

## 整合Wi-Fi與GPS技術於室外定位之研究

林老生\* 郭清智\*\*

論文收件日期：102年7月10日

論文接受日期：103年1月23日

### 摘 要

本文提出整合Wi-Fi與GPS (Wi-Fi/GPS) 技術於室外定位的演算法，希望在都市區域能提供無縫的適地性服務。以國立政治大學的山下校區為實驗區，並對下列議題加以研究：(1) Wi-Fi定位的精度，(2) GPS定位的精度，(3) Wi-Fi/GPS定位的精度，及(4) Wi-Fi定位之平面精度與參考點間距之函數關係。根據實驗結果顯示：(1) Wi-Fi/GPS室外定位的平面與高程精度，皆優於Wi-Fi定位或GPS定位；(2) 可以簡單函數，建立Wi-Fi定位之平面精度與參考點間距之關係。

關鍵詞：Wi-Fi定位、戶外定位、定位精度、訊號紋法、高感度GPS接收器

---

\* 副教授，國立政治大學地政學系，TEL：(02)29393091#50606，E-mail：lslin@nccu.edu.tw

\*\* 碩士，國立政治大學地政學系，TEL：(02)2502-2881#206，E-mail：98257024@nccu.edu.tw

# On Outdoor Positioning with Wi-Fi and GPS

Lao-Sheng Lin\*, Ching-Chih Kuo\*\*

## Abstract

In order to provide a ubiquitous location-based service (LBS) in the urban areas, an outdoor positioning algorithm integrating Wi-Fi with Global Positioning System (GPS) (Wi-Fi/GPS) was proposed in this study. Two test data sets from the downhill campus of National Chengchi University were used to test the proposed algorithm. The following topics were studied: (1) Wi-Fi positioning accuracy, (2) GPS positioning accuracy, (3) Wi-Fi/GPS positioning accuracy, and (4) the relationship between the reference point intervals and the Wi-Fi planimetric accuracies. According to the test results, the following comments can be concluded: (1) the Wi-Fi/GPS positioning accuracies are better than those from Wi-Fi positioning or GPS positioning, and (2) a simple function can be used to establish the relationship between the reference point intervals and the Wi-Fi planimetric accuracies.

Keywords: Fingerprinting, High Sensitivity GPS Receiver, Outdoor Positioning, Positioning Accuracy, Wi-Fi Positioning

---

\* Associate Professor, Dept. of Land Economics, National Chengchi University,  
TEL: (02)29393091#50606, E-mail: lslin@nccu.edu.tw

\*\* Graduate Student, Dept. of Land Economics, National Chengchi University,  
TEL: (02)2502-2881#206, E-mail: 98257024@nccu.edu.tw

## 一、前 言

一般用戶除了可以利用Wireless Fidelity (Wi-Fi) 上網之外，更可以利用接收來自不同Access Point (AP) 之訊號強度值，以推估用戶之位置。因而使得Wi-Fi，由原本被設計為資料傳輸的設備，變成定位的工具。早期的Wi-Fi定位，主要用在室內定位，例如醫院之醫護管理、圖書館內部導覽等方面。因此，相關的Wi-Fi定位研究，大多偏重於室內定位；至於，利用Wi-Fi於室外定位的研究，則比較少提及。另一方面，全球定位系統 (Global Positioning System, GPS)，雖然可提供方便的定時、定位及導航等服務。但是，在都市區域，GPS衛星訊號可能被建築物遮蔽，導致可視衛星數量減少，因而造成定位誤差過大，甚至嚴重到無法定位，以致無法提供適地性服務 (Location-Based Service, LBS)。

若能應用都市區域已有的Wi-Fi設備，利用適當的演算法，整合Wi-Fi與GPS定位 (Wi-Fi/GPS定位) 技術，將可以提供無縫的適地性服務。因此，本文提出Wi-Fi/GPS定位技術於室外定位的演算法。利用國立政治大學山下校區作為實驗區，模擬都市區域室外之狀況。並針對下列議題加以研究：(1) Wi-Fi定位精度，(2) GPS定位精度，(3) Wi-Fi/GPS定位精度，及(4) Wi-Fi定位之平面精度與參考點間距之函數關係。

本文共分五節，第一節為前言，第二節為有關理論與文獻回顧，第三節為實驗設計，第四節為實驗結果與討論，第五節為結論。

## 二、相關理論與文獻回顧

### (一) Wi-Fi 定位原理

#### 1. Wi-Fi

Wi-Fi是指無線保真 (Wireless Fidelity)，是一種建立於IEEE 802.11標準的無線區域網路設備。無線接入點、無線接收盒、或無線網路基地台 (AP)，是一種連接無線網路與有線網路的裝置。Media Access Control Address (MAC位址)，即所謂的媒體存取控制位址，用來定義每一個AP的位置。

接收訊號強度 (Received Signal Strength, RSS) 的單位為dBm，由下列方程式定義之：

$$xx \text{ dBm} = 10 * \log\left(\frac{S}{0.001W}\right) \dots\dots\dots (1)$$

式中，xx代表dBm數；S代表接收的訊號功率，以瓦特（Watt, W）為單位。例如，當S=0.1W，則xx=20（dBm）。xx的數字越小，表示信號強度越小。

## 2. Wi-Fi定位方法

所謂Wi-Fi定位，是利用天線接收來自不同AP的RSS，推估接收天線的坐標。依接收訊號強度及估算方法不同，大致可分為三邊定位法（Trilateration）和訊號紋法（Fingerprinting）等。

三邊定位法，又稱訊號強度法（戴江淮，2009），或三角定位技術（陳惠琪等，2010）。如果各AP的坐標已知，並且已建立其訊號損失模型。藉由接收到的訊號強度，可以推算天線與各AP之距離；若能同時接收3個以上AP的訊號，即可得3段以上的距離，再以交會法估計天線的位置。

訊號紋法，則不需要知道各AP的坐標；但是，必須事先建立欲實施Wi-Fi定位地區的訊號強度模型(或稱為無線電地圖)；然後，再以某種演算法，來預估天線的坐標。訊號紋法，分為兩階段來進行：（1）訓練階段（Training Phase），或稱為離線階段（Off-line）；及（2）定位階段（Location Determining Phase），又稱為連線階段（On-line）（Bahl et al., 2000）。

綜上所述，三邊定位法的主要優點，只需要事先知道各AP的坐標，以及訊號損失模型，便可以實施Wi-Fi定位；但是，定位誤差可能會較大。另一方面，若採用訊號紋法，雖然在訓練階段，需要較多的人力、時間建立訊號強度模型，但是定位精度較高。因此，本文後續的Wi-Fi定位研究，將採用訊號紋法。

## 3. 訊號紋法的訓練階段

首先，在Wi-Fi定位區域（待測區）內，選擇、佈設有相當數量的參考點，並測得各參考點的坐標。然後，利用接收Wi-Fi訊號的天線在各參考點上，停留一段時間，以便蒐集區域內，來自各AP的Wi-Fi資料（含MAC位址及RSS值等）。利用各參考點的坐標與Wi-Fi資料，建立該區的訊號強度模型(資料庫)，以建立各參考點與各AP的訊號強度值間的函數關係。建置完成的資料庫，包含所有參考點的坐標、接受到的各AP之MAC位址與RSS值。

## 4. 訊號紋法的定位階段—最鄰近法

如果已建立待測區的訊號強度模型，則可以進入定位階段。在待測點上利用天

線，蒐集各AP的Wi-Fi資料，並以某種演算法（如最鄰近法），估計待測點的位置（連矩鋒，2007；崔文等，2011）。

令TP及RP，分別為待測點與參考點，則所謂的最鄰近法（K Nearest Neighbor algorithm, KNN），是在TP以天線，蒐集來自*i*（*i*=1...*n*，*n*為AP數）個AP的Wi-Fi資料，再由建置好的訊號強度模型(資料庫)，根據各參考點（RP<sub>*j*</sub>，*j*=1...*m*，*m*為參考點數）接收各AP的Wi-Fi資料，利用方程式（2）計算TP與各RP的RSS歐幾里德距離*D*（dBm）。再尋找一個*D*值最小值所對應的RP，取該RP的坐標，當作TP的可能坐標（Bahl et al., 2000）。

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_{i1} - S_{i2})^2} \dots\dots\dots (2)$$

式中，*S*<sub>*i1*</sub>代表在TP上接收第*i*個AP的RSS，*S*<sub>*i2*</sub>代表於資料庫中在某個RP上接收第*i*個AP的RSS。最鄰近法（KNN）的*K*值可能為1，2，3或4，由實際狀況來決定。

表1 TP、RP1與RP2接收三個AP的RSS值（dBm）（此為示範數據）

點位 \ AP	AP1	AP2	AP3
RP1 (X <sub>1</sub> , Y <sub>1</sub> )	-67.0	-70.6	-74.0
RP2 (X <sub>2</sub> , Y <sub>2</sub> )	-70.8	-82.2	-74.0
TP (? , ?)	-77.4	-79.9	-69.9

例如，在某一測區有1個TP，2個RP（分別以RP1和RP2代表之），以及3個AP（分別以AP1、AP2、及AP3代表之）。在TP、RP1及RP2上，皆可接收來自AP1、AP2及AP3的Wi-Fi訊號，其有關RSS值（dBm），如表1所示為示範數據，將被用以說明如何計算*D*值。

首先，根據方程式（2）的定義，由表1的成果可知：當*i*為1時（即接收AP1的Wi-Fi訊號），*S*<sub>*i1*</sub>代表TP接收AP1的RSS（dBm）為-77.4，*S*<sub>*i2*</sub>代表資料庫中RP1接收AP1的RSS為-67.0。而*i*為2時（即接收AP2的Wi-Fi訊號），*S*<sub>*31*</sub>為TP接收AP2的RSS為-79.9，*S*<sub>*22*</sub>代表資料庫中RP1接收AP2的RSS為-70.6。*i*為3時（即接收AP3的Wi-Fi訊號），*S*<sub>*31*</sub>為TP接收AP3的RSS為-69.9，*S*<sub>*32*</sub>為資料庫中RP1接收AP3的RSS為-74.0。其次，再根據方程式（2），求得TP與RP1的*D*值為14.5 dBm。同理，可求

得TP與RP2的D值為8.1 dBm。由於TP與RP2的D較小，依KNN，便認定TP的坐標等於RP2的坐標為  $(X_2, Y_2)$ 。以上為採用KNN定位的例子，其K值為1。

在實際Wi-Fi定位應用，如果採用KNN，其K值不一定為1。因此，可能會選取一個以上最靠近待測點的參考點；然後，再以加權平均方式，求取待測點的坐標；通常建議K值為3~5即可（Bahl et al., 2000）。假定建立訊號強度模型所需的參考點，是採取網格佈設，如圖1所示。圖中，橫軸與縱軸，分別代表橫坐標及縱坐標；圓圈，代表利用KNN找出待測點之推估點位；X，代表待測點之實際點位。在本例中，共找了四個鄰近點（KNN, K=4）（Cheong et al., 2009）。圖中的網格點，為建置資料庫所佈設的參考點位置；由於待測點之實際點位，可能不在參考點（網格點）上，所以會以KNN，先選取K個推估點位，再以方程式（2）計算待測點至各推估點位的D值，以 $1/D^n$ 為權值，n為1~3，求K個推估點位的加權平均值，作為待測點最後的推估點位。

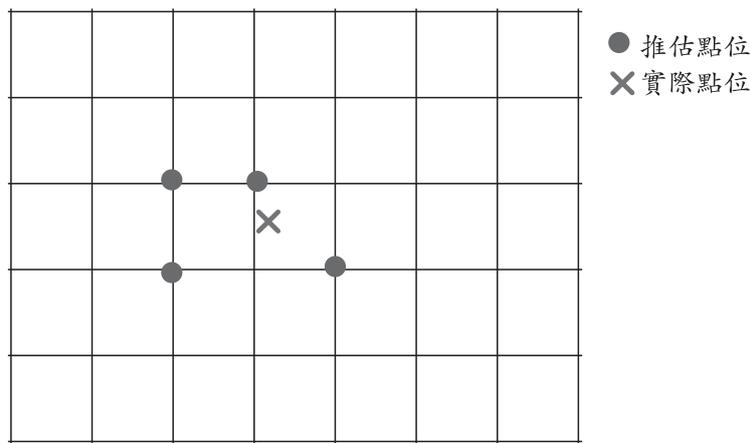


圖1 利用KNN (K=4) 找出推估點位與實際點位示意圖

## (二) Wi-Fi 在室內、室外定位之相關研究

在室內定位分面：Bahl et al. (2000)，以固定間隔距離，佈設網格狀參考點，採用KNN (K=3~5)，求得待測點的點位，使得50%的點位誤差落在2.8公尺。連矩鋒 (2007)，以2公尺間距佈設網格狀之參考點，採用KNN (K=3)，求得待測點的平面之平均誤差約為5.0公尺。Kealy et al. (2010)，利用Ekahau Positioning Engine (EPE) (Ekahau, 2011) 做實驗，發現當周圍無人走動，EPE的平面誤差可

在1.0公尺以內；但是，如果不斷有人走動的狀況下，EPE的平面定位誤差則約為10.0公尺。

在室外定位分面：Kealy et al. (2010)，利用Skyhook定位系統 (Skyhook, 2011) 做實驗，發現定位之平面誤差可能到達130.0公尺。Li et al. (2008)，在澳洲之雪梨商業區實驗，如果考慮接收Wi-Fi天線的方向，定位之平面平均誤差為23.5公尺；如果不考慮接收Wi-Fi天線方向，平面平均誤差則為35.8公尺。連矩鋒 (2007)，以每隔10.0公尺佈設一個參考點，利用KNN (K=3)，求得定位之平面平均誤差為29.0公尺。廖俊愷 (2009)，以每間隔1公尺佈設一點參考點，利用KNN，求得定位之平面平均誤差為4.0公尺。崔文等 (2011)，利用智慧型手機 (HTC Android G1) 內建之GPS、Wi-Fi、加速度計和電子羅盤，提出一個混合系統，用於行人定位。研究結果顯示單獨Wi-Fi定位之平面平均誤差為18.4公尺，而混合系統定位之平面平均誤差為8.6公尺。

### (三) Wi-Fi/GPS 定位之相關研究

Zhang et al. (2011)，發現在Wi-Fi訊號分布較為密集的都市區域，會使GPS定位誤差過大，甚至造成定位失敗率過高；然而，卻可以利用Wi-Fi定位來輔助GPS定位。Gallagher et al. (2009)，利用GPS衛星資料，來調整Wi-Fi定位結果；其研究顯示，單獨Wi-Fi的定位結果，最大誤差約為120.0公尺；但是，若配合接收到兩顆GPS衛星訊息，將Wi-Fi定位結果投影至GPS解算的直線上，使平面誤差在10.0公尺內之點位，由原本的4.9%提升至41.4%。劉科宏 (2008) 與廖俊愷 (2009)，提出調整GPS及Wi-Fi 定位的權重，使兩種定位結果可聯合運作，得出較好的定位結果。

## 三、實驗設計

實驗設計包含：(1) 規劃實驗區，(2) 資料蒐集，及(3) 計算成果與檢核。

### (一) 規劃實驗區

以國立政治大學山下校區的綜合院館周邊為主要實驗區域 (見圖2)，綜合院館為一棟16樓之建物，周圍有體育館、操場、大勇樓 (為一棟三層樓之教學大

樓)、還有景美溪河堤。由圖2可見綜合院館四周的建物,為可能遮蔽GPS訊號之建物。圖2左下方有圖解比例尺,可推估整個實驗區的概略大小;圖2上方,指向北方。



圖2 實驗區示意圖 (取自Google地圖)

在實驗區中,有2個不同面積的實驗區域,分別為 $17.0 \times 5.0$ 平方公尺(以實驗區A代表之)及 $160.0 \times 110.0$ 平方公尺(以實驗區B代表之)。在實驗區內,分別建立相當數量的參考點與檢核點;實驗區A有200點參考點與10點檢核點,參考點間距為0.6公尺。實驗區B有398點參考點與59點檢核點,參考點間距約為3.0~5.0公尺。圖2分別以中實線及虛線框線,表示實驗區A、B的概略大小與位置。參考點的資料(含點位坐標、接收到AP的MAC位址及RSS值等),用以建立訊號強度模型;而檢核點的資料,則將被用以評估Wi-Fi定位、GPS定位及Wi-Fi/GPS定位的精度。

## (二) 資料蒐集

### 1. 硬體部分

主要分為：(1) 測量器材，含Leica ATX 1230 RTK (Real-time Kinematic) GPS接收機及Leica TCR 803全站儀；(2) GPS導航器材，使用MBT-11005之GPS藍芽軌跡紀錄器 (RoyalTek, 2008)；及(3) 筆記型電腦，為ASUS F80L，網卡型號為atheros ar5007eg。

### 2. 軟體部分

主要分為：(1) Wi-Fi資料蒐集軟體，為Network Stumbler (Network Stumbler, 2010)；及(2) 資料計算分析軟體，包含自行開發應用程式，用以建立訊號強度模型建立及實施Wi-Fi定位、GPS定位及Wi-Fi/GPS定位等之計算工作。

### 3. 資料蒐集

主要分成為：(1) 參考點與檢核點的點位坐標測量：在GPS訊號收訊良好狀況下，利用RTK GPS測量點位的坐標；在不能使用RTK GPS測量的狀況，則利用全站儀，以傳統測量方法，測得有關點位之坐標；坐標系統採用TWD97 (Taiwan Datum, 1997) 系統之橫麥卡托二度分帶縱、橫線坐標及橢球高；(2) 參考點與檢核點的Wi-Fi資料蒐集：利用已安裝Network Stumbler軟體的筆記型電腦，到各參考點與檢核點上，各蒐集30秒的Wi-Fi資料 (各AP的MAC位址及RSS值)；及(3) 檢核點的GPS定位：利用有外接GPS軌跡紀錄器之筆記型電腦，安置在檢核點上30秒後，求出該點的GPS定位成果。

## (三) 計算成果與檢核

主要分成五個部分：

### 1. 建立訊號強度模型 (資料庫)

首先，將所蒐集的Wi-Fi資料，轉換成TXT文字檔；然後，再將各參考點的坐標與對應的Wi-Fi資料結合，完成資料庫建立。圖3所示，為所蒐集的局部Wi-Fi資料檔案 (示範數據)，轉換成TXT文字檔。圖中，BSSID為AP的MAC位址，Sig為對應的RSS值，這兩欄資料為建立資料庫的主要資料。其他，如導航坐標，時間等資料，只做為資料檢查時的參考。將擷取的Wi-Fi資料，與參考點的坐標，以軟體將兩者結合成所需的資料庫。資料庫的資料格式為 (E, N, h, SS<sub>1</sub>, SS<sub>2</sub>, SS<sub>3</sub>, ...

$SS_i$ )，其中，E及N為參考點的平面坐標值，h為橢球高， $SS_i$ 為接收第i個AP的RSS值；不同的i值，代表不同的MAC位址。

## 2. Wi-Fi定位計算

利用建立好的訊號強度模型，以及在檢核點上蒐集的Wi-Fi資料，以KNN估算檢核點的坐標。

```
# $Creator: Network Stumbler Version 0.4.0
# $Format: wi-scan with extensions
# Latitude Longitude ( SSID ) Type ( BSSID ) Time (GMT) [ SNR Sig Noise ]
# $DateGMT: 2010-08-05
N 0.0000000 E 0.0000000 ( WIRELESS ) BSS ( 00:20:a6:50:5f:0f ) 07:05:29 (GMT) [ 32 81 49 ]
```

圖3 將Network Stumbler資料轉換成TXT檔格式（以上為示範數據）

## 3. GPS定位計算

直接以GPS軌跡紀錄器，求得檢核點的坐標。

## 4. Wi-Fi/GPS定位計算

將上述檢核點的Wi-Fi定位、GPS定位成果，依照相當的權重配賦，加權平均求得該點的Wi-Fi/GPS定位成果；有關Wi-Fi/GPS定位演算法，將於下一節介紹。

## 5. 成果精度分析

比較檢核點的已知坐標及由Wi-Fi定位、GPS定位及Wi-Fi /GPS定位推估的坐標，分析各種定位的精度。

為了評估定位精度，有關統計參數如 $\Delta N$ 、 $\Delta E$ 、 $\Delta P$ 、 $\Delta h$ 、 $\sigma_{\Delta P}$ 及 $\sigma_{\Delta h}$ 等的定義如下：

$$\begin{aligned}
 \Delta E_i &= E_i^{\text{known}} - E_i^{\text{estimated}} \\
 \Delta N_i &= N_i^{\text{known}} - N_i^{\text{estimated}} \\
 \Delta P_i &= \sqrt{\Delta E_i^2 + \Delta N_i^2} \\
 \Delta h_i &= h_i^{\text{known}} - h_i^{\text{estimated}} \dots\dots\dots (3) \\
 \sigma_{\Delta P} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_i \times \Delta P_i}{n}} \\
 \sigma_{\Delta h} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta h_i \times \Delta h_i}{n}}
 \end{aligned}$$

式中， $n$ 為檢核點數量； $(N_i^{\text{known}}, E_i^{\text{known}}, h_i^{\text{known}})$ ，為檢核點 $i$ 已知的縱、橫線坐標及橢球高； $(N_i^{\text{estimated}}, E_i^{\text{estimated}}, h_i^{\text{estimated}})$ ，為利用Wi-Fi、GPS或Wi-Fi /GPS定位推估的縱、橫線坐標及橢球高； $\sigma_{\Delta P}$ 及 $\sigma_{\Delta h}$ ，分別代表所有 $\Delta P$ 及 $\Delta h$ 的均方根誤差（Root Mean Square Error, RMSE）； $\Delta \bar{P}$ 及 $\Delta \bar{h}$ ，分別代表所有 $\Delta P$ 及 $\Delta h$ 的平均值；Max及Min，分別代表所有 $\Delta P$ （或 $\Delta h$ ）的極大值及極小值。

## 四、實驗結果與討論

### （一）Wi-Fi 定位

利用實驗區B的資料，測試單獨使用Wi-Fi定位的誤差量。由398點參考點所蒐集的Wi-Fi資料（共蒐集到來自120個不同AP的訊號）及點位坐標，建立訊號強度模型（資料庫）。然後，利用KNN求檢核點的推估坐標，再與檢核點的已知坐標比較分析，以評估Wi-Fi定位精度。

雖然實驗區B只有59點檢核點，但是，為了要測試接收Wi-Fi訊號天線的方向（本實驗裡指的是筆記型電腦正面所朝向之方向）與Wi-Fi定位精度的相關性，在每一個檢核點上，以筆記型電腦正面分別朝向東、西、南、北等四個方位，蒐集Wi-Fi資料；所以，理論上本實驗應該可以產生236個（=4×59個）檢核點之資料。然而，由於實驗區環境及Wi-Fi訊號強度不足等原因，造成有些檢核點的某方位無法收到Wi-Fi資料；因此，最後共蒐集到219個檢核點資料。

經過多次實驗後，發現KNN的K值為1或4時的定位成果較好。因此，以下僅就K=1（以KNN, K=1代表之）與K=4兩種狀況的Wi-Fi定位結果加以介紹。K=4之權重計算方法為：（a）先根據方程式（2），計算各參考點與檢核點間的D值；

（b）參考點坐標之權重有3種狀況： $P1 = \frac{1}{D}$ （以KNN, K=4, P1代表之）、 $P2 = \frac{1}{D^2}$

（以KNN, K=4, P2代表之）（廖俊愷，2009）及 $P3 = \frac{1}{D^3}$ （以KNN, K=4, P3代表之）（黃敏郎等，2009）。實驗區B之236個檢核點資料之Wi-Fi定位之精度統計表，如表2所示。

表2 實驗區B之236個檢核點資料Wi-Fi定位之精度統計表

RMSE (公尺)	KNN, K=1	KNN, K=4, P1	KNN, K=4, P2	KNN, K=4, P3
$\sigma_{\Delta P}$	18.4	15.9	15.8	15.7
$\sigma_{\Delta h}$	1.6	1.5	1.5	1.5

根據表2的結果顯示：（1）就 $\sigma_{\Delta P}$ 而言，K=4的平面精度優於K=1；在K=4的情況，P3的平面精度較P1及P2為優；（2）就 $\sigma_{\Delta h}$ 而言，K=1或K=4的高程精度差別不大，約在1.5~1.6公尺之間；（3）在K=1或K=4的情況， $\sigma_{\Delta P}$ 皆大於 $\sigma_{\Delta h}$ 。

根據表2的結果，顯示Wi-Fi定位的高程精度，似乎比平面精度為高，究其可能原因為：（1）實驗區B的平面範圍160x110平方公尺，大部分是平坦地區，其高程範圍為37.5~45.3公尺（高差約7.8公尺）。因此，在利用參考點所建立的訊號強度模型（資料庫）中，其高程範圍為37.5~45.3公尺。（2）在Wi-Fi定位階段採用KNN，所以，任何檢核點都可以找到1點以上（含）的參考點坐標，作為其推估坐標（平面/高程坐標）。因此，檢核點的推估高程，其最大差異量（絕對值）不會超過7.8公尺；所以，最後求得之檢核點的 $\sigma_{\Delta h}$ 為1.6公尺（ $\Delta \bar{h}$ 、Max及Min，分別為0.7、5.3及-7.5公尺）；至於，根據所建資料庫，推估平面坐標的最大差異量（絕對值），則可能會在110~160公尺之間；因此，以K=4為例， $\sigma_{\Delta P}$ 在15.7~15.9公尺之間（ $\Delta \bar{P}$ 、Max及Min，分別為14.0、33.4及1.2公尺）。

## （二）GPS 定位

### 1. 在單一控制點上的定位測試

首先，在綜合院館六樓陽台上選定一個控制點。利用RTK GPS，求得該點的三維坐標。再將GPS藍芽軌跡記錄器，放在此點上之三角架，設定為每10秒紀錄一筆單點定位成果，共蒐集4500筆資料。將4500筆GPS單點定位結果與該點的已知坐標比較，求得在GPS在單一控制點上的定位精度， $\sigma_{\Delta P}$ 為32.7公尺（ $\Delta \bar{P}$ 、Max及Min，分別為20.0、140.5及0.1公尺）， $\sigma_{\Delta h}$ 為32.8公尺（ $\Delta \bar{h}$ 、Max及Min，分別為10.5、119.3及-133.4公尺）；平均可視衛星為7顆，90%的HDOP（Horizontal Dilution of Precision，平面精度因子）小於2.7。

### 2. 在實驗區B的59點檢核點上的定位測試

由於實驗區B的59點檢核點中，有2點受到建物遮蔽，無法執行GPS定位；因此，最後只有57點檢核點有GPS定位成果。根據57點檢核點的GPS定位成果，得

出GPS的定位精度， $\sigma_{\Delta P}$ 為18.3公尺（ $\Delta\bar{P}$ 、Max及Min，分別為15.8、41.8及1.0公尺）， $\sigma_{\Delta h}$ 為12.5公尺（ $\Delta\bar{h}$ 、Max及Min，分別為-7.2、35.3及-25.0公尺）；平均可視GPS衛星顆數為7顆。

### （三）Wi-Fi/GPS 定位

表3所示，為實驗區B利用Wi-Fi定位或GPS定位的精度統計表。根據上述實驗結果顯示：（1）在Wi-Fi定位方面，雖然在某些點無法全方位定位。但是，每一個點都能以Wi-Fi定位。（2）在GPS定位方面，有些地方會受到建物遮蔽，無法執行定位。（3）無論是平面或高程部分，Wi-Fi定位的精度皆優於GPS定位。

Wi-Fi/GPS定位的演算法為：（1）當GPS不能定位時，則直接採用Wi-Fi定位的坐標，作為Wi-Fi/GPS定位之坐標。（2）當GPS可以定位，而且滿足：（a）可視GPS衛星顆數大於或等於4顆及（b）HDOP值小於4.5等條件，則視GPS定位成果是可採信（Cheong et al., 2009）。然後，將Wi-Fi定位與GPS定位之平面坐標，加權平均計算之後，作為Wi-Fi/GPS定位之平面坐標。權重值的決定，乃是根據Wi-Fi定位與GPS定位 $\sigma_{\Delta P}$ 的倒數來決定（由表3結果，兩者的權重分別為1/15.7及1/18.3）。根據表3的結果顯示，Wi-Fi定位的高程成果明顯優於GPS定位，所以直接採用Wi-Fi定位的高程成果，作為Wi-Fi/GPS定位之高程。（3）雖然GPS可以定位，但是，其無法滿足上述可採信條件，則直接採用Wi-Fi定位坐標，作為Wi-Fi/GPS定位坐標。

為了求得每一個檢核點的最佳Wi-Fi定位成果：首先，比較每一視線方向(含東西南北等四個方向)求得的Wi-Fi定位坐標；然後，與已知坐標比較，求得坐標差異量，取差異量最小的一組坐標，當作該點的Wi-Fi定位坐標。最後，求得在59點檢核點的最佳Wi-Fi定位成果， $\sigma_{\Delta P}$ 為13.5公尺（ $\Delta\bar{P}$ 、Max及Min，分別為10.9、32.3及0.6公尺）， $\sigma_{\Delta h}$ 為1.5公尺（ $\Delta\bar{h}$ 、Max及Min，分別為0.7、5.2及-7.1公尺）。

根據上述Wi-Fi/GPS定位的演算法，及下列資料：（1）在57點檢核點上的GPS定位成果、可視GPS衛星顆數及HDOP值等資料；（2）利用上述方法求得的59點檢核點的最佳Wi-Fi定位成果；求得59點檢核點的Wi-Fi/GPS定位坐標， $\sigma_{\Delta P}$ 為11.0公

表3 實驗區B利用Wi-Fi定位或GPS定位的精度統計表

RMSE (公尺)	定位方法	
	Wi-Fi定位 (KNN, K=4, P3)	GPS定位
$\sigma_{\Delta P}$	15.7	18.3
$\sigma_{\Delta h}$	1.5	12.5

尺 ( $\Delta\bar{P}$ 、Max及Min，分別為9.1、31.0及0.9公尺)， $\sigma_{\Delta h}$ 為1.5公尺 ( $\Delta\bar{h}$ 、Max及Min，分別為0.7、5.2及-7.1公尺)。表4所示，為Wi-Fi定位、GPS定位及Wi-Fi/GPS定位的精度統計表。從表4的成果顯示，在平面精度方面，Wi-Fi/GPS定位皆優於單獨Wi-Fi定位或GPS定位；在高程精度方面，由於直接採用Wi-Fi定位的高程成果，所以Wi-Fi/GPS定位的高程成果與單獨Wi-Fi定位的高程成果一樣。

在Wi-Fi/GPS定位的實務應用上，事先並不知Wi-Fi定位與GPS定位之 $\sigma_{\Delta P}$ ；可以在單一控制點上求得GPS定位的 $\sigma_{\Delta P}$ 估值（參閱GPS在單一控制點上的定位測試）、根據Wi-Fi定位的平面精度與參考點間距的關係式（將於下一小節討論），預估Wi-Fi定位的 $\sigma_{\Delta P}$ ；然後，再按照上述方法計算Wi-Fi/GPS之組合權重。

圖4、5及6，分別表示在57點檢核點上利用Wi-Fi定位、GPS（GPS定位）與Wi-Fi/GPS定位方法的 $\Delta E$ 、 $\Delta N$ 及 $\Delta h$ 比較圖。上述圖形中，橫軸代表檢核點的序號，縱軸代表 $\Delta E$ （ $\Delta N$ 或 $\Delta h$ ）。由於Wi-Fi/GPS定位的高程成果與Wi-Fi定位的高程成果一樣，所以在圖6中，只顯示Wi-Fi定位與GPS定位的 $\Delta h$ 比較圖。由圖4、5的成果，可

表4 Wi-Fi定位、GPS定位及Wi-Fi/GPS定位的精度統計表

RMSE (公尺)	定位方法		
	Wi-Fi定位	GPS定位	Wi-Fi/GPS定位
$\sigma_{\Delta P}$	13.5	18.3	11.0
$\sigma_{\Delta h}$	1.5	12.5	1.5

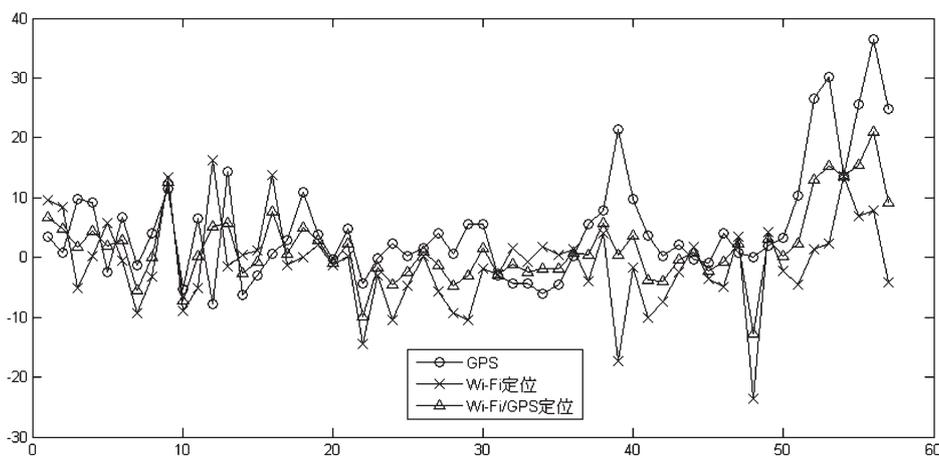


圖4 在實驗區B利用Wi-Fi定位、GPS與Wi-Fi/GPS定位方法的 $\Delta E$ 比較圖

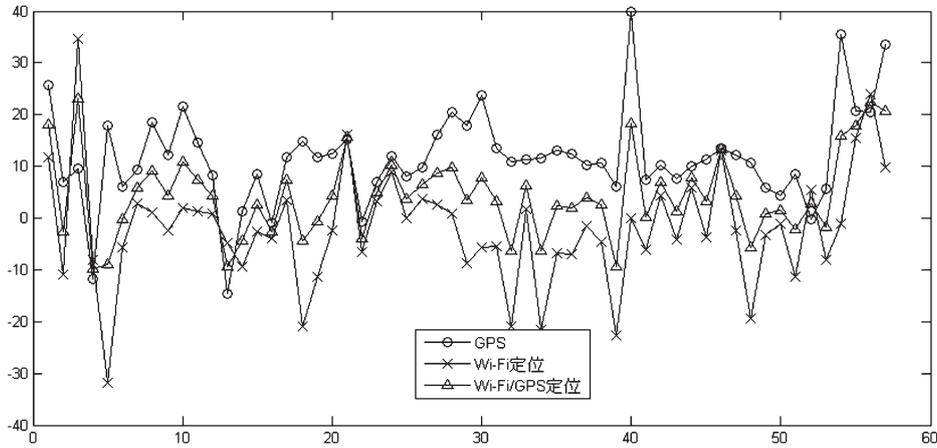


圖5 在實驗區B利用Wi-Fi定位、GPS與Wi-Fi/GPS定位方法 $\Delta N$ 比較圖

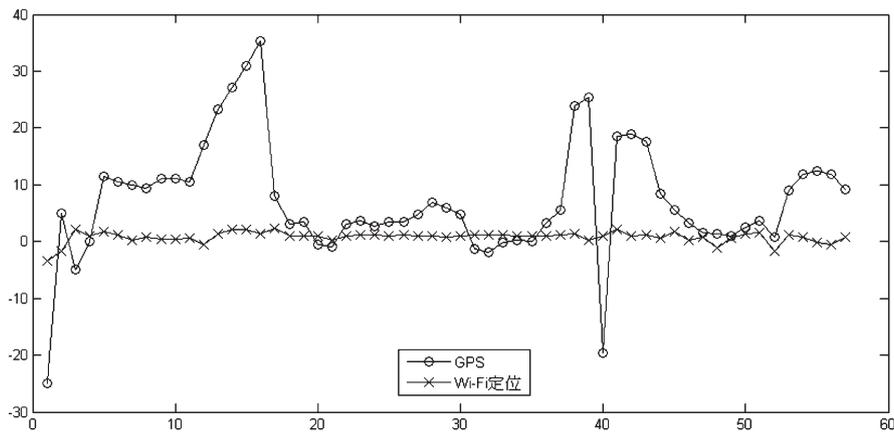


圖6 在實驗區B利用Wi-Fi定位、GPS定位方法的 $\Delta h$ 比較圖

見Wi-Fi/GPS定位的 $\Delta E$ 及 $\Delta N$ 值，大約介於Wi-Fi定位與GPS之間。整體而言，Wi-Fi/GPS定位的在平面成果，較使用單一定位方法的正確性高。

#### (四) Wi-Fi 定位之平面精度與參考點間距之關係

由於實驗區B的地勢比較平坦，高程範圍為37.5~45.3公尺。根據實驗發現，增加參考點的間距，其對高程精度的影響之顯著性，不如其對平面精度的影響；因此，本節僅分析平面精度與參考點間距的函數關係。另外，實驗區A（平坦地區）的參考點間距為0.6公尺，而實驗區B則為3.0~5.0公尺，為了增加實驗的樣本數據，

本節的實驗，加入實驗區A的資料。所謂參考點間距，是指某一實驗區內，任意兩個參點間的最短距離。

利用實驗區A及實驗區B的資料，用KNN (KNN, K=4, P3)，改變參考點間距，分析、比較其對應之檢核點的Wi-Fi定位之平面精度。表5所示，為不同參考點間距對應的Wi-Fi定位之精度統計表。根據表5結果顯示， $\sigma_{\Delta P}$ 值隨著參考點間距的增加而變大（除了當參考點間距為0.6公尺時為例外，其造成原因可能：(a) 實驗區太小，只有85平方公尺；(b) 檢核點太少，只有10點；(c) 其他不明原因）。

假設x及y，分別代表參考點間距及 $\sigma_{\Delta P}$ 。由表5的實驗結果，經過錯誤檢查、刪除後，以Microsoft Excel求趨勢線方式，求得下列方程式，建立Wi-Fi定位之 $\sigma_{\Delta P}$ 與參考點間距之函數關係：

$$y = 3.83 + 5.64 * \ln(x) \dots\dots\dots(4)$$

圖7所示，為Wi-Fi定位之平面精度與參考點間距之函數關係圖。圖中，x及y軸，分別代表參考點間距及 $\sigma_{\Delta P}$ ； $R^2$ 為判定係數 (Coefficient of Determination)，其值為0.88；由於相關係數為判定係數的平方根，故參考點間距 (x) 及 $\sigma_{\Delta P}$  (y) 的相關係數為0.94。

根據本研究的實驗結果，最大參考點間距為10.0公尺，對應之Wi-Fi定位之 $\sigma_{\Delta P}$ 為16.5公尺；若根據方程式 (4)，可以推估參考點間距為15.0、20.0與25.0公尺時，則對應之Wi-Fi定位之 $\sigma_{\Delta P}$ 分別為19.1、20.7及22.0公尺。然而，當參考點間距放大時，卻可大量減少參考點的數量，進而節省資料庫建置的時間與金錢。因此，在實務上可視定位精度需求，來調整參考點間距，以節省建置資料庫所需的參考點數量與建置時間。

表5 實驗區A及B，不同參考點間距對應的Wi-Fi定位之平面精度統計表

實驗區	參考點間距 (公尺)	$\sigma_{\Delta P}$ (公尺)
A	0.6	6.7
	1.0	5.0
	2.0	5.1
B	3.0 ~ 5.0	13.5
	10.0	16.5

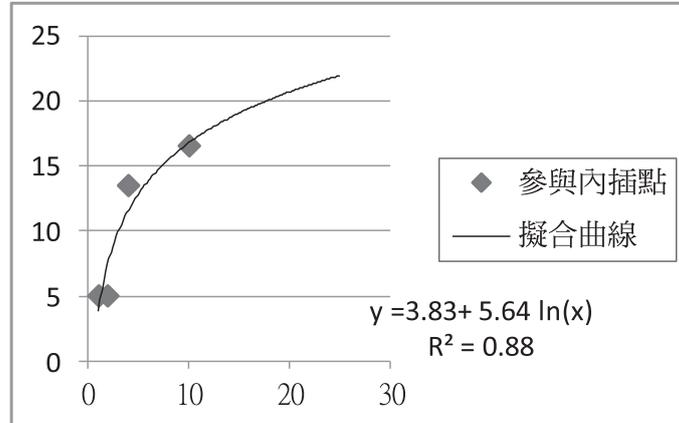


圖7 Wi-Fi定位之平面精度與參考點間距之函數關係圖

## 五、結 論

利用國立政治大學山下校區兩個實驗區的Wi-Fi及GPS資料，探討Wi-Fi/GPS室外定位可達到的精度範圍。根據實驗結果顯示：（1）Wi-Fi定位的 $\sigma_{\Delta p}$ 及 $\sigma_{\Delta h}$ 為15.7及1.5公尺；（2）GPS定位的 $\sigma_{\Delta p}$ 及 $\sigma_{\Delta h}$ 為18.3及12.5公尺；（3）Wi-Fi/GPS定位的 $\sigma_{\Delta p}$ 及 $\sigma_{\Delta h}$ 為11.0及1.5公尺；及（4）假設x及y，分別代表參考點間距及 $\sigma_{\Delta p}$ ；可以利用 $y = 3.83 + 5.64 \ln(x)$ 方程式，建立Wi-Fi定位之 $\sigma_{\Delta p}$ 與參考點間距之函數關係。

綜合上述實驗結果，可得以下結論：（1）Wi-Fi/GPS定位技術，可以適度的提升Wi-Fi定位、或GPS定位的精度；也可以解決都市區域GPS訊號遮蔽問題。（2）Wi-Fi定位的平面精度（ $\sigma_{\Delta p}$ ）與參考點間距有密切的函數關係，實務應用，可視精度需求，斟酌增減參考點間距。然而，以上實驗結果，乃是利用政治大學山下校區的實驗區，模擬都市區域GPS定位及Wi-Fi定位可能遇到的狀況。在真實的都市環境，不同的區域、時間、人類活動狀況等因素，皆可能造成參考點、檢核點之點位測量、Wi-Fi資料蒐集等的困難度及差異性。另一方面，除了最鄰近法之外，尚有其他Wi-Fi定位的演算法，如類神經網路等演算法。上述議題，則有待未來以不同實驗區或演算法進一步驗證。

## 參考文獻

- 崔文、陳昭男，2011，用於智慧型手機上之混合式行人定位技術，電腦與通訊，第137期，頁89-96。
- 連矩鋒，2007，室內及室外環境下之 GSM/Wi-Fi 定位系統分析比較，國立台灣大學電機資料學院資料工程研究所碩士論文。
- 陳惠琪、陳鴻智、張嘉強，2010，Wi-Fi 技術應用與精度探討，第二十九屆測量及空間資料研討會論文集：國立臺北大學不動產與城鄉環境學系。
- 黃敏郎、劉守恆，2009，地理資料系統基礎操作實務，第二版，臺北市：統一元氣。
- 廖俊愷，2009，可調節權重式之異質網路定位系統研究，銘傳大學資料傳播工程學系碩士論文。
- 劉科宏，2008，結合 GPS 與無線網路之定位系統研究，銘傳大學資料傳播工程學系碩士論文。
- 戴江淮，2009，GPS 導航系統理論與實務，臺北市：學貫行銷。
- Bahl, P. and Padmanabhan, V. N., 2000, RADAR: An In-building RF-based User Location and Tracking System, Paper presented at the IEEE Infocom 2000: Tel Aviv, Israel.
- Cheong, J. W., Li, B., Dempster, A. G. and Rizos, C., 2009, GPS/Wi-Fi Real-Time Positioning Device: An Initial Outcome, pp.439-456 in Location Based Services and Tele Cartography II, edited by Gartner, Georg and Rehr, Karl: Springer. <http://www.springer.com/earth+sciences+and+geography/geography/book/978-3-540-87392-1>.
- Ekahau, 2011, Ekahau – Wi-Fi Tacking Systems, RTLS and WLAN Site Survey. <http://www.ekahau.com/>.
- Gallagher, T., Tan, Y. K., Li, B. and Dempster, A. G., 2009, Wi-Fi+ GPS for urban canyon positioning, Paper presented at the Symposium on GPS/GNSS (IGNSS2009): Holiday Inn Surfers Paradise - Australia.
- Kealy, A., Li, B., Gallagher, T. and Dempster, A., 2010, Evaluation of Wi-Fi Technologies for Indoor Positioning Application. [http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/publications/kealy\\_etal2009a.pdf](http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/publications/kealy_etal2009a.pdf).
- Li, B., Quader, I. J. and Dempster A. G., 2008, On outdoor positioning with Wi-Fi, Journal of Global Positioning Systems, 7(1), pp.18-26.
- Network Stumbler, 2010, <http://www.netstumbler.com>.

- RoyalTek, 2008, RoyalTek bluetooth GPS datalog receiver MBT-1100 User Manual V1.1.  
[http://www.royaltek.com/download/mbt-1100\\_User\\_Manual.pdf](http://www.royaltek.com/download/mbt-1100_User_Manual.pdf).
- Skyhook, 2011, <http://www.skyhookwireless.com>.
- Zhang, J., Li B., Dempster A. G. and Rizos C., 2011, Evaluation of High Sensitivity GPS Receivers, *Coordinates*, 7(3). <http://mycoordinates.org/evaluation-of-high-sensitivity-gps-receivers>.