

國立交通大學

資訊學院 資訊學程

碩士論文

研究無線區域網路基地台的傳輸效能

Study of Transmission Performance of WLAN AP



研究生：邱鈺真

指導教授：林一平 教授

王清源 先生

中華民國壹百年四月

研究無線區域網路基地台的傳輸效能

Study of Transmission Performance of WLAN AP

研究生：邱鈺真

Student：Yi-Chen Chiu

指導教授：林一平

Advisor：Yi-Bing Lin

王清源

Cing-Yuan Wang

國立交通大學
資訊學院 資訊學程
碩士論文



Submitted to College of Computer Science

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Computer Science

June 2011

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國壹百年四月

研究無線區域網路基地台的傳輸效能

學生：邱鈺真

指導教授：林一平 教授
王清源 先生

國立交通大學 資訊學院 資訊學程碩士班

摘 要

無線分佈系統(WDS)又稱為無線橋接。在本論文敘述一個結合 (Bond) 多埠 (ports) 的軟體架構，名為"EWPMP 結合 (EBond) 模組"，使每個基地台 (AP)，為充分利用其可用的所有 port，增加無線連結的吞吐量，減少與有線相連的瓶頸。乃探討 EBond 模組提供結合 (Bond) 多個 port 到單個的虛擬 port 的方法，俾解決橋接迴圈 (bridge-looping) 與埠歧義 (port-ambiguity) 的問題。並且提供兩種結合模式 (Bonding mode)，可以選擇，並控制虛擬 port 傳輸封包的行為。

但是，無線連結品質可能受損而嚴重影響通信。我們提供一個 port 狀態的監控系統 (status monitoring scheme)，支援多個無線 port，並且可以支援通信模式的切換。監控系統 (status monitoring scheme) 直接從無線網路卡驅動程式模組 (Radio NIC Driver Module) 獲得大量無線傳輸的資訊，包含信號強度及傳輸錯誤 (transmitted error)。監控系統藉由此資訊得以決定 port 狀態。本論文針對 EBond 模組兩種傳輸模式實作吞吐量的測試，且在整體 EWPMP 的吞吐量可擴大達到 1.9 倍近似 2 倍的效果。

關鍵字: WDS、MAC Bridge、AP、Forwarding Process、Learning Process 以及 Relay

Study of Transmission Performance of WLAN AP

student : Yi-Chen Chiu

Advisor : Yi-Bing Lin

Cing-Yuan Wang

Degree Program of Computer Science

National Chiao Tung University

ABSTRACT



Wireless Distribution System (WDS) also known as a wireless point to point bridge. In this paper we describe the software architecture of a bond of multi-port , called "EWPMP bonded (EBond) module". Ebond module bonds multiple ports into one virtual port. Our implementation provides two bonding modes that can be selected by the user to bond radio ports and control the packet transmission behavior of the virtual port.

However, the wireless link quality may be damaged and serious impact on traffic. We implemented a port status monitoring scheme to detect status of port failures and pipe packets to another port. The throughput is investigated in two Ebond modes . Performance resulted from software Ebond modules is the expectation of approximation double.

Keywords: WDS, MAC Bridge, AP, Forwarding Process, Learning Process and Relay

誌 謝

首先，我要誠摯地感謝指導教授林一平教授與王清源先生，在我撰寫本篇論文的期間，給予相當多的指導，也進行相當多的討論。由於二位先生提供寶貴意見與指正，使本篇論文得以順利圓滿完成。在林教授嚴格殷切的要求與再三修正潤飾之下，讓我學習到論文寫作的嚴謹與做學問研究的方法；在王先生的指導協助中，讓我獲得許多專業知識與實作技巧，在此謹再申謝意。

其次，要感謝皇甫建君學長和廖家麟同學，二位在寫作上都給予相當多的建議與協助。同時也要感謝 117 實驗室所有的同學與學弟妹，在我進修研究所期間給予鼓勵與成長的動力。



最後，更要感謝最親愛的雙親及家人，在我求學生涯中給予全力支持與體諒，默默的在背後支持我，給予莫大的信心與動力，讓我一路走來格外順利和成功。謹以此論文，獻給我最摯愛的家人

目 錄

中文摘要	.....	i
英文摘要	.....	ii
誌謝	.....	iii
目錄	.....	iv
圖目錄	.....	v
表目錄	.....	vi
第一章	簡介.....	1
1.1	無線分散系統 WDS.....	2
第二章	無線點-對多點 (WPMP) 橋接模式	7
2.1	WPMP.....	7
2.2	強化無線點-對多點橋接模式(EWPMP).....	14
2.3	結合模式 (Bonding modes)	19
2.4	狀態監控 (Status Monitoring).....	22
第三章	性能研究.....	25
第四章	結論.....	35
參考文獻	.....	36

圖 目 錄

圖 1-1	無線分佈系統 (WDS).....	4
圖 1-2	無線點對點 (WPP).....	5
圖 1-3	加強的無線點-對多點 (EWPMP)	6
圖 2-1	Normal Case 的訊息流.....	9
圖 2-2	Two Issues 的訊息流	12
圖 2-3	WPMP vs EWPMP	15
圖 2-4	Bonding case 的訊息流.....	17
圖 2-5	EWPMP 結合模式 (Bonding modes).....	20
圖 2-6	Bonding mode 處理程式碼	20
圖 2-7	EMII 處理程式碼	22
圖 3-1	EWPMP 測試環境.....	26
圖 3-2	AP1 的使用者介面	27
圖 3-3	AP2 的使用者介面	27
圖 3-4	比較 Uni-direction 模式和 Bi-direction 模式 的(802.11a、802.11g) / (super a、super g)	34
圖 3-5	比較 Uni-direction 模式和 Bi-direction 模式 的 (802.11a、802.11a) / (super a、super a)	34

表 目 錄

表 3-1	硬體和軟體設備.....	25
表 3-2	Channel A36-A60 (802.11a、802.11g) 的吞吐量 (Mbps)	30
表 3-3	Channel A100-A132 (802.11a、802.11g) 的吞吐量 (Mbps)	30
表 3-4	Channel SA36-SA60 (super a、super g) 的吞吐量 (Mbps)	31
表 3-5	Channel SA100-SA132 (super a、super g) 的吞吐量 (Mbps)	31
表 3-6	單方向模式 (Uni-direction mode) (802.11a、802.11a) 的吞吐量 (Mbps)	32
表 3-7	雙方向模式 (Bi-direction mode) (802.11a、802.11a) 的吞吐量 (Mbps)	32
表 3-8	單方向模式 (Uni-direction mode) (super a、super a) 的吞吐量 (Mbps)	33
表 3-9	雙方向模式 (Bi-direction mode) (super a、super a) 的吞吐量 (Mbps)	33

第一章

簡介

隨著資訊科技發展的突飛猛進，一日千里，但在“無線”逐漸被大部分家庭所普及應用的今天，仍然有許多地方、許多情況是無線基地台（AP）覆蓋範圍無法達到而使資訊需求難以獲得滿足。例如在場地開闊與不便於鋪設乙太網線（Ethernet）的大型開放式辦公區域，以及同處一個社區，如想將電腦加以連接，實現網路與娛樂共用，此時無線基地台（AP）的覆蓋範圍就顯得捉襟見肘了，即使勉予覆蓋，其信號也不過只能差強人意。針對此項問題，本論文乃研究探討使用無線分散系統 WDS（Wireless Distribution System），即無線橋接（Bridge）模式來加以改善。凡具備 WDS 功能的無線基地台就能以無線網路相互連接的方式構成一個整體的無線網路，藉此延伸無線信號。本論文研究的無線基地台（AP）具有無線分散系統（WDS），可讓基地台與基地台間得以溝通。簡言之，就是利用兩個（或以上）無線寬頻基地台（AP）透過相互連接的方式，將無線信號向更深遠的範圍延伸。如此，即可連接距離較遠的有線網路和擴展無線網路的範圍，並使有線網路的資料，透過無線網路當中繼架構來傳送，藉此可將網路資料傳送到另外一個無線網路或有線網路。

在實際應用中，基地台 (AP) 的無線分散系統 (WDS) 架構，可實現無線點對點 (WPP)、無線點-對多點 (WPMP) 的網路傳輸，有效的解決樓層間、樓與樓間的穿透問題。本論文旨在說明無線分散系統 (WDS) 環境下關於有線連結與無線連結 (radio link) 吞吐量的差異，透過修改無線點-對多點 (WPMP) 的軟體方式，使無線連接 (Radio Link) 的吞吐量大幅度增大。

1.1 無線分散系統 WDS

無線分散系統 (WDS) [1] 或無線橋接，係利用無線區域網路基地台 (WLAN APs) 將獨立的區域網路 (LAN) 加以連接，以利用網路資訊傳輸。如圖 1-1 說明了三個獨立的區域網路 (即 LAN1、LAN2 和 LAN3 (如圖 1-1 ①、② 和 ③))，分別透過基地台 1 (AP1)、基地台 2 (AP2) 和基地台 3 (AP3) (如圖 1-1 ④、⑤ 和 ⑥) 相連。這些基地台彼此溝通橋接三個區域網路 (LANs)，透過無線分散系統，工作站 2 (STA2) (圖 1-1 ⑧) 可將資料發送到工作站 3 (STA3) (圖 1-1 ⑨)，其通過路徑為 STA2→AP2→AP1→AP3→STA3。

依工作站 2 (STA2) 的觀點，基地台 2 (AP2) 是主要 (main) AP 透過區域網路 (LAN2) 連接到工作站 2 (STA2); 基地台 3 (AP3) 是遠端 (remote) AP 間接連接到工作站 2 (STA2)，透過工作站 2 (STA2) 的主要 (main) 基地台 (AP2); 基地台 1 (AP1) 是中繼轉播 (relay) AP，橋接 (bridge) 基地台 2 (AP2) 和基地台 3 (AP3)。這些基地台 (APs) 傳輸 MAC 封包，而不是 IP 封包。因此，只有在無線分散系統 (WDS) 中不需要使用 IP 位址分配。無線分散系統 (WDS) 的基地台 (APs) 可以在以下兩種模式進行通信。

在無線點對點 (WPP) 橋接模式 [2] 中，無線連結 (radio link) 必須配置 (configure) 使用同一無線通道 (radio channel)，並設置加密 (encryption) 方法和加密金鑰 (keys)。在圖 1-1，基地台 2 (AP2) 無線點對點 (WPP) 模式中透過溝通 (communicate) 於基地台 1 (AP1)；同樣地基地台 3 (AP3) 也以相同模式溝通 (communicate) 於基地台 1 (AP1)。

在無線點-對多點 (WPMP) 橋接器模式下，一個基地台有兩個無線連結 (radio link)，允許分別設置 (configure) 不同通道的 (channel) 加密 (encryption) 方法和加密金鑰 (keys)。如圖 1-1，基地台 1 (AP1) 透過無線點-對多點 (WPMP) 模式中同時溝通 (communicate) 基地台 2 (AP2) 和基地台 3 (AP3)。若要支援無線點-對多點 (WPMP) 橋接模式，需使用媒體存取控制橋接 (MAC Bridge) [3] 之功能，它用於觀察每個埠 (port) 上接收到封包的來源 (source) MAC 位址，並搭配過濾資料庫 (filtering database) 中有條件的更新接收埠 (port) (receiving port) 的狀態 (state)，這些功能被使用來避免不必要的封包，傳送到錯誤的埠 (port) 以達到多埠橋接的模式。

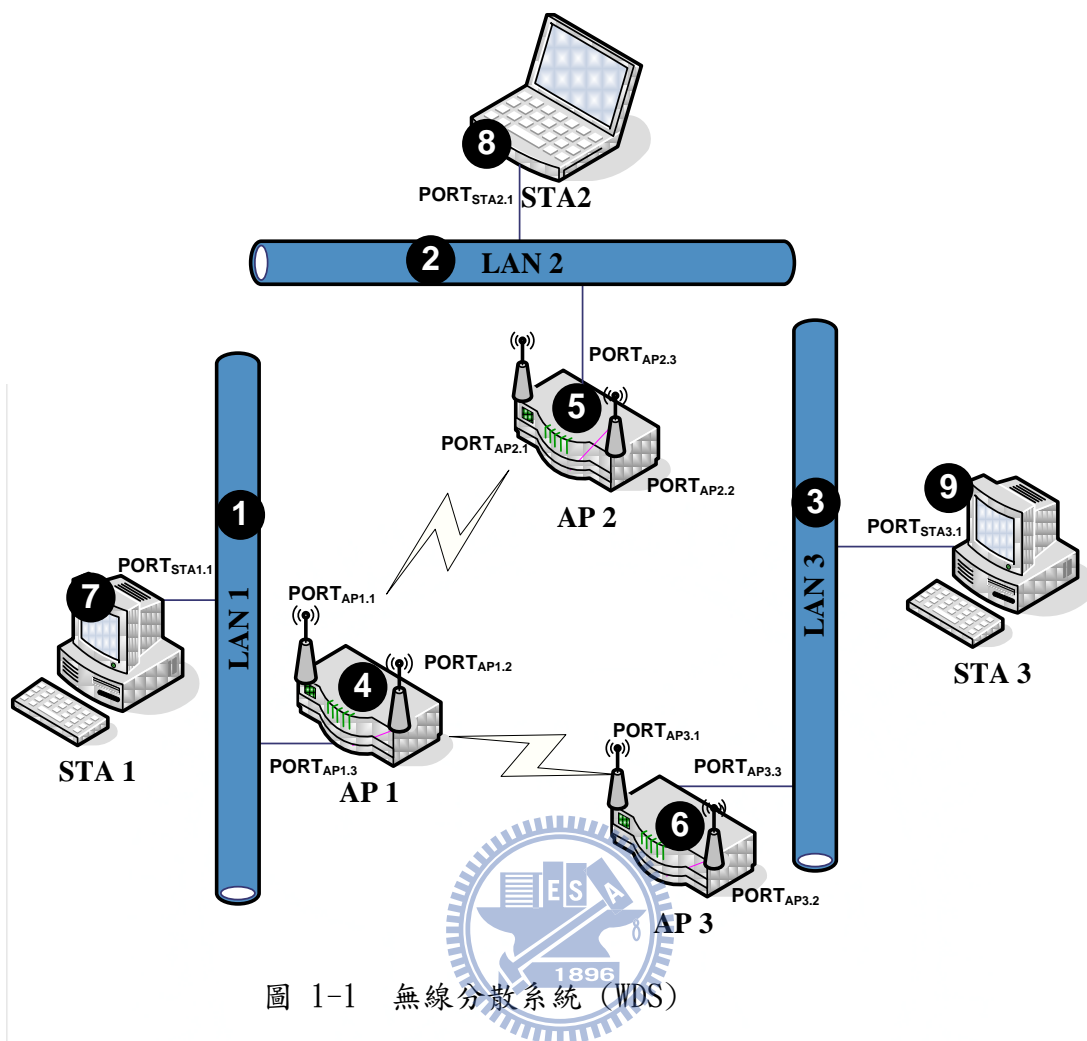


圖 1-1 無線分散系統 (WDS)

如圖 1-2，基地台 1 (AP1) 和基地台 2 (AP2) 兩者都在無線點對點 (WPP) 模式中，由工作站 1 (STA1) 透過 STA1→AP1→AP2→STA2 路徑將資料發送到工作站 2 (STA2)。在這種配置 (configuration) 下，乙太網路 (Ethernet) 下路徑 STA1→AP1 和 AP2→STA2 的吞吐量大約 70 ~ 80 Mbps。由 AP1→AP2 的吞吐量大約 18 ~ 22 Mbps。在這種情況下，對於無線點對點 (WPP) 傳輸無線連結 (radio link) 將造成資料傳輸的瓶頸 (bottleneck)。為解決此一問題，則可用無線點對多點 (WPMP) 橋接模式與兩個基地台的無線連結 (radio links) 加以連接，以增加無線頻寬，如圖 1-3 所示。

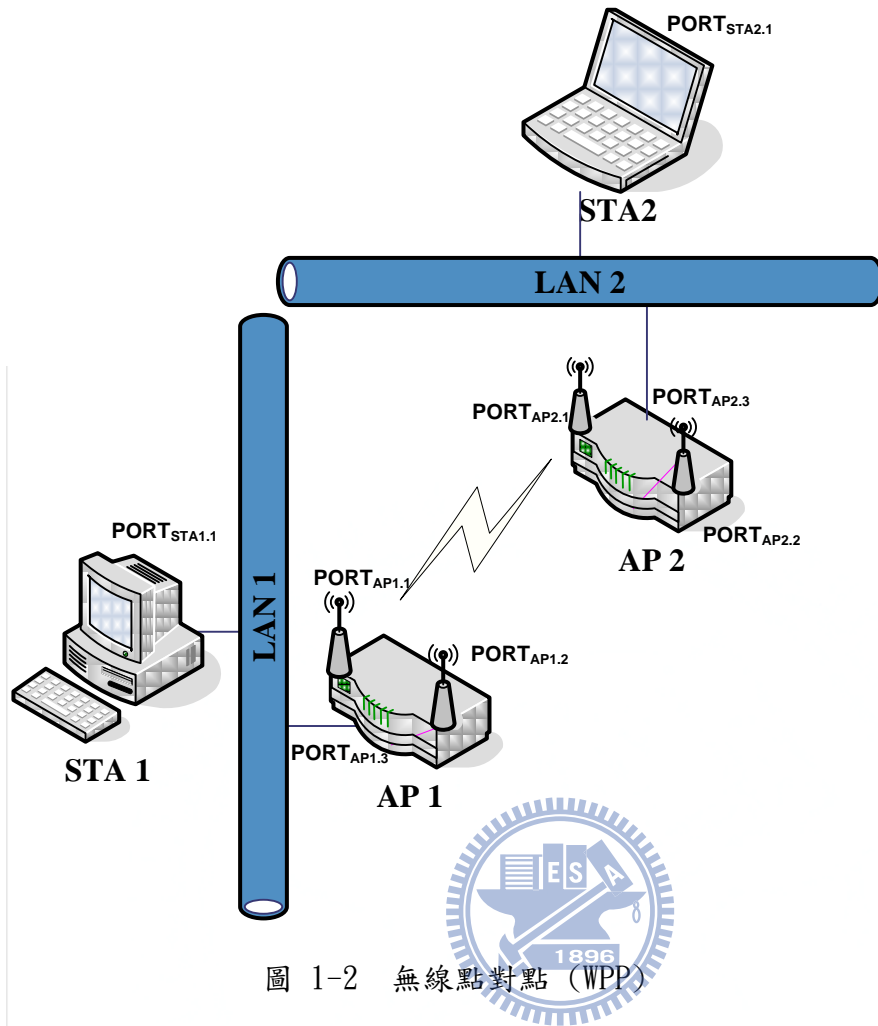


圖 1-2 無線點對點 (WPP)

在圖 1-3 所配置 (configuration) 的基地台 1 (AP1) (圖 1-3 ①) 和基地台 2 (AP2) (圖 1-3 ②) 皆有三個埠 (port)：一個 LAN 埠 (port) (即 PORT_{AP1.3} / PORT_{AP2.3}) 和兩個無線埠 (port) (即 PORT_{AP1.1} / PORT_{AP2.1} 和 PORT_{AP1.2} / PORT_{AP2.2})。LAN 埠 (port) 連接到工作站 (即, STA1 / STA2)。在無線分散系統 (WDS) 允許配置 (configure) 基地台 1 (AP1) 和基地台 2 (AP2)，將可透過無線連結 (radio links) 手動 (manually) 設置無線埠 (radio ports)。

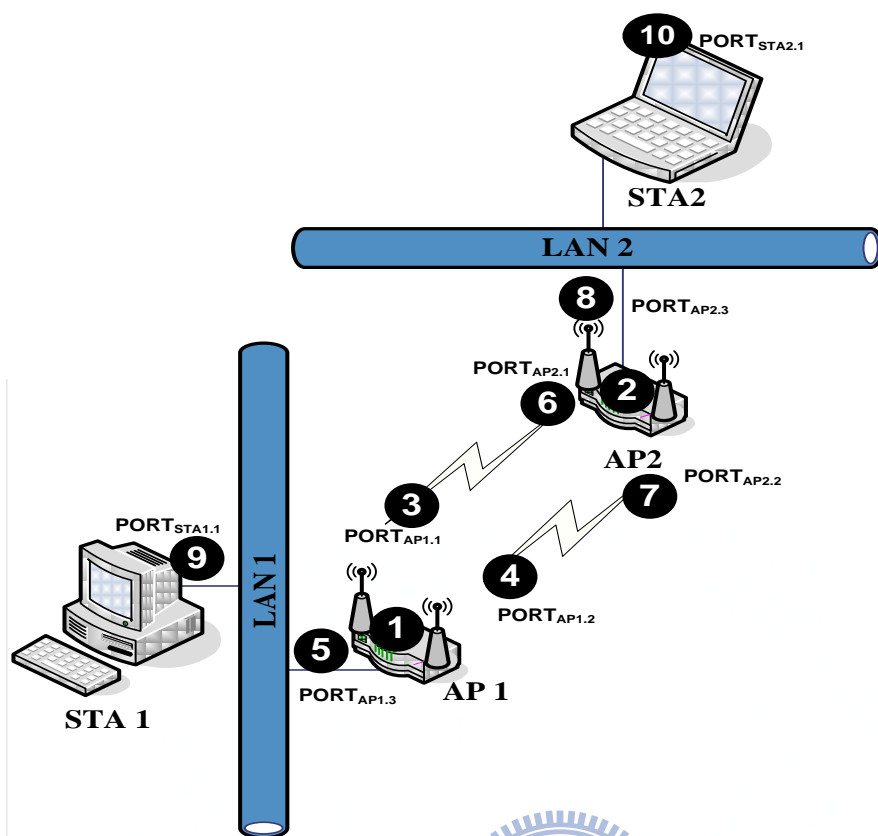


圖 1-3 強化 (Enhanced) 無線點-對多點 (EWPMP)

具體而言，配置 (configure) 無線 $PORT_{AP1.1}$ (圖 1-3 ③) 連接到 $PORT_{AP2.1}$ (圖 1-3 ⑥) 和 $PORT_{AP1.2}$ (圖 1-3 ④) 連接到 $PORT_{AP2.2}$ (圖 1-3 ⑦) 用來執行無線點-對多點 (WPMP) 橋接器模式。不過，此種配置 (configure) 將發生兩項問題：即橋接迴圈 (bridge-looping) 與埠歧義 (port-ambiguity)。本篇論文乃針對此種問題，加以探討設計一種新的無線點-對多點 (WPMP) 方法，稱為強化 (Enhanced) 無線點-對多點 (EWPMP) 模式，以資解決。

本篇論文組織架構，如下所示。第 2 章描述無線點-對多點 (WPMP) 中橋接迴圈 (bridge-looping) 與埠歧義 (port-ambiguity) 兩個問題，並說明如何使用強化 (Enhanced) 無線點-對多點 (EWPMP) 模式，以資解決。第 3 章進行性能研究，第 4 章最後依據實作測試結果並做綜合結論。

第二章

無線點-對多點 (WPMP) 橋接模式

本系統的實作重心旨在增加軟體模組，用以解決無線點-對多點 (WPMP) 無線連結 (radio link) 所產生的瓶頸。因此本章第一節先描述無線點-對多點 (WPMP) 橋接模式的正常廣播封包收送的過程；第二節說明使用圖 1-3 的配置 (configure) 後，所衍生的二個問題，並且透過強化 (Enhanced) 無線點-對多點 (EWPMP) 模式來解決問題；第三節敘述強化 (Enhanced) 無線點-對多點 (EWPMP) 系統中兩種模式；第四節為討論無線連結 (radio link) 狀態的監測系統及其如何增強 EWPMP 系統的容錯能力。

2.1 無線點-對多點 (WPMP)

如圖 1-1，AP (即 AP1) 使用 MAC Bridge 方式在無線點-對多點 (WPMP) 模式連接兩個無線埠 (port) 和一個乙太網路埠 (port)。AP 的內部使用 MAC Bridge 中繼轉播 (relay) 使用者資料封包從一個埠 (port) 到另一個。每個 AP 在無線點-對多點 (WPMP) 模式或無線點對點 (WPP) 模式下維護一個過濾資料庫 (filtering database)，指定封包的路由 (routing)。過濾資料庫 (filtering database) 保存的 entry 格式為 [MAC、port]。假設一個封包 A 從一

個來源位址 (source address) 為 MAC1 抵達到 AP 的埠 (port) 為 PORT₁，然後 AP 就會建立 [MAC₁、PORT₁] 的 entry。之後，如果 AP 收到了封包 B，封包內的目的地 destination MAC 位址 MAC₁，AP 使用此 entry 路由 (route) 封包 B 到 PORT₁。上述 MAC 橋接的操作如下：

- ◎發送程序 (forwarding process)：將發送 (forward) 收到的封包基於過濾資料庫 (filtering database) 對映 (mapping) 到埠 (port) 透過中繼轉播 (relay) 到其他橋接 (bridge) 埠 (port)。
- ◎學習程序 (learning process)：觀察每個埠 (port) 上接收框架裡來源 (source) MAC 位址並在過濾資料庫 (filtering database) 中建立路由 (routing) entries。

考慮圖 1-1，AP 配置 (configure) 為 STA1 連接到 AP1、STA2 連接到 AP2，和 STA3 連接到 AP3。無線點-對多點 (WPMP) 模式中有兩個無線連結 (radio links)：一個 link 為 AP2 和 AP1，另一個為 AP3 和 AP1 之間的連結。建立傳輸路徑從 STA1 到 STA2 並在無線點-對多點 (WPMP) 模式 (即在 AP1、AP2，和 AP3 的過濾資料庫 (filtering database) 中建立路由 (routing) entries)，執行以下過程(圖 2-1)：

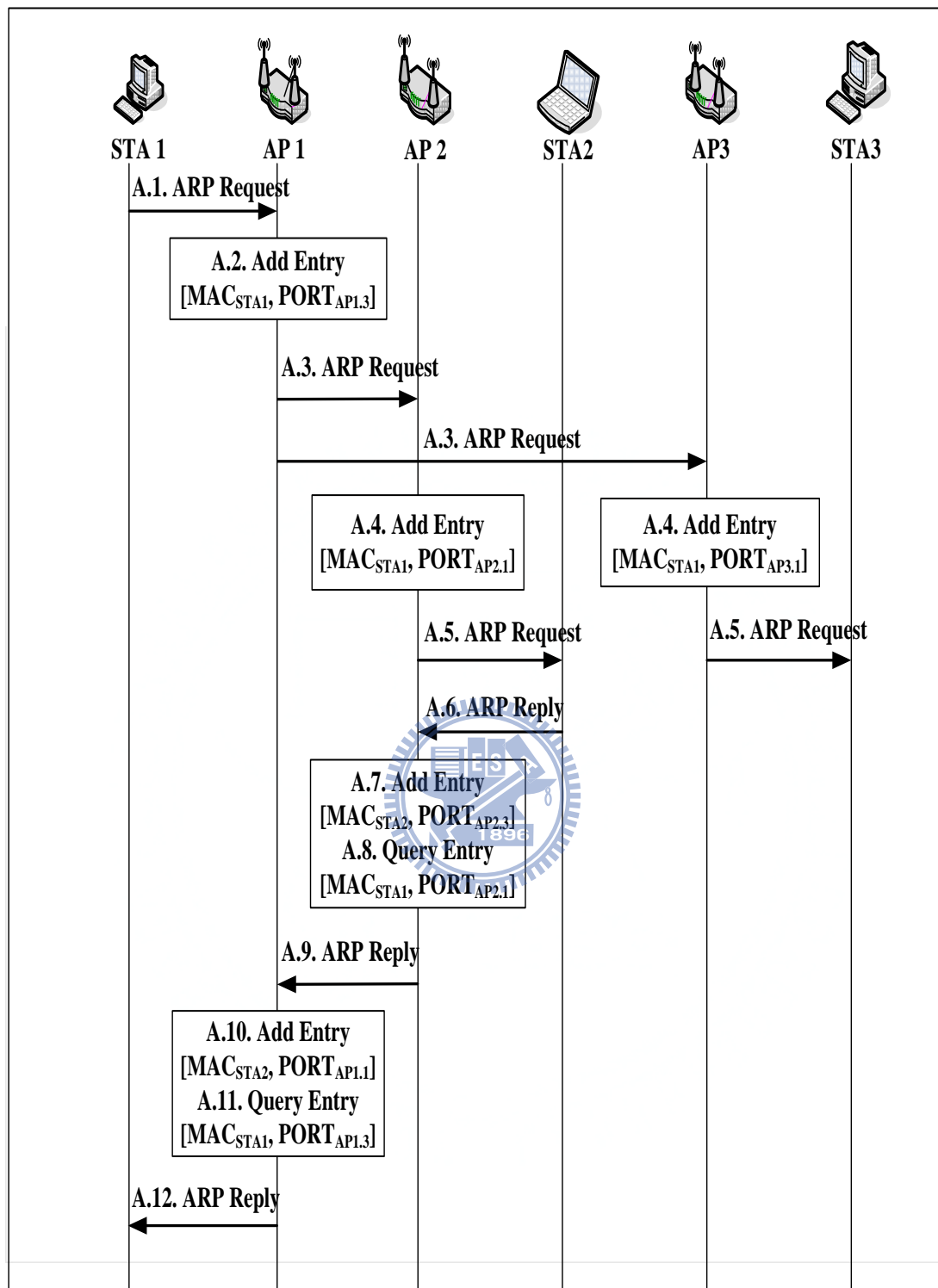


圖 2-1 Normal Case 的訊息流

步驟 A.1 : STA1 透過廣播 (broadcast) 方式，使用 位址解析通訊協定 (ARP)

[4] 請求訊息(request message) 去查詢 (query) STA2 的 MAC 位址。

步驟 A.2 : 當 AP1 通過 $PORT_{AP1.3}$ 且收到此 ARP request，AP1 的學習程序 (learning process) 將 entry $[MAC_{STA1}, PORT_{AP1.3}]$ 加入過濾資料庫 (filtering database) 中。

步驟 A.3 : AP1 的發送程序 (forwarding process) 中繼轉播 (relay) ARP request 到其他埠 (port) (即, $PORT_{AP1.1}$ 和 $PORT_{AP1.2}$)。

步驟 A.4 : AP2 和 AP3 的學習程序 (learning process) 分別增加 entry $[MAC_{STA1}, PORT_{AP2.1}]$ 和 $[MAC_{STA1}, PORT_{AP3.1}]$ 在過濾資料庫 (filtering database) 中。

步驟 A.5 : AP2 和 AP3 分別廣播 (broadcast) ARP request 到 STA2 和 STA3。

因為連接的目的地為 STA2，STA2 回應 (response) ARP reply。此步驟之後 STA3 不會採取任何行動。



步驟 A.6 : STA2 回應 (response) 一個 ARP replay 到 AP2。因為目的地 (destination) MAC 位址為 MAC_{STA1} ，基於過濾資料庫 (filtering database) 中的路由 (routing) entry，封包被發送到 $PORT_{STA2.1}$ 。

步驟 A.7 和 步驟 A.8 : 當 AP2 收到 ARP replay 時，它將添加一個 filtering entry 為 $[MAC_{STA2}, PORT_{AP2.3}]$ 和 AP2 的發送程序 (forwarding process) 使用目的地 (destination) MAC 位址 MAC_{STA1} 檢索 (retrieve) 來源埠 (port) 為 $PORT_{AP2.1}$ 。

步驟 A.9 : AP2 透過 $PORT_{AP2.1}$ 發送 (forwarding) AP1 的 ARP reply。

步驟 A.10 和步驟 A.11：當 AP1 收到 ARP reply 時，它將增加一個 filtering entry 為 $[MAC_{STA2}, PORT_{AP1.1}]$ 和 AP1 發送程序 (forwarding process) 透過使用目的地 MAC 位址 MAC_{STA1} 檢索 (retrieve) 來源埠 (port) 為 $POET_{AP1.3}$ 。

步驟 A.12：AP1 將發送 ARP replay 到 STA1。

上述流程只有 AP1 配置 (configure) 在無線點-對多點 (WPMP) 橋接模式下。AP2 和 AP3 配置 (configure) 在點對點 (WPP) 橋接模式下，正常運作傳輸過程如圖 2-1 所示。如果這兩個 APs 傳輸配置 (configure) 在無線點-對多點 (WPMP) 橋接模式下 (見圖 1-3)，其流程將無法正常運作。這種失敗的情況如圖 2-2 所示。



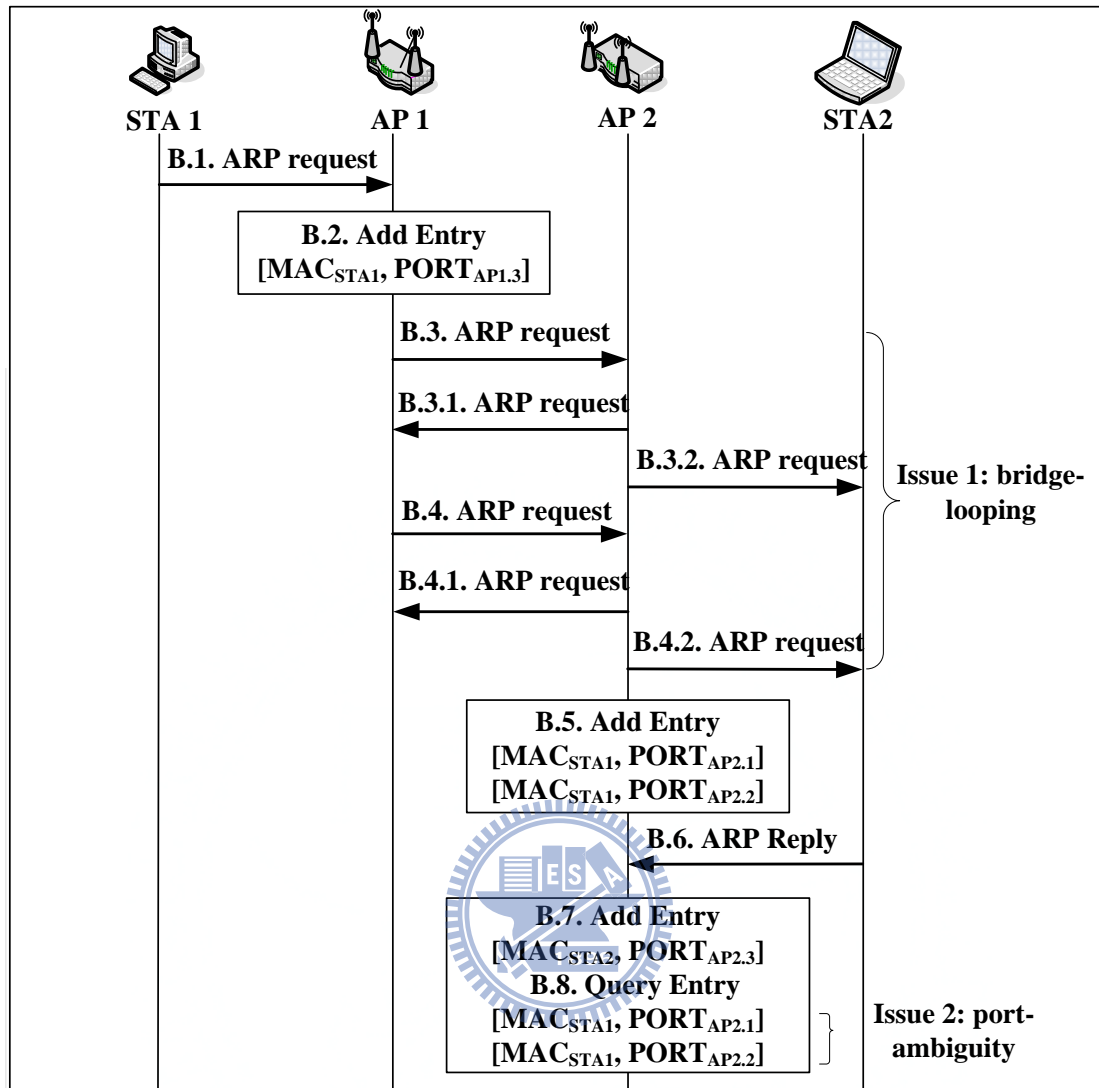


圖 2-2 Two Issues 的訊息流

步驟 B.1 : STA1 廣播 (broadcast) ARP request。

步驟 B.2 : 當 AP1 收到此 ARP request 時，它會增加一個 entry $[\text{MAC}_{\text{STA1}}, \text{PORT}_{\text{AP1.3}}]$ 到過濾資料庫 (filtering database) 中。

步驟 B.3 和步驟 B.4 : AP1 廣播 (broadcast) ARP request，分別到 $\text{PORT}_{\text{AP1.1}}$ 和 $\text{PORT}_{\text{AP1.2}}$ 。由於 $\text{PORT}_{\text{AP1.1}}$ 連接到 $\text{PORT}_{\text{AP2.1}}$ 和 $\text{PORT}_{\text{AP1.2}}$ 連接到 $\text{PORT}_{\text{AP2.2}}$ ，所有廣播 ARP 訊息會被傳遞到 AP2。

步驟 B. 3. 1 和步驟 B. 3. 2 : AP2 從 $PORT_{AP2.1}$, 接收此 ARP request , 並且中繼轉播 (relay) ARP request 到 $PORT_{AP2.2}$ 和 $PORT_{AP2.3}$ 。由於 $PORT_{AP2.2}$ 連接到 $PORT_{AP1.2}$ 和 $PORT_{AP2.3}$ 連接到 $PORT_{STA2.1}$, 廣播的 ARP request 分別被傳送到 AP1 和 STA2 。

步驟 B. 4. 1 和步驟 B. 4. 2 : 當 AP2 從 $PORT_{AP2.2}$ 收到此 ARP request 時 , 如步驟 B. 3. 1 和 B. 3. 2 一樣 , ARP 請求被廣播到 AP1 和 STA2 。因此 , ARP request 會一直迴圈 (looping) 的被傳送 , 這種情況稱為橋接迴圈 (bridge-looping) 。

步驟 B. 5 : 當 AP2 從 $PORT_{AP2.1}$ 和 $PORT_{AP2.2}$ 接收此 ARP request 時 , 其學習程序 (learning process) 將增加兩個 entry [MAC_{STA1} 、 $PORT_{AP2.1}$] 和 [MAC_{STA1} 、 $PORT_{AP2.2}$] 到過濾資料庫 (filtering database) 中。此時 MAC_{STA1} 將對映 (mapping) 到這兩個埠 (ports) 。

步驟 B. 6 : STA2 透過 $PORT_{STA2.1}$ 回應 (response) ARP reply 到 STA1 。

步驟 B. 7 和步驟 B. 8 : 當 AP2 收到 ARP reply 時 , 它將增加一個 filtering entry 為 [MAC_{STA2} 、 $PORT_{AP2.3}$] 。當 AP2 的發送程序 (forwarding process) 查詢它的過濾資料庫 (filtering database) 使用目的地 MAC 位址為 MAC_{STA1} 來檢索埠 (port) , 將會檢索到兩個路由 (routing) entry 的埠 (port) , 並且依據在步驟 B. 5 建立過濾資料庫 (filtering database) 的 entry 來做發送 (forward) 。在這種情況下 AP2 不知道要從那一個埠 (port) 來向 STA1 發送消息。這種情況稱為埠歧義 (port-ambiguity) 。

如上述圖 1-3 所示 , 由於將兩個 AP 配置 (configure) 在無線點-對多點的 (WPMP) 模式 , 將導致橋接迴圈 (bridge-looping) 與埠歧義 (port-ambiguity) 的問題。為處理此項問題 , 將在下一節中研討提出結合 (bond) 兩個埠 (ports) 成為一個虛擬埠 (port) 的解決方案。

2.2 強化 (Enhanced) 無線點-對多點橋接模式 (EWPMP)

Kim 和 Ko 係用最小 hop-count metric 來解決迴圈問題 [5]。其方法之缺點係設定 hop-count 還沒抵達時會有多餘 (redundant) 的封包將迴圈 (loop) 在網路中，必須消耗 (consume) 額外的無線連結頻寬。我們的方法係在封包實際傳輸之前，即可檢測到迴圈 (looping) 問題。因此，不需要設置 hop-count metric 來解決橋接迴圈 (bridge-looping) 問題。具體而言，EWPMP 係結合 (bond) 兩個無線埠 (port) 成為一個虛擬埠 (port)，可使兩個台 APs 不會相互發送多餘封包給對方。

EWPMP 結合 (EBond) 模組是類似乙太網路的結合 (bonding) 模組，用於有線網路環境 [6]，圖 2-3(b) 中顯示實作軟體為 EBond 模組，介於資料連結層 (即 MAC) 和實體層 (即網路介面卡 (NIC)) 之間。若要支援 EBond，MAC Bridge 將修改連接虛擬埠 (port)，並更換兩個無線埠 (port) (即圖 2-3 中的 PORT₁ 和 PORT₂)。虛擬埠 (port) 有其自己的 MAC 位址，並可以通過命令 "ifconfig" 配置 (configure)。圖 2-3(b)，在虛擬埠 (port) bond0 使用第一個無線埠 (port) (即 MAC₁) 的 MAC 位址，作為它的 MAC 位址，和 PORT₂ 的 MAC 位址更改為 MAC₁。

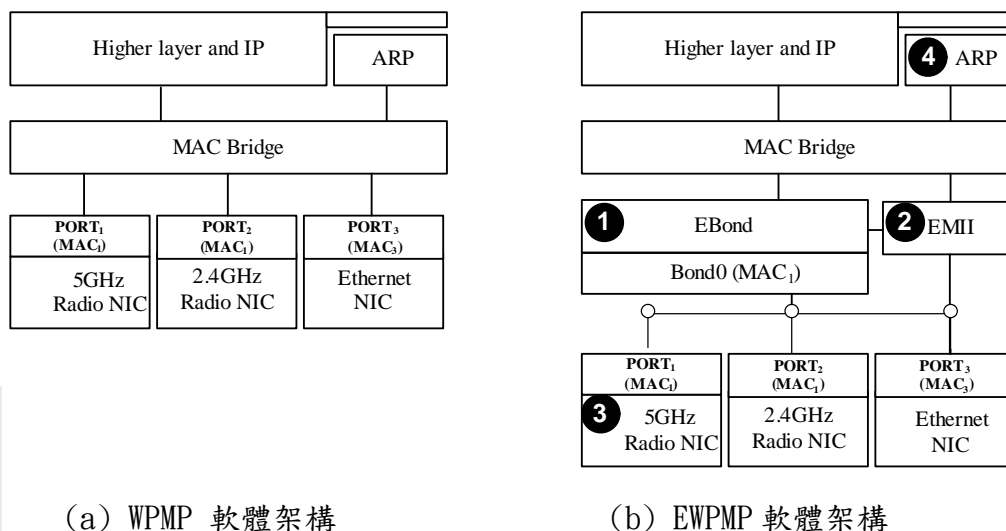


圖 2-3 WPMP vs EWPMP

軟體架構包括以下模組：

EBond 模組（如圖 2-3 (b) ①）結合兩個無線埠（port）到一個虛擬埠（port）。本模組透過收到的無線連結（radio link）狀態（status）資訊，加以計算用以調適（accommodate）並自動切換模式。

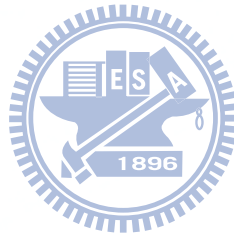
當埠（port）（例如，NIC）連結故障，Linux 乙太網路結合（Bonding）模組，可提供下列兩種方法檢測：

- ◎當檢測到乙太網路上沒有通信時，ARP 模組（如圖 2-3 (b) ④）將發送 ARP request。如 ARP reply 被收到時，表示連線成功，否則為連線失敗。
- ◎媒體獨立介面（Media Independent Interface; **MII**）提供狀態（status）register，以指示（indicate）埠（port）（例如 NIC）的連結狀態。結合（bonding）模組透過檢查 MII 狀態（status）registers，可以定期檢查其所有控制埠（port）的連結情形。

Linux 系統中的 MII 模組不支援無線埠（port）狀態檢測。在本文中，我們擴展 MII 模組，以支援無線連結，用於無線埠（port）狀態的檢測。

EWPMP 媒體獨立介面 (EMII) 模組 (如圖 2-3 (b) ②) 提供無線連結 (radio link) 狀態, 當收到訊號強度指示 (received signal strength indicator; **RSSI**) 讓 EMI module 去衡量埠 (port) 的狀態。切換機制 (switching mechanism) 敘述於 2.4 節。

無線網路卡驅動程式 (Radio NIC Driver) 模組 (如圖 2-3 (b) ③) 提供無線連結 (radio link) 資訊, 如信號強度指示 (RSSI), 通常用接收信號的無線 power 來衡量無線連結 (radio link) 品質, 傳遞於 EMI 模組以決定埠 (port) 狀態。



基於 EWPMP 軟體架構，bonding case 過程如下：

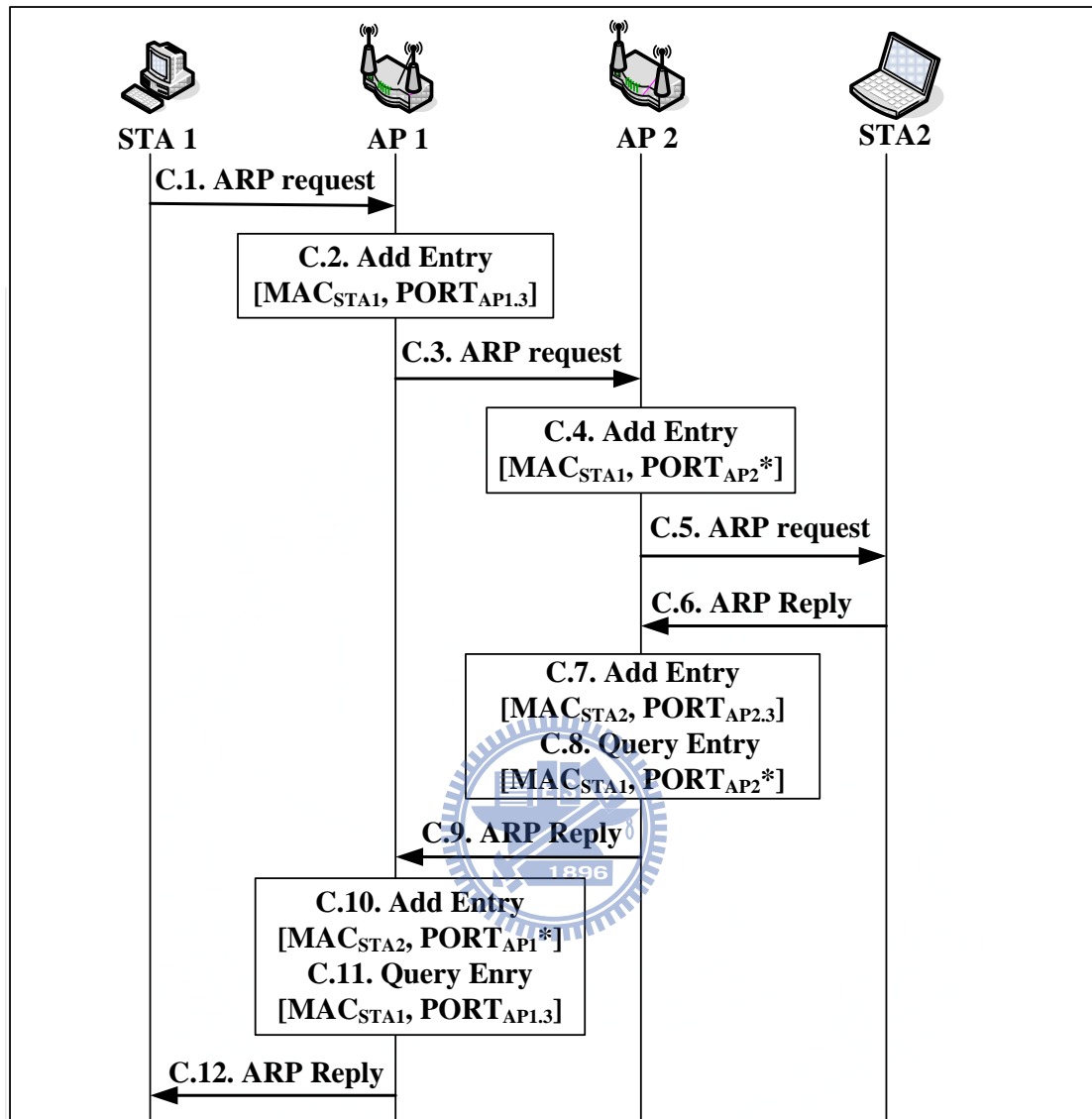


圖 2-4 bonding case 的訊息流

考慮圖 1-3 的配置 (configure)，建立 EWPMP 上的 AP1 和 AP2 間的資料路徑，AP1 的 $PORT_{AP1.1}$ 和 $PORT_{AP1.2}$ 結合 (bond) 成一個虛擬 $PORT_{AP1}^*$ 。同樣，AP2 的 $PORT_{AP2.1}$ 和 $PORT_{AP2.2}$ 結合 (bond) 成一個虛擬 $PORT_{AP2}^*$ 。因此， $PORT_{AP1.3}$ 連接到 $PORT_{STA1.1}$ 和 $PORT_{AP2.3}$ 連接到 $PORT_{STA2.1}$ 。步驟 B 的傳輸過程修改如下：

步驟 C.1 : STA1 使用廣播 (broadcast)方式傳送 ARP 請求 (request) 訊息。

步驟 C.2 : 當 AP1 收到此 ARP 請求時, 它會增加一個 entry $[MAC_{STA1}, PORT_{AP1.3}]$ 到過濾資料庫 (filtering database) 中。

步驟 C.3 : AP1 將 ARP request 透過 $PORT_{AP1}^*$ 發送到 AP2。

步驟 C.4 : AP2 將其過濾資料庫 (filtering database) 中增加一個 entry $[MAC_{STA1}, PORT_{AP2}^*]$ 。

步驟 C.5 : AP2 將 ARP request 透過 $PORT_{AP2.3}$ 發送到 STA2。

步驟 C.6 : STA2 回應 ARP 答覆透過 $PORT_{STA2.1}$ 到 STA1。

步驟 C.7 和步驟 C.8 : 當 AP2 收到 ARP 答覆時, 它將增加一個 filtering entry $[MAC_{STA2}, PORT_{AP2.3}]$ 。



步驟 C.9 : AP2 發送程序 (forwarding process) 透過使用目的地 MAC 位址 MAC_{STA1} 檢索 (retrieve) 到 $PORT_{AP2}^*$ 。AP2 將透過 $PORT_{AP2}^*$ 發送 (forward) ARP reply 到 AP1。

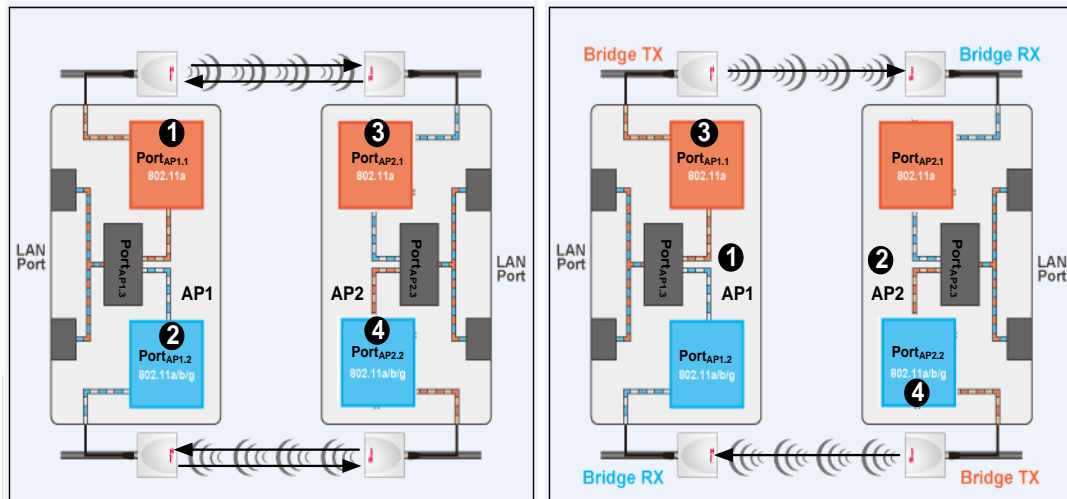
步驟 C.10 和步驟 C.11 : 當 AP1 收到 ARP replay 時, 它將增加一個 filtering entry, $[MAC_{STA2}, PORT_{AP1}^*]$ 。

步驟 C.12 : AP1 的發送程序 (forwarding process) 透過使用目的地的 MAC 位址為 MAC_{STA1} 檢索 (retrieve) 到 $PORT_{AP1.3}$ 。AP1 將發送 ARP reply 到 STA1。

顯然地，透過使用虛擬埠 (port) 橋接迴圈，有關 (bridge-looping) 與埠歧義 (port-ambiguity) 的問題當可獲得解決，如圖 2-4 中的訊息流所示。

2.3 結合模式 (Bonding modes)

上述 EWPMP 實現提供兩種結合 (bonding) 模式，可以被選擇透過使用者去結合 (bond) 無線埠 (port) 並控制虛擬埠 (port;bond0) 的封包傳輸行為。在雙向模式 (Bi-direction mode) 下 (如圖 2-5 (a))，封包傳輸在 EBond 模組介於 PORT₁ (如圖 2-5 (a) ①) 和 PORT₂ (如圖 2-5 (a) ②) 之間的依序循環 (round-robin) 政策。此種模式具有較高容錯能力，如一邊無線連接失敗，另一邊無線連線仍可以繼續傳輸。單向模式 (Uni-direction mode) 執行採用 Master-Slave model，配置初始化由 Master AP (即 AP₁; 如圖 2-5 (b) ①) 決定，選擇 PORT₁ 發送封包 (如圖 2-5 (b) ③) 並由 PORT₂ 接收封包; 反之，salve AP (即 AP₂; 如圖 2-5 (b) ②) 則從 PORT₂ 發送封包 (如圖 2-5 (b) ④) 並由 PORT₁ 接收封包。我們預期 (anticipate) 在單向模式 (Uni-direction mode) 下的封包調度 (scheduling) 與雙向模式 (Bi-direction mode) 相比，會有較小的花費 (overhead)。



(a) 雙向模式 (Bi-direction mode) (b) 單方向模式 (Uni-direction mode)

圖 2-5 EWPMP 結合模式 (Bonding modes)

當封包傳送時可經由結合模式 (bonding modes) 處理程式去依據使用者已設定好的模式來傳送封包。結合模式 (bonding modes) 程式逐一說明如下：

```

1 static int Ebond_start_xmit(struct sk_buff *skb, struct net_device *dev)
2 {
3     const struct ebonding *ebond = netdev_priv(dev);
4     switch (ebond->params.mode) {
5     case EBOND_MODE_BIDIRECT:
6         return ebond_xmit_bi-direct(skb, dev);
7     case EBOND_MODE_UNIDIRECT:
8         return ebond_xmit_uni-direct(skb, dev);
9     default:
10        /* Should never happen, mode already checked */
11        printk(KERN_ERR DRV_NAME ": %s: Error: Unknown bonding mode %d\n",
12            dev->name, ebond->params.mode);

```

```
13     WARN_ON_ONCE(1);
14     dev_kfree_skb(skb);
15     return NETDEV_TX_FIAL;
16 }
17 }
```

圖 2-6 Bonding mode 處理程式碼

- 行 3:** 宣告 ebond 變數以獲得使用者設定的模式，俾提供呼叫者去執行使用者設定的模式。
- 行 4-8:** 此為 EBond 類別之雙向模式 (Bi-direction mode) 與單方向模式 (Uni-direction mode) 的應用模式，將之以傳輸模式提供給呼叫者。
- 行 9-15:** 如果結合模式 (Bonding modes) 非為上述等情形，則顯示警告訊息。



上述兩種模式，可使用埠 (port) 狀態監測計畫 (scheme)，以檢測埠 (port) 故障狀態和 pipe 封包到另一個埠 (port)。在單方向模式 (Uni-direction mode) 下，一個連結 (Link) 遇到傳輸故障時，檢測封包系統應切換到雙向模式 (Bi-direction mode)。關於狀態監控的詳細執行流程將於本章第 2.4 節加以說明。

2.4 狀態監控 (Status Monitoring)

基本上，bonded 埠 (port) 的傳輸可以根據在 EWPMP 中的每個連結 (Link) 的故障檢測來做切換，如此可增強容錯能力。因此可連接在 EBond 模組 (module) (如圖 2-3 (b) ①) 和 EMII 模組 (如圖 2-3 (b) ②) 之間，並由以下步驟組成。

步驟 1：EBond 模組 (module) 帶著參數 PORT=port 名稱將訊息 (message) 發送到 EMII 模組 (module)。

步驟 2：EMII 模組 (module) 使用接收到的埠 (port) 名稱 (port₁ 或 port₂) 作為索引 (index) 的從無線網路卡驅動程式 (Radio NIC Driver) 模組檢索 (retrieve) 無線網卡 (NIC) 狀態。

步驟 3：EMII 模組 (module) 將接收到的無線 NIC 狀態進行比較，並傳回到 EBond 模組的 up 或 down 狀態。

本節旨在瞭解如何比較無線 NIC 的狀態。C 程式如圖 2-7，說明如下：

◎EMII_STATE_UP 定義為 1，表示 RSSI 訊號強度大於臨界值 (threshold)。

◎EMII_STATE_DOWN 定義為 0，表示 RSSI 訊號強度小於臨界值 (threshold) 或封包傳送錯誤 (transmitted error) 值高於傳送錯誤值的臨界值 (threshold)。

```
1 emii_status(struct ieee80211_port *port)
2 {
3     int tx_error;
4     int rx_rssi;
5     int w=0.5;
```

```

6   tx_error = port -> tx_error;
7   tx_smooth= ((w* tx_error)+((1-w)*tx_smooth_old));
8   tx_smooth_old=tx_smooth;
9   rx_rssi = port ->rx_rssi;
10  if ( rx_rssi > (rx_rssi_threshold + 5) )
11      return EMII_STATE_UP;
12  else if ( rx_rssi < rx_rssi_threshold )
13      return EMII _STATE_DOWN;
14  if(tx_smooth >tx_error_threshold)
15      return EMII _STATE_DOWN;
16  else
17      return EMII_STATE_UP;
18  }

```

圖 2-7 EMII 處理程式碼

行 3: 宣告 tx_error 變數，用來儲存無線網路卡驅動程式偵測到封包傳送錯誤的值。

行 4: 宣告 rx_rssi 變數，用來儲存無線網路卡驅動程式偵測到封包接收訊號強度的值。

行 5 : 宣告 W 等於 0.5 作為權重值用來作為計算 tx_smooth 傳送平穩的值。

行 6 : 透過無線網路卡驅動程式 (Radio NIC Driver) 模組傳回 tx_error 封包傳送錯誤的值儲存在變數 tx_error 中。

行 7 : 使用 tx_error 封包傳送錯誤值和 tx_smooth_old 記錄上一次 error 用以計算本次 tx_smooth 傳送平穩的值。

- 行 8 : 將 tx_smooth 本次傳送平穩的值儲存在變數 tx_smooth_old 中，做為下次比較用。
- 行 9 : 由無線網路卡驅動程式 (Radio NIC Driver) 模組傳回的訊號強度 (RSSI) 的值儲存在變數 rx_rssi 中。
- 行 10-11 : EMII_STATE_UP 代表目前訊號強度 (RSSI) 強於訊號強度 (RSSI) 的臨界值 (threshold)。
- 行 12-13 : EMII_STATE_DOWN 代表當前訊號強度 (RSSI) 比訊號強度 (RSSI) 的臨界值 (threshold) 弱。
- 行 14-15 : 當封包傳送錯誤值高於傳送錯誤值的臨界值 (threshold) 傳回 EMII_STATE_DOWN 的值。
- 行 16-17 : 否則傳回 EMII_STATE_UP 的值。

透過以上的計算，可避免封包在埠 (port) 是 down 的狀態 (status) 下發送，而埠 (port) 狀態資訊被 EBond 模組 (module) 用於控制結合模式 (bonding modes) 的更改，能將 pipe 封包發送到另一個埠 (port)。

第三章

效能研究

為測試 EWPMP 的吞吐量,可選擇採用以下四種傳輸頻帶 802.11a、802.11g、super a 及 super g。無線晶片廠商通常提供 super a 和 super g 二種傳輸模式,可比較無線區域網路技術超逾 20%吞吐量。802.11a 和 802.11g 最佳吞吐量為 18~22Mbps,而 super a 和 super g 吞吐量則近似 26Mbps。全部測試,使用下列設備 (見表 3-1) :



表 3-1 硬體和軟體設備

Hardware/Software	Model/Mode
STA1	Dell D610
STA2	Dell D600
Chariot V3.2	High Performance Throughput Script

Chariot 係由 Ixia 公司發明,使用於測量網路性能的標準工業軟體工具。因此,Chariot 為測試環境的安裝程式,需要安裝終結點 (endpoint) 在伺服器 (server) 和用戶端 (client)。Chariot console 安裝在用戶端,用以控制測試、收集及顯示結果。所有測試均使用實體配置 (configure) 如圖 3-1。通常須在一個隔離室內測試 EWPMP 的吞吐量,以避免遭受其他設備的干擾。

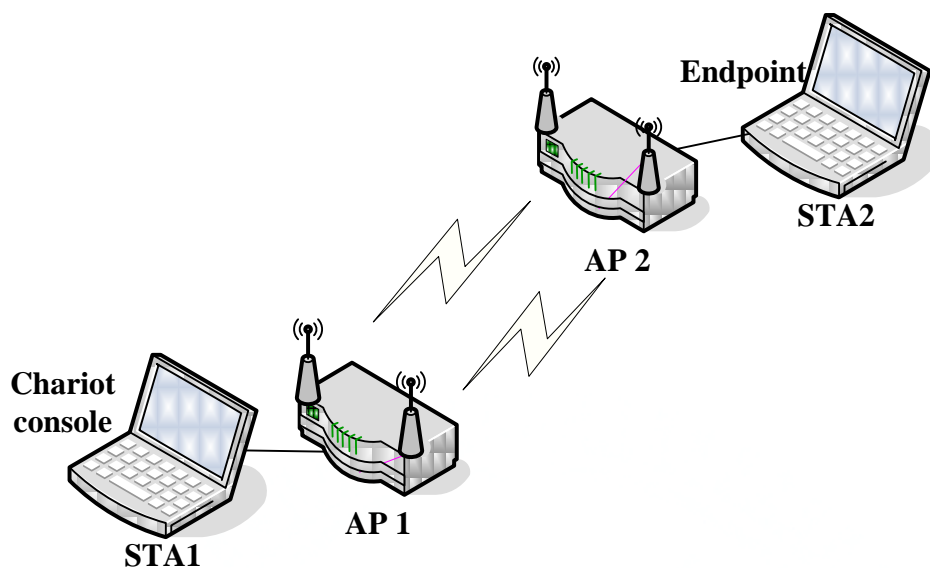


圖 3-1 EWPMP 測試環境

在每次測試中 Chariot 可用於衡量 TCP 吞吐量每秒 megabits (Mbps) 的上行方向（例如從 STA1 到 STA2 的上載）或下行方向（例如從 STA2 到 STA1 的下載）。每次測試須重複運行 2 次，且測試時間需要一分鐘。以下謹就 Ebond 的兩種模式，測試在 WPMP 與 EWPMP 軟體架構的吞吐量。

如圖 1-3 中， $PORT_{AP1.1}$ 連接到 $PORT_{AP2.1}$ 這一對無線連線，可使用不同的通道 (channel; e.g., 802.11a)， $PORT_{AP1.2}$ 連接到 $PORT_{AP2.2}$ 為另一對無線連線，可使用另一個通道 (channel; e.g., 802.11g)。在圖 3-2 與圖 3-3 為 AP1 與 AP2 使用者介面配置 (configure)，選擇單向模式 (Uni-direction mode) 執行配置 (configure)，AP1 為 Master AP (如圖 3-2 ①)，AP2 為 slave AP (如圖 3-3 ①)；AP1 的 Radiol 模式選擇 11a (i.e., 802.11a) 與通道選擇為 60 (如圖 3-2 ②)，Radio2 模式選擇 11b/g (i.e., 802.11g) 與通道選擇為 120 (如圖 3-2 ③)，相同的設定配置於 AP2 的 Radiol 與 Radio2 的模式與通道中 (如圖 3-3 ②和③)；由於 $PORT_{AP1.1}$ 連接到 $PORT_{AP2.1}$ ，所以 AP1 Radiol 的節點 (Nodes) 需輸入 $PORT_{AP2.1}$ 的 MAC (如圖 3-2 ④)；反之 AP2 Radiol 的節點 (Nodes)

需輸入 PORT_{AP1.1} 的 MAC (如圖 3-3 ④);同理,配置 AP1 和 AP2 的 Radio2。

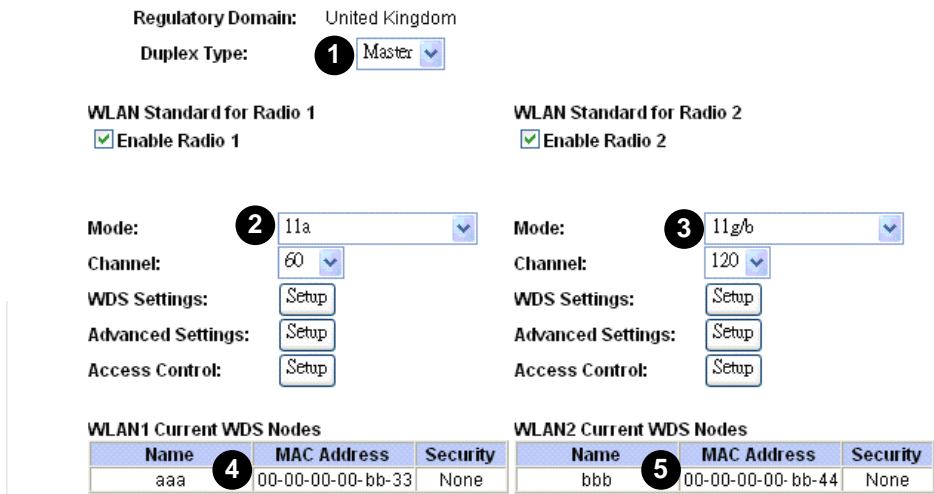


圖 3-2 AP1 的使用者介面

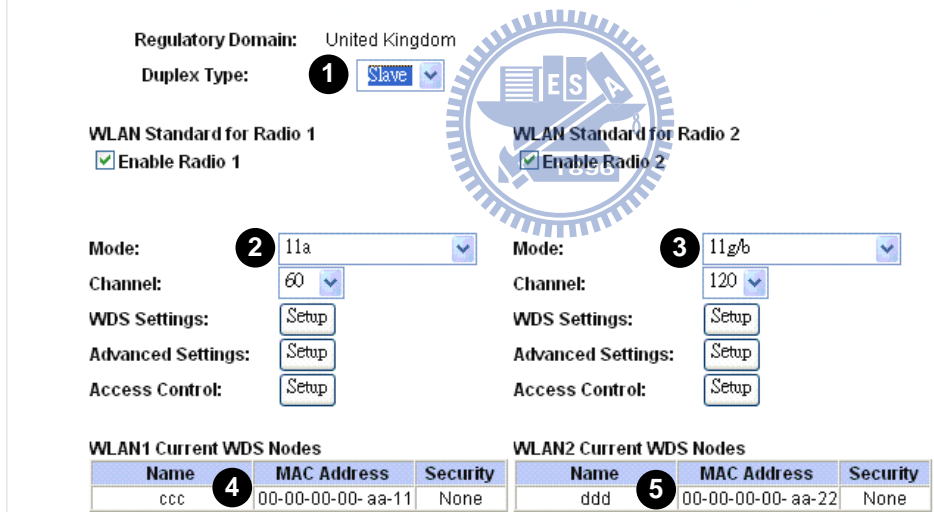


圖 3-3 AP2 的使用者介面

在本次測試中有以下四種組合可供選擇: (802.11a、802.11a) / (802.11g、802.11g) / (super a、super g) / (super a、super a)。在 EWPMP 改變通道 (channel) 來避開一些干擾,因為無線網路環境狀況會影響吞吐量。使用 (802.11a、802.11g) 和 (802.11a、802.11a) 最大理論吞吐量是 40Mbps,和 (super a、super g) 或 (super a、super a) 是 52Mbps [7]。

以下就不同模式與不同通道的吞吐量分別說明如下：

- ◎ 由表 3-2 和表 3-3 分別顯示單向模式 (Uni-direction mode) 和雙向模式 (Bi-direction mode) 的 (802.11a、802.11g) 吞吐量的測試結果。
- ◎ 由表 3-4 和表 3-5 顯示單向模式 (Uni-direction mode) 和雙向模式 (Bi-direction mode) 的 (super a、super g) 吞吐量的測試結果。
- ◎ 由表 3-6 和表 3-7 顯示單向模式 (Uni-direction mode) 和雙向模式 (Bi-direction mode) 的 (802.11a、802.11a) 吞吐量的測試結果。
- ◎ 由表 3-8 和表 3-9 顯示單方向模式 (Uni-direction mode) 和雙向模式 (Bi-direction mode) 的 (super a、super g) 吞吐量的測試結果。由圖 3-4 和圖 3-5 可顯示兩種模式的吞吐量的比較。

依據上述測量到的數據加以說明如下：

單向模式 (Uni-direction mode) 測試：

- ◎ 在 (802.11a、802.11g) 上行 (uplink) 及下行 (downlink) 的測試，其平均吞吐量是 36.32 Mbps，與標準差 1.02 Mbps。
- ◎ 在 (super a、super g) 上行 (uplink) 及下行 (downlink) 的測試，其平均吞吐量是 50.48 Mbps，與標準差 0.75 Mbps。
- ◎ 在 (802.11a、802.11a) 上行 (uplink) 及下行 (downlink) 的測試，其平均吞吐量是 34 Mbps，與標準差為 4.64 Mbps。
- ◎ 在 (super a、super a) 上行 (uplink) 及下行 (downlink) 的測試，其平均吞吐量是 46.34 Mbps，與標準差 6.65 Mbps。

雙向模式 (Bi-direction mode) 測試：

- ◎ 在 (802.11a、802.11g) 上行 (uplink) 及下行 (downlink) 的測試，其平均吞吐量是 36.92 Mbps，與標準差 0.57 Mbps。

- ◎ 在 (super a、super g) 上行 (uplink) 及下行 (downlink) 的測試，其平均吞吐量是 51.21 Mbps，與標準差 0.72 Mbps。
- ◎ 在 (802.11a、802.11a) 上行 (uplink) 及下行 (downlink) 的測試，其平均吞吐量為 35.35 Mbps，與標準差 4.42 Mbps。
- ◎ 在 (super a、super a) 上行 (uplink) 及下行 (downlink) 的測試，其平均吞吐量是 47.90 Mbps，與標準差 6.45 Mbps。

在單向模式 (Uni-direction mode) 和雙向模式 (Bi-direction mode)，(802.11a、802.11g) 和 (super a、super g) 上行 (uplink) 和下行 (downlink) 測試均近似理論的吞吐量。但通常在雙向模式 (Bi-direction mode) 比單方向模式 (Uni-direction mode) 具有更好的性能。以後因單方向模式 (Uni-direction mode) 只有單一埠 (port) 可以選擇傳送封包，假設此埠 (port) 壅塞而另一埠 (port) 閒置，仍然會造成吞吐量下降。兩種 bonding 模式，吞吐量的標準差的情況相近和傳輸穩定性是相同的。在 (802.11a、802.11a) 和 (super a、super a) 上行 (uplink) 及下行 (downlink) 測試，兩種模式 (bonding modes) 比理論吞吐量更差，因為兩個近似的無線頻率會相互干擾。

在 WPMP 與 EWPMP 軟體架構比較，EWPMP 少於 WPMP 約 10% 的吞吐量，因為每個封包傳送到 Ebond 模組都會啟動狀態監測系統不斷地向 NIC 檢索 (retrieve) 資訊，頻繁的動作會導致吞吐量下降。

EBond 結合模組可以尋找硬體解決方案，足以處理結合 (bond) 功能和消除干擾 (interference)。為改善此項缺失，無線晶片廠商可提供具效用的另一個高級傳輸系統。

表 3-2 Channel A36-A60 (802.11a、802.11g) 的吞吐量 (Mbps)

		單向模式 (Uni-direction mode)				雙向模式 (Bi-direction mode)			
PC1 =PC2 (Mbps)		Radio-1 (Band/Channel)				Radio-1 (Band/Channel)			
		A36	A44	A52	A60	A36	A44	A52	A60
Radio-2 (Band/Channel)	G1	35.22	36.81	36.17	37.87	37.84	37.21	37.43	37.07
	G2	33.31	37.52	35.41	37.22	36.67	37.58	36.18	35.76
	G3	36.79	37.34	36.45	37.73	37.01	36.88	37.21	35.27
	G4	35.92	37.09	35.76	36.21	36.77	37.16	37.77	36.29
	G5	35.48	36.77	36.03	36.06	36.78	36.55	36.64	36.86
	G6	34.46	36.58	36.07	36.66	36.55	36.90	37.59	37.12
	G7	35.21	36.94	35.93	37.47	36.82	36.34	36.49	36.05
	G8	36.46	36.53	35.29	37.09	37.85	37.83	36.78	37.49
	G9	36.64	37.07	35.99	37.42	36.63	36.09	37.77	34.31
	G10	36.34	37.33	35.85	36.05	37.75	36.00	37.42	36.94
	G11	36.38	36.57	36.25	37.11	36.77	37.56	37.29	34.24
	G12	35.76	36.67	35.36	37.09	37.74	37.73	37.51	37.43
	G13	36.44	36.61	36.04	36.32	36.00	36.36	37.67	36.34

表 3-3 Channel A100-A132 (802.11a、802.11g) 的吞吐量 (Mbps)

		單向模式 (Uni-direction mode)				雙向模式 (Bi-direction mode)			
PC1 =PC2 (Mbps)		Radio-1 (Band/Channel)				Radio-1 (Band/Channel)			
		A100	A116	A124	A132	A100	A116	A124	A132
Radio-2 (Band/Channel)	G1	37.01	35.49	35.59	37.07	36.73	36.30	37.89	36.71
	G2	36.26	36.98	36.36	35.76	36.85	37.53	37.64	37.82
	G3	36.97	35.99	36.82	35.27	36.14	36.90	36.01	37.14
	G4	37.15	37.23	37.06	36.29	37.75	37.94	36.14	36.68
	G5	36.74	36.21	35.78	36.86	37.63	36.44	36.60	36.99
	G6	36.96	36.12	37.76	37.12	37.81	36.32	36.49	37.04
	G7	37.01	36.31	37.33	36.05	37.82	36.50	37.00	36.24
	G8	36.67	37.11	36.76	37.49	36.31	36.10	37.20	36.10
	G9	36.09	35.98	36.96	34.31	37.50	36.81	37.68	36.29
	G10	37.18	36.33	36.92	36.94	36.40	36.13	36.68	36.70
	G11	36.95	36.52	34.84	34.24	36.77	36.50	36.99	37.67
	G12	36.45	36.32	35.46	37.43	37.65	37.23	36.96	37.32
	G13	36.98	37.42	36.76	36.34	37.25	37.48	37.18	36.91

表 3-4 Channel SA36-SA60 (super a、super g) 的吞吐量 (Mbps)

		單向模式 (Uni-direction mode)				雙向模式 (Bi-direction mode)			
PC1 =PC2 (Mbps)		Radio-1 (Band/Channel)				Radio-1 (Band/Channel)			
		SA36	SA44	SA52	SA60	SA36	SA44	SA52	SA60
Radio-2 (Band/Channel)	SG1	49.65	51.11	50.19	51.13	51.34	51.79	51.97	51.45
	SG2	49.33	49.12	50.53	50.33	50.67	51.17	50.65	50.66
	SG3	49.65	50.84	49.63	50.31	51.91	51.39	52.39	49.44
	SG4	49.44	49.41	51.24	51.06	50.44	52.23	51.63	51.76
	SG5	49.83	51.21	49.15	52.31	50.74	51.31	50.35	50.91
	SG6	49.86	50.55	50.09	52.32	49.94	51.42	51.88	50.69
	SG7	49.93	51.82	51.81	51.16	51.16	51.22	51.91	49.43
	SG8	49.99	49.35	49.21	50.90	49.86	50.57	51.15	51.93
	SG9	50.51	50.32	51.57	51.48	50.44	51.33	50.02	49.93
	SG10	50.03	49.42	49.88	50.46	52.41	52.10	51.39	50.64
	SG11	49.83	51.21	49.15	52.01	52.34	52.40	51.86	51.53
	SG12	49.08	50.97	50.23	50.79	51.75	50.31	51.76	51.72
	SG13	50.09	49.71	51.31	51.67	50.19	50.52	52.25	49.15

表 3-5. Channel SA100-SA132 (super a、super g) 的吞吐量 (Mbps)

		單向模式 (Uni-direction mode)				雙向模式 (Bi-direction mode)			
PC1 =PC2 (Mbps)		Radio-1 (Band/Channel)				Radio-1 (Band/Channel)			
		SA100	SA116	SA124	SA132	SA100	SA116	SA124	SA132
Radio-2 (Band/Channel)	50.92	51.82	51.43	51.45	51.97	52.36	50.30	51.61	50.42
	51.41	49.32	51.52	50.66	50.65	50.84	49.86	51.18	50.65
	50.49	49.37	50.28	49.44	52.39	51.24	51.24	51.29	52.19
	50.63	51.42	50.57	51.76	51.63	50.25	52.24	50.47	51.72
	50.12	51.49	51.85	50.91	50.35	51.07	49.84	50.42	50.52
	51.91	51.06	49.83	50.69	51.88	50.01	50.03	51.69	51.66
	50.91	51.63	49.64	49.43	51.91	50.71	51.18	50.32	51.66
	49.33	49.49	51.98	51.93	51.15	50.77	50.17	49.86	50.10
	51.57	50.94	49.88	49.93	50.02	50.29	51.75	50.86	51.02
	51.08	51.16	51.59	50.64	51.39	51.48	50.28	50.82	50.94
	50.12	51.49	51.82	51.53	51.86	50.67	50.19	51.13	50.18
	50.76	50.69	51.11	51.72	51.76	50.35	52.24	52.48	50.12
	51.79	51.01	49.37	49.15	52.25	50.20	50.06	50.00	51.42

表 3-6 單向模式(Uni-direction mode)(802.11a、802.11a)的吞吐量 (Mbps)

單向模式 (Uni-direction mode) (PC1- DUT1 ==DUT2- PC2), Two pairs with Tx+Rx										
PC1 =PC2 (Mbps)		Radio-1 (Band/Channel)								
		A36	A44	A52	A60	A100	A116	A124	A132	A140
Radio-2 (Band/Channel)	A36	21.86	34.32	34.23	34.24	35.81	36.45	36.43	36.55	37.95
	A44	34.23	21.61	34.12	34.02	35.73	36.17	36.12	36.85	36.73
	A52	35.13	34.42	20.81	35.87	34.12	35.67	36.67	36.04	36.56
	A60	35.34	34.32	34.34	21.12	34.34	35.27	36.45	36.43	35.43
	A100	36.26	35.34	35.65	35.87	21.57	34.45	35.76	35.69	35.45
	A116	35.53	35.28	36.67	36.65	35.34	21.74	35.02	35.32	34.56
	A124	36.32	35.98	35.45	36.65	35.43	34.83	20.87	34.87	34.54
	A132	35.11	35.73	36.65	36.02	36.89	35.12	34.76	21.82	34.36
	A140	37.12	36.64	35.92	37.12	35.32	35.59	35.23	34.59	21.39

表 3-7 雙向模式(Bi-direction mode) (802.11a、802.11a) 的吞吐量 (Mbps)

雙向模式 (Bi-direction mode) (PC1- DUT1 ==DUT2- PC2), Two pairs with Tx+Rx										
PC1 =PC2 (Mbps)		Radio-1 (Band/Channel)								
		A36	A44	A52	A60	A100	A116	A124	A132	A140
Radio-2 (Band/Channel)	A36	22.78	37.91	37.03	37.23	36.72	37.29	37.35	37.69	36.54
	A44	37.41	21.49	36.17	37.60	36.18	37.43	36.83	36.56	37.73
	A52	36.36	36.39	22.85	36.04	37.66	36.61	36.00	36.70	37.84
	A60	37.15	36.32	37.36	22.42	37.80	36.03	36.83	36.13	37.13
	A100	36.81	36.60	37.73	37.86	22.82	36.59	36.37	36.21	36.02
	A116	36.97	36.79	37.39	36.23	37.65	22.78	37.13	36.22	36.63
	A124	36.41	36.25	36.35	37.98	37.37	37.83	22.69	37.12	37.87
	A132	36.52	37.18	37.48	36.57	37.18	36.64	36.34	21.79	36.43
	A140	37.68	37.43	37.81	36.83	36.70	36.52	36.17	36.84	22.60

表 3-8 單向模式(Uni-direction mode)(super a、super a)的吞吐量(Mbps)

單向模式 (Uni-direction mode) (PC1- DUT1 ==DUT2- PC2), Two pairs with Tx+Rx										
PC1 =PC2 (Mbps)		Radio-1 (Band/Channel)								
		SA36	SA44	SA52	SA60	SA100	SA116	SA124	SA132	SA140
Radio-2 (Band/Channel)	SA36	28.97	45.23	47.42	48.76	50.23	47.24	50.73	47.76	49.13
	SA44	44.84	28.33	48.23	47.35	48.53	47.64	51.33	46.82	51.42
	SA52	49.85	48.24	29.25	46.34	49.23	48.75	52.45	47.87	50.23
	SA60	50.23	48.23	48.92	29.66	50.46	48.73	49.23	46.93	51.81
	SA100	46.33	46.81	47.45	48.21	29.26	46.18	48.69	48.04	49.23
	SA116	49.35	47.43	49.13	48.16	48.98	29.43	48.29	46.68	48.75
	SA124	49.76	48.21	48.28	47.73	49.09	46.33	28.83	46.97	49.23
	SA132	49.65	49.48	48.23	46.06	50.23	46.72	48.12	28.34	48.81
	SA140	49.81	50.34	48.58	48.86	48.99	48.44	48.96	49.23	27.95

表 3-9 雙向模式 (Bi-direction mode) (super a、super a) 的吞吐量 (Mbps)

雙向模式 (Bi-direction mode) (PC1- DUT1 ==DUT2- PC2), Two pairs with Tx+Rx										
PC1 =PC2 (Mbps)		Radio-1 (Band/Channel)								
		SA36	SA44	SA52	SA60	SA100	SA116	SA124	SA132	SA140
Radio-2 (Band/Channel)	SA36	28.81	49.77	50.25	49.76	50.11	50.76	50.94	50.95	50.82
	SA44	50.27	29.78	50.38	50.74	50.23	50.12	50.93	49.95	49.74
	SA52	50.41	50.84	28.56	50.32	49.53	50.38	49.76	49.92	50.85
	SA60	50.60	50.86	49.79	29.89	50.95	49.62	49.92	50.00	49.99
	SA100	49.75	50.55	50.62	50.42	29.57	50.65	49.61	50.56	49.66
	SA116	50.01	49.65	50.88	50.43	50.43	29.17	50.75	50.76	49.95
	SA124	50.68	50.13	50.11	50.76	50.96	49.77	29.84	50.08	50.54
	SA132	50.55	49.65	50.25	50.96	49.57	49.71	50.84	29.11	50.10
	SA140	49.82	50.80	50.80	49.76	50.05	50.94	50.31	49.64	29.64

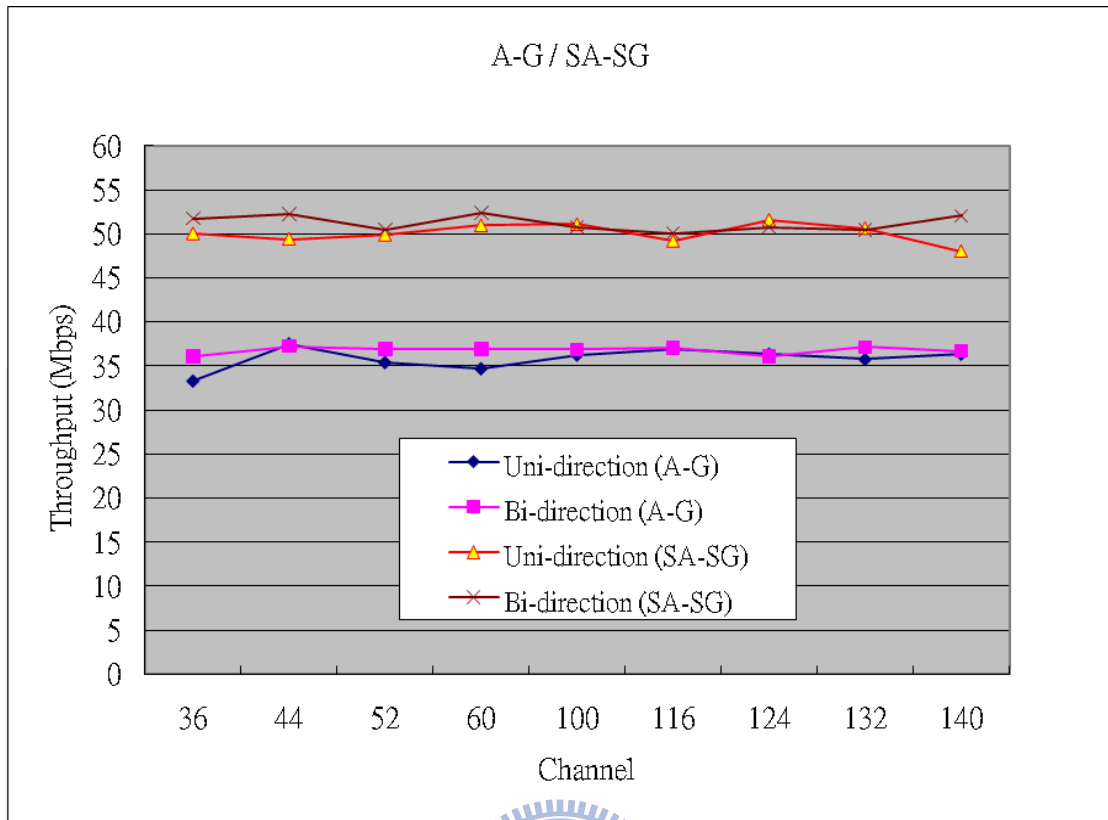


圖 3-4 比較 單向模式 (Uni-direction mode) 和 雙向模式 (Bi-direction mode) 的 (802.11a、802.11g) / (super a、super g)

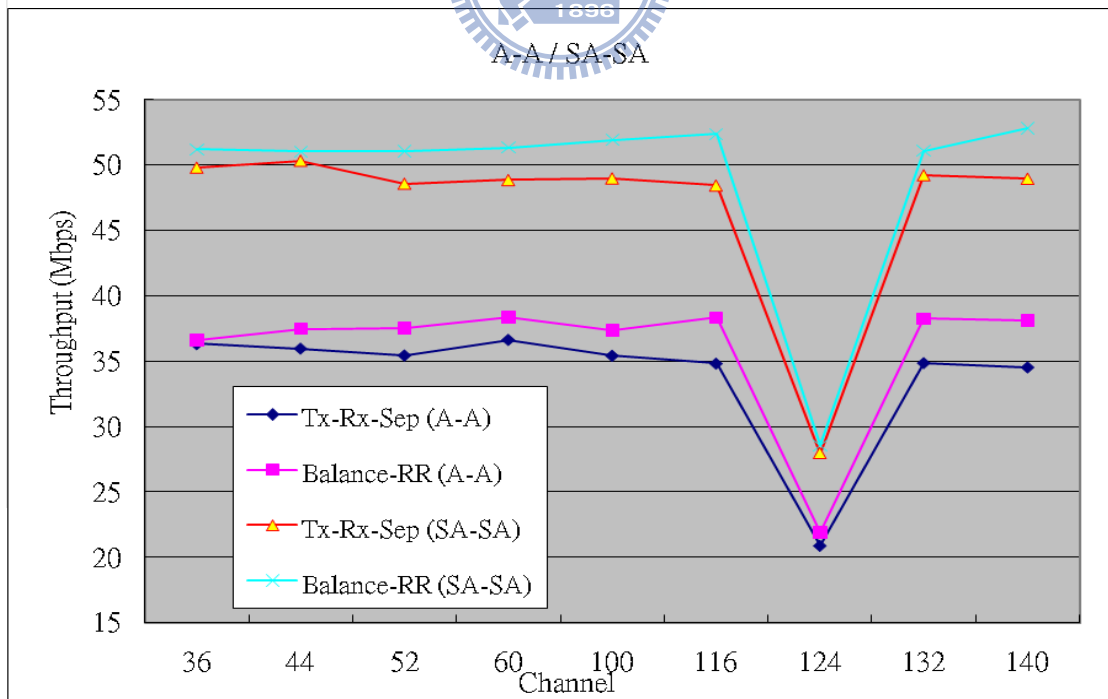


圖 3-5 比較 單向模式 (Uni-direction mode) 和 雙向模式 (Bi-direction mode) 的 (802.11a、802.11a) / (super a、super a)

第四章

結論

無線分散系統 (WDS) 係以無線網路連接的方式所構成的一個整體網路。最明顯的例子就是同一家公司有兩棟建築物，為連接不同的區域網路，橋接兩棟的基地台 (AP)，以擴大同一個區域網路的網路服務範圍。在本論文中，運用無線分散系統 (WDS) 中 WPMP 橋接模式，改善無線傳輸吞吐量的瓶頸。設計 EWPMP 系統使用結合 (bond) 兩個埠 (port)，傳輸到一個虛擬埠 (virtual port)，俾解決橋接迴圈 (bridge-looping) 與埠歧義 (port-ambiguity) 的問題。藉由 EWPMP 提供雙向模式 (Bi-direction mode) 和單向模式 (Uni-direction mode) 兩種模式，用以控制虛擬 port (virtual port) 的封包傳輸行為。為提高容錯能力，我們提供支援連續的無線連結 (radio link) 條件的監測。但在兩種模式下吞吐量的比較結果，單向模式 (Uni-direction mode) 的吞吐量較雙向模式 (Bi-direction mode) 為低。本篇論文經上述實作測試之結果顯示，在整體 EWPMP 的吞吐量可擴大達到 1.9 倍近似 2 倍的效果。

另一方面，相信在不久的將來，有關 EWPMP 強化無線橋接模式的應用是可以被延伸與期待的。在軟體方面，亦可以探討使用無線隨意網路 (wireless ad hoc networks) 相關之通訊協定做為未來發展的努力方向與目標。

參考文獻

- [1] Matthew Gast, "802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide", April 2002
- [2] "Wireless Distribution Services Atheros Application Note", July 2003
- [3] IEEE Computer Society, "Media Access Control (MAC) Bridges", June 2004
- [4] David C. Plummer, "An Ethernet Address Resolution Protocol -or- Converting Network Protocol Addresses to 48.bit Ethernet Address for Transmission on Ethernet Hardware", RFC 826, The Internet Society (November 1982) - Internet Standard STD-37
- [5] S. Aust, J-O. Kim, P. Davis, A. Yamaguchi, S. Obana, "Evaluation of Linux Bonding Features", 10th IEEE International Conference on Communication Technology (ICCT 2006), Guilin, China, Nov. 2006.
- [6] Chad N. Tindel, and Jay Vosburgh, "Linux Ethernet Bonding Driver mini-howto"
- [7] "Atheros Wireless LAN, 2.4/5-GHz, 80211a/b/g, Radio-on-a-Chip",
<http://www.super-g.com/faqs.html>
- [8] Yi-Bing Lin, and Imrich Chlamtac, "Wireless and Mobile Network Architectures", John Wiley & Sons, 1st Edition, 2001.
- [9] Davis, T., Tarreau, W., Gavrilov, C., Tindel, C. N., and Girouard, J. (2007). "Linux Ethernet Bonding Driver mini-howto", Available at <http://www.kernel.org/pub/Linux/kernel/people/Marcelo/linux-2.6/Documentation/networking/boding.txt>