

無線感測網路之切換式訊號強度位置追蹤

朱鴻棋
朝陽科技大學
網路與通訊研究所
助理教授
hcchu@cyut.edu.tw

李忠杰
朝陽科技大學
網路與通訊研究所
研究生
s9530617@cyut.edu.tw

王偉凱
朝陽科技大學
網路與通訊研究所
研究生
s9530619@cyut.edu.tw

摘要

在無線感測網路中，物件追蹤的問題是無線感測網路重要的研究之一，然而物件追蹤的重要核心技術為定位技術。在近年來有相當多的定位方法被提出來。根據無線感測網路的各種限制下，來達成低計算複雜度及低成本之物件追蹤機制是本篇論文的主要目的。在本文中我們提出了對於物件追蹤的處理程序及切換式訊號強度的定位方法，並加入資料聚集的概念來減少不必要的資料傳送量。模擬結果顯示我們所提出的方法可行且具有低定位誤差。

關鍵詞：無線感測網路、物件追蹤、定位。

Abstract

Object tracking is one of the important research issues in wireless sensor networks. The core technology of object tracking is location determination. In recent years, many localization methods are proposed. According to the limitation of Wireless sensor networks, the goal of this paper is to perform object tracking mechanism with a low computational complexity and low cost. In this paper, we present the procedure of object tracking and the power-switching localization method. The data aggregation concept is also considered to reduce the unnecessary data transmission. By simulation, it shows that the proposed method can be realized with low location error.

Keywords: Wireless sensor network、Object tracking、Localization.

1. 前言

近年由於微機電的技術、無線網路通訊技術以及電池技術的進步，使得微小的感測節點（Sensor）可具備感測、無線通訊以及處理資訊的能力。此類型的感測節點不只能夠感應及偵測環境的目標物以及環境的改變，並且可以處理收集到的資料，將處理過後的資訊以無線

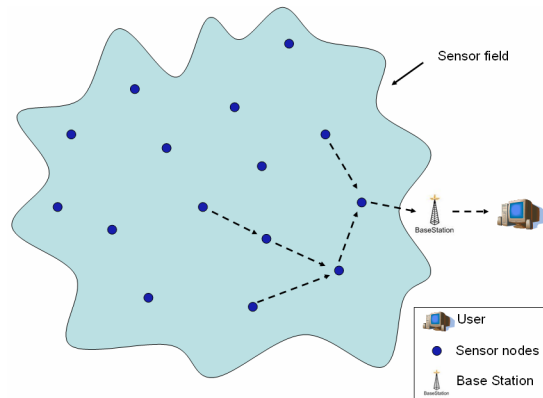


圖 1. 無線感測網路架構圖。

傳輸的方式送到資料收集中心(sink)或基地台（base station）。感測節點可大量佈置在環境中形成一個無線感測網路(Wireless Sensor Networks)[1, 2]。所謂無線感測網路是指由散布在空間中的大量自動化設備所組成的網路，如圖 1 所示，此一空間可以是特定的區域，例如工廠或家庭，也可以是更寬廣的範圍，例如都會的交通路線、森林中或是戰場上。

無線感測網路重要應用之一是追蹤移動的物件。追蹤移動的物件比起偵測固定區域困難許多，因為我們需要擁有更高計算能力和儲存空間來處理物件的資訊，並且將資訊傳送到使用者。在無線感測網路的應用中，我們可以發現使用者希望能夠利用感測節點收集需要的資訊，如溫度、氣體濃度、野生動物位置...等。對於使用者而言，物體的位置是相當重要的資訊，舉例來說：在智慧型建築中，當感測節點偵測到火災意外發生時，消防人員希望能透過感測節點告知他們位置以及移動方向可加快救援的腳步。在監控環境應用中，野生動物的棲息位置以及登山者和觀測人員的位置也都相當的重要。在軍事環境應用中，當敵人入侵時，敵人的所在位置及移動方向對軍事人員也極為重要，以備軍隊在戰事中能提早防備，因此，如何精確的計算出物件的所在位置

是物件追蹤的問題之一。而另一個重要的研究問題為資訊的處理，因為物件可能隨時隨地都在移動，為了得到物件的位置資訊，必需即時更新物件的資訊，將資訊傳回到資料收集中心，才能精確的計算出物件的所在位置，若所監控的區域範圍很大，為了減少資訊的傳輸量，當感測節點感測到物件的資訊時，將收集到的資訊做處理並且加入資料聚集的技術，以節省資訊傳輸量。因此我們所提出的切換式訊號強度(Power-level Switching)，主要目標在於物件位置的定位，以簡單的方式，達到物件追蹤的目的。

本文中其餘的架構如下，第2部份為物件追蹤的相關研究，第3部份為切換式訊號強度位置追蹤演算法的介紹，第4部份為模擬分析，最後為結論。

2. 相關工作

無線感測網路通常是應用在監控使用者所感興趣的區域及目標，而在物件追蹤裡，物件位置的追蹤是一個十分重要的問題，物件位置的追蹤指的是去找出物件所移動過的路線以及物件所在的位置[3, 4, 5, 6, 7]，在[8]中提出以移動式行動代理人(mobile agent)去追蹤物件移動的路徑，移動式行動代理人會跟隨物件移動，停留在最靠近物件的感測節點，並且會在物件附近找出另外兩個離物件較近的感測節點，利用這三個感測節點做三點定位，計算出物件的所在位置，而這三個感測節點會廣播一個禁止偵測的封包給他們的鄰居，讓他們的鄰居禁止去偵測物件，以減少其他感測節點的活動時間，達到節省能源的效果。

而為了更精確的得到物件的所在位置，有些研究會在物件的所在位置去估計一個範圍，讓範圍裡的所有感測節點去幫忙追蹤物件，而範圍外的其他感測節點則為休眠狀態，普遍的作法以物件所在位置為中心，並考慮物件的移動速度去估計半徑，所畫出來的圓則為物件所在的範圍裡，在[9]裡提出一個構想，考慮到無線感測網路物件追蹤的應用，依所追蹤的物件之習性，加入動力學的原理，縮小了物件所在的區域範圍，以最少的感測節點去追蹤物件，達到延長整個無線感測網路的生命週期。

無線感測網路大部份都包含了大量的感測節點，所以如何去管理這些資源以及處理收集到的資訊是很不容易的一件事，因此在類似這種大範圍的無線感測網路裡，資訊處理方面

有兩種不同類型的演算法產生，分別為分散式處理跟集中式處理，在分散式處理中，當感測節點收集到資訊時，由收集到資訊的感測節點互相協調並且處理或計算這些資訊，再將資訊傳送到資料收集中心，而集中式處理為感測節點收到資訊時，利用一些路由協定將資訊傳送到資料收集中心集中處理，在將資訊傳送到資料收集中心前，加入資料聚集的技術，減少資料的傳送量，以達到節省能源的效果[4, 6, 7, 10, 11, 12, 13]。

3. 物件追蹤演算法

在開始介紹物件追蹤的演算法前，首先有幾個假設：假設無線感測網路的所有感測節點都知道自己的編號(ID)、實際位置，以及資料收集中心的位置，並且知道自己鄰居感測節點的編號，這些資訊可在無線感測網路的佈置階段獲得。資料收集中心會有無線感測網路中所有感測節點的編號及位置資訊。這些感測節點能夠偵測到物件的所有行動，包括物件是否有在自己的感測區域裡，或者物件是否已經離開自己的感測區域，感測節點的感測範圍半徑為R。

3.1 切換式訊號強度

在物件追蹤裡，使用者想知道某個特定物件的位置資訊時，當物件進入無線感測網路區域中，感測節點會偵測到物件已經進入自己的感測區域內，在估計物件位置時是參考感測節點的位置資訊來計算物件的位置[14]。因此，感測到物件的感測節點越多，所估計出來的位置資訊會越準確，為了增加感測到物件的感測節點數量，我們提出切換式訊號強度的方法，調整了一些感測節點的感測區域範圍，當

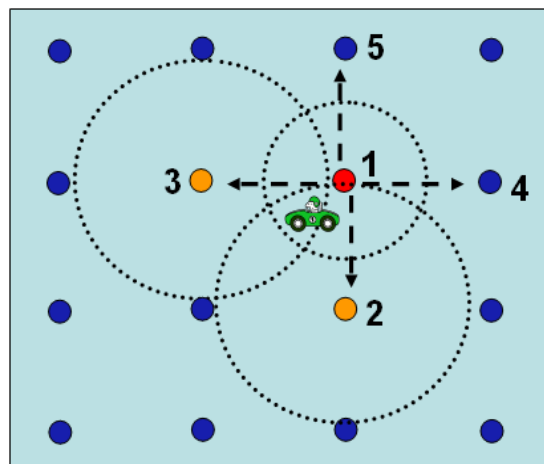


圖 2. 切換式訊號強度之定位技術。

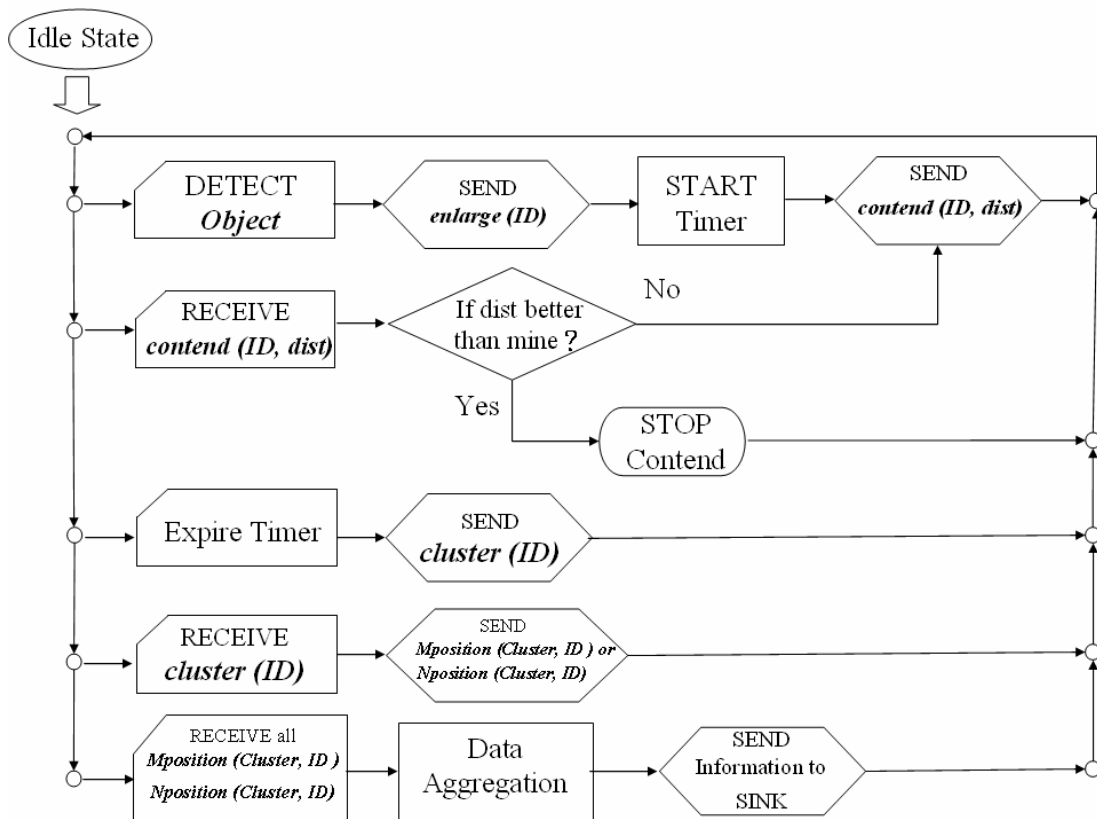


圖 3. 物件追蹤流程圖。

感測節點偵測到物件時，這些感測節點會通知它單一跳躍(one hop)的鄰居節點，讓這些單一跳躍的鄰居節點感測範圍調整到原本的 k 倍(在本文中 $k=1.5$)，這些單一跳躍的鄰居節點再偵測是否有物件在自己擴大的感測範圍裡。如圖 2 所示，當 1 號感測節點偵測到物件時，會傳送訊息通知它單一跳躍的鄰居感測節點，分別為感測節點 2、3、4、5，接著 2、3、4、5 的感測節點會將自己的感測範圍擴大到原本的 k 倍後，感測節點 2、3 會感測到物件，此時由這三個感測節點 1、2、3 的位置資訊及其感測半徑計算出物件的位置。

當物件在無線感測網路中出現，感測節點偵測到物件時，會廣播 *enlarge(ID)* 的封包給它單一跳躍的鄰居節點，網路生存時間(TTL)設為 1，*ID* 為封包傳送目的地，單一跳躍鄰居感測節點的編號。這些單一跳躍的鄰居感測節點在收到封包後，會將自己的感測區域範圍擴大到原本的 k 倍，並且判斷在更改感測區域範圍後是否有偵測到物件，如果有的話就會繼續下面的動作，如果沒有則會恢復到閒置的狀態。

3.2 聚集頭之選擇

感測節點偵測到物件時，必需將資訊傳回到資料收集中心，因此在傳回資料收集中心之前，我們加入了資料聚集的概念，由感測到物件的這幾個感測節點中，選擇一個感測節點當作聚集頭，其他感測節點會將資訊傳送給聚集頭，聚集頭將資訊壓縮後，由聚集頭將所有資訊一起傳回到資料收集中心，而資訊傳回到資料收集中心時，傳送路徑採用最短路徑的方式，因此在聚集頭的選擇中，將選取感測到物件且距離資料收集中心最近的感測節點當作聚集頭。

當物件在感測區域範圍內，為了選出聚集頭，我們設定一個競爭聚集頭的時間間隔(Timer)，一開始感測節點會先廣播一個 *contend(ID, dist)* 的封包給其他感測到物件的感測節點，*ID* 為自己本身的編號，*dist* 為感測節點本身到資料收集中心的距離，當感測節點收到其他傳送過來的 *contend* 封包時，會以自己本身到資料收集中心的距離跟 *contend* 封包裡的 *dist* 做比較，假如別的感測節點到資料收集中心的距離比自己本身到資料收集中心的距離還要近時，自己將會放棄競爭聚集頭，否

則等競爭時間結束時，若持續保持競爭狀態的話，代表其他感測節點到資料收集中心的距離都比自己本身還遠，感測節點就會成為聚集頭，而聚集頭則會廣播一個 *cluster(ID)* 的封包通知其他感測節點，*ID* 為聚集頭感測節點的編號。

3.3 物件位置計算

在選擇出聚集頭之後，其他偵測到物件的感測節點會開始將資訊傳送給聚集頭，在估計物件位置時，由於使用切換式訊號強度，需要區別兩種感測範圍的感測節點資訊，一種為感測範圍為原始距離，稱為主要節點，另一種則是範圍擴大到 *k* 倍的，稱為次要節點，如圖 2 所示，感測節點 1 為原始的感測範圍，感測節點 2、3 則為擴大到 *k* 倍的感測範圍。

因此在傳送封包方面也需將封包區分為兩種形式，若是感測範圍沒變的感測節點，會傳送一個 *Mposition(cluster, ID)* 的封包，將資訊傳送到聚集頭，*cluster* 為傳送目的地，聚集頭感測節點的編號，*ID* 為感測節點本身的編號。若是感測範圍為原本 *k* 倍之感測節點，則會發送一個 *Nposition(cluster, ID)* 的封包，將資訊傳送到聚集頭，*cluster* 為傳送目的地，聚集頭感測節點的編號，*ID* 為感測節點本身的編號。聚集頭在收集到感測節點傳來的資訊後，先將資訊壓縮，再以最短路徑的方式傳回到資料收集中心，資料收集中心就會知道那些感測節點感測到物件，並以這些感測節點的位置資訊，估計出物件的大概位置為

$$(O_x, O_y) = \left(\frac{\alpha \sum_{i=1}^z Mx_i + \sum_{i=1}^j Nx_i}{\alpha z + j}, \frac{\alpha \sum_{i=1}^z My_i + \sum_{i=1}^j Ny_i}{\alpha z + j} \right)$$

其中物件的位置座標為 (O_x, O_y) ，感測節點在偵測到物件時，沒有擴大偵測範圍的主要節點位置座標為 (Mx, My) ，擴大感測範圍到 *k* 倍後可偵測到物件的次要節點座標為 (Nx, Ny) ，*z* 為主要節點個數，*j* 為次要節點個數。因為沒有擴大偵測範圍的感測節點是離物件較近的，在以這些感測到物件的感測節點位置估計物件位置時，這些離物件較近的感測節點位置，我們稍微做了一些調整，將他的權重值加大，以讓估計出來的位置能更精確的接近物件所在的位置，所以在 *Mx* 以及 *My* 的總和部份，我們將它們乘以 α ， α 為權重值，在本文中 α 設為 2。以下為我們所提出的切換式訊號強度演算法。

Power-level Switching Algorithm

```

1: //When Object O in the Wireless Sensor Networks
2: //Sensor nodes  $S_1 - S_i$  detect Object O
3: Let Node  $S_i \in$  Wireless Sensor Networks
4: if  $dist(O, S_i) < R$  then
5:   Send enlarge(ID) to neighbor ;
6:   Start Timer ;
7:   Broadcast contend(ID, dist(sink, S_i)) ;
8:   for ( $J=2; J < i; J++$ )
9:     if  $dist(sink, S_j) < dist(sink, S_i)$  then
10:       $S_i.State =$  give up ;
11:     else
12:       $S_i.State =$  cluster;
13:     end if
14:   end for
15:   if  $S_i.State =$  cluster then
16:     Send cluster(ID) to  $S_2 - S_i$ ;
17:   else
18:     Send Mposition(Cluster, ID) to Cluster ;
19:   end if
20:   if  $S_i.State =$  cluster then
21:     Send all information to sink ;
22:   end if
23: end if

```

當這些感測到物件的感測節點將資訊傳回資料收集中心的時候，如果使用者想得到物件的位置資訊或者歷史的移動路徑，使用者只要直接從資料收集中心去作詢問，就能得到想要的資訊，而在物件的歷史路徑紀錄中，資料收集中心只要將當時接收到物件位置資訊的時間加入紀錄裡，就可以很容易的得到物件在那些時間上是位於哪一個位置。圖 3 為物件追蹤的流程圖。

4. 模擬結果

在實驗模擬部份，我們一個 100 公尺 x 100 公尺的區域裡，佈署 100 個感測節點，並考慮兩種不同的網路拓撲一規則與不規則形，在規則形的網路拓撲中，每一個感測節點與鄰居節點的距離為 10 公尺，佈署成正方形的形狀，如圖 4(a)。而另一種為不規則的網路拓撲，將 100 個感測節點以隨機的方式佈署在 100 公尺 x 100 公尺的區域裡，如圖 4(b)。感測節點之感測半徑 $R=8$ 公尺，放大倍率 $k=1.5 \times R$ ，物件移動速度為每秒 1 公尺，整個實驗模擬時間為 180 秒。

在圖 4 中，規則佈署及不規則佈署裡物件的移動路徑皆為相同，我們標示出物件的實際位置與估計位置，在規則佈署中可以明顯的看出其估計位置與實際位置相當吻合，而在隨機佈署的狀況下，則會比較容易產生誤差，因為在隨機佈署裡，感測節點無法平均的分佈在

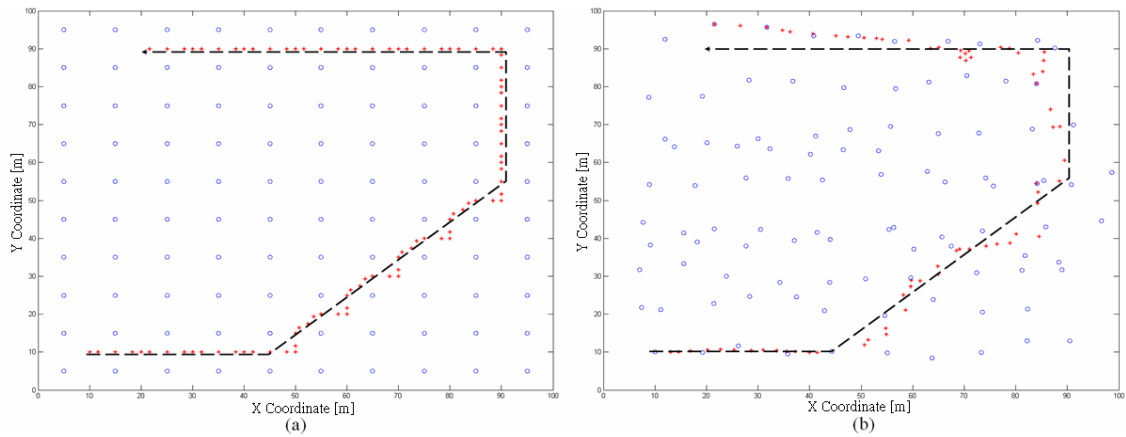


圖 4. 虛線為物件移動路徑，紅點為物件預測位置。(a)為正方形規則部署而(b)為隨機佈署。

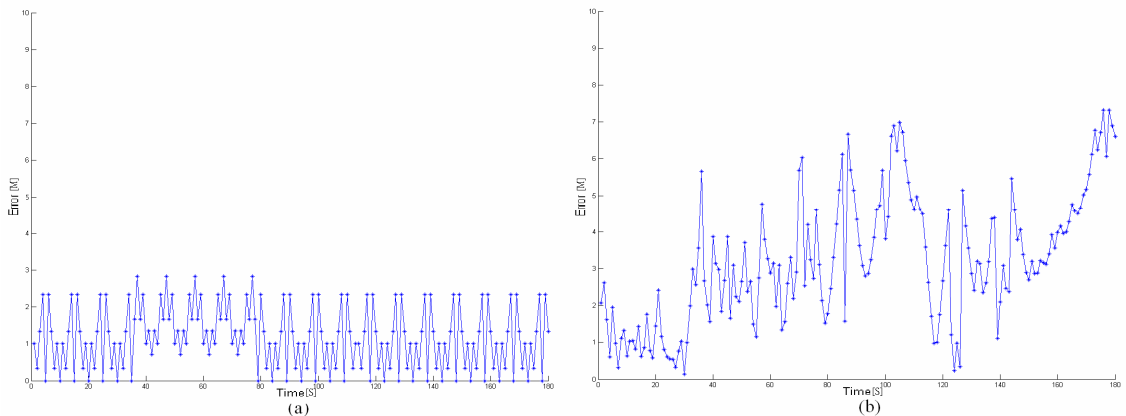


圖 5. 物件實際位置與估計位置误差。(a)為正方形規則部署而(b)為隨機佈署。

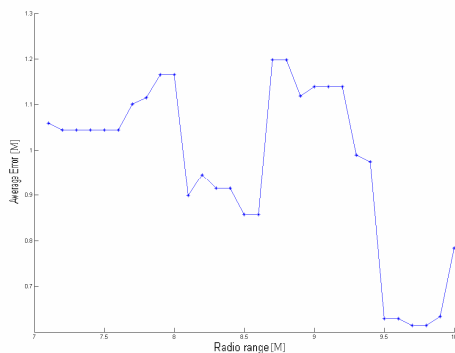


圖 6. 感測半徑不同時的平均误差。

區域內，所以造成有些區域會有很多感測節點，或者有些區域裡沒有任何感測節點，因此，物件在經過那些特殊區域時，準確率會下降。但無論規則佈署或是不規則佈署中，從圖 5 的估計位置之分佈裡，皆能看出物件的移動方向與路徑。

如圖 5(a)，在規則佈署中，模擬結果顯示物件的實際位置與估計位置平均误差在 1.17

公尺，最大误差為 2.83 公尺，在隨機佈署中，估計出來的物件位置與實際的物件位置平均误差在 3.22 公尺，最大误差為 7.32 公尺，如圖 5(b)所示。

在圖 6 中，我們考慮以規則部署之網路拓撲，比較在感測半徑不同時的平均误差，從圖中可看出，感測節點的感測半徑，也會影響到定位的精確度。

5. 結論

我們所提出的切換式訊號強度位置追蹤演算法中，能夠很簡單的以感測節點的位置資訊去估計物件的實際位置，所以在物件的資訊處理計算上，降低了複雜度，從模擬可以看出在物件定位的精確度，能夠追蹤到物件所移動的路徑，因此可以實用在現實的環境中，在未來我們可以更深入探討資料聚集的技術，讓資料在傳送到資料收集中心時，減少能源的消耗。

參考文獻

- [1] M. A. M. Vieiral, C. N. Coelho, D. C. da Silva and J. M. da Mata, "Survey on Wireless Sensor Network Devices," *Proceedings of the IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, vol. 1, pp. 537-544, 2003.
- [2] C. Wang, K. Sohraby, B. Li, M. Daneshmand and Y. Hu, "A Survey of Transport Protocols for Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the IEEE Journal*, vol. 20, pp. 34-40, 2006.
- [3] T. S. Chen, W. H. Liao, M. D. Huang and H. W. Tsai, "Dynamic Object Tracking in Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the IEEE 7th Malaysia International Conference on Communication*, vol. 1, 2005.
- [4] C. Y. Lin and Y. C. Tseng, "Structures for In-Network Moving Object Tracking in Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the First International Conference on Broadband Networks*, pp. 718-727, 2004.
- [5] J. Tan and X. Shan, "Spatiotemporal sensor network and mobile robot coordination in constrained environments," *Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation*, vol. 1, pp. 391-396, 2006.
- [6] C. Y. Lin, W. C. Peng and Y. C. Tseng, "Efficient in-network moving object tracking in wireless sensor networks," *Proceedings of the IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 5, pp. 1044-1056, 2006.
- [7] R. R. Brooks, P. Ramanathan and A. M. Sayeed, "Distributed Target Classification and Tracking in Sensor Networks" *Proceedings of the IEEE Journal*, vol. 91, No. 8, August 2003.
- [8] Y. C. Tseng, S. P. Kuo, H. W. Lee, and C. F. Huang, "Location Tracking in a Wireless Sensor Network by Mobile Agents and Its Data Fusion Strategies," *Proceedings of the Computer Journal on the British Computer Society*, vol. 47 No. 4, pp. 448-460, 2004.
- [9] J. Jeong, T. Hwang, T. He and D. Du, "MCTA: Target Tracking Algorithm Based on Minimal Contour in Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the 26th IEEE International Conference on Computer Communication*, pp. 2371-2375, May 2007.
- [10] H. T. Kung and D. Vlah, "Efficient Location Tracking Using Sensor Networks," *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, vol.3, pp. 1954-1961, 2003.
- [11] J. Winter, Y. Xu and W. C. Lee, "Energy Efficient Processing of K Nearest Neighbor Queries in Location-aware Sensor Networks," *Proceedings of the Second Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services*, pp. 281-292, 2005.
- [12] V. S. Tseng, E. H. C. Lu and K. W. Lin, "An Energy-Efficient Approach for Real-Time Tracking of Moving Objects in Multi-Level Sensor Networks," *Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications*, pp. 305-310, August 2005.
- [13] X. Ji, H. Zha, J. J. Metzner, and G. Kesidis, "Dynamic cluster structure for object detection and tracking in wireless ad-hoc sensor networks," *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Communications*, vol. 7, pp. 3807-3811, 2004.
- [14] N. Bulusu, J. Heidemann and D. Estrin, "GPS-less low cost outdoor localization for very small devices," *Proceedings of the IEEE Personal Communications Magazine*, vol. 7, No. 5, pp. 28-34, October 2000.