

異質無線感測網路目標覆蓋問題之研究

吳建意
中華大學資訊工程學系
m09402064@chu.edu.tw

俞征武
中華大學資訊工程學系
cwYu@chu.edu.tw

陳建宏
中華大學資訊工程學系
jameschen@chu.edu.tw

摘要

近幾年的無線感測網路通訊的相關研究中,無線感測網路(wireless sensor network)已成為相當熱門的研究方向。利用低成本、小體積、可裝載各種感測元件的無線感測器所建構的網路可以在各個領域上廣泛的應用。一般來說,因為成本和環境因素的考量,在一定的感測區域內所部屬的感測器是有限的,加上感測器所擁有的電量(power)也是有限的,因此我們可以知道無線感測網路的生命週期是有限的。在這篇我們探討在異質型感測網路(Heterogeneous Sensor Networks)下搭載著多重感測元件的感測器如何使用排程來達到有效的延長感測網路的生命週期(lifetime),並且研究在目標覆蓋問題上有哪些進階變化的數學模型及相對應之問題。我們還利用基因演算法(genetic algorithm)來解多目標線性規劃的問題,找出最大的網路存活時間及最佳的監控品質。

關鍵詞：無線感測網路、異質型感測網路、基因演算法

1. 緒論

無線感測網路(wireless sensor networks)是以眾多低成本且體積小的感測器,利用任何可行的方式密集的散佈在需要偵測的範圍之內。每一個感測點在所在感測半徑之內偵測到不同的訊號(例如:溫度、壓力、溼度、光度、聲音等),並在其傳送半徑之內的感測點可以互相直接傳遞訊息。這些感測器同時具有計算處理能力。利用多個這種感測器便可架構成一個無線感測網路。

部屬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

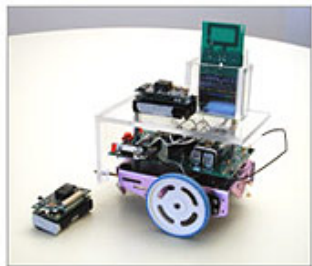
戰爭時,人們為了搜集戰場上的資訊,必須派遣偵察兵搜集。然而偵察兵卻很容易在搜集資訊的同時,被敵軍發現,進而被射殺。又例如,在人們無法到達的災區(例如:地震、火災...等),我們即無法搜集到這些區域的資料,達到即時救援的目的。使用感測網路,使得我們得以克服地理上的障礙,在這些特殊的環境下作即時的監控並收集資訊,並作出適當的應變。感測網路尚有倉儲管理、品質監控,健康醫療協助及監控、自然災害的預警、家居應用,車輛追蹤及偵測等應用。

近年來,感測網路上的研究議題受到廣泛的重視。這些問題包含如何媒介存取控制(media access control)[5,6]、節省電源(power saving)[3]、目標追蹤(target tracking)、網路的資料傳送路徑(routing)之方式[9]、網路的覆蓋問題(coverage)[4,7]、網路的連結強度等。感測網路可以透過一個Sink(可視為一個Gateway)來當作此感測網路和外界的橋樑。所有感測器收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。因為感測器的體積小,它所能搭載的電池也就相對的小。而且此電池是無線感測器主要的電源,想更換電池以延長感測器的壽命在無線感測網路上是一個較難實現的方式。因此,如何妥善運用有限的電池電力,一直是無線感測網路上一個相當重要的研究議題。

最近,無線感測網路出現幾個新的議題,簡單介紹如下。

(1) 行動式感測網路(mobile sensor networks):當感測器加上行動載具後,如同機器人一般,已經可以做到短距離的移動,如圖一所示。這項技術的進步,使得學者開始考慮,利用具行動力的感測器(mobile sensor),來重新思考許多在非移動的感測網路上的一些未

解決的研究問題。行動式感測網路儼然成為感測網路上的一個新議題。



圖一、有行動能力的感測網路。

(2) 目標覆蓋問題(Target Coverage Problem): 覆蓋問題(coverage problem)在無線感測網路上是非常基本且核心的議題。一般所提及的覆蓋問題是指在監測的範圍內的每一處，都被至少一個感測器覆蓋的前提下，考慮如何延長該網路的監控時間。Cardei等人根據監測範圍的類型，將覆蓋問題分類為下列類型[10]：(a) 區域覆蓋問題 (Area Coverage Problem)：監測範圍是一個區域(area)。(b) 目標覆蓋 (Target Coverage Problem)：監測範圍是一些目標點 (或位置座標)的集合。前人的成果大多討論區域覆蓋問題，然而近年來，目標覆蓋問題也受到一些學者的關注[7,11,13,14]。

(3) 異質感測網路(heterogeneous sensor networks):一般而言，我們可將感測網路分成兩類：同質(homogeneous)感測網路及異質(heterogeneous)感測網路。同質感測網路內的感測器擁有相同的一種感測功能、同等級的電量、而且也有相同大小的通訊範圍(communication range)及硬體限制。至今，有許多感測網路的研究大多考慮同質感測網路的相關問題上。然而在真實的環境下，佈署於同一網路上的感測器可擁有不同的感測範圍或功率、不同等級的電量、不同特性的感測元件，甚至同一個晶片搭載多重感測元件的感測器。我們稱之為異質感測網路。如MICA2 mote 即可是此種網路。近年來，異質感測網路上的研究受到不少學者的關注[12, 14]。

然而，在先前的文獻上，一般對異質感測網路存在不同的定義。我們在此將之區分為感測範圍上的異質及感測功能上的異質兩種：

- (1) 感測範圍上的異質：即不同感測器擁有不同的感測範圍及擁有不同等級的電量。
- (2) 感測功能上的異質：即不同感測器擁有俱有不同感測能力。

在此論文中，我們部署的異質感測網路中，將包含以上兩種不同類型的感測器。

在大部分同質感測網路中，所有的感測器都有相同的型態，即有相同的通訊能力及特性。雖然同質感測網路比較容易去做分析，且有著較差的可調節性。在真實環境下，擁有不同特性的感測器是可行的。因此在這我們探討在一個感測網路下擁有不同特性的感測器。

異質感測網路可分做很多類，如可搭載多重感測元件的感測器、效能不同的感測器、感測範圍大小不同的感測器等等。在這我們探討的是感測器搭載著不同的感測元件可對某個區域做多重感測的功能。再利用排程使感測器輪流做感測的動作來達到延長網路存活時間。以及感測器收集到的資料如何回傳給使用者。例如，戰場上的軍事偵測、醫學上的醫療看護監控、身心障礙輔助、自然災害的警報與監視等。

感測器的電力主要來自於電池，因此如何善加利用現有的電力，使感測器的存活時間能增加，這是無線感測網路中相當重要的一個要去解決的問題。

在本篇論文，未來的研究中我們希望在異質型感測網路下能夠在感測器感測的時間內，一定有條路徑能夠傳資料到sink不會斷掉。在之前的論文還沒有提出在異質型感測網路下如何建一條路徑傳送資料。所以我們提出找出一條路徑使資料能回傳到使用者且找出比前人還好的感測器收集資料排程。

前人所做的無線感測網路的目標大多都是感測整個區域的資訊，然後所有感測器將資訊收集好回傳給使用者。在這裡我們考慮的是只有部分區域需要被感測，因此只有部分感測器可以運作，其他感測器可以休息，已達到節省能源提高網路存活時間。

本論文定義出允許涵蓋較廣的目標覆蓋問題。也就是，每一個目標所需的監控的需求可有所不同。此新目標覆蓋問題允許兩種不同的改變。

1. 不同目標所需的感測功能不需一致：前人討論的問題，皆假設每個目標的監控功能一致。但實際應用時，即可能因目標地的不同而需作不同的監控。例如，辦公室（目標A）需要監控聲音，而置物的倉庫（目標B）可能同時需要濕度和溫度的監控。因此，前人常用的集合涵蓋(set cover)技巧將無法解決此問題（細部說明請參考研究方法）。

2. 不同目標所需的監控品質可不同：前人討論的問題，皆假設每個目標的監控需24小時監控。但實際應用時，即可能因應用的不同而需要不同品質的監控時間或頻率。例如，若干重要的事件（如毒氣外洩）需要同時2個以上的同功能感測器的覆蓋以保證好的訊號品質。又例如，當發生臨時需要新增監控目標，可利用呼叫鄰近的行動式感測節點移動至目標地（或在多個目標地間移動，以提供非24小時（如一天三次）臨時的監控。）本論文將監控的品質允許不同以符合多樣的監控需求。

本論文分成以下章節：第2節介紹說明無線感測網路、目標覆蓋、基因演算法以及前人論文相關研究。第3節介紹數學模型及問題之相關研究以及將前人問題延伸更複雜的問題。第4節介紹說明基因演算法以及多目標線性規劃問題解。第5節結論以及討論未來將更進一步延伸更複雜問題。

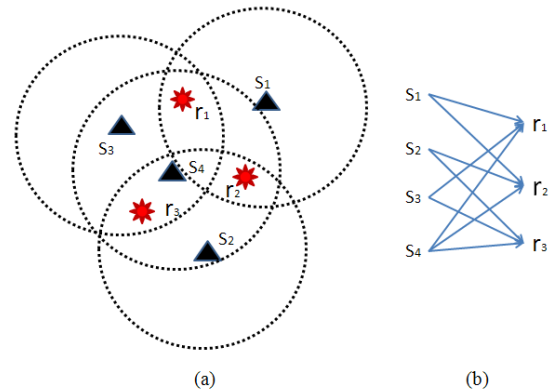
2. 相關研究與成果

在[1]中，主要介紹了三種主要模式的理論基礎，演化策略(Evolution Strategy, 簡稱ES)、演化式規劃(Evolutionary Programming, 簡稱EP)和基因演算法(Genetic Algorithm, 簡稱GA)。對它們的行為準則、個體結構、以及群體組織做詳細的說明、比較與分析。

在[2]中，主要介紹基因演算法的設計方法與步驟，包括基因編碼方式、適應函數、挑選機制、以及交配與突變機制的設計。

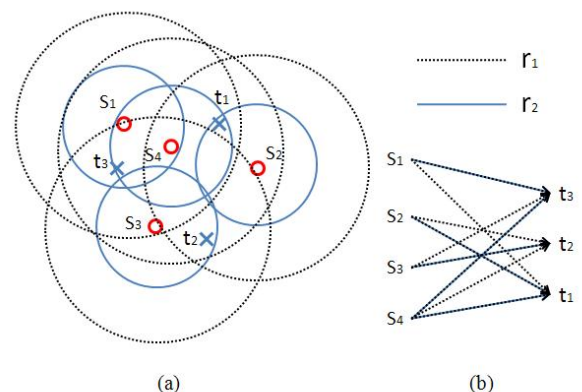
Cardei等在[10]中探討目標覆蓋問題，且以二分圖(Bipartite Graph)用來表示無線感測器與目標之間的覆蓋關係。將目標點覆蓋問題轉化成最大化集合涵蓋問題(maximum set cover problem)，目的是為了使網路的存活時間達到最大，並以提出線性規劃為基礎的啟發式演算法與集中式的貪婪演算法。而這篇

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a表示感測器有覆蓋哪些目標物，圖b則表示圖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 。



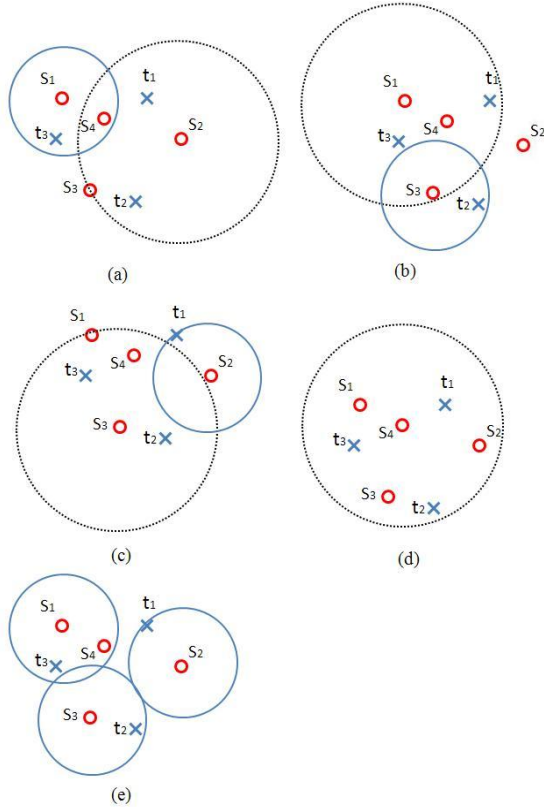
圖二.當T集合表示為目標物，S表示為感測器。圖(a)為感測器覆蓋的情況，圖(b)為感測器覆蓋目標物的關係二分圖。

在[11]中，Cardei等探討目標覆蓋問題。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，延長網路的存活時間。



圖三.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(a)為感測器覆蓋的情況,圖(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。



圖四. 圖三之最大集合覆蓋。

在[7]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主要目的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。

在[13]中,Yang等在單一感測元件情況下,探討網路覆蓋需達到k-coverage的目標覆蓋問題,並同時考慮維持網路的連通。本篇中,也提出了以LP為基礎的集中式演算法,與兩個分散式的演算法。

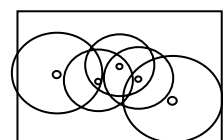
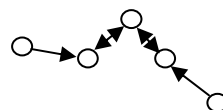
在[8]中,Shih等推廣解決前人集合涵蓋問題的技巧,提出在解決多重感測元件之異質型無線感測網路上的目標點覆蓋問題(Target Coverage Problem)。該論文提出,剩餘電量

優先考量式演算法(Remaining Energy First Algorithm, REFA),REFA將使感測器以本身電量的多寡來決定是否開啟感測元件。為進一步提升感測器間能量消耗的平衡,該論文又提出能源效率優先考量式演算法(Energy Efficient First Algorithm, EEFA)。有別於REFA,EEFA將同時考量本身與鄰居的電量與感測能力,使整個網路的能源消耗更有效率。

總結:前人有關目標監控的成果,都是建立於每一個目標所需的監控需求須一致。當每一個目標所需的監控的需求不同時,他們提出的集合覆蓋的技巧,就不足於解決之新的問題。前人也未論及如何對動態增加監控目標時,作排程之設計。

3. 數學模型及相對應之問題

幾何圖(Geometry graphs)將用於本論文所有子計劃的主要數學模型。此幾何圖十分合適用來表示感測網路,定義如後。一個幾何圖 $G=(V, E)$,其中 V 是由平面上 n 個點 $=\{0, 1, 2, \dots, n-1\}$ 所組成,而如果任 V 中的兩個點(vertex) i 和 j 的距離小於 r_i 則 $[i, j]$ 之間存在一個有方向的線(directed arc)由 i 指向 j 。也就是說如果 $d(i, j) \leq r_i$ 則 $[i, j] \in E$,此處 d 函數代表兩個node之間的歐基里德距離(Euclidean distance)。例如將一個無線感測網路佈置在一個矩型的場地,此場地可視為出現在前面定義中的一個幾何上的空間。每個點 i 視為一個無線感測器,而其收發功率範圍(power range)皆為 r_i 。任兩點 i 和 j 有一條線(arc) 由 i 指向 j 代表此無線感測器 i 可直接傳資料給 j 。整個場地一共有 n 個感測器部署於場地上。簡言之,此一個無線感測網路系統 $N=(n, l, m)$ 代表有 n 個的無線感測器,此設備是分配在一個長為 l 寬為 m 的空間中。在圖五中,左圖代表右邊無線網路系統的一個有方向的幾何圖。



圖五.幾何圖及其代表的無線感測網路。

當我們將功率範圍改為感測範圍(sensing range)或改為不同大小的值時，利用類似的定義，我們可以用另一個圖來代感測網路的覆蓋狀況或一個異質感測網路的連結狀況。

根據前人對於目標覆蓋的研究，為了解決對新的目標覆蓋問題之研究，我們須假設及回答下列問題：

問題一：如何對不同目標覆蓋問題定義不同的需求？包含監測功能上的需求及監測次數上的需求？

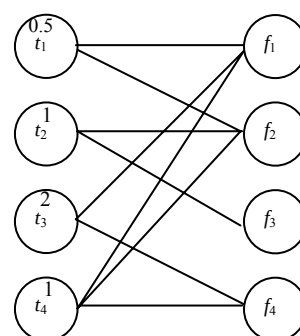
我們將利用一個系統 $C=(T, F, P)$ 來代表整個目標覆蓋之監控需求。 T 代表所有目標的集合。 F 代表監測功能上的需求。 P 代表監測次數上的需求。每個 C 中的 $c=(t, f, p)$ 為一向量(vector)。

- 其中 t 為一平面上的目標 $t=(x, y)$ 。
- 集合 s 代表此目標所需的所有監測功能,例如 $f=\{f_1, f_2, f_3\}$ 代表目標 t 需要 f_1, f_2, f_3 三種監測的功能。
- 正實數(positive real number) p 代表此目標單位時間內所需的監測次數。
 - 當 $p=1$ 代表單位時間內需被 1 個符合 f 所有需求的感測器監測。
 - 當 $p>1$ 代表單位時間內同時需被 p 個符合 f 所有需求的感測器監測。
 - 當 $p<1$ 代表 p 單位時間內需被 1 個符合 f 需求的感測器監測。如 $p=0.5$ ，代表單位時間內有一半時間被感測到即可。

譬如， $c=(t=(10, 50), f=(f_1, f_2), p=0.5)$ 就代表座標(10, 50)的目標需要兩個監測功能 f_1 及 f_2 ，但單位時間內只需監控 1/2 次，也就是說兩個單位時間僅需監測一次。我們可利用此系統表示多樣的需求。前人的研究不是限定 $|F|=1$ 或 $P=1$ ，而那樣的簡化問題就已經是 NP-hard，故此新目標覆蓋問題也是 NP-hard。

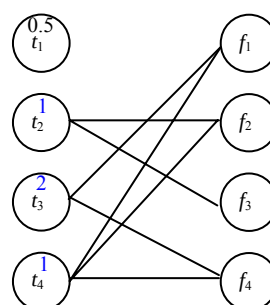
問題二：感測器如何有效地分配於不同需求的目標或目標群間？

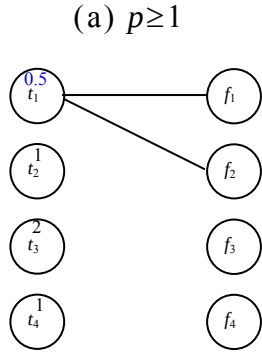
我們可利用二分圖(bipartite graphs)來表示感測功能和目標之間的關係。例如， $C=\{c_1=((10, 50), (f_1, f_2), 0.5), c_2=((20, 60), (f_2, f_3), 1), c_3=((30, 40), (f_1, f_4), 2), c_4=((50, 30), (f_1, f_2, f_4), 1)\}$ 可用下圖表示。



圖六.感測功能和目標之間的關係圖。

圖六上的左邊的點(vertex)代表目標(t_i)及右邊的點代表所需的感測功能(f_i)而且左邊的點上面的數字代表監控次數的需求。我們將依據不同的 p 值(即 $p<1$ 或 $p\geq 1$)分開處理排程問題。如下圖。

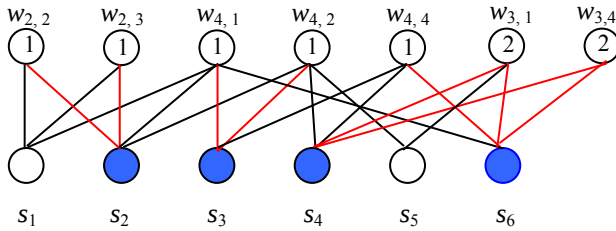




(b) $p < 1$

圖七. 分解成不同的 p 值之關係圖。

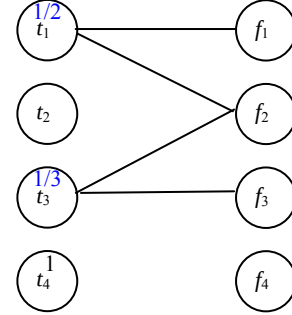
當 $p \geq 1$ 時，最直接的解法為需先產生下列的二分圖 $G=(W, S)$ 。這邊 $w_{i,j}$ 代表目標 t_i 需要 f_j 的功能監測，而 s_k 和 $w_{i,j}$ 有連線代表感測器 s_k 提供覆蓋 f_j 的功能監測且覆蓋目標 t_i 。每個 W 的 set cover 必需使其連接到 $w_{i,j}$ 的邊個數 (degree) 必需大於或等於該點上的數字，才可滿足目標的覆蓋需求。即在每一個 set cover 中， $w_{3,1}$ 及 $w_{3,4}$ 需至少兩個 edge 以上，其他至少一個 edge 以上。此集合涵蓋問題我們稱之為有**限制的集合涵蓋問題** (the constrained set cover problem)。如圖八即是一組有效的集合涵蓋。此問題若直接利用 [8, 10, 11] 之 maximum set cover 技巧，則不能立即解之。



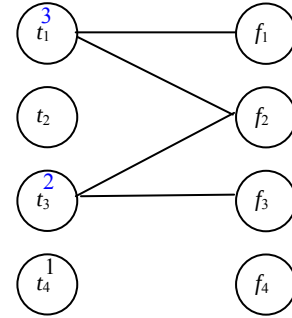
圖八. 有**限制的集合涵蓋問題**。

當 $p < 1$ 時，則可將單位時間作切割成若干 time slots 及最小公倍數之概念建造另一個圖，再按照上述的演算法解之。假設感測功能和目標之間的關係圖為圖九(a)圖，則若同一單位時間切割為 $6 = \text{LCM}(2, 3)$ 個 time slots 時， t_1 需要

$6 * 1/2 = 3$ time slots，而 t_3 需要 $6 * 1/3 = 2$ time slots (如圖九(b)圖)。每個感測器 s_i 也可切割為 6 個 time slots 用 $s_{i,t1}, s_{i,t2}, \dots, s_{i,t6}$ 來表示。當 t_1 需要 3 time slots 時，我們將 $w_{i,j}$ 也複製 3 份 (如 $w_{1,1,1}, w_{1,1,2}, w_{1,1,3}$ 代表第 1, 2, 3 time slot 下覆蓋目標 t_1 且需要功能監測 f_1) 表示需要 6 個 time slots 中需有 3 time slots 的監控服務 (圖十)。

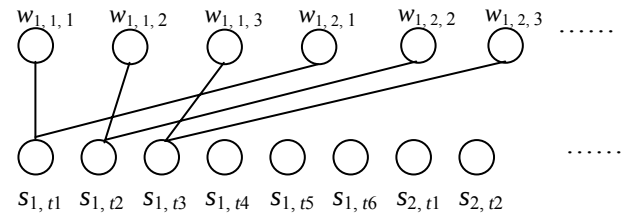


(a)



(b)

圖九. 將單位時間作切割成若干 time slots。

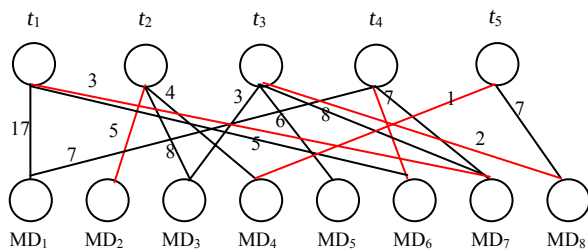
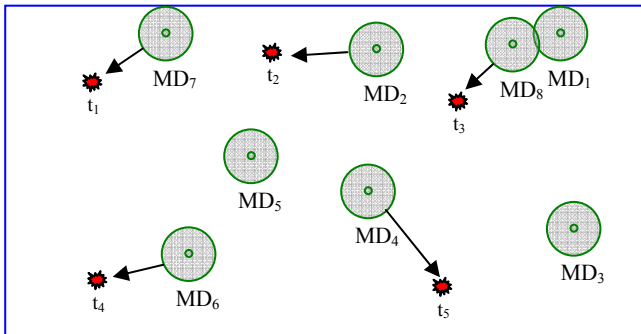


圖十. 單位時間切割後之二分圖。

上述的問題若考量 time slots 之分配及感測器的電源存量 (可在 S 集合的點加上權重 (weight)) 則此問題更加複雜。

問題三：行動式的感測器如何有效地分配於不同需求的目標或目標群間？

當臨時需要新增監控目標，可利用呼叫鄰近的行動式感測器移動至目標地。在同質的目標覆蓋問題下，希望所耗損的電力最少，我們可計算所有行動式感測節點到所有新增監控目標之間的需耗損的電力(形成一個有成本的二分圖)後，從其中找最小成本完美配對(perfect matching with minimum cost, 即找到不共用端點的邊集合(edge set)且搭配到每個目標(t_i)且成本合(sum)最低)，如圖十一。若每個新增監控目標無法至少搭配一個行動式感測器，則需考慮一個行動式感測器巡邏數個目標之間。如此的問題將變成圖論上利用最小成本的圈(minimum cost of cycles)覆蓋相關的目標問題。若考慮異質多功能的目標覆蓋則如先前討論的方法再加上成本的考量。



圖十一．最小成本完美配對。

4. 多目標基因演算法

4.1 基因演算法介紹

基因演算法(Genetic algorithm)[1,2]是一種自然選擇過程的最佳化搜尋機制。主要精神就是在仿效生物界的「物競天擇，適者生存」的自然進化法則。基因演算法主要是用來解決最佳化問題的領域，目前有很多種基因演算法，但所有的機制都類似圖十二所表示的虛擬碼。

GA()

```
{
    generate randomly an initial population;
    evaluate fitness of each individual;
    while convergence not achieved and
        max. number of generation not exceeded
    {
        select individuals probabilistically
            according to their fitness;
        perform genetic operations on the selected
            individual;
    }
}
```

圖十二．基因演算法虛擬碼

當我們在找尋問題的最佳解時，會發現有些的問題並沒有辦法以一個目標函數(Objective Function)來決定問題解是否是好的。而有可能是需要多個目標函數來加以判斷問題解是否是好的。

4.2 符號表示及數學定義

4.2.1 符號表示

為了將多目標線性規劃問題公式化，對於一些符號作如下的介紹：

- N : 感測器個數
- M : 目標點個數
- K : 時間秒數
- i : 感測器編號
- j : 單位時間
- T : 最大網路存活時間
- S_{ij} : 感測器 i 在第 j 秒時的狀態($S_{ij}=1$ ，如果感測器 i 開啟；反之 $S_{ij}=0$)
- TC_{lj} : 目標點 l 在第 j 秒時是否被覆蓋($TC_{lj}=1$ ，如果目標點被 l 覆蓋；反之 $TC_{lj}=0$)
- p_{ij} : 感測器 i 在第 j 秒時所剩餘的電量
 $\forall i, j \quad p_{ij} = IP_i - PSR \times \text{Bitcounting}(s_{ij}) \geq 0$

$$\text{Bitcounting}(s_{ij}) = \sum_{1 \leq j \leq k} s_{ij}, \text{ for } 1 \leq i \leq N$$

- S_i : 為感測器 i 的座標
- TA_l : 目標點 l 的座標
- IP_i : 感測器 i 的起始電量
- PSR : 感測半徑 R 時所需耗的電量
- d_{ij} : 為目標點 l 在第 j 秒時與最近之感測器的距離

$$\forall d_{ij} = \min \{d(TA_l, S_i)\}, \text{ where } s_{ij} = 1 \text{ and}$$

$$S_i \in \Gamma(TA_l), \text{ where } 1 \leq i \leq N$$

- D_j : 在第 j 秒所有目標點與齊感測半徑內最近感測器的距離平均值

$$D_j = \sum_{1 \leq l \leq M} \frac{(d_{lj})^\alpha}{M}, 2 \leq \alpha \leq 6$$

- ME : 所有時間內最短距離平均值的總和
- $\Gamma(TA_l)$: 目標點 l 鄰近的感測器資訊

$$\Gamma(TA_l) = \{d(TA_l, S_i) \leq R, \text{ where}$$

$$S_i \in S, TA_l \in TA\}, \text{ for } i = 1 \dots N; l = 1 \dots M$$

$$TA_l = (x_l, y_l), S_i = (x_i, y_i),$$

$$d(TA_l, S_i) = \sqrt{(x_l - x_i)^2 + (y_l - y_i)^2}$$

4.2.2 求解目標

在此多目標線性規劃中我們有兩個目標，分別描述如下：

1. 最大網路存活時間(*Maximum T*): 這目標主要是對於異質無線網路下找出最大的網路存活時間。找出每個感測器(i)的執行的最後時間 $time(i)$ 定義為如(4-1)之運算式，而最大網路存活時間(T)定義為如(4-2)之運算式。

$$(4-1) \text{ time}(i) = \begin{cases} \max(j), & \text{if } \exists s_{ij} = 1 \quad \forall i, j \\ 0, & \text{if } s_{ij} = 0 \quad \forall i, j \end{cases}$$

$$(4-2) \quad T = \max\{time(i)\}, \text{ where } 1 \leq i \leq N$$

2. 最小監控品質(*Minimum ME*): 感測器距離目標物的遠近影響著訊號的品質，因此我們探討在每個時間點上所有感測器對於

目標物的訊號品質作為監控，以期望找出整個排程中最有效益的監控品質。

$$(4-3) \quad D_j = \sum_{1 \leq l \leq M} \frac{(d_{lj})^\alpha}{M}, 2 \leq \alpha \leq 6$$

$$(4-4) \quad ME = \sum_{1 \leq j \leq k} D_j$$

4.2.3 限制條件的處理方式

為了確保每個執行監控的感測器必須要有足夠的電源，如(4-5)之運算式，若違反此條件則會重新修正。

$$(4-5) \quad s_{ij} = 1 \rightarrow p_{ij-1} \geq PSR \text{ and if } d(S_i, TA_l) \leq R$$

$$\text{than } TC_{ij} = 1$$

確保每個時間上所有的目標物都確實被監控著，如(4-6)(4-7)之運算式，若違反此條件則會重新修正至都被監控為止。

$$(4-6) \quad \exists l \quad TC_{lj} = 1 \rightarrow \forall l \quad TC_{lj} = 1$$

$$(4-7)$$

$$\forall TC_{lj} = 1, \text{ for } \forall TC_{lj-1} = 1, \text{ where } 1 \leq j \leq K$$

5. 結論與未來工作

本論文提出新的數學理論模型來表示此新的目標覆蓋問題之研究，此問題研究所考慮到的問題將比前人之研究會來的更接近實際生活上的需求及限制，在此我們將會利用多目標基因演算法來解決此目標覆蓋的排程演算法。未來我們將會模擬實驗驗證此排程演算法的效能，設計並分析出其他相關的集中式及分散式排程演算法來和前人論文的作法做比較。之後更進一步進化問題，如第3節所提出的問題，當臨時需要新增的監控目標，設計出有效率的演算法以呼叫鄰近的行動式感測器移動至目標地並分析其時間複雜度。

參考文獻

- [1] 林豐澤，“演化式計算(上): 演化式演算法的三種理論模式”，2005 智慧科技

- 與應用統計學報，文化大學，2005年6月。
- [2] 林豐澤，“演化式計算(下)：演化式演算法的三種理論模式”，2005 智慧科技與應用統計學報，文化大學，2005年6月。
 - [3] Curt Schurgers and Mani B. Srivastava “Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks,” IEEE Military Communications Conference, 2001, pp. 357 – 361.
 - [4] 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).
 - [5] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, “A Survey on Sensor Networks,” IEEE Communications Magazine, 2002, vol. 40, pp. 102 – 114.
 - [6] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, “Wireless sensor networks: a survey,” Computer Networks, Volume 38, pp. 393-422, 2002
 - [7] 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.
 - [8] Kuei-Ping Shih, Hung-Chang Chen, and Bo-Jun Liu, “Energy-Efficient Target Coverage in Wireless Heterogeneous Sensor Networks with Multiple Sensing Units” in *Proceedings of the Second Workshop on Wireless, Ad Hoc, and Sensor Networks*, August. 2006, pp. 117-124
 - [9] 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, pp. 129 – 136.
 - [10] 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.
 - [11] 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.
 - [12] N. Li and J. C. Hou, “Topology control in heterogeneous wireless networks: problems and solutions,” *IEEE INFOCOM*, 2004, vol. 1, pp.232-243.
 - [13] S. Yang, F. Dai, M. Cardei, and J. Wu, “On multiple point coverage in wireless sensor networks,” in *IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS)*, 2005, pp. 757-764.
 - [14] 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.