

在 Ad-Hoc 無線網路中設計一具有頻道重覆使用特性的動態頻道安排及重安排協定

Dynamic Channel Assignment and Reassignment for Exploiting Channel Reuse Opportunities for Mobile Hosts in Ad-Hoc Networks

黃博治 Po-Chih Huang
私立真理大學數理科學研究所
台北縣淡水鎮真理街 32 號
Tel : (02) 26212121-5204
jackalPChuang@giga.net.tw

陳裕賢 Yuh-Shyan Chen
台北大學統計系
台北市民生東路三段 67 號
Tel : (02) 2500-9837
yschen@mail.ntpu.edu.tw

張志勇 Chih-Yung Chang
真理大學資訊科學系
台北縣淡水鎮真理街 32 號
Tel : (02) 26212121-5222
changcy@email.au.edu.tw

摘要

在 Ad-Hoc 無線網路的環境中，一對 hosts 的通訊必須佔用一個 channel，在其通訊範圍內若有另一對 hosts 使用相同的 channel 通訊，將造成訊號干擾，由於 channel 是有限資源，重複使用 channel 將是提高 channel 使用率，解決 channel 數不足的可行方案。但是，提高 channel 的重複使用率，卻產生另一個問題：由於每個 host 均可任意移動，當正在通訊的 host 移動到使用相同 channel 的通訊範圍時，會干擾正在通訊的 host，這時必須對產生干擾的 hosts 執行 channel reassignment 的協定，受到干擾的 hosts 始能再繼續通訊而不致斷訊。

本論文主要目的在探討 channel 的安排方式，使頻道資源不但能得到最高的重複使用率，當 host 因移動而造成干擾時，我們亦提出一個 dynamic channel reassignment 的 protocol，使正在通訊的 hosts 能避開干擾並繼續通訊。在這篇論文中，我們提出的 dynamic channel reassignment protocol 可以使彼此干擾的 host 能在有效率且低成本的考量下快速更換到適當的 channel 而繼續通訊，我們亦針對現有的頻道安排及重安排的相關協定，將其實作於模擬器中，實驗顯示，本論文所提出的頻道安排及重安排協定，可有效減少因移動性而造成斷訊的機會，進而使通訊效能提升。

Abstract

In an Ad-Hoc wireless network, the communication of a pair of hosts should consume one channel. The co-channel interference is occurred if there are two pairs of hosts using the same channel for their own communication. Due to that channel is a limited resource, exploiting channel reuse opportunities will improve the channel utilization and increase the number of pairs in communication. However, exploiting channel reuse opportunity creates problem of co-channel interference owing to mobility. As two pairs of communicating hosts that use the same channel move closely to each other, a channel reassignment operation is needed for preventing the communication from break. This paper mainly focuses on developing a channel assignment protocol for exploiting the channel reuse opportunities. In addition, we develop a channel reassignment protocol for resolving the co-channel interference problem. Comparisons of the proposed protocols and the related work are made in experimental study. Simulation results show that the proposed channel assignment and reassignment protocols effectively reduce the probability of communication break and thus improve the system performance.

關鍵字： Ad-Hoc, wireless networks, channel assignment, channel reassignment, co-channel interference

一、簡介

近幾年來無線網路諸如紅外線、藍芽、基地台、Wireless LAN、衛星網路、以及個人無線通訊系統等應用越來越廣，而科技的進步，無線設備的價格平民化，使得無線通訊的使用者越來越多，每個使用者都希望能夠擁有隨時隨地和他人溝通的能力。但是，在人煙稀少的地方架設基地台卻是不划算的，因此，MANET(Mobile Ad-Hoc Network)這種無基地台的架構讓 Mobile device 間互相通訊的能力更符合使用者的要求。由於不需要基地台，原來在基地台或 Mobile Switching Center 所執行的工作就分擔到各個 Mobile host。另一方面，在戰爭、天然災害及救難、或臨時性的視訊會議，由於無法架設基地台或是基地台遭破壞，MANET 不須基地台仍可讓使用者互相通訊的能力更顯重要。

在 Ad-Hoc 無線網路中，host 與 host 之間的通訊將佔用一個 channel。由於頻道的資源有限，為了能讓更多人通訊，提高 channel 的使用率，在彼此不互相干擾的前提下，這兩對欲執行通訊的使用者可以使用相同的 channel，這將能使同時通訊的人口增加，進而提升系統的 traffic capacity。由於在 Ad-Hoc 環境中，每個 host 可以任意移動，當 host 因移動而接近彼此的通訊範圍時，會因使用相同 channel 而漸漸發生干擾，而重複使用的頻道安排若不恰當也容易再發生 channel 衝突或是 channel 不夠的問題。先前的學者針對這個議題提出許多研究，其中有借頻道的方式[1][8][14]及使用方向性天線的方法[9]，然而，這些方法大都是針對基地台的個人通訊系統所研發的，由於在 Ad-Hoc 無線環境中，每個 host 均可隨時移動，所以，channel 的安排及重安排將比有基地台的架構更加複雜。在 Ad-Hoc 環境中，有學者[1][15]提出以控制 hosts 的 power 來提高 channel 的重複使用率，然而，當正在通訊的 hosts 偵測到其通訊範圍內有 hosts 也要通訊時，為了避免干擾而降低 power 強度，將可能使自己斷訊，為了避免這一問題產生，當正在通訊 hosts 因其他正在通訊的 hosts 漸漸逼近自己通訊範圍而產生干擾時，以重新 assignment 的方式來避免 hosts 因干擾而斷訊將是本論文研究重點。

本論文主要目的是在 Ad-Hoc 環境下解決 channel assignment 及 reassignment 的問題，我們將提出適當的 channel assignment 及 reassignment protocols，使得每對想要通訊的 hosts 均能得到一個適當的 channel 來通訊，並以重複使用 channel 的方式，提高 channel reuse 的機會，有效利用頻道資源，避免 host 因移動性而對其他正在通訊中的 hosts 造成干擾，影響其通訊品質。當正在通訊的 hosts 發生無可避免的干擾或衝突時，我們所研發的 channel reassignment protocol 將以低成本的方式來動態調整 channel 的使用。本論文所提出的頻道安排及重安排協定將兼具下列優點：

1、減少維護成本：

在 Ad-Hoc 無線網路中，每個 hosts 必須隨時與 neighbor 交換 message，才能了解其 neighbor 的狀態及使用 channel 的情形。其在維護上必須付出許多成本，才能讓每個要通訊的 host 都能找到一個適當的 channel 來彼此通訊，我們所提出的方法能透過適當的 message 傳遞，減少 hosts 的維護成本。

2、減少 channel reassignment 的成本：

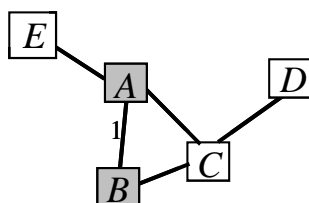
在 Ad-Hoc 無線網路環境中，host 的移動將可能對其他正在通訊的 host 造成干擾，當 host 因移動而造成彼此干擾時，我們所研發的 channel reassignment protocol 能以最少

的成本，快速找到另一個適當的 channel 使其繼續通訊，並使再發生衝撞的機會減少。

在下一節中，我們將做基本定義介紹，並更進一步敘述我們的觀念與想法，第四節則詳細描述我們所研發的協定及 cache table 的設計，在第五節中，我們將實作本論文所研發的協定，並與現有頻道安排及重安排的相關協定進行比較，最後一節則是結論及未來工作概述。

二、基本定義與觀念

本論文主要的目的是在 Ad-Hoc 環境中解決頻道安排及重安排的問題。在此環境中，兩 hosts 間必須在 one-hop 距離內才能通訊，每對正在通訊的 hosts 都必須使用一個相同的 channel 來傳遞訊息，如圖(一)所示，每個方形點代表一個 host，而灰色的方形點為一個正在通訊的 host，host 與 host 之間的線段表示兩 hosts 處於 one-hop 之內的距離，如圖(一)所示，hosts A 的 one-hop 距離內有 hosts B、C 及 E，而 host C 的 one-hop 鄰居則有 hosts B、D 及 A，且 hosts A、B 正使用一個 channel 在通訊，此時 host C 無法與 host A 或 host B 通訊，當 host C 欲與 host D 通訊時，其所使用的 channel 必須與 hosts A、B 不同，否則將產生干擾。



圖(一)、兩個 hosts 要進行通訊時的狀況。

為了方便說明及表達本論文所研發的協定，底下我們將定義本論文所使用的符號：

Definition : *Neighbor(X)*

Neighbor(X) 是一個集合，若 X 為 host 則 *Neighbor(X)* 表示 host X one-hop 距離內的所有 host 所形成的集合；若 X 為一個 host set 則 *Neighbor(X)* 表示此 set 中所有 host 之鄰居的集合，如圖(一)所示，host A one-hop 距離內的鄰居有 hosts B、C 及 E，所以 $Neighbor(A) = \{B, C, E\}$ 。

Definition : *One-hop Communication(Com)*

假設有兩個 hosts 處於 one-hop 距離內，使用 channel j 通訊則以 $Com(A, B, j)$ 表示。從圖(一)中可以看出，hosts A、B 正以 channel 1 通訊，故以符號 $Com(A, B, 1)$ 表示。

Definition : *Host*

表示一對正在通訊的 hosts 所形成的集合， $Hosts(Com(X, Y, j)) = \{X, Y\}$ 。

Definition : *Channel*

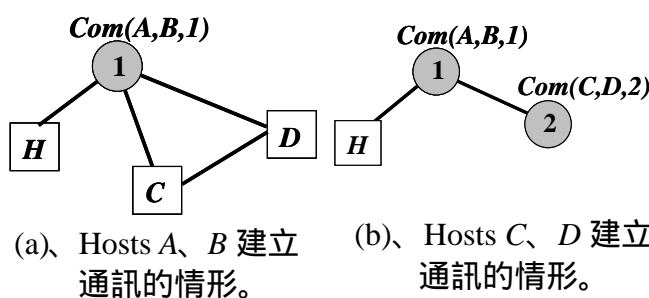
表示 hosts 建立通訊時所用的 channel，例如 $Channel(Com(X, Y, j)) = j$ 。

底下我們將對本論文所提出的概念做介紹，並定義其 data structure。在 Ad-Hoc 網路環境中，當通訊中的兩對 hosts 正使用相同 channel 而彼此接近時，將漸漸干擾對方的通訊，此時，必須有一個機制來決定那一對的 hosts 調整到那個 channel 才能避免干擾對方通訊，且對周遭正在通訊的 hosts 影響最少。在本論文中，每個 host 將記錄周圍有那些 neighbor，這些 neighbor 使用那些 channel 以及該 channel 的 weight 值，其中我們以 weight 值表示更換 channel 的成本，而成本的計算是將在稍後詳述。其中，在每個 host 中所儲存的 table 其欄位如下：

| <i>Neighbor</i> | <i>Nchannel</i> | <i>NNchannel</i> | <i>Weight</i> |
|-----------------|-----------------|------------------|---------------|
| ... | ... | ... | ... |

圖(二)、Hosts 所儲存的 table 欄位。

其中 *Neighbor* 是記錄其 neighbor 的 host ID，不論其 neighbor 是否正在通訊，其 ID 均記錄在此欄位中；*Nchannel* 及 *NNchannel* 這兩個欄位是記錄 channel 的使用情形，若其 neighbor 處於通訊狀態，此欄位的值將記錄 neighbor 所使用的 channel，若不處於通訊狀態則其欄位值為 null，其中 *Nchannel* 記錄 neighbor 使用的 channel，而 *NNchannel* 則記錄 neighbor 的 neighbor 所使用的 channel，*weight* 欄位中則是記錄使用此 channel 的預期成本，亦即使用此 channel 將對多少 neighbor 產生干擾，致使 neighbor 要調整其 channel 的成本估計值，在本論文中，每對正在通訊的 hosts 其初始的 weight 值為 1，這表示若目前的 host 要使用其 neighbor 正在通訊所使用的 channel，將造成其一對 neighbor 必須調整 channel，因此 weight 值為 1。



| <i>Neighbor</i> | <i>Nchannel</i> | <i>NNchannel</i> | <i>Weight</i> |
|-----------------|-----------------|------------------|---------------|
| (A,B) | 1 | null | 1 |

(c) Hosts A、B 建立通訊時 host H table 中記錄的內容。

| <i>Neighbor</i> | <i>Nchannel</i> | <i>NNchannel</i> | <i>Weight</i> |
|-----------------|-----------------|------------------|---------------|
| (A,B) | 1 | 2 | 2 |

(d) Hosts C、D 建立通訊時 host H table 中記錄的內容。

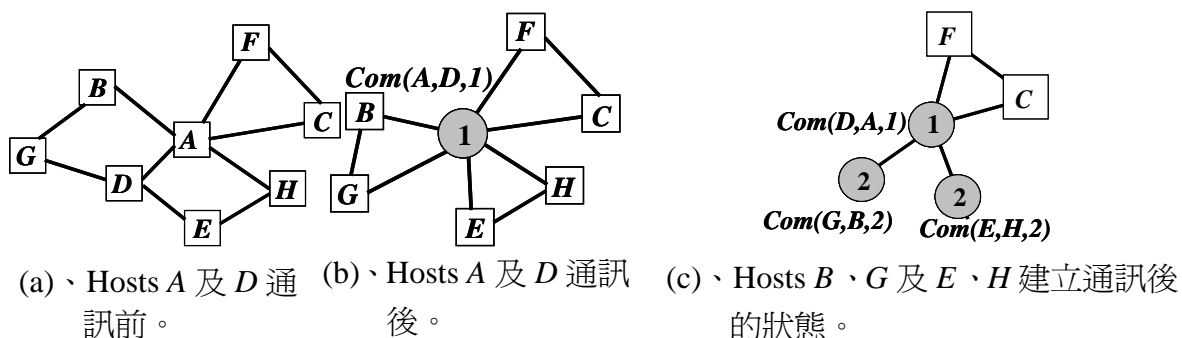
圖(三)、Weight 值的記錄情形。

如圖(三)(a)所示，host H 的 neighbor 有 hosts {A、B}，這對 hosts 使用 channel 1 通訊，並且假設整個 Ad-Hoc 環境中只有兩個 channel 可供使用，分別是 channel 1 及 2，因此

host *H* table 中的記錄如圖(三)(c)所示，由於 hosts {*A*、*B*} 的 neighbor 並無其他正在通訊的 hosts，故 host *H* 的 table 中記錄其 hosts {*A*、*B*} 的 weight 值均為 1。如圖(三)(b)所示，當 hosts *C* 及 *D* 建立通訊後，會將 hosts 通訊時所使用的 channel 相關資訊傳給 neighbors *A* 及 *B*，因此 weight 具有累加的效果，如圖(三)(d)所示，host *H* 中對 neighbors *A* 及 *B* 所記錄的 weight 值為 2，每個想要通訊的 host 透過 table 中的 weight 值即可知道使用那個 channel 較佳，以這個例子而言，若 host *H* 要使用 channel 1 來與別人通訊，則將導致 hosts {*A*、*B*} 更換 channel，由於整個 Ad-Hoc 環境中只有兩個 channel 可使用，故 hosts {*A*、*B*} 必須更換至 channel 2，這又將導致 hosts {*C*、*D*} 更換 channel，因此，對 host *H* 而言，host *H* 使用 channel 1 通訊，將導致 hosts {*A*、*B*} 及 {*C*、*D*} 共進行 2 次的更換 channel，這亦是我們在 weight 欄中記錄值為 2 的主要原因。在此特別強調，在通訊建立的過程中，並非 neighbors 中每個 host 都必須傳遞 message，只有正在通訊的 neighbors 才有傳遞 information 的義務，並且只傳遞 *k* 步後就停止，如此能避免整個 Ad-Hoc network 中所有的 hosts 都在傳遞 information 而造成不必要的 traffic overhead。

三、 頻道安排協定

本節中我們將提出許多例子來描述 hosts 要建立通訊時的步驟、table 的變化及 weight 值的計算，並說明當正在通訊的 hosts 發生干擾或衝撞的時候，該如何執行 channel reassignment protocol，正式的協定將在之後列出。



圖(四)、Hosts 建立通訊的狀態。

以圖(四)為例，每個方形點表示一個不處於通訊狀態的 host，host 與 host 之間的線表示其距離在 one-hop 之內，每個 hosts 均需將 neighbors 有關通訊的 information 記錄在自己的 table 中，以 host *D* 為例，Neighbor(*D*)={*A*、*E*、*G*}，因此，host *D* 的 table 中會儲存以下的 information，

表(一)、host *D* 所儲存的 information。

| Neighbor | Nchannel | NNchannel | weight |
|----------|----------|-----------|--------|
|----------|----------|-----------|--------|

| | | | |
|----------|------|------|---|
| <i>A</i> | null | null | 0 |
| <i>E</i> | null | null | 0 |
| <i>G</i> | null | null | 0 |

因為 host *D* 的 neighbors 並沒有正在通訊的 host，故 channel 欄位裡記錄 null，weight 值均為零，如表(一)所示。以下我們以 host *D* 要與 host *A* 建立通訊為例，來說明 hosts *D* 及 *A* 如何執行「頻道安排」協定：

1. Host *D* 發出 communication request message(*CRM*)給 host *A*，若 host *A* 可以通訊，則回傳一個 communication approve message(*CAM*)給 host *D*。
2. Host *D* 收到 *CAM* 後，將自己 table 中的 information 包括 *neighbor ID*、*Nchannel* 欄及 *weight* 欄位的內容與 host *A* 做 information exchange。
3. Hosts *A* 及 *D* 將收到的 information 與自己 table 中的資料做差集運算，並將運算後的結果記錄到 table 中，並選出 weight 值較小的 channel(本例為 channel 1)來與對方通訊。
4. Hosts *A* 及 *D* 將通訊所選用的 channel 資訊(*Communication Notify Message*；*CNM*)，其格式如圖(五)(a)所示，傳給 neighbor，同時將通訊狀態資訊(*Communication State Information*；*CSI*)，如圖(五)(b)所示，傳遞給周圍所有的 neighbors *B*、*C*、*E*、*F*、*G* 及 *H*。
5. 當 neighbors 收到 hosts {*D*、*A*}的 *CNM* 及 *CSI* 後，將 *CNM* 及 *CSI* 的資料則置入 table 中，其整合的運作方式將詳述於後。
6. 若 hosts *B*、*C*、*E*、*F*、*G* 及 *H* 的 neighbors 亦處於通訊狀態，則將整合後的 *CSI* 再傳遞給 neighbor，以此例而言，並無此情況發生，故本步驟可省略。

結果如圖(四)(b)所示，圖中我們以圓形灰色點表示正在通訊的 hosts *A*、*D*。當 neighbor(以 host *B* 為例)收到 hosts *D*、*A* 的 *CNM* 及 *CSI* 後，table 中的記錄如表(二)所示：

表(二)、Host *B* 的 table 所儲存的內容。

| <i>neighbor</i> | <i>Nchannel</i> | <i>NNchannel</i> | <i>Weight</i> |
|-----------------|-----------------|------------------|---------------|
| (<i>D,A</i>) | 1 | null | 1 |
| <i>G</i> | null | null | 0 |

依此類推，每個想要通訊的 host 均執行上述的六個步驟，便能建立通訊，假設 hosts *G*、*B* 及 hosts *E*、*H* 分別執行上述六個步驟並建立通訊，則整個 topology 將如圖(四)(c)所示，當 hosts 建立通訊後必須將自己的 *CNM* 及 *CSI* 傳給 neighbors，如此每個 host 才能正確的記錄其 neighbors 中有多少個 hosts 正在通訊，以及 weight 變化的情形，當 neighbor 收到這些欄位的 information 後，會將其整合到自己 table 適當的欄位中。

| | |
|--------|-------------|
| 自己的 ID | 使用的 channel |
|--------|-------------|

(a)、Communication Notify Message(*CNM*)的格式。

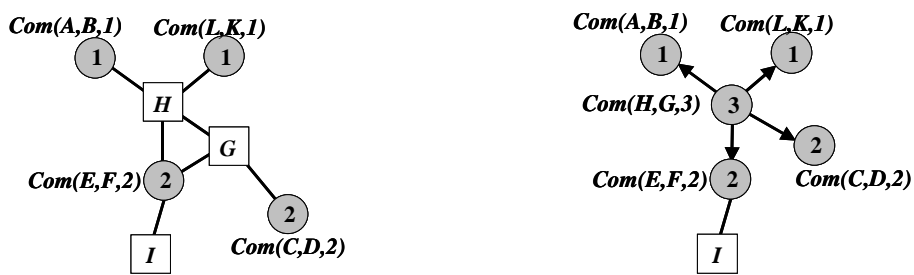
| | | |
|------------------|----------------|------------|
| Neighbor 的 ID | Channel 編 號 | 總 weight 值 |
|------------------|----------------|------------|

(b)、Communication State Information(CSI) 的格式。

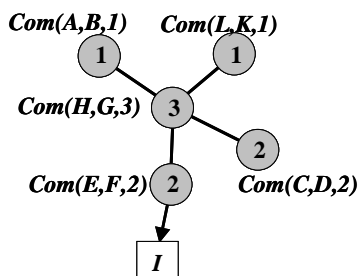
圖(五)、準備通訊的 hosts 傳遞給 neighbors 的 CNM 及 CSI information 格式。

在本論文中，weight 值是 channel assignment 或 reassignment 時的成本估計值，若 weight 計算不正確，將使 channel assignment 或 reassignment 的結果花費更多成本，我們將以下例來解釋通訊建立過程中，weight 值的計算方法。試考慮圖(六)(a)所示，hosts *H* 及 *G* 欲安排一適當 channel 彼此通訊，其 table 分別如圖(七)(a)、(b)所示，其分別執行前述「頻道安排」協定中的步驟二，hosts *H* 及 *G* 彼此交換 table 中的內容，並於步驟三時，將所接收的 table 內容整合於自己的 table 中，如圖(七)(c)(以 host *H* 為例)所示，此時，hosts *H* 及 *G* 將分別檢查 table 中的 weight 值並決定以 channel 3 進行通訊，緊接著，如圖(六)(b)所示，在步驟四的執行過程中，hosts *H* 及 *G* 將把通訊的決策 $CNM=Com(H,G,3)$ 及自己 table 中重要的資訊 CSI 傳遞給所有的 neighbors *A*、*B*、*C*、*D*、*E*、*F*、*L* 及 *K*，而 CSI 的資訊內容如圖(七)(d)所示。

在步驟五中，hosts *A*、*B*、*C*、*D*、*E*、*F*、*L* 及 *K* 收到 hosts {*H*、*G*} 的 CNM 及 CSI 後將其整合到自己的 table 中，以下，我們將以正在通訊中的 hosts {*E*、*F*} 為例，來解釋其 weight 值的計算並觀察其 table 中 weight 值的變化，如圖(六)(b)所示，當 hosts {*E*、*F*} 收到 hosts {*H*、*G*} 所傳遞的 CNM packet 後，對 hosts *E* 或 *F* 而言，由於已得知其 neighbors *H*、*G* 決定使用 channel 3 來通訊，因此，hosts *E* 及 *F* 將把「hosts *H* 及 *G* 利用 channel 3 通訊」的資訊加入其 table 中，如圖(七)(e)所示。而 row 1 中的 weight 值則必須經由 CSI 資訊計算而得，首先，hosts *E* 及 *F* 將 CSI 資訊中，所有使用 channel 1 的 communication pair 的 weight 總和後加 1，將結果置入 table 中 row 1 的 weight 欄位，而其 channel 1 則置入 table 中 *Nchannel* 欄位中，使 table 中 $\langle Neighbor, Nchannel, NNchannel, weight \rangle$ 的值為 $\langle (H,G), 3, 1, 3 \rangle$ ，這表示，hosts *E* 或 *F* 稍後若要將其通訊的 channel 改為 channel 3 時，將迫使 hosts *H* 及 *G* 通訊的 channel 亦隨之改變，才不致與 hosts {*E*、*F*} 互相干擾，若 hosts *H* 及 *G* 將使用的 channel 改變至 channel 1 時，同時將干擾兩對正使用 channel 1 通訊的 neighbors，如此對 hosts {*E*、*F*} 而言，若其使用 channel 3 來通訊將會使三對正在通訊的 communication pair 必須調整正在使用的 channel，故其所需花費的成本為 3。同理，對 CSI 的 channel 2 而言，亦執行上述動作，如此便完成 hosts *E* 及 *F* 的 table 其 *Nchannel* 欄填值及 weight 欄的計算，如圖(七)(f)所示，當 hosts *E* 及 *F* 完成 table 的計算後，在步驟六中，hosts *E* 及 *F* 會將自己 table 中的資料以 CSI 的形式再傳遞給周圍的 neighbors，如圖(六)(c)所示，hosts *E* 及 *F* 在整合成 CSI 時會將 neighbor {*H*、*G*} row 的所有 weight 欄取最大值再放入 CSI 中傳給 neighbor，當 host *I* 收到 hosts {*E*、*F*} 的 CNM 及 CSI 後，將如上述步驟將 CSI 整合到自己的 table 中完成 weight 的計算。



(a)、Hosts H 、 G 未建立通訊時的情形。(b)、Hosts $\{H、G\}$ 建立通訊後，第一次傳遞資料的情形。



(c)、Hosts $\{H、G\}$ 建立通訊後，第二次傳遞資料的情形。

圖(六)、通訊建立時，資料的傳遞過程。

| <i>Neighbor</i> | <i>Nchannel</i> | <i>NNchannel</i> | <i>Weight</i> |
|-----------------|-----------------|------------------|---------------|
| (A,B) | 1 | null | 1 |
| (E,F) | 2 | null | 1 |
| (L,K) | 1 | null | 1 |

(a)、Host H 的資料內容。

| <i>Neighbor</i> | <i>Nchannel</i> | <i>NNchannel</i> | <i>Weight</i> |
|-----------------|-----------------|------------------|---------------|
| (C,D) | 2 | null | 1 |
| (E,F) | 2 | null | 1 |

(b)、Host G 的資料內容。

| <i>Neighbor</i> | <i>Nchannel</i> | <i>NNchannel</i> | <i>Weight</i> |
|-----------------|-----------------|------------------|---------------|
| (A,B) | 1 | null | 1 |
| (E,F) | 2 | null | 1 |
| (L,K) | 1 | null | 1 |
| (C,D) | 2 | null | 1 |

(c)、Hosts H 及 G 交換 table 資料後，host H 的資料內容。

| <i>Neighbor</i> | <i>channel</i> | <i>Weight</i> |
|-----------------|----------------|---------------|
| (A,B) | 1 | 1 |
| (E,F) | 2 | 1 |
| (L,K) | 1 | 1 |
| (C,D) | 2 | 1 |

(d)、Hosts $\{H、G\}$ 的 CSI 資料內容。

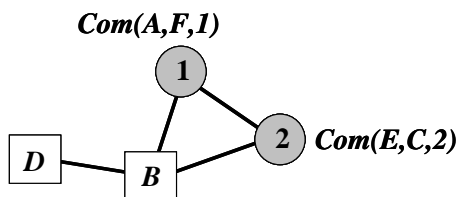
| <i>Neighbor</i> | <i>Nchannel</i> | <i>NNchannel</i> | <i>Weight</i> |
|-----------------|-----------------|------------------|---------------|
| (H,G) | 3 | | |

(e)、Hosts $\{E、F\}$ 將 CNM 的資料置入 table 後的結果。

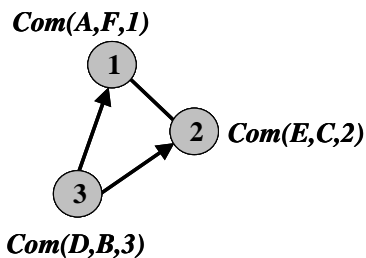
| <i>Neighbor</i> | <i>Nchannel</i> | <i>NNchannel</i> | <i>Weight</i> |
|-----------------|-----------------|------------------|---------------|
| (H,G) | 3 | 1 | 3 |
| | | 2 | 2 |

(f)、Hosts $\{E、F\}$ 將 CSI 的資料置入相對於 CNM 欄位 table 記錄的內容。

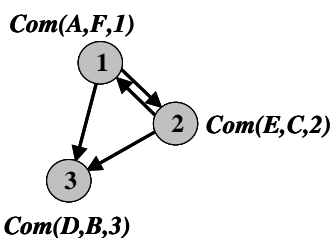
圖(七)、圖(六)中 hosts H 及 G 通訊建立過程中 table 的記錄狀況。



(a)、Hosts B 及 D 未建立通訊時的情形。



(b)、Hosts D 及 B 建立通訊後第一次傳遞 CNM 及 CSI 的情形。



(c)、Hosts D 及 B 建立通訊後第二次傳遞 CSI 的情形。

圖(八)、當 communication pair 形成 cycle 的 topology。

如上所述，weight 值的計算將是未來執行 channel assignment 及 reassignment protocol 的重要依據，某 channel 的 weight 值代表著 host 欲使用此 channel 來進行通訊所需的成本，亦即 host 使用某個 channel 來通訊將造成其他正在通訊的 hosts 有多少對亦必須隨之調整其正在使用的 channel。然而，當 hosts 形成 cycle 狀況時，weight 值的計算將可能過度累加，底下我們將詳細敘述當 hosts 形成 cycle，其 weight 的計算方式及如何避免累加的過程。假設目前 Ad-Hoc 環境中各 hosts 的通訊狀態如圖(八)(a)所示，hosts $\{A, F\}$ 利用 channel 1 彼此通訊，hosts $\{E, C\}$ 亦利用 channel 2 彼此通訊，host $B, \{A, F\}$ 及 $\{E, C\}$ 內的 table 分別如圖(九)(a)、(b)、(c)所示，此時，若 hosts B 及 D 欲通訊，他們將執行步驟一、二及三中交換彼此 table 及決定使用 channel 3 的動作，對 host B 而言，其交換後的 table 與圖(九)(a)的內容相同。

當 hosts $\{B, D\}$ 執行步驟四時，將傳送 $CNM = Com(B, D, 3)$ 及如圖(九)(d)的 CSI 資訊給所有 neighbors $\{A, F\}$ 及 $\{E, C\}$ ，當 hosts $\{A, F\}$ 收到 hosts $\{B, D\}$ 所傳送的 CNM 資訊後，將把 $CNM = Com(B, D, 3)$ 的資訊插入其 table 中，表示 neighbors B, D 已使用 channel 3 進行通訊。而對於 CSI 的處理如下：就 CSI 中第一個 row 而言，因 neighbor 欄為 $\{A, F\}$ ，與自己相同，如前所述不處理，就 CSI 第二個 row 而言，因 neighbors $\{E, C\}$ 已在自己 table 中，這表示 hosts $\{A, F\}$ 與傳送訊息的 hosts $\{B, D\}$ 有共同正在通訊的 neighbor $\{E, C\}$ ，這三對通訊中的 hosts 勢必成 cycle，由於在三點所構建成的 cycle 中，每對通訊中的 hosts 其 weight 值均相同(為 2)，因此，hosts $\{A, F\}$ 將把 table 中 $\langle \{B, D\}, 1, \text{null}, 0 \rangle$ 更正為 $\langle \{B, D\}, 3, 2, 2 \rangle$ 。這表示，hosts $\{A, F\}$ 在往後若要將通訊的 channel

調整為 channel 3，則勢必導致 hosts {B、D}亦隨之調整 channel 才不致發生干擾，若此時，hosts {B、D}亦將通訊的 channel 調整為 2 時，hosts {E、C}亦必須隨之調整 channel 以避免干擾 hosts {B、D}的通訊，亦即，hosts {A、F}的 channel 調整共造成 hosts {B、D}及 hosts {E、C}兩對調整 channel，因此成本為 2。

當 hosts {A、F}計算完其 weight 值後，其 table 如圖(九)(e)所示，此時，host {A、F}才算執行完步驟五中整合 table 的動作，由於 hosts {A、F}亦處於通訊狀態，在步驟六中，其亦需將 table 中的 CSI 資訊傳給鄰居 hosts {B、D}及{E、C}。

當 neighbors 收到 host {A、F}所送來的資訊後，由於亦屬於 cycle 的 case，其處理程序亦同前所述，其 weight 值亦為 2 並無變化，故 hosts {E、C}及{B、D}整合後的 table 與圖(九)(f)、(g)相同。

| Neighbor | Nchannel | NNchannel | Weight |
|----------|----------|-----------|--------|
| (A,F) | 1 | 2 | 2 |
| (E,C) | 2 | 1 | 2 |
| D | null | null | 0 |

(a)、Host B table 中的記錄。

| Neighbor | Nchannel | NNchannel | Weight |
|----------|----------|-----------|--------|
| (E,C) | 2 | null | 1 |
| B | null | null | 0 |

(b)、Hosts {A、F} table 中記錄的內容。

| Neighbor | Nchannel | NNchannel | Weight |
|----------|----------|-----------|--------|
| (A,F) | 1 | null | 1 |
| E | null | null | 0 |

(c)、Hosts {E、C} table 中記錄的內容。

| Neighbor | channel | Weight |
|----------|---------|--------|
| (A,F) | 1 | 2 |
| (E,C) | 2 | 2 |

(d)、Hosts {D、B}建立通訊後，第一次傳遞訊息的 CSI 的內容。

| Neighbor | Nchannel | NNchannel | Weight |
|----------|----------|-----------|--------|
| (E,C) | 2 | 3 | 2 |
| (D,B) | 3 | 2 | 2 |

(e)、Hosts {A、F}完成 weight 計算後，table 中所記錄的內容。

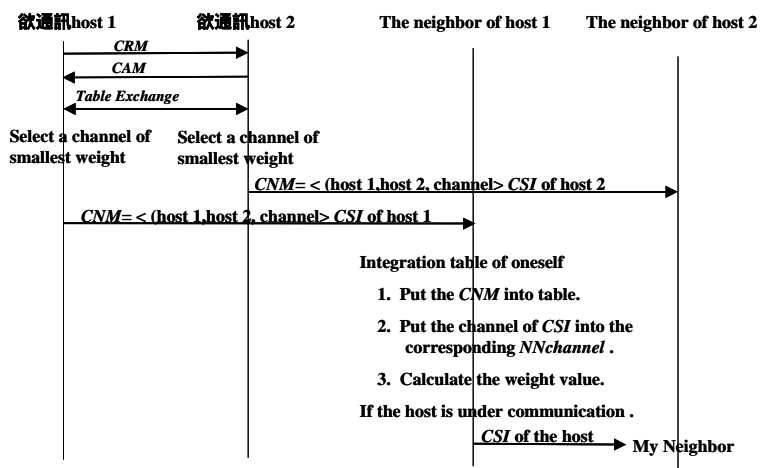
| Neighbor | Nchannel | NNchannel | Weight |
|----------|----------|-----------|--------|
| (A,F) | 1 | 3 | 2 |
| (D,B) | 3 | 1 | 2 |

(f)、Hosts {E、C}完成 weight 計算後，table 中所記錄的內容。

| Neighbor | Nchannel | NNchannel | Weight |
|----------|----------|-----------|--------|
| (A,F) | 1 | 2 | 2 |
| (E,C) | 2 | 1 | 2 |

(g)、Hosts {B、D}建立通訊後，table 中所記錄的內容。

圖(九)、圖(八)的 hosts 建立通訊時其 table 記錄的情形。



圖(十)、Host 建立通訊時的協定細節。

底下我們將敘述正式「頻道安排」的通訊協定：

1. 欲通訊的 host(假設 host A)發出 communication request message(CRM)給目的 host(host B)，若 host B 可以通訊，則回傳一個 communication approve message(CAM)給 host A。
2. Host A 收到 CAM 後，將自己 table 中的 information 包括 *neighbor*、*Nchannel* 欄及 *weight* 欄位的內容與 host B 做 information exchange。
3. Hosts A 及 B 將收到的 information 與自己 table 中的資料做差集運算，並將運算後的差集記錄到 table 中，並選出 *weight* 值較小的 channel 來與對方通訊。
4. Hosts A 及 B 將通訊所選用的 channel 資訊(Communication Notify Message；CNM)，傳給 neighbor，同時將通訊狀態資訊(Communication State Information；CSI)，傳遞給周圍所有的 neighbors。
5. 當 neighbors 收到 hosts {A、B} 的 CNM 及 CSI 後，將執行下列的步驟：
 - (1)、將 CNM 資料置入 table 中 *Neighbor* 及 *Nchannel* 欄位中，
 - (2)、扣除 CSI 中自己的相關資料。
 - (3)、將剩餘的 CSI 資料與自己 table 中的資料進行交集運算。
 - (4)、if (交集運算結果!=0) then
 - if (使用的 channel 數>1)
 - (1). 將所有使用相同 channel 的 *weight* 值加總後-1
 - (2). 將 *weight*+1 再置入自己 table 中的 *weight* 欄。
 - Else
 - 將 *weight*+1 再置入自己 table 中的 *weight* 欄。
 - Else //交集運算結果=0
 - if (使用的 channel 數>1)
 - (1). 將所有使用相同 channel 的 *weight* 值加總後-1。
 - (2). 將 *weight*+1 再置入自己 table 中的 *weight* 欄。
 - Else if (CSI 的 neighbor ID 在交集內)
 - 直接將 *weight* 值置入自己 table 中 *weight* 欄。
 - (5)、若自己正處於通訊狀態中，則將自己的 table 資料再以 CSI 的格式傳給 neighbor。
6. 若 neighbor 亦處於通訊狀態，則將整合後的 CSI 再傳遞給 neighbor。

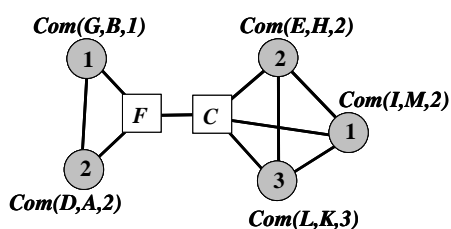
五、頻道重安排協定

在上一節中，我們已介紹頻道安排的協定，每個 mobile host 透過表格維護及 weight 計算，可以得知每個 channel 的使用成本，若有 host 想要通訊，透過查詢表格即可得知使用那個 channel 來通訊將花費較少的成本。在本節中，我們將介紹頻道重安排的協定，由於每個 mobile host 均能任意移動，故將需要頻道重新安排的時機加以分類如下，並以例子說明其處理方式：

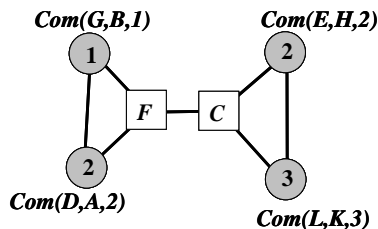
case 1 :

在 Ad-Hoc 無線網路環境中，若頻道數不夠充裕，將導致兩個想要通訊的 hosts 因彼此可使用的 channel 不同而無法通訊，此時，必須協調出一個成本花費最小的 channel 來彼此通訊，以圖(十一)為例，假設整個 Ad-Hoc 無線網路環境中只有三個 channel 分別是 channel 1、2、3 可以使用，且 host *F* 的 neighbor 有 hosts {*G*、*B*} 及 hosts {*D*、*A*} 正分別以 channel 1 及 2 通訊，而 host *C* 的 neighbors 則有 hosts {*E*、*H*}、hosts {*L*、*K*} 及 hosts {*I*、*M*} 亦分別以 channel 1、2 及 3 通訊，由圖(十一)(a)中我們可以看到 host *F* 只能使用 channel 3，而 host *C* 目前並無任何 channel 可以使用，當 hosts {*I*、*M*} 結束通訊後，如圖(十一)(b)所示，則此時 host *C* 可使用 channel 1，若 hosts *F* 與 *C* 欲建立通訊時，由於彼此可以通訊的 channel 並無交集，因此，有必要執行 channel reassignment protocol 來決定使用 channel 1 或 3 來通訊較好，不論採用那個 channel 來通訊將導致其 neighbors 正在通訊的 hosts 其使用的 channel 須隨之調整，因此，到底造成多少對 neighbors 正在通訊所使用的 channel 要隨之調整將是我們執行 channel assignment 時的重要考量因素。

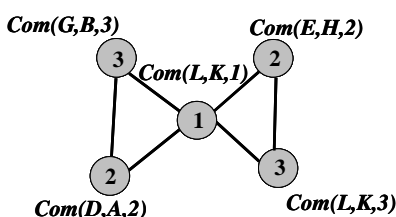
當 hosts *F*、*C* 要建立通訊時，經過前節所述「頻道安排協定」的步驟中第一到第三個步驟後，hosts *F* 及 *C* 的 table 所記錄的 information 將如圖(十二)所示，由於 hosts *F* 及 *C* 彼此可以使用的 channel 不同而無法找出未被使用的 channel 來通訊，此時不論 hosts {*F*、*C*} 使用那個 channel 通訊，均會干擾其使用相同 channel 通訊的 neighbor，而迫使該 neighbor 重新 assignment 一個 channel 繼續通訊，故 hosts {*F*、*C*} 必須決定一個 weight 值最小的 channel 來通訊，以減少其因建立通訊而干擾正在通訊的 neighbor，在此例中每個 channel 的 weight 值均相同，爲了提高 channel reuse，故在這種情形時我們以 channel 編號越小其被優先使用的權限越高，因此 hosts {*F*、*C*} 會選擇 channel 1 來通訊。



(a)、Hosts *C* 無可使用的 channel。



(b)、Hosts *F*、*C* 未通訊前的情形。



(c)、Hosts F 、 C 通訊時的情形。

圖(十一)、Hosts F 、 C 的通訊情況。

| <i>Neighbor</i> | <i>Nchannel</i> | <i>NNchannel</i> | <i>Weight</i> |
|-----------------|-----------------|------------------|---------------|
| C | null | null | 0 |
| (G,B) | 1 | 2 | 2 |
| (D,A) | 2 | 1 | 2 |
| (E,H) | 2 | 3 | 2 |
| (L,K) | 3 | 2 | 2 |

(a)、Host F 、 C 交換 table 後， F table 中儲存的 information。

| <i>Neighbor</i> | <i>Nchannel</i> | <i>NNchannel</i> | <i>Weight</i> |
|-----------------|-----------------|------------------|---------------|
| F | null | null | 0 |
| (E,H) | 2 | 3 | 2 |
| (L,K) | 3 | 2 | 2 |
| (G,B) | 1 | 2 | 2 |
| (D,A) | 2 | 1 | 2 |

(b)、Host F 、 C 交換 table 後， C table 中儲存的 information。

圖(十二)、Hosts F 及 C 通訊時 table 記錄的情況。

Case 2 :

上面所提到的問題都是發生在 channel assignment 的情形時，因 channel 數不足為主要原因，而有執行 channel reassignment 的必要性。除此之外即便 channel 數夠充裕，兩 hosts 亦可能因移動性的因素而導致必須執行 channel reassignment 協定。在 Ad-Hoc 無線網路環境中每個 mobile host 都可以任意移動，因此，當兩對使用相同 channel 的 hosts，因移動性而漸漸接近彼此的通訊範圍時將發生干擾，當發生干擾時必須快速的找到另一個 channel 來通訊，然而，究竟該由那一對 hosts 執行 reassignment 協定以及應調整到那一個 channel 才不致使成本過高，將是本論文在這節要解決的問題。

圖(十三)(a)中橢圓形內表示 hosts $\{E、H\}$ 正在使用 channel 2 通訊，hosts E 及正以 $Com(L,K,2)$ 通訊的 host L 之間的虛線則表示 host E 因移動而漸漸接近 hosts $\{L、K\}$ 的通訊範圍，如圖(十三)(b)所示，此時，hosts $\{E、H\}$ 、 $\{L、K\}$ 將因使用相同的 channel 而產生干擾，故 hosts $\{E、H\}$ 、 $\{L、K\}$ 會立刻由各自的 table 中決定出一個 channel 來準備執行 channel reassignment protocol，並發出一個 Communication Interference Message(CIM) packet 給對方，其 packet 格式如下：

| | | |
|--------|--------------|--------|
| 自己的 ID | 欲使用的 channel | weight |
|--------|--------------|--------|

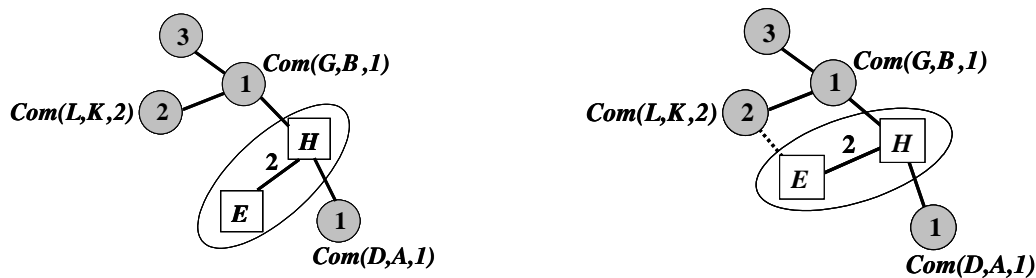
圖(十四)、Communication Interference Message(CIM)的格式。

當收到來自對方的 packet 後 hosts E 及 L 會將此 packet 內的值與自己決定要執行 channel reassignment protocol 的 channel 及 weight 值進行比較，決定該由誰執行 channel reassignment protocol，當 hosts E 及 L 經過上述「頻道重安排」協定後，則決定由 host E 進行 channel reassignment protocol，故最後整個 topology 的情形將如圖(十三)(c)所示。當 host E 執行 channel reassignment protocol 完畢後，會發出一個 CNM 給周圍的 neighbors，而 neighbors 收到 hosts $\{E、H\}$ 的 CNM 後，將收到的 CNM 存到自己的 table

中，如此即完成一次 channel reassignment protocol 的動作。本論文的「頻道重安排」協定能使正在通訊的 hosts 因故產生干擾時，能快速地決定另一個 channel 來繼續通訊，且所決定的 channel 對其他亦使用該 channel 通訊的 hosts 而言影響最小。

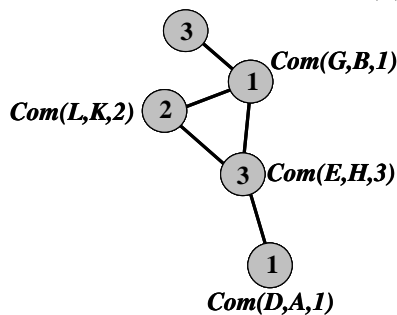
底下我們將詳細敘述「頻道重安排」的協定：

- 1、當 host 發現 neighbor 與自己產生干擾時，彼此將各自發出一個 *Communication Interference Message(CIM)*給產生干擾的 neighbor。
- 2、將收到來自與自己產生干擾的 neighbor 的 *CIM* 時，與自己 table 中 weight 值最小的 channel 進行比較。
 - (1)、若彼此欲使用的 channel 其 weight 值均為 0：
 - (i)、Channel 編號小的一方執行 channel reassignment。
 - (ii)、若欲使用的 channel 同一個，則以 host ID 編號較小的一方執行。
 - (2)、當欲執行 channel reassignment 的兩對 hosts，沒有 weight=0 的 channel 時，則此兩對 hosts 將依 Partial ordering (weight, channel_no)值進行比較，由較小值的 mobile host 執行 channel reassignment protocol。
- 3、當決定執行 channel reassignment protocol 的一方完成 channel reassignment 的動作後，發出一個 *CNM* 給周圍的 neighbor，將自己改變通訊 channel 訊息告知周圍的 neighbor。
- 4、當 neighbor 收到 *CNM* 的 packet 後，將依照上一節 neighbor 收到 *CNM* 的協定做處理，如此便完成一次 channel reassignment protocol。



(a) Hosts{E、H}未發生干擾時。

(b) Host E 因移動性而與 Com(L,K,2)產生干擾。



(c)、執行 channel reassignment protocol 後整個 topology 的情形。

圖(十三)、當 hosts 因移動性而產生干擾的情形。

六、實驗

在本節中我們將以實驗數據來衡量本論文所提出的「頻道安排及重安排」協定，其

對 channel reuse 的能力、channel reassignment 的成功率高以及 reassignment 時所花費的成本最大。

在模擬程式中，假設 Ad-Hoc 的大小為 1000*1000m² 中移動，mobile hosts 的數目分別設定為 50、200、400 以觀察 hosts 數多寡對 performance 的影響，每個 host 的移動速度從 10km/hr 到 100km/hr 之間，移動方向為 360° 任意方向移動，準備觀察不同的 mobile hosts 數對 channel reuse 的效能，channel reassignment 時成本的大小。

在本節中我們將以實驗數據來衡量本論文所提出的「頻道安排及重安排」協定，其對 channel reuse 的能力、channel reassignment 的成功率高以及 reassignment 時所花費的成本最大。

圖(十五)所示為本論文實驗的 topology，圖中的每個圓點表示一個 mobile host，圓點與圓點之間的線段表示彼此在 one-hop 距離內，圓點上的編號為該 host ID，圖(十五)(a)表示每個 hosts 尚未進入通訊，圖(b)則表示有五對正在通訊的 hosts，圖中每個正在通訊的 host 以紅色點表示，紅色線段則表示彼此之間正在通訊。我們以 hosts 2 及 19 來觀察其 weight 的變化情形，由圖(十五)(b)可看到 hosts {2、19} 的周圍有 hosts 8 及 15 正在通訊，且 hosts {8、15} 的周圍除了 hosts {2、19} 正在通訊外，尚有另一對 hosts 正在通訊，故 hosts {2、19} 的 table 中會記錄其鄰近正在通訊的 hosts 使用 channel 的情形，結果將如圖(十五)(c)所示。由圖(十五)(d)可看到 hosts {1、13}、{4、5} 及 {3、8} 正在通訊，我們以 hosts {4、5} 來看，由於此三對 hosts 形成 cycle，故 hosts {4、5} 的 weight 記錄將如圖(十五)(e)所示。



(a)、所有的 hosts 都尚未進行通訊。



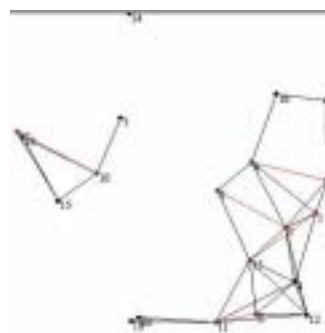
(b)、Hosts 2、19 及其他 hosts 建立通訊後的情形。

```

myid=2
neighborcount=8
communication_list=19
communication_channel=2
Neighbor=4 use channel=0 Neighbor's channel=0 weight=0
Neighbor=9 use channel=0 Neighbor's channel=0 weight=0
Neighbor=12 use channel=0 Neighbor's channel=8 weight=0
Neighbor=15 use channel=1 Neighbor's channel=2 weight=2
Neighbor=19 use channel=2 Neighbor's channel=2 weight=2
Neighbor=20 use channel=0 Neighbor's channel=8 weight=0

myid=15
neighborcount=6
communication_list=2
communication_channel=2
Neighbor=2 use channel=2 Neighbor's channel=1 weight=2
Neighbor=9 use channel=0 Neighbor's channel=0 weight=0
Neighbor=12 use channel=0 Neighbor's channel=8 weight=0
Neighbor=4 use channel=0 Neighbor's channel=0 weight=0
Neighbor=19 use channel=1 Neighbor's channel=2 weight=2
Neighbor=20 use channel=0 Neighbor's channel=8 weight=0
    
```

(c)、Hosts 2 與 19 建立通訊後其 table 中記錄的情形。



(d)、Hosts 4、5 建立通訊後與其他 hosts 形成 cycle 的情形。


```

cycle=4
neighborcount=5
communication host = 7
communication channel = 3
Neighbor = 1 use channel=1 Neighbor's channel=2 weight=5
Neighbor = 3 use channel=2 Neighbor's channel=1 weight=7
Neighbor = 5 use channel=3 Neighbor's channel=2 weight=3
Neighbor = 0 use channel=2 Neighbor's channel=1 weight=3
Neighbor = 4 use channel=3 Neighbor's channel=0 weight=0
Neighbor = 2 use channel=0 Neighbor's channel=0 weight=0

cycle=5
neighborcount=5
communication host = 7
communication channel = 2
Neighbor = 1 use channel=1 Neighbor's channel=2 weight=3
Neighbor = 2 use channel=0 Neighbor's channel=0 weight=0
Neighbor = 3 use channel=2 Neighbor's channel=1 weight=3
Neighbor = 4 use channel=3 Neighbor's channel=1 weight=3
Neighbor = 5 use channel=2 Neighbor's channel=2 weight=3
Neighbor = 0 use channel=0 Neighbor's channel=1 weight=3
Neighbor = 6 use channel=0 Neighbor's channel=0 weight=0
    
```

(e)、Hosts 4、5 table 記錄 cycle 的情形。

圖(十五)、Channel assignment 協定的部份實驗結果。

七、結論

Ad-Hoc 無線網路環境是中，每個欲通訊的 host 必須佔用一個 channel，由於 channel 數有限，為了服務更多的使用者，提高 channel reuse 的機會，將可解決此一問題，然而每個 host 均可任意移動，當正在通訊的 host 移動到使用相同 channel 的通訊範圍時，會干擾正在通訊的 host，這時必須對產生干擾的 hosts 執行 channel reassignment 的協定，受到干擾的 hosts 始能再繼續通訊而不致斷訊。

本論文提出一種動態「頻道安排及重安排」協定，來決定通訊的 channel，透過 weight 的計算及協定的運作，即可選擇一個成本最小的 channel 來通訊，本論文的做法具有下列的優點：

- 1、減少維護成本。
- 2、減少 channel reassignment 時的成本。
- 3、提高 channel 的重複使用率。

我們將以實驗結果來驗證本論文所提的協定，對於 channel reuse 及 hosts 因移動而產生干擾的問題，並在低成本的考量下 channel reassignment 的效能。

參考文獻

- [1] J. C. Chuang and N. R. Sollenberger, "Performance of Autonomous Dynamic Channel Assignment and Power Control for TDMA/FDMA wireless Access," *IEEE JSAC*, vol. 12, no. 8, Oct. 1994.
- [2] F. Cail, M. Conti, and E. Gregori. "IEEE 802.11 wireless LAN: Capacity Analysis and Protocol Enhancement." *In Proceedings of IEEE INFOCOM '98*.
- [3] K. Chen. "Medium Access Control of Wireless LANs for Mobile Computing." *IEEE Network*, 8(5):50-63, Sept. 1994.
- [4] F. A. Tobagi and L. Kleinrock. Packet Switching in Radio Channels: Part II – The Hidden Terminal Problem in Carrier Sense Multiple-Access and the Busy-Tone Solution. *IEEE Transactions on*

Communications, COM-23(12):1417-1433, Dec. 1975.

- [5] W. Chen, N. Jain, and S. Singh "ANMP: Ad Hoc Network Management Protocol." *IEEE Journal On Selected Areas In Communications*, vol. 17, No. 8 Aug. 1999.
- [6] Chenxi Zhu and M. Scott Corson. An Evolutionary TDMA Scheduling Protocol (E-TDMA) for Mobile Ad Hoc Networks. Technical Report TR 98-32, Institute for Systems Research, University of Maryland, March 1998.
- [7] C. R. Lin and J.-S. Liu "QoS Routing in Ad Hoc Wireless Networks." *IEEE Journal on Selected Areas In Communication*, vol. 17 no.8 Aug. 1999
- [8] Wang-Chien Lee and Qinglong Hu & Dik Lun Lee "Channel Allocation Methods for Data Dissemination in Mobile Computing Environments," *Proceedings of the 6th International Symposium on High Performance Distributed Computing (HPDC '97)*, pp. 274-281, Aug. 1997
- [9] Young-Bae Ko, Vinaychandra Shankarkumar, and Nitin H. Vaidya " Medium Access Control Protocols Using Directional Antennas in Ad Hoc Network," *In IEEE INFOCOM 2000*.
- [10] Z. Tang and J.J. Garcia Luna Aceves. "Hop-Reservation Multiple Access (HRMA) for Multichannel Packet Radio Networks." *In Proc. IEEE IC3N '98, Oct. 1998*.
- [11] Ying-Kwei Ho and Ru-Sheng Liu "On-Demand QoS-Based Routing Protocol for Ad Hoc Mobile Wireless Network." *The Fifth IEEE symposium on Computers and communication ISCIIC' 2000*
- [12] Shigang Chen and Klara Nahrstedt, "Distributed Quality-of-Service Routing in Ad Hoc Networks," *IEEE Journal on Selected Areas In Communications*, pp. 1488-1505 vol.17, no. 8, Aug. 1999
- [13] Guohong Cao and Mukesh Singhal "Distributed Dynamic Fault-Tolerant Channel Allocation for Mobile Computing." *Telecommunication Networks ,97*
- [14] Xuming Fang, Changqian Zhu, and Pingzhi Fan, " Greedy-Based Dynamic Channel Assignment Strategy for Cellular Mobile Networks." *IEEE Communication Letters*, Vol .4, No. 7, July 2000.
- [15] Shih-Lin Wu, Yu-Chee Tseng, and Jang-Ping Sheu, "Intelligent Medium Access for Mobile Ad Hoc Networks with Busy Tones and Power Control." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 18,No.9,September 2000.