

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

利用螞蟻行為來解決行動式感測網路上連結及覆蓋問題

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2213-E-216-027-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：中華大學資訊工程學系

計畫主持人：俞征武

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 31 日

摘要

無線感測網路(sensor networks)是目前無線通訊上的一個熱烈討論的議題。無線感測器(或稱無線感測器節點)具有小巧的外觀，僅能攜帶有限的能源。感測節點使用後常不再回收亦為其重要的一個特性。感測網路可在我們所欲偵測的區域裡撒下一定數量的感測節點，利用感測器節點搜集該區域的資料。無線感測器常被賦予的任務為監控整個部署區域。也就是整個部署區域的每一點都需要被至少一個感測器的電波所覆蓋，此覆蓋問題便是一個相當基本而且重要的研究問題。近年來的文獻中，研究無線感測網路之覆蓋問題的文獻也日益增多，但是大多以集中式的方法處理或是感測點需搭載全球衛星定位系統(GPS)，或是本身已經知道自己所在之位置的前提下，討論無線感測網路之覆蓋問題。然而我們認為，每個感測器節點都搭載全球衛星定位系統在成本上也會造成相當大的負擔。所以本論文針對網路的覆蓋問題，考慮無搭載全球衛星定位之行動式感測器，並且藉由分散式的演算法及模擬螞蟻的行為來有效地解決感測網路上的覆蓋問題。

關鍵詞(keywords)：感測網路(sensor networks)，覆蓋問題(coverage problem)，螞蟻演算法，分散式計算(distributed computing)

1. 簡介

感測網路(sensor networks) [1, 2]是以眾多體積小的感測器(或稱無線感測器節點)組成。利用各種可行的方式撒入我們希望搜集資訊的區域。接著透過無線電波傳送訊息，架構成一個區域網路。此區域網路可以透過一個Sink(可視為一個Gateway)來當作此感測網路和外界的橋樑。所有感測器搜集到的資訊都會先匯集到Sink，再由Sink將資訊以衛星、Internet或是其它方式傳送給遠方的使用者或伺服器。

使用感測網路可以在人類所無法到達的區域，自動搜集所需的資料。例如，早期在戰爭時，人們為了搜集戰場上的資訊，必須派遣偵察兵搜集。然而偵察兵卻很容易在搜集資訊的同時，被敵軍發現，進而被射殺。又例如，在人們無法到達的災區(例如：地震、火災...等災區)，我們即無法搜集到這些區域的資料，達到即時救援的目的。使用感測網路，使得我們得以克服地理上的障礙，在這些特殊的環境下作即時的監控並收集資訊，並作出適當的應變。感測網路尚有倉儲管理、品質監控，健康醫療協助、家居應用，車輛追蹤及偵測等應用[1, 2]。因此近年來，感測網路上的研究議題受到廣泛的重視。

感測網路上的重要問題為覆蓋問題(the coverage problem)[5]。無線感測器常被賦予的任務為監控整個部署區域。也就是整個部署區域的每一點都需要被至少一個感測器的電波所覆蓋。如同網路連結問題所面臨的因素一樣，整個網路也會出現不被無線電波有效覆蓋的區域，如下圖(圖1.1)所示：同樣的，若是感測網路中有一部份為可移動的感測器，則我們可以透過移動這些感測器來提昇整個網路的覆蓋品質。使得整個感測網路覆蓋的時間，得以延續增長。

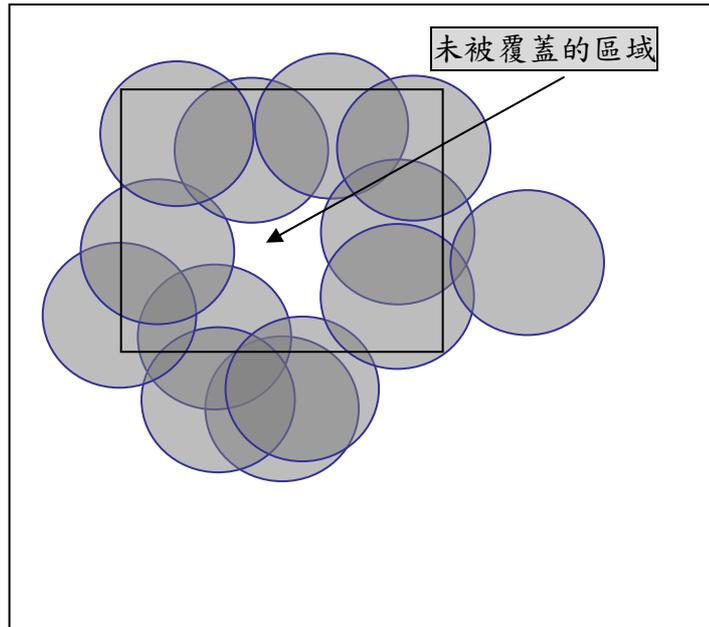


圖1.1：未被覆蓋的區域

目前在網路的覆蓋問題上，大多以感測器搭載GPS來解決無線感測網路的覆蓋問題。在此我們提出以未搭載GPS的感測點來解決此問題。前人的文獻廣泛的以集中式或是有GPS來解決感測網路的覆蓋問題。然而若以集中式的處理方式來解決覆蓋問題的話，那麼可大致上分成兩種可能；第一種是散佈具有強大功能和電力的感測器節點當做server，用來做GPS定位以及分配其底下的感測節點的工作以解決無線感測網路的覆蓋問題。第二種是將每個點都搭載GPS，將其以隨機的方式散佈之後，以分散式或是集中式去計算未被覆蓋到的區域。然而以上的兩種方式，前者的缺點是需要事先計劃好server的放置方式與位置。後者則是每個點搭載都搭載GPS會造成成本上的負擔。感測節點為一種使用後就丟棄的裝置，並不會回收再使用，所以要搭載GPS實為無經濟效益之舉。

有鑑於此，我們提出以未搭載GPS的感測節點以分散式的方式來解決無線感測網路上的覆蓋問題。一方面我們沒有server，所以我們不需要事先計算所謂的server的放置位置。也不需要透過「選舉」去產生一個server，導致工作量的不均勻造成節點的快速死亡。除此之外，我們利用未搭載GPS的感測節點，可以大大的降低感測節點本身的成本，所以在分散式的情況下，使用未搭載GPS的感測節點來解決感測網路的覆蓋問題是非常的有前瞻性的。

在無線網路的覆蓋問題裡，我們期望在沒有GPS的環境下，以分散式的情況，讓每個感測節點能夠自行判斷自己是否位於未被覆蓋到的區域之邊緣。每個點利用自己和鄰居之間的關係，自行進行自己和鄰居之間的網路拓撲之推測，利用各種條件式去判斷，以檢查出自己是否為感測網路上未被覆蓋的區域之邊緣。若以檢查出來自己位於未被覆蓋之區域的邊緣的話，則利用螞蟻的行為，呼叫具有行動力之感測節點前往未被覆蓋之區域，進行覆蓋的動作。並利用螞蟻的特性，找到最短的路徑，讓後來的具行動力之感測節點能夠以此路徑前往，進而得到省電的效果。

無線感測網路的世界裡，網路拓撲的形成是需要大家彼此之間的聯繫以及其相對的關係才能有效的傳送資料。然而，現在大部份的文獻在這方面多以兩種方式來實作無線感測網路。一個就是集中式的，另一種是分散式的。而集中式的感測網路裡，master本身可以和遠方的user來做溝通，本身的功能也較強大。自己

本身可以定位，以告知自己底下的slave node各個的位置。而分散式的無線感測網路則是利用全部或是部份的無線感測節點去附加有GPS定位功能，再幫助其它的感測節點做定位的功能。然而，在這樣的情況下，我們往往需要耗費相當大的成本在感測節點上去製作、加載GPS。在一般的情況下，我們在一個特定需要去感測的區域裡，會撒上絕對多數的點去感測我們所需要的資料。之後再利用有搭載GPS的感測節點去做定位的動作，進而解決網路的一些和位置相關的問題。然而在絕對多數的感測節點中，必需摻雜搭載著GPS的感測節點，這樣子會造成成本的提高。或如果每一個感測節點都具有行動力的話，那麼其成本更是可觀。於是我們認為，若我們能夠想出一個演算法，能夠在部份具有行動力之感測節點之感測網路且沒有GPS的情況下也能解決覆蓋問題的話，則在此領域上必然可以直接的節省感測節點的成本，更可使其它類似於感測網路的網路系統可以利用我們的方法得到更好的效能。

本研究的目標在於如何利用沒有搭載GPS的感測節點，以及僅有部份具有行動力之感測節點所組成的無線感測網路，以分散式系統的方式，解決網路的覆蓋問題。

本研究的將利用圓的性質以及三角函數還有圖論的各種性質，將其套用在我們所設計的演算法中，可以找出未被覆蓋到的區域。之後再利用模擬螞蟻的行為，進而呼叫具有行動力的感測節點前往未被覆蓋到的區域進而覆蓋，則可達成我們預期解決感測網路的覆蓋問題。

假如我們將「被分割的感測器群」或「未被覆蓋的區域」當作「食物」，而「擁有行動能力的感測器」當作「螞蟻」。則利用螞蟻找到食物的行為模式，在行動式感測網路上，將有助於感測器尋找網路之不被覆蓋的區域，並有效地舒緩網路上的覆蓋問題。

我們預期若我們的研究可行的話，則利用我們的演算法可以找到未被覆蓋到的區域，另一方面，利用螞蟻的行為來呼叫具行動力的感測節點去覆蓋未被覆蓋到的區域。以解決無線感測網路中的覆蓋問題。

而我們的研究在無線感測網路之領域來說，其最大的貢獻在於使無線感測網路的覆蓋問題得以無全球衛星定位系統(GPS)的情況下，得到有效的解決方式；另外，若非感測網路，而是ad hoc網路來說，也依然可以經由我們的演算法去解決類似的問題。本篇論文同時也有部份為許立群先生之碩士論文。

2. 前人成果

在此我們簡介行動式感測網路之相關研究。在[14]中, Zhou 等利用動態歸劃(dynamic programming)的技巧，在現存的感測網路上，利用移動最少感測器的方式，來提高最大覆蓋範圍及最大連接強度(使得相互不連接的 Islands 連接起來)。他們的方法是集中式的方法，且他們考慮的感測器需配置 GPS。故一旦感測網路在部署後，感測器因整個網路不連接，而導致無法將資訊傳遞到伺服器的話，將會被視為無用的感測器，將有可能浪費大量有用的感測器。在[16]中, Wang 等提出一個競標通訊協定(bidding protocol)使得感測器得以從高密度(dense areas)的地區移動到低密度(sparse areas)的地區。在此競標通訊協定中，靜態的感測器會偵測出未被覆蓋區域稱為 coverage hole。各個可行動的感測器競標某個 coverage hole，使得其覆蓋效果最高。此種方法有可能造成錯誤的移動，而浪費電源。在[29]中, Wang 等提出一個 proxy-based sensor deployment 方式來分散式地解決覆蓋問題。其概念是為達到省電的考量，先利用邏輯移動(logical movement)來代替實

體不斷多次錯誤移動，直到目標地點確定了，感測器才開始真正移動。他們並未考慮整個網路不連接時該如何作到邏輯移動。此種作法的缺點是會增加訊息複雜度(message complexity)。在[10]中，Butler 和 Rus 考慮如何利用行動式感測器來追蹤目標物，但仍保持監控整個區域的狀況。在[23]中，Huang 等在考慮覆蓋效果下，提出如何利用行動式感測器將感測器分成較多的分離集合(disjoint set)。同一集合只需要一個感測器運作，因此同一集合其它的感測器，可以進入休眠狀態以達到省電的目的。在[20]中，Heo 和 Varshney 利用行動式感測器提出一個佈置(deployment)演算法，使得佈置的品質較好但又不需耗費太多的電源。其它有關行動式感測網路的研究，請參考[15, 16, 18, 19, 21, 22, 24, 25, 26]。

3.定義及背景

所謂的覆蓋問題，就是在一定的區域內，讓感測節點的感測範圍能佈滿該特定的區域，讓該特定的區域沒有一個地方沒有被感測器的感測範圍籠罩。感測節點由於應用的原因，通常我們可預期的感測器並不會很均勻的覆蓋整個我們所感興趣的區域，而是會產生許多未被至少一個感測節點所覆蓋的區域。目前已經得知感測器能夠不需要GPS就能測得自己和範圍內其它感測器的距離。而我們為了能夠完整而準確的收集到整個我們欲感測之區域的相關訊息，我們利用上述之特性以及分散式的感測節點偵測出未被覆蓋到之區域，並希望以具有行動力(或稱作可移動)之感測器節點，透過我們的演算法之機制，前往未被覆蓋到之區域進行覆蓋的動作。

感測器節點就以機動力來討論，具有兩種；第一種是不具有行動力之感測器節點，屬於以往比較傳統之感測器節點。撒入我們欲偵測之區域後，就啟動感測機制，除了執行我們所給予它的任務之外，也會和其所及之溝通範圍，和其它的點溝通；這種感測節點被撒出之後便不再移動，直到電池用盡為止。第二種是具有行動力之感測器節點(或稱作可移動之感測器節點)，這種感測節點具有和靜態的感測節點相同的功能，但是它另外附加了可以移動的功能。而能夠移動是為了能夠驅使具行動力之感測節點能夠前往覆蓋未被覆蓋到的區域；故在討論感測網路的覆蓋問題時，是需要有具行動力之感測節點的。我們在此論文所假設出來的環境則是完全不搭載GPS的。

說到螞蟻的行為，就該介紹一下螞蟻。螞蟻是一種具有特殊社會行為的昆蟲。牠們一生都在照顧蟻后，並維持種族的延續。在螞蟻的族群中，雖然是以蟻后來延續整體族群的生命，但是蟻后本身從來都不會向底下的螞蟻來下達命令。每隻螞蟻，不管是工蟻還是兵蟻或是雄蟻，天生就知道自己的工作，不需要蟻后來下達命令。因此，我們若以電腦的角度而觀之，螞蟻可以說是一種分散式的系統。除此之外，螞蟻因為體積的關係，它們的腦容量也必定受到相當的限制。所以它們也無法做非常複雜的計算。由於這兩個性質，我們也為此深深的相信，螞蟻的行為是可以部份套用在無線感測網路上的。

螞蟻的溝通方式很特別，它們是用一種叫做「費洛蒙」的東西來溝通。而費洛蒙也並非完全一樣。它們會因為不同的事件而散發出不同的費洛蒙。在一種費洛蒙裡，會有許多不一樣的化合物，而這些化合物也會因為在空氣中擴散的速率不同，會讓螞蟻們以循序漸進的方式來行動。例如螞蟻在遇到敵人的時候，會一直繞著敵人打轉，並在敵人的身上分泌一種費洛蒙，這種費洛蒙裡面包含了四種化合物，分別以不同的擴散速率在空氣中傳播。這四種化合物在空氣中擴散最快的是「己醛」(hexanal)，它會讓聞到這個味道的螞蟻知道有騷動，並且讓它們提

高警覺，而這時的螞蟻離敵人還有一段距離。擴散速率第二快的是「己醇」(hexanol)，它會讓聞到這個味道的螞蟻去找騷動的來源，而這時的螞蟻相較於剛剛，已經比較靠近敵人了。第三種化合物是「11酮」(undecanone)，這個化合物會讓聞到它的螞蟻們打開自己的顎，準備應戰。這時的螞蟻已經很靠近敵人了。第四種化合物是「丁基辛酮」(butyloctenal)由於擴散的速率很慢的關係，幾乎只能在敵人的身上聞到。所以這種化合物它會讓螞蟻們直接攻擊。而我們的演算法也是藉由這樣的特性，將可移動之感測器引到欲覆蓋的地方，使之移動，然後再使它進行覆蓋的動作。

螞蟻在找食物的時候，是以自己的巢穴為中心慢慢往外擴張去尋找的。它們會在自己走過的路上留下費洛蒙，藉由這種方法，螞蟻們一直都知道該怎麼回家。就好像童話故事中的主角，為了怕迷路，沿途一直撒麵包屑來做記號一樣。而螞蟻找到了食物之後，它會沿著原路回巢，並且在一樣的路徑上留下另一種費洛蒙，這次的費洛蒙中就夾帶著有食物的訊息。若是還在找食物的同伴聞到這個路徑上的味道，就會跟著這條路徑去找食物。而往回走的螞蟻在回到巢穴後，會告訴其它的螞蟻食物的所在。我們的演算法在這點亦有截取螞蟻的這種特性，使感測器節點能夠以特定的路移動。

4. 主要成果

在我們的研究中，我們假設的環境是無GPS的分散式系統下，有部份感測節點是具有行動力的感測節點，解決無線感測網路的覆蓋問題。目前已經得知感測器節點能夠以不需要GPS的情況下，算出範圍內可溝通之感測器節點與自己的距離。我們也以這樣的前提之下，探討分散式的演算法以解決無線感測網路之覆蓋問題。以下是我們的主要成果。我們的成果主要是以「物理水滴法」和「幾何測量法」為主，在那之前我們再提供兩個比較直觀且方便實行的方法，分別為「鄰居密度法」以及「隨意走動法」。以下就是我們經過研究及探討所得到的成果。以下我們將先後以整體概念和演算法兩個部份來介紹我們的演算法。

4.1 偵測未被覆蓋的區域之低成本之分散式演算法：鄰居密度法

在此我們所提供的第一個方法，是利用一個概略性的物理性質來推測某個感測節點是否位於未被覆蓋之區域的邊緣。我們發現，若感測節點的鄰居數愈少的話，那麼它位於未被覆蓋的區域之周邊的機率就相對的提高。所以我們可以設定一個鄰居的值，若某一個感測節點經由和鄰居溝通後，發現自己的鄰居數少於我們所設定的值，那麼它就會將自己視為一個位於未被覆蓋之感測節點的周圍的一個點。然後進行呼叫具行動力之感測節點的程序。而呼叫具行動力之感測節點的方式是利用廣播的方式進行呼叫。這裡我們利用螞蟻在找食物時，食物的氣息傳到螞蟻時，螞蟻就會前往食物所在地的方法。等封包傳達至具有行動力的感測節點時，再使其前往進行覆蓋的動作。

4.1.1 偵測未被覆蓋之區域的演算法

由於我們的演算法是採取分散式進行，所以每個感測器節點都會自行進行演算法及計算。

首先，每個感測器節點都會發出一個自己的身份的訊息，而在它的溝通距離範圍內的感測器節點都會接收到它的資料進而儲存到自建的鄰居資料表中。除此之外，我們也同時利用電波強度得知對方的距離。如果每個感測器節點都這麼做的話，那麼我們所撒下的感測器節點都有內建屬於自己的範圍之鄰居資料表。因

為沒有相對的位置，所以無法稱之為網路拓撲。

我們所建立的鄰居資料表之內容包含了鄰居的身份以及和鄰居之間的距離。當然每個感測器節點也都能夠知道自己的鄰居數。若鄰居數小於我們所設定的值，那麼感測器節點就會因為鄰居數不足而認定自己為未被覆蓋到之區域的邊緣的感測器節點。進而發出封包呼叫具有行動力之感測器節點。以下是較為詳細的演算法。

和鄰居互相交換資訊並建立鄰居

```
If(自己的鄰居數小於我們所設定的鄰居數)
{
  then 呼叫具行動力之感測節點
}
If(自己的周圍有具行動力之感測節點)
{
  then 呼叫具行動力的感測節點前往進行覆蓋的動作。
}
Else 將封包以flooding的方式向外傳送
```

4.1.2 呼叫具行動力之感測節點之演算法

每個感測器節點也需要去檢查自己是否有收到其它感測器節點所發送過來之呼叫具行動力之感測節點的封包。以下是我們在這個部份的處理方式。

```
If(自己有接收到別人傳送過來的呼叫具行動力之感測節點的封包)
{
  then 將這些封包傳送給自己周圍的鄰居
  If(自己的周圍有具行動力之感測節點)
  {
    then 呼叫具行動力的感測節點前往封包源頭覆蓋。
  }
  Else 將封包以flooding的方式向外傳送
}
```

4.1.3 具行動力之感測節點移動的演算法

如果可移動之感測器節點本身沒有呼叫其它的具行動力之感測器，而且它的電力至少有我們所設定之最低能源下限值，以下是它的處理方式。//寫入下面的演算法中

```
If(自己有被其它的點所呼叫)
{
  Then 選擇尚未有人前往的節點前往覆蓋。//怪怪的
}
```

4.2 偵測未被覆蓋的區域之低成本的分散式演算法：隨意走動法

關於這個方法，我們則是利用螞蟻以不規則的方式，隨意走動尋找食物來解決感測網路的覆蓋問題。我們將一開始撒入的具行動力的感測節點，使其慢慢移動，而移動的方向及距離則是採用隨機的方式來處理。如果具行動力的感測節點走到一個可以讓自己沒有鄰居的地方，則表示它已經發現了一個未覆蓋的區域。然後往回走些許距離直到能夠接收到其它點的微弱訊號為止。之後便不再移動。

4.2.1 偵測未被覆蓋之區域的演算法及具行動力之感測節點之處理方式

因為這個方法主要依賴具行動力之感測器節點的運作，所以以下的方法都是以具有行動力之感測器節點執行。

隨意選擇一個方向及距離

以一次走一個感測距離的方式往自己隨機所選擇出來的目的地走

進行鄰居的偵測

If(沒有鄰居)

{

則原路後退至可以接收到有鄰居的微弱訊號的地方

}

4.3 偵測未被覆蓋的區域之低成本的分散式演算法：物理水滴法

而我們所利用的第一種方法，是利用一些物理性質去推測有可能形成未被覆蓋的區域。譬如說，我們將水倒在地上，它很自然的會由高處流向低處。我們可以利用這點，將比較不可能發生未覆蓋的區域的部份設成高處，然後發出一些具有這些物理性質的封包，它自然就會流向比較「低」的區域，也就是比較有可能發生未被覆蓋的區域。而我們在此以感測節點的鄰居數來作為自己的高度。如果鄰居多，則所在地之感測節點的密度就高，所以比較不會成為未被覆蓋的區域的邊緣。所以我們也依照這個特性，將鄰居數設成高度。所以鄰居數多則高度高，鄰居數低則高度低。而就以覆蓋的角度來說，如果一個感測節點在一開始建立感測網路時，會先發出一個封包給自己的鄰居，讓對方知道有自己的存在。相對的，每一個點都這麼做的話，每個感測節點除了本身發出一個宣告自己的存在的封包之外，還可以接收到溝通範圍內的感測節點所發送出來的宣告封包。藉由這樣的機制，每個點都可以在自己的資料庫建立鄰居的資料。

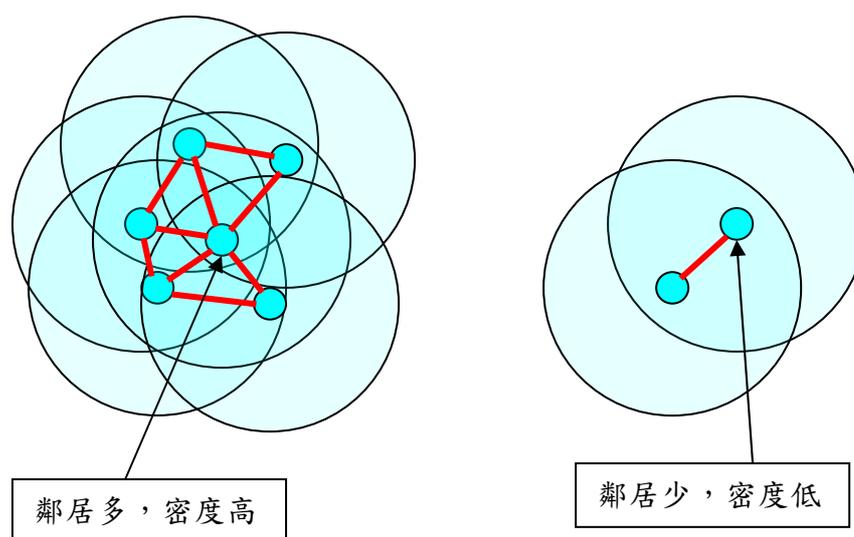


圖4.1：高度示意圖

檢查自己周圍的高度若自己周圍的高度都偏高的話，那麼自己本身就不產生「水滴」(控制封包)。若自己的周圍的高度偏低的話，則由自己本身產生一個「水滴」向高度比較低的方向流。收後封包的點，會將水滴往下一個高度比自己低的

點傳。灑到最後一個點，即所有水滴皆流向最後的那個感測節點時，那麼就由那個感測節點模擬螞蟻的行為，類似於螞蟻找到了食物。而發動食物封包，往高度高的地方傳送就尤如螞蟻找到了食物後，經由原本走過的路徑，再回頭找其他的螞蟻過來覆蓋是一樣的道理。高度高亦表示感測節點的密度高，就容易散佈著閒暇的(就覆蓋問題上，可以移動而不會影響到完全覆蓋之狀態)具行動力之感測節點，在此也可以比喻成閒暇的螞蟻。若閒暇的具行動力之感測節點收到食物氣息後，再沿著食物封包的路徑前往最初發出食物封包的點，然後進行覆蓋的動作。

在此覆蓋的動作是利用發出食物封包的點的訊號，在尚可互相傳遞訊息的前提下，進行遠離的行動。利用這樣的行為達到最大覆蓋。完成覆蓋的動作之後，發送成功覆蓋之訊息給原本具行動力之感測節點所在的區域。

4.3.1 檢查未被覆蓋之區域之演算法

首先，每個感測器節點都得做以下的演算法，以建立物理水滴。

和鄰居交換資訊取得自己的高度和鄰居的高度

if(鄰居的高度超過 β 值)

```
{
  then 則發出一個水滴封包
}
```

if(收到的封包之高度 \geq 自己的高度)

```
{
  then 將這個水滴的高度改成自己的高度
      將這個水滴forward給比自己低的鄰居
}
```

//檢查自己是否符合呼叫mobile node的條件

While (check=true)

```
{
  隨機找一個鄰居
```

if(所有的鄰居都已經檢查)

```
{
  then {
    呼叫mobile node
    check=true //可以結束while迴圈
  }
```

```
else {
  if(找到的鄰居已經被檢查過)
  then 跳過不再檢查
```

```
else {
  if(自己所收到的水滴封包數 $>$ 鄰居的封包數)
```

```
{
  then {
    自己必不為呼叫mobile node的node
    check=true
  }
```

```
else 將這個點mark起來
```

```
}
}
}
```

```
}
```

```
}
```

4.3.2 呼叫可移動之sensor nodes

呼叫可移動之感測器主要的判斷條件是當自己的累積到一定的水滴值，就會將自己視為感測網路之未被覆蓋之區域的邊緣。然後進行呼叫具行動力之感測器的動作。

```
call mobile node
if(response=true)
{
  then 呼叫 mobile node 藉由食物氣味來源的方向前往食物地點
  else {
    if(若食物氣味來源的高度 > 自己的高度)
    {
      then 不forward食物封包
      else forward食物封包出去
    }
  }
}
```

4.3.3 接收到封包的可移動如何移動

當一個具行動力之感測器收到呼叫具行動力之感測器節點之封包時，它必需做一些處理的行動。以下是它的處理方式。

```
If(接收到食物封包)
  Then {
    檢查自己是否可以離開目前的位置
    If(自己可以離開)
    {
      Then 告知食物封包來源端自己可以去食物所在地進行覆蓋
      Else 不做任何回應
    }
  }
```

//接到前往指令

```
If(接收到前往指令)
{
  依照食物封包的來源一步一步往食物所在地移動
}
```

//到達食物所在地之後之行動方式

- 1.到達食物發源之node
- 2.在尚可連結的情況下，依照其電波強度以遠離食物發源之感測節點
- 3.重覆「檢查演算法」
- 4.If(自己為未被覆蓋之周圍的點)

```
{
  Then 依照「原路」發送「食物香味封包」
}
```

5. 實驗之模擬結果

為了印証我們在此篇論文所提供的方法，我們利用 Borland C++ Builder 6.0 撰寫模擬程式。我們的環境假設是假設在一個 650X650 公尺的區域裡，以隨機亂數的方式撒下總數 300 個感測節點，其中具有行動力之感測節點有 100 個，而每個點的感測範圍和溝通範圍皆為 60 公尺。我們將以能源和覆蓋率來比較各項方法的結果。

在此我們提出一個電腦模擬的現象。當我們以電腦亂數散播感測節點的時候，因為是取隨機亂數的方式，所以我們撒播的方式非常的平均，也因此造成感測網路的覆蓋度非常的均勻。因此未被覆蓋到的部份並非一開始我們所想的情況。也因此容易造成誤判的現象。但是這個現象並不影響我們的理論。我們的理論在散播不均勻的情況下可以使用之外，在隨機散佈的情況下也可以使用，雖然有一定的誤判率，但是仍然可以提供一定程度上的覆蓋效果。在此我們利用隨機散佈的情況下，將未被覆蓋的部份做出模擬實驗，得到以下的結果。

表 5. 1：覆蓋率結果之各項比較

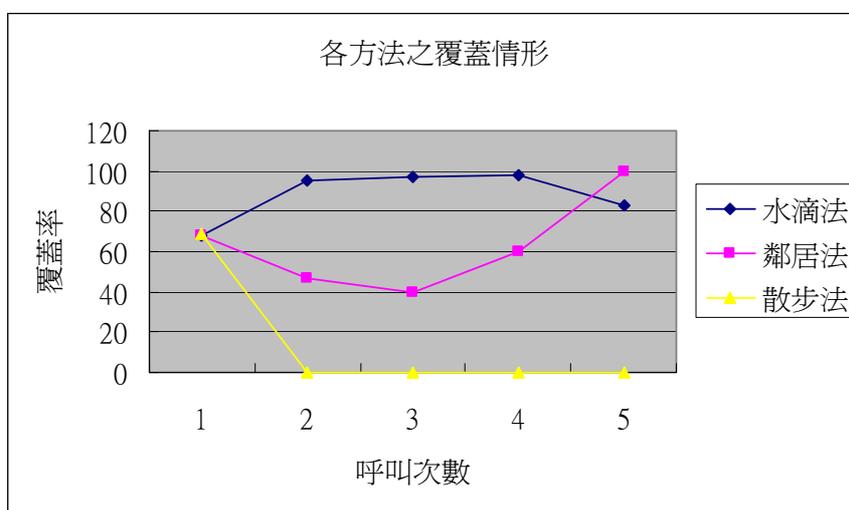


表 5. 2：執行覆蓋動作後之平均能源示意表

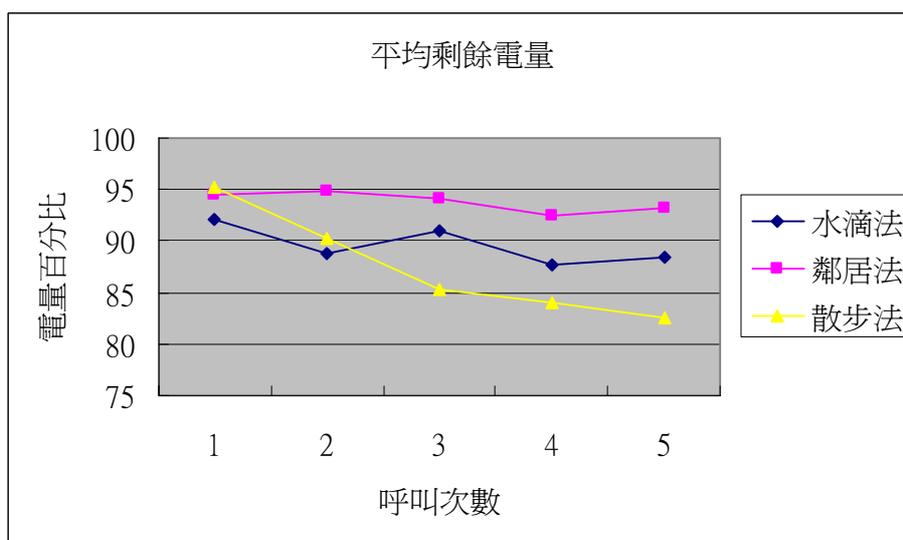


表 5. 3：執行覆蓋動作後之靜態感測器平均能源示意表

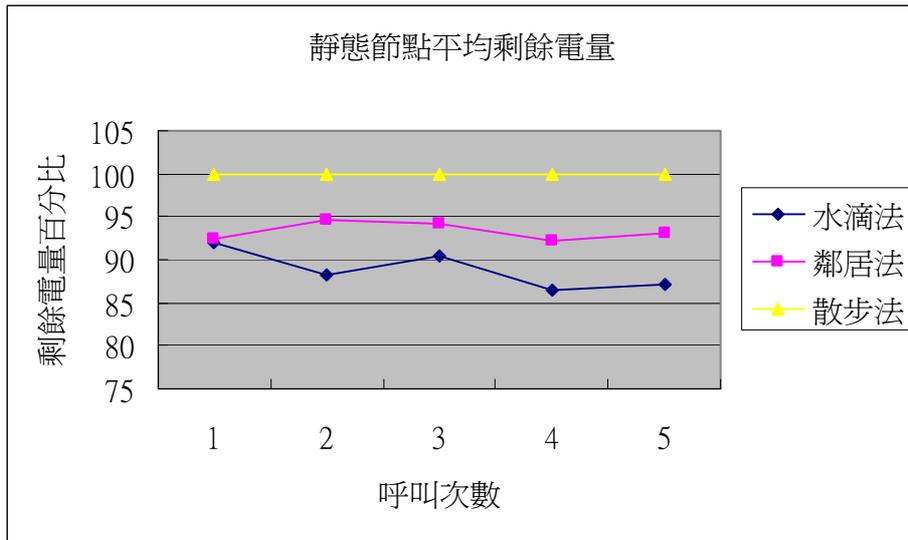
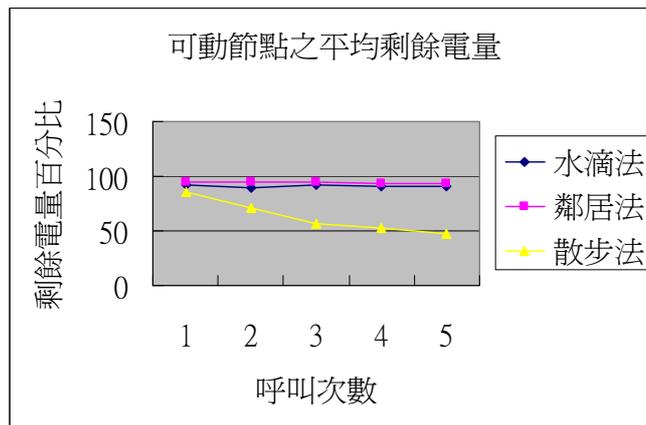


表 5. 4：執行覆蓋動作後之可行動之感測器平均能源示意表



由以上四張表格的結果可以得知，在覆蓋率的部份，我們將未被覆蓋的部份在模擬實驗前和實驗後的效果，以百分比的方式表現出來。物理水滴法在此成功的覆蓋了未被覆蓋到的區域，而鄰居亂走法在此也覆蓋了原先未被覆蓋之部份的局部。因為這其中會有許多的點，在一個被覆蓋的狀態下仍然呼叫具行動力的感測節點，所以感測節點無法有效率的前往真正該覆蓋的區域而導致效果沒有物理水滴法好。隨意走動法在這次的模擬中並沒有能夠有效的解決網路的覆蓋問題。我們認為，隨意走動法需要在一個未被覆蓋之區域很多的地方才能有所效果，否則其表現之好壞就得取決於具行動力之感測節點是否能正好選中需要被覆蓋的地方。

以靜態平均能源來觀察，我們可以發現，隨意走動法的能源需要用到的封包數最少，我們認為那是因為隨意走動法中，需要用到封包的傳送只有在節點互相傳送資料的時候，然而這個方法中，多依靠具行動力的感測節點自行去發覺未被覆蓋的區域，所以對於封包的傳送上，則沒有大量的需求。也因為造成電力使用上的不平均，造成有許多的感測節點已經先行失去電力而無法繼續執行感測的任務。鄰居法因為是利用廣播的方式來傳送封包，所以封包的流量就相對的提高。也因此沒有感測節點電源耗盡，和隨意走動法相

較之下，的確為一個有一定程度好處的方法。然而水滴法在此除了有良好的覆蓋率之外，在封包數上，並沒有因為散播水滴而讓其封包數爆增，和鄰居法相比較，平均只有多出一個封包量而已。

以整體平均能源的角度來觀察，我們可以發現，三種方法的平均剩餘能源百分比都差不多，然而就以可移動之感測器節點的電源來說，隨意走動法造成大量的感測節點用上許多電源，除此之外，更造成靜態的感測節點和具有行動力之感測節點之平均電源量之差距很大。以感測網路的角度來說，理想的狀態是能夠有平均使用的電源量。而且盡可能的使可移動之感測器節點少消耗電源。鄰居密度法在此雖然平均的能源量表現很好，但是其靜態的感測節點和具有行動力的感測節點之能源差距甚小，若呼叫具行動力之感測節點，容易造成可移動的感測節點在移動後能量大量減小，相形之下，物理水滴法之能源差距，是為一個理想的狀態。

6. 結論與未來方向

在這篇論文裡我們提供了多種以無搭載GPS的情況下，以分散式的方式，解決網路的覆蓋問題。並利用實驗的模擬，比較了各種方式的優點與缺點。

隨意走動法因為仰賴具行動力之感測節點以隨機的方式選取來達到覆蓋的目的，所以多走幾次就會形成具行動力之感測節點之大量的能源消耗。以無線感測網路的角度來思考，如果具行動力之無線感測節點電源消耗太快，那麼無線感測網路的完全覆蓋時間就無法延長。而鄰居密度法在判斷自己是否為一個未被覆蓋的區域之邊緣的感測器節點上，不失為一個簡單容易判斷的方式，但是這樣容易造成大量的感測節點呼叫具行動力之感測節點前往覆蓋。而物理水滴法是一個具有判斷力之感測網路覆蓋問題的演算法。由於幾何計算法的實現並不容易，所以未來的目標是進行幾何計算法的實驗，再利用實驗的結果和前述三項演算法比較，驗證各項演算法之優點與缺點。

在長遠的目標來說，我們希望在無線感測網路上，能夠利用無搭載GPS的前提來節省成本之外，更能夠有效率的解決覆蓋的問題。對無線感測網路有一些許的幫助。在無線感測網路的覆蓋問題上，我們相信會有更多好的方法，尤於無線感測網路之覆蓋問題為一個重要的課題，所以我們未來也將致力於更多相關的研究，利用前人及目前的經驗，我們將探討更適用於無線感測網路之覆蓋問題的分散式演算法。我們的今後我們仍然會繼續致力於此方面的研究，以盼能夠對此領域有更多的貢獻。

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) 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.
- (5) 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).
 - (6) Xiang-Yang Li, Peng-Jun Wan, and Ophir Frieder, "Coverage in wireless ad hoc sensor networks," IEEE Transactions on Computers, vol. 52, no. 6, Pages: 1-11, 2003.
 - (7) S.Adlakha and M. Srivastava, "Critical density thresholds for coverage in wireless sensor networks" IEEE Wireless Communications and Networking, 2003, Pages: 1615 – 1620.
 - (8) Jindong Tan, O.M. Lozano, Ning Xi, and Weihua Sheng, "Multiple vehicle systems for sensor network area coverage," Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation, 2004, Volume: 5 , Pages:4666 – 4670.
 - (9) Jun Lu and T. Suda, "Coverage-aware self-scheduling in sensor networks" IEEE 18th Annual Workshop on Computer Communications, 2003, Pages: 117 – 123.
 - (10) 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.
 - (11) P. Berman, G. Calinescu, C. Shah, and A. Zelikovsky, "Power Efficient Monitoring Management in Sensor Networks", IEEE Conference Wireless Communications and Networking, 2004, Volume: 4, Pages:2329 – 2334.
 - (12) Guiling Wang, Guohong Cao, and T.La Porta, "Movement-assisted sensor deployment" INFOCOM, 2004, Volume: 4, Pages: 2469 – 2479.
 - (13) Di Tian and N.D. Georganas,"Connectivity maintenance and coverage preservation in wireless sensor networks," Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2004, Volume: 2, Pages:1097 – 1100.
 - (14) 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.
 - (15) Jindong Tan and Ning Xi, "Integration of sensing, computation, communication and cooperation for distributed mobile sensor networks" 2003 IEEE International Conference on Robotics, Intelligent Systems and Signal Processing, 2003, Volume: 1, Pages: 54 – 59.
 - (16) Guiling Wang, Guohong Cao, and T. LaPorta, "A bidding protocol for deploying mobile sensors" IEEE International Conference Network Protocols, 2003, Pages:315 – 324.
 - (17) Z. Butler and D. Rus, "Event-based motion control for mobile-sensor networks" IEEE Pervasive Computing, 2003, Pages: 34 – 42.
 - (18) P. Ogren, E. Fiorelli, and N.E. Leonard "Cooperative control of mobile sensor networks: Adaptive gradient climbing in a distributed environment" IEEE Transactions on Automatic Control, 2004, Volume: 49, Pages: 1292 – 1302.
 - (19) Kian Hsiang Low, Wee Kheng Leow, and Jr. M.H Ang., "Reactive, distributed layered architecture for resource-bounded multi-robot cooperation: application to mobile sensor network coverage" IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004, Volume: 4, Pages: 3747 – 3752.
 - (20) Nojeong Heo and P.K. Varshney, "An intelligent deployment and clustering

- algorithm for a distributed mobile sensor network” IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2003, Volume: 5, Pages:4576 – 4581.
- (21) Yihan Li, S.S.Panwar, and S. Burugupalli, ”A Mobile Sensor Network Using Autonomously Controlled Animals” First International Conference on Broadband Networks, 2004, Pages: 742 – 744.
 - (22) V. Zadorozhny, P.K. Chrysanthis, and A. Labrinidis, ”Algebraic optimization of data delivery patterns in mobile sensor networks” 15th International Workshop on Database and Expert Systems Applications, 2004, Pages:668 – 672.
 - (23) Joengmin Hwang, D.H.C. Du, and E. Kusmierk, “Energy efficient organization of mobile sensor networks,” ICPP 2004, Pages: 84 – 91.
 - (24) S. Poduri and G.S. Sukhatme, “Constrained coverage for mobile sensor networks,” IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004, Volume: 1, Pages: 165 – 171.
 - (25) M. Rahimi, H. Shah, G.S.Sukhatme, J. Heideman, and D.Estrin, ”Studying the feasibility of energy harvesting in a mobile sensor network” IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2003, Volume: 1, Pages:19 – 24.
 - (26) Jin Zhu, S.Papavassiliou, and Sheng Xu, ”Modeling and analyzing the dynamics of mobile wireless sensor networking infrastructures,” Vehicular Technology Conference, 2002, Volume: 3, Pages:1550 – 1554.
 - (27) Paula Weston, “Ants: swarm intelligence, “<http://www.answersingenesis.org/creation/v24/i1/ants.asp>.
 - (28) J. Sarfati, “Ants find their way by advanced mathematics”, TJ 15(2):11-12, 2001.
 - (29) Guiling Wang, Guohong Cao, and Tom La Porta, “Proxy-based sensor deployment for mobile sensor networks,” MASS 2004, Pages: 493-502.
 - (30) J. A. Bondy and U. S. R. Murty, *Graph Theory with Applications*, Macmillan Press, 1976.
 - (31) Marco Dorigo, Vittorio Maniezzo, and Alberto Colorni, “Ant system: optimization by a colony of cooperating agents,” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, vol. 26, no. 1, pp. 29-41, 1996.