

# 延長無線感測網路上目標覆蓋生命週期

索維廷

中華大學

m09602019@chu.edu.tw

俞征武

中華大學

cwyu@chu.edu.tw

吳建意

中華大學

b09002070@hotmail.com

**摘要**—本論文是在無線感測網路上以調整感測半徑和搭載行動載具來延長目標監控的生命週期。目標監控的問題近幾年也成為大家都在探討的問題。雖然有人證明為NP-complete 的問題，有許多學者將此問題轉換成其他問題，例如最大資料流量是考慮到目標監控的資料傳輸的電量消耗問題，只有考慮到將感測資料回傳到基地台，並沒有考慮到感測時所消耗的電量。我們會先針對無行動載具的無線感測網路的監控問題討論，找出幾個有關影響演算法效能的因素，並提出我們的演算法，以模擬實驗來比較各種演算法效能，實驗結果中，考慮較多因素的演算法會達到預期的效果。行動式無線感測網路我們提出了一個演算法給搭載行動載具的感測器去計算是否該移動，並且往哪裡移動，我們發現電量的多寡對於行動載具的感測器是相當重要的。

**關鍵詞**—感測半徑、行動式感測器、目標監控

## 一、簡介

近年來無線感測網路因為技術層面的提升，吸引了各方面的研究和廣泛的應用。無線感測網路的感測器特性是體積小、成本低、低電量消耗，並且可以感應自身周圍的環境，並且能將自身感測到的資料與在自己通訊半徑內的感測器透過無線傳輸協定(如：zigbee)做資料的傳輸。無線感測網路可以感測和處理環境的資料並且可以透過無線網路將資料傳遞給鄰近的感測點[5]。無線感測網路可以用在許多用途上，像是健康照顧、軍事用途和監控系統上。例如在健康照顧上，我們可以在老人、病人或是幼童的身上或是可以攜帶的配件上加上感測器，用來觀察他們的身體狀況。在軍事用途上，我們可以在戰場上

部署無線感測器來偵測敵人車輛或是軍隊的移動[3]，或是在建築物裡部署感測點來確保安全性和夜間監視。

而無線感測網路的電源是裝備電池來當能源使用，所以每個感測器的電量是有限制的，如何去有效的利用這有限的資源一直是一個很重要的議題。這些議題包含如何媒介存取控制(medium access control)[9, 10]、節省電源(power saving)[5]、目標追蹤(target tracking)、網路的資料傳送路徑(routing)[16]之方式、網路的覆蓋問題(coverage)[3, 12]、網路的連結強度等。

通常覆蓋問題可以大致上區分成三個大議題來做探討：目標覆蓋問題(Targets Coverage Problem)、區域覆蓋問題(Area Coverage Problem)和柵欄覆蓋問題(Barrier Coverage Problem)。

以上三個大議題之中，區域覆蓋問題(Area Coverage Problem)在近年來已經有許多學者提出很好的解決方式[7, 11]。另外兩個問題在最近也被許多學者討論與研究中[4, 14, 15]。

我們假設感測器的感測半徑的大小和電量消耗的大小有關係，距離越遠所需的電量會越大，假設可以搭載多個感測元件[1]而使感測器的感測半徑與電量消耗成一個線性關係(和距離平方成正比)[13]，如此就可以開啟感測半徑較小的元件以達到節省電源的目的。

近年來也有人在研究如何將感測器搭載行動載具，使得在異質感測網路下全域覆蓋的監控

時間更久[18]，或是讓路由可以更有效率[2]等等，所以我們打算將行動載具概念套用在目標監控這問題上，使目標監控的時間是否能夠再更延長。我們會針對可調整感測半徑和行動式無線感測器來做研究，而模擬實驗也得知，這兩個要件是延長整體無線感測網路目標監控的因素。

## 二、相關成果

在[12]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)。

Cardei 等在[14]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。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。此篇論文的假設是，當一個感測器開啟，它的感測距離都是開啟到最大。

在[15]中 Cardei 等探討目標點覆蓋問題。假設每一個感測器都搭載著兩個感測元件，可以開啟不同的距離。開啟距離遠近的不同，會造成電量消耗的不同。由於距離遠近可以調整，也可以找到更多的覆蓋集合。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)，由於感測半徑的調整，可以找出更多的覆蓋集合。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。

在[13]中，作者提出了在不同的感測元件和每個目標物都有相同數量不同性質待測屬性的情況下，使用剩餘電量優先考量式演算法(Remaining Energy First Algorithm, REFA)和能源效率優先考量式演算法(Energy Efficient First Algorithm, EEFA)概念，提出了兩個相同名字的分散式演算法，此問題雖然也是目標覆蓋問題，但是條件是在目標物都有相同數量不同性質待測屬性的情況下，感測器不一定會有全部的感測元件，利用感測器的感測元件在它鄰近的感測器之中的重要性來決定感測器開啟的先後順序。

在[8, 17] 中，此兩篇論文都考慮到行動式的感測網路，其中[17]作者提出了以行動式的感測器，依據資料傳輸的斷點來做行動式的感測網路移動的位置，而並非隨機的移動，隨機的移動可能會造成多餘的電量消耗。在[8]之中作者提出了一個分散式的演算法，撤下去的行動式感測器根據作者的演算法移動到達成區域覆蓋。

## 三、靜態感測網路之目標覆蓋問題

接下來，我們會先針對每一個感測器並無搭

載行動載具的狀況去介紹我們所設計出來的演算法以及會影響整體監控生命週期長度的因素狀況分析，而會影響到最明顯的就是在演算法中考慮到電量的因素。

我們假設每一個感測器所搭載的感測元件是有  $R-C$  個， $R$  是最大的感測半徑， $C$  是開啟感測元件至少要消耗的電量。每一個感測的半徑差為一單位長度，所以我們可以視為每一個感測器的感測半徑為可完整調整到與目標物的距離相同，感測器消耗的電量與距離的平方成正比[15]，一個感測器可同時感測到在感測半徑內多個目標物。

設計有效的排程方法使整個網路存活時間延長是本節的目標。以下幾個演算法都是集中式演算法。其中大致上分為 Greedy Algorithm I、Greedy Algorithm II、Greedy Algorithm III、Maximum Weighted Matching Algorithm 和 Estimated Lifetime Algorithm，每一個的特性都有些許的不同。

設計感測器監控目標物的演算法影響到生命週期下列許多的因素，包括：

1. 一個感測器監控到目標物數目。
2. 感測器電池剩餘電量。
3. 平衡感測器的電量消耗：考慮感測器電量消耗的情況。
4. 感測器與目標物之間的距離。
5. 感測器移動所消耗之電量。
6. 感測器分佈之情況。
7. 目標物分佈之情況。

在這一節沒有探討到可移動的感測點，所以我們在這針對我們提出的演算法考慮的因素做列表，也就是前四項因素列表如下：

表 I：影響的因素

	一個感測器監控到目標物數目	感測器電池剩餘電量	感測器整體電量消耗平衡狀況	感測器與目標物之間的距離
Greedy I	No	No	No	No
Greedy II	No	Yes	No	Yes
Greedy III	No	Yes	Yes	Yes
MWM	No	Yes	Yes	Yes
LEA	Yes	Yes	Yes	Yes

首先介紹三個比較典型的貪婪演算法，與前人的直覺想法類似[15]，在此我們拿來比較這三個貪婪法不同的地方。[15]探討是感測半徑固定，當感測器開啟時就是最大的感測半徑。貪婪演算法(Greedy algorithm I)的做法一開始先去對目標物做檢查的動作，判斷該目標物是否已被監控，若沒有，則會去找任意一個在感測半徑內且電量足夠的感測器做開啟監控此目標物的動作，倘若感測器監控的範圍內還有未監控的目標物則會標記成已被監控，然後在陸續找尋是否有目標物上未被監控，直到所有的目標物都被監控才結束。

直覺來說，當感測半徑不做任何調整時，所消耗的電量會比有調整時來的大。所以，最簡單的改進方式就是調整感測半徑。而在這篇論文中，我們假設感測半徑是可以剛好調整到所要監控的目標物距離相等的整數情況下去做實驗的模擬(Greedy algorithm II)。

除了調整感測半徑外，對於感測器的選擇上我們也做了些調整。感測器會找其中一個距離目標物最近的且電量是鄰居之中最大的感測器開啟，這樣可以考慮到感測器電池剩餘電量的平衡狀況，進而延長感測網路的目標覆蓋生命週期。在實驗模擬中我們對此三種方式會去做一個探討。下表II為改進後的貪婪演算法。Greedy Algorithm III中會用到的符號作如下的介紹：

$T_i$ ：所要監控的目標點。

$S_j$ ：可以調整監控 Range 大小的感測器。

$i$ ：目標點編號  $i=1\sim n$ 。

$j$ ：感測器編號  $j=1\sim m$ 。

$R$ ：Sensor 最大感測半徑。

$E_j$ ：感測器  $j$  剩餘的電量。

*lifetime*：計算網路存活時間的一個變數，從 0 開始，直到有一個目標不能被感測器監控為止。

表 II: Greedy Algorithm III

Step 1：依序檢查目標  $T_i$  是否被覆蓋，如果是，換下一個目標，回到 Step 1；否則繼續 Step 2。

Step 2：是否有  $S_j$  尚未開啟且存在於  $T_i$  的  $R$  半徑範圍內，有就到 Step 3；沒有就找下一個目標，回到 Step 1。

Step 3： $S_j$  的剩餘電量  $E_j$  是否足夠開啟到  $T_i$ ，且剩餘電量為  $S_j$  之中最多的，如果是則紀錄  $S_j$  回到 Step 3；

3.1：找到 Step 3 中紀錄  $S_j$  電量是最大或是距離  $T_i$  最短的  $S_j$ ，開啟  $S_j$  到  $T_i$  的感測半徑大小。

Step 4：檢查在  $S_j$  開啟到  $T_i$  的範圍內是否有其他未被監控的 Target，有就將其狀態改成已監控。若是所有的 Target 都檢查完就到 Step 5；否就回到 Step 1。

Step 5：檢查是否全部 Target 都被監控，如果是則 *lifetime*++ 且回到 Step 1；否則結束。

兩個主要影響網路監控時間的因素為完全覆蓋和一個感測器監控到一個目標物，我們要來利用這兩個概念，使用一個很傳統的圖論技巧-maximum matching algorithm [6]來解決此問題。

以下我們對於轉換成配對問題(Maximum Weighted Perfect Matching)[6]演算法舉例作說明。我們假設有 5 個感測器與 5 個目標物，想要找出最長的網路存活時間，首先我們先紀錄每個感測器對於每個目標物的預估監控時間值，如果無法監控到的就表示為 0，如圖一。

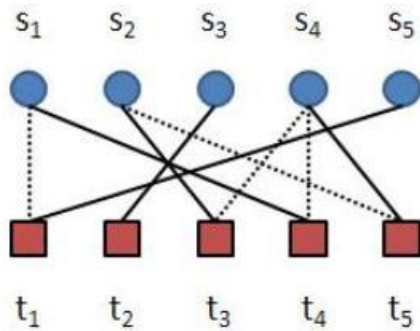
	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$
$s_1$	5	1	1	3	2
$s_2$	0	1	1	3	4
$s_3$	2	5	4	3	0
$s_4$	2	2	3	4	4
$s_5$	6	2	0	0	1

圖一：單位回合內目標物和感測器的預估表。

接下來，我們利用此陣列做最大預估監控時間配對 (Maximum Weighted Perfect Matching)[6]，得到配對出的預估監控時間值總和為最大。再去將感測器開啟到與配對到目標物的距離，若是有感測器開啟時可以覆蓋到多個目標時，會將不必要開啟的感測器關閉。

圖一配對好的感測器和目標物如圖二， $S_1$  到  $S_5$  為感測器， $T_1$  到  $T_5$  為目標物，實線為配對好的感測器和目標物，虛線是配對時所用到的輔助線。

表 III 就是我們 MWPM 演算法。



圖二：圖一的配對結果。

表 III：Maximum Weighted Perfect Matching Algorithm

- Step 1：去計算每一個感測器可以監控到各個目標的最大監控時間，若是監控不到就以 0 為代表。
- Step 2：若是感測器較多，就把目標物補上虛擬點否則就將感測器補上虛擬點。
- Step 3：將各個感測器監控到各個目標物的預估回合數存入一個二維矩陣(最大值×最大值)之中，以便做最大配對。
- Step 4：利用 Maximum Weighted Perfect Matching[6]來決定哪一個 sensor  $j$  去監控哪一個 Target  $i$ 。
- Step 5：檢查是否有目標沒被監控到，有的話就將它和它最近的且電量足夠的感測器配對。
- Step 6：開啟與目標物配對的感測器，若是開啟時有覆蓋到其他的目標物，將其所覆蓋的目標物紀錄成已被監控。
- Step 7：檢查此回合的開啟感測器電量是否足夠，若是有感測器電量不足就終止，否則就是扣除當回合所消耗掉的電量， $lifetime++$ ，回 Step 1。

依照二分圖的想法，我們提出了一個考量覆蓋目標多寡、感測半徑開啟大小和感測器電池剩餘電量的演算法。因為有預估目標存活時間的長短，依照目標存活的長短來做排序，從存活時間

最短的目標物優先考量開啟它周圍的感測器。此演算法稱為 Estimated Lifetime Algorithm (ELT)。

ELT 的演算法最主要是希望能夠去優先監控到預估存活回合數較小的目標物，並且能夠選擇開啟哪一個感測器能夠同時監控到最多還沒被監控的目標物，而且又是比較省電的狀況下。以下是對此演算法的說明。

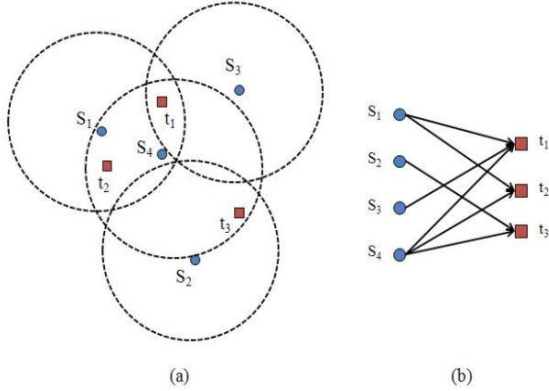
在圖三(a)中， $S_1=(115, 384)$ 、 $S_2=(258, 266)$ 、 $S_3=(363, 474)$ 、 $S_4=(231, 366)$ 是四個無線感測器的位置坐標， $t_1=(215, 468)$ 、 $t_2=(94, 339)$ 、 $t_3=(367, 320)$ 分別是三個需要被監控的目標點，無線感測器與目標點的覆蓋關係可以利用二分圖來表示，如圖三(b)；我們利用二分圖就可以清楚的看出感測器與目標點的覆蓋關係。

依照我們所提出的演算法，先找出每個目標點  $T_i$  的預估存活回合數(Estimated Lifetime Algorithm,  $ELT_i$ )， $ELT_i$ 公式化的定義如下：

$ELT_i$ ：在  $T_i$  附近鄰居  $R$  圓周半徑範圍內所存在的所有  $S_j$ ，理想上只監控到  $T_i$  的情形下，即  $T_i$  能夠被監控最大的回合數。

依照我們提出的方式可以得到  $ELT_1=10$ ，所有在  $t_2$  附近感測器都只監控  $t_2$  時可以得到  $ELT_2=25$ ，依此類推可得到  $ELT_3=5$ ，因此我們可以知道整個網路存活時間不會超過 5 回合，當我們排程時就先由  $ELT$  值最小的  $t_3$  開始做排程。

由  $t_3$  開始做排程，監控  $t_3$  的感測器有  $S_2$ 、 $S_4$ ，經過我們的 ELT 演算法所計算的效益值  $B_{ij}$ (Benefit)可以得到第一回合開啟  $S_4$  監控  $t_3$  的效益會比開啟  $S_2$  監控  $t_3$  的效益好，以此類推我們可以得到此網路最大存活時間為 5 回合，恰好同等於我們的預估存活回合數( $ELT$ )。



圖三：\$t\$ 是目標物集合。\$S\$ 是感測器集合。(a)感測器覆蓋狀況。(b)5(a)的二分圖。

為了將目標覆蓋問題公式化，對於在演算法中會用到的符號作如下的介紹：

\$B\_{ji}\$：效益值，評估當感測器 \$j\$ 開啟監控到目標物 \$i\$ 有多少個目標物可以被監控到。

$$B_{ji} = \frac{E_j}{e_{ji}} \times C_{ji} \quad \text{當 } S_j \in \phi(T_i).$$

\$C\_{ji}\$：當 \$S\_j\$ 監控 \$T\_i\$ 時，此範圍內尚未被監控到的目標物。

\$e\_{ji}\$：當 \$S\_j\$ 監控 \$T\_i\$ 時，感測器開啟所要消耗的感測元件電量。

\$T\_i\$：需要被監控的目標物

\$S\_j\$：用來監控目標物可調感測半徑的感測器個數。

\$i\$：目標物編號。\$i=1\sim n\$。

\$j\$：感測器編號。\$j=1\sim m\$。

\$R\$：感測器最大的感測半徑大小。

\$\phi(T\_i)\$：在目標物 \$i\$ 的感測半徑內的感測器。

$$\phi(T_i) = \{ S_j \mid d(T_i, S_j) \leq R, \text{ where } S_j \in S, T_i \in T \}$$

where \$1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m, T\_i = (x\_i, y\_i), S\_j = (x\_j, y\_j)\$,

$$d(T_i, S_j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad .$$

\$r\_{ji}\$：\$T\_i\$ 和 \$S\_j\$ 的距離，當 \$S\_j\$ 監控 \$T\_i\$。

$$r_{ji} = d(T_i, S_j) \leq R, \text{ where } S_j \in \phi(T_i), T_i \in T .$$

\$E\_{max}\$：感測器開啟最大感測半徑所消耗的最大電量。

\$E\_j\$：\$S\_j\$ 的剩餘電量。

\$Lifetime\$：此感測網路存活的回合數。

ELT 的演算法如下表：

表 IV: Estimated Lifetime Algorithm

Step 1：記錄 \$\phi(T_i)\$。
Step 2：計算 \$e_{ji}\$。
Step 3：依序去計算 \$T_i\$ 的 \$ELT_i\$ 值 (\$i=1,2,3,\dots,n\$)。
Step 4：將 \$T_i\$ 依照 \$ELT_i\$ 值的大小由小排到大。
Step 5：由 \$T_i\$ 開始排程 (\$ELT_i\$ 數值最小的優先排程 \$i=1,2,3,\dots,n\$)。
5.1：找 \$T_i\$ 半徑 \$R\$ 內所存在的 \$S_j\$
5.2：依照找到 \$S_j\$ 的順序去計算 \$C_{ji}\$、\$B_{ji}\$
5.3：找 \$B_{ji}\$ 中最大值紀錄 \$j\$，檢查 \$S_i\$ 電量 \$E_j\$ 是否足以開啟監控 \$T_i\$。若足夠則到 Step 5.4 否則跳出到 Step 6。
5.4：在 \$S_j\$ 半徑 \$r_{ji}\$ 內的目標狀態標記成已監控，將目前電量 \$E_j\$ 扣除監控所耗的電量 \$e_{ji}\$，\$E_j = E_j - e_{ji}\$。
5.5：如果所有的目標已被監控，則到 Step 5.6，否則回到 Step 5.1。
5.6：結束一回合 \$Lifetime++\$，回到 Step 5.1。
Step 6：\$Lifetime\$ 為最大存活回合數。

#### 四、行動式感測網路之目標覆蓋問題

我們會對於感測器若是有搭載行動載具，感測器可以透過移動位置之後，可以開啟較省電的感測元件來監控目標來達到省電的效果，首先會先將感測器和目標物的關係透過簡化圖來分析其中的各種狀況和可能性，一開始將感測器移動

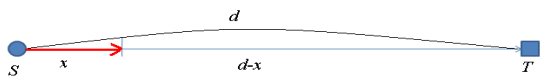


完成之後再以第三節的演算法去做排程感測器的開啟順序，以達到延長整體目標監控感測網路的存活時間。

在此感測器的假設與上一節相同。每一個感測器都搭載行動載具和 GPS 可以知道移動的坐標。移動所需要的電量是每移動單位長度需要  $m$  單位電量。

首先，假設有一個感測器  $S$ ， $S$  搭載著行動載具和 GPS 可以進行位置的移動，其移動一單位長度所需要的電量是  $m$ ，每發送一單位的監控封包所需電量是  $e$ ， $S$  的感測半徑  $R$  之內有一個目標物  $T$ ， $S$  和  $T$  的距離為  $d$ ，當  $S$  往前移動  $x$  單位距離後，可以使感測器開啟較省電的感測元件，並且延長  $S$  對於  $T$  的監控單位時間。

如下圖  $S$  和  $T$  的關係：



圖四：感測器和目標物關係圖

感測元件開啟一次所消耗的電量可以用一個數學模組來表示，因為和距離的平方正比的關係，所以可以寫成  $e(d-x)^2+C$ ，其中  $C$  是一個常數，因為當目標物和感測器接近到某一個距離之後，會變成至少會消耗掉  $C$  的基本電量。當感測器尚未移動時的電量若是  $En$ ，移動  $x$  單位距離後的電量為  $En-mx$ ，感測器剩餘電量可以監控到目標物  $T$  幾回合我們可以用  $F(x)$  來代表，而移動之後的剩餘電量可以監控到目標物  $T$  的數學模組如下：

$$F(x) = \frac{En - mx}{e(d-x)^2 + C} \quad (1)$$

當然，很直覺的來說，移動所消耗掉的電量若是比兩個不同的感測元件之間的電量差大，也就是說在監控回合數上會就沒有移動感測器的必要性。在感測器移動前可以推導出移動前的感測器可以監控到  $T$  幾回合，如圖四，其式子如下：

$$G(x) = \frac{En}{ed^2 + C} \quad (2)$$

我們能夠將(1)和(2)其中的幾個參數為已知，而只有  $x$  為未知數，則函式  $M(x)=F(x)-G(x)$  為一個曲線函式， $M(X)$  函式如下：

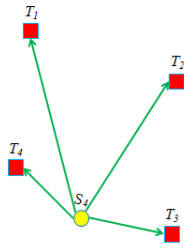
$$M(x) = \frac{En - mx}{e(d-x)^2 + C} - \frac{En}{ed^2 + C} \quad (3)$$

依照(3)式，我們可以求出其極值，也就可以知道感測器應該向目標物移動多少後才能夠達到極值，對  $x$  微分，我們可以導出：

$$x = d - \frac{m}{2eEn}(ed^2 + C) \quad (4)$$

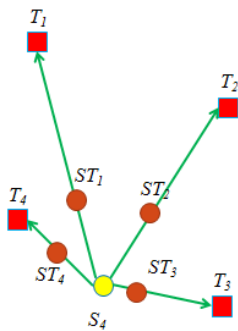
由(4)我們可以發現，感測器的移動和剩餘電量  $En$  有極大的關係，當  $En$  越大時，也就是剩餘電量越多，可以移動的距離就越大，因為  $En$  位於分母，當  $En$  越大， $d$  所要減去的數值就越小，也就是可以移動的距離越遠。

當感測器的感測半徑內有兩個或是多個目標物的時候，如圖五，我們有多個目標物，感測器要如果決定往哪一個方向移動，以及該移動多少的距離，都是會影響到目標覆蓋的生命週期。



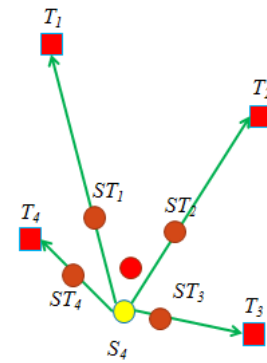
圖五：一個感測器對多個目標物

若是今天感測器  $S$  的感測半徑內有四個鄰居  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  和  $T_4$ ，則感測器  $S_4$  可以移動的方向就會有四個方向，我們會希望能夠監控到這幾個目標物都能延長監控的時間，所以我們可以利用 4.2 節所計算出來的式子來計算到各個目標物最有效率的坐標點  $ST$ ，如圖六，可以找到四個目標物的四個點。



圖六：多個目標物與感測器移動推算

分別找到與各個目標物移動後有效率延長生命週期的點之後，因為我們要考慮到延長這幾個點的生命週期，因為這幾個點有可能在不同的方向，所以一個比較直覺的想法，找到這幾個點的中間點的坐標位置，如圖七，推算感測器移動到那中心點後，是否能夠延長監控這幾個目標物的生命週期，若是可以就讓感測器移動到那中心點上，表 VII



圖七：多個目標物利用 4.2 節式子所推算出來的中心點

表 II: Moving Algorithm

- |   |
|---|
| <p>Step 1：計算感測器的感測半徑內的目標物個數。</p> <p>Step 2：如果感測器的感測半徑內只有一個目標物，直接利用 4.1 節(5)的公式代入計算出感測器是否需要移動，需要移動到 2.1，否則到 Step 4。</p> <p>2.1：以 4.2 節(5)推導的算式計算出向目標物移動多少距離。</p> <p>Step 3：若是感測器的感測半徑內有多個目標物，利用 4.2 節所推導的式子，計算出移動到每一個目標物的最有效省電的坐標，再求這些坐標的中心點，若是感測器移動到那中心點的監控時間比在原位長，則移動到那中心點。否則不移動，到 Step 4。</p> <p>Step 4：感測器移動結束，監控的排程利用 LEA 或其他有效率的演算法來決定開啟的大小和感測器何時開啟。</p> |
|---|

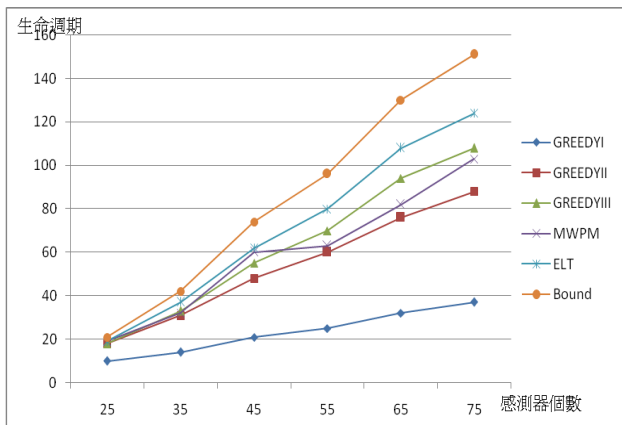
## 五、實驗

本論文實驗是以模擬的方式進行實驗，在面積  $500m \times 500m$  下，假設每個感測器的初始電量為  $En=500$  單位，最大感測範圍  $R=150$  公尺，開啟最大感測範圍時的耗電量為 100 單位。



我們使用 BCB 作為本論文的模擬器。本實驗模擬的環境設定所有的感測器與目標點都是以隨機的方式佈置在待測區域中。

本實驗主要考慮無線感測器的監控耗電對於整個無線感測網路存活時間的分析，因此在本實驗只考慮感測器監控時所耗的電量，其他如資料傳遞、休眠狀態等等所需耗電的情況在本實驗暫不考慮。每一次實驗都是隨機佈點且保證每一個情形所有的目標至少會被一個感測器覆蓋，當有一個目標沒有被感測(監控)到時，就會重新隨機產生目標位置和感測器位置。本模擬實驗在相同的實驗模擬設定下模擬 100 次所取出的平均值。



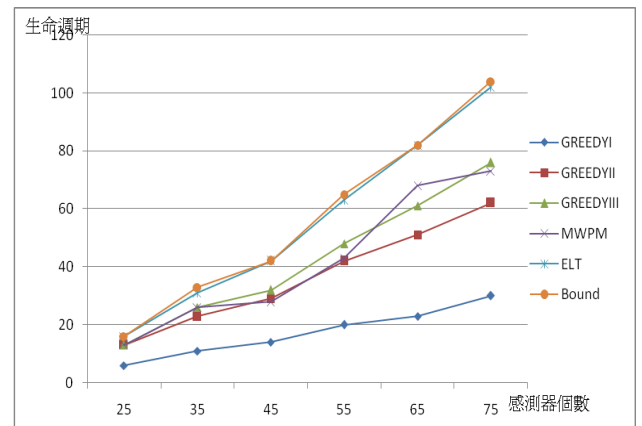
圖八：感測器的數量對於整個網路存活時間的影響，初始電量相同的情況下。

首先探討無線感測網路上的感測器數量與目標點的數量對無線感測網路存活時間的影響。在這環境設定下，我們探討有 15 個目標點的情況，感測器的數量介於 25 到 75 個間，間隔為 10 個。

由圖八可清楚知道，無線感測網路的存活時間隨著感測器的增加而有提升，Bound 這條線表示為利用 ELT 所算出最小被監控到目標物的最佳存活時間回合數，也就是目標物 ELT 最小值，

五種演算法都會增加無線感測網路的整體存活時間。其中的 Greedy 演算法經過改進之後可以有很明顯的提升整體存活時間。

我們再來探討當每個感測器的初始電量不同的情況，初始電量設為 300~500 單位電量。在這環境設定下，我們探討有 15 個目標點的情況，感測器的數量介於 25 到 75 個間，間隔為 10 個。



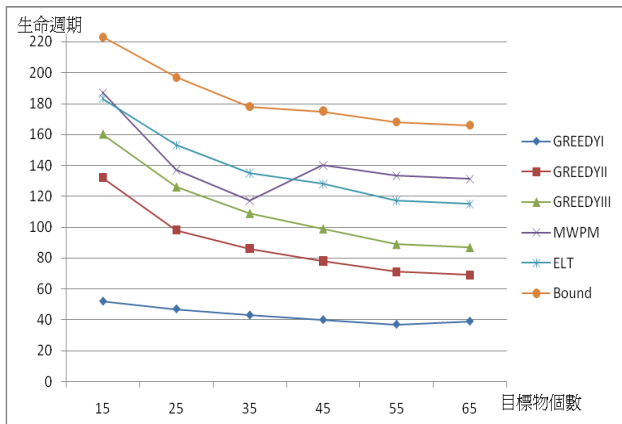
圖九：感測器的數量對於整個網路存活時間的影響，初始電量不同的情況下。

由圖九可以知道，ELT 此演算法很適合在初始電量不同的情況下，非常靠近 Bound 的 lifetime。之後的幾個實驗在電量不同的情形下，都可以發現到這一種特性。

接下來，探討無線感測網路上的目標數量對無線感測網路存活時間的影響。在這環境設定下，我們探討有 100 個感測器的情況，目標的數量介於 15 到 65 個間，間隔為 10 個。

由圖十我們可知道，當目標增加的時候，每一個演算法的存活時間都下降，影響最小的就是 GREEDYI 演算法，因為不管目標的多寡，它都是開啟最大的感測半徑，所以電量的消耗對它來說影響不大。我們可以看到 Maximum Weighted Perfect Matching 演算法，它的曲線也不是非常的

穩定，會造成目標物增加時，存活回合數上升的原因是在當目標物增多的時候，此方法越能夠去

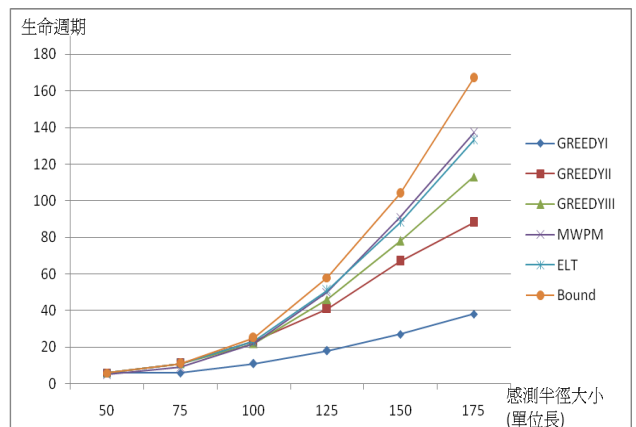


圖十：目標的數量對於整個網路存活時間的影響，初始電量相同的情況下。

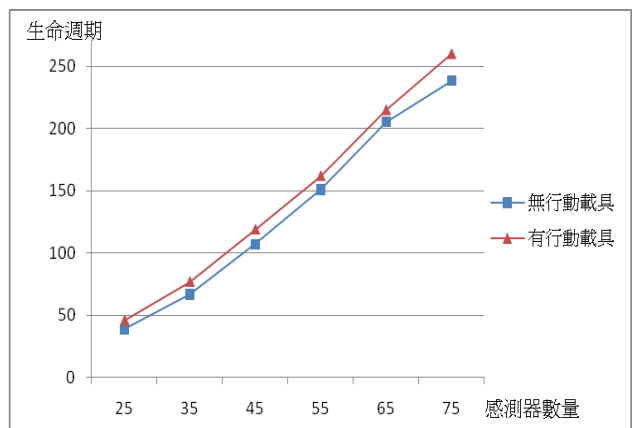
考慮到整體感測器的電量消耗，因為目標物和感測器之間的關係(edge)會增多，Maximum Weighted Perfect Matching 就越容易找到感測器和目標物之間的配對，達到平衡感測器之間的電量，所以當會造成這樣的曲線。

當最大感測半徑增大的時候，每一個演算法的存活時間都有上升的驅勢，會造成這種現象是因為感測半徑可調整的範圍變大，根據[6]論文裡所提出的論點可以得知，感測半徑可調整的大小越有彈性，可以找到更多組集合去監控所有的目標物，整體的感測網路生命週期也會增長。所以接下來對於感測半徑不同，感測器 60 個，目標 15 個情況下來做實驗。

圖十一是感測器的初始電量相同的情況下，可以看到當感測半徑越大的時候，整體的網路存活時間有大幅上升的趨勢，當感測半徑越大，LEA 和 Maximum Weighted Perfect Matching 的表現會有明顯的提升，其中影響最小的還是 GREEDYI 的演算法，因為它無法調整感測器的半徑。



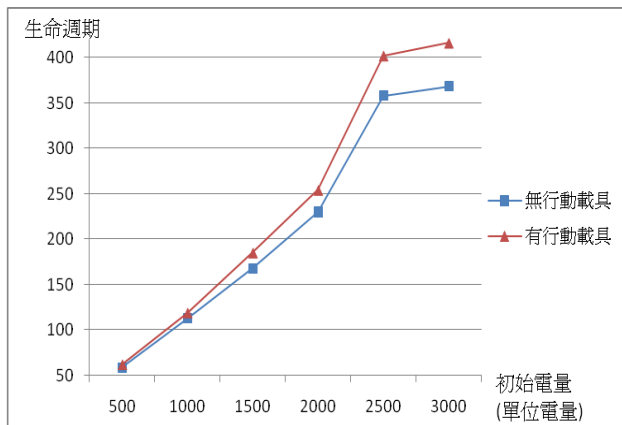
圖十一：感測半徑對於整個網路存活時間的影響，初始電量相同的情況下。



圖十二：感測器增加與感測器移動間的關係。

接下來我們會將感測器移動的方法以 ELT 演算法來當有行動式感測器和沒有行動式感測器的排程來實驗，我們會在隨機的撒下感測器完成後，先以第四節所提出的移動方法調整感測器的位置，等所有感測器位置調整完成以後，再以 ELT 的排程方式來做目標物的監控，一開始先對感測器數量增多來看與移動感測器之間的關係，如圖十二，在初始電量 1000 單位的情況下，雖然感測器移動之後的生命週期有比沒移動的生命週期長，但是感測器的移動是否能幫助延長整體無線感測網路生命週期與感測器數量沒有絕對的關係，與感測器的分佈狀況有關，但是感測器增多對於整體的生命週期是有幫助的。

最後我們會將感測器的初始電量做增加的動作來觀察生命週期是否和我們所推測的一樣會增加。當初始電量增加的時候，我們可以得知感測器可以移動的距離就會變遠。



圖十三：初始電量與感測器移動的關係

由圖十三我們可以發現當初始電量越多時，感測器搭載行動載具對於延長整體感測網路是越有幫助的。

## 六、結論

本論文主要對無線感測網路上以調整感測半徑和搭載行動載具來延長目標監控的生命週期，提出 Estimated Lifetime Algorithm(ELT)演算法，根據找到的各個 ELT 值我們可以知道整個網路存活時間不會超過最小的 ELT 值，並以調整感測半徑來節省能源，以達到無線感測網路存活時間延長。將行動感測器加入考量後，我們有分析數學模型，我們提出了一個簡單的判別方式來提供有搭載行動載具的感測器來移動，在未來的研究之中，可以將一對多的數學模型來做推導，並且找出感測器向哪去移動才能夠使整體無線感測網路的生命週期更為提升，也可以加入不同的感測元件使得情況會更加的複雜，此問題還有很多的發展的可能性。

## 參考文獻

- [1] A. Dhawan, C.T. Vu, A. Zelikovsky, Y. Li, S. K. Prasad, "Maximum Lifetime of Sensor Networks with Adjustable Sensing Range," in *Proceedings of the seventh ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing*, June 2006, pp. 285-289.
- [2] Ali Chamam, Samuel Pierre, "On the Planning of Wireless Sensor Networks: Energy-Efficient Clustering under the Joint Routing and Coverage Constraint," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 8, No. 8, August 2009, pp. 1077-1086.
- [3] C.-F. Huang and Y.-C. Tseng, "The Coverage Problem in a Wireless Sensor Network," *ACM Mobile Networks and Applications (MONET)*, vol. 10, pp. 519-528, Oct. 2005.
- [4] Changxiang Shen, Weifang Cheng, Xiangke Liao, Shaoliang Peng, "Barrier Coverage with Mobile Sensors," *The International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms, and Networks*.
- [5] Curt Schurgers and Mani B. Srivastava, "Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks," *IEEE Military Communications Conference*, Oct. 2001, vol. 1, pp. 357-361.
- [6] G. Chartrand and Ortrud R. Oellermann, *Applied and Algorithmic Graph Theory*. McGRAW-HILL, 2000.
- [7] Gallais Antoine, Carle Jean, Simplot-Ryl David, Stojmenovic Ivan, "Ensuring Area k-Coverage in Wireless Sensor Networks with Realistic Physical Layers," *5th IEEE Conference on Sensors*, October 2007. pp. 880 - 883.

- [8] Hua Wang, Yi Guo, "A decentralized control for mobile sensor network effective coverage," *The Proceedings of the 7<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Control and Automation*, June 2008, pp. 473 - 478.
- [9] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, 2002, vol. 40, pp. 102–114.
- [10] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*, vol. 38, pp. 393-422, 2002.
- [11] Ke Cheng, Prithvirai Dasgupta, "Dynamic Area Coverage using Faulty Multi-Agent Swarms," *IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology*, November 2007, pp. 17 – 23.
- [12] 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.
- [13] Kuei-Ping Shih, Hung-Chang Chen, and Bo-Jun Liu, "Integrating Target Coverage and Connectivity for Wireless Heterogeneous Sensor Networks with Multiple Sensing Units," *The 15th IEEE International Conference on Networks*, 2007, 19-21 Nov. 2007 pp. 419 – 424.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Mohamed Younis, Moustafa Youssef, and Khaled Arisha, "Energy Aware Routing in Cluster-Based Sensor Networks," *10<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunications Systems*, 2002, pp. 129–136.
- [17] Ryo Katsuma, Yoshihiro Murata, Naoki Shibata, Keiichi Yasumoto, Minoru Ito, "Maximizing Lifetime of Wireless Sensor Networks with Mobile Sensor Nodes," *The Ninth International Conference on Mobile Data Management Workshops*, April 2008, pp. 141 – 150.
- [18] Yingchi Mao, Xiaofang Li, Lijun Chen, "Energy-Efficient Area Coverage in Heterogeneous Energy Wireless Sensor Networks," *The 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, Oct. 2008, pp. 1–4.