

基於無線感測網路不規則訊號之凸包協助定位方法

A Convex Hull-Based Localization Scheme for Irregular Wireless Sensor Networking Characteristics

許酉遠

國立雲林科技大學電機工程所
g9612715@yuntech.edu.tw

紀光輝

國立雲林科技大學電機工程系
chikh@yuntech.edu.tw

江季翰

國立虎尾科技大學資訊工程系
jhjiang@sunws.nfu.edu.tw

摘要—無線感測網路(Wireless Sensor Networks)應用是重要的研究領域之一。許多應用包括環境監控、事件偵測、路由探索、災害救援和物件追蹤等皆需得知實際位置的資訊，因此，定位技術是無線網路的關鍵技術。現今的定位方法大多假設無線訊號涵蓋範圍是理想且穩定的，然而無線訊號的傳送過程中充滿許多變數和不可預期性，包涵訊號隨著路徑衰減、地形、自然環境和人為障礙物等，皆有可能造成訊號電磁波的吸收、反射、折射和繞射，進而形成無線訊號功率的衰減，使得通訊涵蓋範圍產生不規則的形狀。

行動節點協助定位(mobile anchor-assisted schemes)方法研究中，雖然無線感測網路多佈建於寬廣的戶外空間，並假設行動定位節點皆能利用GPS接收器來接收衛星的訊號，定出實際的位置，然尚需面臨行動定位節點不停移動、通訊環境的障礙物等因素。此外，行動定位節點在戶外空間移動，容易造成封包遺漏。有鑑於此，本研究希望提供一種較精確的戶外無線感測網路環境的定位方法，相較於有範圍基礎(range-based)的定位方式，我們不需依賴量測基準包括角度、距離、訊號強度等來達到定位，以節省無線感測器能源的消耗，另一方面，本研究將不規則訊號範圍視為非凸面的訊號範圍，並以凸包(convex hull)演算法，來解決非凸面的不規則訊號問題，以確保在戶外也有相當精確的定位能力。

一、前言

無線感測網路(Wireless Sensor Networks)技術日益進步，服務應用亦蓬勃發展，例如智慧家庭應用，無線感測網路讓人們享有更安全、健康、便利、舒適的生活型態與空間。在無線感測網路的應用中，定位(Localization)技術一直是任何型態的無線網路的必要機制。對於大多數無線感測網路的應用而言，如何得知無線感測節點的位置是一個核心議題，蓋因無線感測節點所收集的資料在傳送時，通常需嵌入位置資訊，以便使用者能在眾多的資料中萃取區所關注的資訊並增加資料的可利用度。例

如：假使在偵測森林火災的感測器網路中，若此無線感測網路在開始監測前，能事先取得每一個感測節點的位置資訊，當火災發生時，偵測到溫度升高的感測器便可將警告訊息包含著感測器所在的地理位置資訊立即傳送至後端的資料匯集點(Sink)，進而緊急通知消防隊至該地進行滅火，如此可有效減少因災害所造成的損失。

現今多數的定位技術皆是採用訊號強度(Received Signal Strength Indication, RSSI)測距技術來計算物體位置，雖然訊號強度測距技術可被廣泛使用且具有低部署成本的特性，但是它存在著一個眾所皆知的挑戰，在無線感測網路中訊號易受到環境影響而訊號衰減，其中亦包含著雜訊(Noise)，而雜訊會導致訊號強度變的不穩定，致使測距結果失敗。而在行動節點協助定位方法研究中，雖然無線感測網路環境運用於寬廣的戶外，並假設行動定位節點皆能利用全球定位系統接收衛星的訊號，定出實際的位置，然而還面臨許多的問題，包括現實環境中的無線不規則訊號、行動定位節點不停移動、通訊環境的障礙物、訊號吸收或反射和無線通訊自然衰減等，皆為行動節點協助定位方法不得不面對的問題。

有鑑於此，本研究以最惡劣的無線感測網路環境為前提，希望提供一個適用於各種戶外無線感測網路環境的定位方法，本研究的方法搭配幾何中的凸包(Convex-Hull)演算法，來解決非凸面的不規則訊號，並以最小外接圓的定位方法來達到位置的估測，進而提升定位準確率，另外本研究也試著做定位次數的計算，以最符合收集的定位封包量來達到定位的最佳效果，進而達到增進各項應用的效益，並降低無線感測器能源的消耗。

二、文獻探討

2.1 無線感測網路定位方法

在目前無線感測網路定位方法中，首先會以集中式定位方法和分散式定位方法做區分，集中式的定位方法主要是以將所有可能幫助定位的資訊不斷傳送到資料匯集點(Sink)或無線感測網路閘道器(Wireless Sensor Network Gateway)，如圖1所

示,接著在利用資料匯集點或無線感測網路閘道器的運算能力,來計算所有分佈的無線感測器的絕對位置,然而當數以千計的無線感測節點都需定位時,會造成資料匯集點計算能力大大的消耗,如MDS-MAP定位演算法[16],因而發展出分散式定位方法。

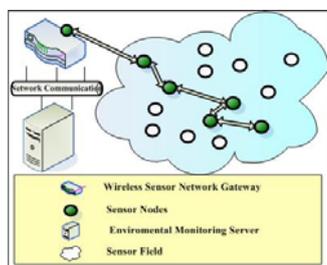


圖 1 感測網路傳輸流程

分散式定位演算法為目前最常使用的定位方式,分散式定位方法不需集中方式的計算,而依靠每一個感測節點利用鄰近節點來估測節點本身的位置[1]。此方法大致分為三大類:範圍基礎(Range-Based)定位方法、無範圍基礎(Range-Free)定位方法和行動節點協助定位方法(Mobile Anchor-Assisted Schemes)。

■ 範圍基礎(Range-Based)的定位方式

此方法是利用量測距離或是角度來計算估測無線感測節點的位置,在範圍基礎(Range-Based)的方法中,感測節點會搭配其它的硬體裝置,並透過距離或角度來進行測量,最後利用三角定位或估測方式來判斷本身節點的位置。此測量方法需透過不同的測量基準來取得定位的資訊,例如:時間測量法(TOA)[3],時間差(TDOA)[4],角度測量法(AOA)[5],或接收強度訊號指標法(RSSI)[7]。然而這些方法除了強度訊號指標法外,皆需搭配其它的硬體裝置來達到定位,但對於講求低能源的無線感測器來說,加裝硬體裝置反而造成能源上的消耗。

■ 無範圍基礎(Range-Free)定位方式

無範圍基礎定位方法顧名思義用於寬廣的空間且無地方上的限制,大部份無範圍基礎定位演算法利用不停廣播已知座標的方式來達到定位,不需在每個感測節點加裝額外的硬體裝置,只需要少部份的已知座標或有加裝全球定位系統(GPS)感測器及可。例如:Centroid是利用已知位置參考節點週期性的廣播位置的封包,感測器收集且計算所有聽到的參考點座標,將其重心為感測節點的位置[8]。DV-Hop利用已知位置的參考節點到感測節點的跳躍數(Hop Count)來推測平均一個跳躍的距離,並廣播此資訊,當感測器收到廣播資訊後,藉由參考點的跳躍數計算本身與參考點的距離,滿足

三個參考點以上的距離資訊,感測器便可估算出本身的位置[9]。APIT是利用三角形的構成點,並搭配GPS或其他方法獲得位置資訊,藉由定位裝置產生的信標(Beacon),讓未知感測節點來判斷是否在這些點形成的三角形內,利用這些三角形形成區域的交集,來估算本身的位置,當未知感測節點在三角形內時相對應的計數器加一,否則計數器減一,當計數器數字為最大的區域即為其所估計自己所在的區域,此區域的中心位置即為感測器估計所在的位置[10]。CAB(Concentric Anchor-Beacons, CAB)是利用傳送不同訊號強度的訊號,在判斷感測節點是否位於交集區域,感測器藉由收到訊號強度傳送的距離來估算出本身所在的區域,區域的中心位置即為估計所在的位置。

然而以上的方法,皆需要依靠已知的固定感測節點座標或有加裝全球定位系統(GPS)感測器,如圖2所示,因此造成佈建無線感測網路環境硬體成本始終居高不下,而為了降低更多硬體裝置成本,後續許多學者提出以少量搭配全球定位系統的可移動感測器來達到定位的功能,在此稱為行動節點協助定位方法(Mobile Anchor-Assisted Schemes)。

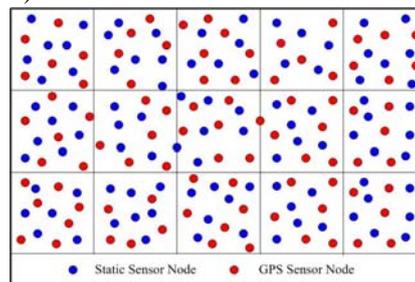


圖 2 固定感測節點和待定位節點

■ 行動節點協助定位方法(Mobile Anchor-Assisted Schemes)

隨著無線行動感測器網路研究蓬勃發展,感測器節點以自主性的感測並收集資訊的方法不勝枚舉[13],因此在行動節點協助定位方法中,無線感測網路環境是利用感測節點和行動參考節點所構成,感測節點以不固定排列方式分佈於感測區域,每一個行動參考節點都有裝載全球定位系統並能自由的移動,如圖3所示,現今已有許多學者設計並實現此行動定位節點[12]。當行動定位節點移動時,週期性的廣播本身的座標給鄰近的感測節點,感測節點則利用收到行動參考節點送出的定位封包計算出本身的估測位置。

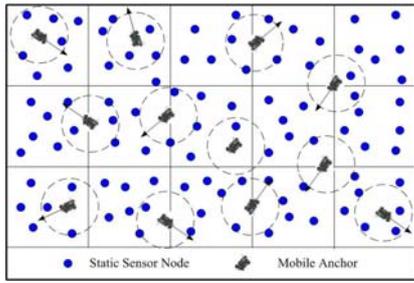


圖 3 行動節點協助定位方法環境

2.2 行動節點協助定位方法文獻探討

■ RSSI Using Mobile Anchor

此方法[16]是利用行動定位裝置不斷發送位置座標在散佈感測器的範圍裡面移動，當感測器接收到行動定位裝置所發送的訊號時，藉由收到的訊號強度(RSSI)判斷感測器和行動定位裝置發送訊號的位置之間的距離，以行動定位裝置發送訊號的位置為圓心，距離為半徑形成一個圓，當行動定位裝置不斷的移動形成了許多的圓，則感測器以這些圓的交集區域的中心位置為估測的定位位置，如圖4所示。

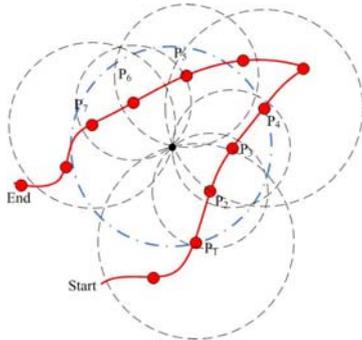


圖 4 RSSI Using Mobile Anchor 示意圖

■ Mobile Anchor Points

此論文[19]以感測器和行動定位裝置的最大通訊距離為圓的半徑，當感測器第一次收到行動定位裝置傳來的訊息時，感測器會記錄訊息上的位置為信標點(Beacon Point)和直到最後一個收到訊息的位置座標當感測器記錄了三個以上的信標點時，即可形成圓上兩條不平行的弦，兩條弦的中垂線交點即為感測器估計所在的位置，如圖5所示。

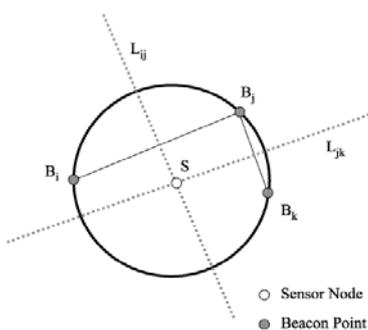


圖 5 Mobile Anchor Points 示意圖[19]

■ Mobile Anchor Positioning

Mobile Anchor Positioning簡稱MAP[1]，此方法利用兩個有相同半徑已知圓心座標的相交圓，估算出兩個交叉點的座標。因此兩個圓弧中會有兩個交點，接著依靠其它信標點利用距離小於半徑的方式確認兩個交叉點的其中一個，另外此方法也可利用其它已定位的無線感測器，來協助未知感測器定位，進而加快定位所花費的時間。

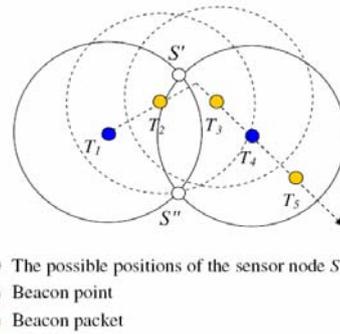


圖 6 Mobile Anchor Positioning 示意圖[1]

■ Three Dimensional Localization Algorithm

此研究[20]以Mobile Anchor Points[19]定位方法為基礎，利用自由空間方程式和位元錯誤率導出信標點並非於圓周上論點，改善Mobile Anchor Points[19]定位方法，此方法假設行動定位節點路徑為一直線，並找出最大訊號強度的信標點，當最大訊號強度的信標點為最接近圓心的位置，利用兩條路徑與最大訊號強度的信標點位置做垂直線，垂直線交點及為未知節點的定位位置。

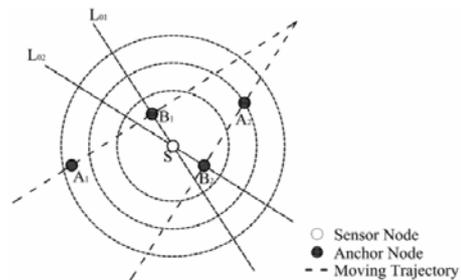


圖 7 Three Dimensional Localization Algorithm 示意圖[20]

2.3 行動節點協助定位方法面臨問題

在行動節點協助定位方法研究中，雖然無線感測網路環境在於寬廣的戶外，並假設行動定位節點皆能利用全球定位系統(GPS)接收衛星的訊號，定出實際的位置，然而除此之外還面臨許多的問題：

■ 通訊環境

在戶外無線訊號環境中，包含地形、大氣損耗、建築物、山丘、樹木遮擋和人為障礙物等，皆

有可能造成對訊號電磁波的吸收或反射，進而造成無線信號功率的衰減，如圖8所示，使得無線信號的傳送充滿了變數和不可預期性。依據Ganggang Yu學者提出以Friis自由空間方程式 (Friis Free Space Equation, FFSE) 和位元錯誤率(Bit-Error Rate, BER)，利用數學公式導出自由空間的電波損耗搭配移動中位元錯誤率，證明在戶外無線通訊是無法理想的穩定且呈現圓形[15]，另一方面，自由空間方程式是以直視路線(Line of Sight, LOS)為考量，在傳輸端與接收端假設無任何阻礙情況下作基礎，另外也忽略環境障礙物對電磁波的吸收，因此在戶外無線通訊除了自然衰減外，還包括障礙物對電磁波的吸收和行動節點不停移動產生的位元錯誤，這些皆有可能造成錯誤率的提升。

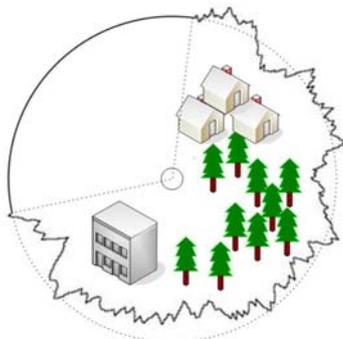


圖 8 通訊環境示意圖

■ 不規則訊號

訊號不規則在無線通訊是不可忽略的問題，現有大多數研究中都假設無線電涵蓋範圍是極度理想且穩定的圓形形狀，然而在現實的狀況裡，無線訊號的涵蓋範圍卻是極度動態且不規則的。在實際的實驗根據中[14]，Gang Zhou學者以Berkeley所開發的MICA2感測器為例，經過角度和距離的實際測量，以10英尺範圍在接收100信標(Beacon)的實際測量中，訊號強度皆有所不同，如圖9所示，另外其它的實驗中，不同的距離所接到的訊號得到非相同的數據，接著在固定接收訊號強度-55.5 dBm和-59 dBm實驗中，所呈現的訊號範圍，如圖10所示，由以上實驗數據結果得知，無線訊號在實際的環境中為不規則跳動的。

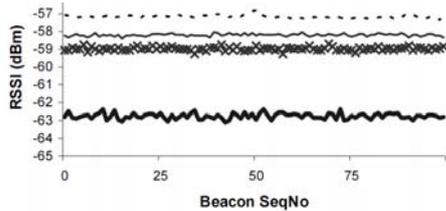


圖 9 訊號強弱接收實驗[14]

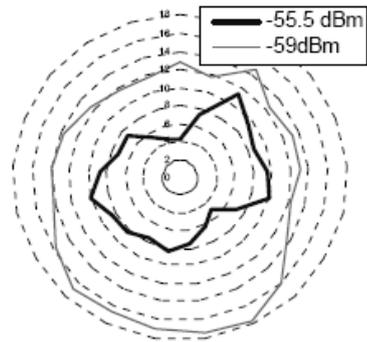


圖 10 不同功率訊號實驗[14]

■ 文獻總結

在相關行動節點協助定位方法 (Mobile Anchor-Assisted Schemes) 研究中，各種定位方法皆有利弊，如圖11所示，以Mobile Anchor Points [19] 和Mobile Anchor Positioning[1]講求快速的定位方法，對於群體感測節點達到定位時間相當迅速，RSSI Using Mobile Anchor[16]利用訊號強度來增進定位的準確度，然而利用訊號強度的方法運用於戶外，面對各種戶外環境的不同，皆需做事先的測量來換算距離，來達到增進的準確度，而Mobile Anchor Points與Mobile Anchor Positioning皆以通訊範圍為圓的方式呈現，對於訊號不規則的環境中大大影響定位的準確度，在 Three Dimensional Localization Algorithm[20]研究為目前最佳的定位方式，但對於行動節點的移動方法只能直線的方式行走，在障礙物林立的戶外空間中，簡直不可能成立。

	RSSI Using Mobile Anchor	Mobile Anchor Points	Mobile Anchor Positioning	Three Dimensional Localization Algorithm
精確度	低	中	中	高
事先訊號測量	需	否	否	否
Mobile Anchor 移動軌跡	隨意行走	直線	隨意行走	直線
通訊範圍為圓	需為圓	皆可	需為圓	皆可
最少行動定位點	多個	3	3	4

圖 11 無範圍基礎定位比較

三、研究方法

目前各種行動節點協助定位方法(Mobile Anchor-Assisted Schemes)研究中,少有研究針對不規則訊號(Radio Irregularity)提出較好的定位方式,本研究希望提出一種改進不規則訊號定位方法,稱為A Convex Hull-Based Localization Scheme (ACHLS),主要考量可種不規則訊號(Radio Irregularity)下的影響,改善不規則訊號導致定位準確度大大降低的原因。

3.1 定位方法環境假設

本研究所提出定位方法的環境主要運用於戶外空間,在感測節點方面主要由靜態無線感測器(Static Sensor Node)和動態無線感測器(Mobile Anchor)或稱為行動定位節點建構而成,靜態無線感測器主要接收動態無線感測器發出定位封包(Beacon Packet)和收集環境中的感測資料並加以轉送,而動態無線感測器會以隨意的方式行走,如圖12所示,並搭配衛星定位系統以無線感測網路環境中發送目前定位的實際位置封包。

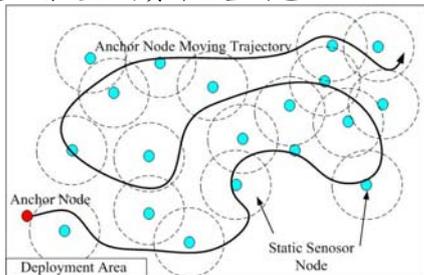


圖 12 通訊環境建置

在無線通訊訊號部份,為了符合實際通訊環境,因此考量不規則訊號的問題,以不規則訊號模型(Radio Irregularity Model)做為通訊環境的基礎[14],不規則訊號模型依據不規則指數(Degree Of Irregularity, DOI)來定義不規則狀態,當不規則指數愈高時,所呈現的訊號範圍更為崎嶇,如圖13所示。

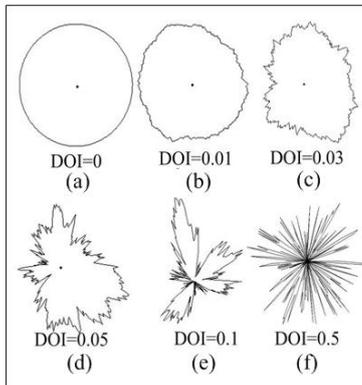


圖 13 不規則訊號範圍

而不規則訊號模型如方程式1所示, r_i 代表圓的0到360度各角度的半徑, r_{min} 為無線感測器通訊的最小範圍,由於通訊環境的不可預期狀況加上行動定位節點無法任意穿越障礙物的情況下,因此本研究假設為0, r_{max} 為無線感測器通訊的最大範圍, X代表-1到0之間的亂數, D代表不規則指數,然而各角度間半徑不可超過半徑的最大值與最小值。

$$r_i = \begin{cases} 0.5(r_{min} + r_{max}) & , \text{if } i = 0 \\ r_{i-1} \pm X(r_{max} - r_{min})D & , \text{if } 0 < i < 360 \end{cases}$$

,where $r_{min} \leq r_i \leq r_{max}$ (1)

3.2 行動定位點的選擇

在行動定位節點(Mobile Anchor)以不規則的方式行走於無線感測網路的範圍中,當行動定位節點接進靜態的無線感測器(Static Sensor Node)時,靜態無線感測器會接收到動態無線感測器的廣播定位封包(Mobile Beacons),如圖14定位封包所示,並以行動定位節點的ID和時戳方式記錄各個時間點,和行動定位節點所移動的情況。

ID	Location	Timestamp
----	----------	-----------

圖 14 定位封包

當行動定位節點不斷移動和不斷廣播本身移動節點的位置,同時靜態感測節點也不斷的接收行動定位節點所發出的位置資訊,如圖15所示,隨著不同的行動定位節點的ID分辨,以進入第一個定位封包T0開始紀錄,隨著行動定位節點移動記錄著T1、T2、T3、T4、T5和T6,當動態感測節點已經離開靜態感測節點的範圍,靜態感測節點的還是不斷的等待行動定位節點發送定位封包,直到超過一個封包發送的時間間隔(Beacon Interval),靜態感測節點及會抓取剛定位封包紀錄的頭與尾,也就是第一個和最後一個定位封包的位置資訊(Anchor Points),直到下次行動定位節點接近時,紀錄的序列會重新由零開始計算。

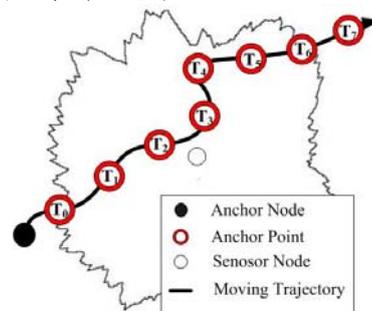


圖 15 選擇行動定位點

3.3

凸包協助方法

無線感測網路在不規則訊號下，不規則訊號等於是一個非凸面型的訊號區域，容易影響位置與估測的精確度，以Mobile Anchor Points [19]定位方法為例，當選擇定位點呈現凹角度的情況產生，利用中垂線的方式定位，會將估測定位的位置與實際正確的位置相反，且超過一個半徑以上的位置，如圖16所示。

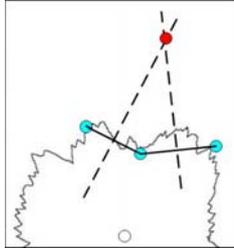


圖 16 Mobile Anchor Points 在不規則訊號範例

本研究以計算幾何(Computational Geometry)中的Graham's Scan凸包演算法[21]來解決不規則訊號下非凸面型訊號所造成的影響，Graham's Scan演算法的時間複雜度只需 $O(n \log n)$ ，也為Convex Hull演算法中較常使用的演算法，當行動定位節點不斷的移動，靜態無線感測器接收的定位封包(Anchor Points)愈來愈多，以收集來的定位封包((Anchor Points)當作點集合 $Q\{Q_1, Q_2, \dots, Q_{11}\}$ ，如圖17所示。

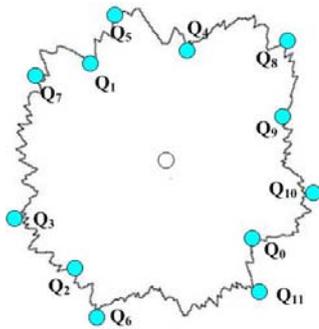


圖 17 定位封包點集合

接著利用向量的方式將 p_0 與X所交之夾角，將Q所有定位封包點集合作由小到大排序，如圖18所示，結果分別為 P_1, P_2, \dots, P_{11} ，若角度相同者，只取與 P_0 最遠者。

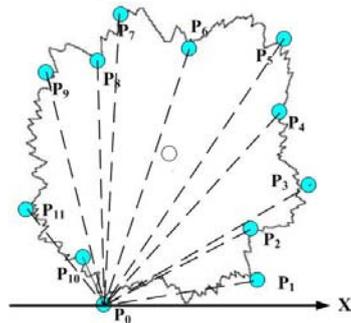


圖 18 排序定位封包點集合

3.4

接下來根據Graham's Scan演算法方式計算[21]，如圖19所示，判斷每點的上一點和下一點的角度為左轉或右轉，如圖20所示，直到不為左轉才將點放入堆疊中。

```

Graham-Scan(Q)
Input : 平面上之點集合
Output : Q 之 Convex Hull : Stack S
1  P0 為 Q 中最低的點，及為 Y 座標最小點，當相同時為 X 最小者；
2  Q 中剩下的點與 P0 形成向量，與 X 所交之夾角，由小到大排序，令其分別為 P1, P2, ..., Pn，若角度相同者，只取 P0 最遠者；
3  Push(p0, S); //S 為 Stack
4  Push(p1, S);
5  Push(p2, S);
6  for i ← 3 to m do
7      while (從 next-to-top(S) 到 top(S) 再到 pi 為右彎)
8          do Pop(S);
9          Push(pi, S);
10 return S;
    
```

圖 19 Graham's Scan 演算法

```

// isLeft(): tests if a point is Left|On|Right of an infinite line.
Input: three points P0, P1, and P2
Return: (P1.x - P0.x)*(P2.y - P0.y) - (P2.x - P0.x)*(P1.y - P0.y);
// if Return >0 for P2 left of the line through P0 and P1
// Return =0 for P2 on the line
// Return <0 for P2 right of the line
    
```

圖 20 左右轉判斷演算法

最後利用Graham's Scan演算法找出最接近圓周的定位封包的位置，並捨棄不準確的定位封包，如圖21所示。

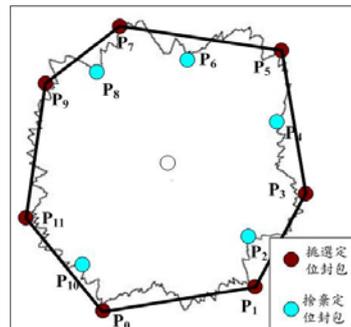


圖 21 Convex-Hull 選擇行動定位點

定位的計算

在利用Graham's Scan演算法找出最接近圓周的定位封包，以達到更容易找出定位封包中點集合的最大距離 \overline{AB} ，捨棄許多不準確定位封包的尋找，如圖22所示，並且所尋找出來的最大弦 \overline{AB} 可

適為最接近實際感測節點位置中訊號圓的直徑，進而可將不規則訊號所產生的定位誤差大大的減低。

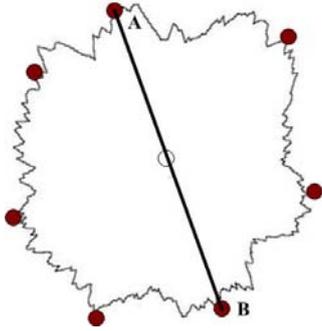


圖 22 點集合找最大直徑

接著利用尋找出來的最大距離 \overline{AB} 中，找出最大距離的中點，接著利用最大距離的中點來從 Convex-Hull 後點集合中找尋一定位點，而此定位點與最長弦中點為最長者，如圖 23 所示。

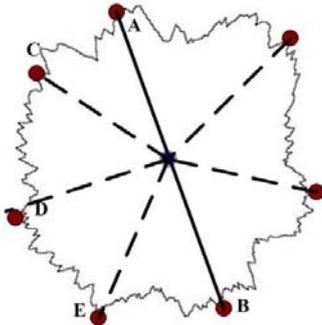


圖 23 中點找尋最長的點

在尋找完距離最大距離和與最大距離中點的最長線的第三點後，及可計算預估無線感測器的位置，利用三角形外心的方式，以中垂線的方法估測出位置的所在，如圖 24 所示，計算分別為 \overline{AD} 與 \overline{BD} 兩條線中垂線 L_{DA} 與 L_{DB} ，最後中垂線交點及為估測的無線感測器定位位置，如方程式 2 所示。

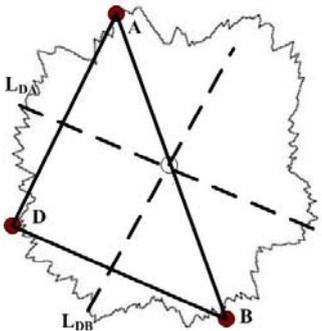


圖 24 定位計算

$$\begin{cases} L_{DA} : a_{DA}x + b_{DA}y = c_{DA} \\ L_{DB} : a_{DB}x + b_{DB}y = c_{DB} \end{cases} \quad (2)$$

$$x = \frac{(c_{DA} * b_{DB} - c_{DB} * b_{DA}) / (a_{DA} * b_{DB} - a_{DB} * b_{DA})}{(a_{DA} * b_{DB} - a_{DB} * b_{DA})},$$

$$y = \frac{(a_{DA} * c_{DB} - a_{DB} * c_{DA}) / (a_{DA} * b_{DB} - a_{DB} * b_{DA})}{(a_{DA} * b_{DB} - a_{DB} * b_{DA})},$$

where,

$$a_{DA} = x_A - x_D,$$

$$b_{DA} = y_A - y_D,$$

$$c_{DA} = (x_A - x_D)((x_A + x_D)/2) + (y_A - y_D)((y_A + y_D)/2),$$

$$a_{DB} = x_B - x_D,$$

$$b_{DB} = y_B - y_D,$$

$$c_{DB} = (x_B - x_D)((x_B + x_D)/2) + (y_B - y_D)((y_B + y_D)/2).$$

當最大的弦的中點與第三點的距離等於最大弦的一半時，如圖 25 所示，利用外心的方法畫圓，第三點必定為圓上的一點，並與最大弦呈九十度直角三角形。

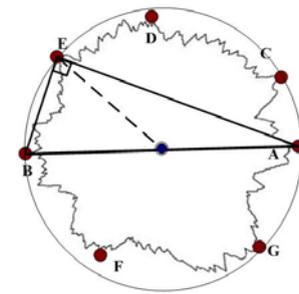


圖 25 中線等於半徑

當最大弦的中點與第三點的距離超過一半的最大弦時，如圖 26 所示，所畫出的三角形必為銳角三角形，利用外心的方式畫圓，圓心必為銳角三角形的內部，且接近最大弦的中點。

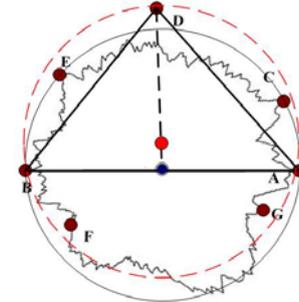


圖 26 中線大於半徑

最後如圖 27 所示，當最大弦的中點與第三點的距離小於一半的最大弦時，所畫出的三角形必為鈍角三角形，利用外心的方式畫圓，圓心必為鈍角三角形的外部，由這三張圖的推導可知，利用外心畫出來的圓心，一定會包覆所有的 Convex-Hull 點集合。

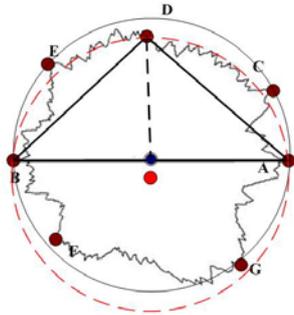


圖 27 中線小於半徑

四、模擬結果

本研究模擬的環境為行動定位節點在 500*500 m²中隨意的行走，而200個靜態感測器以亂數的方式部屬於此範圍中，每個感測器的通訊半徑為20公尺，並根據不同的訊號不規則指數來做為實驗的數據。在系統環境中，預設參數如下：

1. 以不同的訊號不規則指數為模擬的代表，分別為 DOI 0.03、DOI 0.05、DOI 0.1。
2. 利用方程式 3 算出平均定位的錯誤率，N 代表靜態的感測節點個數，(X_{ei}, Y_{ei})為利用本演算法所估測的定位位置，(X_i, Y_i)為實際正確的感測器位置，R 代表通訊半徑。
3. 以相同和不同的行動定位點個數來進行模擬。
4. 實驗的數據取五百次模擬之平均值為代表。

$$\text{Average Localization Error} = \frac{\sum_{i=1}^N \sqrt{(X_{ei} - X_i)^2 + (Y_{ei} - Y_i)^2}}{N * R} \dots (3)$$

4.1 定位準確度模擬

如圖28所示，為不規則指數0.03情況下，本研究的方法與 Mobile Anchor Points 及 Three Dimensional Localization Algorithm 的定位方法做比較，在一開始收集的行動定位點封包數量很少的情況，本研究的方法和其它兩個方法不相上下，錯誤率也都非常的高，但隨著定位點封包的數量愈來愈多時，本研究的方法非常明顯的下降很多，也就是錯誤率變低準確率變的更好，而由於 Mobile Anchor Points 定位方法是根據任意三點求中垂線的方法，因此倒置模擬的錯誤率不斷的上下跳動，有時找到凸面訊號時，定位的位置也會在實際定位點的通訊範圍內，否則就為通訊範圍外，進而錯誤率就會變的非常的高，也較為不準確，另外 Three Dimensional Localization Algorithm 在錯誤率方面，在本模擬的環境為行動定位點會亂機且隨機的移動，並有自己閃避的功能，使得 Three Dimensional Localization Algorithm 錯誤率也非常

的高，雖然此方法是利用最大的訊號強度為依據，照理說會最接近目標位置，但由於進入無線感測網路的通訊範圍並非和最近的定位點呈直的關係，倒置正確率也非常的低，如圖29所示，當收集到三百個定位封包所平均下的準確度，當不規則訊號0.03時，本研究的方法錯誤率遠遠的低於兩個方法。

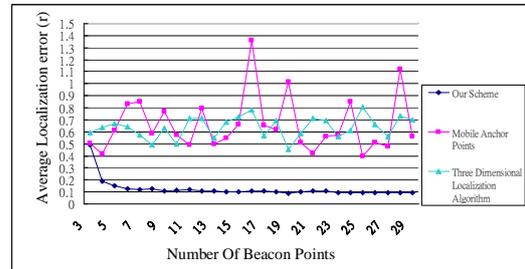


圖 28 Doi 0.03 不規則訊號下定位模擬

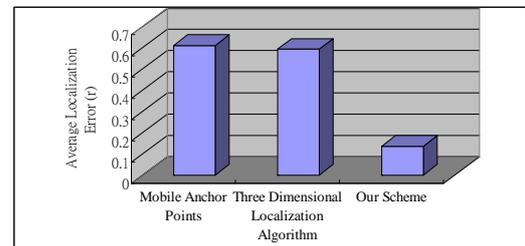


圖 29 Doi 0.03 每個定位封包平均錯誤率

在不規則訊號下0.05的情況下，如圖30所示，隨著不規則指數的增加，在三個方法的定位錯誤率也很明顯的增加，整體的錯誤率就像增加一格，以 Mobile Anchor Points 定位方法還是一樣，上下的不斷起伏，另外 Three Dimensional Localization Algorithm 方法中，錯誤率好像有顯少的降低，但本研究的方法，雖然錯誤率很上提高，但與其它兩個方法相比，還是少了很多，如圖31所示。

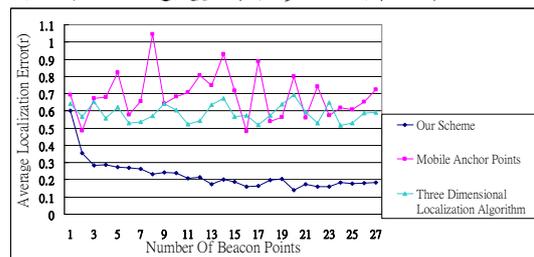


圖 30 Doi 0.05 不規則訊號下定位模擬

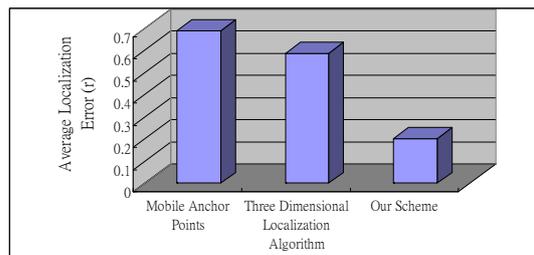


圖 31 Doi 0.05 每個定位封包平均錯誤率

最後在不規則訊號指數0.1的情況下，如圖32所示，由於不規則訊號已經在非常糟糕的情況，本研究的方法雖然一開始的定位錯誤率也非常的高，但隨著靜態感測節點收集愈多的行動定位封包，錯誤率也開始慢慢的降低，但由於訊號離非常糟糕，Mobile Anchor Points定位方法的錯誤率也很明顯的升高，甚至快接近一個半徑的距離，而在Three Dimensional Localization Algorithm中，因為訊號非常糟糕而倒至訊號的範圍比較小，進而提升了此方法的準確率，這是模擬出與想像不一樣的情況，雖然此方法降低了錯誤率，但與本研究的方法相比，還是本研究的方法較為準確，如圖33為收集三百個定位封包的平均每個封包的錯誤率。

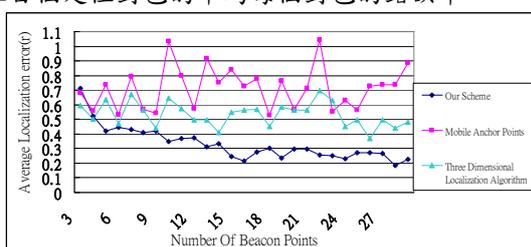


圖 32 Doi 0.1 不規則訊號下定位模擬

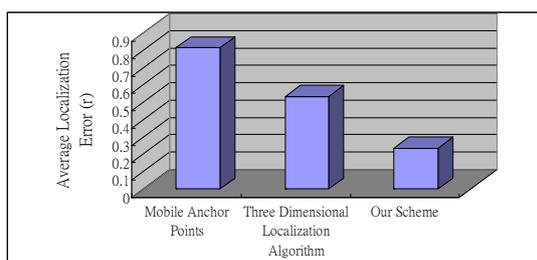


圖 33 Doi 0.1 每個定位封包平均錯誤率

4.2 凸包取點模擬

如圖34所示，為不規則訊號指數0.03情況下模擬凸包取點，在多邊形與外接圓關係下，隨著正多邊形愈多面積會愈大，也會愈接近圓，而且所取的凸包也會最多，因此在不規則訊號指數0.03的情況下，相較於不規則訊號指數0.05和0.1最為接近圓，在定位點隨著行動定位感測器的移動而增加，利用本演算法篩選較為準確的定位點，捨棄不準確的定位封包個數，從60個定位節點開始，選擇的定位點開始緩慢的增加，到360個定位節點，選擇的定位節點也不超過20個，因此由此模擬實驗可知，在不規則訊號環境下，愈多的定位節點並非可增加定位的準確率，如果隨著定位節點的增加，重新估測定位的位置，只會造成感測器的能源耗損，不能增加定位效益。

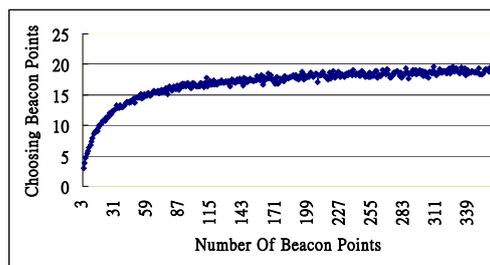


圖 34 凸包取點模擬

4.3 不規則訊號指數模擬

在以相同26個的定位封包情況下，如圖35所示，為根據不同的不規則訊號指數來模擬，在Mobile Anchor Points定位方法中，由於不規則訊號愈高，所形成的凹面訊號會愈多，進而影響定位的準確率，也隨著不規則指數愈高，定位的準確率也愈來愈下降，另外在Three Dimensional Localization定位方法，雖然不會隨著不規則指數的變化而產生極大的影響，但也由於行動定位節點的不規則移動和閃避障礙物的功能，倒置此方法的準確度一直呈現不精確的狀況，雖然隨著不規則指數的變化，而產生的訊號範圍縮小，但整體來看，錯誤率的下降幅度並沒有差異非常的大，而本研究的方法雖然錯誤率有隨著不規則指數的變化而產生影響，但起伏是這三個方法中最小的，並且準確率也是最高的。

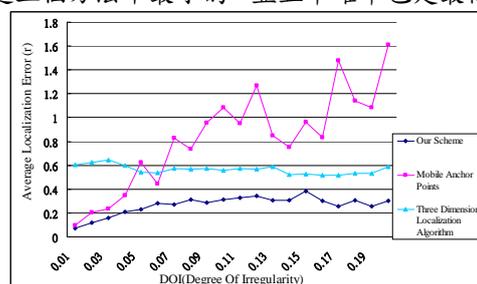


圖 35 不規則訊號指數模擬

五、結論

本論文主要探討無範圍基礎中的行動節點協助定位方法，相較於範圍基礎的定位方法，本研究的定位方法不需使用任何的量測基準包括角度、距離、訊號強度等來達到定位，只需要少部份持有GPS接收器的行動定位節點在無線感測網路分佈範圍隨意行走及可，相較於其它行動節點協助定位方法，本研究的方法不需限制行動定位節點的移動方式。另一方面，本研究提出的方法以適用於無線感測網路環境為考量，以各種不規則訊號指數來模擬戶外空間所面臨的問題，並且沒有保證訊號範圍一定能接收到通訊封包的假設為前提，利用凸點演算法改善不規則訊號範圍造成定位錯誤的影響，最後利用最小外接圓的方式來定出估測的位置。本論

文希望提供一個適用於容易造成不規則訊號範圍的戶外無線感測網路環境定位方法，改善現有大多數的定位研究，以假設無線電涵蓋範圍是極度理想且穩定的圓形形狀，並在模擬指出，相較其它的方法，在不規則訊號下定位更為精確。

誌謝

本研究由國家科學委員會計畫 NSC 98-2918-I-224-001 及 NSC 98-2622-E-150-077-CC3 補助支持，特此誌謝。

六、參考文獻

- [1]. W.-H. Liao and Y.-C. Lee, "A Lightweight Localization Scheme in Wireless Sensor Networks," *International Conference on Wireless and Mobile Communications (ICWMC 2006)*, Bucharest, Romania, July 29-31, 2006.
- [2]. K. Kim and W. Lee, "MBAL: A Mobile Beacon-Assisted Localization Scheme for Wireless Sensor Networks," *International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN 2007)*, pp. 57—62, 2007.
- [3]. B. H. Wellenhoff, H. Lichtenegger, and J. Collins, *Global Positioning System: Theory and Practice*, Fourth Edition, Springer Verlag, 1997.
- [4]. N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The Cricket Location-Support System," *ACM/IEEE MobiCom 2000*, pp. 32—43, Boston, MA, August 2000.
- [5]. D. Niculescu and B. Nath, "Ad Hoc Positioning System (APS) Using AoA," *IEEE INFOCOM*, 2003.
- [6]. D. Niculescu, "Positioning in Ad Hoc Sensor Networks," *IEEE Networks*, Vol. 18, No. 4, pp. 24—29, July 2004.
- [7]. P. Bahl and V. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System," *IEEE INFOCOM 2000*, Tel-Aviv, Israel, March 2000.
- [8]. N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "GPS-less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices," *IEEE Personal Communications Magazine*, October 2000.
- [9]. D. Niculescu and B. Nath, "Ad-Hoc Positioning System," *IEEE GlobeCom*, November 2001.
- [10]. T. He, C. Huang, B. Lum, J. Stankovic, and T. Adelzaher, "Range-Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks," in *Proc. of ACM MobiCom*, San Diego, CA, USA, Sept. 2003.
- [11]. V. Vivekanandan, V.W. Wong, "Concentric Anchor Beacon Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 56, pp. 2733—2744, Issue 5, Sept. 2007.
- [12]. J.-P. Sheu, K.-Y. Hsieh and P.-W. Cheng, "Design and Implementation of Mobile Robot for Nodes Replacement in Wireless Sensor Networks," *Journal of Information Science and Engineering*, Vol. 24 No. 2, pp. 393—410, March 2008
- [13]. J. Friedman, D. Lee, I. Tsigkogiannis, P. Aghera, A. Dixit, D. Levine, D. Chao, A. Kansal, W. Kaiser, and M. Srivastava, "Ragobot: A New Hardware Platform for Research in Wireless Mobile Sensor Networks," *International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems*, pp.412—412, 2005
- [14]. G. Zhou, T. He, S. Krishnamurthy, and J. Stankovic, "Impact of Radio Irregularity on Wireless Sensor Networks," In *Proc. the Second International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys)*, June 2004.
- [15]. G. G. Yu, F. Q. Yu, and L. Feng, "A Localization Algorithm Using a Mobile Anchor Node Under Wireless Channel", In *Proc. 2007 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, December 2007
- [16]. Y. Shang, W. Ruml, and Y. Zhang, "Localization from Mere Connectivity", In *Proc. 10th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, 2003.
- [17]. Y. Shang and W. Ruml, "Improved MDS-based Localization", *IEEE INFOCOM 2004*, Hong Kong, March 2004.
- [18]. M. L. Sichitiu and V. Ramadurai, "Localization of wireless sensor networks with a mobile beacon," Center for Advances Computing Communications, North Carolina State Univ., Tech. Rep. TR-03/06, Jul. 2003.
- [19]. K.-F. Ssu, C.-H. Ou, and H. C. Jiau, "Localization with Mobile Anchor Points in Wireless Sensor Networks," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol. 54, No.3, May 2005
- [20]. G. Yu , F. Yu, L. Feng, "A Three Dimensional Localization Algorithm Using a Mobile Anchor Node under Wireless Channel", *IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI)*, 2008
- [21]. Graham's Scan , http://softsurfer.com/Archive/algorithm_0109/algorithm_0109.htm