

無線區域網路中利用二階段樣式比對法之室內定位策略

Using Two-stage Pattern Matching for Indoor Positioning Policy in WLANs

洪啟富
C.-F. Hung
國立臺北科技大學
電腦與通訊研究所
t6419003@ntut.edu.tw

莊豐錨
F.-M. Jhuang
國立臺北科技大學
電腦與通訊研究所
shunmin@ms15.hinet.net

段裘慶
C.-C. Tuan
國立臺北科技大學
電腦與通訊研究所
cctuan@ntut.edu.tw

摘要

近幾年，由於智慧型裝置普及，促成定位服務大量被應用於行動導覽服務。雖然GPS在室外進行導覽成效佳，不過在室內仍是個挑戰。訊號紋特徵比對法為具高精確度之室內定位方法，但由於訊號紋特徵比對法是逐一與訊號紋特徵資料庫的資料進行樣本比對法運算，當定位環境較大時，資料庫資料變多，將增加行動裝置運算負荷。此外，當使用者增加時，資料庫同時回傳大量訊號紋特徵資料至行動裝置進行運算，可能因無線網路壅塞，導致資料傳輸速度變慢，進而影響定位服務完成時間。本研究提出二階段樣式比對法，採主從式架構以減輕行動裝置運算負荷及無線網路的資料傳輸負載，並利用參考標籤縮小定位範圍以減少樣式比對次數及所需運算時間。

關鍵詞：室內定位、訊號紋特徵定位法、二階段樣式比對法、主從式架構、無線區域網路。

Abstract

In recent years, positioning services are increasingly used for navigation with the growing popularity of smart devices. While outdoor navigation based on GPS works well, indoor navigation is a much tougher challenge. Fingerprinting is more accurate indoor

positioning methods. By fingerprinting, it is possible to determine the position of people with good accuracy in an indoor environment. In this research, we propose a two-stage pattern matching policy to reduce the positioning time and the power consumption of mobile devices. The positioning system constructed with client-server architecture for reducing the computation of mobile devices, and used reference tags to narrow down positioning range for reducing pattern matching times.

Keywords: Indoor Positioning, Fingerprinting, Two-stage Pattern Matching, Client-Server Architecture, WLANs.

1. 前言

近年來許多智慧型裝置被發展出來，如智慧型手機、平板電腦、智慧型手錶及智慧型眼鏡，使其用戶數量成爆發性成長。為了提供智慧型手機用戶更好服務體驗，位置感知應用 (Location Aware Applications) 受到關注，許多學者研究如何提供適合智慧型手機用戶之定位服務[3][7][8]。目前智慧型手機大多具全球定位系統 (Global Positioning System, GPS) [5] 功能，並作為提供適地性服務 (Location Based Services, LBS) 之用 [7][8]。

不過，因 GPS 技術本身具有局限性，衛星信號無法穿透建築物，所以當使用行動設備用戶在室內環境時，GPS 定位精準度會降低、誤差距離變大，無法提供有效的室內定位服務 [6][13]。

由於許多室內場所(如機場、咖啡廳、餐廳、圖書館、博物館及美術館等)已建置無線區域網路(Wireless Local Area Network, WLANs)，提供網際網路存取服務給客戶使用，使得 WLANs 定位技術具有建置成本低廉優勢，成就 WLANs 成為未來最具發展潛力的室內定位技術之一。而室內場所是一個複雜的環境，在無線訊號傳播過程中容易受到人員走動和障礙物遮蔽影響，導致無線訊號大幅衰減，或是無線訊號的多重路徑效應(Multipath Effect) 也會造成無線訊號強度很大的差異 [9]。所以 WLANs 定位技術如何克服環境變動所帶來的影響是個值得研究議題。

2. 文獻探討

目前已有多位學者提出不同的室內定位技術解決方案，如紅外線定位技術 [14]、超音波定位技術 [12]、射頻識別技術 [11] 及無線區域網路技術 [10] 等，其技術說明簡述如后。

2.1 紅外線定位技術(Infrared Positioning Systems)

紅外線定位技術是 R. Want 等學者在 1992 年所提出的 Active Badge 室內定位系統，當攜帶著 Active Badge 的使用者進入到已佈署紅外線訊號接收器的室內環境，Active Badge 會每隔 15 秒會發送 1 個唯一識別碼的信標(Beacon)，當室內環境中的訊號接收器接收到 Beacon，判斷使用者所在位置 [14]。雖然紅外線具有不錯的室內定位精確度，不過因為紅外線傳輸距離短，且容易受到物體的遮蔽影響，

導致在實際環境中定位效果不佳。

2.2 超音波定位技術(Ultrasonic Positioning Systems)

在 2005 年麻省理工學院利用超音波技術發展 Cricket 定位系統，其中包含發送端(Beacon) 和接收端(Listener)，透過發送端同時發送無線電波和超音波，因為無線電波會比超音波提前到達接收端，藉由接收端收到無線電波和超音波的時間差(Time Difference of Arrivals, TDOA)，可以計算出接收端的位置資訊 [12]。由於此定位技術須將發送端固定在接收端的相對位置，因超音波容易受到多重路徑效應和非視距(Non-Line-of-Sight, NLOS)傳播影響定位精準度，且需要投資大量硬體設施，所以不適合廣泛應用於實際環境中。

2.3 射頻識別技術(Radio Frequency Identification, RFID)

在 2004 年 Lionel 等學者提出 LANDMARC 定位技術，使用參考標籤(Reference Tag)來輔助 RFID 定位計算，利用 RFID Reader 接收到 Reference Tag 與 Tracking Tag 訊號強度之差異度進行定位 [11]。此定位技術容易因物體遮蔽或是人員走動造成無線訊號強度衰減，進而影響定位精確度。

2.4 無線區域網路技術(Wireless Local Area Network, WLANs)

目前智慧型手機及平板電腦等行動裝置都已支援 WLANs 功能，利用室內場所已廣泛建置的 WLANs 環境來實現室內定位具有低成本優勢。WLANs 定位技術以 2000 年由 P. Bahl 等學者提出 RADAR (Radio Detection and Ranging) 定位系統 [1][2] 較為著名，亦是最早使用於 WLANs 環境之定位系統。RADAR 採用訊號紋特徵定位法(Fingerprinting)，其原理簡

單來說，主要是利用無線存取點(Access Point, AP)部署於不同的位置，在定位環境內的各個定點所接收到的 RSSI(Received Signal Strength Indicator)也不盡相同的特性，透過樣式比對法(Pattern Matching)估算使用者所在位置。

RADAR 定位系統可分為兩個階段。第一階段為離線階段(Off-line)，主要是使用內建 IEEE 802.11b (Wi-Fi)無線網卡的行動終端裝置於定位環境的每個訓練點量測各個 AP(Access Point)之訊號強度 (Received Signal Strength, RSS)，以建立無線訊號紋特徵(Radio Map)資料庫。第二階段為連線階段(On-line)，於使用者所在位置，藉由行動終端裝置所測量到各AP的訊號強度，與離線階段所建立之Radio Map進行Pattern Matching運算，以計算該使用者所在位置[1]。

RADAR 定位系統以平均值方式計算所蒐集到 AP 信號強度，在實際 WLAN 環境下，會因多重路徑效應(Multipath Effect)或人體遮蔽影響導致定位誤差增加。在 2012 年 N. L. Dortz 等學者提出以機率分佈(Probability Distribution)方式計算所接收到的 RSS 數值，並利用巴氏距離(Bhattacharyya Distance)公式計算使用者所在位置與離線階段各訓練位置之 RSS 機率分佈相似度，接下來，選出數個巴氏距離數值最低的訓練點，再以權重值公式計算出用戶所在位置，該方法經模擬結果驗證較 RADAR 定位系統，可有效提昇定位精準度 [4]。

由於 Fingerprinting 在離線階段需要花費許多人力與時間，於各訓練位置蒐集 RSS 數值，以建立 Radio Map。在 2013 年 J. Kim 等學者提出利用行人航位推算(Pedestrian Dead Reckoning, PDR)技術，即智慧型手機內建的陀螺儀(Gyroscope)和加速度計(Accelerometer)等感測元件，在離線階段，蒐集者攜帶智慧型手機行走在定位環境之預先規劃路徑中，手機的

應用程式會自動蒐集 RSS 及估算蒐集者位置，並建立 Radio Map，以縮短離線階段建立 Radio Map 所需時間[7][8]。

Fingerprinting 為目前眾多室內定位方法中，具高精確度的定位方法之一，但由於 Fingerprinting 在執行定位運算是逐一與 Radio Map 的資料進行樣本比對，當定位環境較大時，資料庫的訊號紋特徵資料變多，將增加行動裝置之運算負荷，此外，當定位服務使用者增加時，Radio Map 需要同時回傳大量 Fingerprint 資料至行動裝置進行 Pattern Matching 運算，可能造成無線網路壅塞，導致資料傳輸速度變慢，進而影響定位服務完成時間。

3. 室內定位服務架構及策略

室內定位服務的優劣除了取決於定位的精確度外，考量室內定位服務大都是持有智慧型手機用戶在使用，所以手機電量的消耗程度亦是一個重要的參考因素。

3.1 室內定位服務架構

為減輕行動裝置運算量及避免因無線網路的資料傳輸壅塞，導致定位時間延遲，本研究提出的二階段樣式比對法室內定位服務採主從式架構(Client-Server Architecture)，其室內定位服務架構如圖 1。

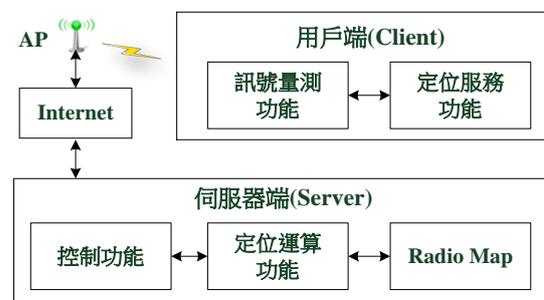


圖 1 本研究之室內定位服務架構示意圖

3.1.1 用戶端(Client)功能模組

用戶端由定位服務功能模組及訊號量測功能模組所組成，定位服務功能是提供定位服務之使用者介面、定位服務請求、資料傳遞及接收；訊號量測功能主要是負責蒐集定位運算所需的 Wi-Fi RSS 資料。

3.1.2 伺服器端(Server)功能模組

伺服器端由控制功能模組、定位運算功能模組及 Radio Map 資料庫所組成，控制功能負責接收用戶端定位需求、確認用戶端是否有使用權、產生事件識別碼(Event ID)、資料接收及傳遞；定位運算功能負責執行定位服務所需相關運算；Radio Map 資料庫負責儲存 Fingerprint 資料，包括訓練位置座標、參考標籤、AP 之 MAC address 及各個 AP 之 RSS 機率分佈值等資料。

3.2 建立訊號紋特徵(Radio Map)資料庫

在 IEEE 802.11 無線區域網路(Wi-Fi)之室內定位環境中，人員須先以行動裝置於各訓練位置蒐集所能接收到 Wi-Fi AP 之 RSS，計算其機率分佈，並將計算結果儲存至資料庫，以建立 Radio Map 資料庫，作為執行定位服務所需訊號紋特徵之樣式比對運算之用。流程圖如圖 2 所示。

首先，在室內定位環境中，將空間劃分為 l 個訓練位置(Training Location, TL)，其座標為 $TL_{(x,y)}$ ， $TL_{(x,y)}$ 之間距離採等距劃分。此外，當 $TL_{(x,y)}$ 之 x 軸及 y 軸同為奇數及偶數時，將該 $TL_{(x,y)}$ 標註參考標籤(Reference Tag)。人員於每個訓練位置 $TL_{(x,y)}$ ，測量該位置所能接收到 AP 之 RSS 值，每個 AP 蒐集 n 個 RSS 樣本數，並由大至小排序。為降低因多重路徑效應 (Multipath. Effect) 或人體對 Wi-Fi 訊號的遮蔽，導致 RSS 忽高忽低所產生的定位誤差，將每個 AP 排序前 $m\%$ 及後 $m\%$ 的 RSS 樣本視為雜訊

並刪除。

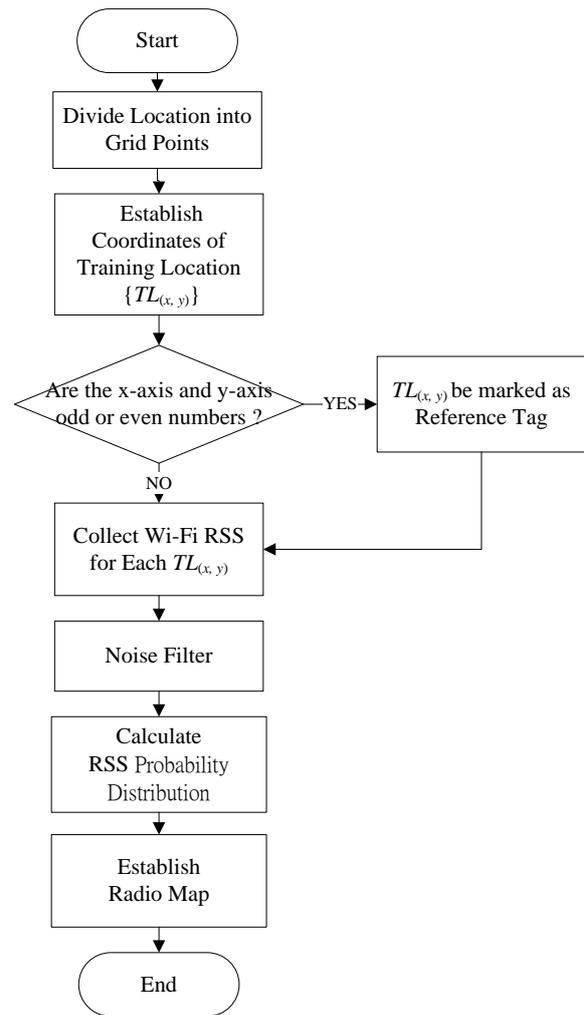


圖 2 建立 Radio Map 資料庫流程圖

接下來，計算在每個訓練位置 $TL_{(x,y)}$ 所蒐集到每個 AP 的 RSS 機率分佈 $P_k(RSS)$ ，如公式(1)所示。

$$P_k(RSS) = \frac{N_k(RSS)}{n} \quad (1)$$

其中， $N_k(RSS)$ 代表第 k 個 AP 之 RSS 值之數量； n 代表第 k 個 AP 之 RSS 樣本數。

最後，當所有蒐集的 RSS 完成機率分佈計算，將訓練位置 $TL_{(x,y)}$ 、參考標籤 RT、無線存取點 AP_k 及 RSS 機率分佈 $P_k(RSS)$ 等資料儲存至資料庫，以建立 Radio Map 資料庫，其資料表範例如表 1。

表 1 Radio Map 資料表範例

$TL_{(x,y)}$	RT	AP_k	$P_{k(RSS_{min})}$	...	$P_{k(RSS_{max})}$
(1,1)	Y	AP_1	$P_{1(RSS_{min})}$	...	$P_{1(RSS_{max})}$
(1,1)	Y	AP_2	$P_{2(RSS_{min})}$	...	$P_{2(RSS_{max})}$
(1,1)	Y	AP_3	$P_{3(RSS_{min})}$	...	$P_{3(RSS_{max})}$
(2,1)	N	AP_1	$P_{1(RSS_{min})}$	...	$P_{1(RSS_{max})}$
...
(x,y)	Y or N	AP_k	$P_{k(RSS_{min})}$	...	$P_{k(RSS_{max})}$

3.3 二階段樣式比對法(Two-stage Pattern Matching)

為降低傳統 Fingerprinting 之樣式比對次數及縮短所需定位運算時間，本研究提出的二階段樣式比對法，不需要像傳統 Fingerprinting 比對 Radio Map 資料庫內所有訊號紋特徵資料，而是利用參考標籤來縮小樣本比對範圍，並以交集公式計算 RSS 機率分佈相似度，以降低定位運算複雜度。本研究之室內定位服務順序圖 (Sequence Diagram) 如圖 3 所示。

以下為詳細的定位服務順序圖說明：

- (1) 用戶端定位服務功能向伺服器端控制功能提出定位服務請求。
- (2) 伺服器端判斷用戶端是否符合使用權，如符合使用資格，產生 Event ID，並回覆用戶端同意其定位要求及 Event ID，如不符合使用資格，則回覆不同意。
- (3) 用戶端定位服務功能要求訊號量測功能，開始蒐集用戶端所在位置各個 AP 之 RSS。
- (4) 訊號量測功能將所蒐集 Fingerprint 資料送到定位服務功能。
- (5) 用戶端定位服務功能將 Fingerprint 資料及 Event ID 送到伺服器端控制功能。
- (6) 控制功能檢核 Event ID，將 Fingerprint 資料及 Event ID 送至定位運算功能。
- (7) 定位運算功能開始計算 RSS 機率分佈

$Q_k(RSS)$ 。

- (8) 定位運算功能向 Radio Map 提出第一次 Fingerprint 資料需求。
- (9) Radio Map 回傳 Fingerprint 資料至定位運算功能。
- (10) 定位運算功能執行第一次樣式比對法運算。
- (11) 定位運算功能向 Radio Map 資料庫提出第二次 Fingerprint 資料需求。
- (12) Radio Map 資料庫回傳 Fingerprint 資料至定位運算功能。
- (13) 定位運算功能執行第二次樣式比對法運算，計算出最接近用戶端所在位置。
- (14) 定位運算功能將計算結果回傳控制功能。
- (15) 控制功能將最接近用戶端所在位置座標，回傳至用戶端定位服務功能。

以下為詳細二階段樣式比對法之計算說明，當定位運算功能向 Radio Map 資料庫提出第一次 Fingerprint 資料需求，Radio Map 回傳有標註參考標籤之 RSS 機率分佈值 $P_k^{(x,y)}$ ，定位運算功能以交集 (Intersection) 公式，開始進行第一次樣本比對運算，即計算每個 AP 之 RSS 相似度 $SS_k^{(x,y)}$ ，如公式(2)。

$$SS_k^{(x,y)} = \sum_{RSS_{min}}^{RSS_{max}} \min [P_k^{(x,y)}(RSS), Q_k(RSS)] \quad (2)$$

其中， $SS_k^{(x,y)}$ 表示用戶端位置與訓練位置 $TL_{(x,y)}$ 之第 k 個 AP 之 RSS 相似度，其值介於 0 到 1 之間； $P_k^{(x,y)}$ 表示在 $TL_{(x,y)}$ 位置量測到第 k 個 AP 之 RSS 機率分布； $Q_k(RSS)$ 表示在用戶端位置量測到第 k 個 AP 之 RSS 機率分布。

接下來，將同一訓練位置之 RSS 相似度 $SS_k^{(x,y)}$ 加總除以 AP 數 k ，可得到位置相似度 $LS_{(x,y)}$ ，其值介於 0 到 1 之間，如公式(3)。

$$LS_{(x,y)} = \frac{\sum_{i=1}^k SS_i^{(x,y)}}{k} \quad (3)$$

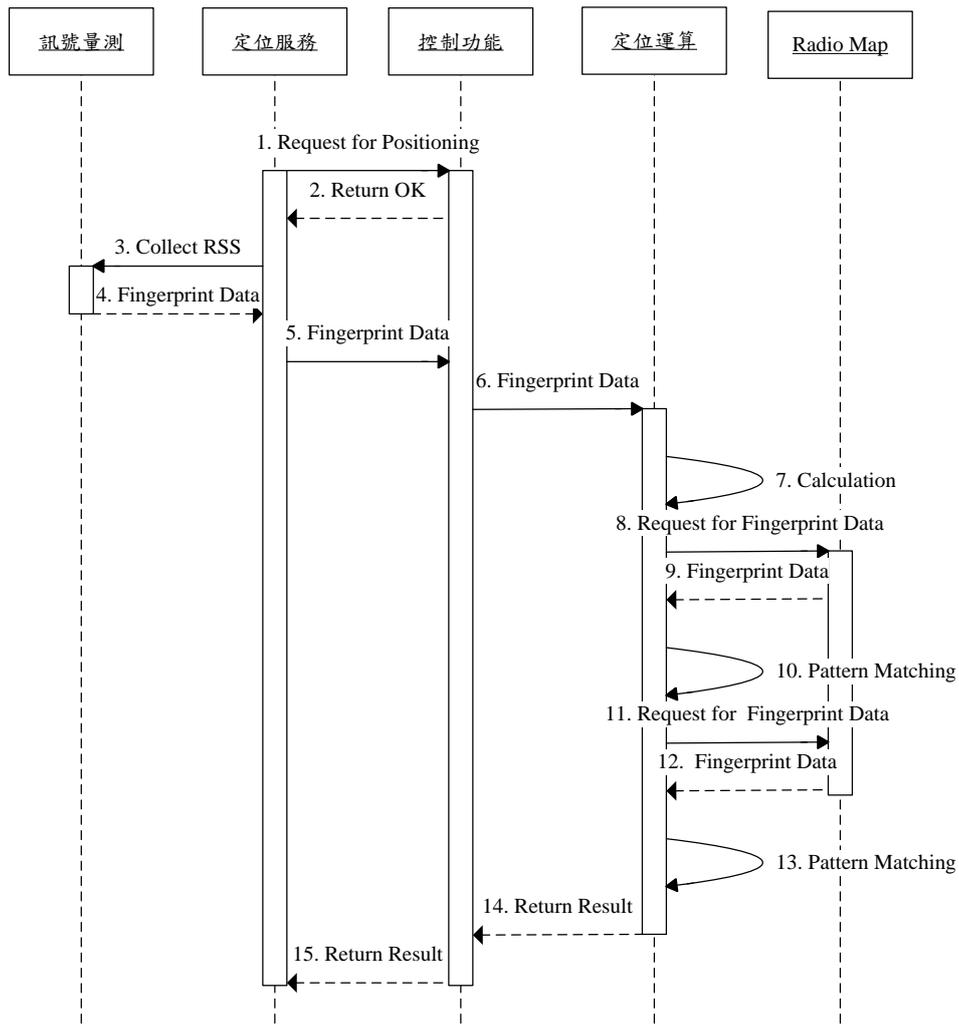


圖 3 本研究之室內定位服務順序圖

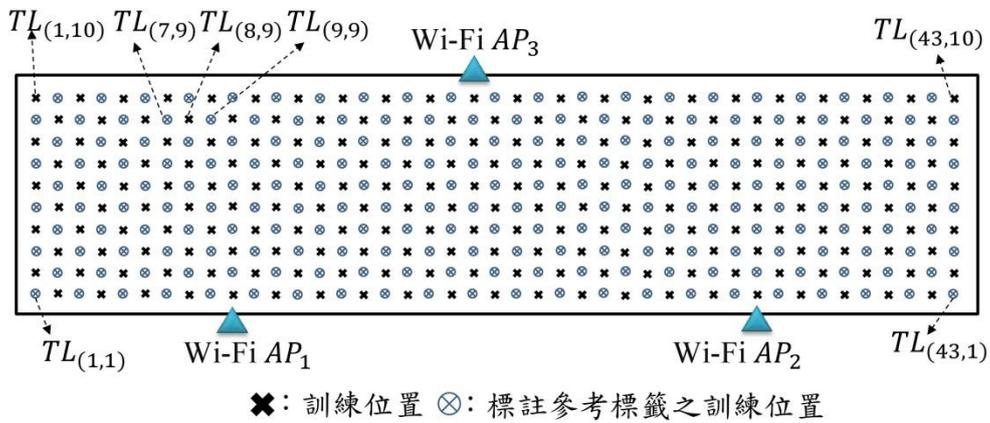


圖 4 本研究之模擬環境示意圖

由已計算位置相似度的結果中，選擇前兩個最大數值之訓練位置 $TL_{(x_i,y_j)}$ 及 $TL_{(x_a,y_b)}$ ，再次向 Radio Map 資料庫提出第二次 Fingerprint 資料需求，Radio Map 資料庫回傳 $TL_{(x_i,y_j)}$ 及 $TL_{(x_a,y_b)}$ 兩點連線間訓練位置之 Fingerprint 資料，定位運算功能以公式(2)(3)再次計算位置相似度 $LS_{(x,y)}$ 。

最後，自所有已計算位置相似度 $LS_{(x,y)}$ 中選出最大數值之訓練位置 $TL_{(x,y)}$ ，即為最接近用戶端位置座標。

以圖 4 舉例來說，假設第一次樣式比對結果， $TL_{(7,9)}$ 及 $TL_{(9,9)}$ 為前兩個最大位置相似度 $LS_{(x,y)}$ 值之訓練位置，其值分別為 0.95 及 0.9，接下來，定位運算功能向 Radio Map 資料庫提出訓練位置 $TL_{(8,9)}$ 之 Fingerprint 資料需求，定位運算接收到資料，開始計算 $TL_{(8,9)}$ 之位置相似度得到 0.92，經比較已計算 $LS_{(x,y)}$ 值之訓練位置， $TL_{(7,9)}$ 之 $LS_{(7,9)}$ 值 0.95 為最大值，所以 $TL_{(7,9)}$ 為最接近用戶端位置座標。

4. 模擬與效能分析

本研究模擬環境將以本校第三教學大樓中庭為範圍，其長度為 44 公尺，寬度為 11 公尺，規劃建置 430 個訓練位置，訓練位置間距為 1 公尺，模擬環境配置如圖 4 所示。

本研究採用 JAVA 程式語言撰寫模擬環境所需用戶端與伺服器端功能，模擬參數如表 2 所示，並規劃以平均定位誤差(Average Positioning Error, APE)、累積分佈函數(Cumulative Distributive Function, CDF)、平均定位時間(Average Positioning Time, APT)及平均耗電量(Average Power Consumption, APC)為評估因子，並與其他 Fingerprinting 方法[1][4]作比較分析。

表 2 本研究之模擬參數

模擬參數	設定值
模擬環境 Size	44m*11m
l : 訓練位置數量	430 個
k : AP 數量	3, 6 顆
n : RSS 樣本數	50, 100 個
$Interval$: 蒐集 RSS 樣本數之間隔時間	100ms, 500ms, 1s
m : 雜訊過濾之百分比	0, 1, 2, 3, 4, 5 %
u : 同時執行定位服務人數	5, 50, 100 人
N : 執行定位服務次數	5, 50, 100 次

4.1 平均定位誤差(Average Positioning Error, APE)

室內定位服務的優劣，首重定位的精確度，透過 APE 可評估定位服務的精確度，該值越低代表該定位方法之正確率越高。

$$APE = \frac{\sum_{i=1}^N \sqrt{(X_i - x_i)^2 + (Y_i - y_i)^2}}{N} \quad (4)$$

其中， X_i 及 Y_i 代表用戶端實際所在位置之 X 及 Y 座標； x_i 及 y_i 代表定位系統估算出用戶端所在位置之 X 及 Y 座標； N 代表執行定位服務總次數。

4.2 累積分佈函數(Cumulative Distributive Function, CDF)

透過 CDF 可瞭解定位錯誤距離在特定距離內之機率，舉例來說，定位誤差在 3 公尺內之機率為 80%，其意思是定位階段中所計算出來的用戶端位置，有 80%的定位點，其錯誤距離在 3 公尺之內。

$$CDF_{\epsilon} = P(\epsilon \leq d) \quad (5)$$

其中， ϵ 代表定位誤差； d 代表特定距離； $P(\epsilon \leq d)$ 代表定位錯誤距離小於等於特定距離之機率。

4.3 平均定位時間(Average Positioning Time, APT)

在相同模擬環境下，觀察室內定位系統有無使用主從式架構之 APT，以驗證改良式 Fingerprinting 在同時大量定位需求下，可有效縮短定位服務所需時間。

$$APT = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N_{con}} \quad (6)$$

其中， t_i 代表執行第 i 次定位服務所需時間； N_{con} 代表同時執行定位服務總數量。

4.4 平均耗電量(Average Power Consumption, APC)

考量室內定位服務大都是在智慧型手機上使用，所以手機電池的消耗程度亦是一個重要的參考指標，透過 APC 可評估該定位方法之手機耗電程度，該值越低代表該定位方法之耗電量越低。

$$APC = \frac{MBC}{N_{total}} \quad (7)$$

其中，MBC 代表行動裝置的電量為 100% 時之能量(單位為瓦特-小時)； N_{total} 代表行動裝置電量由 100% 消耗至 0%，所需執行定位服務的總次數。

5. 結論與未來工作

為減輕行動裝置運算負荷量及無線網路的資料傳輸負載，本研究提出二階段樣式比對法，採主從式架構來降低行動裝置執行定位服務的耗電量，並利用參考標籤來縮小定位範圍，以減少 Pattern Matching 次數及所需運算時間。

接下來，本研究會根據目前所提策略進行模擬研究，且將與其他現有 Fingerprinting 定位

方法[1][4]做效能比較。後續研究將針對本研究所提策略進一步改良，例如當定位環境由平面擴大為多層樓，定位策略應如何調整，以減少定位誤差，提高定位精確度。

參考文獻

- [1] Bahl, P., Padmanabhan, V. N., "RADAR : An In-Building RF-based User Location and Tracking System," *IEEE INFOCOM 2000*, Vol. 2, pp. 775-784, 2000.
- [2] Bahl, P., Padmanabhan, V. N., and Balachandran, A., "Enhancements to the RADAR User Location and Tracking System," *Microsoft Research*, 2000.
- [3] Cho, Y. S., Ji, M., Lee, Y., and Park, S., "WiFi AP Position Estimation Using Contribution from Heterogeneous Mobile Devices," *Proc. IEEE Position Location and Navigation Symposium (PLANS)*, pp.562-567, 2012.
- [4] Dortz, N. L., and Per Zetterberg, F. G., "Wi-Fi Fingerprint Indoor Positioning System Using Probability Distribution Comparison," *International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 2301-2304, 2012.
- [5] Enge, P., and Misra, P., "Special Issue on Global Positioning System," *Proc. of the IEEE*, Vol. 87, No. 1, pp. 3-15, 1999.
- [6] Gallagher, T., Li, B., Dempster, A.G., and Rizos, C., "Database Updating Through User Feedback in Fingerprint-Based Wi-Fi Location Systems," *Ubiquitous Positioning Indoor Navigation and Location Based Service (UPINLBS)*, pp. 1-8, 2010.
- [7] Kim, J., Ji, M., Cho, Y., Lee, Y., and Park, S., "Fingerprint DB Generating System Exploiting PDR based Dynamic Collection for Indoor Localization of Smart-phone Users," *International Conference on Control, Automation and Systems*, pp. 715-718, 2013.
- [8] Kim, J., Ji, M., Cho, Y., Lee, Y., and Park, S., "Performance Evaluation of Fingerprint based Location System Using Dynamic Collection," *International Conference on ICT Convergence*, pp. 950-954, 2013.
- [9] Ladd, A. M., Bekris, K. E., and Rudys, A., "Robotics-based Location Sensing Using

- Wireless Ethernet,” *ACM MobiCom 2002*, 2002.
- [10] Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P., and Liu, J., “Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 37, pp. 1067-1080, 2007.
- [11] Ni, L. M., Liu, Y., Lau, Y. C. and Patil, A. P., “LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID,” *Proc. of the First IEEE International Conference Pervasive Computing and Communications*, Vol. 17, No. 4, pp.407-415, 2003.
- [12] Priyantha, N., “The Cricket Indoor Location System,” *PhD thesis, MIT*, 2005.
- [13] Taheri, A., Singh, A., and Emmanuel, A., “Location Fingerprinting on Infrastructure 802.11 Wireless Local Area Networks (wlans) Using Locus,” *Proc. of the 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks*, pp. 676-683, 2004.
- [14] Want, R., Hopper, A., Falcao, V., and Gibbons, J., “The Active Badge Location System,” *ACM Transactions on Information Systems*, Vol. 40, No.1, pp. 91-102, 1992.