



IEEE 802.11 網路動態負載平衡方法

王成屏

大同股份有限公司

wangsa@tatung.com

摘要

本論文提出一個可應用IEEE 802.11 無線網路之二階層式的負載平衡方法。為了達到動態負載平衡(Dynamic Load Balancing)的狀態，當某一基地台(Access Point)發生負載過重時會主動通知其周圍相鄰(第二層)區域的基地台，此時第二層區域的基地台會從拓樸(Topology)位置關係表中檢視各個工作站(Work Station)相關的流量輸出(Throughput)及訊號強度(Received Signal Strength Indicator)等資訊，從中挑選出位於第一層、第二層涵蓋範圍中且較適合的工作站，並重新計算負載平衡指數(Load Balance Index) β ，回報給原負載過重的基地台。原負載過重的基地台從所有回報之負載平衡指數 β 中，選出較適合的負載平衡指數 β 。依據新的負載平衡指數 β ，將這些相鄰工作站，從原負載過重的基地台換手(Handoff)至負載較輕的相鄰基地台，來達到網路動態負載平衡的目的。模擬結果顯示我們的方法比無負載平衡的環境下，負載平衡指數 β 值可以提高 3.97%至 13.3%，而流量輸出更可提高 12.41%至 34.2%。模擬結果顯示我們所提出的方法能顯著地提升整體網路的運作效率。

關鍵詞：動態負載平衡(Dynamic Load Balancing)、負載平衡指數(Load Balance Index)、換手(Handoff)

一、簡介

近年來由於 IEEE 802.11 無線區域網路(Wireless Local Area Networks) [7]的建置費用下降及可以提供較高的頻寬，而且目前政府正大力推動無線寬頻網路示範應用計畫[14]，使得各地區建置無線區域網路的數量正快速成長中。在有建置無線區域網路環境中，使用者的筆記型電腦、個人數位助理(Personal Digital Assistant)、雙網手機等裝置可以透過無線基地台(Access Point, AP)很方便地連接至網際網路(Internet)而不必侷限於有線網路的限制。

當新的無線工作站(Work Station, WS)欲加入無線區域網路時，需搜尋周遭是否有基地台可供存取。搜尋過程中，工作站可得知各基地台在未來連線時可提供訊號強度(Received Signal Strength In-

紀光輝

國立雲林科技大學

chikh@yuntech.edu.tw

dicator, RSSI)的強弱，然後選擇與其中一台訊號強度最強的基地台建立連線。但依訊號強度作為主要的參數，可能會造成多數工作站集中使用少數基地台的現象。

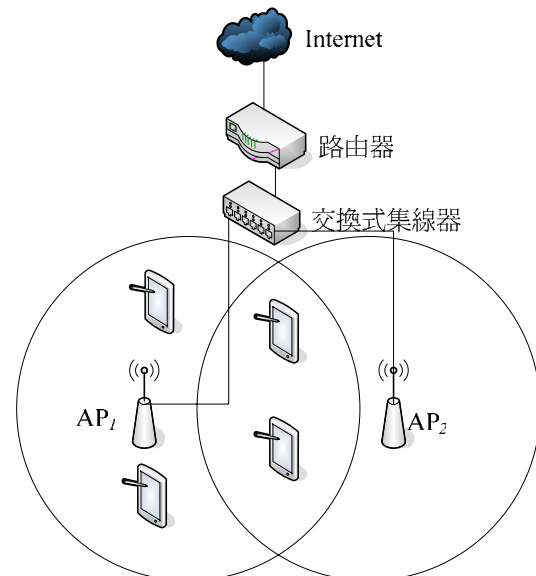


圖 1：AP 間負載不平衡

舉例來說，圖 1 呈現基地台負擔不平衡的情形。此圖中有四台工作站與基地台AP₁連線，而相鄰基地台AP₂卻無任何一台工作站與其連線。基地台間負載不平衡的狀況一旦發生，將使得整個無線區域網路效能下降，其主要原因是所有的工作站集中在競爭同一台基地台AP₁有限的頻寬，同時使得工作站間訊號碰撞(Collision)機會增加[4][3][1]。依照IEEE 802.11 無線區域網路規範中規定，如果訊號間發生碰撞時必須重複傳送原先的訊框(frame)，使得AP₁無法進行有效的資訊傳輸，造成無線區域網路資源的浪費。同時相鄰基地台AP₂的頻寬也閒置未被利用，造成頻寬資源浪費。

在上述無線區域網路環境下，若以增加基地台的方法來改善及提升頻寬資源的利用，實際成效恐相當有限，因為工作站還是選擇訊號強度最強的基地台連線。在一個無線區域網路負載平衡的環境下，其整體效率及流量輸出(Throughput)可大幅提升，對工作站而言也可獲得較適合的服務品質。因

此研究無線區域網路環境的負載平衡方法為一重要的議題。

二、背景知識

2.1. 工作站與基地台連接程序

當工作站欲加入無線區域網路時會經過掃描(Scanning)、加入(Joining)、身份認證(Authentication)、連接(Association)等程序，整個過程，如下列所述：

掃描可分為被動掃描(Passive Scanning)與主動掃描(Active Scanning)二種。在被動掃描工作站中，工作站會聆聽每一個頻帶中 Beacon 訊框的到來，並將所有收到的任何訊框都暫存起來，以便從這些訊框中選出要加入的基地台。在主動掃描中，工作站扮演比較積極的角色，主動試圖尋找基地台，在每個頻道上，工作站都會發出 Probe Response 訊框，請求某個特定基地台予以回應。由於掃描後會得到多個 Beacon 或 Probe Response 訊框的資訊，工作站會選擇加入訊號強度最強的基地台(相同 BSSID 或 ESSID)。

加入是工作站會選擇加入訊號強度最強的基地台，為建立連接的前置作業。不過此時還不能進行網路存取，在進行網路存取之前，必須經過身份認證後才能形成連接。

身份認證的方法有開放系統(Open System)及共享金鑰(Shared Key)兩種方法，此二種方法的驗證流程並不相同而身份認證的方法必須被設定於每一個工作站，這些設定值必須與基地台的設定值相符。共享金鑰驗證必須使用有線等級隱私(Wire Equivalent Privacy, WEP)，加密使用的 Key 必須在基地台端與工作站端都相同。

一旦完成身份驗證後，工作站就可以跟基地台進行連接(或跟新的基地台重新連接)，以便完全存取網路。

2.2. 相關方法研究

負載平衡控制的方法可分為二類[12][8]：集中式方法、分散式方法。集中式方法最主要的好處是無需修改工作站及基地台的設定，但是需一台主機作為資訊收集及儲存的中心，且使用所收集到的資訊做出負載平衡之決策，以達到系統的負載平衡狀態。其主要缺點是當此主機失效時，會造成整個負載平衡系統無法操作。

分散式方法是由各基地台負起資訊收集，及負載平衡決策的執行責任。其優點為當其中一台基地台失效時，仍可繼續執行負載平衡系統。此外其建置容易，且無需另外多建置一台主機。其缺點為各基地台需要週期性地傳送相關參數資訊，容易造成網路骨幹上資訊流量負載的增加，及必須對基地台及工作站的韌體(Firmware)加以修改。

除了以集中式方法、分散式方法區分外。我們還可以分為：以工作站為主體之決策計算方法、以基地台為主體之決策計算方法。以工作站為主體之

決策方法下，又可分成工作站在加入網路時如何選出適合的基地台[13][11]，及工作站加入網路後，當網路環境改變時如何選出適合換手的基地台[13]。以基地台為主體之決策方法其主要考量於網路環境改變時如何選出適合的工作站，並將選出的工作站換手至負載較輕的基地台[10][5][6]。

大多數文獻所提出的負載平衡方法，只考慮選出某工作站並將其換手至相鄰的基地台，用此方法來減輕目前基地台的流量輸入，並無考慮到當工作站換手到相鄰基地台時，可能造成相鄰基地台負載的影響，及工作站換手後是否可得到較好的服務。我們為了解決上述問題，提出二層式負載平衡方法；當基地台發生負載過重時，我們考慮到對於相鄰基地台流量的影響，及工作站換手至相鄰基地台後，亦可得到適合的流量做為主要考量。

2.3. 系統模擬環境架構

我們考慮 IEEE 802.11 無線區域網路的有基礎(infrastructure)架構。在如會議室、辦公室等環境下的工作站，均假設固定不移動。且所有工作站以主動掃描方法搜尋附近的基地台並尋求連線。所模擬的環境(如圖 2 所示)：以中央的基地台為中心，劃分為三個環狀區域：第一層區域、第二層區域、最外層區域。

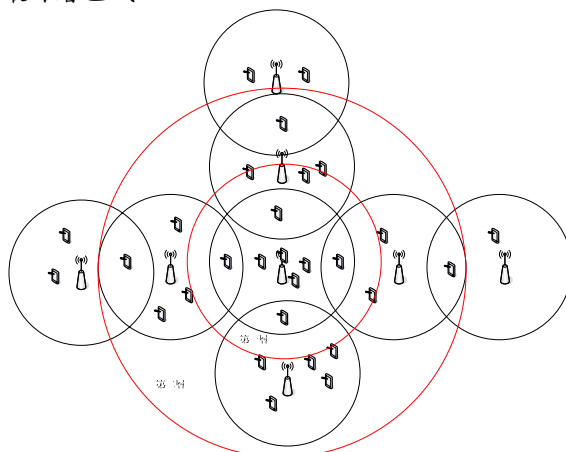


圖 2：模擬環境架構

以圖 2 為例，第一層區域的外圍共有四個基地台與中心的基地台相互重疊，在這重疊處的工作站都是第一層區域內的候選工作站。在第一層區域外圍是第二層區域，第二層區域與最外層區域相互重疊處，形成了第二層區域的候選工作站。從第一層區域的中央基地台經過第二層區域到達最外層區域，我們稱為一路。

我們的方法可分成三大部份，分別是：基地台負載測量、選出較適合一路的工作站、工作站換手處理。我們將在下一節說明整個過程。

三、二層式負載平衡方法

進行二層式負載平衡方法前，須修正負載平衡指數 β [2]。因原負載平衡指數 β 只考慮到各基地台最高的流量輸出一樣時的情況，無法滿足現今情

況(各基地台最高的流量輸出不一樣)。平衡指數的原始定義為：

$$\beta = \frac{(\sum B_i)^2}{n \times \sum B_i^2} \quad (1)$$

其中， B_i 為各基地台的流量輸出， n 是所有基地台的總數量。

當 β 越接近1時，表示網路的負載越平衡。當 β 越接近 $\frac{1}{n}$ 時，表示網路的負載越不平衡。為了能

充分地反應各基地台的處理能力，我們令

$$B_i' = \frac{B_i}{b_i}, \quad (2)$$

其中， B_i 仍指基地台 i 的流量輸出，而 b_i 則代表基地台 i 的最高的流量輸出。

我們提議以 B_i' 取代原 B_i ，並代入公式(1)得 β' 。運用新的負載平衡指數 β' 就可以解決不同傳輸能力混合建置的環境下，所產生的負載平衡假象問題。以下所有負載平衡指數都以 β' 表示之。

3.1. 基地台拓樸位置關係表的建立

在進行選出較適合一路候選工作站的程序時，首先我們先在各基地台上建立拓樸位置關係表(如表1所示)。

拓樸位置關係表中的各欄位說明如下：

WS 欄位：為各工作站的 MAC 位址。

WS 需求流量欄位：為工作站的需求流量。

AP 欄位：為各基地台的 MAC 位址。

AP 流量欄位：為各基地台的流量輸出。

訊號強度欄位：為基地台的訊號強度。

活動 WS 個數欄位：為在一個基地台服務範圍內，有在活動的工作站總數。

狀態欄位：狀態欄位為1時，表示基地台正處理另一路的負載平衡程序中。狀態欄位為0時，表示目前可以接受處理負載平衡的程序。

表1：拓樸位置關係表

WS	WS 需求流量	AP	AP 流量	訊號強度	活動 WS 個數	狀態
WS1	3	AP1	11	-84 dBm	8	1
WS1	0	AP2	8	-86 dBm	3	1
WS2	2	AP2	8	-84 dBm	3	1
WS2	0	AP3	5	-85 dBm	1	0

透過如圖3所示之程序，便可以在各基地台上建立完整的拓樸位置關係表。

3.2. 基地台負載測量

我們是以負載平衡指數 β' 作為檢視整個無線區域網路的負載是否平衡之參考。我們將分成四個步驟完成基地台負載測量的程序：

(a)我們以各基地台的流量輸出達到其最大流量輸

出的特定百分比(記為 k ，例如可令 $k=90\%$)。 k 作為一個門檻值，用以決定是否啟動負載平衡機制。首先各基地台週期性地自我檢視資料流量是否超過其最大流量輸出的 k 。如果是，則進行(b)的程序，並將狀態設定為1。

(b)基地台依其拓樸(Topology)位置關係表中的基地台 MAC 位址，使用群播(Multicast)方法對第二層區域的基地台廣播，其內容包括自己目前的活動工作站數量。完成後便進行(c)的程序。

(c)當第二層區域的基地台收到群播後並檢查自己的狀態設定是否為1。如為1時則進行(d)的程序。如為0時，接著依照3.2節所說明的程序進行，由第二層區域的基地台進行選出較適合一路的候選工作站。

(d)狀態設定為1時，則不對發送群播的基地台作出回應，並等待完成本身這一次的負載平衡程序處理後，再將狀態設定為0並回到(a)的程序。

3.3. 選出較適合一路的工作站

選出較適合一路工作站的程序，其主要是選出第一層區域及第二層區域的較適合候選工作站。共分成以下三個程序完成:(我們以下標 i 代表第一層區域的參數、以下標 j 代表第二層區域的參數)

(e)相鄰基地台先將狀態設定為1，並接下來進行選出第一層區域的候選工作站。

$$L = \frac{\sum B_i}{n} \quad (3)$$

L ：基地台之間的平均流量輸出。

$$\Delta_i = B_i - L \quad (4)$$

Δ_i ：第一層區域內，候選工作站的理想流量輸出。

為了擴大第一層區域候選工作站的數量，我們需再選出較為接近 Δ_i 理想流量的候選工作站群。其公式如下

$$C_i = \{S_j \mid \Delta_i - \Delta_i \omega \leq S_j \leq \Delta_i + \Delta_i \omega, 0 < \omega \leq 1\} \quad (5)$$

C_i ：第一層區域內，符合流量輸出的候選工作站群。

S_j ：第一層區域內的候選工作站之流量輸出。

ω ：為誤差參數，用來擴大第一層區域候選工作站的範圍。

我們可藉由調整 ω 值，來增減候選工作站的數量。當 ω 數值越接近1時，可增加第一層候選工作站的數量。當 ω 數值越接近0時，會減少第一層候選工作站的數量。

我們選出第一層區域內的候選工作站群之後，則需再預估其換手後可得的流量輸出。工作站換手後的最大流量輸出與基地台之間的訊號強度成正比關係另與其活動工作站數量成反比關係[9]。我們以線性函數的斜率公式來簡化工作站在換手後的流量輸出的預估。其公式如下

AP₁拓樸位置關係表

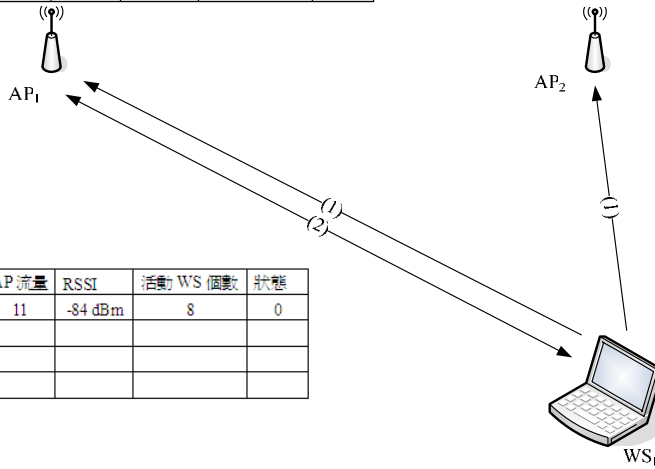
WS	WS 需求流量	AP	AP 流量	RSSI	活動 WS 個數	狀態
WS1	0	AP1	11	-84 dBm	7	0

AP₂拓樸位置關係表

WS	WS 需求流量	AP	AP 流量	RSSI	活動 WS 個數	狀態
WS1	0	AP2	8	-86 dBm	3	0
WS2	2	AP2	8	-84 dBm	3	1
WS2	0	AP3	5	-85 dBm	1	0

AP₁拓樸位置關係表

WS	WS 需求流量	AP	AP 流量	RSSI	活動 WS 個數	狀態
WS1	3	AP1	11	-84 dBm	8	0



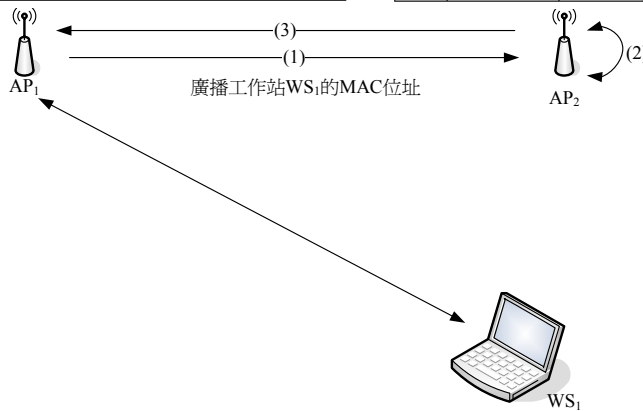
(a) 工作站WS₁以主動掃描方法加入無線區域網路系統，附近的基地台AP₁及基地台AP₂會被搜尋到，各基地台記錄下工作站WS₁的MAC位址及RSSI值於拓樸位置關係表中(1)。工作站WS₁最後選擇與基地台AP₁(訊號強度最好)建立連線後，基地台AP₁開始計算工作站WS₁的需求流量及將活動的工作站總數加1，記錄於基地台AP₁拓樸位置關係表中(2)。

AP₁拓樸位置關係表

WS	WS 需求流量	AP	AP 流量	RSSI	活動 WS 個數	狀態
WS1	3	AP1	11	-84 dBm	8	1
WS1	0	AP2	8	-86 dBm	3	1

AP₂拓樸位置關係表

WS	WS 需求流量	AP	AP 流量	RSSI	活動 WS 個數	狀態
WS1	3	AP1	11	-84 dBm	8	1
WS1	0	AP2	8	-86 dBm	3	1
WS2	2	AP2	8	-84 dBm	3	1
WS2	0	AP3	5	-85 dBm	1	0



(b) 工作站WS₁與基地台AP₁(訊號強度最好)建立連線後，基地台AP₁會主動將該新連線的工作站WS₁的MAC位址，以廣播方式通知同網域中其他的基地台(1)。曾經被工作站輪詢過且未建立連線的基地台AP₂收到廣播後，先核對是否為先前輪詢過的工作站WS₁，如果是則將基地台AP₁的資料記錄在自己的拓樸位置關係表中(2)。基地台AP₂並用群播方式將自己的MAC位址及資料通知基地台AP₁，基地台AP₁並記錄在自己的拓樸位置關係表中(3)。

圖 3：拓樸位置關係表建立範例

$$C'_i = \frac{I_i(2007 - number_i)}{2006} \quad (6)$$

C'_i ：第一層區域候選工作站換手後，預估可得到的流量輸出。

I_i ：第一層區域的候選工作站換手後，可得到的最大流量輸出。

$number_i$ ：第二層區域基地台的活動工作站總數。

從第一層區域候選工作站群 C'_i 中，選出得到流量輸出最大的工作站，並令 $WS_l = C'_i$ 。 WS_l 成為第一層區域較適合的工作站。接著進行(f)的程序。

(f) 選出第二層較適合候選工作站。

$$\Delta_j = (B_j' + WS_1) - L \quad (7)$$

Δ_j : 第二層區域內, 候選工作站的理想流量輸出。

B_j' : 第二層區域基地台的流量輸出。

WS_1 : 第一層區域所選出的工作站之流量輸出。

如果 $\Delta_j \leq 0$ 就表示第二層區域基地台的流量輸出未達到負載過重現象, 所以不需要再選出第二層區域較適合候選工作站, 接著執行(g)的程序。

如果 $\Delta_j > 0$ 就表示需要選出第二層區域較適合候選工作站。

$$C_j = \{S_j \mid \Delta_i - \Delta_i\omega \leq S_j \leq \Delta_i + \Delta_i\omega, 0 < \omega \leq 1\} \quad (8)$$

C_j : 第二層區域內, 符合流量輸出的候選工作站群。

S_j : 第二層區域內的候選工作站之流量輸出。

ω : 為誤差參數, 用來擴大第二層區域候選工作站的範圍。

我們選出第二層區域內的候選工作站群之後, 需再預估工作站可得到的流量輸出值為

$$C_j' = \frac{I_j(2007 - \text{number}_j)}{2006} \quad (9)$$

C_j' : 第二層區域候選工作站換手後, 預估可得到的流量輸出。

I_j : 第二層區域的候選工作站換手後, 可得到的最大流量輸出。

number_j : 最外層區域基地台的活動工作站總數。

從第二層區域候選工作站 C_j' 中, 選出得到流量輸出最大的工作站, 並令 $WS_2 = C_j'$ 。 WS_2 成為第二層區域較適合的工作站, 當完成(f)後便進行(g)的程序。

(g)當完成上的程序後, 第二層區域的基地台重新計算負載平衡指數 β 並準備回報給第一層區域的基地台, 內容包括第一層區域較適合的工作站 WS_1 。接著執行 3.4 節的工作站換手處理程序。

3.4. 工作站換手處理

我們以圖 4 說明整個工作站換手處理的過程。

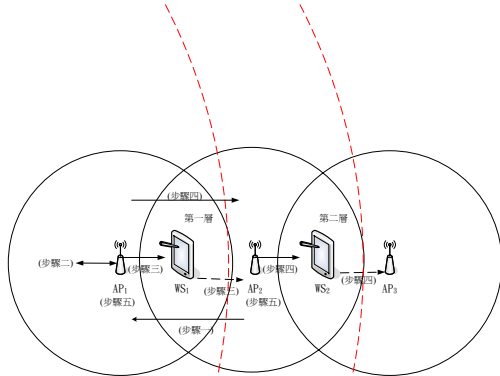


圖 4: 工作站換手處理過程

步驟一: 第二層區域的基地台將負載平衡指數 β' 及包括第一層區域較適合工作站 WS_1 等資訊傳送給第一層區域基地台。

步驟二: 第一層區域基地台經過工作站換手時間二倍以上的等待後。從所有回報的負載平衡指數 β' 群中, 選擇出較適合的 β' (接近 1 值)。

步驟三: 第一層區域基地台選擇出較適合的 β' 後, 並通知第二層區域的基地台, 同時對第一層區域所選出的工作站 WS_1 下達解除連接指令。

步驟四: 第一層區域基地台通知第二層區域的基地台, 第二層區域的的基地台接獲通知後, 亦立即同時對第二層區域較適合工作站 WS_2 下達解除連接指令。第一層區域基地台等待二倍的換手處理時間後, 不論是否有回報換手成功, 均進行步驟五的程序。

步驟五: 第一層區域基地台及第二層區域基地台將狀態設定為 0 後, 又重新繼續檢查流量輸出是否超過其最大流量輸出的 k 。

四、模擬測試結果

我們所模擬的環境(如圖 2 所示), 以中央的基地台為中心, 第一層區域的域共有四個候選工作站, 在第二層區域共有三個候選工作站。另為擴大區域候選工作站的範圍將誤差參數 ω 設為 0.9。

我們以 MATLAB 為模擬工具作測試, 其連續模擬測試負載平衡指數 β 結果顯示(如圖 5 所示)。

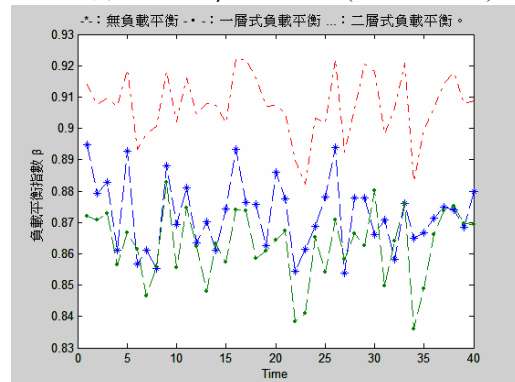


圖 5: 連續模擬測試的負載平衡指數 β 比較圖

圖 5 顯示: 二層式負載平衡方法比無負載平衡方法其負載平衡指數 β 值平均可以提高 3.97% 至 13.3%, 另比一層式負載平衡方法其的負載平衡指數 β 值平均可以提高 5.15%, 表示二層式負載平衡方法比其他二種方法, 更可使負載平衡指數 β 值接近 1。而一層式負載平衡方法與無負載平衡方法比較: 一層式負載平衡方法的負載平衡指數 β 值大部份時間較差, 但有時又比無負載平衡方法較好。

接著我們以整個無線網路系統的流量輸出作為比較(如圖 6 所示)。

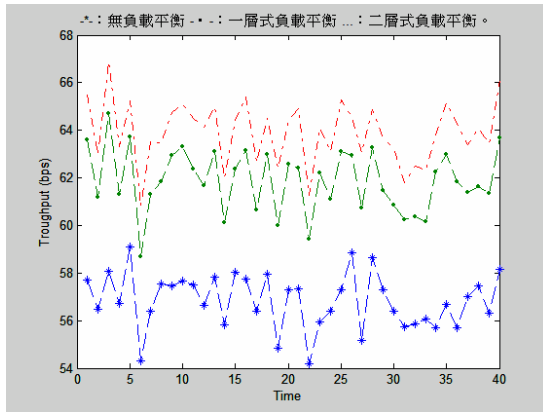


圖 6：連續模擬測試的流量輸出比較圖

圖 6 顯示，二層式負載平衡方法的流量輸出，比一層式負載平衡方法其整體的流量輸出值平均可以提高 3.26%，另比無負載平衡方法其整體的流量輸出值更可提高 12.41%至 34.2%，二層式負載平衡方法比其他二種方法明顯地提高整體的流量輸出。而一層式負載平衡方法，其整體的流量輸出比無負載平衡方法為高，但比二層式負載平衡方法的流量輸出為少。

五、結論

我們以有基礎架構的無線區域網路為主要模擬架構，及在無需修改 IEEE 802.11 規範的要求下。我們提出二層式負載平衡方法，其主要特點是由第二層區域的基地台分別計算負載平衡指數 β' ，並回報第一層區域的負載過重基地台。負載過重之基地台從所有回報的負載平衡指數 β' 中，選出較適合的一路工作站。並讓這一路的工作站同時換手，且可以確定換手後得到較適合的服務，以達到區域的負載平衡並由各區域的負載平衡推展至整個系統的負載平衡。如此整個系統不但可以得到較好的負載平衡指數 β' (可以提高 3.97%至 13.3%)，和有效提升整個無線區域網路的流量輸出(可以提高 12.41%至 34.2%)，及換手後工作站的流量輸出增加，並可使負載平衡狀態可以維持較久時間及減少資源耗費。

參考文獻

[1] A. Balachandran, G. M. Voelker, P. Bahl, and P. V. Rangan, "Characterizing User Behavior and Network Performance in a Public Wireless LAN," In *Proc. ACM SIGMETRICS'02*, Marina Del Rey, June, 2002.

[2] D. Chiu and R. Jain, "Analysis of the Increase and Decrease Algorithms for Congestion Avoidance in Computer Networks," *Journal of Computer Networks and ISDN Systems*, 17(1):1—14, June 1989.

[3] D. Kotz and K. Essien, "Analysis of a Campus-wide Wireless Network," In *Proc. 8th Annual International Conf. Mobile Computing and Net-*

working, pp. 107–118, September, 2002.

[4] D. Tang and M. Baker, "Analysis of a Metropolitan-Area Wireless Network," In *Proc. ACM Mobicom 1999*, pp. 12–23, August, 1999.

[5] H. B. Kim and A. Wolisz, "Load Balancing for Centralized Wireless Networks," In *Proc. 16th Annual IEEE International Symp. Personal Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC 2005)*, Berlin, Germany, September 2005

[6] H. Velayos, V. Aleo, and G. Karlsson, "Load Balancing in Overlapping Wireless LAN Cells," *IEEE International Conf. Commun.*, June 2004, pp. 3833--3836.

[7] IEEE Standard 802.11, September, 1999.

[8] J. Ghanem, "Implementation of Load Balancing Policies in Distributed Systems," Master Thesis, Electrical and Computer Engineering Department, The University of New Mexico, USA, June 2004.

[9] M. Heusse, F. Rousseau, G. Berger-Sabbatel, and A. Duda, "Performance Anomaly of 802.11b" In *Proc. of IEEE INFOCOM'03*, April 2003.

[10] O. Brickley, S. Rea, and D. Pesch "Load Balancing for QoS Optimisation in Wireless LANs Utilising Advanced Cell Breathing Techniques," *IFIP Mobile and Wireless Commun. Networks Conf. (MWCN)*, Marrakech, 2005.

[11] S. Vasudevan, K. Papagiannaki, C. Diot, J. Kurose, and D. Towsley, "Facilitating Access Point Selection in IEEE 802.11 Wireless Networks," In *Proc. ACM SIGCOMM/USENIX Internet Measurement Conf. (IMC)*, Berkeley, CA, October 2005.

[12] V. Aleo, "Load distribution in IEEE 802.11 cells," Master of Science Thesis, KTH, Royal Institute of Technology, Sweden, March 2003.

[13] Y. Fukuda, T. Abe, and Y. OIE, "Decentralized Access Point for Wireless LANs," In *Proc. WTS 2004*, SA3, May 2004.

[14] <http://www.pwlan.org.tw/>, October 2005.