

以室內定位技術之犯罪嫌疑人移動足跡分析與鑑識

Analysis and Forensic of Criminal Suspects' Footprints with Indoor Positioning Technology

羅嘉寧

銘傳大學 電腦與通訊工程學系
333桃園市龜山區德明路5號
deer@mail.mcu.edu.tw

楊明豪

中原大學 資訊與工程學系
320桃園市中壢區中北路200號

劉邦良

銘傳大學 電腦與通訊工程學系
333桃園市龜山區德明路5號

摘要

司法機關往往使用行動網路定位技術用來監測或追蹤犯罪嫌疑人位置。然而在人口密度稠密之市區，使用無線定位技術往往無法計算出使用者的精確位置。本論文提出一基於室內定位技術之被動式觀察系統，可供第一線調查人員去鑑識調查並預測犯罪嫌疑人於室內環境的移動軌跡。我們於無線基地台周圍之區域，用低成本的物聯網裝置當成輔助觀測節點。當使用者發送封包至 WiFi 基地台時，輔助觀測節點也可收聽到同一封包並解析其訊號強度，然後將觀測資訊上傳至雲端伺服器。雲端伺服器取得同一封包由多個輔助觀測節點所收集的強度資訊後，即可快速分析及定位出犯罪嫌疑人的移動足跡。

關鍵詞: 室內定位、被動式觀察系統。

Abstract

The judiciaries often use wireless positioning technology to monitor or track the location of the suspects. In densely populated urban areas, the use of wireless positioning technology is often unable to retrieve the exact locations of the suspects. This paper presents a passive observation system using indoor positioning technology for first-line investigators to identify and predict the footprints of suspects in the indoor environment. We use low-cost IoT devices as the auxiliary observation nodes, located in the wireless base station around the area. When the user sends a packet to the WiFi base station, the auxiliary observing node can listen to the same packet and resolve its signal strength, and then upload the observation data to the cloud server. The cloud server collects the packet's intensity information collected by the multiple auxiliary observation nodes, it can quickly analyze and locate the footprints of the suspect.

Keywords: indoor positioning, passive observation system

一、緒論

傳統使用無線技術以監測或追蹤犯罪嫌疑人之位置，係使用行動網路(如 3G 或 4G 網路)或 GPS 定位系統。然而受限於無線技術之限制，以 3G 或 4G 網路追蹤時，涵蓋範圍達 1-2 公里，於室外環境更可高達 4-10 公里，實無法定位其精確位置。在人口密度稠密之市區，往往無法鎖定其位置範圍。以 GPS 定位系統追蹤雖較為精確，然而需先將 GPS 追蹤及發報器架設於特定位置，於實務上並不可行，且亦無法使用於室內環境。

而在室內定位的研究中，則可利用無線電波、基地台、慣性定位等技術以推導人員、物件等在室內空間中的位置。在過去的相關研究中，大部分的研究工作都集中在主動式的室內定位技術上，意即使用者的設備需參與室內定位的過程[3]。雖然主動式的室內定位技術可使用不同的技術提供不同級別的定位精度，但因使用者的設備需參與室內定位的過程，這對使用者願意參與獲取位置的應用程序（如用戶導航）可能是足夠的。但是，用於刑事鑑識時，犯罪嫌疑人不可能自己透漏自身之位置，亦不可能協助參與室內定位的過程，因此主動式的室內定位技術並不適用於追蹤犯罪嫌疑人之室內位置或其移動足跡。

近年來，被動式室內定位系統逐漸受到重視。在被動式的室內定位系統中，因為並不需要使用者的設備需參與室內定位的過程，所以有著越來越的許多創新的應用[7]。例如商家可利用被動式觀察系統觀察使用者偏好之移動路徑及駐足點，進而分析出使用者逛商場的習性。如此商家就可以把商場相關熱門商品、促銷廣告、優惠活動等依使用者的需求做商品擺設與傳單發放。

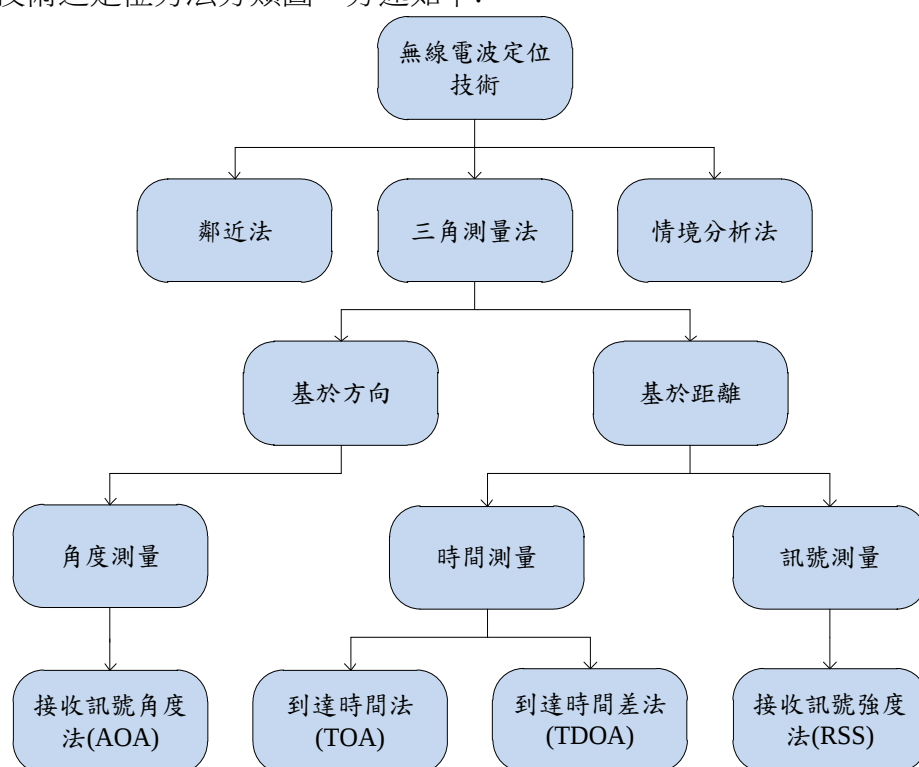
本論文探討如何利用被動式觀察系統分析犯罪嫌疑人於室內環境的移動軌跡。我們提出的方法利用多個可監聽封包之設備（稱為輔助觀測節點, **Monitor Node**）架設於無線基地台周圍之區域。當使用者與基地台連線傳遞封包時，輔助觀測節點也可收聽到同一封包並解析其訊號強度，並將資訊上傳至後端伺服器。當後端伺服器有了多個訊號強度資訊以及原本架設機器之位置資訊，伺服器就可利用搭配現有 **Wi-Fi** 室內定位的技術，使用定位演算法推估所有犯罪嫌疑人之位置。如此，司法單位可大幅降低監測設備的成本。

二、相關研究

被動式觀察系統可區分為以下兩類：基於視覺影像處理技術[8]以及基於無線電波技術。基於視覺影像處理技術是利用攝影機觀察目標使用者於室內行走之軌跡。在系統建置時需將室內環境的每個區塊利用攝影機拍攝多張圖片做為參考點位置，並建構成 3D 地圖資料庫。在定位時則拍攝任一移動物件，將所拍攝之圖片背景與後端地圖資料庫進行比對運算，量測出物件之位置。但是，攝影機與目標使用者間不能有任何障礙物做阻隔，

兩者間需要保持直視距離(Line-of-Sight)。然而此技術容易受背景的干擾與複雜的環境影響，以及當目標使用者數量增加時容易造成辨識上的混淆。

基於無線電波技術之無線定位系統則為蒐集多個目標使用者與基地台之間的訊號以計算使用者位置。Farid等人[4] 提出室內定位的方法有三種: (1) 鄰近法(Proximity):在系統建置階段先行定出參考點以放置感測器，而在定位時再以目標物最接近感測器位置的區域，做為被定位之目標裝置所在位置、(2) 三角測量法(Triangulation): 目標裝置量測由訊號發射源所發射訊號之訊號強度，角度或時間差，計算出目標裝置量與發射源間兩端點的距離，以及(3) 情境分析法(Scene Analysis): 系統建置時先行測量感測器於每個位置所量測到之信號發射源之信號強度，並且將每個位置所對應的訊號資訊儲存在資料庫裡。於定位時再根據時間與信號強度等相關資訊進行後續定位運算。圖一為基於無線電波技術之定位方法分類圖，分述如下:



圖一：基於無線電波技術之定位方法

1. 鄰近法

鄰近法原理是以"最接近"的概念來找尋被定位之目標裝置所在位置之區域。鄰近法在系統建置時，於每個觀測點建設多個感測器，如紅外線接收器(Infrared Receiver, IR)及無線射頻辨識系統(Radio Frequency Identification, RFID)等做為估測參考點位置。當有一目標裝置靠近參考點，且被參考點上的感測器偵測到，即判定該目標裝置就在此參考點位置。若同時有多個感測器偵測到此目標裝置，則選擇訊號強度最強之感測器位置為該目標裝置的位置[3]。

Want等人[15]提出活動式徽章(Active Badge)的技術，利用在已知位置擺設紅外線接收器，接收外來的紅外線訊號來達到定位目的。由Ni等人[10]提出的Landmarc，則是使用無線射頻辨識系統，先在已知位置佈設參考標籤(Reference Tag)。Landmarc 系統在定位時

則利用讀取器接收參考標籤所傳的訊號強度資訊後，計算判斷待定位之標籤(Tracking Tag)位於哪些參考標籤之區域。Han等人[6]提出利用藍芽技術及搭配鄰近法所設計的系統。在 Han 等人的系統中會將室內每一個小空間(如房間、辦公室、倉庫等)的門口設置藍芽探測器，並讓使用者配戴可傳送藍芽訊號的小型標籤。當使用者進出或者經過任一間房間，系統就可藉由門口的藍芽探測器觀察使用者位置。

鄰近法擁有高度的定位精準度，取決於感測器的分佈密度。在區域內放置愈多感測器，定位精準度愈高。但是為了維持高精準度，硬體設備的建設與設備維護的成本相較昂貴許多[5]。

2. 三角測量法

三角測量法分為基於端點間之距離或方向來定位 (Direction based) [4]。訊號發射源則可使用Wi-Fi 存取點(Access Point, AP)、藍芽基地台(Bluetooth Station)、超音波(Ultrasonic)等。定位時則計算訊號發射源傳遞訊號到目標裝置時，目標裝置所接收訊號之強度 (Received Signal Strength, RSS)、接收角度(Angle of Arrival, AOA)、到達時間(Time of Arrival, TOA)、到達時間差(Time Difference of Arrival, TDOA)來計算發射源到目標裝置間之距離。當訊號發射源與目標裝置之已知距離數目達到或超過三個，且訊號發射源位置也已知時，就可經由計算求得目標裝置之位置[16]。

Chintalapudi 等人[2]提出結合全球衛星定位系統(Global Positioning System, GPS)和Wi-Fi無線網路的定位演算法。Chintalapudi 等人先在室內可接收全球衛星定位系統訊號之位置做為參考點(例如窗戶旁邊)。再由這些參考點接收Wi-Fi訊號存取點所發送的訊號強度，利用三角測量法推估Wi-Fi存取點之位置，再由已推估訊號存取點位置使用三角測量反向推算被定位物件之位置。

Rida等人[12]提出利用藍芽的技術做定位，在室內環境架設多個小型基地台做為訊號發射源頭。追蹤時可透過可接收藍芽無線訊號的裝置抓取由基地台所傳之訊號強度，再藉由三角測量法計算出裝置之位置。

Chakraborty等人[11]提出Cricket演算法則是利用架設超音波節點在室內空間，透過揚聲器發出人耳聽不到的音域聲音來傳輸訊號。由超音波接收器經由接收訊號測量出到達的時間差，計算出兩者之間的距離；再透過多個距離測量值計算時間延遲算出位置，進而計算出所在位置。

在理想狀況下，使用三角測量法可快速計算出目標裝置之位置。但由於到達時間法、到達時間差法於時間的量測需要極高的精確度，導致訊號發射源與目標節點需要時間同步才得以精確的計算出兩兩間之距離。而接收訊號強度法則是容易受訊號的反射、散射、繞射干擾造成訊號不穩定，使得推估值與實際距離容易有誤差的產生[9]。基於以上原因，三角測量法的定位誤差相對較高。

3. 情境分析法

情境分析法以訊號強度(Receive Signal Strength, RSS)的資訊建立訊號地圖資料庫(Radio Map)預估目標裝置位置來定位[1]，又稱為指紋法(Fingerprinting)。情境分析法分

為離線階段(Off-line Phase)與上線階段(On-line Phase)。在離線階段中定位系統將事先定出有可能被定位的位置做為估測參考點(Reference Point)。接著在每個參考點蒐集由已知座標之基站(Base Station)提供的訊號強度，並將訊號強度或相關特徵等資訊儲存在資料庫。在上線階段時藉由蒐集當前位置的訊號強度資訊，再與資料庫預先儲存之資訊進行類神經網路法(Neural Network, NN)、最近鄰居法(K-Nearest-Neighbor, KNN)等方法找出最相似之樣本執行定位運算[14]。

情境分析法必須事先觀測大量參考點的訊號強度建立訊號強度模型。當參考點數量愈多時定位精準度愈高。但是建置訊號資料庫的時間過長，必須投入大量的人力記錄參考點資訊，且未建置參考點之區域不能定位[13]。雖可得到較佳定位精度，相較於其他方法，情境分析法的方便性較差。

三、研究方法

本章節將介紹我們所提出之被動式室內定位技術。我們利用Wi-Fi無線網路感測技術，在室內空間佈置多個輔助觀測節點當成被動式觀察系統。我們利用小型且低成本由聯發科技所開發之 MediaTek LinkIt 7688 晶片作為輔助觀測節點，並將輔助觀測節點事先架設於犯罪嫌疑人可能出現之熱點附近。在實際建置時，因為 LinkIt 7688 具有體積小，低耗電量且可用行動電源供電之特性，可將對於鑑識現場之影響降至最低。本系統並不需要再建置額外成本較高之硬體設備(如攝影機等)及影像儲存設備。

我們假設犯罪嫌疑人會攜帶具開啟 WiFi 功能之移動設備(如智慧型手機等)，且並未關機。我們的輔助觀測節點於監測時，將會偵測所有環境中之無線網路節點所送出之信號。即使在犯罪嫌疑人的移動設備處於休眠狀態時，我們的系統且會定期發送封包以喚醒進入待機狀態之設備，強迫其發出回應封包以偵測傳輸之信號強度。

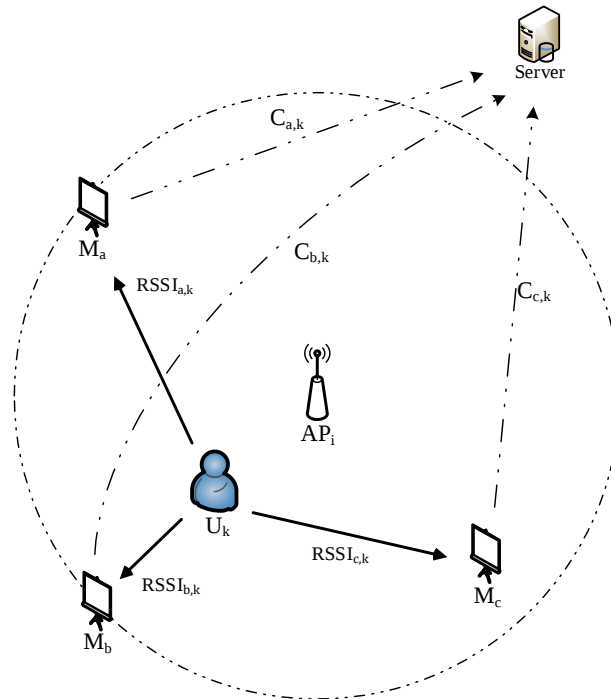
我們的方法分為兩部份，第一部份介紹如何利用輔助觀測節點觀測封包及解析，並利用解析之訊息估測出犯罪嫌疑位置。第二部份介紹如何分析犯罪嫌疑人之移動足跡。

3.1、觀測封包及解析

傳統Wi-Fi室內定位系統，利用接收訊號強度的方式，在室內環境中佈置三台以上的無線基地台。此時行動節點(Mobility Node)藉由量測Wi-Fi無線訊號觀察由每一台無線基地台所廣播出來的訊號強度，並以此計算與基地台之間的相對距離。而在一般情況無線基地台位置不會被移動，因此可以利用三角測量法，經由運算得出行動節點的位置。然而訊號在傳播的過程容易受牆壁的影響，會有反射、散射、繞射等多方面的干擾，造成訊號傳輸的不穩定，使得相對距離的換算產生誤差，最後影響到定位結果。

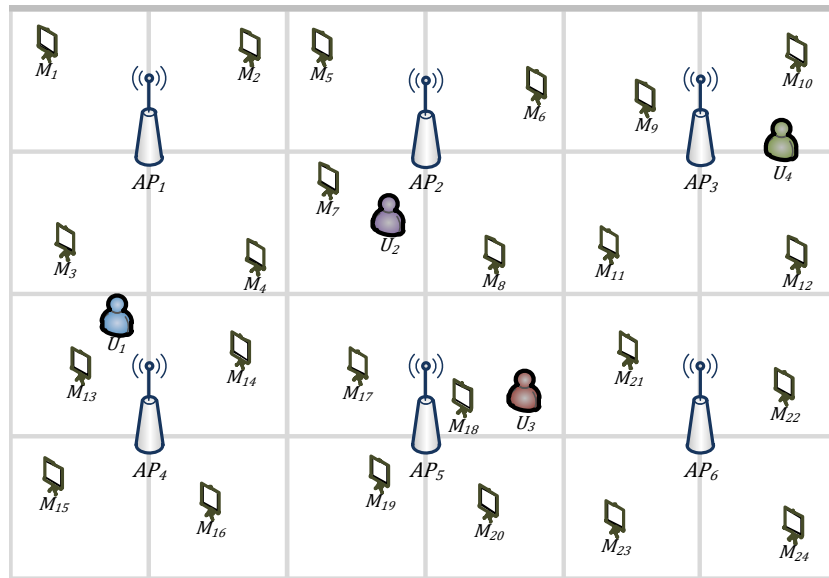
因此，我們提出一個新的被動式觀察系統，於無線網路基地台的附近架設多個輔助觀測節點，再觀測行動節點所傳遞至無線網路基地台之封包，並以此封包解析其訊號強度。假設有一行動節點正在傳遞封包至基地台，輔助觀測節點也可因此接收到由行動節點所廣播之同一封包。輔助觀測節點將解析訊號強度，並且將所蒐集之資訊上傳至後端伺服器(Server)。伺服器就能利用由數個輔助觀測節點紀錄之訊號強度，由定位演算法計

算出行動節點的位置。圖二為輔助觀測節點示意圖。此方法將輔助觀測節點建設於每一台基地台之周圍，並利用輔助觀測節點偵測之訊號強度做定位運算。因此可有效改善傳統Wi-Fi定位方法因距離較遠之基地台訊號傳播容易受障礙物的干擾，而影響到最後定位結果之情況。



圖二：輔助觀測節點示意圖

我們在基地台的周圍設置輔助觀測節點，並且知道其在Wi-Fi網域裡的位置資訊。而當犯罪嫌疑人位於信號接收範圍內時，輔助觀測節點分別都會接收到由行動節點所傳遞到基地台間之封包，並解析封包傳遞之訊號強度。圖三為輔助觀測節點與欲估測之行動節點示意圖。



圖三: 輔助觀測節點與欲估測之行動節點示意圖

我們設定每次觀察紀錄的間隔時間 Δt 為0.5秒到1秒之間，輔助觀測節點每經過此間隔時間就做一次蒐集動作，搜尋網域範圍內所有行動節點所發出之信號，。輔助觀測節點將利用內建的功能對其所有封包進行偵測與解析封包的動作，並將解析出來對所有行動節點的訊號強度整合成 C_j ，最後將其上傳至後端伺服器。表一為本論文中所使用的符號表，而演算法如表二:符號表集資訊演算法所示。

表一:符號表

AP_i	Wi-Fi無線網路基地台。
U_k	行動節點。
l	行動節點 U_k 之個數。
M_j	輔助觀測節點。
m	輔助觀測節點 M_j 之個數。
$RSSI_{j,k}$	輔助觀測節點 M_j 與行動節點 U_k 之訊號強度值。
LM_j	輔助觀測節點 M_j 之位置， $LM_j = (X_j, Y_j)$ 。
SLM	輔助觀測節點 M_j 位置之集合， $SLM = \{LM_1, LM_2, \dots, LM_j\}$ 。
$LU_{k,t}$	後端伺服器 $Server$ 記錄行動節點 U_k 於某一時間位置， $LU_{k,t} = (X_{k,t}, Y_{k,t})$ 。
$Path_k$	行動節點 U_k 於時間 $1 - t$ 行走路徑位置之集合， $Path_k = \{LU_{k,1}, LU_{k,2}, \dots, LU_{k,t}\}$ 。
$Tri()$	三角測量法函式。
$Currenttime()$	抓取系統時間函式。

<i>Starttime</i>	起始時間。
ΔT	間隔時間。
<i>monitor()</i>	輔助觀測節點 M_j 解析封包訊號強度之函式。
<i>Server</i>	後端伺服器。
P_k	行動節點 U_k 傳送之封包，包含訊號強度及時間， $P_k = (RSSI_k, t)$ 。
SP	輔助觀測節點 M_j 接收所有行動節點傳遞封包之集合， $SP = \{P_k \mid k = 1, 2, \dots, l\}$ 。
T_{P_k}	輔助觀測節點 M_j 記錄該行動節點 U_k 傳送之封包。
T_{C_j}	後端伺服器 $Server$ 記錄該輔助觀測節點 M_j 蒐集所有行動節點之訊號強度值。
T_{RSSI_k}	後端伺服器 $Server$ 記錄該輔助觀測節點 M_j 偵測該行動節點 U_k 之訊號強度。
S_k	後端伺服器 $Server$ 記錄所有輔助觀測節點所偵測之行動節點 U_k 訊號強度之集合。 $S_k = \{T_{RSSI_k} \mid j = 1, 2, \dots, m\}$
C_j	輔助觀測節點 M_j 每隔 Δt 蒐集所有行動節點之訊號強度值， $C_j = \{RSSI_{j,k} \mid k = 1, 2, \dots, l\}$ 。
SC	後端伺服器 $Server$ 記錄所有輔助觀測節點 M_j 所上傳之 C_j ， $SC = \{C_j \mid j = 1, 2, \dots, m\}$ 。

表二:符號表集資訊演算法

Algorithm 1 – Monitor node collecting data**Input:** SP **Output:** C_j **Begin**

1. $Starttime = Currenttime();$
2. **while**($Currenttime() - Starttime < \Delta t$) **do**
3. **for** $k = 1$ to l **do**
4. $T_{P_k} = \{P_k \mid P_k \in SP\};$
5. $RSSI_{j,k} = monitor(T_{P_k});$
6. $C_j = C_j \cup \{RSSI_{j,k}\};$
7. **end for**
8. **end while**

End

後端伺服器會記錄每一個輔助觀測節點上傳之所有資訊並依最後的上傳時間更新其所偵測到之訊號強度數值。接著後端伺服器每經過一段時間間隔 Δt 就會執行一次定位運算。當後端伺服器欲定位某一個犯罪嫌疑人時，會先對所有輔助觀測節點收集到該行動節點之訊號強度存放 S_k 集合中。若當下後端伺服器存放之訊號強度數量達到或超過三個，就可以利用定位演算法推估行動節點某一時間之位置，定位計算、流程如表三所示。

表三:後端伺服器定位流程

Algorithm 2 – Server Tracking U_k

Input: SLM, SC

Output: $LU_{k,t}$

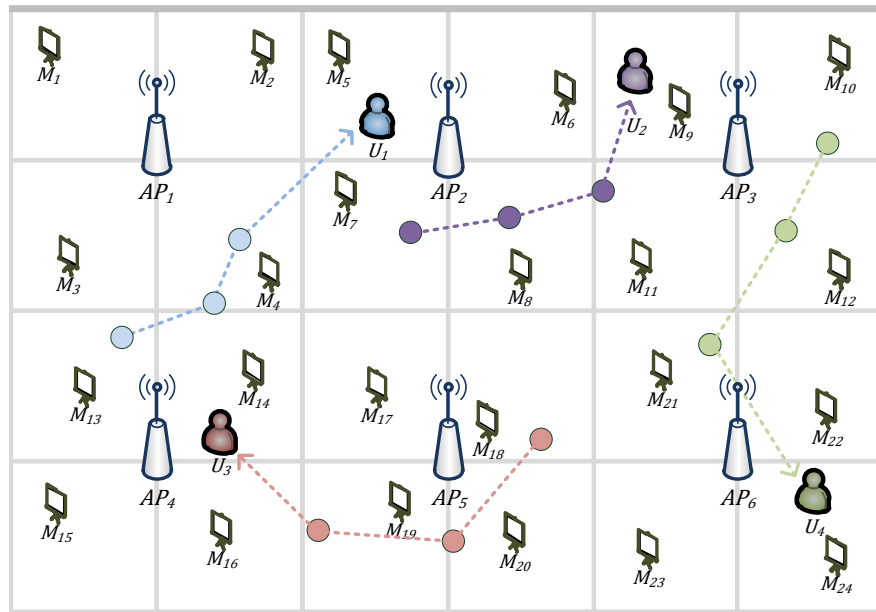
Begin

1. $Starttime = Currenttime();$
2. **while**($Currenttime() - Starttime < \Delta t$) **do**
3. **for** $j = 1$ to m **do**
4. $T_{C_j} = \{C_j \mid C_j \in SC\};$
5. $T_{RSSI_k} = \{RSSI_{j,k} \mid RSSI_{j,k} \in T_{C_j}\};$
6. $S_k = S_k \cup \{T_{RSSI_k}\};$
7. **end for**
8. **if** element of $S_k \geq 3$
9. $LU_{k,t} = Tri(S_k, SLM);$
10. **end if**
11. **end while**

End

3.2、移動足跡分析

當我們使用前一小節的定位演算法定位出某一時間下犯罪嫌疑人之所在位置後，即可將犯罪嫌疑人所有時間點的位置都記錄起來，如此就可以觀察犯罪嫌疑人的移動軌跡。四為所有行動節點移動路徑圖。



圖四: 行動節點移動軌跡圖

根據上述，首先假設室內環境有 n 個數量的無線基地台，在每個基地台附近配置四個輔助觀測節點，總數量 $m = n * 4$ 。當每個行動節點發送封包後，此時基地台周圍之輔助觀測節點每隔一段時間 t 也會偵測到該封包並解析封包之訊號強度。接著依據行動節點分別擁有的獨立的實體位址(MAC Address)區分其身分，並把相關資訊整合上傳至後端伺服器。之後同樣每隔一段時間間隔依據輔助觀測節點所上傳之監測資訊，執行一次定位運算。當訊號強度數量達到或超過三個，後端伺服器就可以利用定位演算法推估行動節點之位置。當我們可以定出行動節點於某一個時間點的位置時，就可以定出行動節點所有時間點的位置，並推導出行動節點移動之軌跡。

以室內定位技術之犯罪嫌疑人移動足跡分析與鑑識

表四為建立行動節點路徑流程。

表四: 建立行動節點路徑

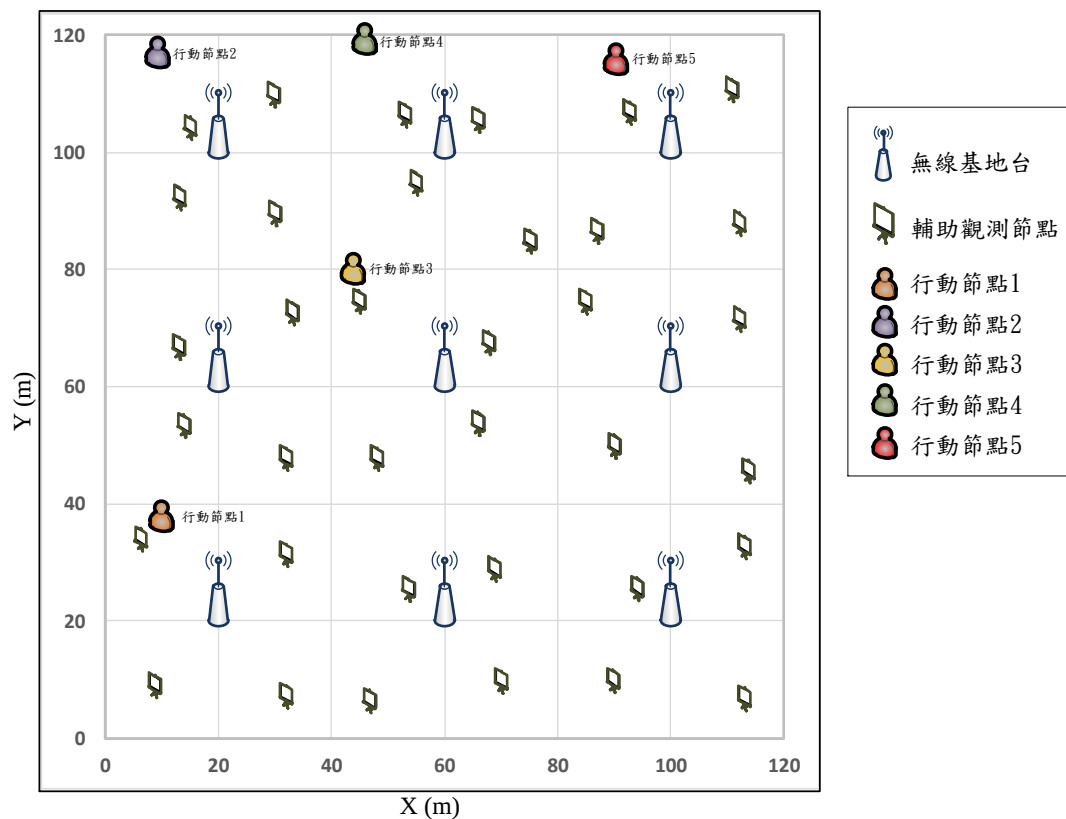
Algorithm 3 – Server Building $Path_k$ **Input:** SLM, SC **Output:** $Path_k$ **Begin**

1. $Starttime = Currenttime();$
2. **while**($Currenttime() - Starttime < \Delta t$) **do**
3. **for** $k = 1$ to l **do**
4. **for** $j = 1$ to m **do**
5. $T_C_j = \{C_j \mid C_j \in SC\};$
6. $T_RSSI_k = \{RSSI_{j,k} \mid RSSI_{j,k} \in T_C_j\};$
7. $S_k = S_k \cup \{T_RSSI_k\};$
8. **end for**
9. **if** element of $S_k \geq 3$
10. $LU_{k,t} = Tri(S_k, SLM);$
11. $Path_k = Path_k \cup \{LU_{k,t}\};$
12. **end if**
13. **end for**
14. **end while**

End**四、實驗及分析**

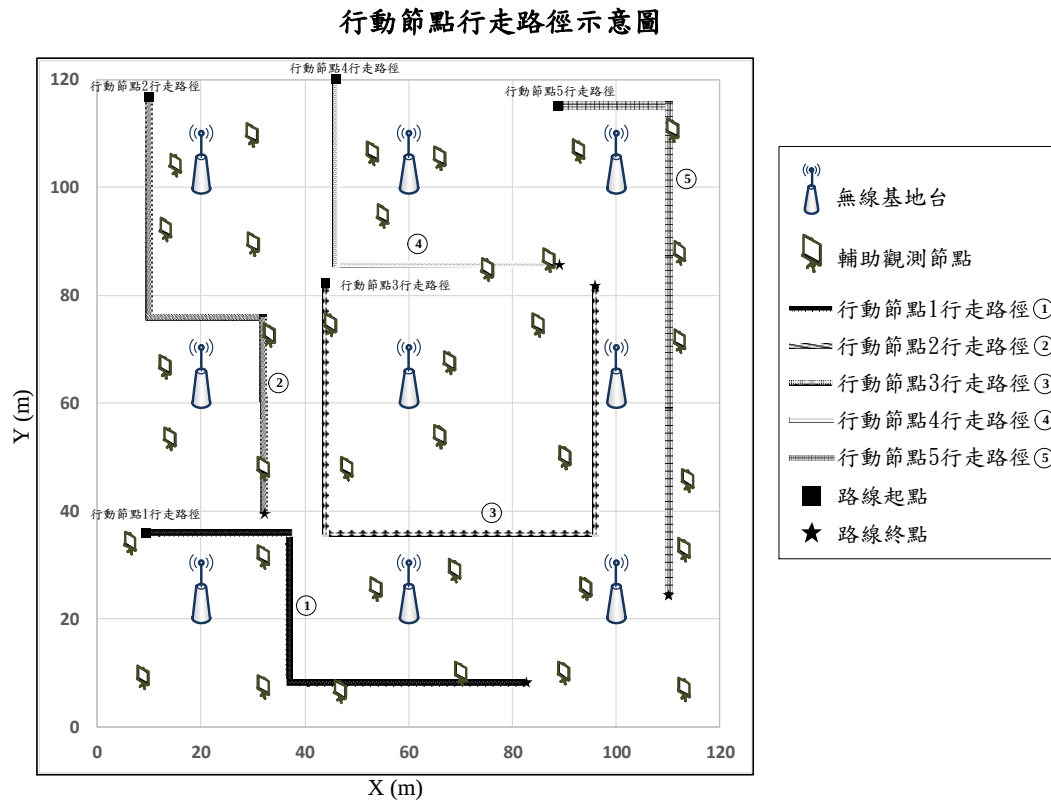
本章節利用模擬以及實際在大樓裡實驗的方式加以分析與探討實驗結果。我們的模擬實驗以 Network Simulation 3 網路模擬器為基礎，定義在一個長與寬分別是120公尺×120公尺的空間裡，架設9台基地台，每台基地台的間隔為40公尺，依井字狀依序做排列; 每台基地台周圍隨機放置4個輔助觀測節點，總數為36個，每個輔助觀測節點都會觀察與記錄網域內與行動節點間之訊號強度。我們再將所有輔助觀測節點所記錄之資訊，上傳至伺服器分析; 我們模擬五個不同的行動節點同時於環境中做測試，橘色點為行動節點1，座標為(10, 36)，紫色點為行動節點2，座標為(10, 116)，黃色點為行動節點3，座標為(44, 78)，綠色點為行動節點4，座標為(46, 118)，紅色點為行動節點5，座標為(90, 115)。圖五為模擬實驗環境佈置圖，X軸與Y軸分別為環境之長度，單位為公尺。

模擬環境佈置圖



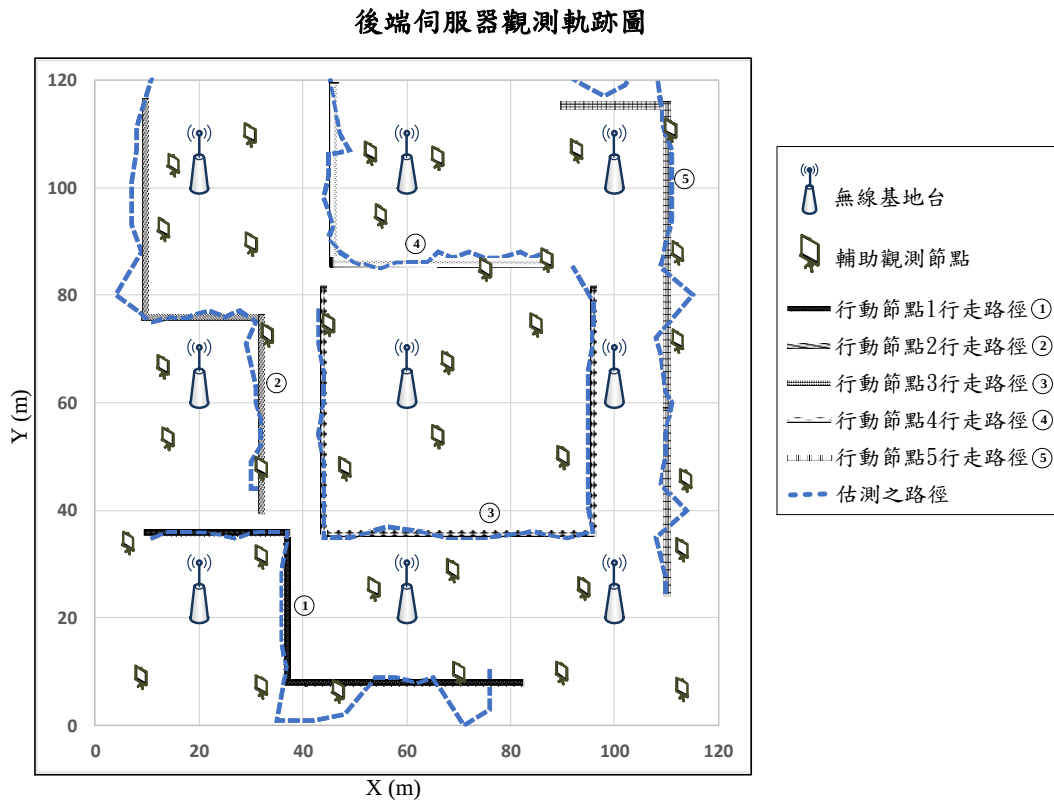
圖五: 基地台與輔助觀測節點環境佈置圖

圖六為行動節點之預測路徑圖。黑色實線線條為行動節點1行走之路徑，從座標(10, 36)行走至(82, 8); 斜線條紋線條為行動節點2行走之路徑，從座標(10, 116)行走至(32, 40); 川字型條紋線條為行動節點3行走之路徑，從座標(44, 78)行走至(96, 84); 斑點狀線條為行動節點4行走之路徑，從座標(46, 118)行走至(88, 86); 格線條紋線條為行動節點5行走之路徑，從座標(90, 115)行走至(110, 25)。每個行動節點於路徑中皆停留24個位置供輔助觀測節點測量訊號強度與上傳至後端伺服器，之後，配合我們的方法估算出所有行動節點行走的所有位置，並各自畫出其軌跡。



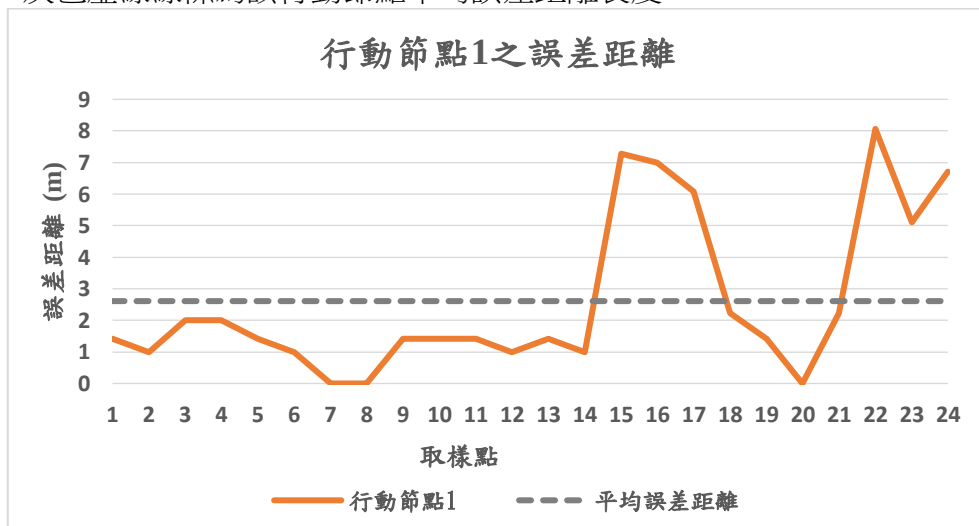
圖六: 行動節點行走路徑示意圖

圖七中藍色虛線線條為輔助觀測節點偵測訊號強度值提供至後端伺服器，經由後端伺服器運算所描繪之路徑。由圖中可發現後端伺服器估算行動節點1、行動節點2、行動節點5之路徑誤差值較高，原始行走之路徑與估算之路徑兩者間的平均誤差分別為2.60公尺、2.33公尺、2.55公尺。這是因為當行動節點行在環境較邊緣之地方時，行動節點與環境距離較遠的輔助觀測節點訊號傳輸的距離較長使得訊號的衰落較大。由於我們的方法，並無過濾訊號強度數值較低與數值跳動較大之情況，因此造成邊緣之地方誤差值較高。反之當行動節點行走在環境中央或靠近中央時，行動節點與輔助觀測節點的訊號傳輸距離和偵測之訊號強度數值較為平均，使得定位誤差值相對較低。如圖中行動節點3、行動節點4所示，原始行走之路徑與估算之路徑兩者間的平均誤差分別為1.09公尺、1.99公尺。

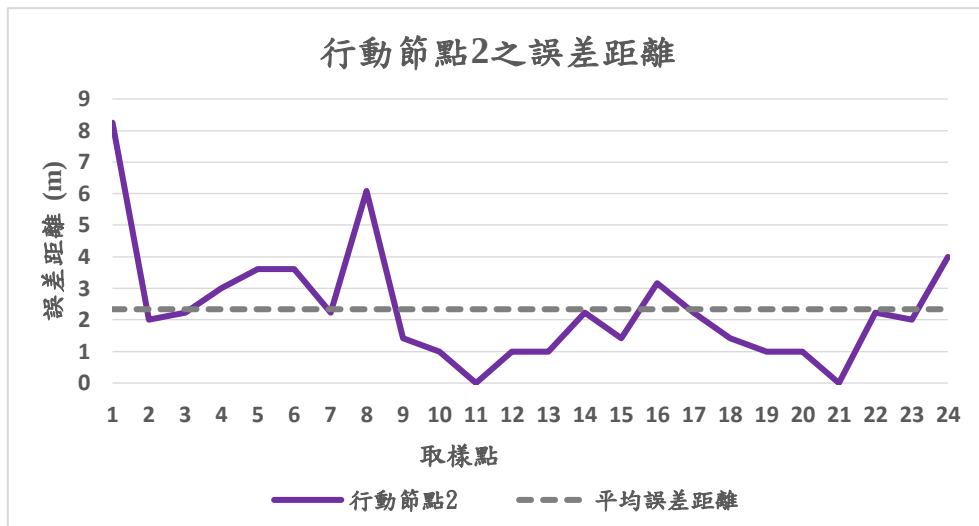


圖七: 後端伺服器觀測軌跡圖

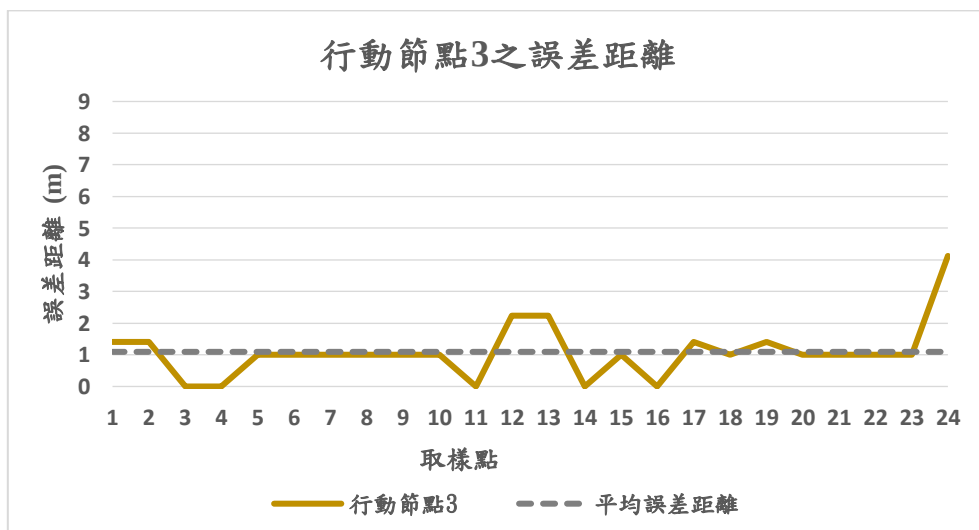
圖八至圖十二依序為五個行動節點於路徑中每一位置與後端伺服器估算位置誤差距離分佈圖。X軸為路徑停留之位置，Y軸為誤差距離長度，單位為公尺。橘色線條為行動節點1之誤差距離分佈，紫色線條為行動節點2之誤差距離分佈，黃色線條為行動節點3之誤差距離分佈，綠色線條為行動節點4之誤差距離分佈，紅色線條為行動節點5之誤差距離分佈，灰色虛線線條為該行動節點平均誤差距離長度。



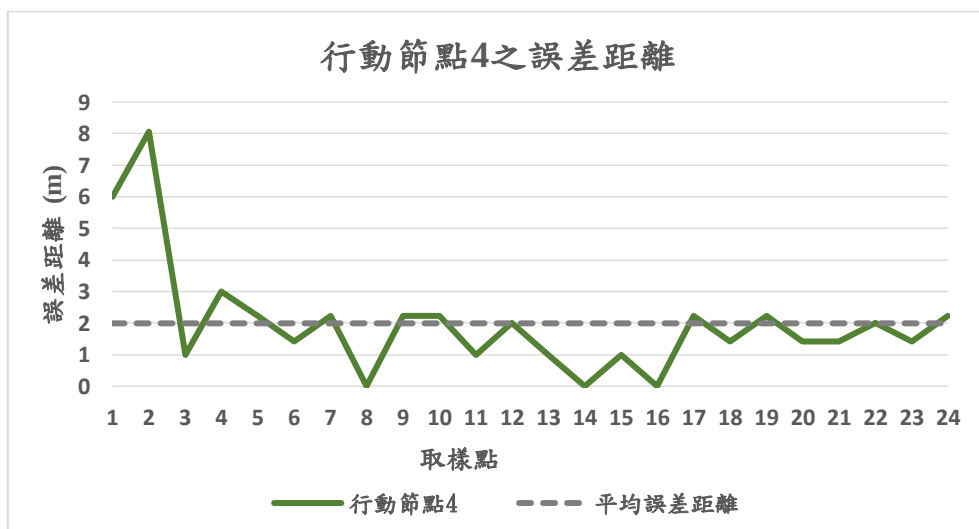
圖八: 行動節點1逐一位置誤差距離分佈圖



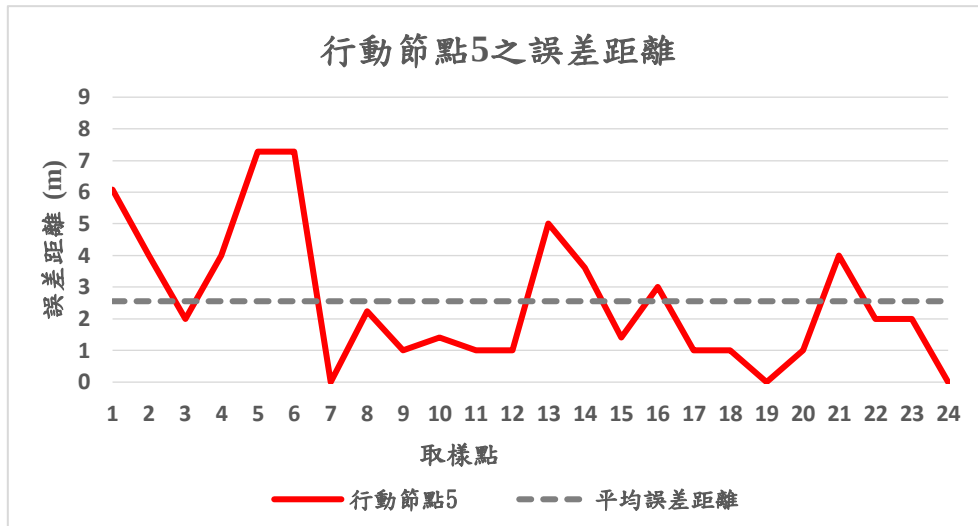
圖九: 行動節點2逐一位置誤差距離分佈圖



圖十: 行動節點3逐一位置誤差距離分佈圖



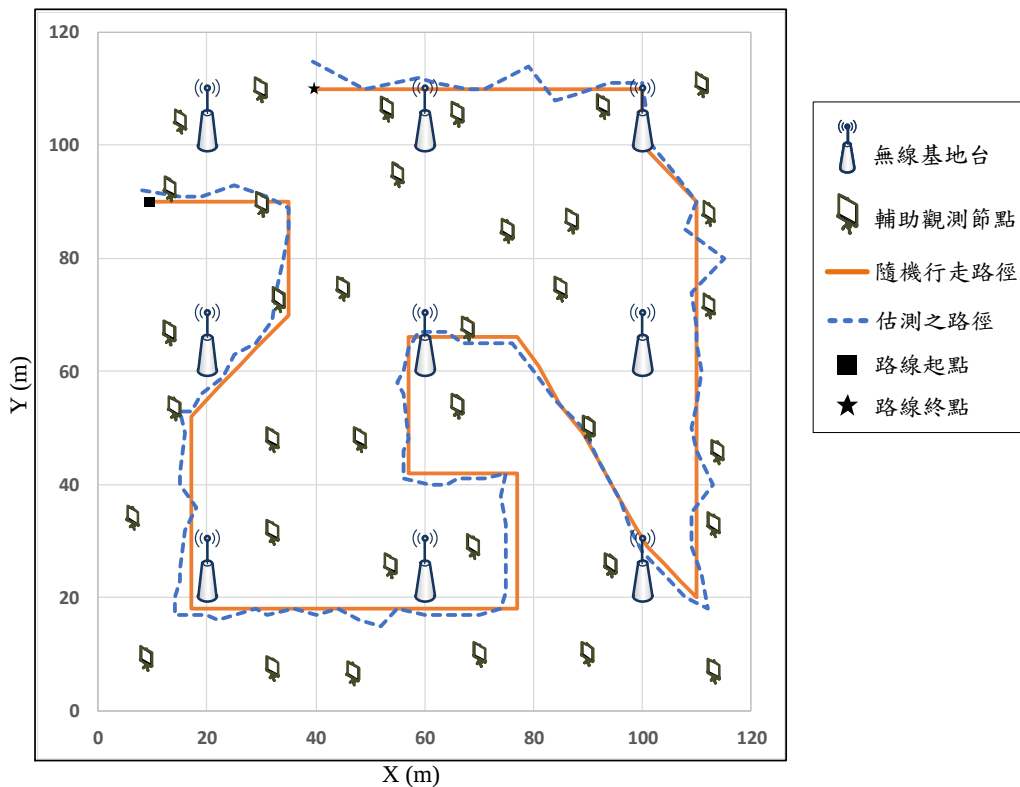
圖十一: 行動節點4逐一位置誤差距離分佈圖



圖十二: 行動節點5逐一位置誤差距離分佈圖

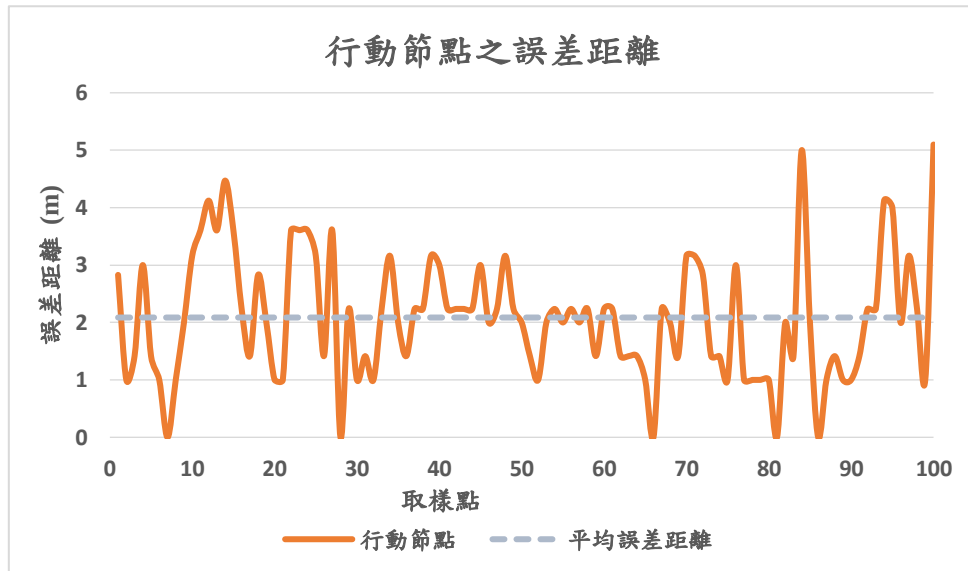
圖十三為模擬一個行動節點在環境裡隨機行走路徑觀測圖，於座標(10,90)開始行走，橘色實線線條為行動節點隨機行走路徑，藍色虛線線條為後端伺服器估算之路徑。我們蒐集100個位置供輔助觀測節點與後端伺服器測量與運算。當行動節點隨機行走於環境較邊緣之地方，其與環境距離較遠之輔助觀測節點傳輸訊號的不穩定，導致估算路徑呈現鋸齒狀路徑。而當行動節點位於環境中央時，其所估算路徑則較為平滑。

隨機行走原始路徑與估測路徑圖



圖十三: 隨機行走原始路徑與估測路徑圖

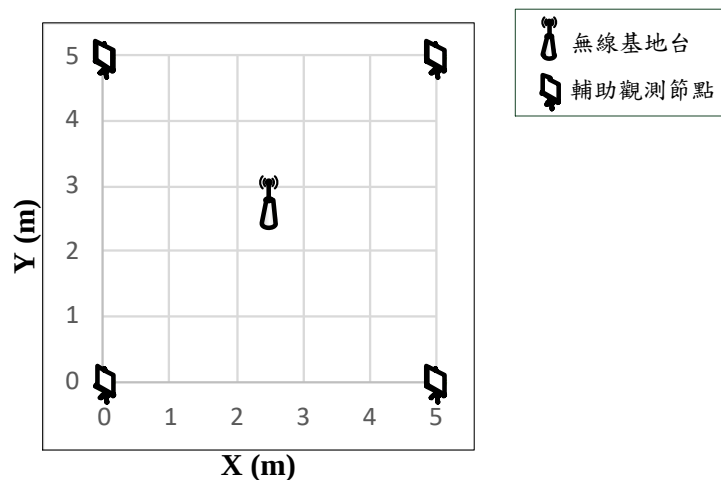
圖十四為行動節點隨機行走逐一位置誤差距離分佈圖。其中X軸為路徑之位置，Y軸為誤差距離長度，單位為公尺。橘色線條為行動節點誤差距離分佈，灰色線條為行動節點平均誤差距離長度。圖中當行動節點行走於環境較邊緣之區塊產生最大誤差5.09公尺。然而逐一位置的誤差值跳動頻率雖較高，但是後端伺服器經由計算所描繪之估測路徑與原始路徑誤差距離並不大，兩者的平均誤差為2.08公尺。因此可證明，當行動節點於環境中隨機行走，我們的方法依然可以精確的觀察出行動節點之路徑。



圖十四: 隨機行走逐一位置誤差距離分佈圖

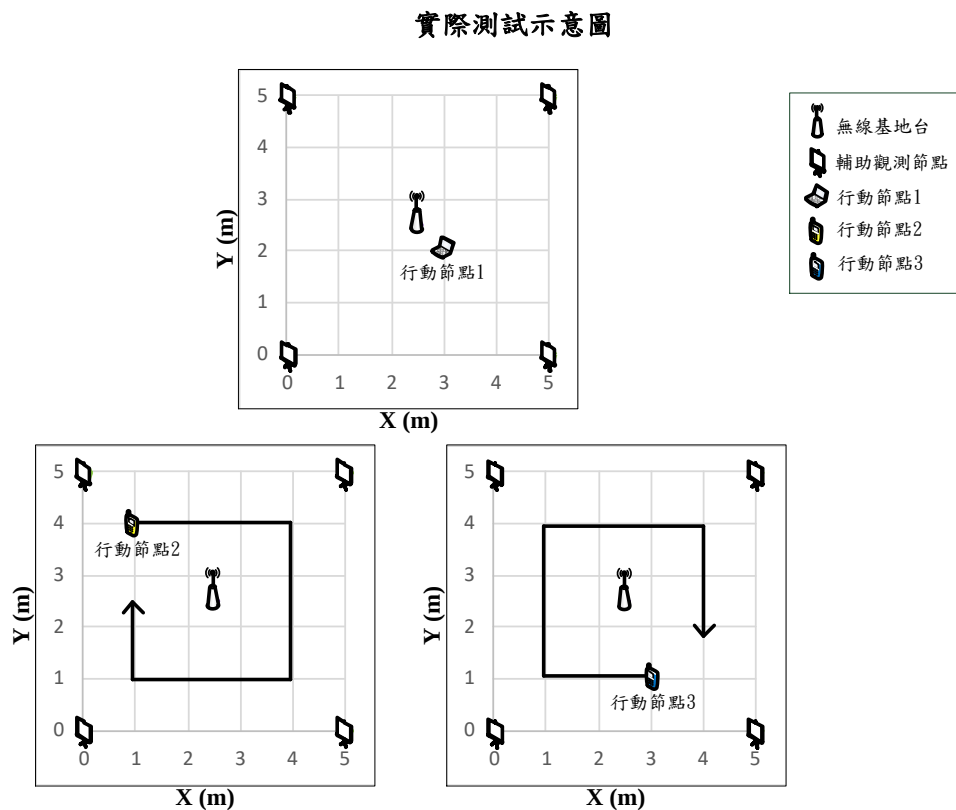
接下來我們實際在實驗大樓裡做實驗測試。我們的實驗環境以5公尺×5公尺為一方格，於方格中央架設一台無線基地台，輔助觀測節點所處位置分別為實驗環境的四個角落。我們採用 MediaTek LinkIt 7688 當成輔助觀測節點M，如圖十五所示。其中X軸與Y軸分別為環境之長度，單位為公尺，中央點為無線基地台，角落點為輔助觀測節點。

實際環境佈置圖



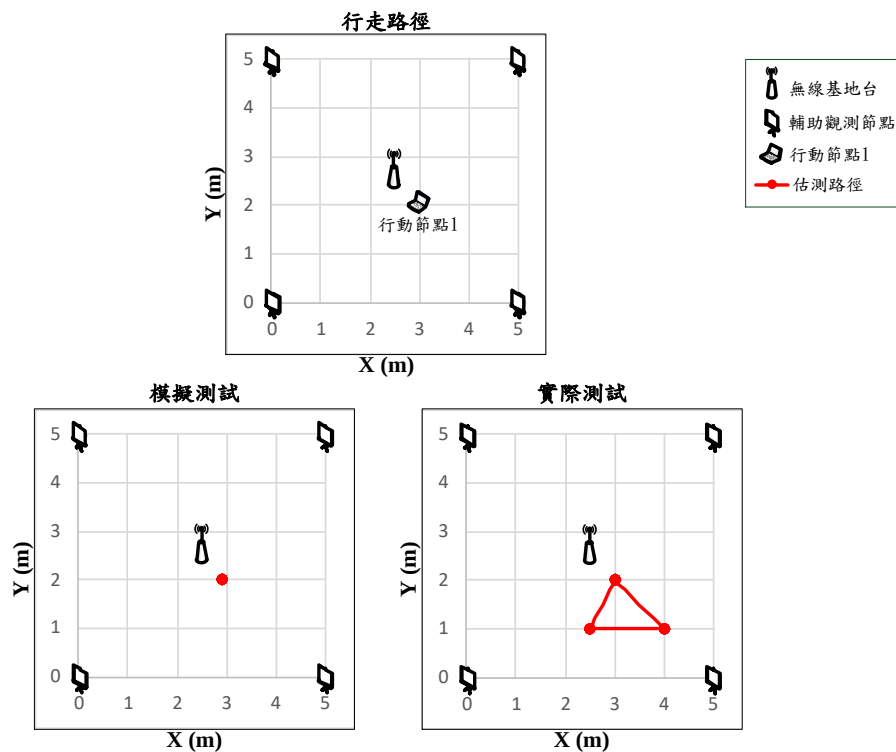
圖十五: 實際環境佈置圖

我們使用一台筆記型電腦及兩台不同廠商之智慧型手機模擬犯罪嫌疑人之移動。我們將筆記型電腦固定放置於環境裡，負責測試與監測輔助觀測節點是否正常連線與偵測封包，接著依序持一台手機繞著環境行走一圈做測試。圖十六為實際測試示意圖，我們定義筆記型電腦為行動節點1，兩台手機依序定義為行動節點2與行動節點3。我們於實驗中將行動節點1固定於座標約(3,2)之位置，如圖十六之上圖，之後行動節點2從座標(1,4)順時針方向行走，如圖十六之左下圖，接著行動節點3從座標(3,1)順時針方向行走同一路徑，如圖十六之右下圖。



圖十七、圖十八、圖十九分別為三個行動節點實驗之結果，利用模擬與實際測試的方式進行結果比較。圖十七之上圖為行動節點1的測試行走路徑，此路徑為靜止於該位置。左下圖為模擬之結果，右下圖為實際測試之結果。圖中紅色圓點為經由後端伺服器估算之位置，紅色圓點線條為移動之軌跡。從圖中可以看到，我們利用模擬的方式確實的呈現出行動節點靜止於該位置;但是實際測試中，雖然行動節點1靜止，然而訊號的傳播還是會受到環境行人的干擾造成訊號強度數值並不固定，使得實驗結果呈現行動節點1有些許移動。

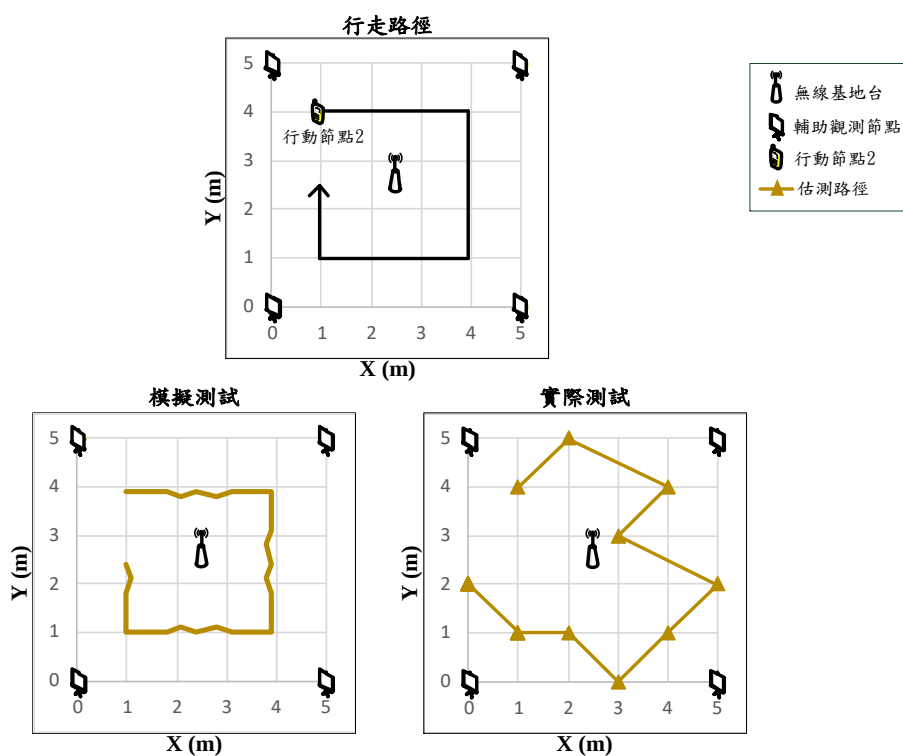
行動節點1模擬與實際測試比較圖



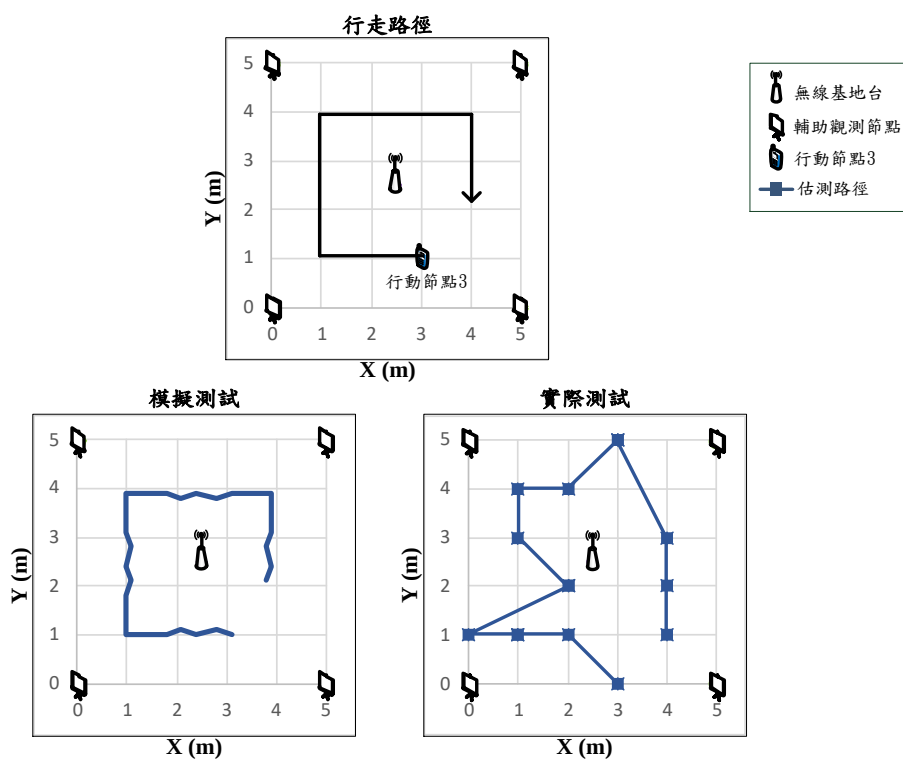
圖十七: 行動節點1模擬與實際測試比較圖

圖十八之上圖為行動節點2的測試行走路徑，從座標(1,4)順時針方向行走。左下圖為模擬之結果，右下圖為實際測試之結果，黃色三角形點線條為後端伺服器估算行動節點2之軌跡。圖十九之上圖為行動節點3的測試行走路徑，從座標(3,1)順時針方向行走。左下圖為模擬之結果，右下圖為實際測試之結果，藍色方形點線條為後端伺服器估算行動節點3之軌跡。從圖十八及圖十九中，可以看到實際測試的情況下，行動節點2的估算路徑與原始行走路徑的偏差相較於行動節點3來的大。我們猜測由於每台手機的天線設計皆不一樣，同樣距離之情況輔助觀測節點偵測到由手機傳送之訊號強度值並不完全相同，因此兩個行動節點實驗之結果有些許落差。雖然行動節點2的偏差較大，但是從模擬實驗與實際測試的結果可以看出，後端伺服器依然能夠逐一計算出兩個行動節點之位置，並呈現出其路徑。

行動節點2模擬與實際測試比較圖



行動節點3模擬與實際測試比較圖



五、結論

本研究提出一個新的被動式觀察系統，改善傳統Wi-Fi無線網路定位技術無法追蹤犯罪嫌疑人之問題。利用架設輔助觀測節點的方式，偵測犯罪嫌疑人與無線基地台連線之封包，並解析其訊號強度，將資訊上傳至後端伺服器。之後伺服器就可利用此資訊估測出犯罪嫌疑人於室內每一時間點的位置，並將其畫成一條路徑，實現觀察其於室內環境的移動軌跡。

我們分別利用模擬以及實際在大樓裡實驗的方式加以分析及探討，無論犯罪嫌疑人是否固定方向移動或是於環境裡隨意移動，我們的方法皆可精準的觀測出每個行動節點的移動軌跡

【謝啟】

本研究承蒙科技部計畫 MOST 106-2221-E-130-001, MOST 106-3114-E-011-003, 及 MOST 106-2221-E-033-002 補助，特此致謝。

參考文獻

- [1] Bahl, P., and Padmanabhan, V. N., “RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system”, Conference on Computer Communications. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (2), IEEE INFOCOM 2000: pp. 775–784.
- [2] Chintalapudi, K., Iyer, A. P., and Padmanabhan, V. N., “Indoor localization without the pain”, in Proceedings of the MobiCom '10: Proceedings of the sixteenth annual international conference on Mobile computing and networking, New York, New York, USA, 2010: pp. 173.
- [3] Curran, K., Furey, E., Lunney, T., Santos, J., Woods, D., and McCaughey, A., “An evaluation of indoor location determination technologies”, Journal of Location Based Services (5:2), Taylor & Francis Group, 2011a: pp. 61–78.
- [4] Farid, Z., Nordin, R., and Ismail, M., “Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System”, Journal of Computer Networks and Communications, Hindawi Publishing Corporation, 2013: pp. 1–12.
- [5] Gu, Y., Lo, A., and Niemegeers, I., “A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks”, IEEE Communications Surveys & Tutorials (11:1), 2009: pp. 13–32.
- [6] Han, G., Klinker, G. J., Ostler, D., and Schneider, A., “Testing a proximity-based location tracking system with Bluetooth Low Energy tags for future use in the OR”, in Proceedings of the 2015

- 17th International Conference on E-health Networking, Application & Services (HealthCom), 2015: pp. 17–21.
- [7] Kho, Y. H., Chong, N. S., and Kizilirmak, R. C., “A passive wireless tracking system for indoor assistive monitoring” , in Proceedings of the 2015 9th International Conference on Sensing Technology (ICST), 2015: pp. 138–142.
- [8] Li, X., Wang, J., Knight, N., and Ding, W., “Vision-based Positioning with a Single Camera and 3D Maps: Accuracy and Reliability Analysis,” *Journal of Global Positioning Systems* (10:1), 2011: pp. 19–29.
- [9] Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P., and Liu, J., “Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* (37:6), 2007: pp. 1067–1080.
- [10] Ni, L. M., Liu, Y., Lau, Y. C., and Patil, A. P., “LANDMARC: indoor location sensing using active RFID” , *Wireless networks* (10:6), Springer-Verlag New York, Inc., 2004: pp. 701–710.
- [11] Priyantha, N. B., Chakraborty, A., and Balakrishnan, H., “The Cricket location-support system” , the 6th annual international conference, New York, USA, 2000: pp. 32–43.
- [12] Rida, M. E., Liu, F., Jadi, Y., Algawhari, A. A. A., and Askourih, A., “Indoor Location Position Based on Bluetooth Signal Strength” , Presented at the 2015 2nd International Conference on Information Science and Control Engineering, 2015: pp. 769–773.
- [13] Seco, F., Jimenez, A. R., Prieto, C., Roa, J., and Koutsou, K., “A survey of mathematical methods for indoor localization” , in Proceedings of the 2009 IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing, 2009: pp. 9–14.
- [14] Spinella, S. C., Iera, A., and Molinaro, A., “On Potentials and Limitations of a Hybrid WLAN-RFID Indoor Positioning Technique” , *International Journal of Navigation and Observation*, Hindawi, 2010: pp. 1–11.
- [15] Want, R., Hopper, A., Falcão, V., and Gibbons, J., “The active badge location system” , *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)* (10:1), 1992: pp. 91–102.
- [16] Yang, C., and Shao, H.-R., “WiFi-based indoor positioning” , *IEEE Communications Magazine* (53:3), 2015: pp. 150–157.