

# 以無線區域網路為基礎利用無線電波預測模型之室內位置感知系統研究

葉生正\*<sup>1</sup> 彭詠靖<sup>1</sup> 邱奕世<sup>2</sup> 王晉良<sup>2</sup>

<sup>1</sup>銘傳大學資訊傳播工程研究所 <sup>2</sup>國立清華大學通訊工程研究所

\*E-mail:peteryeh@mcu.edu.tw

## 摘要

室內定位技術以2000年IEEE INFOCOM由P. Bahl和V. N. Padmanabhan提出名為RADAR (Radio Detection and Ranging) 的系統較為著名,其主要為在IEEE 802.11無線區域網路中先建立無線電波訊號特徵資料庫,再以樣式比對法(Pattern Matching)對行動端進行定位運算,以達到位置感知(Location-awareness)的目的。本論文即在現有的WiFi環境下以擷取無線存取點(Access Point, AP)之無線電波訊號強度(Real-time Signal Strength Indicator, RSSI),提出在離線階段(Off-line)研究無線電波訊號強度在空間中的分佈趨勢以建置預測模型(Prediction Model),於連線階段(On-line)時將即時收到的無線電波訊號強度代入此模型進行定位演算與位置判斷。研究結果顯示平均錯誤距離低於4公尺;故本系統不僅可直接有效降低一般位置感知系統在離線階段(Off-line)建立訊號紋(Finger Printing)的成本,亦能方便移植到行動裝置(如:PDA或Smart Phone)以實現室內位置感知系統的個人應用服務。

關鍵詞:訊號強度、無線區域網路、位置感知、訊號紋、樣式比對

## 1. 簡介

全球定位系統(GPS)是目前應用最廣泛的室外定位系統,其運作原理以GPS接收器藉由接收軌道上運行之衛星訊號,計算接收時間與衛星發出訊號之時間差,以此時間差推算出距離,再以三角定位法對行動端進行定位運算,精確度約在5至40公尺;但其必須與衛星保持LOS(Light of Sight)才可進行定位服務,故無法在室內環境進行定位服務。室內定位技術以2000年IEEE INFOCOM由P. Bahl和V. N. Padmanabhan提出名為RADAR (Radio Detection and Ranging) 的系統較為著名,其在IEEE 802.11無線區域網路中先建立無線電波訊號特徵資料庫,再以樣式比對法(Pattern Matching)對行動端進行定位運算,以達到位置感知(Location-awareness)的目的[4][5]。本系統研究即是以IEEE 802.11無線區域網路環境為基礎,以無線電波預測模型(Prediction Model)對行動端定位。本預測模型相較於樣式比對法的優勢在於離線階段(Off-line)可

有效降低建置訊號紋之時間與人力成本;且連線階段(On-line)亦能減輕行動裝置之運算複雜度,以提高位置感知系統實現的可行性。

本論文之架構分為五個章節,Section 1是簡述研究動機與目的;Section 2則探討相關技術與研究;Section 3將提出本論文之研究方法、RSSI預測模型的建立與相關機制等;Section 4為對實驗結果的分析與討論;最後Section 5是結論與未來工作展望。

## 2. 相關研究

在此介紹室內與室外定位技術等相關研究,室內定位技術部份將探討RADAR系統與RFID系統,室外定位技術則將介紹最為廣泛應用的GPS定位系統。

### 2.1. RADAR(Radio and Detection Ranging)

RADAR是Microsoft在2000年的IEEE INFOCOM研討會所提出,並為最早在無線區域網路環境下揭示之室內定位與追蹤系統。其主要是使用IEEE 802.11b標準的無線網卡去偵測數個固定基地台(BS)之訊號強度(SS),並且與原先離線階段建立之訊號紋(Fingerprinting)資料庫進行比對,進而估算判定出行動端之位置[4][5]。

RADAR系統的運作分為兩個階段。第一為離線階段(Off-line),藉由行動裝置先針對定位環境的訓練點進行訊號強度實測,再透過實測與數學推估模式(式1)分析,找出各點的訊號強度:

$$P(d) = P(d_0) - 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) - \begin{cases} nW \times WAF & nW < C \\ C \times WAF & nW \geq C \end{cases} \quad (1)$$

其中參數 $n$ 為訊號值因距離衰減的係數; $d_0$ 為測量基準點距BS的距離; $P(d_0)$ 是基準點的訊號強度; $d$ 是測量點的距離; $P(d)$ 是測量點的訊號值; $WAF$ 是牆壁衰減因子; $nW$ 為測量點與BS之間的牆壁數量; $C$ 是最大牆壁數,超過 $C$ 個牆壁則會對訊號造成影響[4]。

第二階段為連線階段,主要為藉由行動端裝置回報測量到各基地台的訊號強度,與離線階段所建立之訊號紋資料庫進行比對,判斷出該行動端位置[5]。

## 2.2. RFID(Radio Frequency Identification)

RFID是一種以RF無線電波辨識物件的自動辨識技術其主要操作原理是利用讀取機(Reader)發送無線電波訊號並植入或貼在物件上的電子標籤(Tag)中,以進行無線資料辨識及擷取的工作,如圖1所示。RFID組成元件主要包括Reader、Tag、主電腦(Host)應用系統,以及內含於Reader、Tag或外加於Reader的天線。在圖1中,當應用系統欲進行物件之辨識工作時,主電腦上之應用程式可透過有線或無線方式下達控制命令給Reader;Reader接收到控制命令後,其內部之控制器會透過內建的RF收發機(Transceiver)發送出某一頻率之無線電波能量。當Tag內的天線感應到無線電波能量時,內含的詢答機(Transponder)機制會將此能量轉成電源,並以無線電波傳回一系列識別資料給Reader,最後再傳回主電腦內以進行物件之識別與管理[3][10]。

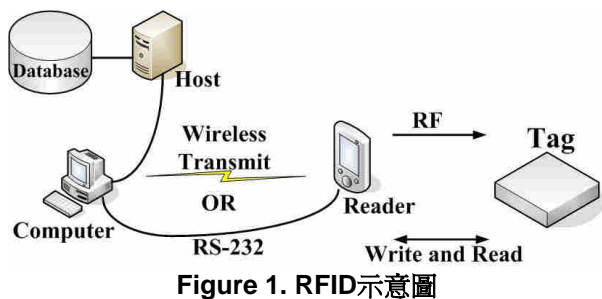


Figure 1. RFID示意图

## 2.3. GPS(Global Positioning System)

全球定位系統(GPS)是由美國政府率先開發的衛星定位系統,已廣泛地在世界各地應用於各類交通工具的導航與定位追蹤等服務。其主要原理是透過環繞地球上空的24顆衛星,不斷地廣播射頻衛星訊號,而地面上的GPS接收器則需同時接收三個以上之衛星訊號,再以該衛星為圓心,利用內含時間戳記(Time Stamp)的衛星訊號求得衛星與地面GPS接收器之距離為半徑,畫出三個以上的圓,因此其共同的交點即為GPS接收器所在地位置,如圖2所示。一般而言採用4顆定位衛星即可準確地達到定位之功能,但需要GPS接收器與衛星之間呈現LOS之情況下,準確度才能達到在5公尺至40公尺之間。不過GPS對於室內定位的實用性並不高,主要是因衛星訊號受到遮蔽物阻礙與多路徑延遲(Multi-path Propagation)之影響[2][11]。

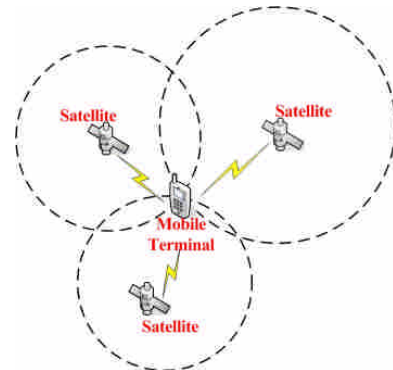


Figure 2. 三角定位示意图

## 3. 研究方法

在此將介紹本研究之實驗環境、研究方法與系統架構等。

### 3.1. 實驗環境

本研究以銘傳大學桃園校區資訊大樓六樓教師研究室為實測環境,其中長走廊33公尺,短走廊12公尺,共4條走廊,實驗無線存取點(Access Point, AP)以學校提供之現有AP為實驗之AP,不額外架設,以實現本系統應用至實際環境,此4個AP相關參數如表1所示。訓練點(Training Point, TP)每1公尺取樣1個,短走廊為12個,長走廊為33個,實驗環境配置如圖3所示。

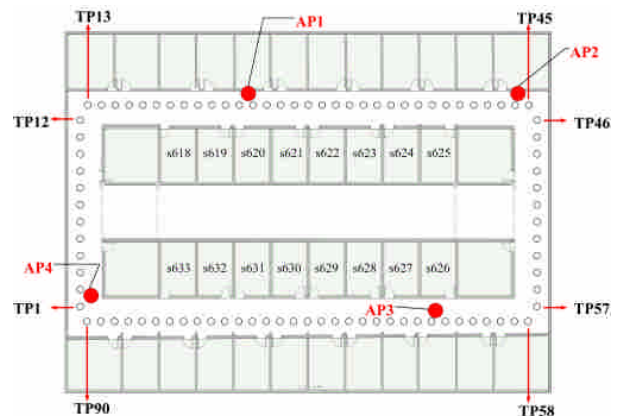


Figure 3. 實驗環境示意图

Table 1. 4個AP之相關參數

Number	MAC Address	SSID	Channel
AP1	00-14-7C-4D-2A-BB	MCU	2
AP2	00-14-7C-4F-83-EC	MCU	5
AP3	00-14-7C-4D-21-1A	MCU	7
AP4	00-14-7C-4F-85-CF	MCU	4

### 3.2. 資料庫建立

離線階段之資料庫系統是在實驗環境中的四條走廊上，短走廊為12公尺(12個TP，間距1公尺)，長走廊為33公尺(33個TP，間距1公尺)，建立每個訓練點的訊號紋資料，其目的是要推導出本實驗環境的無線電訊號傳遞之預測模型。在每個訓練點上，分別以4個方向對4個AP進行訊號強度取樣。但建立資料庫過程與Ad Hoc有兩點相異處，其一為取樣週期設定為20秒，取樣頻率為0.05秒/次(每秒20個RSSI樣本)，其二是每個訓練點上以掃描方式進行相同BSSID之AP訊號強度擷取(不同於Ad Hoc方式)。換句話說，就是將訓練點上可以擷取之AP訊號紀錄下來，再以MAC Address辨析訊號來源，歸類至所屬AP予以解析；同理最後也必須將4個方向之訊號強度以平均值建立資料庫，圖4即為資料庫建立的流程。

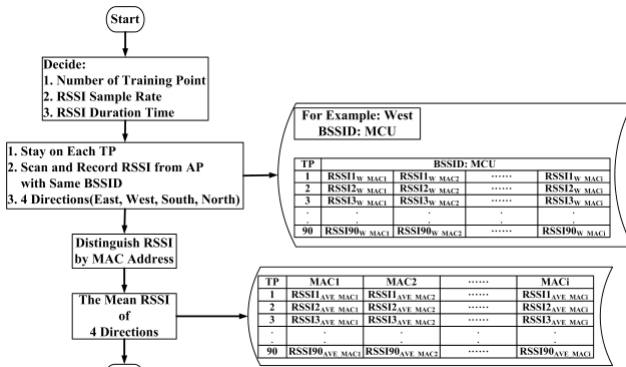


Figure 4. 訊號強度資料庫的流程

### 3.3. 無線電波訊號之預測模型建立

在離線階段(Off-line)建立完訊號紋資料庫後，接著對本定位環境建立預測模型[2][7][8]，本預測模型建立之規範以AP所在之走廊為基礎，短走廊建立1個預測模型，長走廊以AP區分左右兩個區域建立預測模型，總共建立6個預測模型，如圖5所示。

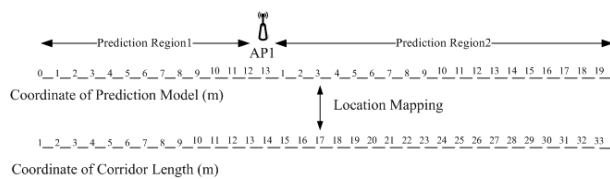


Figure 5. 長走廊預測模型範圍示意圖

其建置過程如下所述，以訓練點1至12對於AP2所測量的訊號強度為例，此走廊距離為12公尺，所測量的訊號強度如表2所示。在表2中，X陣列代表與AP4之距離，Y陣列代表在此訓練點上接收來自於AP2訊號強度的平均值。在MATLAB工具軟體之Polyfit函數中的三個參數分別代表X陣列與Y陣列以及所求得的預測多項式之階度(2階與3階)。藉由Polyfit函數可推導出該多項式的係數，如(式2)和(式3)所示。

$$Y = 0.2146X^2 - 1.4833X - 81.2591 \quad (2)$$

$$Y = 0.0236X^3 - 0.2460X^2 + 1.0087X - 84.4833 \quad (3)$$

Table 2. 訓練點1-12接收AP2訊號強度平均值

X (m)	1	2	3	4	5	6
Y (dBm)	-82.63	-84.00	-84.78	-83.00	-81.12	-81.39
X (m)	7	8	9	10	11	12
Y (dBm)	-81.00	-82.05	-76.40	-75.07	-74.36	-65.50

MATLAB Polyfit Function: polyfit(x,y,2), polyfit(x,y,3)

此2階與3階多項式曲線代表著TP1至TP12這條走廊對於AP2的無線訊號預測傳遞模型，如圖6所示。於連線階段時，當行動端位在此走廊上接收到BS2的訊號強度，代入先前的預測模型運算，即可求出在距離本地端基地台AP4之可能位置。

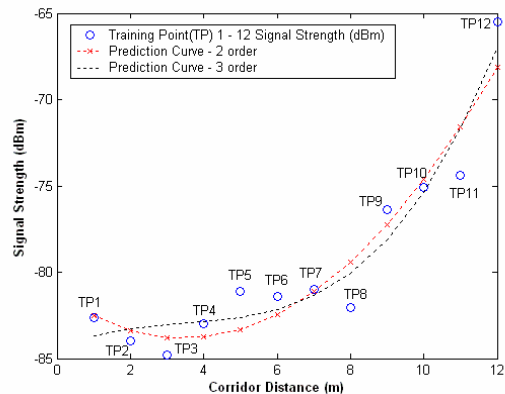


Figure 6. 無線電波訊號傳遞模型預測曲線

本研究將MATLAB的Polyfit函數以C++程式設計實作至系統中，以符合實際定位之即時性。其主要以最小平方距離(Least Square Error)的觀念，並運用在預測模型中之平面座標找尋一條曲線，此曲線距離平面座標上所有的點(訓練點之訊號強度值)有最小的距離誤差(Minimum Distance Error)。此最小距離總合再以積分方式利用(式4)矩陣表示，最後，即可將本定位系統在Off-line的訓練點上擷取之訊號強度代入，推導出本實驗環境的無線電波傳遞模型。

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum (x_i y_i) \\ \sum (x_i^2 y_i) \\ \sum (x_i^3 y_i) \end{bmatrix}$$

- $n$  : Number of TPs
- $x_i$  : Real - Time Signal Strength on TP  $i = 1,2,3...n$
- $y_i$  : Distance between TP and HBS  $i = 1,2,3...n$
- $a_0$  : Constant Item of Prediction Model
- $a_1$  : One - Order Coefficient of Prediction Model
- $a_2$  : Second - Order Coefficient of Prediction Model
- $a_3$  : Third - Order Coefficient of Prediction Model

### 3.4. 行動端應用程式開發

本研究之應用程式介面(API)以C++為程式開發語言。無線電波訊號的擷取技術，是首要克服的問題，而此API研發之目的；在Infrastructure模式下，本定位系統掃描定位環境中之AP BSSID，並且以擷取Beacon封包中欄位，來辨析不同之MAC Address訊號來源，再分別以不同之MAC Address紀錄訊號強度建立訊號紋資料庫。

API擷取網路封包部分使用Winpcap開發，圖7顯示Winpcap架構[6]。Winpcap是一個可以在Win32環境下用來擷取封包的函式庫。同時也可以讓使用者用高階的應用程式介面去執行一些較低階的功能，所以在開發有關封包擷取的軟體時，Winpcap函式庫是一個相當理想的選擇。Winpcap的基本架構大體上可以分為三部分，它包含了一個Kernel-level的封包過濾器(Netgroup Packet Filter, NPF)，在User-level提供兩個動態連結函式庫，一個較低階的動態連結(Dynamic Link Library)函式庫(packet.dll)，以及一個高階並且獨立於作業系統(System-independent Library)的連結函式庫(wpcap.dll)[6]。

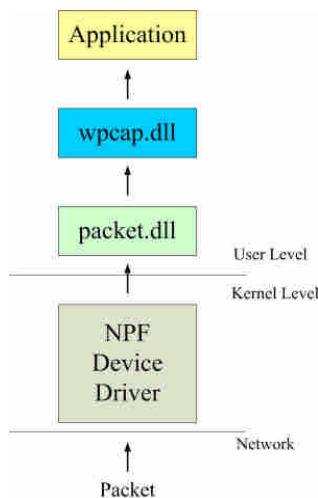


Figure 7 . Winpcap基本架構圖

在核心層(Kernel Level)部分，最主要的工作就是擷取的網路卡收到之封包，以及過濾封包以及監聽封包；在擷取封包的過程中，必須要繞過(Bypass)網路協定堆疊(Protocol Stack)擷取在網路中傳輸的raw packet，此部分必須運作在作業系統Kernel之中，並且能與網路驅動介面做直接的互動；在Winpcap定義NPF達成kernel-level工作。

在使用者層(User Level)，packet.dll是一個動態連結函式庫，其提供較低階存取的API可供存取硬體層之參數。packet.dll為Win32平台提供了一個公共介面，不同版本的Windows系統都有其自己的Kernel，packet.dll即解決Kernel之間差異問題，使得動態連結packet.dll的程式可以運作在不同版本的Win32平台上，而無需重新編譯。至於wpcap.dll則是一個在擷取程式內的靜態函式庫，內含許多的函式，這些函式與硬體型號或是作業系統版本無關，提供了一個高階且方便的途徑去擷取封包[6][11]。

在擷取無線網路相關硬體參數(如：擷取AP訊號強度，設定無線網路卡SSID，取得定位環境之BSSID List、BSSID MAC與BSSID RSSI...等等)部份。開發主要觀念在於，Windows作業系統的架構中，網路通訊協定層(如TCP/IP)與網路卡之間的通訊均需透過網路驅動程式介面規格(Network Driver Interface Specification, NDIS)所定義的介面作通訊，它除了提供網路驅動程式(Network Interface Card driver)與最下層的網路卡溝通的介面(Miniport Driver)，並提供與通訊協定溝通的介面(Protocol Driver)[1]。

故在我們的定位系統中必須以Winpcap與NDIS中為主要底層技術擷取定位運算中需要之資訊以完成整個定位系統之運作。

### 3.5. 走廊判斷機制與選根機制

以訊號傳遞預測模型在本研究環境進行定位分析時，基地台其皆有各自對應的預測訓練點範圍。所以在取決預測模型時，必須以基地台做為基準來計算行動端位置，因此走廊能否判斷正確與行動端定位的精確性息息相關。

在4條走廊上各有1個AP，本研究以MAC Address來區分，其走廊的判斷同樣以行動端接收到的訊號紋資料庫之訊號強度大小排序為準則，如圖8所示，AP1、AP2、AP3與AP4分別對應A、B、C與D這4個走廊，分別對此4條走廊之4個AP訊號值進行排序。

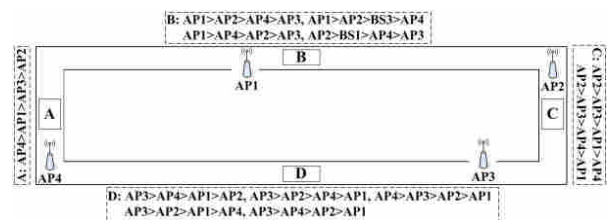


Figure 8 . 走廊判斷機制示意圖



另外一個重要的議題是根的判斷。即將定位程式擷取之訊號強度值代入2階或3階多項式訊號預測模型時，解出所有可能根，再經由選取根機制決定行動端位置，由此得知根的選擇正確與否直接影響著行動端位置之正確性。所以藉由觀察分析所有出現之可能根之後，歸納提出4種選根機制，如表3與表4所示。

Table 3. 選根機制一與二

Root Search	Scheme1	Scheme2
Possible Roots > 3	The Mean of The Nearest 2 Roots	The Mean of The Nearest 3 Roots
Possible Roots = 3	The Mean of The Nearest 2 Roots	The Mean of The Nearest 3 Roots
Possible Roots = 2	The Mean of of All Roots	
Possible Root = 1	Select Single Root	
No Root	The Mean of 2's Pre-lociaions	

Table 4. 選根機制三與四

Root Search	Scheme3	Scheme4
Possible Roots > 3	The Mean of All Roots	Disable Min and Max Root
Possible Roots = 3	The Mean of All Roots	The Mean of All Roots
Possible Roots = 2	The Mean of of All Roots	
Possible Roots = 1	Select Single Root	
No Root	The Mean of 2's Pre-lociaions	

表3之選根機制1與2以最小距離(Minimum Distance)為主；選根機制1，由預測模型所計算出之所有可能根中，挑取距離最接近的兩根平均為行動端預測位置，當只有一個根出現時，則直接以該根作為行動端位置；而選根機制2則是挑選所有可能根中距離最接近之三個根平均為行動端位置，若僅有兩個根則取平均值。同理，只有一個根出現時，則以該根為行動端位置。然而選根機制3與4則以可能根的平均為主要選取法則，選根機制3將所有可能根予以平均運算，選根機制4則刪除可能根的最大與最小值再以平均運算求出行動端位置，如表4所示。當即時訊號代入預測模型計算，若無可能根出現時，則以先前行動端出現之位置軌跡作為判斷依據，此4種選根機制皆以取最近兩個軌跡之平均作為行動端位置。

#### 4. 實驗結果分析

本研究先在離線階段時於實驗環境之90個訓練點上，以東、西、南、北4個方向實測訊號強度並建置成資料庫，再以4個方向的平均訊號強度各別建立4條走廊的訊號傳遞預測模型。在每個訓練點上停留5秒，求其即時訊號強度平均值。再將4個AP訊號強度平均值代入走廊判斷機制判斷預測模型，然後以該預測模型求出所有可能根，最後以選取根之機制定位出

行動端位置。以下將結合描述分析選根機制與走廊判斷機制對定位誤差影響之初步結果和分析。

#### 4.1. 走廊判斷機制與選根機制的效能分析

圖8顯示走廊判斷機制與4種選根機制之CDF定位精確度分析，發現其定位精確度在錯誤距離小於5公尺部分達到76.67%精準度，表5顯示此CDF之平均錯誤距離，發現其定位精確性約在3至4公尺間，特別是走廊(預測模型)判斷正確與否，對於定位精確度有明顯的影響，當預測模型判斷正確時其平均錯誤距離明顯優於走廊判斷機制之結果。

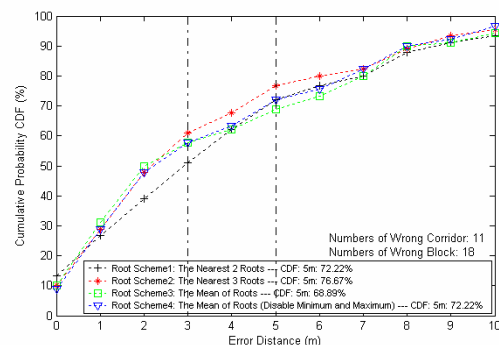


Figure 8. 走廊判斷與選根機制分析(2階曲線)

Table 5. 各種機制之平均錯誤距離

Corridor Root Search	2 Order	2 Order	3 Order	3 Order
	Criterion3	Correct Corridor	Criterion3	Correct Corridor
Scheme1	4.07m	3.04m	4.76m	4.02m
Scheme2	3.63m	2.94m	4.16m	3.30m
Scheme3	3.89m	3.08m	4.13m	3.34m
Scheme4	3.79m	3.04m	4.11m	3.30m
Mean	3.85m	3.03m	4.29m	3.49m

#### 4.2. 訓練點取樣距離對定位精確度之影響分析

本研究另外一個貢獻為在建立訊號紋資料庫跟目前LBS系統比較時，可節省較多人力與時間成本。本研究以較低的訓練點成本達到室內定位要求的精確度，在此先定義訓練點距離(Step Size)，就是訓練點之間的距離。在本研究中建立資料庫時，訓練點之間的距離分為1公尺，2公尺，4公尺，6公尺以及8公尺，如圖9所示。

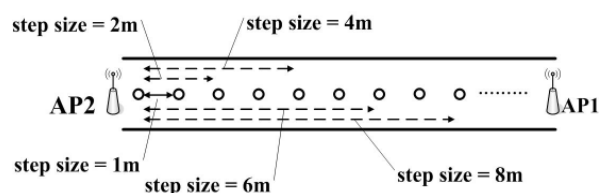


Figure 9. 訓練點距離(Step Size)示意圖

以2階曲線搭配走廊判斷機制3與選根機制4之條件下取訓練點距離1公尺、2公尺、4公尺、6公尺與8公尺之結果，由此圖可以分析出在取樣距離為1公尺，2公尺、4公尺、6公尺時，其定位精確度(CDF)維持一定的精確水準，其中2公尺與4公尺之定位精確度與1公尺相差無幾，圖10與圖11條件相同，唯一區別在於圖11之為3階預測曲線，觀察此圖之CDF發現在6與8公尺之曲線其定位精確度有明顯下降，在1、2與4公尺其精準度(CDF在小於3與5公尺)差距皆在3至4個百分比，證明了將取樣距離增加其至少在4公尺之內的預測模型可維持一定之定位水準。

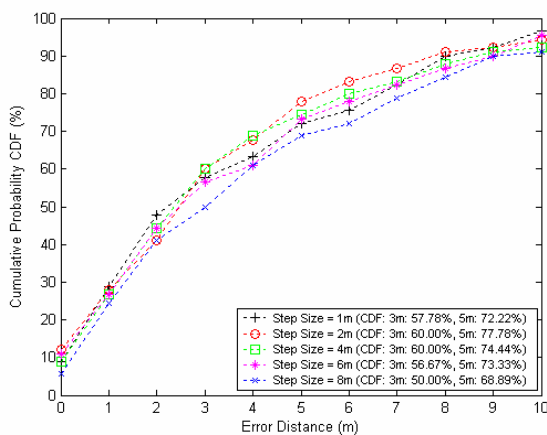


Figure 10. 訓練點距離之分析(2階曲線)

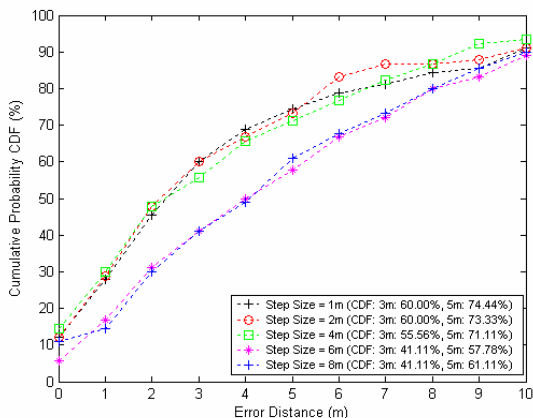


Figure 11. 訓練點距離之分析(3階曲線)

#### 4.3. RADAR系統之樣式比對法分析

接著討論預測模型與RADAR提出之歐基里德距離演算法之比較分析。以預測模型之2階與3階曲線進行分析，以RADAR使用之訊號紋資料庫建立預測模型以及相同之即時訊號平均值代入預測模型，保持客觀環境相同。圖12顯示各種機制比較之CDF曲線圖。由圖12之CDF可以觀察出當預測模型之2階與3階之Optimal曲線明顯優於其餘機制以及Pattern Match之曲

線，此代表著即時訊號代入正確預測模型時還必須要能夠選取正確之根才能提升整體定位結果。也由此得知預測模型能夠將即時訊號代入正確預測模型時其精準度能夠達到與Pattern Match相當之準確性，故本預測模型在實際環境上若是能夠克服對於預測模型之誤判，即可以較低的運算成本達到與樣式比對法相同之精準度。

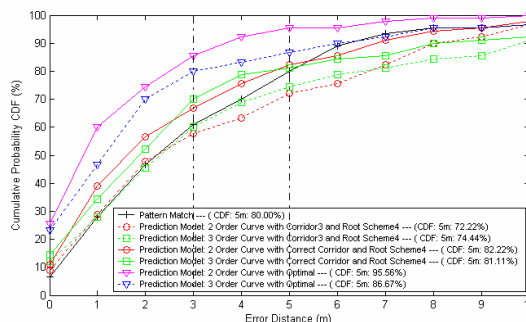


Figure 12. 預測模型各種機制與RADAR之比較

#### 5. 結論與未來工作

本研究提出之無線電波傳輸預測模型與相關機制，相對於一般室內定位技術所使用之樣式比對法可節省建立資料庫時間成本以及減低行動裝置運算負擔；但除了擁有上述優勢外，當然亦必須達到室內定位要求之精確度，故本研究實作結果在IEEE 802.11b無線區域網路環境，最佳之錯誤距離CDF小於5公尺部分為76.67%，平均錯誤距離則為3.63公尺，仍有進步空間。期待未來在實驗環境佈放感測器(Sensor)修正WiFi室內定位之精準度，即利用Sensor週期性偵測環境之無線電波訊號強度，再將此訊號強度與資料庫之訊號紋比對，藉以修正先前訊號紋資料庫建立之預測模型。而走廊判斷機制部份，亦可將Sensor接收之訊號作為一判斷值，藉由此判斷值來推估行動端所在走廊位置即可代入正確預測模型，至於在選根機制改善方面其不確定性相較於走廊判斷與預測模型即時修正而言是有較高之門檻，未來研究將以過濾機制進行根的篩選以提升定位精確度。

#### 6. Reference

- [1] Art Baker and Jerry Lozano, "The Windows 2000 Device Driver Book: A Guide for Programmers", Prentice-Hall International, Inc., Dec 2000.
- [2] Chin-Liang Wang, Yih-Shyh Chiou and Sheng-Cheng Yeh, "A Location Algorithm Based on Radio Propagation Modeling for Indoor Wireless Local Area Networks", *IEEE Vehicular Technology Conference Spring 2005*, Stockholm, Sweden, May 2005.
- [3] Guolin Sun, Jie Chen, Wei Guo and K.J. Ray Liu, "Signal Processing Techniques in Network-Aided Positioning", *IEEE Signal Processing Magazine*, July 2005, pp.12-23.

- [4] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, “*User Location and Tracking in an In-Building Radio Network*”, Microsoft Research Technical Report: MSR-TR-99-12, February 1999.
- [5] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, “RADAR: An In-Building RF-BASED User Location and Tracking System”, *IEEE INFOCOM 2000*, May 2000, pp. 775-784.
- [6] Politecnico di Torino and Loris Degioanni, “*WinPcap Documentation*”, <http://www.winpcap.org/docs/man/html/main.html>, June 2006.
- [7] Sheng-Cheng Yeh and Yih-Shyh Chiou, “A Predicted Method of the Signal Propagation for Indoor Locating Systems Based on Wireless LANs”, *The 11-th Mobile Computing Workshop*, Taiwan, March 2005.
- [8] Sheng-Cheng Yeh and Yih-Shyh Chiou, “An Indoor Location Scheme Based on Wireless Local Area Networks”, *IEEE Consumer Communications and Networking Conference 2005*, Las Vegas, USA, January 2005.
- [9] William Stallins, “*Wireless Communications and Networking*”, Prentice-Hall International, Inc., 2002.
- [10] Yi-Chao Chen, Ji-Rung Chiang, Hao-hua Chu, Polly Huang and Arvin Wen Tsui, “Sensor-Assisted Wi-Fi Indoor Location System for Adapting to Environmental Dynamics”, *ACM/IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM 2005)*, Montreal, Qc. Canada, Oct. 2005.
- [11] Yuan Cheng Lai, C. S. Chiu and S. C. Chien, “WebEyes: a Web Monitoring System”, *TANET 2001*, October 2001, pp. 93-98.