

# 異質無線網路之可調節權重式定位技術研究

## A Study of Adaptive-Weighting Locating Schemes over Heterogeneous Wireless Networks

葉生正 邱奕世

銘傳大學資訊傳播工程學系暨研究所

Email: peteryeh@mail.mcu.edu.tw

廖俊愷 謝璉賢

銘傳大學資訊傳播工程學系暨研究所

**摘要**—在目前常見的定位技術中,最普遍被應用就是全球衛星定位系統(GPS),其定位原理透過衛星與 GPS 接收器間傳輸時間差(Time of arrival, TOA)計算出衛星與 GPS 接收器間距離,在透過三角定位法得知使用者所在位置。但衛星訊號可能會受到地形或地物遮蔽的影響,導致 GPS 接收器所收到的衛星訊號數下降,造成定位結果嚴重的誤差。因此衛星定位系統在室內或受到遮蔽的環境無法提供準確的定位結果。近幾年隨著無線通訊技術的進步,不同的定位技術紛紛出現,如由 Microsoft 所提出基於無線區域網路的 RADAR 系統透過建立行動端所收到無線存取點(Access point, AP)的訊號強度值(Received signal strength indication, RSSI)建立訊號強度資料庫透過特徵值比對法(Pattern Matching Method)取得行動端位址;而 ZigBee 無線感測定位系統則是在定位環境中佈放若干個已知座標的參考點(Reference Node),透過訊號強度與距離之間的關係式轉換,取得盲節點(Blind Node)與各參考點的距離,根據參考點的座標與盲節點的距離,利用最小平方誤差法(Minimum Mean Square Error, MMSE)求解出盲節點座標位置。本研究提出適合在無線異質網路中調整權重之定位機制,有效提升 GPS 在被遮蔽的情況下之定位準確度。

**關鍵詞**—GPS、WiFi、ZigBee、異質網路、定位機制。

**Abstract**—In recent year, Global Positioning System (GPS) is general used for location service. It calculates

the distance of satellite and GPS receiver with time difference. When a GPS receiver receives over three satellite signals, the triangulation meth is determining user's position. However, there is a possibility that landform, shelter, and number of satellites could have an impact on the satellite signal. As wireless technology progressed, different user location and tracking systems were invented, such as the WiFi tracking system, which mainly uses received signal strength indication (RSSI) to set up radio maps that provide locations, and RF models to estimate the locations of a moving client; The ZigBee tracking system deployment reference nodes in the position environment, by transform signal strength to distance and refer reference node coordinate to determining blind node position with Minimum Mean Square Error method. This research proposes an adaptive-weighting locating mechanism within wireless heterogeneous networks, which enhances GPS's ability to receive signals in buildings and precision in estimating locations.

**Keyword**—GPS, WiFi, ZigBee, Heterogeneous Network, Locating Scheme.

### 一、緒論

近年來無線通訊技術的發展,成就了使用者高度利用無線通訊的便利,而定位系統的普

及更造就使用者使用定位服務的次數與機會增加，故將定位技術整合無線通訊應用亦是相當熱門的議題。因此以定位為基礎的服務(Location Based Service, LBS)，使用者在不同的位置會得到不同的資訊與應用服務，以及如何感知使用者的位置並提高準確度，就變得相當重要[1][2][3][4]。

在室外定位技術中最被民眾所廣泛應用的就是全球衛星定位系統(Global Positioning System, GPS)，其藉由環繞地球上空的 GPS 衛星不斷發射訊號，地表上使用者接收到來自於不同衛星的訊號後，利用時間差以測知和衛星之間的距離，再依據三角定位的方法計算出使用者所在的位置[13][16]。但是在無法接收到 GPS 衛星訊號的地點(如因地形、地物的遮蔽)，單純透過 GPS 衛星訊號定位，可能會造成極大的誤差[15]，故本論文結合 GPS、WiFi 以及 ZigBee 網路之定位方法，並提出可調節式權重機制以提升定位精確度[9]。

本論文共分五個章節，第一章為緒論，說明研究背景、研究動機與目的；第二章為相關技術與研究，介紹與本研究相關的技術，如 GPS、RADAR 定位技術與 ZigBee 定位系統等；第三章則是闡述本論文的研究方法，並呈現系統架構、實驗環境及可調節式權重機制；第四章則探討分析本論文的研究成果；最後，於第五章提出結論並說明未來工作與應用。

## 二、相關技術與研究

目前結合異質網路定位系統的相關研究並不多，較著名者為 2003 年由首爾大學的 Hyung Chul Son 等人提出結合 GPS 與行動電話之定位系統，其在 GPS 定位結果不可靠的時候，結合行動通訊系統修正定位誤差，此研究較適合於大範圍定位時使用[14]。另一篇則是 2007 年由印度 C-DAC(Centre for Development of

Advanced Computing, C-DAC)所提出的結合 Ultra Wide Band(UWB)與 WiFi 的定位系統[21]，其定位系統利用 WiFi 訊號強度隨著距離而衰減的特性，反推使用者和 AP 之間的距離，並依據三角定位法計算出使用者粗略的位置，再利用 UWB 的高頻訊號不易因環境中移動的物體阻擋而造成強度衰減的特性，計算使用者更精確的位置。該研究結合兩個不同的定位系統，確實可提高定位準確度；但是其準確度會和計算的複雜度成正比，且當系統的使用者增加時，亦會影響到定位的即時性。接下來幾個章節則就本研究所引用到的相關定位系統與定位技術進行描述。

### 2.1 全球衛星定位系統(GPS)

GPS 主要是由美國政府所發展的定位系統，已經廣泛被全球各地政府、民眾所使用[13][16]。其基本原理是使用環繞於地球上空 6 個不同軌道的 24 顆衛星，不斷的發送訊號到地球上，當使用者手上的 GPS 接收器，接收到來自三個以上不同的 GPS 衛星訊號之後，將 GPS 衛星當作球心，再以 TOA 的方法計算出接收器與每個 GPS 衛星之間的距離當作半徑，畫出三個以上的球面，藉此計算出球面的交點位置，交點位置即為 GPS 接收器所在的位置。

### 2.2 RADAR 定位技術

Microsoft 實驗室在西元 2000 年於 IEEE INFOCOM 發表的 RADAR 定位技術[19]，系統架構如圖 1 所示，其主要是在 WiFi 下利用所接收到的 IEEE 802.11 無線訊號強度(RSSI)進行定位。RADAR 技術分為 off-line 以及 on-line 兩個階段，在 off-line 階段針對每個訓練點，依照不同方向蒐集無線基地台(Access Point, AP)的訊號強度與訊雜比(Signal to Noise Ratio, SNR)；在 on-line 階段，當定位點測得訊號強度時，再透過歐基里德距離公式(Euclidean Distance)去計算差異量，如式(1)，找出最小的差異量，即能判定使用者所在位置，這個方法亦就是訊號紋比對法(Pattern Matching)[17][18][19]。

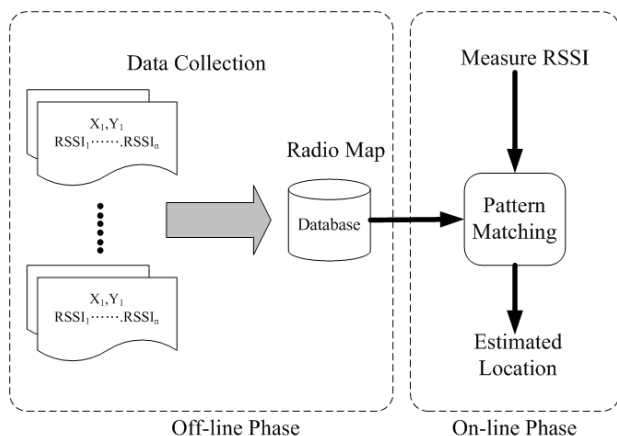


圖 1 RADAR 定位技術示意圖

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^n (SS_i - SS'_i)^2} \quad (1)$$

### 2.3 ZigBee 定位系統

ZigBee 是用於低速短距傳輸的無線通訊技術，是根據 IEEE 802.15.4 標準所設計的，主要的設計概念為低耗電、低傳輸速率、低成本、感應式網路、支援大量網路節點等特性，因此可以佈署大量節點達到大範圍定位感測[11]的效果。ZigBee 節點之間是採用 AODV(Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing, AODV)無線路由協定去建立並維持路由，並隨著路由維護的過程，同時交換路由資料。ZigBee 定位系統中裝置角色可分為參考節點(Reference Node)、盲節點(Blind Node)和協調器(Coordinator)。參考節點(Reference Node)為固定的節點，參考節點含有本身的座標資訊。協調器透過 RSR232 直接和電腦連接，將所蒐集到的 ZigBee 網路資訊，交由後端定位系統處理。而盲節點負責執行定位相關運算。

在定位的範圍中佈放若干個 Reference node，這些 Reference node 為固定的節點，且必須配置對應的座標位置。當 Blind Node 進入此 ZigBee 網路，發送廣播請求給 Reference node 要求定位，當 Reference node 接收到 Blind Node

要求定位的廣播訊息，會回應本身的座標位置與接收到的 RSSI 給 Blind Node，Blind Node 接收到若干個不同 Reference Node 的座標位置與 RSSI，透過訊號強度與距離的轉換，即可得知各個 Reference Node 與 Blind Node 之間的距離，再利用 MMSE 就可以計算出 Blind Node 的座標位置，Blind Node 透過網路回傳定位座標位置到 Coordinator。Coordinator 透過 USB 介面與電腦直接連接，將 Blind Node 回傳的定位座標訊息顯示在定位系統上。

### 三、系統架構與研究方法

目前最熱門的戶外定位方法以 GPS 系統最著名，其主要是接收外太空衛星傳來的訊號，計算出和衛星之間的距離之後，再利用三角定位法定位出使用者的經緯度，但是 GPS 接收器被遮蔽時，定位結果會有誤差[9][12]。因此，本研究嘗試結合不同的異質網路定位系統，當接收到的 GPS 衛星數目少於 8 個時，加入無線區域網路(WiFi)以及 ZigBee 兩種不同的定位方法，並提出利用線性插值法進行權重調節之定位機制[20][22]。以下將介紹本研究的系統架構、實驗環境以及研究方法。

#### 3.1 系統架構

本研究的定位系統可以分成兩個部份，是 Off-line 和 On-line 階段。在 Off-line 階段，先針對 GPS 系統量測收集實驗環境所有訓練點之經緯度資料；再蒐集 WiFi 網路之 AP 訊號強度(RSSI)建立訊號紋資料庫[6][7]。最後，則是對 ZigBee 定位系統中 Reference Node 和所有訓練點建立座標位置資料庫。

於 On-line 階段時，透過 GPS 蒐集用來定位的衛星個數以及定位出的經緯度結果，再與離線階段時建立的 GPS 資料庫利用歐基里德距離公式(Euclidean Distance)做比對，找出最小值當作 GPS 定位結果；針對 WiFi 網路蒐集訊號強度，同樣與資料庫做比對，找出 WiFi 定位結果。

ZigBee 定位系統則是以接收到的訊號強

度，反推與不同參考點(Reference Node)之間的距離，利用三角定位公式，計算出盲節點的座標位置，並和資料庫所建立的每個座標做比對，找出 ZigBee 定位結果。

最後，將三個不同定位結果，透過可調節權重式之定位方法找出使用者所在的位置，藉此提高定位的準確度。

### 3.2 研究方法

本論文提出之研究方法主要在於提出結合不同定位系統之定位結果，並適當地調整權重以探討其定位成效。

在連線階段蒐集完 WiFi、GPS、ZigBee 的定位結果之後，我們代入不同的定位演算法，分析上述三種定位方法互相結合的定位結果。

圖 2 提出三種定位演算法(以下簡稱 Scheme 1、Scheme 2、Scheme 3)，並依照 G+W、G+Z、W+Z 的定位誤差結果進行不同運算；分別是引用電路分流公式調整權重的 Scheme 1、依照誤差距離的變異數調整權重的 Scheme 2、依照內插和外插法調整權重的 Scheme 3。此三種方法將詳細說明如下：

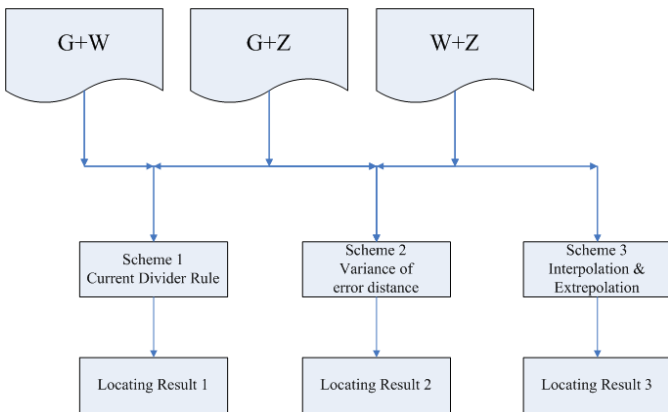


圖 2 三種調整權重之定位演算法

#### (一) Scheme 1(Current Divider Rule)

此機制主要是將訓練點之定位誤差距離(Error Distance, ED)，透過式(2)、(3)和(4)運算以獲得權重值(Weight)；其中  $ED_{GPS}$ 、 $ED_{WiFi}$  與

$ED_{Zigbee}$  分別代表 GPS、WiFi 與 ZigBee 系統的誤差距離，而計算所得之  $Weight_{GPS}$ 、 $Weight_{WiFi}$

和  $Weight_{Zigbee}$  則代表不同定位方法的權重。

$$Weight_{GPS} = \frac{\left(\frac{1}{ED_{GPS}}\right)}{\left(\left(\frac{1}{ED_{GPS}}\right) + \left(\frac{1}{ED_{WiFi}}\right) + \left(\frac{1}{ED_{Zigbee}}\right)\right)} \quad (2)$$

$$Weight_{WiFi} = \frac{\left(\frac{1}{ED_{WiFi}}\right)}{\left(\left(\frac{1}{ED_{GPS}}\right) + \left(\frac{1}{ED_{WiFi}}\right) + \left(\frac{1}{ED_{Zigbee}}\right)\right)} \quad (3)$$

$$Weight_{Zigbee} = \frac{\left(\frac{1}{ED_{Zigbee}}\right)}{\left(\left(\frac{1}{ED_{GPS}}\right) + \left(\frac{1}{ED_{WiFi}}\right) + \left(\frac{1}{ED_{Zigbee}}\right)\right)} \quad (4)$$

權重的計算方法是引用電流分流規則(Current Divider Rule, CDR)，將誤差距離視為並聯電路的電阻，權重為各支路的電流[10]。當該定位方法的誤差距離越大的時候，得到的權重會越低，相反的，誤差距離越小，權重越高；所以我們利用誤差距離的倒數當做判斷依據，而將誤差距離倒數的總和當成分母，藉此計算出三個不同的權重，若該權重當中，沒有用到某種定位方法，則忽略該定位方法的誤差距離，舉例來說，沒用到 ZigBee 的定位方法，則不考慮 ZigBee 的權重、誤差距離。

接著分別計算三種定位方法的權重平均值，如式(5)、(6)及(7)，本研究中將 96 個定位點計算出四個不同的平均權重，代入式(8)，即可透過 Scheme 1，計算出使用者端的位置。

$$\overline{Weight_{GPS}} = \frac{1}{N} \sum_1^N Weight_{GPS} = \alpha \quad (5)$$

$$\overline{Weight_{WiFi}} = \frac{1}{N} \sum_1^N Weight_{WiFi} = \beta \quad (6)$$

$$\overline{Weight_{Zigbee}} = \frac{1}{N} \sum_1^N Weight_{Zigbee} = \gamma \quad (7)$$

$$User(X, Y) = GPS(X, Y) * \alpha + Wifi(X, Y) * \beta + Zigbee(X, Y) * \gamma \quad (8)$$

## (二) Scheme 2 (Variance of Error Distance)

此機制是將訓練點之定位誤差距離結果，取其變異數為權重調整的依據，即先計算出誤差距離的變異數，並求得誤差距離平均值，再利用統計公式計算出不同定位方式的變異數  $Var_{GPS}$ 、 $Var_{WiFi}$  與  $Var_{Zigbee}$ ，分別代入式(9)、(10)及(11)以計算出 GPS、WiFi 與 ZigBee 的權重  $Weight_{GPS}$ 、 $Weight_{WiFi}$  和  $Weight_{Zigbee}$ 。

變異數的計算，可依照環境統計其變異數，以本研究為例，變異數計算方法是將 96 個訓練點切割成四區塊，分別計算其變異數，然後將變異數倒數代入電流分流規則為分子，三個定位方法的變異數倒數和當分母，即可分別求出 GPS、WiFi、ZigBee 的權重，並代入式(12)定位出使用者的位置。

$$Weight_{GPS} = \frac{\left(\frac{1}{Var_{GPS}}\right)}{\left(\left(\frac{1}{Var_{GPS}}\right) + \left(\frac{1}{Var_{WiFi}}\right) + \left(\frac{1}{Var_{Zigbee}}\right)\right)} = \alpha \quad (9)$$

$$Weight_{WiFi} = \frac{\left(\frac{1}{Var_{WiFi}}\right)}{\left(\left(\frac{1}{Var_{GPS}}\right) + \left(\frac{1}{Var_{WiFi}}\right) + \left(\frac{1}{Var_{Zigbee}}\right)\right)} = \beta \quad (10)$$

$$Weight_{Zigbee} = \frac{\left(\frac{1}{Var_{Zigbee}}\right)}{\left(\left(\frac{1}{Var_{GPS}}\right) + \left(\frac{1}{Var_{WiFi}}\right) + \left(\frac{1}{Var_{Zigbee}}\right)\right)} = \gamma \quad (11)$$

$$User(X,Y) = GPS(X,Y) * \alpha + Wifi(X,Y) * \beta + Zigbee(X,Y) * \gamma \quad (12)$$

## (三) Scheme 3 (Interpolation & Extrapolation)

此機制混合使用內插法(Interpolation)及外插法(Extrapolation)調整定位結果[22]。即每次調整權重時，先依照誤差距離計算平均權重，而計算出的權重將沿用到下次調整權重為止，不過依照不同的定位結果，分別代入內插法、外插法調整定位結果，本研究所提之 Scheme 3 為簡化演算過程，僅探討結合任兩種定位方法的

定位結果。

以 GPS 及 WiFi 系統為例，內插法之權重調節方法如式(13)和(14)，先計算出訓練點平均定位錯誤距離後，代入式(15)即可獲得使用者之定位結果。至於外插法之權重調節方法如式(16)與式(17)，同樣先計算出訓練點平均定位錯誤距離後，代入式(18)，亦可獲得使用者之定位結果。

$$Weight_{GPS} = \frac{(ED_{wifi})}{(ED_{GPS} + ED_{wifi})} \quad (13)$$

$$Weight_{WiFi} = \frac{(ED_{GPS})}{(ED_{GPS} + ED_{wifi})} \quad (14)$$

$$User(X,Y) = GPS(X,Y) * Weight_{GPS} + Wifi(X,Y) * Weight_{wifi} \quad (15)$$

$$Weight_{GPS} = \frac{(ED_{wifi})}{(ED_{GPS} - ED_{wifi})} \quad (16)$$

$$Weight_{WiFi} = \frac{(ED_{GPS})}{(ED_{GPS} - ED_{wifi})} \quad (17)$$

$$User(X,Y) = GPS(X,Y) * Weight_{GPS} - Wifi(X,Y) * Weight_{wifi} \quad (18)$$

## 四、研究成果與分析

本研究的定位結果是在 GPS 定位不佳的狀況下，結合 WiFi 與 ZigBee 定位結果進行權重調整。根據 GPS、WiFi 和 ZigBee 定位實驗所得到的平均定位誤差分別如表 2 所示，由此可知在能接收到 GPS 衛星數目超過 8 個提供定位資訊的情況之下(無遮蔽影響)，其定位誤差約為 1m；而當 GPS 衛星數目介於 3 個與 8 個之間時，其定位誤差超過 14m，GPS 衛星數目對於定位影響很大。圖 3 是四個定位方法的 CDF 圖(累積誤差距離函數)，其結果呈現誤差距離在 3 公尺範圍內，GPS 無遮蔽、WiFi、ZigBee 與 GPS 有遮蔽時，定位準確率分別可達 0.93、0.60、0.51 與 0.26，顯示在 GPS 被遮蔽的情形之下，定位準確率仍有相當大的改善空間。

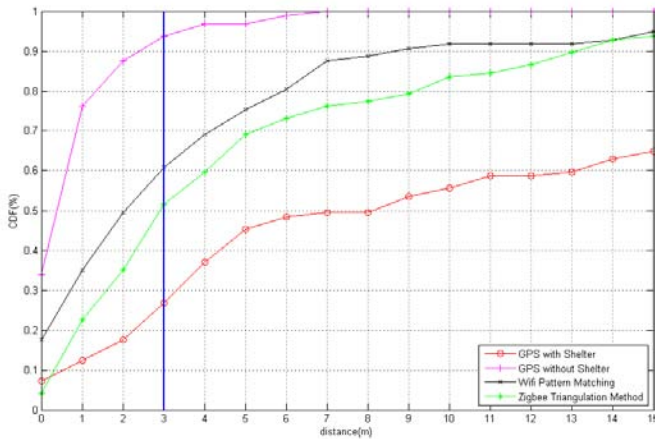


圖 3 不同定位方法精準度之比較

表 2 不同定位方法之平均定位誤差

定位方法	平均定位誤差
GPS(無遮蔽)	1.15m
GPS(有遮蔽)	14m
WiFi	3.97m
ZigBee	5.26m

圖 4 為探討結合 GPS、WiFi 與 ZigBee 系統的定位方法，並根據不同定位演算法計算出使用者定位誤差結果。其透過變異數調整權重 (Scheme 2) 的定位結果，雖不及 GPS 無遮蔽的結果，但是卻遠遠超出 WiFi 與 ZigBee 的定位結果；而依照平均權重調整權重 (Scheme 1) 之定位結果，雖不及變異數調整權重的定位結果仍接近 WiFi 的定位結果。另外，若依平均權重調整定位結果，平均誤差約為 3.47 公尺，誤差距離 3 公尺內的定位準確率為 0.58；依變異數調整定位結果，平均誤差則為 2.22 公尺，誤差距離 3 公尺內的定位準確率為 0.81，顯示 Scheme 2 較適合提升 G+W+Z 的定位準確率。

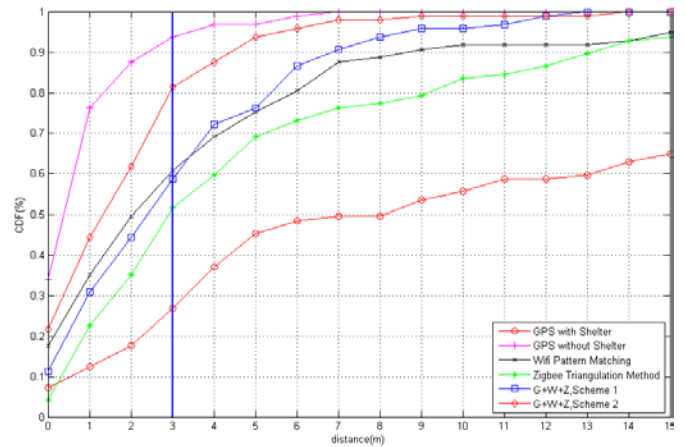


圖 4 G+W+Z 依據不同方法調整權重定位結果

圖 5 則為在 GPS 與 WiFi 異質網路環境下結合不同定位演算法之定位誤差結果。直覺上依照平均權重並結合內外插的定位方法 (Scheme 3)，表現結果應比其他定位方法好，但經實驗結果卻和 Scheme 2 的效能相差不遠。其原因是來自於 GPS 的定位準確度太低，造成權重調節後定位誤差偏大，可是這兩個方法均較 Scheme 1 的方法表現還要好。Scheme 1 的平均定位誤差是 5.46 公尺，誤差距離 3 公尺內的定位準確率為 0.41；Scheme 2 的平均定位誤差是 4.01 公尺，誤差距離 3 公尺內的定位準確率為 0.57；Scheme 3 的平均定位誤差是 4.25 公尺，而誤差距離 3 公尺內的定位準確率為 0.54。

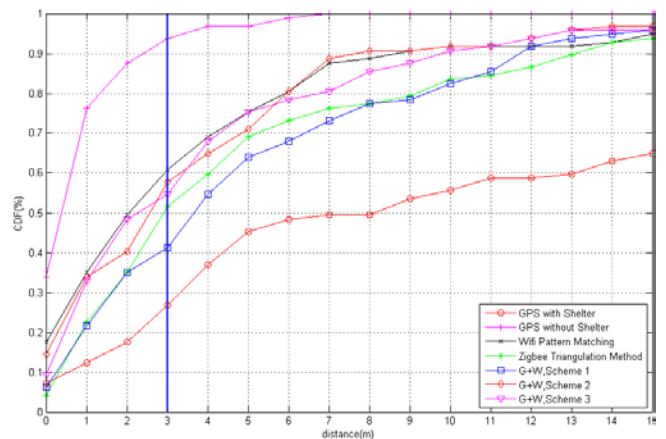


圖 5 G+W 依據不同方法調整權重之定位結果

圖 6 則為 GPS、ZigBee 結合不同計算法之定位結果，由此圖可知，Scheme 3 的方法可以有效提升定位結果；另外，Scheme 1 的定位平均誤差為 5.30 公尺，誤差距離 3 公尺內的定位準確率為 0.47；Scheme 2 的定位平均誤差為 4.29 公尺，誤差距離 3 公尺內的定位準確率為 0.51；Scheme 3 的定位平均誤差為 4.15 公尺，誤差距離 3 公尺內的定位準確率為 0.51。

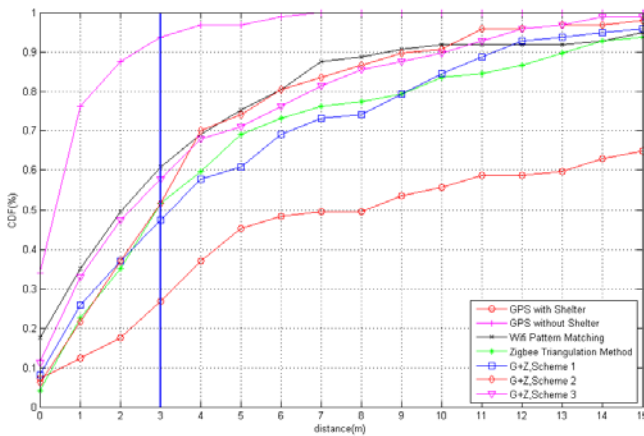


圖 6 G+Z 依據不同方法調整權重之定位結果

圖 7 則為 WiFi、ZigBee 結合不同計算法之 CDF 圖，由此圖可知，不論哪種方法調整定位，均可超越 WiFi 定位的結果，且已大幅提升定位的準確度，亦相當接近 GPS 無遮蔽時結果。Scheme 1 的定位平均誤差為 2.56 公尺，誤差距離 3 公尺內的定位準確率為 0.76；Scheme 2 的定位平均誤差為 2.25 公尺，誤差距離 3 公尺內的定位準確率為 0.80；Scheme 3 的定位平均誤差為 1.86 公尺，誤差距離 3 公尺內的定位準確率為 0.86。

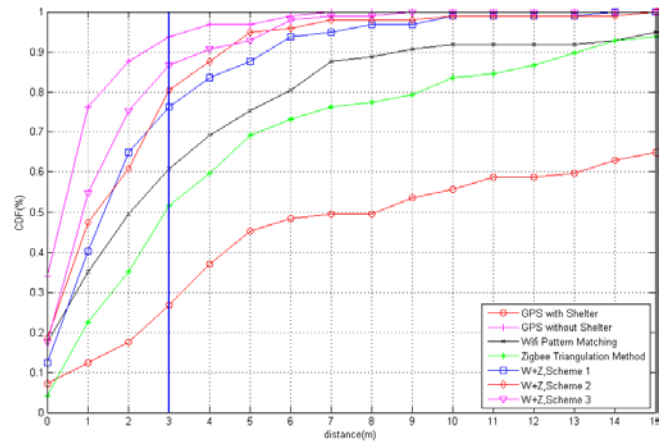


圖 7 W+Z 依據不同方法調整權重之定位結果

## 五、結論與未來工作

本研究的結果發現，當 GPS 受到地形地物的影響所接收到的衛星個數少時，結合其他定位方法可以有效的提升定位準確度，且在本研究中發現，若結合 WiFi 與 ZigBee 之定位結果，定位準確度可以接近 GPS 在沒有被遮蔽的情況下之定位精準度。

本研究中，定位權重之調整是透過行動裝置於訓練點上的定位經驗結果所得到的資訊來進行調整，其定位權重調整的方式仍不夠即時。未來可在行動裝置中整合 WiFi 與 ZigBee 和 GPS 定位系統的模組達到即時運算的效果並可在環境中加入參考點，藉由這些參考點達到即時調節定位結果與權重，提高調整權重的即時性與定位準確度，使定位結果更適合運用在室內外環境提供個人化的行動導覽系統或行動電子商務系統等位置資訊服務系統之開發與實現。

## 致謝

本研究由國科會經費贊助，計畫編號 NSC-97-2221-E-130-006-MY2。

## 參考文獻

- [1] 林永松。“Wireless LAN 定址服務方法研究與先導應用”，財團法人資訊工業策進會分包學術機構研究計畫期末報告，2003。

- [2] 邱方怡、葉生正。 “以 RFID 技術為基礎的行動商務系統研究” ， The 13-th Mobile Computing Workshop, Taiwan , April 2007 。
- [3] 陣軒志、葉生正。 “以手持式行動裝置為主的定位系統研究” ， The 13-th Mobile Computing Workshop, Taiwan , April 2007 。
- [4] 彭詠靖。 “無線區域網路之位置感知系統研究” ，銘傳大學資訊傳播工程學系所碩士論文， June 2006 。
- [5] 華亨科技， <http://www.hhnet.com.tw> 。
- [6] 葉生正、邱奕世、彭詠靖。 “以 RSSI 預測模型為基礎之室內 LBS 技術的研究” ， Journal of Informatics and Electronics, vol. 1, no. 1, pp. 1-8 , March 2006 。
- [7] 葉生正、鄭力強。 “無線區域網路室內定位系統之訊號比對法分析” ， 2005 主動式感測研討會， September 2005 。
- [8] 葉生正、吳世琳、劉科宏、廖俊愷。 “結合 GPS 與 WiFi 網路之戶外定位技術研究” ， 無線、隨意及感測網路研討會， pp. 610-614 , September 2008 。
- [9] 劉科宏。 “結合 GPS 與無線網路之定位系統研究” ，銘傳大學資訊傳播工程學系所碩士論文， June 2008 。
- [10] Allan Robbins, Wilhelm C. Miller, “Circuit Analysis with Devices”, Thomson learning, 2003.
- [11] Chung-Hsin Liu, Chih-Chieh Fan, “ZigBee-Research into Integrated Real-Time Located Systems”, IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference, pp942 -947, December 2008.
- [12] Erin-Ee-Lin Lau, Boon-Giin Lee, Seung-Chul Lee, Wan-Young Chung, “Enhanced RSSI-based High Accuracy Real-time User Location Tracking System for Indoor and Outdoor Environments”, International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, Vol 1, No.2, June 2008.
- [13] Gerten, G., “Protecting the global positioning system”, IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, Volume 20, Issue 11, pp3-8, November 2005.
- [14] Hyung-ChuI Son, Jang-Gyu Lee, and Gyu-In Jee, “Mobile station location using hybrid GPS and a wireless network”, The 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference 2003, IEEE VTC 2003-Spring , Vol. 4, pp 2716 -2720, April 2003.
- [15] Iyidir, B., Ozkazanc, Y., “Jamming of GPS receivers”, IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference, pp747 – 750, April 2004.
- [16] McNeff, J.G., “The global positioning system”, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 50, pp. 645-652, Mar. 2002.
- [17] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, “User location and tracking in an In-building radio network”, Microsoft Research Technical Report, February 1999.
- [18] P. Bahl, V.N. Padmanabhan and A.Balachandran, “Enhancements to the RADAR user location a tracking system”, Microsoft Research Technical Report, February 2000.
- [19] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, “RADAR: An In-Building RF-BASED User Location and Tracking System”, IEEE INFOCOM 2000, pp. 775-784, May 2000.
- [20] Sheng-Cheng Yeh, Wu-Hsiao Hsu, Ming-Yang Su, Ching-Hui Chen, and Ko-Hung Liu, “A Study on Outdoor Positioning Technology Using GPS and WiFi Networks”, IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, pp.597-601, March 2009.
- [21] Vimal Joy and Laxman P., “Smart Spaces: Indoor Wireless Location Management System”, IEEE Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, pp261-266, 2009.
- [22] William H. Press, and Brian P. Flannery, “Numerical recipes in Pascal”, Cambridge University Press, 1989.