 1 現在分配給節點 n4 使用，而時槽 4 就會因為長度調整的關係而釋放掉。節點 i 最後對自己的頻道表和控制表做更新。至此，有效率的回覆機制就此完成。

### 三、效能檢測

在我們這篇論文中，我們提出的 DFLCA，與 DTSA 的效能做比較。在 DTSA 中，訊框的長度為二的指數倍，而且每個節點利用與鄰居溝通，取得 two-hop 範圍內節點的頻道分配表。如果有一個節點已經取得某個時槽，那 two-hop 範圍內的所有節點，就無法再使用該時槽。假如在過長的訊框中有

太多時槽是閒置的話，就會造成使用頻道使用效率的低落。當訊框長度擴增到上限值，那每個節點都必須等待一段不短的時間，才會輪到自己可以使用的時槽；即使訊框中有很多閒置的時槽，節點依然必須等待那麼長的時間。另外，當網路大小增加時，會造成訊框長度擴增的速度很快。因此，DTSA 在頻道使用效率上，其實是不佳的。

然而，DFLCA 因為能夠針對環境做訊框長度的調整，因此效率上比 DTSA 好上許多。首先，DFLCA 會將未使用的時槽分配給需要傳送的節點，當時槽不足時，才會對訊框長度進行擴增。此外，當有一半以上的時槽是閒置狀態的話，DFLCA 會進行縮減訊框長度的動作，包括更新和重新排序自己所管理的頻道分配表。接下來會通知鄰居自己的改變，讓鄰居的頻道分配表與自己同步。DFLCA 利用這種動態調整訊框長度的方式，在跳躍式無線特殊網路中達到更加的效能。

在跳躍式無線特殊網路的模擬中，隨機分佈節點的位置，在 400x600 的範圍內佈置 200 個節點、490x735 的範圍內佈置 300 個節點、566x849 的範圍內佈置 400 個節點、693x1040 的範圍內佈置 600 個節點、801x1202 個範圍內佈置 800 個節點、895x1343 的範圍內佈置 1000 個節點。隨著節點的增加，範圍的大小也跟著增加，以維持節點的鄰居個數(大約 9.4 個鄰居)。我們假設節點隨時都維持運作的狀態，傳輸範圍固定為 60，模擬的時間為 40'000 秒。為了消除因為節點移動造成的路由消失問題，我們假設所有的節點都是靜止的。我們還模擬最大訊框長度為 32 和 64 的情況。控制訊框長度固定為最大值，每個時槽代表一個新的節點。而資料訊框的長度初始值為 4，每次都以兩倍擴增。

流量根據負載參數採用平均分佈的配置，arrival rate 代表每秒平均所建立的連線數目，departure rate 代表每秒平均的連線個數，這個數字會和平均連線存活時間成反比。在模擬中 departure rate 固定為 0.05，arrival rate 則是隨著負載參數變動。因此，當 arrival rate 為 8 時，總負載為 160，代表平均每秒有 160 條正在運作的連線。當固定某個負載量之後，首先必須對連線建立的時間做排程，接著用平均分佈決定每條連線的起點和終點。如此一來，連線的數量就會和負載參數相關，而與節點個數無關。

我們利用下列的公式計算多點式跳躍無線特殊網路的效能：

- 1) 頻道重複使用效率  $\eta$ ：在特定時間內平均的重複使用時槽數量。假設

$$X(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{slot } i \text{ is used at node } j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Y(i) = \begin{cases} 1 & \text{slot } i \text{ is used at at least one node} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

則

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^{Slots} \sum_{j=1}^{Nodes} X(i, j)}{\sum_{i=1}^{Slots} Y(i)}$$

2) 控制封包總量：單位時間內所產生的控制封包數量。

圖 5 標示 DFLCA 和 DTSA 的頻道重複使用效率，由圖發現 DFLCA 的頻道使用效率比 DTSA 高多了。在 DTSA 中，隨著訊框長度的增加，頻道重複使用效率並沒有明顯的跟著成長。在 DFLCA 中，我們使用之前敘述過的方法，隨著訊框長度越長，頻道重複使用效率的情況越明顯；而且隨著訊框長度越長，訊框回復的功能也越常被使用，使得有較佳的頻道重複使用效率。

表 1 的資訊是 DFLCA 和 DTSA 在不同最大訊框長度和不同節點的環境下，平均每秒的總控制封包量，多出的這些頻寬是由控制頻道造成的。DFLCA 比 DTSA 花費更多的控制頻寬是因為使用有效率的回復方式，必須較多傳送請求和確認封包導致的。

在 DFLCA 中，較佳的頻道重複使用效率就是利用這些額外的控制封包來達成的。為了證明 DFLCA 可以讓頻寬的使用更節省，接下來我們將控制訊號所花費的頻寬和頻寬使用率做個轉換。

舉例來說，600 個節點、最大訊框長度為 64、負載參數為 8 的情況下，從圖 6 我們可以發現 DFLCA 使用 59 個時槽，DTSA 使用 38 個時槽；從表 1 我們可以得知 DFLCA 每秒產生 35.77 個控制封包，而 DTSA 每秒產生 13.73 個控制封包。比較 DFLCA 和 DTSA 頻寬節省的情況，平均每個控制封包可以省下  $(35.77-13.73) \div (59-38) = 1.05$  的頻寬。如果平均控制標頭量為 1kB，那所耗損的頻寬就是 1.05kBps/channel，也就是 8.40kbps/channel。因此，我們可以想成使用 8.40kbps 來節省一個頻道(一個頻道的大小往往超過 64kbps)。這也是為什麼 DFLCA 可以比 DTSA 在多點式跳躍無線特殊網路下有更好的效能的原因。表 2 比較了各種情況下，DFLCA 與 DTSA 每個控制封包與頻寬節省率的關係。

#### 四、結論

DFLCA 協定會根據網路的流量負載或是競爭區域內節點的個數來動態調整訊框的長度，達到控制訊框長度增減的功能，這個方式將頻道做更有效的利用。當有連線釋放的時候，往往很多節點就會留下許多未使用的時槽，利用我們提出的有效率的回覆機制，利用重整和更新頻道表的方式，減少未使用的時槽的數量。DFLCA 改善了 DTSA 在跳躍式無線特殊網路的缺陷，並且能夠讓網路重複使用率提高，DFLCA 的網路重複使用率大約是 DTSA 的三倍左右。另一方面，因為使用有效率的回覆機制必須發出大量的通知或確認封包，造成網路的控制封包流量提高不少。但是根據模擬的結果，與頻道資源的節省比較起來，這些增加的控制封包流量是能夠忽略的。

#### 參考文獻

- [1] H. Lee, J. Yeo, S. Kim, and S. Lee, "Time slot assignment to minimize delay in ad hoc networks," IST Mobile Communications Summit, Sep. 2001.
- [2] L.C. Pond and V.O.K. Li, "A distributed time-slot assignment protocol for mobile multi-hop broDFLCAst packet radio networks," in Proc. IEEE MILCOM '89, vol.1, pp. 70-74, Nov. 1989.
- [3] C.R. Dow, C.M. Lin and D.W.Fan, "Avoidance of hidden terminal problems in cluster-based wireless networks using efficient two-level code assignment schemes," IEICE Trans, Communications, vol. E84-B, no. 2, Feb. 2001, pp. 180-190.
- [4] C.D. Young, "USAP: A unifying dynamic distributed multichannel TDMA slot assignment protocol," in Proc. IEEE MILCOM '96, vol.1, pp.235-239, Oct. 1996.
- [5] C.D. Young, "USAP multiple access: dynamic resource allocation for mobile multihop multichannel wireless networking," in Proc. IEEE MILCOM '99, vol.1, pp.271-275, Nov. 1999.
- [6] A. Kanzaki, T. Uemukai, T. Hara, and S. Nishio, "Dynamic TDMA slot assignment in ad hoc networks," in Proc. 17th IEEE AINA'03, pp. 330-335, Mar. 2003.

#### 計畫成果自評

1. 研究內容與原計畫相符程度達 100%
2. 達成預期目標情況達 100%
3. 研究成果之學術價值：證明這個方法所花費控制標頭的頻寬，與增進頻道重複使用效率相比是值得的。
4. 適合在學術期刊發表：已將成果投稿於 Computer Communications(SCI)期刊。

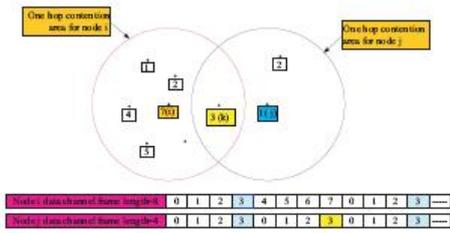


Fig. 1. DFLCA frame format for a new node in its contention area.

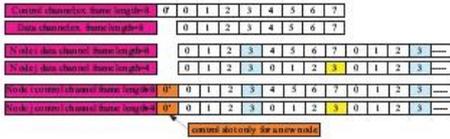


Fig. 2. Each node maintains two tables: a control channel table and a data channel table.

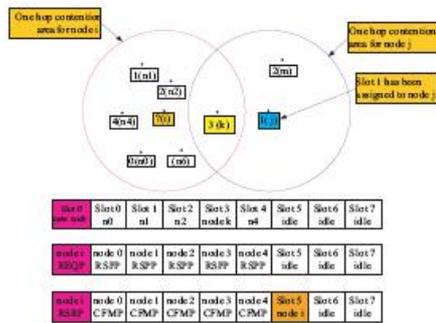


Fig. 3. 4-phase protocol with reservation mechanism in DFLCA.

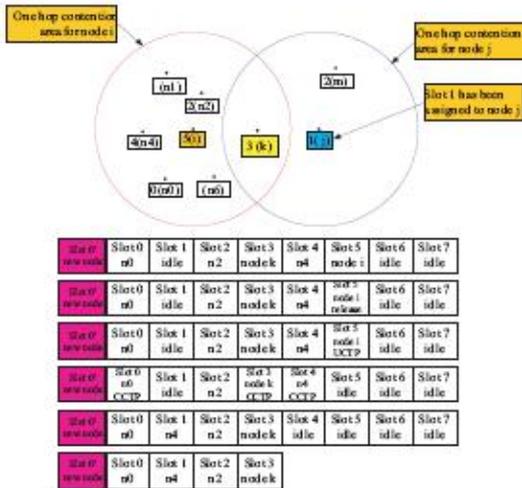


Fig. 4. Recovery protocol in DFLCA.

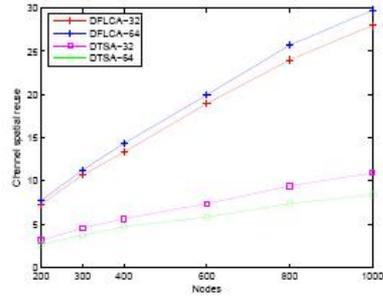


Fig. 5. Channel spatial reuse index versus the number of nodes for DFLCA and DTSA with arrival rates = 8.

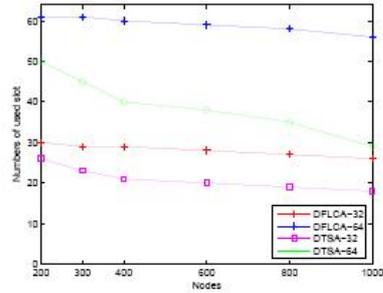


Fig. 6. Numbers of used slots versus the number of nodes for DFLCA and DTSA with arrival rates = 8.

TABLE I  
TOTAL CONTROL OVERHEAD (MESSAGES/S) OF DFLCA AND DTSA.

Nodes	200	300	400	600	800	1000
DFLCA32	10.48	13.80	16.29	20.37	24.44	26.61
DFLCA64	15.38	21.63	26.69	35.77	45.26	51.86
DTSA32	7.48	9.11	10.17	11.78	13.55	14.55
DTSA64	8.95	10.60	11.88	13.73	15.63	16.52

TABLE II  
ADDITIONAL CONTROL OVERHEAD (KBPS) PER SAVED CHANNEL OF DFLCA OVER DTSA.

Nodes	200	300	400	600	800	1000
FL=32	0.79	0.80	0.80	1.13	1.36	1.47
FL=64	0.57	0.68	0.73	1.05	1.29	1.31

## 出席國際學術會議心得報告

計畫編號	NSC 95-2221-E-343 -002
計畫名稱	在多重通道無線網狀網路中的分散式動態通道配置
出國人員姓名 服務機關及職稱	吳建民 南華大學資訊工程系 助理教授
會議時間地點	2007/7/2 ~ 2007/7/5 新加坡
會議名稱	IEEE WOCN 2007(Wireless Optical Communications and Networks)
發表論文題目	Dynamic Channel Assignment with Effective Recovery Method in Wireless Ad Hoc Networks

### 一、參加會議經過

7/2 第一天邀請一些有關無線光纖通訊與網路的專家學者與會進行專題演講

7/3~7/4 進行各個主題所接受論文的研討會

### 二、與會心得

由於 IEEE WOCN 2007 是屬於 EI 的研討會,對於個人論文能被接受,表示自己的研究受到高度肯定,內心深感欣慰,與會過程當中,也認識了一些國內外在無線光纖通訊與網路的專家學者,經過交換心得,更加增強個人的研究實力,對於將來的研究方向有莫大的助益,因此能參於這次研討會,深覺獲益良多。