

使用行動定位裝置協助感測器定位的經濟路程策略

李科鋒、楊宏昌、曾黎明、游象甫

國立中央大學資訊工程研究所

{kofeng, cyht, yu}@dslab.csie.ncu.edu.tw, tsenglm@csie.ncu.edu.tw

摘要

在無線感測網路(Wireless Sensor Network)中，感測器(Sensor)的定位是一個相當重要的議題，因為感測器的位置資訊對於在涵蓋範圍、繞送、追蹤和救援等問題上都相當有用，有相當多的定位方法被提出來，全球定位系統 (Global Positioning System, 簡稱GPS)可以提供準確的位置資訊來協助定位。方法大致分為 Range-based 和 Range-free 兩類，range-based是一種藉由求得距離和角度的資訊估算位置的方法，較為準確但是由於需要一些特殊的設備求得精準的資訊使得花費也較大，因此在講究低功耗低花費的無線感測網路中，另一種雖然沒有range-based來得精確但是花費較小的range-free方法較合適，其並不需要獲得距離和角度的資訊就能估出位置。兩種方法都需要有配備全球定位系統的定位裝置(Anchor)來協助定位，後來有人提出利用行動定位裝置(Mobile Anchor)來協助定位方法，藉此可減少定位裝置的數目，節省了一些花費，但相對的移動和時間上的花費卻相對的增高，因此本論文提出一個使用行動定位裝置協助感測器定位的經濟路程策略，減少利用行動定位裝置協助定位時所走的路程和所花的時間。並且藉由感測器發送訊號使得此方法可以應用到其他方面，如無線辨識系統(RFID)等。文中對協助定位所需的位置訊息進行討論，並找出需要感測器回應或是不回應時較經濟路程之策略，並提出模擬比較的結果。

關鍵字：無線感測網路、行動定位裝置、路程。

1 緒論

由於近來微型製造、通訊和電池技術的改進，利用小型感測器(Sensor)形成的無線感測網路(Wireless Sensor Network) [1] 漸漸於相當多方面被廣泛的使用。藉著在一個環境中散佈感測器，來協助監測環境的變化。在無線感測網路中，感測器之間的資訊傳送方式大致上跟隨建即連無線網路(wireless ad hoc networking) [2] 類似，雖然還有著相當多的不同。由於感測器所需的能量是由電池來供應，因此為了節省能量的花費傳送資訊的距離不能太遠，所以當感測器離基地台太遠時，必須藉由其他感測器的協助將資料傳至基地台。

關於無線感測網路(Wireless Sensor Network)的研究相當的廣泛，其中感測器的定位問題是一個相當重要的議題，因為感測器的位置資訊在涵蓋範圍、繞送、追蹤和救援等問題上都相當有用 [3]，過去有相當多的定位方法被提出來。全球定位系統

(Global Positioning System, 簡稱GPS) [4] [5] [6] 可以藉由衛星提供準確的位置資訊，不過由於在每個感測器上都配備全球定位系統將是一筆相當大的費用，因此一個普遍的方法為讓少部分配備全球定位系統的裝置藉由其位置資訊來協助定位，這些少部分配備全球定位系統的裝置稱為定位裝置(Anchor)，而其他未配備全球定位系統的感測器則是靠著收集這些定位裝置的位置資訊來估算自己的位置。

方法大致分為range-based [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [20]和range-free [15] [16] [17] [18] [19] [21]兩類。range-based是一種藉由求得距離和角度的資訊來估算位置的方法，其估算出來的位置較為準確但是由於需要一些特殊且昂貴的額外設備獲得準確的資訊，使得所要的花費比較大，因此在講究低功耗低花費的無線感測網路中，提出了另一種雖然沒有range-based來得準確但是花費較小的range-free方法，其並不需要利用昂貴和準確的設備獲得距離和角度的資訊就能估算出位置。兩種方法都需要有配備全球定位系統的定位裝置來協助定位，有人提出利用行動定位裝置(Mobile Anchor)來協助定位的方法 [20] [21]，利用行動定位裝置在整個環境裡來回移動並且發送位置資訊協助感測器定位，減少了定位裝置的花費，但相對的增加了移動的花費。

本論文是建立在 Localization with mobile anchor points in wireless sensor networks [21] 這篇由論文上。假設感測器接收行動定位裝置發出訊號的範圍為一個圓，其最大接收距離為圓的半徑，其圓心為感測器。使用行動定位裝置的移動找到圓上三個信標點(Beacon Point)，利用三個信標點可以形成圓上兩條不平行的弦，利用圓上兩條不平行弦的中垂線交於圓心的定理，兩條不平行弦的中垂線交點即為感測器估計所在的位置。

在 PBCC [21] 中，使用了隨機的方式選擇行動定位裝置移動的路徑，可能造成環境中的某一個區域的感測器一直沒有被定位到或是行動定位裝置不知道是否感測器都已經定位的情形，我們更進一步探討感測器發送訊號的範圍大小、定位裝置發送訊號的範圍大小、感測器所在環境的大小、在環境中感測器的數目和一些初始設定所產生的各種不同狀況，並且討論在各種狀況下如何使用行動定位裝置快速定位的經濟路程方法來協助範圍內的所有感測器定位，能減少移動的距離和時間，並且知道什麼時候範圍內的所有感測器都已經定位了。並且利用感測器能回應運用到其他方面，如RFID。

本論文架構如下：第二節討論相關研究；第三節說明感測器發送訊號的範圍大小、定位裝置發送訊號的範圍大小、感測器所在環境的大小、在環境中感測器的數目和一些初始設定所產生的各種不同狀況，並且討論在各種狀況下如何使用行動定位裝置快速定位的經濟路程方法以及利用感測器能回應的運用；第四節為效能評估；第五節為結論。

2 相關研究

本節分別對現今提出的一些定位方法做簡單的介紹，以及敘述 GPS 衛星是如何協助地球上的 GPS 定位。

2.1 使用 GPS 定位的方法

Cricket [7]、APSAOA [8]、RADAR [9]、RSSIUMA [20]是屬於range-based的方法。Cricket [7]定位裝置同時發送無線電波和超音波，利用收到兩種波的時間差來估算與定位裝置的距離。APSAOA [8] 假設每個點都有一個主要的方向，若此方向一直往順時針或逆時針轉動，求出從初始位置轉動多少角度可以跟另外兩個點傳送訊息，則可以利用此兩個角度求出以自己為頂點與這兩個點所形成的角度，利用此角度資訊與一些定位裝置之間的距離感測器估算位置。RADAR [9] 在一個區域放置多個基地台記錄和處理信號強度的資訊，並利用過去的測量的一些經驗來決定感測器的位置。RSSIUMA [20]利用定位裝置不斷的在散佈感測器的範圍裡面移動，並不斷的發送自己的位置座標，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判斷自己和行動定位裝置發送訊號的位置之間的距離，藉由多個此距離資訊估算位置。

Centroid [15]、DV-Hop [16]、APIT [17]、ROCRSSI [18]、CAB [19]、PBCC [21]是屬於range-based的方法。Centroid [15] 是利用知道自己位置的參考點週期性的發送含有自己位置的訊號，感測器以其收集到的參考點座標的重心為其位置。DV-Hop [16] 是利用跟參考點之間的跳躍數(Hop)來估算到參考點之間的距離，參考點計算它們與其他參考點之間的距離和平均一個跳躍是多少距離並廣播此資訊，感測器收到這些訊息後，藉由自己與這些參考點的跳躍數計算自己與這些參考點的距離，有跟三個參考點以上的距離資訊，感測器可以估算出自己的位置。APIT是 [17] 要求有一小部分的感測器能夠高功率傳送訊號且可以藉由GPS或其他方法獲得位置資訊，這些裝置即為定位裝置，利用這些定位裝置產生的信標(Beacon)，感測器判斷是否在這些以信標為頂點形成的三角形裡面，利用這些三角形形成區域的交集，來估算自己的位置。ROCRSSI [18] 基本理論是利用比較訊號強度產生許多的環，利用這些環的形成區域的交集，來估算自己的位置。

CAB [19] 定位裝置傳送不同訊號強度的訊號 [22]。感測器藉由收到哪些訊號和每個訊號強度傳送的距離來估算出自己所在的區域，用這些區域的交集，來估算自己的位置。PBCC [21] 使用行動定位裝置(Mobile Anchor)來協助感測器定位的方法，定位的方法為感測器和行動定位裝置的最大通訊距離為一個圓的半徑，圓的圓心為感測器，若能找到圓上的三個點的座標，即可求得圓上的兩條不平行的弦，兩條弦的中垂線交於圓心即為感測器的位置。

2.2 衛星定位

全球定位系統是其位置資訊是由衛星來定位的，由 24 顆人造衛星所構成，其中包括三顆預備衛星。將此 24 顆人造衛星平均分佈於 6 個軌道面，每個軌道面上各有 4 顆，衛星繞行地球一周需要 12 小時，每日可繞行地球 2 周不論任何時間，任何地點，至少有 4 顆以上的衛星出現在我們的上空。而地面上有一個主要控制站、五個監測站、三個地方控制站等設施，用來維護衛星系統的精度和正常運作。

無線信號的速度幾乎達 18 萬 6 千英里/Sec 的光速，因此時間的測量需要二個不同的精準的時錶，一個時錶裝置於衛星上以記錄無線電信號傳送的時間，另一個時錶則裝置在接收器上，用以記錄無線電信號接收的時間，利用兩者之間的延遲時間算出到衛星的距離。

3 經濟路程策略

在 PBCC [21] 的系統環境中，感測器只需要接收訊號就好，而行動定位裝置也只需要一面移動一面週期性的廣播含有位置和時間訊息的訊號，然後選定一個目的地，往目的地方向前進，這樣將會造成環境中的某個區域的感測器一直沒定位和行動定位裝置不知道是否感測器都已定位的問題，造成行動定位裝置多走了許多多餘的路徑且因此浪費了許多的時間。

從以上的敘述我們了解到，我們必須給行動定位裝置一些資訊使其能判斷該如何走和知道走多久能讓範圍內的所有感測器都定位，此資訊為感測器或是行動定位裝置發送訊號的範圍大小。否則就只能靠著增加行動定位裝置的數目來減少協助範圍內所有感測器定位的時間，但是還是無法得知是否範圍內所有感測器是否定位了。

3.1 估算半徑的方法

此節提出幾個估算行動定位裝置或感測器發送訊號的範圍大小。

3.1.1 事先估算半徑

我們可以事先利用一個簡單的方法估算出半

徑，事先估算出行動定位裝置在地平面上發送訊號的範圍半徑大小，可以減少許多時間和路程。我們利用行動定位裝置離開一個感測器到保證此感測器收不到行動定位裝置發送的訊號時，行動定位裝置走回感測器發送訊號的範圍內，藉由感測器告知行動定位裝置其最後收到行動定位裝置的訊號的位置資訊，行動定位裝置知道此位置後即可求得自己的發送訊號的範圍大小，感測器的發送訊號的範圍大小也可以用相同的方式求得。行動定位裝置可以藉由水平移動或是垂直移動的方式都可以求得發送訊號的範圍大小。

3.1.2 沒有事先估算半徑

在沒有事先求得估算行動定位裝置或感測器發送訊號的範圍大小時，假設感測器收到行動定位裝置的訊號後，感測器回覆的訊息行動定位裝置可以接收到時，我們可以利用感測器回應一些資訊來估算發送訊號的範圍半徑。

感測器回覆其信標點的位置資訊給行動定位裝置，兩個信標點可以形成行動定位裝置發送範圍的一條弦，由於弦的一半長度一定介於 0 和發送範圍的半徑大小，因此行動定位裝置收到感測器的回覆訊號後，計算弦的長度，如果其長度比目前所知道的半徑長度長的話，則取代掉原來所知道的半徑長度，如果其長度比目前所知道的半徑長度短的話，則保留原來的半徑長度。由於同一個圓上兩個信標點之間的距離一定小於等於圓的真實直徑。

利用回覆信標點的方式估算半徑必須每個感測器都發送訊號，我們可以藉由一個簡單的方法，使得只需有一個感測器發送訊號給行動定位裝置即可。當感測器有了三個信標點，感測器利用這三個信標點的位置估算出自己的位置，而估算出自己的位置後，可以藉由信標點的位置和自己的位置估算出半徑，估算出半徑後把包含此半徑訊息的訊號傳送給行動定位裝置，則行動定位裝置就知道自己的傳送範圍的半徑大小了。

3.2 路程策略

如何利用上一節所估算出來的半徑，在 PCBB [21] 的系統環境中，快速的協助範圍內所有的感測器藉由同一圓上的三個信標點形成兩條圓上不平行的弦，兩條不平行弦的中垂線交點即為感測器。

假設行動定位裝置發送訊號範圍的半徑大小為 R 的情形下，行動定位裝置想要保證能協助一個範圍內的所有感測器都能估算出自己的位置的話，最簡單的方法是在佈滿感測器的環境中從左前方的角左邊距離 R 的地方開始為由左向右走到右邊邊界後再往右邊走 R 的距離的地方時，往後面走半徑 R 後，再由右向左重複同樣的步驟直到走過最後面的邊界為止，如圖 1 所示。我們稱其為基本路程策略(Base Traveling Scheme，簡稱 Sbt)。

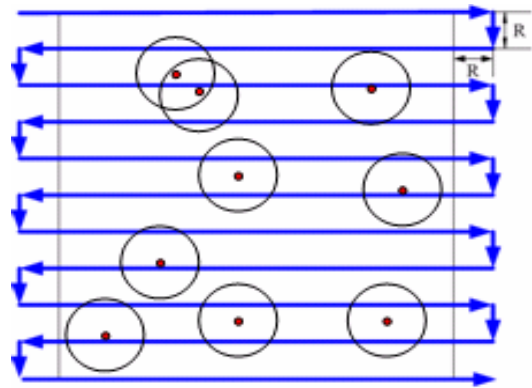


圖 1 基本路程策略範例圖

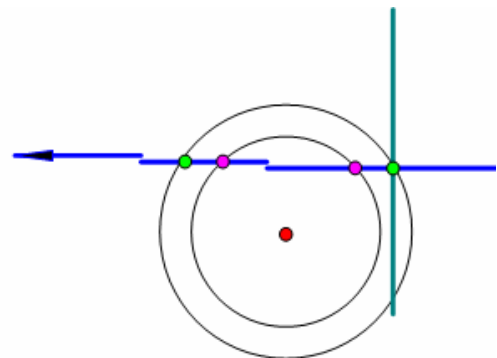


圖 2 信標點範例圖

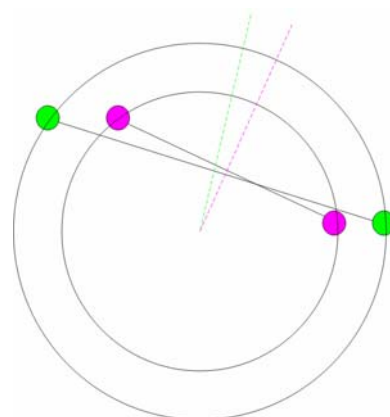


圖 3 形成兩條不平行弦的範例圖

在 PBCC [21] 中我們利用行動定位裝置的移動找到圓上三個信標點。在我們的經濟路程策略裡，我們會利用行動定位裝置垂直於地面的上升與下降離地平面的距離或者是藉由配備能改變訊號強度的硬體資源，在水平面上產生兩種不同的傳送範圍半徑形成外圈和內圈兩圈，因此我們除了用同一圓上的三個信標點來估算感測器的位置外，我們也可以利用內圈和外圈各自形成一條弦且這兩條弦不為平行的方式來定位。此方法為假設行動定位裝置的座標為 M 公尺為一個單位，也就是說走了 M 公尺後行動定位裝置才能分辨的出兩個位置的差異，以圖 2 為例，箭頭為行動定位裝置的移動路線，假設行動定位裝置發送訊號的範圍半徑大小的距離為 R 時，我們可以利用每次往左或是往右走

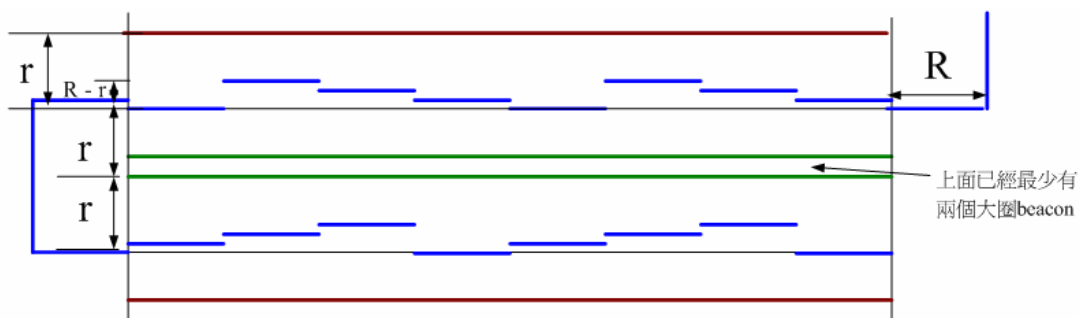


圖 4 經濟路程策略範例圖(1)

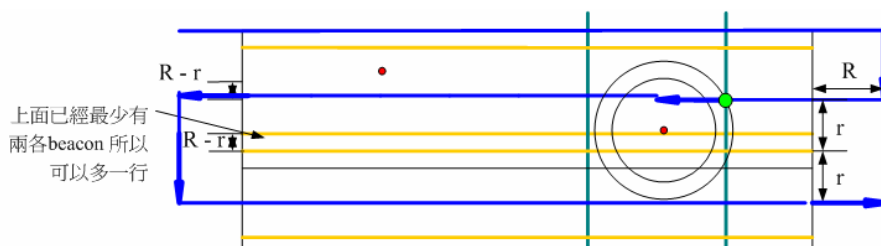


圖 5 經濟路程策略範例圖(2)

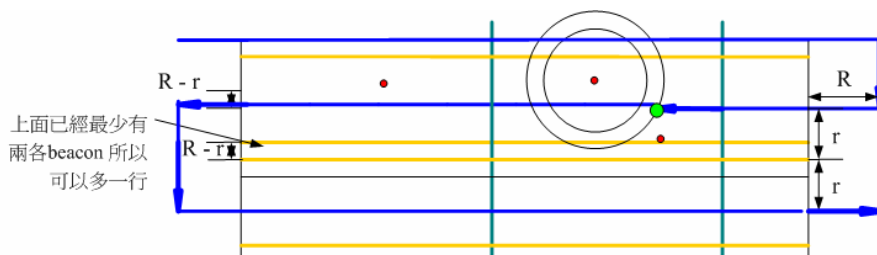


圖 6 經濟路程策略範例圖(3)

了 R 的距離後，我們就往前走 M 公尺，如果這種方式的話，感測器的大圈和小圈的信標點會對的分別在不同的路徑上，這樣的方式一定能形成一條內圈的弦和一條外圈的弦且兩弦不會平行，由這兩條不平行的弦即可估算出感測器的位置出來，如圖 3 所示。該往前走的時，我們判斷如果向前 M 公尺後，此次向左或向右的路程中向前的距離總和小於或是等於(大圈的半徑 R - 小圈的半徑 r)的距離時，行動定位裝置才往前走 M 公尺，否則行動定位裝置往後走至此次向左或向右的初始路徑，利用此法在原本向左或向右的初始路徑往前 r 公尺和往後 $r-(R-r)$ 公尺的範圍內的感測器都會形成圖 3 的四個信標點，在原本行動定位裝置行進路線往後 $r-(R-r)$ 公尺和往後 r 公尺之間的範圍內一定最少會有兩個外圈的信標點，因此當走過邊界在順著方向走 R 公尺後，往後面移動兩倍 r ，接下來的往左或往右的路徑上頂多是往前移動，因此之前只有兩個外圈信標點的區域，一定也會在這次路徑再有兩個外圈信標點，因此每當過了邊界順著方向又走了 R

之後可以往後面走 $2r$ 的距離而不是 R ，重複這些動作，一直走到走過最後面的路徑時，就可以協助所有範圍內的感測器定位，而當我們把 r 設的與 R 越接近時可以大幅的減少走的路程長度，我們稱此方法為經濟路徑策略，簡稱 Set，圖 4 為此方法的示意圖。

假設感測器收到行動定位裝置的訊號後，感測器回覆的訊息行動定位裝置可以接收到時，我們的經濟路徑策略將可以再減少一些所走的路程。由於行動定位裝置會馬上收到回覆的訊號，因此我們可以設定為當收到感測器的回應訊號時，從此位置開始往左或往右走半徑距離後往前走 M 公尺，而且必須紀錄這段路程中最後收到感測器回應的位置，從最後收到感測器回應的位置開始往左或往右走直徑距離後才能回到原來的路徑。圖 5、6 為範例圖，在圖 5 中，圖中箭頭代表行動定位裝置的路徑方向，當行動定位裝置收到感測器的回應時，記錄此點座標，右邊縱向的直線與行動定位裝置的交點代表收到感測器回應的位置，此位置往左走半徑

的距離時必須要往前走，而左邊縱向的直線代表過了此條線後才可以回到原來的路徑。圖 6 為當行動定位裝置在收到感測器回覆的訊號，往左走半徑距離必須往前走的路徑上時，又收到一個感測器回覆的訊號，而此訊號為往前走前最後收到的訊號時，左邊的縱向的直線必須往左邊移動，移動到此位置左邊直徑距離的地方，過了該直線行動定位裝置才可以回到原來的路徑。

3.3 感測器回應的應用

由於我們提出了藉由感測器回應來減少所走的路徑，而感測器回應的好處不止於此，假設感測器沒有計算能力而能與行動定位裝置做訊息的交換，我們可以藉由回應感測器的 ID 和信標點的資訊給行動定位裝置，由行動定位裝置來算每個感測器的位置，使得自己可以不用計算位置，這樣的方式可以有相當多的運用，如 RFID，貨物上的標籤並沒有計算能力，只有當讀取機掃到標籤時，藉由讀取機傳送的能量使得其能跟讀取機做訊息的交換，當讀取機掃過範圍內的貨物的標籤，知道這些貨物的位置和資訊，當我們要盤點貨物時，我們只要再掃一次就可以知道哪些貨物被移動或是消失了，甚至可以利用之前掃過求出的位置，使得下次能走較少的路徑來盤點貨物。

4 效能評估

本節說明實驗環境，並對在前面章節所提出的各種假設的環境下各種路程策略的效能評估。

4.1 模擬環境

模擬的程式為使用程式語言 C++ 寫的，環境的大小設為一個 1000×1000 正方形區域，假設為一個 $1000(\text{公尺}) \times 1000(\text{公尺})$ 的環境。

環境內的一些變數設定：

- 感測器發送訊號的範圍半徑大小
- 行動定位裝置發送訊號的範圍半徑大小
- 初始設定的行動定位裝置發送訊號的範圍半徑大小
- 環境範圍內感測器的個數

4.2 模擬結果

本節將把在各種假設情況下，模擬的結果用圖表示出來，用來證明本論文的經濟路程走法減少協助範圍內的所有感測器定位所走的路程。

4.2.1 行動定位裝置收不到感測器的回應

本小結討論感測器收到行動定位裝置的訊號後，感測器回覆的訊息行動定位裝置沒有收到或是感測器沒有發送訊號時的情況。

圖 7 為環境範圍內的感測器個數設為 1000 個，行動定位裝置發送訊號大圈和小圈的範圍半徑大小設為 100 和 80 的情況下，圖 8 為環境範圍內的感測器個數設為 1000 個，行動定位裝置發送訊號大圈和小圈的範圍半徑大小設為 500 和 400 的情況下，改變初始設定的行動定位裝置發送訊號的範圍半徑大小對走的路徑的引響。圖中除了顯示我們提出的 Set 可以走較少的路徑外還顯示當初始設定的行動定位裝置發送訊號的範圍半徑大小越接近行動定位裝置發送的範圍半徑大小時，所需走的路徑會越少。而圖 7 和圖 8 兩個圖做比較，可以知道當感測器收到行動定位裝置的訊號後，感測器回覆的訊息行動定位裝置沒有收到或是感測器沒有發送訊號時，不論行動定位裝置發送訊號的範圍半徑大小為多少，走的路徑都沒有減少，因此當感測器收到行動定位裝置的訊號後，感測器回覆的訊息行動定位裝置沒有收到或是感測器沒有發送訊號時，走的路徑只跟初始設定的行動定位裝置發送訊號的範圍半徑大小有關。

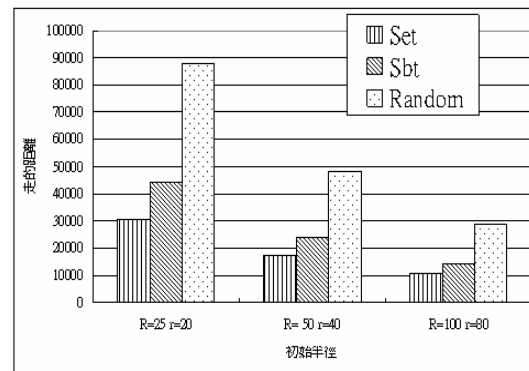


圖 7 沒有回應改變初始半徑模擬表示圖(1)

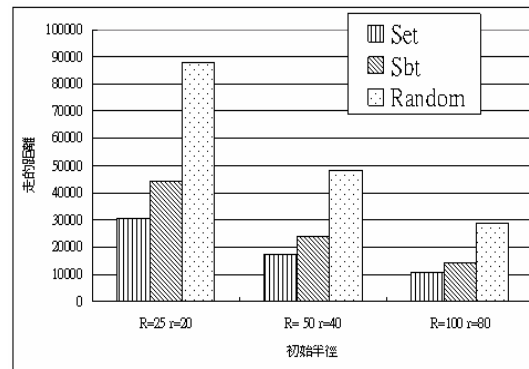


圖 8 沒有回應改變初始半徑模擬表示圖(2)

4.2.2 行動定位裝置收到感測器的回應

本小結討論感測器收到行動定位裝置的訊號後，感測器回覆的訊息行動定位裝置收得到的情況。

圖 9 為環境範圍內的感測器個數設為 10 個，行動定位裝置發送訊號大圈和小圈的範圍半徑大小設為 50 和 40 的情況下，圖 10 為環境範圍內的感測器個數設為 10 個，行動定位裝置發送訊號大

圖和小圈的範圍半徑大小設為 100 和 80 的情況下，改變初始設定的行動定位裝置發送訊號的範圍半徑大小對走的路徑的引響。圖中除了顯示我們提出的 Set 可以走較少的路徑外還顯示當初始設定的行動定位裝置發送訊號的範圍半徑大小越接近行動定位裝置發送的範圍半徑大小時，所需走的路徑會越少。而圖 9 和圖 10 兩個圖做比較，可以知道當感測器收到行動定位裝置的訊號後，感測器回覆的訊息行動定位裝置收得到時，行動定位裝置發送訊號的範圍半徑大小越大，走的路徑就越少。

圖 11 為感測器發送訊號的範圍半徑大小設為 50，行動定位裝置發送訊號大圈和小圈的範圍半徑大小設為 50 和 40，初始設定的行動定位裝置發送訊號大圈和小圈的範圍半徑大小設為 25 和 20 的情況下，改變環境範圍內感測器個數的引響。圖中除了顯示我們提出的 Set 可以走較少的路徑外還顯示當環境範圍內感測器的個數增加時，所需走的路徑會越少。

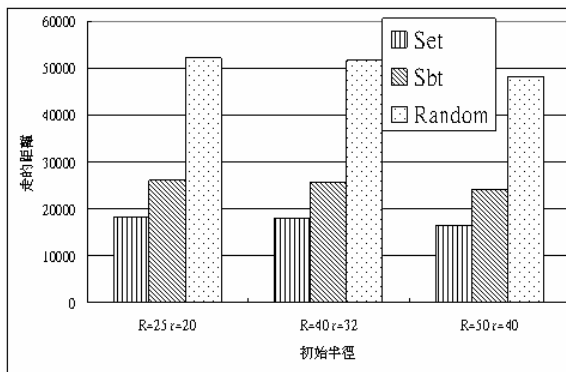


圖 9 收到回應改變初始半徑模擬表示圖(1)

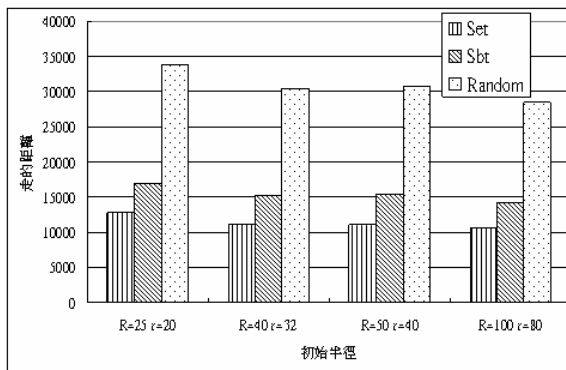


圖 10 收到回應改變初始半徑模擬表示圖(2)

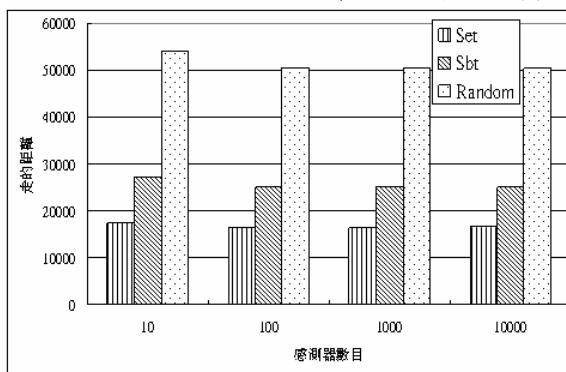


圖 11 收到回應改變感測器數目模擬表示圖

6 結論

我們提出一個經濟路程的策略，利用改變行動定位裝置的發送範圍，使得可以走較少的路徑協助範圍內的感測器定位，並且能知道行動定位裝置什麼時候能保證協助所有的感測器定位了。並且利用感測器能回應運用到其他方面，如 RFID。第四章的模擬結果可以知道不論在何種假設下，我們所提出的經濟路程策略都比用隨機選取下一個目的地亂走的方式好，也比最基本的基本路程策略還要好。

致謝

The authors would like to thank the National Science Council of the Republic of China for fanatically supporting this research under Contract No. NSC-94-2213-E-008-026.

參考文獻

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, pp. 102–114, Aug. 2002.
- [2] E. M. Royer and C.-K. Toh, "A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless networks," *IEEE Personal Commun.*, vol. 6, pp. 46–55, Apr. 1999
- [3] J. Hightower and G. Borriello, "Location systems for ubiquitous computing," *IEEE Computer*, vol. 34, pp. 57–66, Aug. 2001.
- [4] B. H. Wellenhoff, H. Lichtenegger and J. Collins, *Global Positions System: Theory and Practice*, Fourth Edition. Springer Verlag, 1997.
- [5] B. Parkinson and J. Spilker, *Global Positioning System: Theory and Application* (American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996).
- [6] <http://3w.gfec.com.tw/service/content/gps.htm>
- [7] [N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The cricket location- support system," in *Proc. ACM Int. Conf. Mobile Computing Networking (MOBICOM)*, Boston, MA, Aug. 2000, pp. 32–43.
- [8] D. Niculescu and B. Nath, "Ad-hoc positioning system (APS) using AOA," in *Proc. of IEEE Infocom*, San Francisco, CA, April 2003.
- [9] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system," in *Proc. IEEE Joint Conf. IEEE Computer Communications Societies (INFOCOM)*, Tel Aviv, Israel, Mar. 2000, pp. 775–784.
- [10] J. Hightower, G. Boriello, and R. Want, "SpotON: An indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength," Univ. of Washington, Tech. Rep. UW CSE 00-02-02, Feb. 2000.

- [11] D. Niculescu and B. Nath, "Ad-hoc positioning system," in *Proc. Of IEEE Globecom*, San Antonio, TX, Nov. 2001.
- [12] A. Savvides, C. C. Han, and M. B. Srivastava, "Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors," in *Proc. ACM Int. Conf. Mobile Computing Networking (MOBICOM)*, Rome, Italy, July 2001, pp. 166–179.
- [13] K. Chintalapudi, A. Dhariwal, R. Govindan, and G. Sukhatme, "Ad-hoc localization using ranging and sectoring," in *Proc. of IEEE Infocom*, Hong Kong, China, March 2004.
- [14] Y. Shang, W. Ruml, and Y. Zhang, "Improved MDS-based localization," in *Proc. IEEE Infocom*, Hong Kong, China, March 2004.
- [15] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "GPS-less low cost outdoor localization for very small devices," *IEEE Personal Communications Magazine*, vol. 7, no. 5, pp. 28–34, Oct. 2000.
- [16] D. Niculescu and B. Nath, "DV based positioning in ad hoc networks," *Kluwer J. Telecommun. Syst.*, vol. 22, no. 1, pp. 267–280, Jan. 2003.
- [17] T. He, C. Huang, B. Lum, J. Stankovic, and T. Adalzaher "Range-free localization schemes for large scale sensor networks," in *Proc. of ACM MobiCom*, San Diego, CA, Sept. 2003.
- [18] Chong Liu ,Kui Wu, Tian HeComputer "Sensor Localization with Ring Overlapping Based on Comparison of Received Signal Strength Indicator." 2004 IEEE(ROCRSSI)
- [19] Vijayanth Vivekanandan, Vincent Wong "Concentric Anchor-Beacons (CAB) Localization for Wireless Sensor Networks . "ICC 2006.
- [20] 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.
- [21] K.-F. Ssu, C.-H. Ou, and H. Jiau, "Localization with mobile anchor points in wireless sensor networks," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 54, pp. 1186–1197, May 2005.
- [22] G. Xing, C. Lu, Y. Zhang, Q. Huang, and R. Pless, "Minimum power configuration in wireless sensor networks," in *Proc. of ACM MobiHoc*, Urbana-Champaign, IL, May 2005