

行政院國家科學委員會補助  
大專學生參與專題研究計畫研究成果報告

\* \*\*\*\*\* \*  
\* 計 畫 \*  
\* : 設計一個具有螞蟻行為之無線行動式感測器 \*  
\* 名 稱 \*  
\* \*\*\*\*\* \*

執行計畫學生： 呂明蔚  
學生計畫編號： NSC 97-2815-C-216-006-E  
研究期間： 97年07月01日至98年02月28日止，計8個月  
指導教授： 俞征武

處理方式： 本計畫可公開查詢

執行單位： 中華大學資訊工程學系

中華民國 98年03月26日

行政院國家科學委員會補助  
大專學生參與專題研究計畫研究成果報告

\*\*\*\*\*  
\*  
\* 設計一個具有螞蟻行為之無線行動式感測器 \*  
\*  
\*\*\*\*\*

執行計畫學生：呂明蔚

學生計畫編號：NSC-2815-C-216-006-E

研究期間：2008年7月1日至2009年2月底止，計8個月

指導教授：俞征武

執行單位：中華大學資訊工程系

中華民國 98年2月28日

# 一、前言

## 1.1 摘要

無線感測網路(wireless sensor networks)[1,2]，是利用體積較小的感測器數個，透過無線電波傳遞訊息來構成區域網路。行動式感測器(MD)具有行動能力，近年來受到相當的重視。本研究計畫在於利用無線網路感測器及透過載具的可移動性，利用多個這樣的行動式感測器來運用在從事工廠安全監控及災害現場的探勘及搶救。本計畫已將無線感測網路自走車組裝及操作方式，以及各式感測器設備和通訊設備作詳細的了解，也針對程式碼撰寫環境更加熟悉。已完成感測自走車之實作部份，透過各式不同功能自走車來進行模擬戰場的實境表現，將本計畫執行期間作現階段的成果統整及實機表現。

## 1.2 研究目的

由於近年的微型製造、電池技術及通訊能力的改良，使更多種類的感測器具有感應、無線通訊及處理資料的能力。此類型的感測器不但可以偵測環境目標物也可以將所收集到的數據進行處理，或者將數據透過無線網路傳輸的方式來達到後端的伺服器。

本研究計畫目的在於利用無線網路感測器及透過載具的可移動性，讓感測網路可以使人類了解無法到達或危險的區域，或者從事居家或工安的監控。無線感測器利用無線網路成為區域網路，使感測器成為群體進行偵測，本計畫是希望能實做一個具有螞蟻行為之行動式感測器(MD)。應用如下：

- 環境監控
  - 監控水質、土壤、空氣污染。
  - 森林預防火災監控。
  - 危險輻射區域數據的取得。
- 家庭運用
  - 居家環境是否有入侵者進入。
  - 居家環境進行監控：一氧化碳濃度，溫溼度。
  - 自動化開關：空調開關、電燈開關、省水裝置。
  - 老人起居安全監控。
- 軍事用途
  - 無人自走車投擲彈藥。
  - 監控戰場狀態。
  - 偵察任務。



圖一、森林預防火災監控示意圖。

### 1.3 研究動機

螞蟻，人類早就發現螞蟻利用群體的溝通的協調能力，可以在很短時間內找到食物而且不會迷失方向，假如我們可以利用螞蟻此特性來解決移動式感測器網路上連結問題，將使感測器效能大大的提升。當各螞蟻在找尋食物的同時，都會分泌一種「蹤跡費洛蒙」(Trail Pheromone) 在於經過的路上，這種分泌物會使其他螞蟻跟隨先前所經過的路徑上，當其中一支螞蟻找尋到食物時，將會沿著含有自己費洛蒙的路線回去通知夥伴，多數的螞蟻行經於此，此路徑上費洛蒙氣味將會越來越濃烈，行程路徑，就如同感測網路建置區域網路一般。

螞蟻視食物為目標，假使我們能透過此特性，而在感測器視偵測物為目標，將可使各感測器間減少重覆偵測的動作，減少各感測器感測及計算之誤差且可以大大解決感測器能源的消耗。在以往的無線網路感測器都以定位的方式來進行網路的建置，但有幾個議題將會浮現；

1. 前人常常將已知環境進行計算，計算出感測器的位置，但是在現實環境下是無法了解未知的環境變數，如：障礙物的阻擋、災區的現場環境已改變，那位於後端的伺服機又怎能進行感測器座標的位置運算。
2. 主動觸發事件和以往搭載 GPS 更有適應環境的能力。
3. 搭載 PGS 之成本考量，假使每個感測器皆有 GPS 設備，光單單製造感測器成本就是可觀的數字。

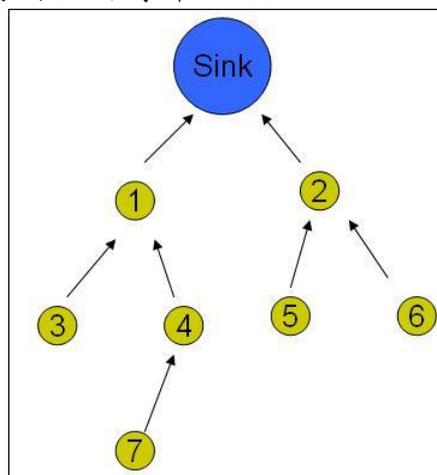
行動式感測器可以取代人類無法到達的區域或高危險區域進行目標追蹤或是擔任保全的角色進行環境的監控，在災區現場將以生還者為目標進行搜索，在火場裡可以擔任先鋒的角色，透過溫度感測器來偵測火源，透過無線網路的傳遞也可以傳回火場影像，降低救火工作的危險性，收集數個感測器所傳回的資訊，作為環境的了解使救災現場能更安全。而擔任保全角色的自走車將以環境大幅改變作為偵測目標，如：溫度異常、一氧化碳濃度異常、住家大門被開啟等等作為偵測目標，假如偵測到這些異常情形，過過無線網路傳遞資訊給人們知道，進行環境的監控，增加人們居住環境的安全。

本計劃之研究動機是希望透過具有螞蟻習性的行動式感測器來執行特定功用，如：監控工安安全、災害現場的探勘搶救，感測器的運用來提升生活上的實質幫助及安全保護，使人們生活環境更為舒、更為安全，從事危險環境下的人員，能夠降低發生意外的風險。建置價錢能夠在合理範圍內的感應器，能夠大量生產在生活上提供人們使用，使感測器應用更為普及，而利用無線網路來進行感測器的整合使用，將會使感測器運用不單單只是個體，透過無線網路的連結，使得感測器開發成為一系列具有特定功能的系統。

## 二、研究問題

移動式無線網路之研究議題相當多，利用何種媒介存取控制[1, 2] (Medium access control、節省電源[3](power saving)、目標追縱[4, 5](target tracking)、網路的資料傳送路徑[6](routing)之方式、網路的覆蓋[7]問題(coverage)、網路的連結強度[8]等。也因將研究的問題相當多，過多的變數將使研究不易進行，所以我們將假設幾個問題為可解決性的來使研究實做過程更加單純。我們將以如何使移動式感測器自走車如何有計劃性的移動及如何做到資料的傳遞及各感測器功能研究，我們將以實做自走車設備來進行研究。

無線網路感測的首要問題就是 sensor 的電源管理，sensor 大多使用電池來供應感測器運作之能量及無線電傳輸距離的限制，而為了節省傳輸時能量消耗及傳輸的問題，感測器並非採用 one-to-one point 進行傳輸，可能因為距離過長而無法傳屋或廣播者因傳遞過多封包，電量提早耗盡的問題，大多採用多重跳要代傳機制(multiple-hop relay)來建立網路，透過類似接棒的方式進行資料傳遞，建立傳遞最短路徑的方式將資料經由多個感測器組成路徑傳回後端，可以透過建 Balanced Trees 的方式使各感測器傳遞封包量能更平均，但雖然這樣的解決方式可以使各感測器電量可以較平均的使用，但也會使特定的感測器因為離收發器（後端）較近，因多數封包皆經由它進行轉傳，使此點電源容易耗盡，對於電源管理(energy control)成敗就如同感測器的壽命一般。



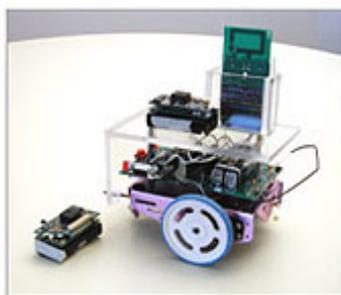
圖二、Balanced tree 感測資料傳送的路徑。

圖二中，如要 node7 將所收集的資料要傳送給 sink，透過 multiple-hop relay，封包經由 node4 及 node1 傳至 sink，但所衍生的越靠近 sink 的 node 因轉傳大量的封包，將使電池容易消耗殆盡。

感測網路可以透過一個 sink(類似 gateway)來作為感測網路與外界溝通的橋樑，再經由 sink 將感測器所收集的資訊透過無線網路或無線電波或其它的方式傳送給遠方的伺服器或使用者。因為感測器體積較小，sensor 本身是用電池當作主要電源來供應運作所需的能量及無線電的距離的限制，想更換電池來延續感測器壽命不易，因此如何妥善有善運用電池電力是重要的問題。而為了節省電源的消耗感測器設計為重要的議題：醒睡機制。由於降低發送功率以節省能源消耗，假使感測器沒有在進行任務(傳送或接受資料)，即進入睡眠狀態，收發器就能節省電源，只有在傳送或接受時才從睡眠狀態醒過來，進行高功率的資料傳送動作，一但執行完任務即在進入睡眠狀態。因此，如何安排感測器睡眠時程(scheduling)為重要議題。

### **[行動式感測網路]**

當感測器加上行動裝置後，如同自走車一般(mobile sensor networks)，可以進行短距離的移動，利用可移動式感測器來解決非移動感測器網路尚未能解決的問題，運用範圍可大大增加。我們將使用『Boe-Bot Robot Kit 智慧型機器人教學平台』來進行實做，此設備具有相當龐大的可擴充性，可以在此平台上搭載各式的感測器(例如:溫度、壓力、溼度、光度、聲音等)，針對不同的環境以及需求進行感測器上的運用。



圖三、有行動能力的感測網路自走車 Boe-Bot Robot Kit。



圖四、可擴充之溫溼度感測器。

### **[目標覆蓋問題]**

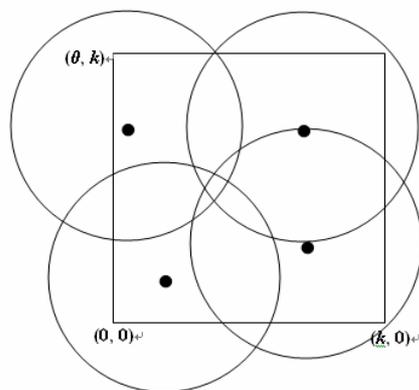
覆蓋問題(coverage problem)對於無線網路是基本且核心的問題。覆蓋問題是指在監測的範圍內至少能有一個感測器給監控，而在至少一個感

測器覆蓋的前提下，考慮如何透過最少的感測器設備來達到覆蓋範圍或延長該網路的監控時間。覆蓋問題可分類為兩大類：

A. 區域覆蓋(area coverage)；目標範圍為一個區域。

B. 目標覆蓋(target coverage): 監測範圍內需包含一些目標點。

建置過程透過自走車間所接收之資訊進行運作並作出決策，來決定感測器的未來方向。利用圖論的問題及動態規劃(dynamic programming)，來解決點部署問題，用最少的感測器數量來達到最大無線網路區域範圍。



圖五、區域覆蓋問題往往透過座標方式來進行建置。

### [異質感測網路]

感測網路(sensor network)可分為:同質(homogeneous)感測網路及異質感測網路(heterogeneous)。所謂同質感測網路是指在感測範圍內擁有一種相同感測功能、相同通訊範圍、相同等級電量以及硬體的限制。然而在真實的環境下，部署於同一個網路上的感測器可以有不同的感測功能、不同的通訊範圍、不同等級的電量，甚至搭載多重感測元件的感測器，我們稱之為異質感測網路。

一般對異質感測網路大致分為兩種定義，分別為通訊範圍和感測功能的異質兩種：

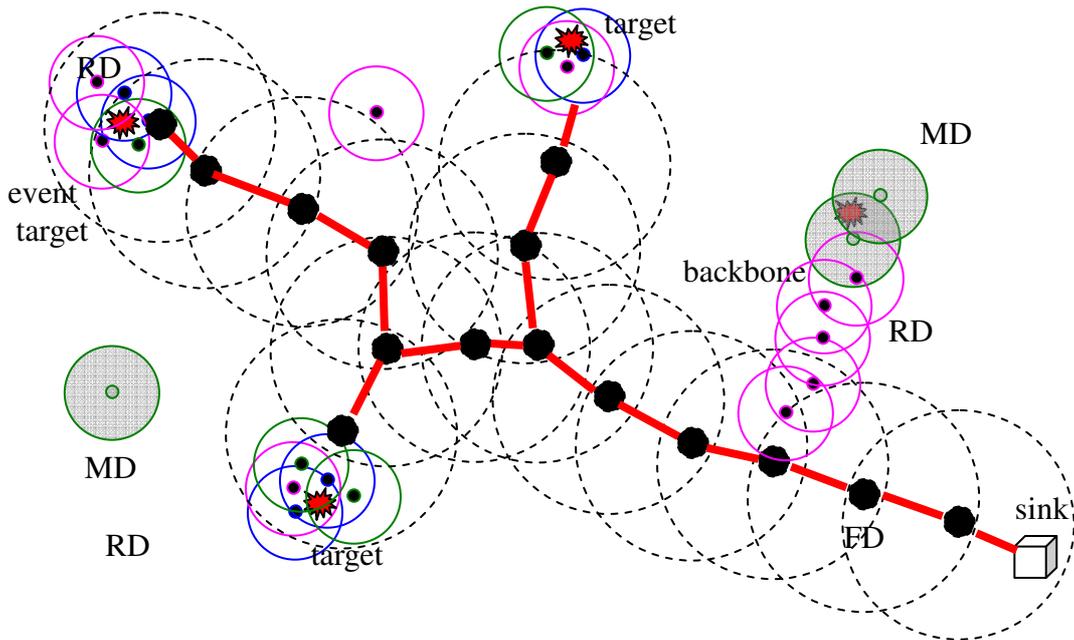
- 通訊範圍上的異質：不同感測器擁有不同的通訊範圍及擁有不同等級的電量。
- 感測功能上的異質：不同感測器同時搭載多個不同感測能力的元件。

### [異質感測網路節點分類]

- 完整功能節點(full function node, 簡稱FD)：傳輸功能，強通訊範圍長，電池壽命足夠長，並具有較大的計算能力(computation power)。每個感測器具有多種感測能力(可同時啟用所有感測功能，也可關閉部份功能)，可當路由器(router)。從成本上考量，部署於整體網路中的節點總數較少。
- 縮減功能節點(reduced function node, 簡稱RD)：通訊範圍短，電池壽命較短，每個感測器具有多種感測能力(可同時啟用所有感測功能，也可關閉部份功能)。因只搭配感測裝置，故所需成本較少。從成本上考量，部署於整體網路中的總數節點較多。

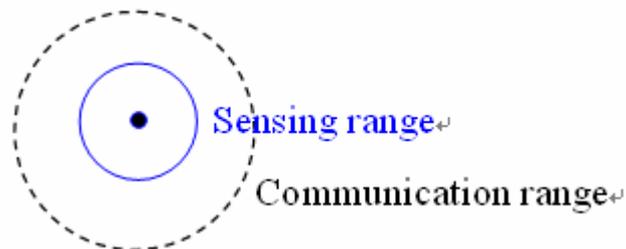
- 行動式節點(mobile node, 簡稱 MD)：此可為具行動能力之 FD 或 RD。若從電源有限的角度考量，重量較輕的 RD 較合適裝配行動載具。因需搭配行動載具，故增加不少製造成本及電源消耗。從成本上考量，部署於整體網路中的 MD 總數較少。

感測器將所收集到的資訊傳回 data sink，透過具有強傳輸能力的 FD，建造出網路的骨幹(backbone)以提供一個快速有效率的傳送監控資訊的平台，再加上 MD 移動到感測能力需要加強之處，以補強感測能力。如下圖所示。



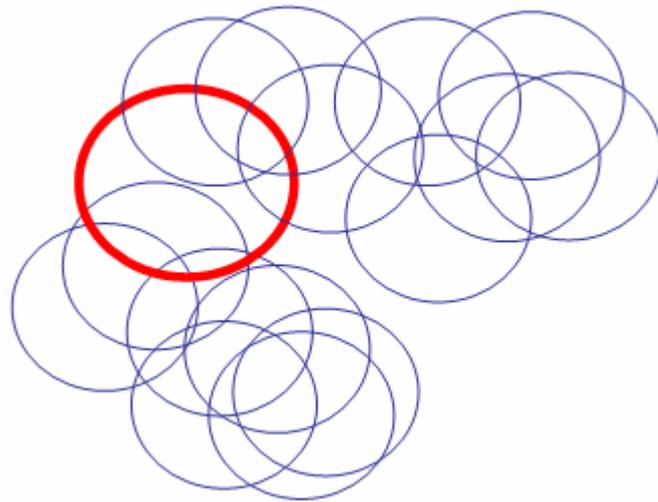
圖六、擁有 FD, RD, MD 的異質感測網路。

圖六中，為了避免圖形雜亂，以虛線表示的圓為感測器之通訊半徑，實線的圓表示感測器感測半徑，通常通訊半徑會比起感測半徑還要來的大，所以假使要進行區域範圍的感測，將會以感測範圍半徑來建置整個網路。

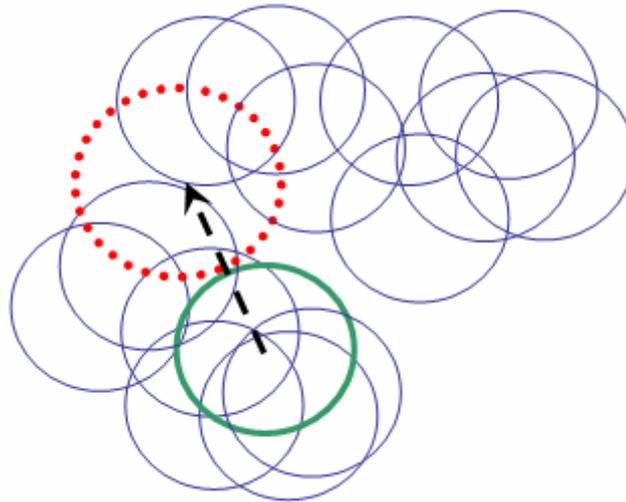


圖七、感測器的感測範圍比通訊範圍小。

由於感測器因微小且電源不易管理，使感測器故障比例相當的高，所以使用大量的裝置位於環境當中形成無線區域網路進行任務時，如何讓當感測器宣告故障時，整個系統還能繼續正常運作，網路型態能順利的改變，如何使此骨幹網路連結不中斷，容錯機制(fault tolerant)對於感測器網路的設計是相當重要的議題。



圖八、紅色的感測器沒電了，則整個網路將會不連結。



圖九、移動綠色的感測器至紅色區域來修補整個切割的網路。

### 三、文獻回顧及探討

#### [有關資料收集機制]

在[8]中，Zhou 等利用動態規劃(dynamic programming)的技巧，利用最少的感測器來提高最大覆蓋範圍及最大連接強度(使得相互不連接的 sensor 給連接起來)。然而此方法必須配置 GPS，假使在每個感測器上配置 GPS 將會使成本增加，而在未知的環境下是無法使用的。

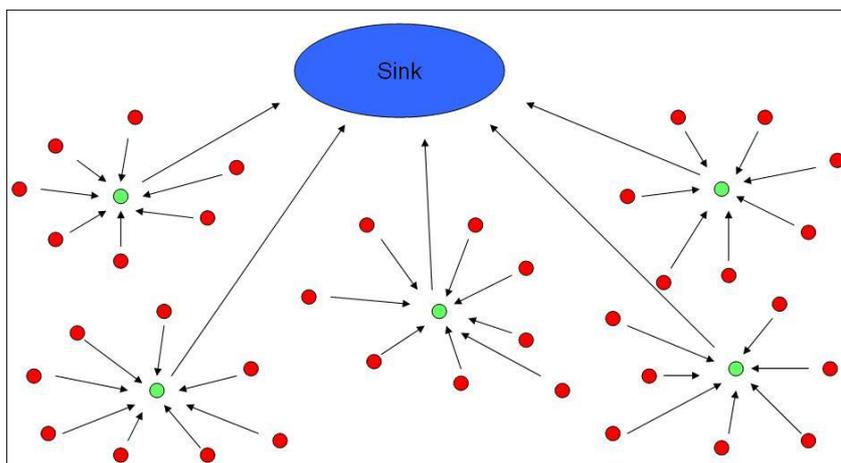
在[4]中，Butler 和 Rus 考慮如何利用可行動的感測器來追蹤目標物，但能使感測器間連成網路。

感測網路上資料收集的方法有非常多種的分類[10]。傳統的分法為主動式(proactive)，反應式(reactive) 和混合式(hybrid protocols) 通訊協定。主動式的通訊協定在使用之前就已建造好路徑，反應式通訊協定則當需要用時才建立。混合式通訊協定則兼用兩個方法。因感測點資源有限，主動式的方法需儲存過多的 routing table 會較不合適。

另外一種分法為直接通訊式(direct communication)，平坦式(flat)，叢聚式(clustering)通訊協定。直接通訊式通訊協定當網路範圍大時相當耗電。平坦式通訊協定導致靠近 sink 的節點較早耗盡電源。叢聚式通訊協定則需付出維護 clustering 的代價。另外一種分法為位置知覺(location aware)及位置不知(location-less)的兩種路由通訊協定。

在[11]中，W. Heinzelman, A. Chandrakasan, 和 H. Balakrishnan 他們提出了 Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) 這個方法。LEACH 先利用每個感測點的電量的高低來決定自己是否有資格擔任 local cluster-head，接著由機率選擇自己是否當上了 local cluster-head，而這些 local cluster-heads 廣播給附近的感測點，讓附近的感測點得知對方當上了 local cluster-head 而加入他的團體，之後將感測的資訊傳送給自己所屬的 local cluster-head，再由 cluster-heads 傳送給收集者，如圖四。而 local cluster-heads 經過一段時間後會有機會更動，且所有感測點傳送給 cluster-heads 的資料經過壓縮，使得耗電量降低。

其優點為：感測點離 cluster-heads 很近，因此傳送資訊時所耗的電量能夠降低，降低整體的耗電量，使網路的存活時間增加。其缺點為：當 cluster-heads 的這些感測點因為接收過多其他感測點的資訊，加上將彙整的資訊傳送給收集者的距離不一定很近，使得能量消耗的很快而支持不了多久。

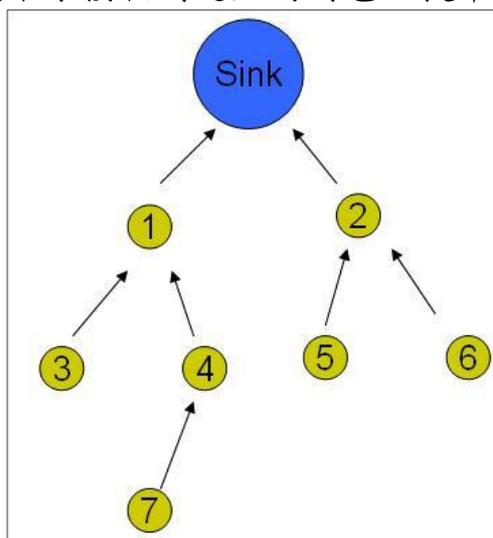


圖十、LEACH 感測資料傳送的路徑。

在[12]中，Kim 和 Han 針對使用資料收集樹收集資料時，會造成分支多的感測點耗電量增加，所以這提出利用 Balanced tree 的原理，先使用以下公式計算出，在這個拓撲的結構下每個節點需要有多少的分支：其中  $N$  為感測點數量、 $R$  為感測半徑、 $A$  為感測區域的面積、 $\pi$  為調整參數。再由收集者開始，每個感測點選擇兩個最近的感測點作為連接對象，完成如圖五的 Balanced tree，再經由資料壓縮，使每個感測點所傳送與接收的資料量相同，讓每個感測點的耗電量趨近一樣，進而延長整個網路存活的時間。

$$\mu(R) = \frac{N \times \pi \times R^2}{A}$$

其優點：透過資料壓縮，加上 Balanced tree，使得每個感測點接收的耗電量相同，讓感測點的耗電量相近而使網路存活時間變長。其缺點為：雖然每個感測點接收的耗電量相同，不過由於傳送資訊給父節點的距離不一，使得本來 Balanced 的用意打了折扣，使感測點的耗電量不平衡，加上感測得來的資料不一定能夠壓縮的這麼完美，讓在資料收集樹上靠近收集者的感測點依然免不了接收到過大的封包而提早能源耗盡。

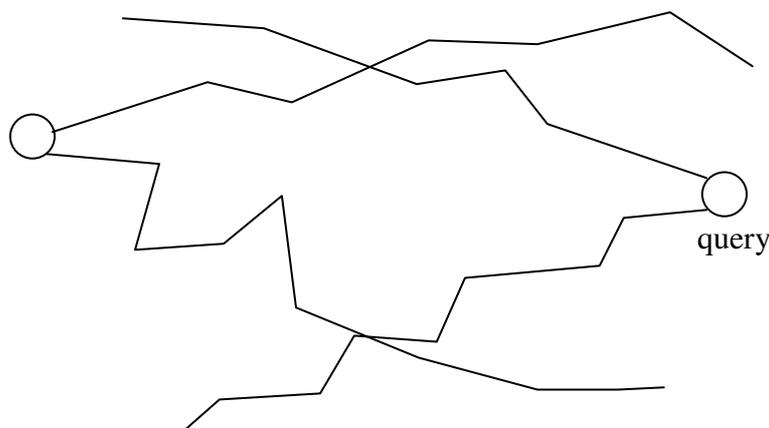


圖十一、Balanced tree 感測資料傳送的路徑。

如 ad hoc network 上 on-demand 的路由協定一般，在感測網路上因需求而建的機制也有不少。一部份羅列如下。

**Flooding**：在這種沒有固定節點收集資訊的無線感測網路上，最早是使用 flooding 的方式來完成通訊。當事件發生時，就由感測到這個事件的節點 flooding 這個資訊，讓整個網路中的每一個節點都收到此訊息，此種方式稱為 *event flooding*。或是當某一感測節點要知道相關訊息，就以 flooding 的方式，去詢問每一個其他節點，此種方式稱為 *query flooding*。兩種 flooding 可以找到最短傳輸路徑，但是在 flooding 的過程中，也會浪費許多的不必要電源時間及頻寬，也就是所謂的廣播風暴 (broadcasting storm)，甚至導致網路的存活時間 (lifetime) 縮短。

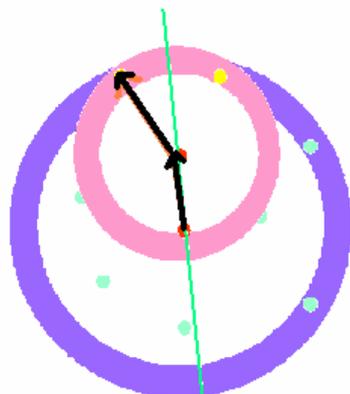
**Rumor routing**：所以有另外一種方法 rumor routing [13] 的出現。rumor routing 較 flooding 節省能源，以發生事件為基礎，使用代理人 (agent) 程式沿著節點隨機地 (randomly) 向外發出偵測到的訊號，代理人所經過的節點皆紀錄下相關資訊，(有關事件發生的距離，時間等) 並形成路徑 (path)。當 query 發生時，也是隨機地 (randomly) 向外前進，直到遇到代理人所形成的路徑。之後就是利用雙方所形成的路徑來傳遞資訊。如圖六所示。



圖十二、Rumor routing 之示意圖。

**Zonal rumor routing**：rumor routing 找到 event 與 query 之間的路徑常不是最短的。此路徑也很有可能螺旋般的繞線產生，不僅因此造成 loss 率的提高，甚至 query 根本找不到 event 發生所在。zonal rumor routing [14] 就是設計來改善 rumor routing 的缺點。zonal rumor routing 以分區塊 (cluster) 的方式，來改善螺旋繞線的問題。zonal rumor routing 讓 agent 的行進儘可能地向外擴散；也就是 agent 在 randomly 選取下一個 node 時，不會選同一個區域內的 node。如此使其 agent 沿著所分的區域向外延展的傳遞出去，以達到儘可能向外延展 path 的目的。其好處在於，可以較原先的 rumor routing 所找到的 path 更遠。但 zonal rumor routing 也要考慮到如何適當的分區塊，區塊的大小與 node 分佈的狀態都會影響到其效能。在 node 分佈不均勻的狀況下，密度高的區域就會有

可能還是有 rumor routing 相同的問題。另一方面，zonal rumor routing 只是稍加改善其螺旋繞線的問題，讓 agent 盡可能的向遠方散佈出去，並沒有真正找到較短的路徑。此外，在劃分區塊的過程中，需要耗費更多的時間以及電源；區塊內的 node 需要先互相溝通，還要有更多的儲存空間來儲存區塊內的節點狀態資訊。

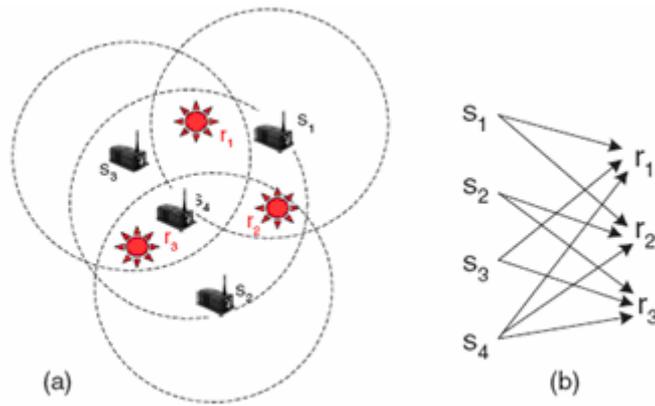


圖十三、Straight line routing。

Straight line routing: Straight line routing 也是設計來改善 rumor routing 可能有螺旋般的繞線的缺點。Straight Line Routing[15] 則是使 agent 在找尋下一個 node 時，不再是採用 random 的方式，而是儘量採取一個固定的方向，用開始的兩個 node，以不同的半徑畫圓，設定 outside band 與 inside band 互相交叉的區域為候選區，再自候選區選出離原 node 較遠的點，以達到儘可能走直線向外延展的目標。如此可避免螺旋繞線的問題，使得結果(query 找到 event)更趨近於數學上的理想值（平面中五條線與另一條線相交的比率 98%）。但在運作時，每一個經過的節點都要做運算，去尋找下一個節點所在。最不好是，有可能根本找不到下一個節點的情況發生。雖然 Straight line routing 可以在調整其 outside band 與 inside band 的大小來增加候選區域的大小以提高找到下一點的機會，但其所花費的時間及運算成本，也就隨之增加了。

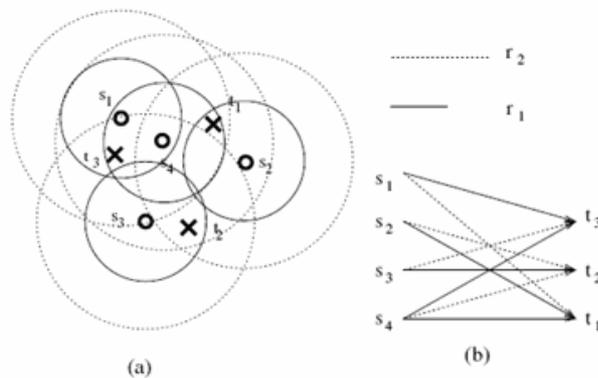
### [有關目標覆蓋機制]

Cardei 等在[16]中探討目標點覆蓋問題，且以二分圖(Bipartite Graph)表示無線感測器與目標點之間的覆蓋關係。將目標點覆蓋問題轉化成最大化集合涵蓋問題(maximum set cover problem)，目的是為了使網路的存活時間達到最大，並以提出線性規劃為基礎的啟發式演算法與集中式的貪婪演算法。而這篇的演算法並是集中式的演算法，所以不易用於實際使用狀況上。此篇也證明在單一感測元件下的最大化集合涵蓋問題是一個 NP-complete 問題。下圖， $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$  表示被覆蓋的目標物， $s_1$ 、 $s_2$ 、 $s_3$  是感測器，圖十四(a)表示感測器有覆蓋哪些目標物，圖十四(b)則表示圖十四(a)感測器與目標物的關係圖。例如， $s_1$  所覆蓋的目標物有  $r_1$ 、 $r_2$ 。



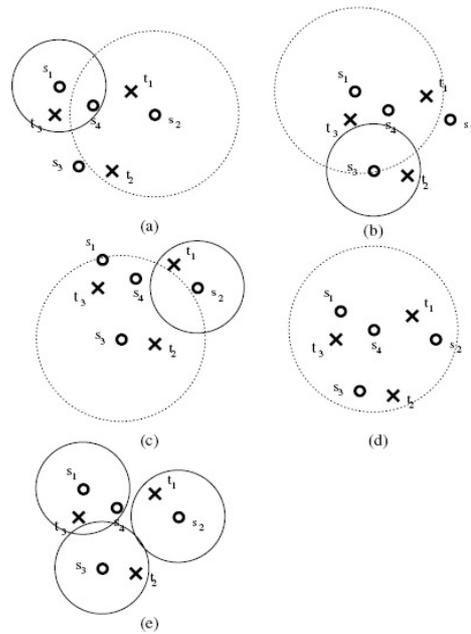
圖十四、當  $T$  集合表示為目標物， $S$  表示為感測器。圖十四(a)、為感測器覆蓋的情況，圖十四(b)、為感測器覆蓋目標物的關係二分圖。

在[17]中，Cardei 等探討目標點覆蓋問題。此篇在探討如何調整無線感測器的感測距離以解決目標點覆蓋問題。他們的方法利用二分圖 (bipartite graphs) 來表示無線感測器與目標點之間的覆蓋關係。並將此問題轉換成可調整範圍之集合覆蓋問題 (adjustable range set cover problem)，即調整感測器之感測距離可以便於找到最多集合。首先以整數線性規劃 (Integer Linear Programming, 簡稱 ILP) 建構問題的模型，再提出以線性規劃 (Linear Programming, 簡稱 LP) 為基礎的啟發式演算法，與包含集中式及分散式的貪婪演算法，進而延長網路的存活時間。



圖十五、當  $T$  集合表示為目標物， $S$  表示為感測器，每個感測器都有 2 種感測範圍  $r_1$  和  $r_2$ 。圖十五(a)為感測器覆蓋的情況，圖十五(b)為感測器覆蓋目標物的關係二分圖。

下圖為上圖經由排程所找到的最大集合覆蓋。利用可調節之感測範圍，可以分出五個集合可以完全覆蓋住目標物。



圖十六、圖十五之最大集合覆蓋。

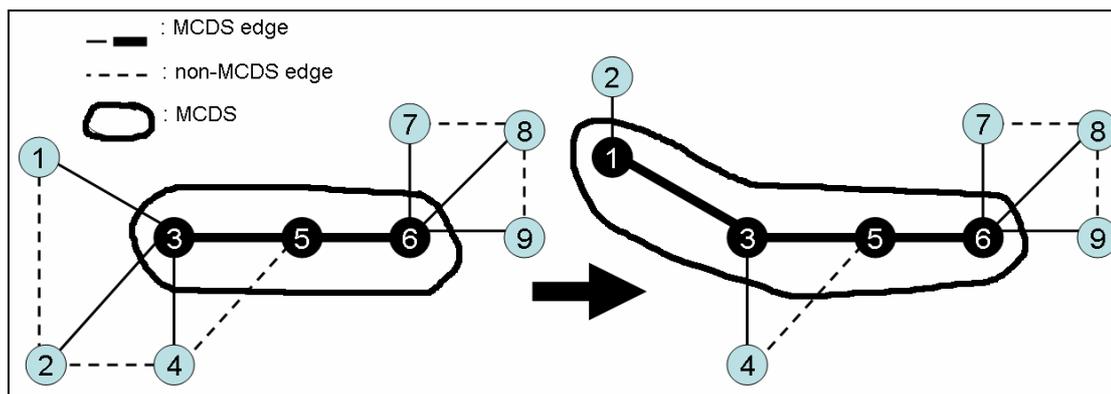
在[25]中，Wang 與 Zhong 考慮無線感測器因成本不同而有不同的感測距離。Wang 與 Zhong 主要是在解決感測器放置問題 (sensor placement problem)，並提出以 LP 為基礎的近似演算法 (approximation algorithms)，找出無線感測器的放置位置，使得佈署網路的成本達到最低。

### [有關骨幹建造機制]

在[18]中，Du 與 Lin 提出一個新的路由通訊協定，稱為 Multi-Class Routing Protocol。此協定利用異質感測器通訊能力比較強的感測器來做為 backbone nodes (B-nodes)。此路由的區域被細分好幾個方格 (cells)，每個方格只能夠選擇一個 B-node，節點 (node) 與節點之間的資料傳送，就是利用 B-nodes 做為傳輸路徑。

在[19]中，Du 和 Lin 探討使用兩種不同的感測節點: high-end 和 low-end sensor，high-end sensor 比 low-end sensor 有較多的電源、較大的傳輸範圍、較高的傳輸速率。在 node 間互相溝通傳輸資料是由 L-sensor 和 H-sensor (Cluster head)，在對 sink 做傳輸 data 是由 Cluster head 之間做 multiple hop 傳輸到 sink。此做法稱為 Cluster Head Relay (CHR) routing protocol。

在[20]中，Das 和 Bharghavan 提出利用一個近似最小連接支配集合 (an approximation minimum connected dominating set, 簡稱 MCDS) 來建立 ad-hoc networks 上的一個虛擬骨幹 (virtual backbone)。此虛擬骨幹的目的並非提供路由封包 (routing packet) 而是提供計算及更新路徑。每個在 MCDS 上的節點儲存整個網路的拓撲及任意兩點的最短路徑。當節點移動時，可以作局部骨幹的修補動作。

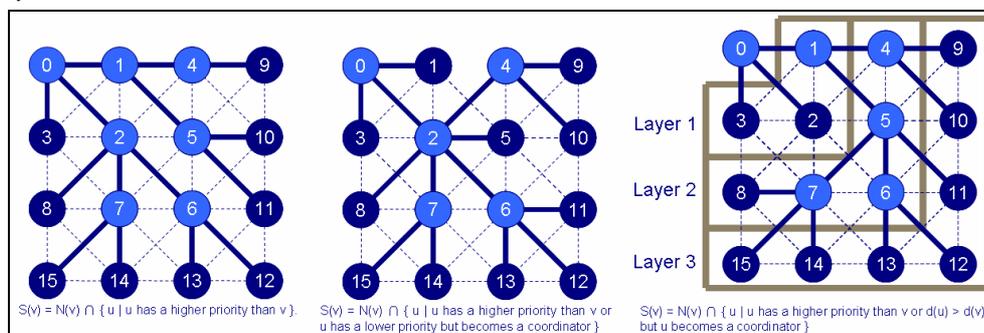


圖十七、當節點移動時，骨幹作局部的修補動作。

叢聚(Cluster)的建立，有助於規劃節點功能的劃分與骨幹的形成，Basagni 提出 DMAC(Distributed and Mobility Adaptive Clustering)[21]可以分散且活動地利用指定參數(ID 大小、電量強弱)建設出叢聚；基於骨幹的建設可以讓非骨幹上的點可以有休眠(sleep)的機會，Basagni、Carosi、Petrioli 參考 DMAC 的做法設計出 Sensor-DMAC[22]，讓永不休息的骨幹隨時為其他節點服務，此舉可以降低最多的 Delay Time，但是造成了骨幹上的節點之電源迅速消耗，反而導致整個網路的崩解。

在[23]中，Ghosh 和 Basagni 提出休眠骨幹(Napping Backbone)架構以改善 Sensor-DMAC，作法就是以叢聚為一個單位進行 TDMA(Time Divide Multiple Access)的排程。雖然由於有休眠的要素存在，導致整體 Latency 增加，但是模擬數據指出 Napping Backbone 可以比 Sensor-DMAC 節省 70% 的電源消耗，大大的提升了網路的存活時間。

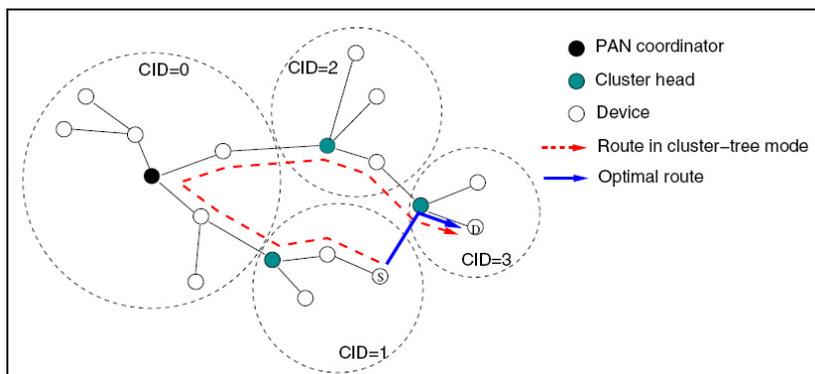
FD 如果當作 Router 使用，電力會因為大量的封包存放與轉傳耗損，所以減少網路上的 Router 可以達到好的省電效果，Ma 等人在[24]中，利用網路上的 Router 判斷自身 transmission range 內的所有 device node 是否可以被其他 Router 覆蓋，如果可以的話，就將自己的角色由 Router 轉變為 device node，最終達到以最少的 Router 將整個網路中 device 覆蓋的目的。



圖十八、以最少的 Router 將整個網路中 device 覆蓋的目的。

Zigbee 提供了 Beacon-based Clustering 與 Mesh Topology，Beacon-based Clustering 可以在網路上建立主從關係的 Cluster Tree

Topology，其好處在於提供了 Cluster 內的同步機制，進而以分配 Time Slot 的方式達到良好的 Scheduling。其缺點是各節點之間無法互傳，必須透過 Cluster Head 轉傳資料，傳送端 S 無法將資料直接交給鄰近的 CID3 再傳給接收端 D，而必須不斷將資料向上轉交到可以 route 到 CID3 的 Cluster Head，如此耗費的 Routing Overhead 相當龐大。Mesh Topology 則讓網路上的 FD 都以 Non-Cluster 的 Peer to Peer 方式進行傳輸，即參照 CSMA/CA 的模式，好處就是多選擇性的 Routing Path，缺點就是少了 Cluster 的同步及排程優勢。

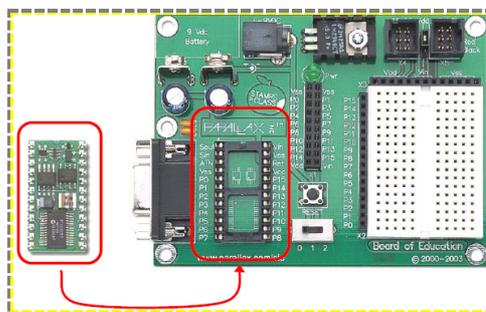


圖十九、Zigbee 環境下的 Cluster Tree Topology。

## 四、研究方法及步驟

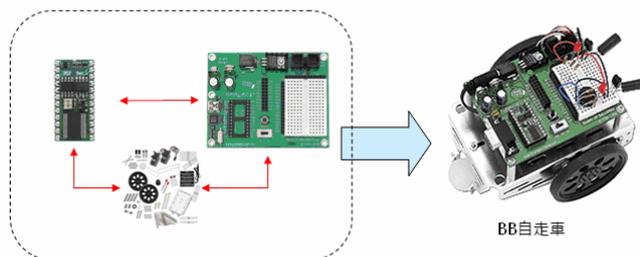
### [研究方法]

對於無線網路感測器的運用，我們將選擇可移動式之自走車設備來進行研究，它必須要有可擴充性，而在本次計畫中，我們選擇了由 Parallax 公司的 Boe-Bot，它是一個結合 BASIC Stamp 及 Board of Education(BOE) 兩者為一體的自走車(簡稱為 BB 車)。BASIC Stamp 為一塊 IC，可插於 BOE 上，用於儲存程式及資料也用於執行程式，圖二十左邊紅色方框所示為 BASIC Stamp，右邊紅色方框所示為 BOE 上提供 BASIC Stamp 的插槽(注意在 BS2 的晶片上方有白色小的半圓標記，那是代表要接在面板上有缺口的那個方向，方向要接對)。而白色麵包板為提供各式感測元件及訊號元件接入 BOE，如感光元件，蜂鳴器、LED 燈等等。若所有硬體配組合起來將如圖 2 所示。若需要將程式燒入 BASIC Stamp 中，需要將自走車與電腦連接。我們可以利用 RS-232(COM Port)或是 RS-232 轉 USB 將 BOE 連接至電腦。



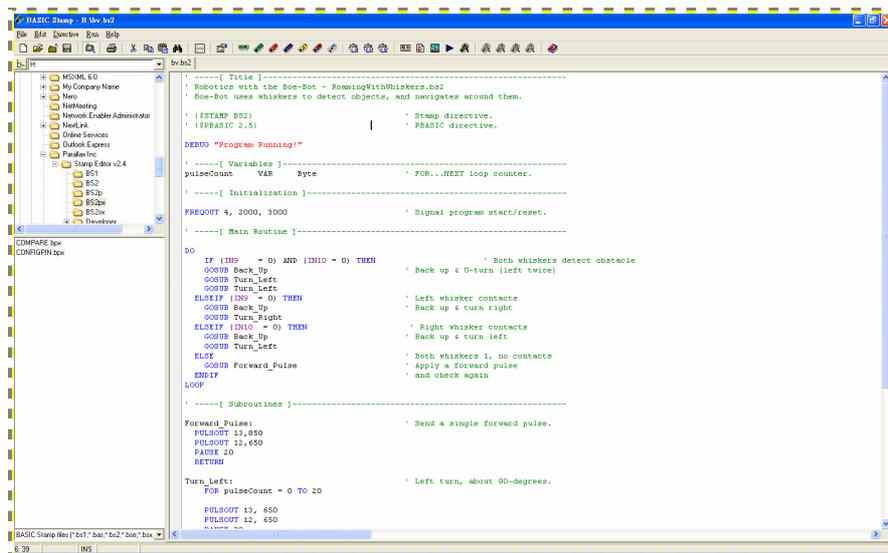
圖二十、BASIC Stamp® 2 模組(左)及 Board of Education(右)。

此設備擁有良好的可擴充性，無論是感測器設備或是通訊設備都有很好的擴充性，如：硬體裝置、平衡系統、導航裝置、馬達驅動器、通訊系統、影像裝置、顯示器、語音模組、感測器模組，也有更多的零組配件來進行自走車需求的運用，我們將可以使用這一個平台加上許多零組件來進行更多的實驗計畫。



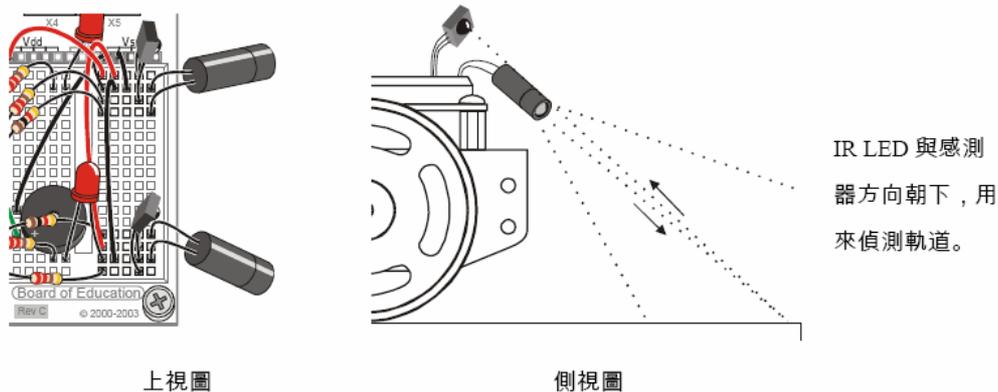
圖二十一、透過 BASIC Stamp® 2 平台及零組件來完成自走車雛形。

而此設備可以將程式可以透過 RS-232(COM Port)將程式碼傳入 BASIC Stamp 晶片裡。BASIC Stamp Editor 為程式開發環境，我們可以選擇晶片版本來進行程式碼燒錄的動作。圖二十二為 BASIC Stamp Editor 執行畫面。

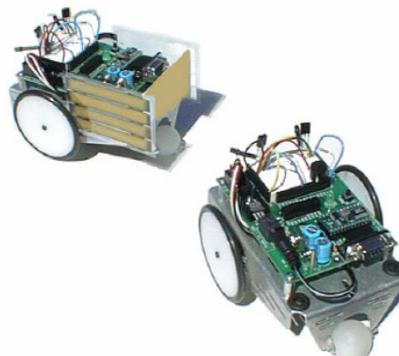


圖二十二、BASIC Stamp Editor 程式開發環境。

我們首先先了解自走車設備該如何運用，而最重要的就是必須了解各感測器設備該如何使用它、運用它、活用它，我們先將所配件的感測設備進行研究。如：IR sensor、光敏電阻等等進行實作，以下為運用之一。



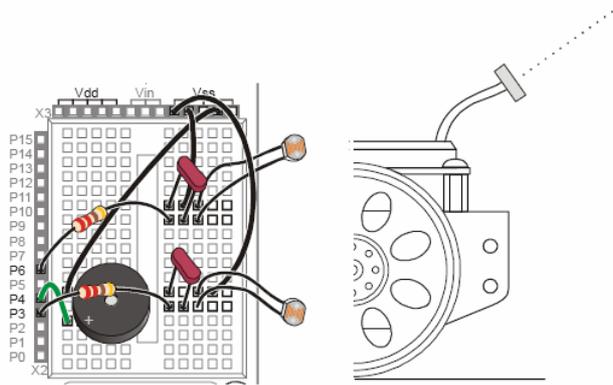
圖二十三、透過 IR SENSOR 來做尋跡功能。



圖二十四、透過 IR SENSOR 來做無人跟車功能。



圖二十五、光敏電阻運用之一，可用於射擊遊戲或保全系統之運用。



圖二十六、透過光敏電阻來達到趨向光源行走功能。

此平台也有無線網路通訊裝置，如：Zigbee 無線網路通訊設備、IR 紅外線遙控、RF 通訊裝置，皆可以做到無線網路通訊功能，不論是 one-to-one point 方式的通訊或者是 multiple-hop relay 皆可以透過此平台之通訊裝置來完成。



圖二十七、Zigbee 無線通訊模組。

### [研究步驟]

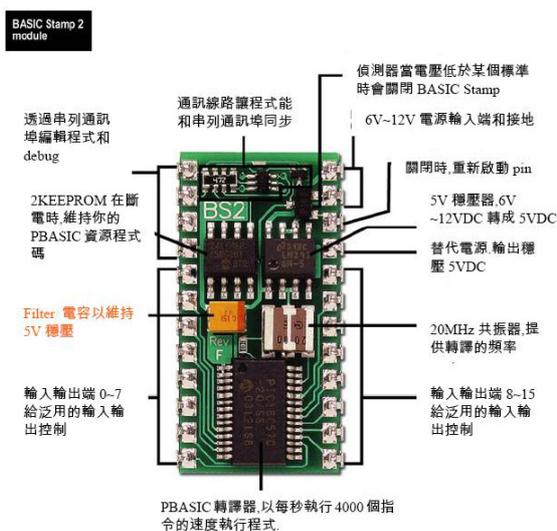
- 收集市面上較普遍之無線網路感測器設備進行分析。
- 收集各感測器設備之功能原理與介紹。
- 實作可移動式之自走車設備。
- 收集並研讀無線感測網路覆蓋問題之相關論文之研究。
- 收集並研讀無線感測網路之睡醒機制如何運作。
- 實際進行感測器感測範圍及效果探討。
- 選擇是否有更好的感測器設備可以提供。
- 提出現有之無線網路感測器之自走車之問題。
- 提出無線網路感測器自走車如何運用及創新。
- 設計新的資料收集機制，觀察監控目標的 RD 可否將資訊傳回 sink。
- 做出能整合現階段所學之情境表現。
- 整合實作時所遇到的問題及探討。
- 加入無線網路通訊功能是否有其他限制。
- 嘗試製作異質感測網路功能之模擬。
- 嘗試製作本計劃核心目標是否能透過螞蟻行為來主動建置感測網路。
- 嘗試進行理論上的分析。
- 是否可以透過模擬的方式來模擬方法是否可行。
- 撰寫研究成果報告。

## 五、結果與討論

在計畫執行初期欲了解自走車設備以及程式碼撰寫之環境，以及無線網路通訊設備之不熟悉部分，花了多數的時間進行研究，進行首次的接觸設備，感測器運用已經部分了解，但因為感測器種類繁多，不能逐一進行實驗步驟，我們整合現階段功能進行模擬的情境表現。

首先，我們透過各式感測器來作出自走車的虛擬對戰的實作情境，透過可移動式之感測器自走車來進行車子間的射擊遊戲，透過光敏電阻及雷射筆之集中且亮度高的特性，來製作自走車間的射擊遊戲，將所學程式碼及感測器之知識充分運用。車子和車子間可以透過團隊的方式進行對戰，如同螞蟻行為，用仿生物習性的方式來進行遊戲。

### 5.1 PBASIC 晶片分析

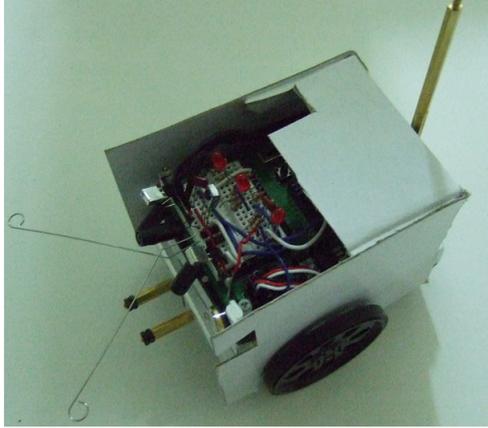


圖二十八、晶片功能說明。

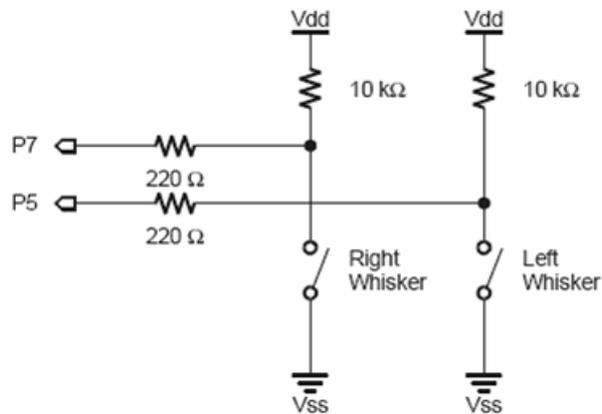
有此可知自走車設備有 15 個 output，依據我們的設計我們分配這些 output 分別為(基本車輛設計雛型)：

- 1：提供電流在右邊紅外線感測器之電源。
- 2：控制雷射筆 on/off 之開關。
- 3：右紅外線 led 之電源。
- 4：喇叭控制端。
- 5：(空)
- 6：偵測前端物體之紅外線感測器之電源端。
- 7：前方紅外線 led 之電腦。
- 8：後方光敏電阻數值傳回端。
- 9：前方光敏電阻數值傳回端。
- 10：左紅外線 led 之電源。
- 11：提供電流在左邊紅外線感測器之電源。
- 12：皆為伺服機所用。左邊馬達伺服機。
- 13：皆為伺服機所用。左邊馬達伺服機。
- 14：皆為伺服機所用。目前無作用。
- 15：皆為伺服機所用。目前無作用。

## 5.2 自走車防碰撞設計



圖二十九、透過觸鬚來完成碰撞功能。



圖三十、防碰撞功能之電路圖表示。

假設觸鬚觸碰到前方障礙物時，將會使電路導通，透過 PBASIC 晶片即可做出反應來進行迴轉的動作。

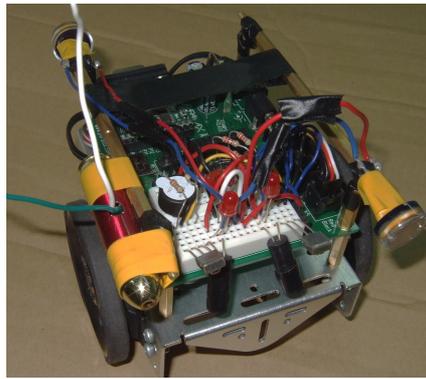
## 5.3 循跡及無人跟車裝置

自走車行走於黑線是透過紅外線 led 及紅外線感測器所進行訊號的改變來進行自走車的行進。無人跟車也是透過 IR sensor 來完成，透過 IR sensor 抓取兩段不同頻率的方式，使自走車能保持在一定的距離間前進。



圖三十一、運用 IR sensor 及 IR LED 進行無人跟車。



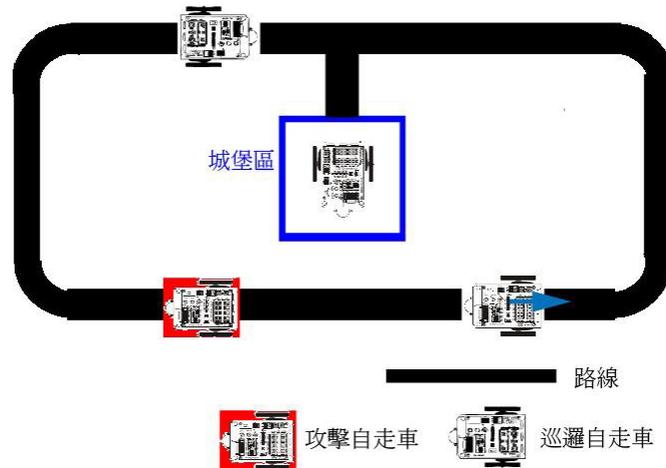


圖三十六、安裝完成雷射筆與 25mm 光敏電阻。

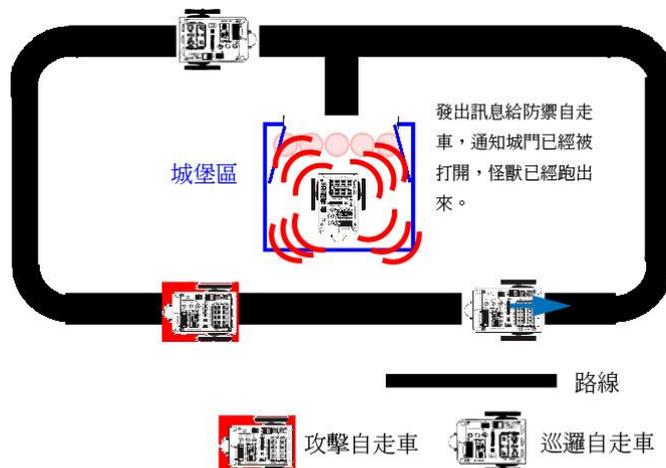
### [情境介紹]

在情境中有三組主角，分別破壞組、巡邏組和救援組，假想平台是一個社區，破壞組的任務就是進入社區之後進行破壞的動作，其破壞的行為是隨機進行；巡邏組的任務是在社區之中四處走動，一旦發現外來的入侵者在進行破壞則與之抗衡，並且呼叫救援組前來支援；救援組的任務是在接收到巡邏組的呼叫後，出動幫助巡邏組對抗外來的入侵者，並且對於遭到破壞的建築物進行修復。

在社區之中有一座城堡，破壞組可以進行破壞及想辦法打開城門，釋放出城堡內的怪獸，巡邏組和救援組就要把怪獸消滅或抓住。



圖三十七、自走車間進行射擊戰鬥情境。



圖三十八、透過無線網路通訊方式來發送訊息。

對於感測網路範圍之覆蓋問題或者是新骨幹傳送問題，運用此設備較不易觀察，通訊範圍會受環境以及電量的變數過於不穩，使得數據不易取得，且自走車數量少不便進行實驗步驟，雖然以同質網路為前提進行研究目標，但往往後來都變成相當複雜的異質網路，如：就算相同的設備感測半徑或者通訊半徑也會有所不同，可能受到電量的影響。建議可以透過模擬的方式來進行實驗步驟，參數設定以及設計較容易，且實驗成本較低，有較穩定的模擬數據在進行實驗步驟，較為可靠。

## 六、後續研究方向

對於無線感測網路之運用可說是相當的廣泛，透過各式的感測器，來達到不同的目標，每一種創新發明將可以成為各式的研究議題，本計劃只完成部份的研究範圍，未能真正做到無線網路建置的部份，僅在功能上進行研究了解已花上大多數的時間，而未能真正的實作出更好的感測網路建置方式，雖已了解各式不論是點覆蓋問題、新目標感測或或新的傳送機制的理論及研究，但未能真正實作模擬作出結論，實為相當可惜，希望再未來的研究裡將能以實作的方式作為研究目標。

但進行實作的部份同時會有相當大的問題將會呈現，同質感測網路的過於理想，使實驗過程變成難以了解的異質網路，使研究增加難度，建議以模擬的方式來進行理論上的成果表現，在進行真正實做模擬。

在先前做的多數研究，都是以搭載 GPS 來進行建置網路的方法，希望在未來的研究裡，能考慮在無線感測網路中，只有一部份(並不須全部)的設備具有行動能力進行網路建置。我們也將思考是否能夠真正的實現如同螞蟻行為一般，不攜帶 GPS 來完成網路的建置，則可以大大降低成本，也可以使整個網路更有更大的容錯機制。

希望在未來可以將螞蟻雄兵的概念來進行目標追蹤，傳回訊息之後且能如同螞蟻般集體行動，真正實現無線感測網路自走車之螞蟻行為表現。

## 七、參考文獻

- (1) Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, 2002, Volume: 40, Pages: 102 – 114.
- (2) Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*, Volume 38, Pages: 393-422, 2002.
- (3) Curt Schurgers and Mani B. Srivastava "Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks," *IEEE Military Communications Conference*, 2001, Pages:357 – 361.
- (4) Zack Butler and Daniela Rus "Controlling Mobile Sensors for Monitoring Events with Coverage Constraints," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2004, Volume: 2, Pages: 1568 – 1573.
- (5) Z. Butler and D. Rus, "Event-based motion control for mobile-sensor networks" *IEEE Pervasive Computing*, 2003, Pages: 34 – 42.
- (6) Mohamed Younis, Moustafa Youssef, and Khaled Arisha "Energy Aware Routing in Cluster-Based Sensor Networks", 10th *IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunications Systems*, 2002, Pages: 129 – 136.
- (7) C.-F. Huang and Y.-C. Tseng, "The Coverage Problem in a Wireless Sensor Network", *ACM Mobile Networks and Applications (MONET)*, special issue on Wireless Sensor Networks (to appear).
- (8) Shu Zhou, Min-You Wu, and Wei Shu "Finding Optimal Placements for Mobile Sensors: Wireless Sensor Network Topology Adjustment," *IEEE 6th Circuits and Systems Symposium on Emerging Technologies: Mobile and Wireless Communication*, 2004, Volume: 2, Pages: 529 – 532.
- (9) J. A. Bondy and U. S. R. Murty, *Graph Theory with Applications*, Macmillan Press, 1976.
- (10) Qiangfeng Jiang and D. Manivannan, "Routing protocols for sensor networks," *First IEEE Consumer Communications and Networking Conference*, 2004, pp. 93 – 98.
- (11) W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences*, 2000, pp. 3005-3014.
- (12) Hyun-sook Kim and Ki-jun Han, "A power efficient routing protocol based on balanced tree in wireless sensor networks," *Distributed Frameworks for Multimedia Applications*, 2005, pp. 138-143.
- (13) D.Braginsky and D.Estrin "Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks." In *Proc.First ACM Workshop on Sensor Networks and Applications*, Atlanta, GA, USA, October 2002, pp. 22–31.
- (14) T.Banka, G.Tandon, and A.P. Jayasumana, "Zonal Rumor Routing for Wireless Sensor Networks," *International Conference on Information Technology: Coding and Computing*, 2005, vol. 2, pp. 562 – 567.
- (15) Cheng-Fu Chou; Jia-Jang Su; and Chao-Yu Chen." Straight Line Routing for Wireless Sensor Networks," *10th IEEE Symposium on Computers and Communications* , pp. 110-115
- (16) M. Cardei, M. T. Thai, Y. Li, and W. Wu, "Energy-efficient target coverage in wireless sensor networks," in *IEEE INFOCOM*, 2005, vol. 3, pp. 1976-1984.
- (17) M. Cardei, J. Wu, M. Lu, and M. O. Pervaiz, "Maximum network lifetime in wireless

- sensor networks with adjustable sensing ranges,” in *Proceedings of the IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, 2005, vol. 3, pp. 438-445
- (18) Xiaojiang Du and Fengjing Lin, “Efficient multi-class routing protocol for heterogeneous mobile ad hoc networks,” in *International Conference on Broadband Networks*, 2005, vol. 1, pp. 651-658
- (19) Xiaojiang Du and Fengjing Lin, “Improving routing in sensor networks with heterogeneous sensor nodes,” in *IEEE Vehicular Technology Conference*, 2005, vol. 4, pp. 2528 – 2532
- (20) Bevan Das and Vaduvur Bharghavan, "Routing in ad-hoc networks using minimum connected dominating sets," *IEEE ICC*, 1997, vol. 1, pp. 376 - 380
- (21) (21) Stefano Basagni, "Distributed Clustering for Ad Hoc Networks" *IEEE I-SPAN*, 1999, pp. 310 – 315.
- (22) Stefano Basagni, Alessio Carosi, and Chiara Petrioli, "Sensor-DMAC: Dynamic Topology Control for Wireless Sensor Networks," *IEEE VTC*, 2004, vol. 4, pp. 2930 – 2935.
- (23) Rituparna Ghosh and Stefano Basagni, "Napping backbones: energy efficient topology control for wireless sensor networks," *IEEE RWS*, 2006, pp. 611 – 614.
- (24) Jian Ma, Min Gao, Qian Zhang, Lionel M. Ni, and Wenwu Zhu, "Localized Low-Power Topology Control Algorithms in IEEE 802.15.4-based Sensor Networks," *IEEE ICDCS*, 2005, pp. 27 - 36.
- (25) J. Wang and N. Zhong, “Efficient point coverage in wireless sensor networks,” *Journal of Combinatorial Optimization*, vol. 11, no. 3, pp. 291–304, May 2006.
- (26) NCKU CSIE Advanced Data System Laboratory.
- (27) 無線巡邏車實驗手冊, by 鄭凱仁、陳奕成、索維廷, 中華大學.
- (28) <http://www.parallax.com/> 官方網站, Boe-Bot產品手冊.
- (29) [http://www.playrobot.com/home\\_index.htm](http://www.playrobot.com/home_index.htm), 飆機器人入口網站, 普特企業有限公司.