

國立交通大學

電機資訊學院 資訊學程

碩士論文

在 802.11a 與 802.11b 混合環境下的室內定位

Indoor positioning in 802.11a and 802.11b mixed environments

研究生：林巨益

指導教授：曾煜棋 教授

中華民國九十四年四月

在 802.11a 與 802.11b 混合環境下的室內定位

Indoor positioning in 802.11a and 802.11b mixed environments

研究生：林巨益

Student：Ju-Yi Lin

指導教授：曾煜棋

Advisor：Yu-Chee Tseng



Submitted to Degree Program of Electrical Engineering Computer Science
College of Electrical Engineering and Computer Science
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science
in
Computer Science
April 2005
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十四年四月

在 802.11a 與 802.11b 混合環境下的室內定位

學生：林巨益

指導教授：曾煜棋 教授

國立交通大學電機資訊學院 資訊學程（研究所）碩士班

摘 要

隨著各種行動通訊計算設備與無線網路的普及，人們可以隨時隨地透過無線網路連結 Internet 或特定區域網路，在這同時與定位相關的服務也成爲一個有趣的課題。爲了更精準提供位置相關的服務，定位的的精準度是必要考慮的因素。本篇論文則是討論在 802.11a 與 802.11b 混合的環境下，如何有效地增加定位方法的精準度。在本篇論文中，利用 802.11a 與 802.11b 頻率特性的不同，分別採用機率、RADAR 等方法做分析。更進一步同時混合使用 802.11a 跟 802.11b 的 AP 訊號，來進行 802.11a, 802.11b , 802.11a + 802.11b 等比較。另外針對 802.11a + 802.11b 混合訊號源，採用權重與內插等方式來增加 802.11a + 802.11b 的定位精準度。

Indoor positioning in 802.11a and 802.11b mixed environments

Student : Ju-Yi Lin

Advisors : Prof. Yu-Chee Tseng

Degree Program of Electrical Engineering Computer Science
National Chiao Tung University

ABSTRACT

Wireless communications have advanced rapidly in recent years. People could access Internet services everywhere and anytime. During these years, Location Based Service (LBS) would be an interesting topic. In order to provide Location Based Services, the wireless indoor positioning would be the most important subject.

In this work, we use 802.11a and 802.11b as interfaces to improve the accuracy of indoor Positioning. We use mixed input signals from 802.11a and 802.11b at the same time to compare to the result with only 802.11a or 802.11b input signals. We also propose weighted method and interpolation method to improve the accuracy of indoor positioning.

誌 謝

感謝指導老師曾煜棋教授的長時間細心的指導，這篇論文才得以順利完成。在專班求學的生涯，要感謝老師的包容與體諒，我才能在工作上的壓力與課業的繁重中取得平衡，衷心感謝老師給予的支持。

感謝口試指導委員張明峰教授、金仲達教授、林亭佑學姊的指導與意見，使得本篇論文更臻完善。

回首這三年的研究生生涯，能順利得走過來，都要感謝我親愛的妻子怡樺，承擔起繁重的家務，且不斷的給予我鼓勵與精神上的支持，並獨自照顧我們可愛的兒子儀恩。使得在就讀專班期間的我，能無後顧之憂，專心的完成學業。



目 錄

中文提要	.....	iii
英文提要	.....	iv
誌謝	.....	v
目錄	.....	vi
表目錄	.....	vii
圖目錄	.....	viii
一、	序論.....	1
二、	相關研究.....	3
2.1	定位相關應用.....	3
2.2	802.11a 與 802.11b 特性.....	4
2.3	RADAR system.....	6
2.4	Probability-based Positioning.....	7
2.5	GPS	8
2.5.1	GPS with WAAS.....	11
2.5.2	GPS + GLONASS	13
三、	802.11a 和 802.11b 混和式定位方式.....	17
3.1	混合 802.11a 與 802.11b 訊號.....	17
3.2	RADAR 定位方式與權值.....	20
3.3	內插法.....	21
四、	實驗結果.....	25
4.1	實驗環境.....	25
4.2	觀測結果.....	27
五、	結論.....	42
參考文獻	.....	44

表目錄

表 2.1	802.11a 與 802.11b 特性比較表·····	5
表 2.2	GPS 各類誤差比較表·····	11
表 2.3	GPS 誤差分析·····	13
表 2.4	GPS + GLONASS 可見衛星比較表·····	14
表 2.5	GPS + GLONASS 誤差比較表·····	15



圖目錄

圖 2.1	GPS 衛星定位示意圖·····	9
圖 2.2	WAAS 系統架構圖·····	12
圖 2.3	GPS 定位精準度示意圖·····	12
圖 2.4	GPS only·····	14
圖 3.4	GPS + GLONASS ·····	15
圖 4.1	工四館四樓 HistProb 與 RADAR 精準度分析	26
圖 4.2	浩然圖書館七樓 HistProb 與 RADAR 精準度 分析	26
圖 4.3	浩然圖書館七樓 802.11a + 802.11b 精準度 分析	27
圖 4.4	工四館四樓 HistProb 精準度分析·····	28
圖 4.5	工四館四樓 RADAR 精準度分析·····	28
圖 4.6	工四館四樓定位精準度分析·····	29
圖 4.7	工四館四樓 RADAR 精準度分析·····	30
圖 4.8	工四館四樓 HistProb 精準度分析·····	30
圖 4.9	工四館四樓 HistProb 與 RADAR 精準度分析	31
圖 4.10	浩然圖書館七樓 HistProb 精準度分析·····	31
圖 4.11	浩然圖書館七樓 RADAR 精準度分析·····	32
圖 4.12	浩然圖書館七樓 RADAR 使用權值與內插法精 準度分析	32
圖 4.13	圖 4.1 與 4.2 合併圖·····	33
圖 4.14	浩然圖書館七樓 HistProb 精準度分析·····	34
圖 4.15	浩然圖書館七樓 RADAR 精準度分析·····	34
圖 4.16	浩然圖書館七樓 RADAR 使用權值與內插法精 準度分析	35
圖 4.17	圖 4.15 與 4.16 合併圖·····	35
圖 4.18	浩然圖書館七樓 HistProb 精準度分析·····	36
圖 4.19	浩然圖書館七樓 RADAR 精準度分析·····	36
圖 4.20	浩然圖書館七樓 HistProb 精準度分析·····	37
圖 4.21	浩然圖書館七樓 HistProb 精準度分析·····	38

第一章、序論

隨著無線網路的技術日益進步，與各式行動電腦與個人通訊設備的普及，使用者利用無線區域網路來連接網際網路已成為新的趨勢。在無線網路環境中，提供給使用者相較於有線網路擁有更高的自由性，使用者不需再受限於有線網路的線路佈置位置，而能隨意移動並自由地存取網路相關服務。無線區域網路之整合應用，可在機場大廳、國際會議廳、記者會場、運動會場、演藝會場及有線區域網路裝設不易之室內，提供寬頻上網。同時利用無線區域網路之便利性，提供用戶不論在室內或戶外，均可進行無線寬頻上網之應用，加上結合無線企業專用網路 VPN，更可實現行動辦公、在家辦公的新生活。

由於使用者能在任何一空間自由地移動與使用無線網路相關服務，使用者的位置與無線網路間的關係成為一個有趣的課題。利用 Wi-Fi 提供定位服務(Location-Based Service)是一項趨勢，已經有許多公司準備提供這樣的應用服務。所謂的定位服務即是追蹤使用者的位置，提供適當的服務內容。定位服務的應用很廣泛，可以應用於各類展覽館的導覽服務、醫療業、零售業、保全業、公眾區域等等。比如當病人有緊急狀況發生時，醫院可以利用定位技術，很快的找到醫生的位置等等。

在 Location-Based service 中有一個很重要關鍵，那就是系統能

否在無線網路環境下，有效並精確地推測使用者目前所在位置。這樣系統才能針對使用者所在位置，提供更精準且相關的服務。對於無線網路室內定位的方式，有很多論文研究提出許多方法，例如有名的 **RADAR** 就是利用訊號強度來預測使用者的位置。

目前常用的室內無線網路除了最常見的 802.11b 之外，另外還有 802.11a 以及越來越多人使用的 802.11g。然而隨著無線網路的進步與普及，在同一無線網路的空間中，不再只是單純擁有單一種無線網路設備，而會有 802.11b + 802.11a 或 802.11b + 802.11g 等混合型的無線網路產生。

本篇論文就是要比較在混合型無線網路中，利用混合不同訊號源與單一訊號源在不同室內定位演算法所產生定位精確度的差異。並實驗利用針對不同訊號源給予不同權重或是利用內插法的方式，來試著改善定位的精準度。

本篇論文的結構如下：第二章回顧相關研究與方法。第三章討論本篇論文的方法，第一節為混合 802.11a + 802.11b，第二節針對 **RADAR** [1] 的方式對於混合的訊號給 802.11a AP 或 802.11b AP 不同的權值，第三節內插法。第四章討論實驗實作內容，並針對實驗結果做分析。最後第五章為結論。

第二章、 相關研究

2.1 定位相關應用

RFID:

扮演兩個主要的腳色：一、提供一個低成本、能夠改變供應鏈管理與大幅降低運作成本的物件識別方式；二、結合其他檢測與網路技術來追蹤物件與自然環境，來產生一個更靈敏的電子化架構。

在追蹤部分的應用有：物流業者與百貨業者藉由 RFID 來追蹤物品所在位置、顧客的動線跟貨櫃車所在位置；JAL 與 ANA 等航空業者利用 RFID 來增加行李的托運方便性，顧客只要出發前將行李交由宅配業者，就能不需自己將行李拿到報到櫃檯報到，來達到『空手旅行』的目的。[15]....

E911:

這套稱爲 E911(Enhanced 911，增強型求救電話號碼)的系統是於 1996 年提出，電訊業者原本應在 1998 年建置完成第一段設備，讓警方得以掌握發話人手機號碼與最近的基地台位置。這樣的區域大概涵蓋了 1 至 5 英里的範圍。第二階段需在 2005 年底完成的 E911 無線緊急服務則應將手機發話人位置縮小至 100 碼內，希望能在接到行動用戶的求救電話時，立即得知求救者的所在位置，爭取災難救助的時效

性。而 AGPS 則是目前唯一通過 E911 規格的定位技術。

AGPS:

為結合行動通訊網路 GSM 和 GPS (Global Positioning System) 的定位技術。是透過手機內建 AGPS 晶片，以及電信業者提供 Cell ID 輔助資訊，提供手機定位資訊。由於是先透過電信業者手機基地台搜尋使用者的粗略位置，再利用衛星精確定位，因此在十秒鐘內即可完成定位，並提升在室內定位的可行性。AGPS 是目前唯一通過美國 E911 規格的定位技術。透過 AGPS 手機的定位功能，未來電信業者或其它內容服務供應商，將能提供任何以位置為基礎(LBS； location-based service)的定位服務，例如行動保全、資產保護、寵物追蹤、車輛派遺，或是提供休閒娛樂等資訊。

目前包括美國及日本皆已推出採用 AGPS 技術的個人保全服務，讓幼童、老人及殘障人士能藉由 AGPS 的定位功能，無論身處何地，隨時在需要時呼叫服務業者提供協助。除了急救外，AGPS 技術也能應用在醫療看護、金融保全、物業保險以及山野救援等領域。

2.2 802.11a 與 802.11b 特性

IEEE 802.11b

802.11b又稱為802.11HR(High Rate)，實體層是802.11的延伸，採用高速直接序列展頻技術(HR/DSSS)，同樣是使用2.4GHz的ISM頻段，資

料傳輸有5.5Mbps及11Mbps兩種模式，調變方式為Complementary Code Keying(CCK)。亦兼容於802.11DSSS 的1Mbps(BPSK)及2Mbps(QPSK) 模式。在傳輸速度 1 Mbps 時，傳輸距離可遠到100公尺。使用頻譜 2.4GHz，屬非管制頻譜，與無線電話、微波爐和藍芽產品等共用，因此容易出現干擾。非重疊頻道數量 3 。最大資料傳送速度 11Mb/s 。

IEEE 802.11a

802.11a 使用5GHz (5.15~5.825GHz) 的頻段，採用OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 調變技術，傳送資料的傳送速度則由6Mbps到54Mbps，傳送距離則可支援到50公尺。實體層使用的頻段包括：5.15 - 5.25、5.25 - 5.35 及5.725-5.825GHz。以FCC標準而言，這三個頻段內各劃分出4個20MHz寬的頻道，共提供12組獨立的頻道。最大資料傳送速度 54Mb/s (Turbo model : 108 Mb/s)

<i>IEEE standard</i>	<i>802.11b (Wi-Fi)</i>	<i>802.11a (Wi-Fi 5)</i>
Datarates (Mb/s)	1, 2, 5.5, 11	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
Est. Coverage at max. datarate (m)	57	12
Est. Coverage at 11/12 Mb/s (m)	57	56
Channels FCC	11	12
Nonoverlapping channels	3	12
Frequency (Ghz)	2.400 ~ 2.4835	5.150 ~ 5.250, 5.250 ~ 5.350, 5.725 ~ 5.825
Bandwidth (MHz)	83.5	300

表 2-1: 802.11b 與 802.11a 特性比較

2.3 RADAR system

在 RADAR [1,2] 系統中，使用量測 AP 的訊號強度所得的 fingerprint 來預測使用者目前所在的位置。共分兩個階段：

Off-line phase:

在這階段系統去取得所有訓練點所在位置，所有 AP 的訊號強度，紀錄如下，

$$(x, y, d, ss, snr), i \in 1, 2, \dots, n$$

其中 i 代表各個 Access Point 的索引值。 x 跟 y 則代表訓練點的座標位置， ss_i 為各 AP 的訊號強度， snr_i 則為各 AP 的訊號雜訊比。將所有訓練點的所有 AP 訊號強度紀錄下來成為 Radio map，供下一階段 NNSS (Nearest Neighbors in Signal Space algorithm) [1]方式分析使用。

Real-time phase:

從各 AP 的 beacon 中截取其中的訊號強度，配合分析在第一階段所得的 Radio Map，使用 NNSS 的方式：

NNSS $\Rightarrow \text{Sqrt}((ss_1 - ss_1')^2 + (ss_2 - ss_2')^2 + (ss_3 - ss_3')^2)$ 求得最小的值，則該點座標為系統預測使用者的現在座標。

2.4 Probability-based Positioning

由於 RADAR 使用平均訊號強度來代表每個訓練點位置所收的 AP 訊號強度的特性，但這並不足於去表現各訓練點每個 AP 訊號強度隨時間上下變化分佈的情形。因此在 Probability-based [3] 的方法中，採用與 RADAR 類似的兩個階段架構，唯一不同的是他在離線階段紀錄的不是平均訊號強度，而是依據 Bayes rule 所產生的機率分佈：

$$P(L | O) = \frac{P(O | L) P(L)}{P(O)}$$

L 為座標值。

P(L) 為預先機率函數這是用來表示某個使用者或環境的特性，例如某個人可能在 A 點出現的機率較在 B 點多，那我們就可以調整令

P(A) 的機率大於 P(B)。

P(O) 為觀察到的機率值，跟位置無關，所以我們可以將它視為常數。

P(O|L) 則為相似函數 (likelihood function) 這為 Probability-based Positioning 的核心精神所在，在離線階段系統利用收集訓練點的訊號強度來求得 P(O|L)。

2.5 GPS

何謂 GPS：

Global Positioning System (全球衛星定位系統 GPS) [7] 源於 NAVSTAR 衛星，它可以提供陸海空使用者精確、持續、全天候、全球性航行、位置和時間的資訊。它的發展最早可從 1973 年，美國陸、海、空三軍利用衛星研究三點定位技術開始，1974 年 Rockwell 公司獲得合約負責 GPS 衛星建送、1978 首顆衛星成功發射定位，到現在已有 24 顆衛星在太空中執行導航 (Radionavigation)、定位 (Positioning) 及時間傳送 (Time Transfer) 的功能。美國 GPS 衛星系統包含 24 顆衛星，分佈於 6 個軌道平面 (Orbit Plane)，每個軌道包含 4 個衛星，以接近 12 小時繞地球一週 (11 小時 56 分)，軌道高度約 20200km。在地球任何一個位置都至少可以接收到四顆以上的衛星作為定位參考，於 1993 年正式完成定位，其中有 3 顆為備用。這個系統雖然最初是以軍事上的用途為主，但時代的演進，整個國際的政治情勢的變化，GPS 的軍事以外經濟價值反而成為更重要的用途。

GPS 定位原理：

以衛星為已知參考點來進行地面上的三角交會測量，並增加

一些技術細節的設計，使得測距的處理更簡易且準確(如圖 2-1)。GPS 衛星在太空軌道上運行，使用者持接收器，位於某一位置開始接收衛星訊號，當收到第一顆 GPS 衛星訊號時，假設已知該顆衛星離使用者的距離（如圖 2-1a 為 11,000miles），則使用者所在之位置必落於以衛星距離為半徑的球體上（如圖 2-1a，箭頭所指處），繼續接收第二顆 GPS 衛星訊號時，使用者位置則落於兩球體交集的範圍內（如圖 2-1b，箭頭所指處），繼續接收第三顆 GPS 衛星訊號時，則使用者位置已縮小至三球體交集的二點上，（如圖 2-1c，箭頭所指處），因此當繼續接收第四顆 GPS 衛星訊號時即可定出使用者確切的所在位置。

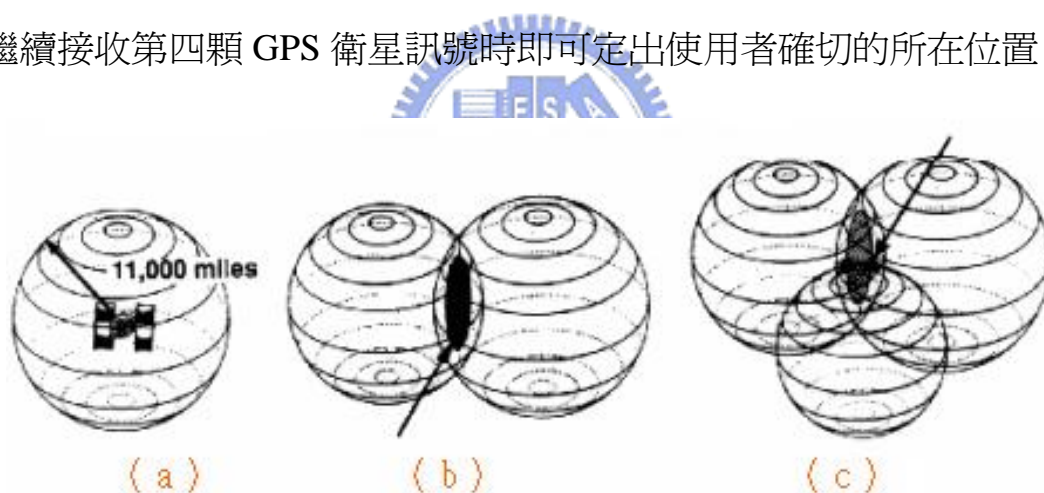


圖 2-1：GPS 衛星定位示意圖 [4]

GPS 誤差：

全球定位系統之誤差來源種類繁多，而一般誤差來源可區分成三大類，即衛星偏差、觀測偏差及與觀測相關之偏差。 [8]

(1) 衛星偏差：

星曆誤差：由衛星實際運行之軌道或瞬間位置與導航訊號中廣播星曆之軌道，預估資料間之偏差。 衛星時鐘之偏差：衛星上之時鐘與全球定位系統時鐘間之偏差。

(2) 觀測偏差：

指接收儀之時鐘誤差，即接收儀時鐘與全球定位系統時鐘間之偏差。

(3) 與觀測相關之偏差：

為衛星信號傳播過程中，因傳播介質與環境所引起的偏差。如起始整數週波未定值、對流層或電離層傳播延遲、多路徑誤差、週波脫落值及精密值強弱度等因素。



誤差種類	誤差影響的極大值
衛星時鐘誤差	±300000 公尺,但若用廣播訊號中提供的改正項(broadcast correction),將可以降低到±100 公尺。
接收儀時鐘誤差	±10 公尺~±100 公尺(視接收儀的種類而定)。
軌道誤差	廣播星曆誤差為正負 80 公尺(倘若用地面追蹤站資料則為±10 公尺)。
電離層遲滯誤差	水平方向±150 公尺(天頂方向降低至±50 公尺)

對流層遲滯誤差	地面高度 10 度方向為 ± 20 公尺(天頂方向則降低至 $2\pm$ 公尺)
SELECTIVE AVAILABILITY	$\pm 100M$
多路徑效應	$\pm 0.5M$

表 2-2：各類誤差的比較 [8]

2.5.1 GPS with WAAS (Wide Area Augmentation System)

WAAS：

WAAS [9, 12, 13, 14] 是美國聯邦航空局 (FAA) 及美國交通部為提升飛行精確度而發展出來的，因為目前單獨使用 GPS 並無法達到聯邦航空局針對精確飛行導航所設定的要求。WAAS 是一個由衛星及地面站台共同組成的系統，能夠提供校正 GPS 訊號的功能，讓您得到更精確的定位。WAAS 可以校正由電離層干擾、時序控制不正確以及衛星軌道錯誤等因素所造成的 GPS 訊號誤差，也能提供各衛星是否正常運轉之資訊。雖然 WAAS 目前尚未正式通過美國航空局的飛行使用認證，但此系統已開放給一般民眾使用，例如從事航海或其它休閒活動的人們。

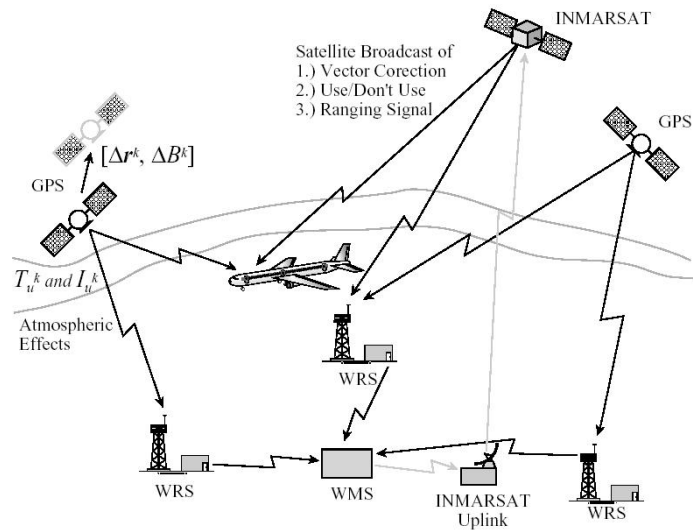


圖 2-2 : WAAS 系統架構圖 [12]

WAAS 工作原理 :

WAAS 包含了約 25 個地面參考站台，位置散佈於美國境內，負責監控 GPS 衛星的資料。其中兩個分別位於美國東西岸的主站台蒐集其它站台傳來的資料，並據此計算出 GPS 衛星的軌道偏移量、電子鐘誤差，以及由大氣層及電離層所造成的訊息延遲時間，彙整後經由兩顆位在赤道上空之同步衛星的其中之一傳播出去。此 WAAS 訊號的發送頻率與 GPS 訊號的頻率相同，因此任何具備 WAAS 功能的 GPS 機台都可接收此訊號，並藉此修正定位資訊。

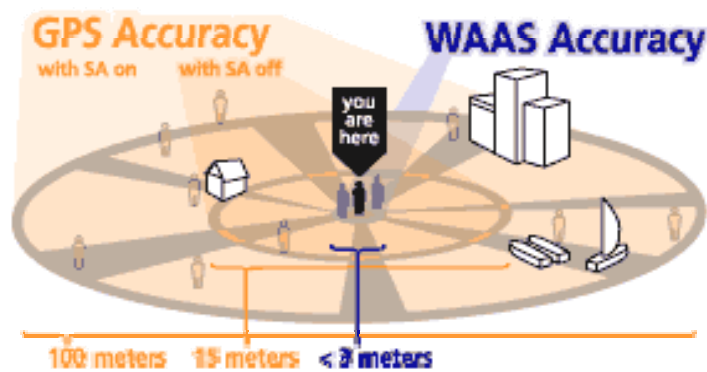


圖 2-3 : GPS 定位精準度示意圖 [5]

100 公尺：	最初 GPS 系統的精確度。當時由於美國政府 Selective Availability (SA) 計劃造成的干擾，使得 GPS 的準確度降低不少。
15 公尺：	目前 GPS 的正常精確度。
3-5 公尺：	differential GPS (DGPS) 的正常精確度。
< 3 公尺：	WAAS 的正常精確度。

表 2-3 : GPS 誤差分析

2.5.2 GPS + GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System)

蘇聯衛星導航系統 GLONASS：

由蘇聯太空計劃部於 1970 年開始發展，其功能類以 GPS 系統，亦是一全球性、全天候 24 小時使用之定位系統。2004 年 12 月 26 日俄羅斯在拜科努爾航太發射場利用“質子-K”運載火箭成功地將 3 顆導航衛星送入軌道，使得目前實際運轉有 14 顆衛星。其與 GPS 之差異，同樣計劃為 24 顆衛星，但只有三個軌道面，(GPS 為六個軌道面，)。但是在定位精度上因沒有 SA 之干擾，故精度尚可達 15 公尺以內，故可應用在高精度測量。[8, 10, 11]

讓我們用下面兩圖 [6] 來比較 GPS+GLONASS 系統的優點：



圖 2-4 : GPS only



圖 2-5 : GPS + GLONASS

圖 2-4 跟圖 2-5 的比較，可以看到在市區做定位時，採用 GPS + GLONASS 車輛可偵測到衛星數量較 GPS only 車輛來得多，因此可以獲得更佳的定位精準度。

利用同樣 45% 觀察角度比較 GPS-only 跟 GPS_GLONASS 可見衛星數量的比較 [6] 如下：

Criterion	The Availability of GPS-Only	The Availability of GPS+GLONASS
5 or more satellites visible, real-time centimeter-decimeter accuracy	33%	100%
4 or more satellites visible, PDOP less than 6, 3D position possible	86%	100%

表 2-4：可見衛星數量的比較

由表 2-4 可知 GPS + GLONASS 在同樣 45 度視角下，可以偵測到比 GPS-Only 更多的衛星數量。

GPS-Only 與 GPS + GLONASS 定位精準度比較如下：

Available Measurements	GG24 Mode	Typical Horizontal Accuracy Expected
DGPS and DGLONASS	DGPS & DGLONASS	35cm
GPS and DGLONASS	DGLONASS	50cm
GLONASS and DGPS	DGPS	40cm
GPS and GLONASS	GPS & GLONASS	7m
GLONASS	GLONASS	8m
GPS	GPS	25m

表 2-5 : GPS+GLONASS 誤差比較表 [6]

由上表可知，利用 GPS + GLONASS 可以得到比 GPS-Only 更好的精準度。

GPS + GLONASS 定位系統的好處是：

- a.比 GPS 或是 GLONASS 任何單一系統精準。
- b.在大都市的衛星受到大樓的影響，無法收到四個衛星來定位，但用 GPS + GLONAS 系統即可以解決此問題。
- c.在測量中需要非常的精準及有時受到空間之限制而採用 GPS + GLONAS 系統。
- d.爲了增加可靠度，同時收不到 GPS 及 GLONASS 的訊號機會不大，故飛機導航等等之重要的應用，必需考慮用 GPS + GLONAS 系統。
- e.同步時鐘之需求日益增加，GPS + GLONAS 可以供給最爲精準的同步時間。



第三章、 802.11a 和 802.11b 混合式定位方式

在無線定位的方法中，利用各 AP 訊號強度變化，或是利用各 AP 訊號強度分布的機率，來推估無線設備使用者的實際位置。在離線階段去蒐集各量測點的訊號變化，來當作將來在線階段時的比較與預測依據。但該如何強化離線階段中所收集的訊號強度的特徵與分布，或則如何有效率地增加測量點的方式，來減少誤差？本篇論文針對在 802.11a 與 802.11b 混和的環境下，提出下列三種方式：

3.1 混合 802.11a 與 802.11b 訊號

在本論文實驗環境中使用 D-Link DWL-7000 與 DWL-7100 的 AP 各四台，所以共有 8 台 802.11a + 802.11b 的 AP，每台 AP 都分別有 802.11a 跟 802.11b 的天線。因此無論是 802.11a 或是 802.11b 無線網卡，在不考慮其他環境現存的 AP，每張網卡最多都會收到 8 個 AP 的訊號。但根據收到的訊號發現，無論是 802.11a 或 802.11b 的 Beacon，同一台 AP 發出的 Beacon 帶有的 MAC 是相同的。

舉例來說：802.11a 無線網卡收到 AP#1 的 MAC 跟訊號強度為 00:05:5D:97:F2:DC; -63，在同一時間點 802.11b 無線網卡收到 AP#1

的 MAC 跟訊號強度為 00:05:5D:97:F2:DC; -70。

於是為有效區分不同的訊號源，故用兩張無線網卡，分別鎖定 802.11a 與 802.11b 的 Beacon，最後產生兩個 Roadmap 檔案。由於不同的網卡所收集的時間範圍與取樣數量是相同的，但實驗環境也常會有其他的 802.11b AP 存在，故 802.11b Roadmap 中包含了更多的 AP 數目。為同時比較 802.11a 與 802.11b 共存的环境，並避免相同 MAC 的問題，故將 802.11a Roadmap 中 AP 的 MAC 第一個位元，由 00 改為 A0，例如：00:05:5D:97:F2:DC 改為

A0:05:5D:97:F2:DC，最後依據時間相同的訊號合併變成一個新的 802.11a + 802.11b 的 Roadmap.

舉例來說：

八個 AP 的索引值與 MAC 的對應如下：

1;00:0F:3D:FA:4F:13
2;00:0F:3D:FA:4E:FC
3;00:0F:3D:FA:4E:ED
4;00:0F:3D:FA:4E:D2
5;00:0D:88:4B:B4:9D
6;00:05:5D:97:F2:E8
7;00:05:5D:97:F2:E3
8;00:05:5D:97:F2:DC

而 802.11b 在 X 時間點收到 Beacon 的表示如下：

0;244;107;E;9;0;-45;1;-63;2;-63;3;-73;4;-81;5;-81;6;-81;7;-97;8;-98;

與 802.11a 在同樣 X 時間點收到 Beacon 的表示如下：

0;244;107;E;3;0;-58;1;-66;2;-92;

數列第二與第三碼分代表 X 與 Y 座標，第四碼代表量測方向。
第五碼表示該 Beacon 含有幾個 AP 的訊號。後來幾碼分別代表各 AP 的索引跟訊號強度。

產生新的 AP 的索引與 MAC 對應如下：

1;00:0F:3D:FA:4F:13

2;00:0F:3D:FA:4E:FC

3;00:0F:3D:FA:4E:ED

4;00:0F:3D:FA:4E:D2

5;00:0D:88:4B:B4:9D

6;00:05:5D:97:F2:E8

7;00:05:5D:97:F2:E3

8;00:05:5D:97:F2:DC

....

52;**A0**:0F:3D:FA:4E:D2

53;**A0**:0F:3D:FA:4E:ED

54;**A0**:0F:3D:FA:4E:FC

55;**A0**:0D:88:4B:B4:9D

56;**A0**:0F:3D:FA:4F:13

57;**A0**:05:5D:97:F2:DC

58;**A0**:05:5D:97:F2:E3

59;**A0**:05:5D:97:F2:E8



因此合併後 802.11a + 802.11b 的格式就如下：

**0;244;107;E;12;0;-45;1;-63;2;-63;3;-73;4;-81;5;-81;6;-81;7;-97;8;-98;
51;-58;52;-66;53;-92;**

這樣就能在 802.11a 與 802.11b 混合環境下，某一時間點 802.11a 與 802.11b 所收到各 AP 訊號強度。利用混和兩種訊號原來作定位的比較，相較於任一種單一訊號的定位方式下，都在邏輯上增加一倍 AP 的訊號當作比較（由於 802.11a 與 802.11b 的 AP 數量相同），更能夠突顯某一時間點所收到的 Beacon 的特徵。藉由這方式來改善定位的精確度。



3.2 RADAR 定位方式與權值

RADAR 定位系統中使用 AP 訊號強度的變化，來預測使用者的現在位置，利用 NNSS (Nearest Neighbors in Signal Space algorithm) => $\text{Sqrt}((ss_1-ss_1')^2 + (ss_2-ss_2')^2 + (ss_3-ss_3')^2)$ ，求得最小的值，則該點座標為系統預測使用者的現在座標。上式中 $(ss_x-ss_x')^2$ 則為 $\text{signal_distance}[x]$ * $\text{signal_distance}[x]$ ，而其中 x 代表某一 AP 的索引號碼。

故在上面運算式中加入權值 $\text{AP_weight}[x]$ ，藉以強化某一 AP 訊號強度的權重。如此可得 RADAR 權值運算式如下：

$\text{sqrt}(\text{signal_distance}[x_1]^2 * \text{AP_weight}[x_1] + \text{signal_distance}[x_2]^2 * \text{AP_weight}[x_2] + \dots)$

可以針對特定 AP 給予較高的權值，而增加該 AP 的訊號對於 NNSS 值得影響力，來進一步減少其他 AP 對於位置預測的影響力。但如何去取決哪些 AP 要給予較高的權值或是權值要給予的比重，則是一個較難的取捨。根據本篇論文實驗的結果，在同樣環境下同樣的 AP 數量與相同的 AP 分佈方式（因為所有 AP 都是同時發送 802.11a 跟 802.11b 的 Beacon），單獨比較 802.11a 與 802.11b 的 Roadmap，802.11a 由於其訊號的特性，在多次實驗比較下大多能比 802.11b 來的精確。

因此本論文在 802.11a 和 802.11b 的混合環境下，採用權值的方式中，針對 802.11a 的 AP 給予較高的權值，來比較有權值跟沒權值的情況下，是否能改善 RADAR 定位方式的精確度。

3.3 內插法

由於定位的誤差是由預測點的座標跟實際座標做比較，因此理論上當測量點越多時，每次誤差的距離應該會減少。但是要希望測量點的增加，除了實際的量測之外，就是利用內插或外插的方式來增加模擬的測量點。但由於外插法很容易產生超出地圖或建築物不存在的量測點，而內插法在某些特殊情況也會產生不存在的量測點，例如『回』字型的建築物中，內插法很容易產生位於中央天井的測量點。因此本

無線訊號衰減公式如下：

$$P_{\text{receive}} = \text{EIRP} / (\pi r^2),$$

EIRP 為 AP 發射功率, r 為 AP 到測試點的距離

AP 位置座標未知為 (X', Y')

已知 A, B, C 三點已知訊號強度為 S_1, S_2, S_3 , 可得三點距離 AP 為

$$\begin{aligned} L_a^2 &= (X_1 - X')^2 + (Y_1 - Y')^2 \\ L_b^2 &= (X_2 - X')^2 + (Y_2 - Y')^2 \\ L_c^2 &= (X_3 - X')^2 + (Y_3 - Y')^2 \end{aligned}$$

利用 $L_a^2 - L_b^2$ 跟 $L_a^2 - L_c^2$

可得 $X' =$

$$\{(X_1^2 - X_2^2) + (Y_1^2 - Y_2^2) - 2(Y_1 - Y_2)Y' - (L_a^2 - L_b^2)\} / 2(X_1 - X_2)$$

跟 $X' =$

$$\{(X_1^2 - X_3^2) + (Y_1^2 - Y_3^2) - 2(Y_1 - Y_3)Y' - (L_a^2 - L_c^2)\} / 2(X_1 - X_3)$$

令兩式相等消去 X'

可得 Y' 同樣方法可求的 X'

令

$$S = (X_1^2 - X_2^2) + (Y_1^2 - Y_2^2) - (L_a^2 - L_b^2)$$

$$T = (X_1^2 - X_3^2) + (Y_1^2 - Y_3^2) - (L_a^2 - L_c^2)$$

$$U = (X_1 - X_3)(Y_1 - Y_2) - (X_1 - X_2)(Y_1 - Y_3)$$

則得 AP 座標為

$$X' = - \{ (Y_1 - Y_3)S - (Y_1 - Y_2)T \} / 2U$$

$$Y' = \{ (X_1 - X_3)S - (X_1 - X_2)T \} / 2U$$

$$L_w^2 = (X_w - X')^2 - (Y_w - Y')^2$$

可求得

$$S_w = \mathbf{EIRP} / (\pi L_w^2)$$



第四章、 實驗結果

4.1 實驗環境

實驗地點：

工四館四樓走廊

浩然圖書館七樓

實驗設備：

HP Omnibook 6000	*	1
D-Link DWL-7100AP	*	4
D-Link DWL-7000AP	*	4
Nortel WLAN card 2202 (802.11a/b/g)	*	1
Lantech USB 802.11b NIC (UB11B)	*	1

實驗方式：

在 HP Omnibook 6000 上同時接 Lantech USB 802.11b NIC，跟 Nortel WLAN card 2202 分別同時接收 802.11b AP 跟 802.11a AP 的 beacon 來取得各訓練點 802.11b 跟 802.11a 的訊號強度。

利用 WRAPI 來取得各 802.11b AP 的訊號強度，修改 WRAPI 採用 NDIS 5.1 中 NDIS_WLAN_BSSID_EX 讓 WRAPI 能夠收集 802.11a AP 的訊號強度。分別將兩張網卡所收集到訊號分別存成兩個 Radio map 檔案，來作之後精確度的分析。每個訓練點取 4 個方向，每個方向各取 100 次訊號值。這樣每個訓練點會有 400 筆資料，取其中 200 筆當作訓練資料，另外 200 筆當作測試資料，來比較定位

的精確度。

舉例來說：當若有 25 個訓練點，則我們共會收集 $25 * 4 * 100$ 共 10000 筆量測訊號，將其中一半的 5000 筆資料當作訓練的資料庫，另外 5000 筆資料當作測試資料。接著分別用 RADAR 跟 HistProb 的方式使用我們 5000 筆的訓練資料，分析另外 5000 筆測試資料，來求得這些測試資料的可能位置。由於每筆測試資料有紀錄當初量測位置座標，再跟使用 RADAR 與 HistProb 分析所得的座標做比較，求得每筆測試資料的誤差距離。然後將所有測試資料的距離由最小排到最大，依照前 25% 測試資料最大誤差，前 50% 測試資料最大誤差，前 75 % 測試資料最誤差，前 90% 測試資料最大誤差，及 100 % 所有測試點的最大誤差。



圖例：

工四館四樓 (25 個訓練點 : 5000 Test samples (25 * 4 * 100 * 50%))

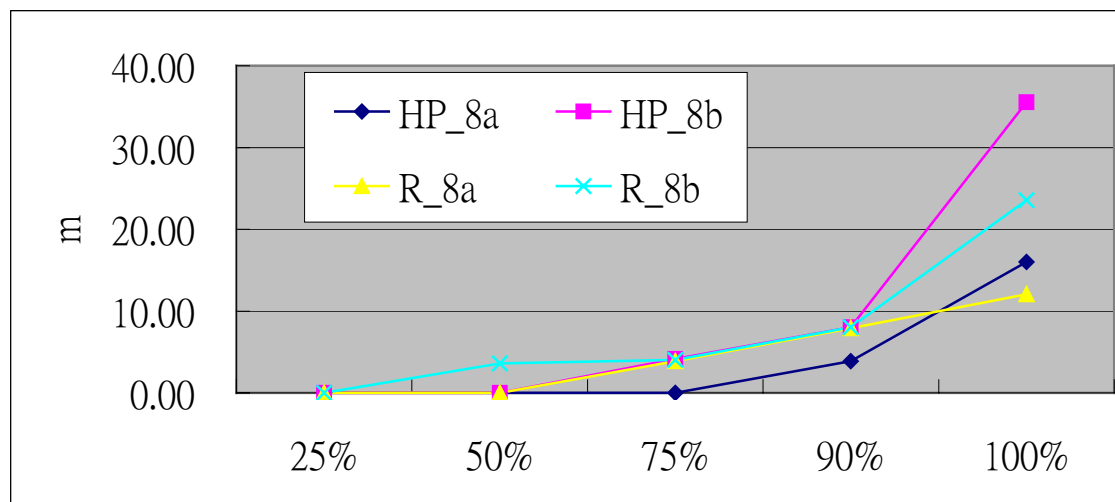


圖 4-1：工四館四樓 HistProb 與 RADAR 精準度分析

縱座標為誤差多少公尺，橫座標為前 25%，前 50%，前 75%，前 90% 及全部 100% 的最大誤差。

其中 HP_8a 表示使用 8 台 802.11a 的 AP，並使用 HistProb 方式來推估測試資料的預估座標，與實際量測座標相比的距離誤差值。另外 R_8b 表示使用 8 台 802.11b 的 AP，並使用 RADAR 方式來推估測試資料的預估座標，與實際量測座標相比的距離誤差值。

舉例來說：

HP_8a 在橫座標 90% 所得的誤差值為 4 公尺，表示使用 HistProb 方式來推估 5000 個測試資料預估位置誤差的前 90% 都小於 4 公尺。

4.2 觀測結果

浩然圖書館七樓 (35 個訓練點 : 7000 test samples)

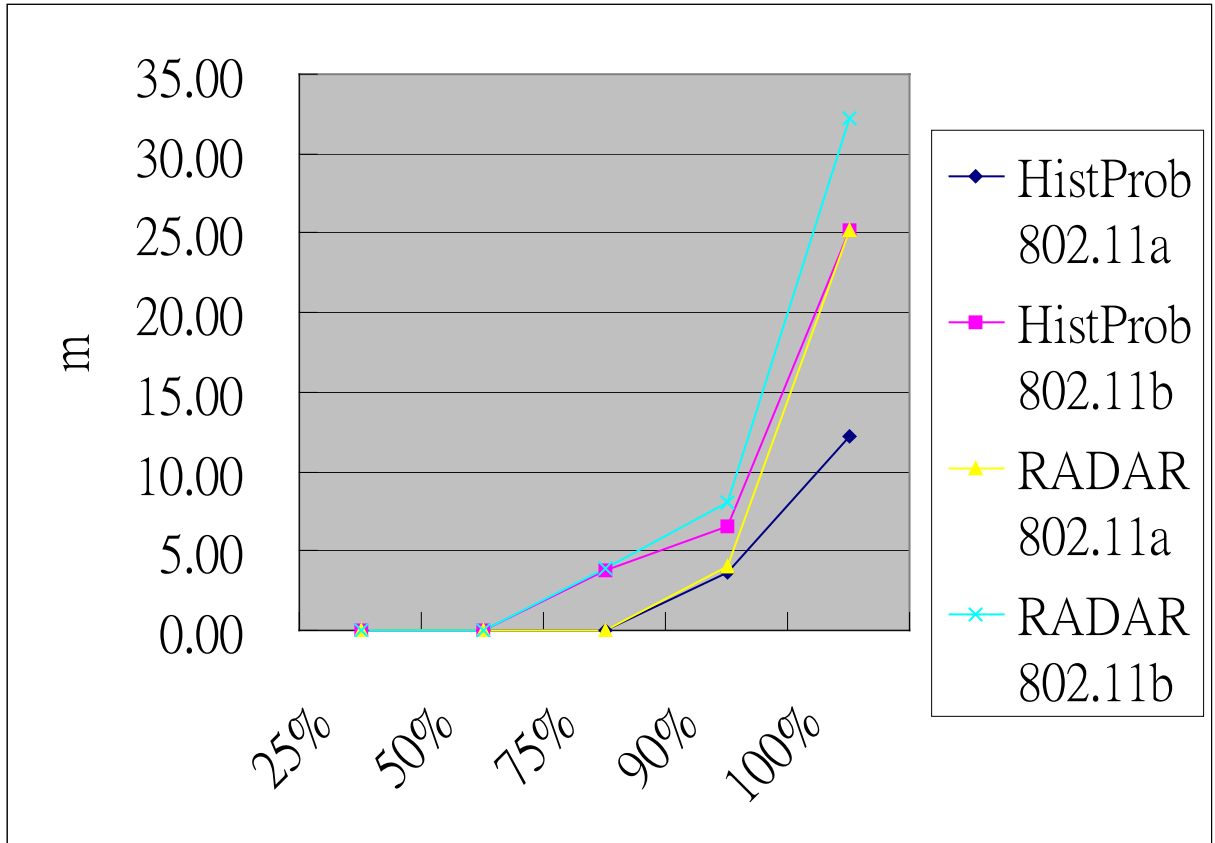


圖 4-2 : 浩然圖書館七樓 HistProb 與 RADAR 精準度分析

浩然圖書館 7 樓 A+B (16 個訓練點 : 3200 Test Samples)

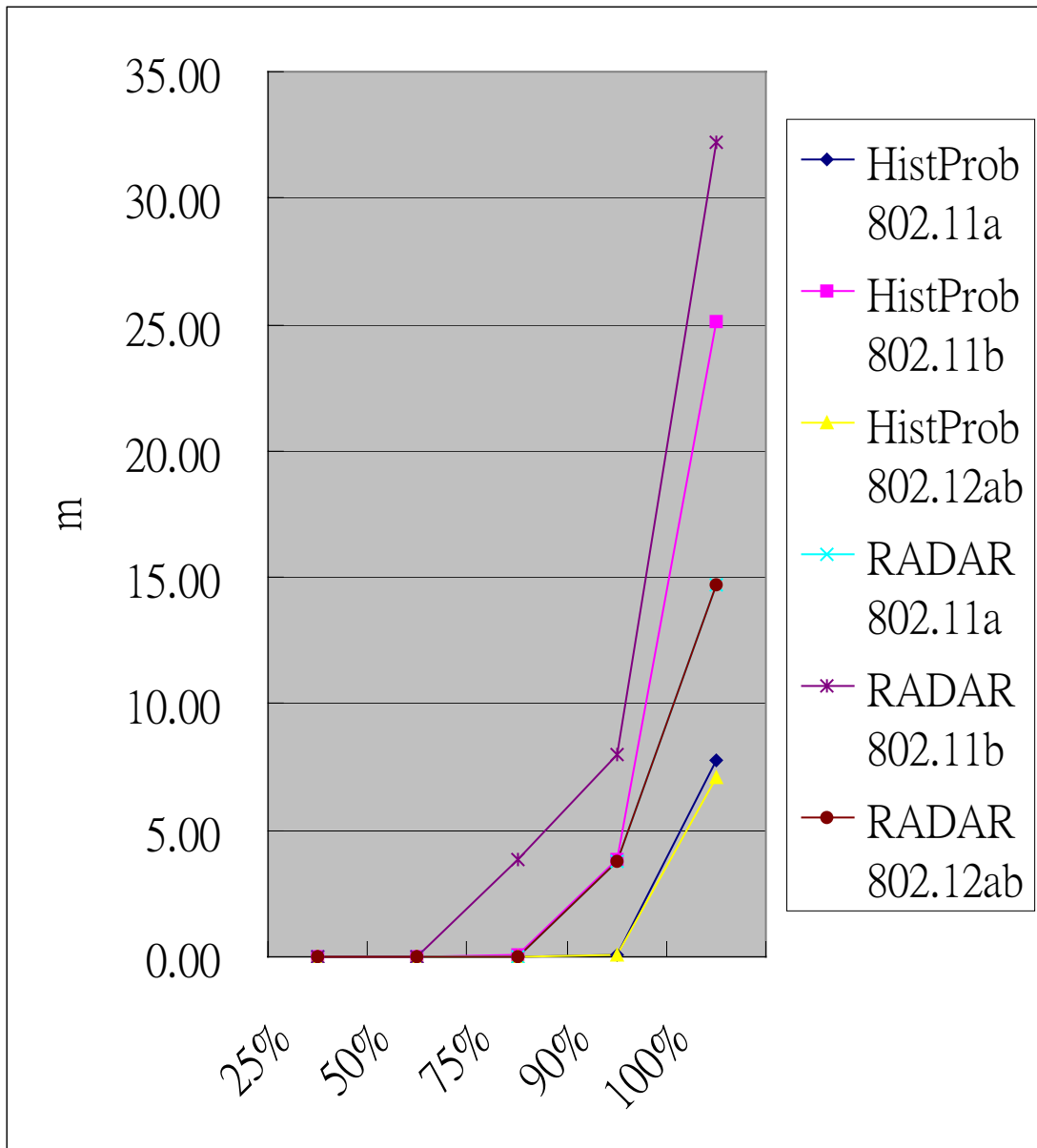


圖 4-3 : 浩然圖書館七樓 802.11a + 802.11b 精準度分析

工四館四樓 16 個量測點 (3200 Test Samples)

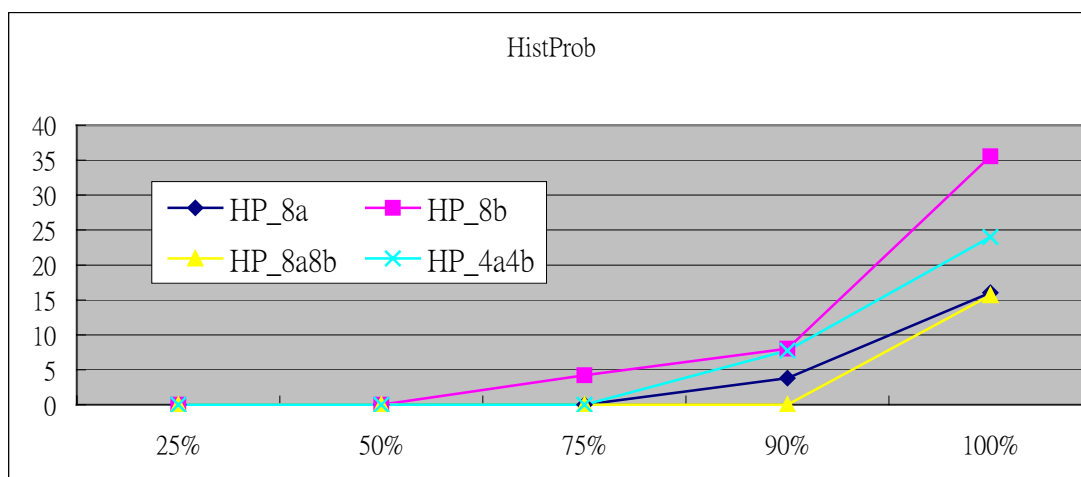


圖 4-4：工四館 HistProb 精準度分析

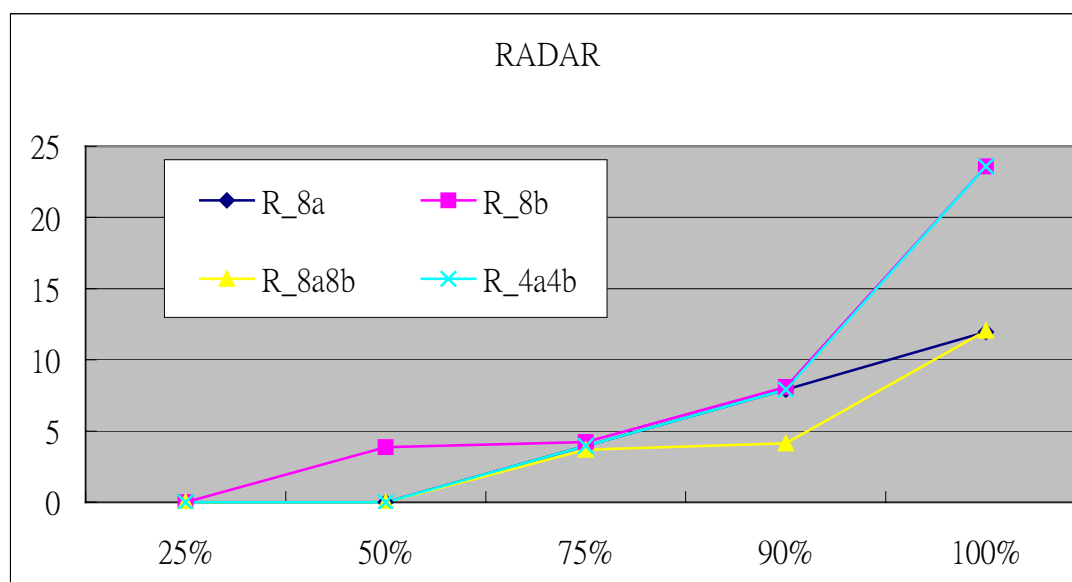


圖 4-5：工四館 RADAR 精準度分析

比較圖 4-4 與圖 4-5，可以發現在 802.11a 跟 802.11b 混合的環境中，不論是採用機率或是 RADAR 的方式，精準度的比較為：
 802.11a + 802.11b (8a + 8b)優於 802.11a (8a)，而 802.11a (8a) 則優於
 802.11a + 802.11b (4a + 4b)，而 802.11a + 802.11b (4a + 4b) 優於
 802.11b (8b)。

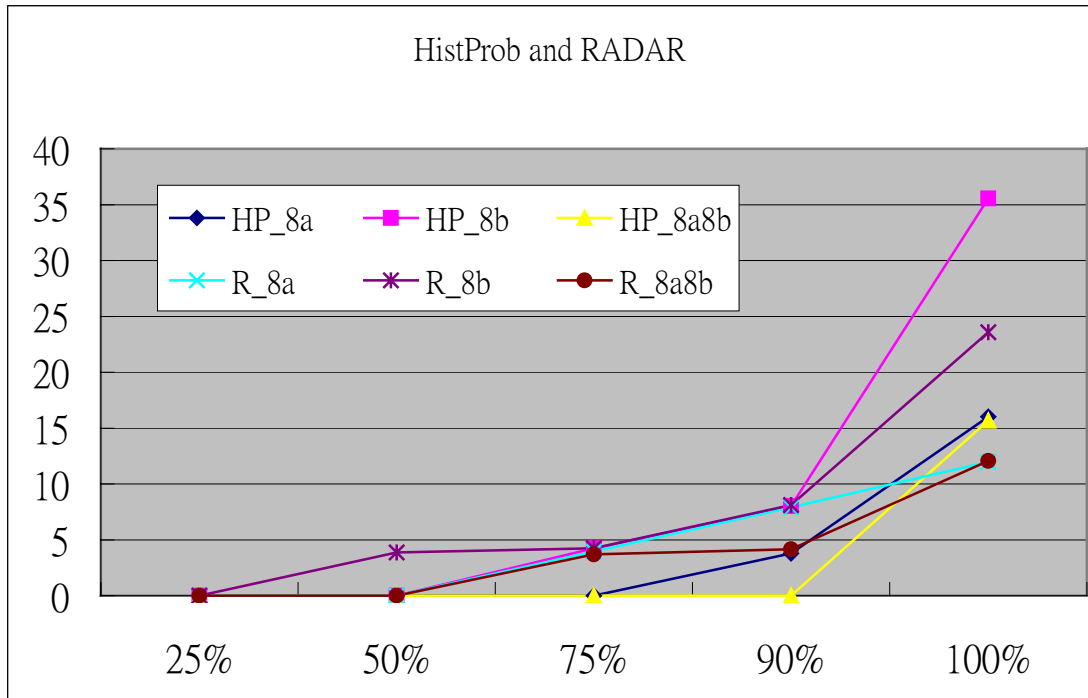


圖 4-6：工四館定位精準度分析

合併圖 4-4 與圖 4-5 可得圖 4-6，精準度最高的為採用機率方式的 802.11a + 802.11b (8a + 8b)，而 802.11a (8a) 與 802.11b (8b) 在採用同樣的方法時，802.11a (8a) 的精準度表現也優於 802.11b (8b)。

讓我們增加量測點，來比較是否有類似現象。

工四館四樓 25 個量測點 (5000 Test Samples)

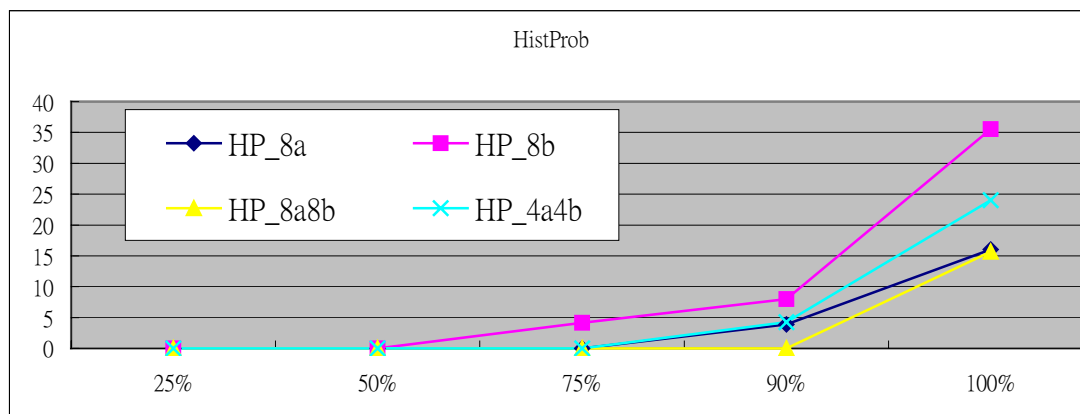


圖 4-7：工四館四樓 RADAR 精準度分析

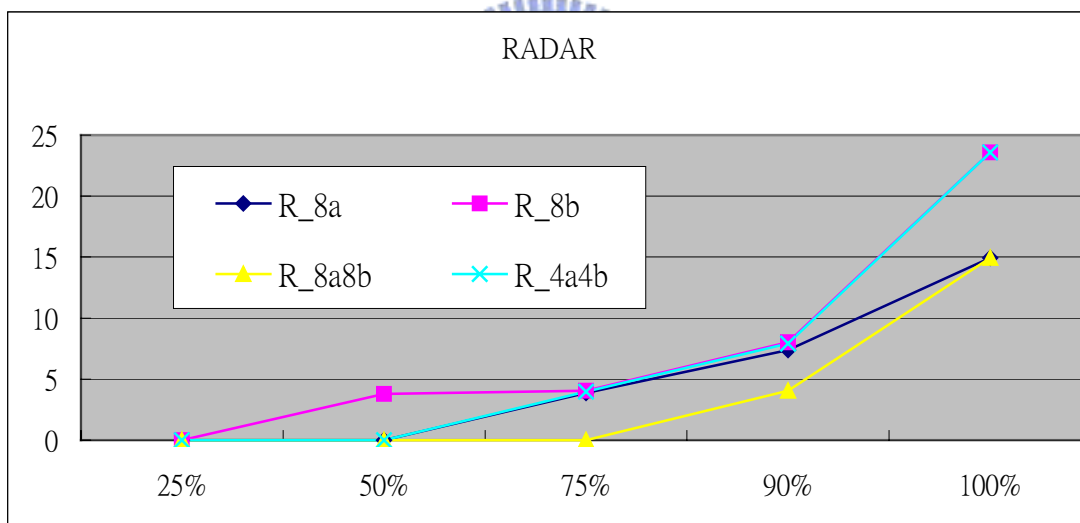


圖 4-8：工四館四樓 HistProb 精準度分析

比較圖 4-7 跟圖 4-8 我們可以發現類似的現象，在 802.11a 跟 802.11b 混合的環境中，不論是採用機率或是 RADAR 的方式，精準度的比較，由最精確到最差依序為：

$$802.11a + 802.11b (8a+8b) > 802.11a (8a) > 802.11a + 802.11b (4a + 4b) > 802.11b (8b)$$

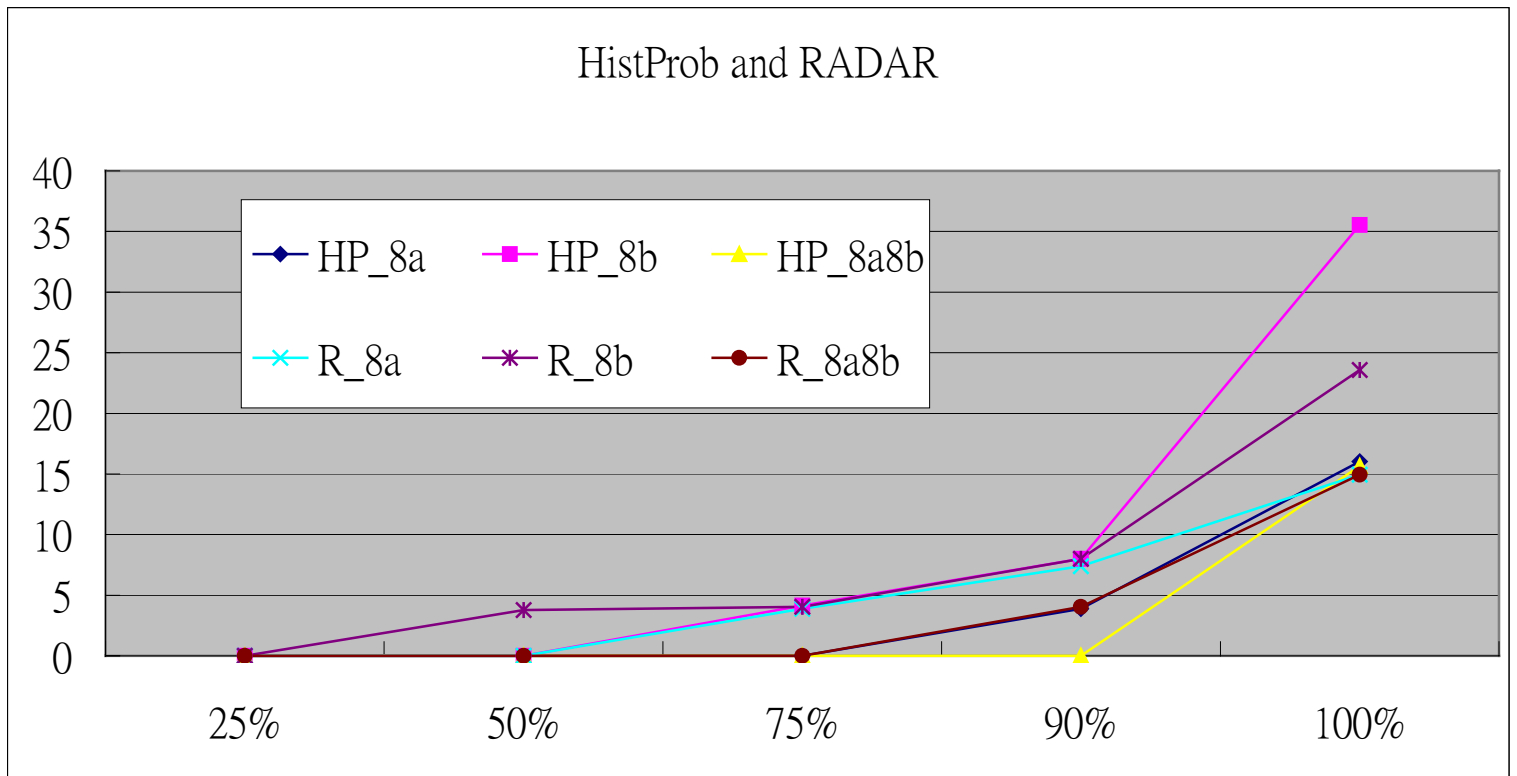


圖 4-9：工四館四樓 RADAR 與 HistProb 精準度分析

合併圖 4-7 與圖 4-8 來看，精準度最高的為採用機率方式的

802.11a + 802.11b (8a + 8b)，而 802.11a (8a) 與 802.11b (8b) 在採用同樣

的方法時，802.11a (8a) 的精準度表現也優於 802.11b(8b)。

浩然圖書館七樓 16 個量測點 (3200 test samples)

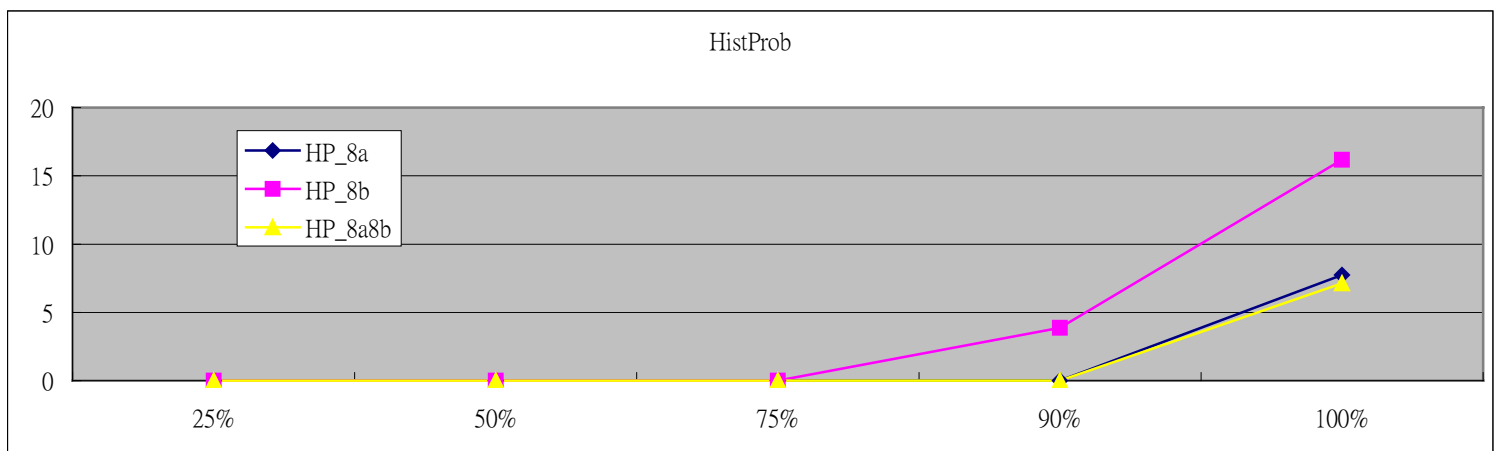


圖 4-10：浩然圖書館七樓 HistProb 精準度分析

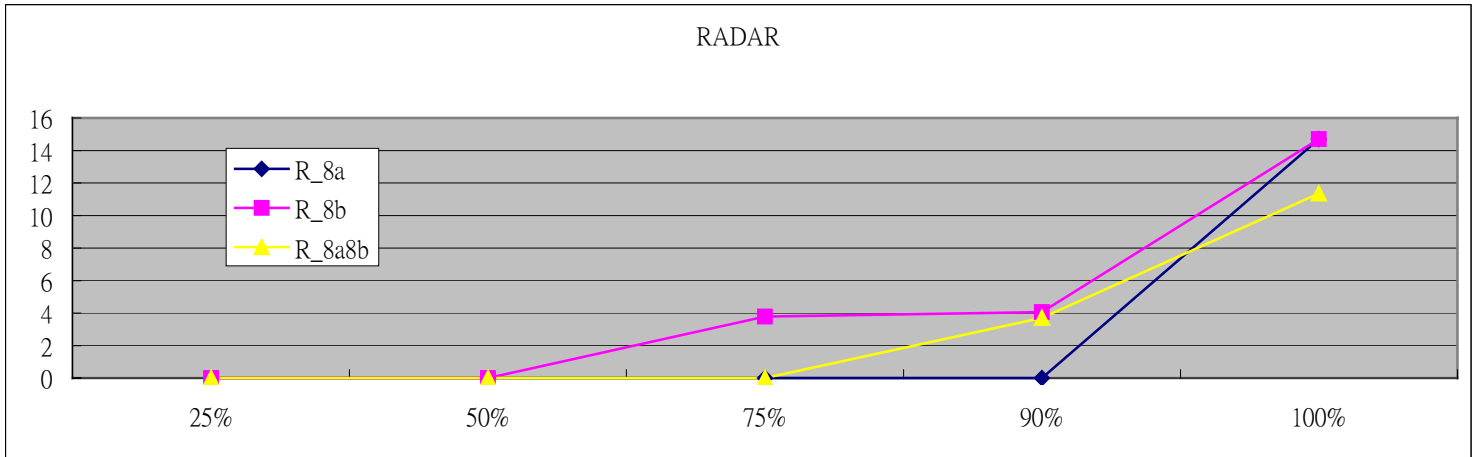


圖 4-11：浩然圖書館七樓 RADAR 精準度分析

在這兩張圖中在機率方法那圖可以發現與之前類似的結論，但是在 RADAR 方式中，居然出現 802.11a 優於 802.11a + 802.11b 的情況。這跟之前 802.11a + 802.11b 精準度最優實驗結果不同。因此我們針對 802.11a + 802.11b 在 RADAR 方式做了權值與內插的方式處理，結果如下：

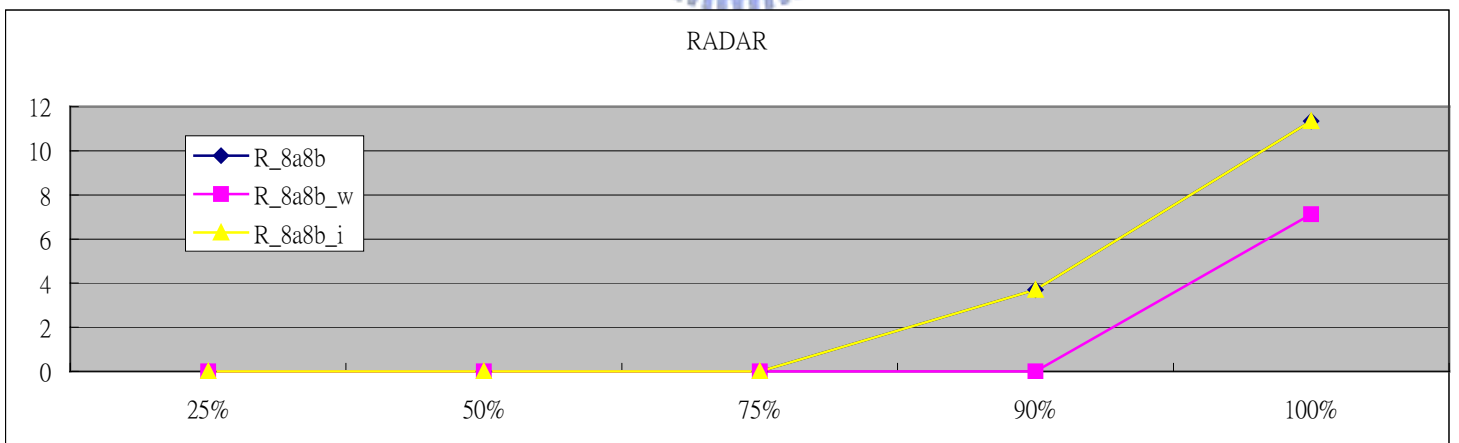


圖 4-12：浩然圖書館七樓 RADAR 使用權值與內插法精準度分析

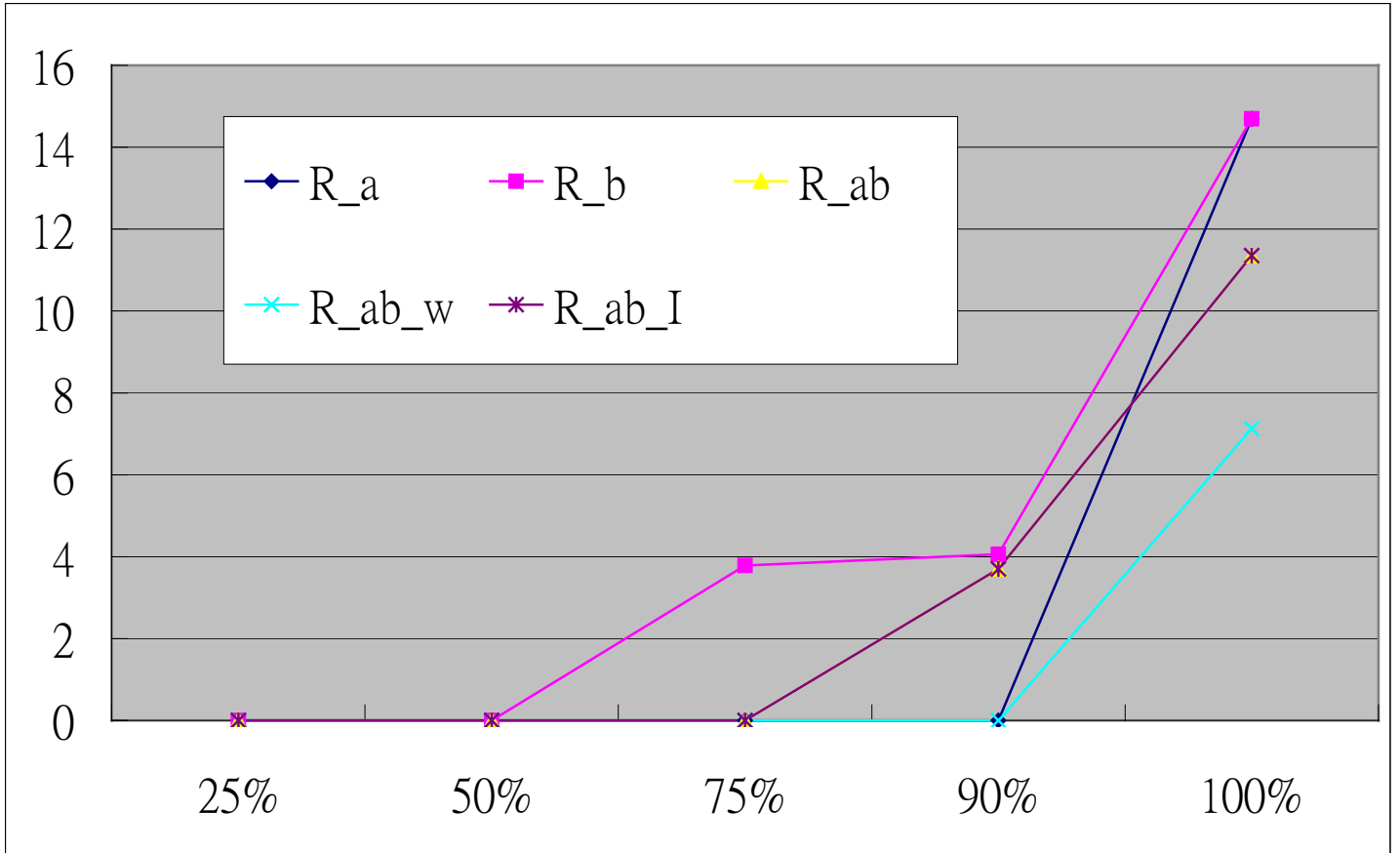


圖 4-13：圖 4-11 與圖 4-12 合併圖

由圖 4-13 可以發現，使權值的方法可以讓 802.11a + 802.11b 在採用 RADAR 的方法時，改善了精準度，並優於之前 802.11a 使用 RADAR 的方法。但是內插部分似乎對於精準度沒有任何改善。

增加測試點由 16 個量測點到 24 個量測點，結果如下：

浩然圖書館七樓 24 個量測點 (4800 test samples) :

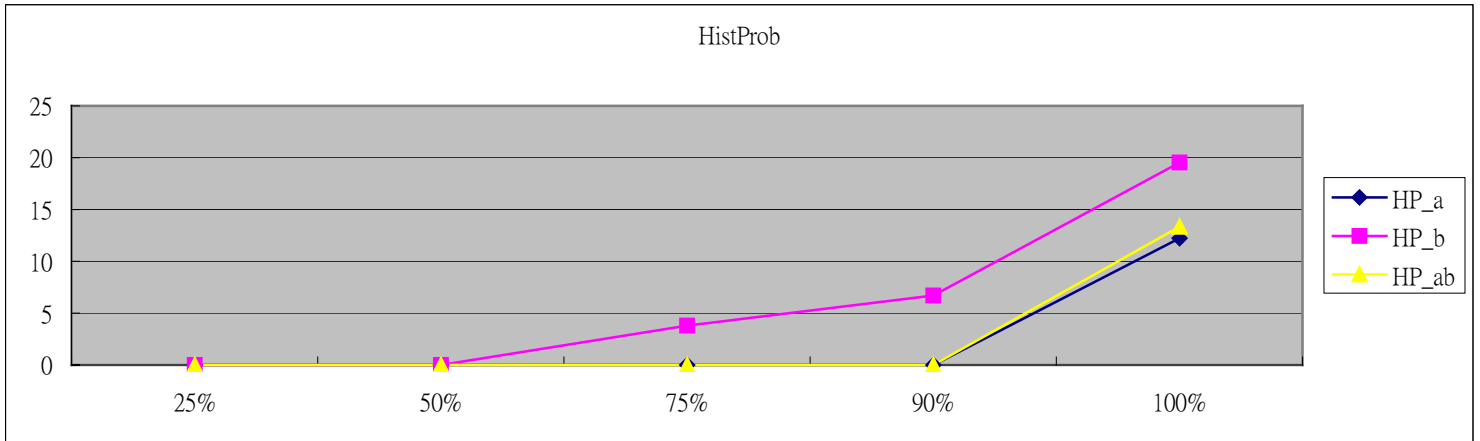


圖 4-14：浩然圖書館七樓 HistProb 精準度分析

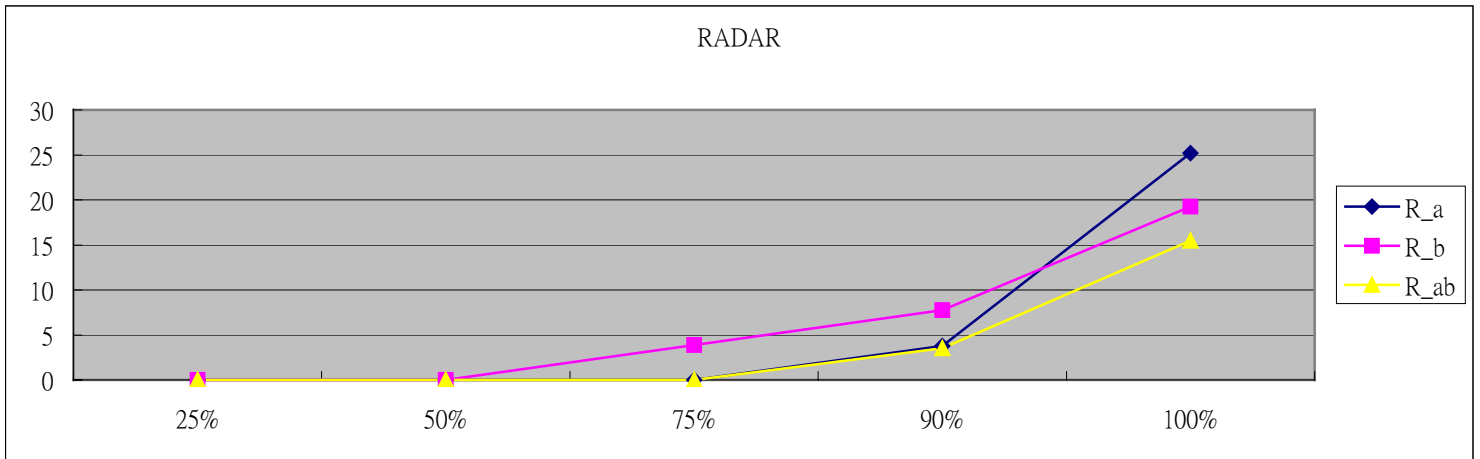


圖 4-15：浩然圖書館七樓 RADAR 精準度分析

在這次的結果中，可以發現 HistProb 802.11a 略優於 HistProb 802.11a + 802.11b 。但在 RADAR 方式中，RADAR 802.11a 與 RADAR 802.11a + 802.11b 很接近。因此我們再使用權值與內插的方式，來比較看看 RADAR 802.11a + 802.11b 的精準度是否能增加。

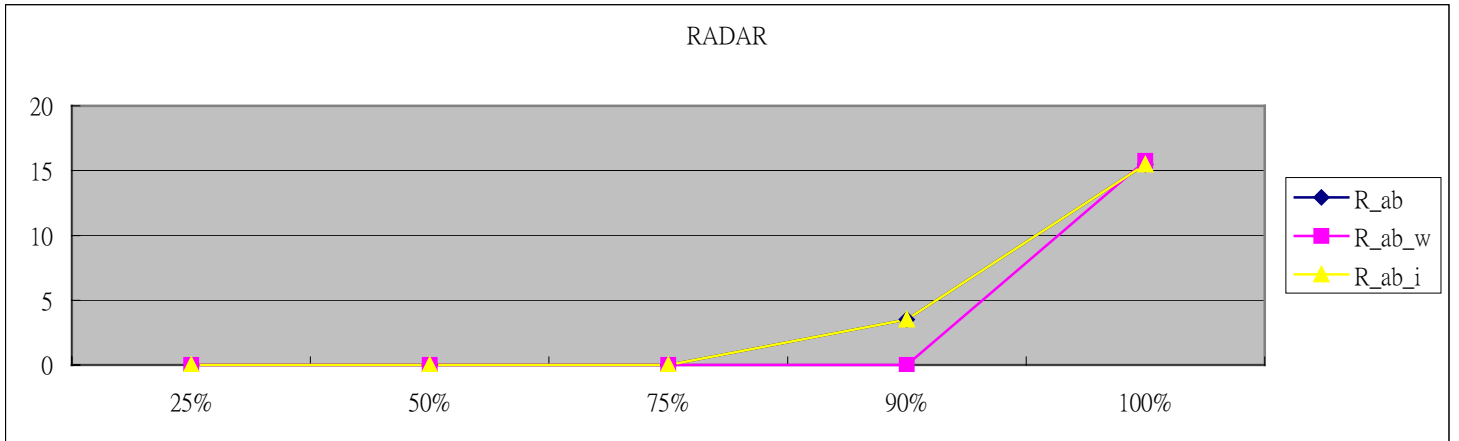


圖 4-16：浩然圖書館七樓 RADAR 使用權值與內插法精準度分析

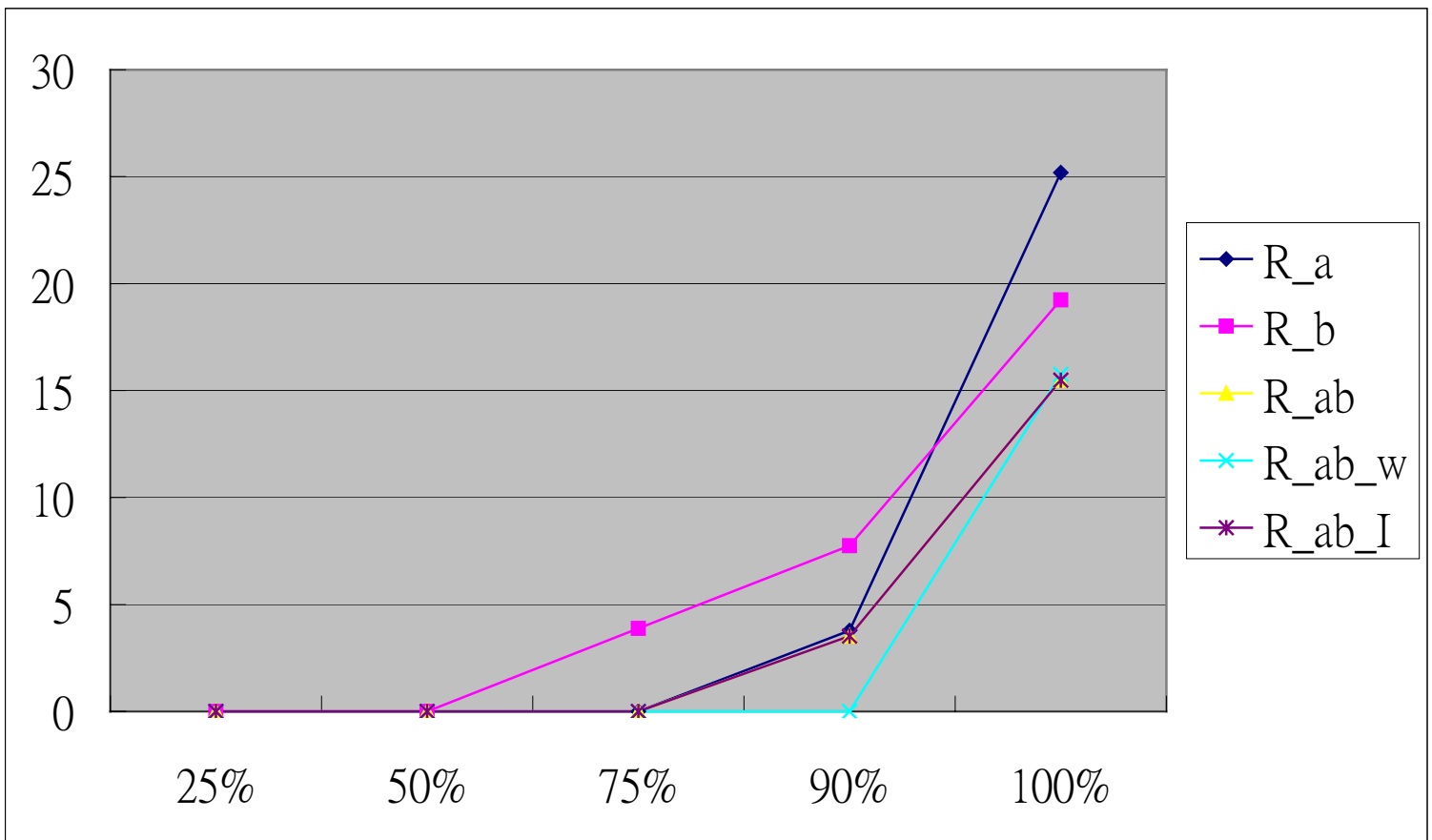


圖 4-17：圖 4-15 與圖 4-16 合併圖

從圖 4-17 可以發現，RADAR 802.11a + 802.11b 在使用權值的方式時，可以改善定位的精準度。但是 RADAR 802.11a + 802.11b 採用內插的方式則與原本單純 RADAR 802.11a + 802.11b 的精確度很接近。

再增加量測點與量測範圍

浩然圖書館量測量點 35 點 (7000 test samples)

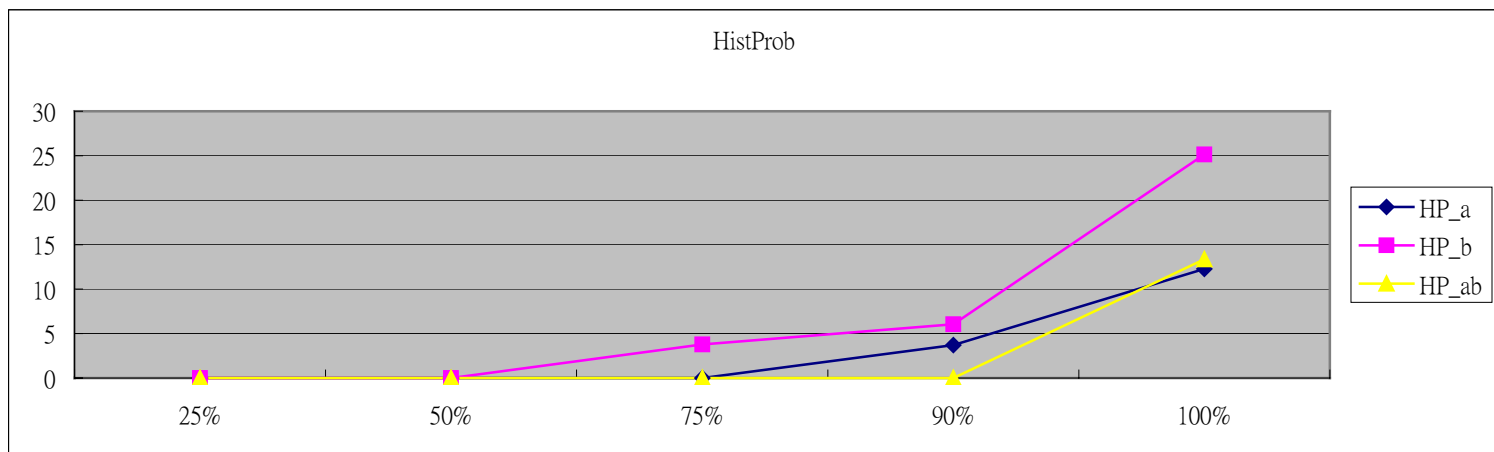


圖 4-18：浩然圖書館七樓 HistProb 精準度分析

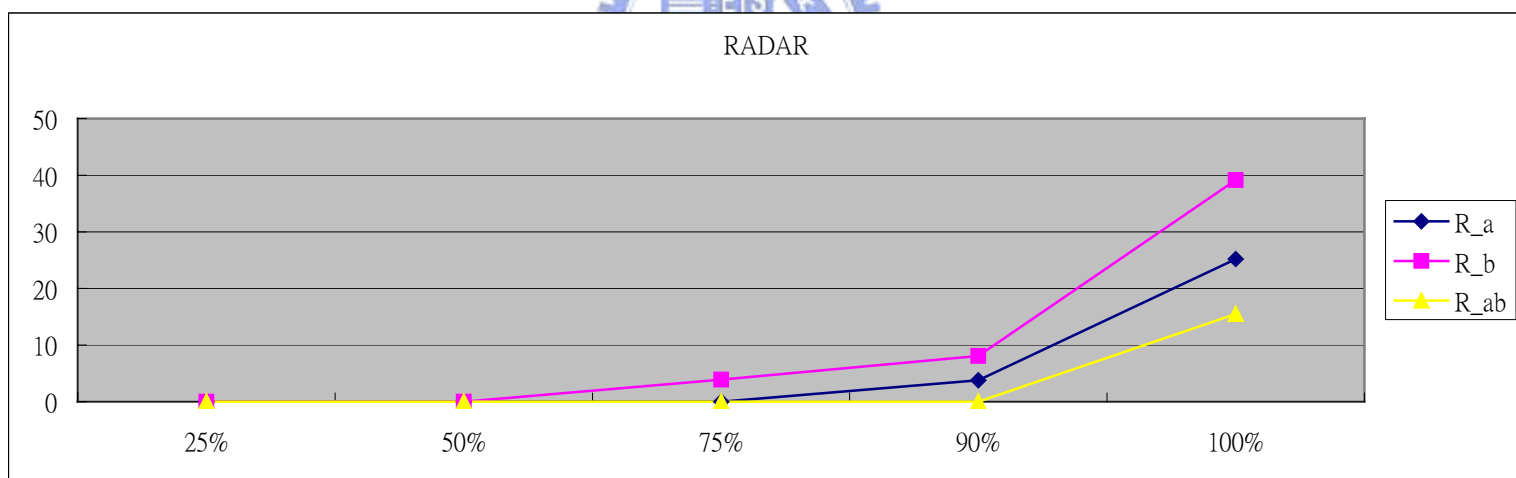


圖 4-19：浩然圖書館七樓 RADAR 精準度分析

HistProb and RADAR

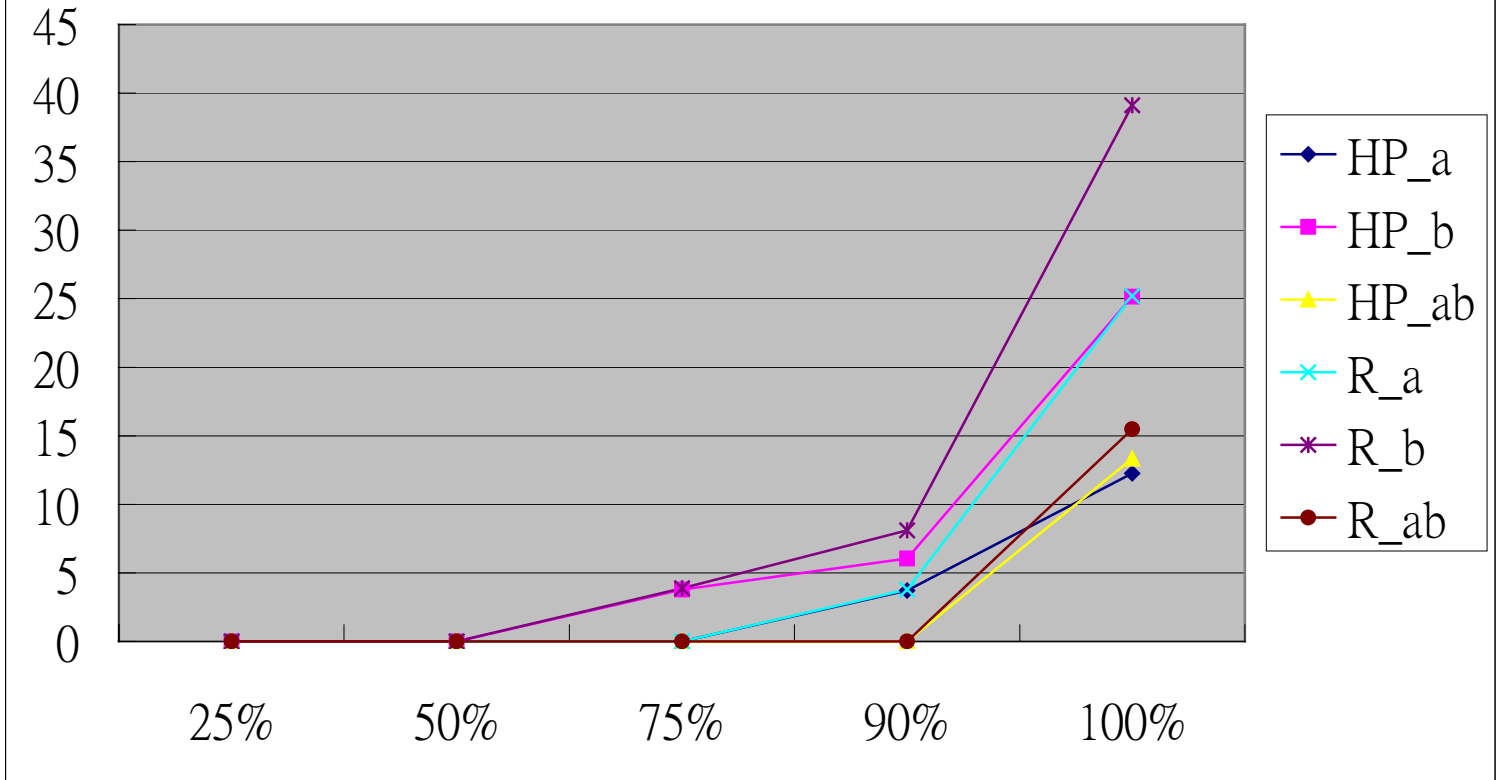


圖 4-20：浩然圖書館七樓 HistProb 精準度分析

我們可以發現 HistProb 802.11a + 802.11b 會有平均最好的精準度，一般說來採用同樣方式時，採用混和的 802.11a + 802.11b 會優於單純 802.11a。而使用 802.11a 會優於 802.11b。

再使用權值與內插法來比較 RADAR 802.11a + 802.11b 的效果：

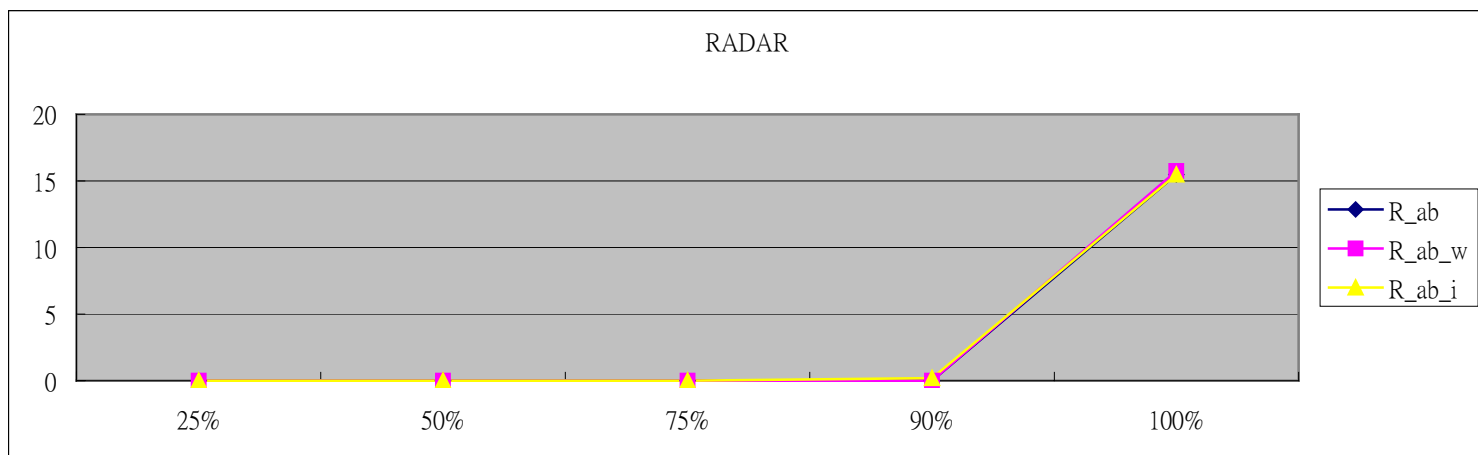


圖 4-21：浩然圖書館七樓 HistProb 精準度分析

觀察圖 4-21 發現使用權值或是內插法的影響力似乎不明顯。比較之前權值發揮作用的時候，是因為 802.11a 有優於 802.11a + 802.11b 的情形產生時，加重 802.11a AP 的權值，可以改善 802.11a + 802.11b 的精準度。若是當 802.11a + 802.11b 優於 802.11a 時，似乎權值的效果就不大。可能原因是當 802.11a 有優於 802.11a + 802.11b 的情形產生時，誤差的來源是 802.11b AP 的影響，所以加重 802.11a 的權值，可以將 802.11b AP 的影響減少，而減少誤差，甚至提高精準度。

但為何內插法不能發揮預期減少誤差的效果，檢視內插法在產生內插的訓練點時，是由三個訓練點共同的 AP 訊號為依據，沒有三個都有的 AP 則捨棄。內插出來的訓練點與原有實際量測的訓練點相比，內插出來的訓練點平均的 AP 數量少於實際量測的訓練點的平均

數量。很可能是因爲這原因，造成內差點與實際點的特徵變少，所以無法發揮預期減少誤差的效果。



第五章、 結論

本篇論文提出在混合 802.11a 與 802.11b 的無線環境下的三個改善精準度的方法中，無論是使用 RADAR 或是 HistProb 定位方法，以將 802.11a + 802.11b 改善最為明顯。因為我們使用的是 802.11a + 802.11b AP，雖然實體 AP 數量為 8 台，但是同時接收 802.11a 與 802.11b 的訊號來做預估測試點位置時，會有邏輯上相當兩倍的 AP 數量，所以對於定位精確度會有相當的改善。

當我們將比較的訓練資料 AP 數量都固定為 8 台時，802.11a(8a) 會較 802.11a + 802.11b (4a + 4b) 來得精確。而混合 802.11a + 802.11b (4a + 4b) 會優於單純 802.11b (8b)。因此我們可以得知增加 802.11a AP 的數量，能改善定位的精確度，這情況應該是因為 802.11a AP 訊號強度會隨距離衰減的程度較 802.11b AP 來得明顯的緣故。因此可以藉由增加 802.11a + 802.11b AP 或 802.11a AP 的數量來改善定位精確度。

RADAR 使用權值的方式，在有些 802.11a + 802.11b 精準度輸給 802.11a 的情況下，會有改善的空間。因為藉由增加 802.11a AP 的權值，可以減少 802.11b AP 的影響力，讓 802.11a + 802.11b 所

得到精確度會優於單純的 802.11a 或 802.11b 。

內插法的部分，由目前實驗結果來看，並沒有明顯改善定位精確度的情況，可能是因為在產生內插點時，使用三個測量點都共同有量測到 AP 訊號，因此所捨棄沒有共同性 AP 資訊造成該內插資料的平均 AP 數量會較與實際訓練點的平均 AP 數量來的少，進而使得其特徵資料變少，而無法有效增加定位精確度。因此未來方向可以朝如何保留更多 AP 資訊來努力。



參考文獻

- [1] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An RF-Based In-Building User Location and Tracking System", Proc. IEEE Infocom, March 2000
- [2] Bahl, P., Balachandran, A., Padmanabhan, V. N., "Enhancements to the RADAR User Location and Tracking System", Microsoft Research Technical Report, February 2000.
- [3] H. T. P. M. J. S. Teemu Roos, Petri Myllymaki, "A probabilistic approach to WLAN user location estimation", 9, 2002
- [4] Hurn. J. , "GPS a guide to the next utility", Trimble Navigation Ltd., Sunnyvale, 1989
- [5] Garmin, (<http://www.garmin.com>), about GPS
- [6] Ashtech Magellan Corporation : GG24 Receiver , (<http://www.ashtech.com>)
- [7] P. Enge and P. Misra. Special issue on GPS: The Global Positioning System. Proceedings of the IEEE, 87:3–15, 1999.
- [8] 國立台灣海洋大學通訊與導航工程研究所, 衛星導航系統實驗室, (<http://www.gct.ntou.edu.tw/snl/gps.htm>)
- [9] Federal Aviation Administration, (<http://gps.faa.gov/Programs/WAAS/waas.htm>)
- [10] Liwen Dai, "Dual-Frequency GPS/GLONASS Real-Time Ambiguity Resolution for Medium-Range Kinematic Positioning", 2000
- [11] Liwen Dai, Shaowei Han, Chris Rizos, "Performance Analysis of Integrated GPS/GLONASS Carrier Phase-Based Positioning", 2001
- [12] T. Walter, C. Kee, Y.C. Chao, Y.J. Tsai, U. Peled, J. Ceva, A. K. Barrows, E. Abbott, D. Powell, P., "Enge, and B. Parkinson Flight Trials of the Wide-Area Augmentation System (WAAS)", 1994

[13] Demoz Gebre-Egziabher, Sherman C. Lo, J. David Powell, Per Enge, "GPS Supplemental Navigation Systems for Use During the Transition to a Sole-Means-GPS National Airspace System", 1999

[14] Samuel P. Pullen, Per K. Enge, and Bradford W. Parkinson, "Global Optimization of GPS Augmentation Architectures using Genetic Algorithms", 1995

[15] RFID 技術與應用, 日經 BP 社 RFID 技術編輯部, 2004/09

