

有向無線感測網路中定點標靶覆蓋的區域性演算法

黃志明

玄奘大學資訊管理系副教授
e-mail: chiming@hcu.edu.tw

陳建邦

玄奘大學資訊管理研究所
e-mail: book5300203@gmail.com

鄭瑞恒

玄奘大學資訊管理系副教授
e-mail: rhc@hcu.edu.tw

陳劭睿

玄奘大學資訊管理研究所
e-mail: pj082473@gmail.com

摘要

傳統式的無線感測網路(Wireless Sensor Networks, WSN)中，以網路系統的能量消耗之下，如何得到完整的覆蓋區域已成為大多研究中所注意的基本問題。然而，這種存在的方式大部分都是需要全球性的網路資訊去決議出一個適當的感應設定系統，其目的就是要提供足夠的覆蓋區域。本文的動機是要研究出覆蓋區域，尤其是面對方向性的覆蓋無線感測網路問題，以及如何去調整出最佳的感測範圍策略和規劃出最適當的區域的視線。藉由凡諾依多邊形之理論(Voronoi polygon, Vp)，本文在每個節點作出一套決策，測出僅對於相鄰點能接受的感測範圍。由此地區性去提出一個規則，同時每個節點負責其地區的目標與盡量減少重疊覆蓋，本文中所建立凡諾依多邊形，會有最小的感測範圍，以減少能源消耗。經過實驗證明的結果顯示，這是一個可行和有效性的策略。

關鍵詞：定向無線感測網路、點的覆蓋範圍，區域性的策略、凡諾依多邊形

Abstract

In traditional wireless sensor networks (WSN), complete sensing coverage under energy constraint of networks is a basic issue drawing increasing attentions. However, most of the existing methods require global network information to determine the proper configurations of sensors to provide sufficient sensing coverage. In this paper, we address the point coverage problem in directional WSN with adjustable sensing range, orientation and field of view. We refer to a decision process at each node by building its corresponding Voronoi polygon

(Vp) that makes use of only information for a neighborhood within its acceptable sensing range. By the locality property of Vp, a heuristic rule is proposed to minimize the overlapping of coverage of targets while each sensor is responsible to cover targets in its corresponding Vp with configuration of minimal sensing area to reduce energy consumption. Simulation and testing results show the viability and effectiveness of the proposed strategies.

Keywords: Directional Wireless Sensor Networks, Point Coverage, Localized Sensing Strategy, Voronoi Polygon

1. 前言

感測器在能量的限制情況之下，已成為無線感測網路(WSN)為主要的問題之一。當經過足夠的精確分析之下而處理這些覆蓋區域，事實上有許多方法來解決，其中包括在文獻回顧所提到之論點[1]，像是包括範圍配置，節點調度，密度控制，消除多餘的感測器等[2]，[3]，[4]，[5]。然而，在本文之中，理想的解決方法應該要包含以下的特點[1]：

(1)地理資訊位置的取得方式：對於地理資訊位置的方式，是以中央控管的方式來整理資料，但是這種方式需要耗資大量的成本且要更多的相關資訊來做交換及運算。

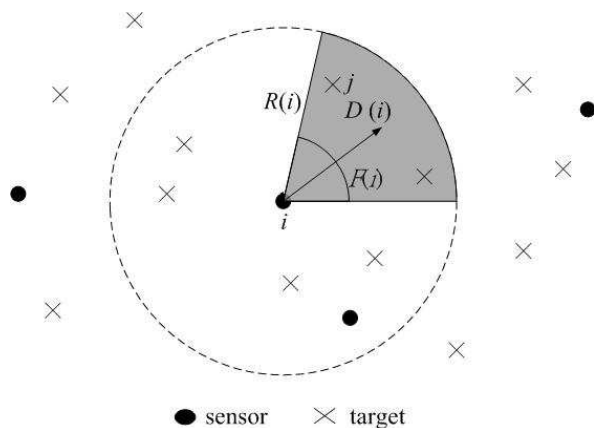
(2)不需要用同步化的時間管理：同步化的時間管理，在龐大的感測網路之中，是非常難以成功的控管網路，而且硬體的要求較高，使得建造成本過高。

(3)異質結構：由於能量的耗損與面積大小成正比，因此網路中結合了具有變化性的節點，和具備不同的角度以及控制不同大小的感測範圍，將能有效的降低網路的耗能。

一般研究中節點分成二種特性，(1)無方向性：節點是以無方向性的圓型感測這個區域。

(2)方向性：節點具有方向性的感測範圍，以扇形感測區域。

由圖 1 所示這是一個由方向感測器 i 所能感測的範圍，配置陰影的地區是現在感測區域的感測器，利用二種特性所規畫定義， $C(i)$ 的感測的範圍定義為 $R(i)$ ，給感測器一個方向定義為 $D(i)$ 和一個角度 $F(i)$ 。方向性感測器的概念是使用方向的原理來感測。這種感測器有能力在特定的方向衡量感測範圍。例如：電達和紅外線感測器都能夠對感測的區域做出方向性的掃描。



● sensor × target

圖 1. 方向性感測器示意圖。

i ：感測器 i

j ：目標 j

$D(i)$ ：給定一個方向

$R(i)$ ：感測的距離

$F(i)$ ：給定一個角度

灰色的區域為包覆的區域

當無線感測網路具備了方向性的感測器，在過去傳統的方法中，無法有效的優化方向的感測器網路，因為有大量的參數來牽涉[6]。

本文運用了凡諾依多邊形的理論，去規劃出每個感測器的責任區域，其目的是確定責任範圍內是否涵蓋到目標上。感測距離內的其它感測器透過訊息的傳遞，來知道彼此的位置，就可以建立相應的凡諾依多邊形。雖然部份感測器會在運行的過程中無法運作，但本文可以利用這區域的感測器來重新調整凡諾依多邊形，本文提出一個把目標覆蓋的規則，用扇形的方式，覆蓋其目標上，以減少目標的重覆覆蓋發生，使得感測器能夠使用最少的偵測出範圍，涵蓋所有的目標，由於感測面積小，所以每一個感測器的能源消耗也較少，以有效的提高網路存活的時間。藉由圓型的規劃，為了形成精準的扇形感測區域，有些目標也許會被感測器所覆蓋住。此時感測器會通知其它感測器

目標被覆蓋，主要是盡可能的減少多餘的覆蓋目標；以致於讓每個感測器都能夠去決定於它的設定值並同時讓較小值的感測區去涵蓋全部的目標以減少能量的耗損。對於每個節點而言，若使感測區域減少至最小的話，網路就會有足夠的能量去使用，此外，隨著感測範圍的限制，本文中所建立的凡諾依多邊形將提到感測器可能影響凡諾依多邊形大於感測器的感測範圍，本文將進行分析，能夠提出適當的放大感測距離和方向的感測器網路，將具有更好的能源表現，經過實驗的證明，這會是一個可行且有效的策略。

至於其它章的介紹裡的第 2 章介紹了參考文獻，第 3 章描述了問題，並提出本文的區域性的偵測策略 (Voronoi Polygon Sensing Strategies VPSS)，4 章介紹了模擬結果和測試。而本文的結論和未來的展望列在第 5 章。

2. 相關研究背景與文獻探討

電腦程式和數學幾何技術上已經可以應用在感測節點覆蓋率的問題上。在[7]篇裡，使用需要中央控管的線性規劃的方式 (Integer Linear Programming, ILP) 提出的方法找到一個最小節點，可完全覆蓋感測空間，這是為解決 0/1 調度問題。Chakrabarty et al. [8] 是第一個針對感測領域內放置許多個網格點，做為一個覆蓋率評估標準。

Sahni and Xu [9] 提出 ILP 的目的主要是找出最少的感測節點數目。該模式處理會在預先選擇感測器時，先選擇出較少的感測節點以減少耗能的花費。此方法是不能用來解決定向覆蓋面積無線感測器網路問題，因為其它方法所使用的感測範圍都是用同樣大小的圓面積。還有一些特別處理定向感測器網路的運作方式，這些方法都假設在隨機分布在感測器網路裡，它會組織成定向感測網路節點已達成偵測的目的例如：能夠達成最大目標覆蓋，同時也盡可能減少節點感測數量的研究[10]。區域覆蓋率的研究於[11]篇裡提到。其目的是利用定向感測節點的行程來達到最大偵測覆蓋率。延長網路網路時間會在[12]中提到。提出這個解決方案是組織每個感測器的方向性，而非不相交的覆蓋集。每件覆蓋物都會在感測器範圍裡覆蓋所有的目標。感測器只要運作一次的話就會被叫醒，這些方法都不適合用在區域較大的無線感測網路上，由於感測器需要耗費龐大

的成本，而且資料量一多就需要大量的時間去運算去做分配。

分散式與區域性網路覆蓋問題在以下文獻有討論到它們分別提出的方法。Hang and Hou 提出密度控制演算法，稱之為OGDC 在[13]，[14]文獻裡討論，每回合的一開始，密度控制的程序會隨機性的選取幾個感測節點，然後會在節點上計算出鄰近的等邊三角形(或是相似於等邊三角形)，只要包含這個三角形的頂點位置，在現在這個回合中就會喚醒鄰近的三角形頂點中的感測器。雖然這個方法能夠容易去控制耗能量，但是演算法卻不適用於不同廣播範圍的無線感測網路。

Yi and Hongchi 提出另一種的密度控制演算法，稱之為NODC[15]，這方法是為了避免節點產生過多覆蓋率範圍，這個方法准許異質性的感測範圍，可以減少能量消耗，但是這個方式會引起非覆蓋的面積(大約10%)，而這樣會影響到資料收集的精確性。

在[5]，[16]，[4]，[17]和[2]，都是使用同一個覆蓋方法:感測器可以被安排程序;隨著不同的方式，當這個感測器要找出他所要覆蓋的範圍時，但也已經被其它節點給覆蓋了，然而這些方法需要時間同步或相等的感測範圍。

在本篇論文中 本文將提出一個區域性的演算法和每個感測器點覆蓋的規則，以確定可偵測最小值的感測區域，以減少能源消耗。通過這種方式，可以解決覆蓋率的問題，不僅省能而且資料運算變的較有效率。此外，根據覆蓋區及重疊區的需求，這方法可解決覆蓋率和重疊率不同的問題

3. 區域性偵測策略解決目標覆蓋

本篇論文提議出一項具有方向性的無線感測網路(WSN)，其目的是對應多個感測器；符號*i*是代表著每個感測器，而*I*是個集合，相當於網路中的每個節點的編號，例如： $i=\{1.2.3.4....N\}$ 。同樣地，每個感測器都隨著不同的設定，本文用*C(i)*來做代表，並且以*R(i)*視為每個感測器，具有能力去改變的感測範圍及感測方向*D(i)*，並擴大角度*F(i)*其能量的消耗與感測面積成正比。例如，感測器*i*的耗能可視為 $\xi * F(i) * D(i)^2 / 2$ (ξ 是一個常數)。在本文中，假設有*N*個感測器和*M*項事件，而把目標以*j*來代表，而將每項事件以編號來表示例如： $j=\{1.2.3.4....M\}$ ，隨機性地分散在任一個無線感測網路(WSN)之中，對於感測器與事件之

間的覆蓋關係，如果*C(i)*能夠覆蓋著目標*j*，即表示感測器*i*能覆蓋目標*j*之影響性越大。依照圖1之結果顯示，在*C(i)*灰色的區域中，目標*j*被一個感測器*i*所涵蓋著指向性感測與扇形偵測方式之間的關係在文獻[4](TIS)中已提出過測試。這項實驗解釋出，如果依照著下列兩項式子理論，目標*j*確實是被感測器*i*所覆蓋著。

- (1) $\|LS(i,j)\| \leq R(i)$
- (2) $D(i) \cdot HL(i,j) \geq \|LS(i,j)\| * \cos(F(i)/2)$.

*HL(i,j)*是為距離向量或只是從指向感測器*i*到目標*j*與*LS(i,j)*之一半的導線，其做為該部分感測器*i*與目標*j*之間的分界線

TIS在(1)情況下，要檢查是否目標確實掌握在感測範圍和方向性*i*之內，在(2)討論是否確實檢查出距離向量與感測器*i*的延展的角度*F(i)*，這個執行的過程中能量相等於目標沿著扇型的邊界上以定向性偵測節點*i*。

本文是依據每個感測器，為指向性的感測網路架構，並提出指向性演算法與點覆蓋演算法，每個目標節點至少必須被一個感測節點給覆蓋，並且全部覆蓋的範圍區域，必須要以最少的能量釋放為主要目的。本文的目的，是要儘可能達到全部節點所覆蓋面積及總和的最小值，目標(3)。

$$(3) \text{ minimize } \sum_1^N \text{area}(C(i))$$

為了覆蓋目標點並且以不失去精確度為原則，每個感測器必須要負責去覆蓋特定的目標區域。所有的感測區域範圍需要都被覆蓋，或是依存在這領域的目標物不至於要對任何的感測器覆蓋所負責。在能量的效能關切之下，負責感測的區域不應該用過長的感測範圍去偵測。因此，在任何感測器，應該要被離它最近的感應區域所偵測。藉著本篇定義，要依據VP跟感應點來劃分出偵測區域。VP(i)視為凡諾依，其理論是依照感測器*i*覆蓋所劃分出來的特定區域。

依照現實的運作狀況下 其感測範圍並非無限大地。假如每一個節點是在有限的感測範圍之內及鄰近的節點之下，凡諾依方法就會因此無法得到出完整的構面，若是考量到感測耗能之間的精確度與效能，就能夠定義出一個近似凡諾依 $Vp'(i,r')$ 令 $Vp(i) = Vp'(i,\infty)$ 在所劃分的區域之影響力，本文所做出的分析及解釋如下。

3.1 區域偵測策略演算法

在這章節中，從 $HL(b,a)$ 到 $HL(b,c)$ 定義出區域角度 (a,b,c) 為順時間鐘方向。

依據凡諾依方法之原理，感測區域與開端的節點 i 解釋如下：

事件1. 假設感測節點 i 察覺不到在這塊區域裡有其他節點的時候，它必須要負責把這整塊區域做出完善的偵測，在這情況之下，感測範圍會慢慢的擴大到下一個層面，直到發現到較多的空間，其目的找出鄰居點，之後再區分出彼此的覆蓋區域，這個過程會一直持續著，直到發現其他的鄰居點或是找出最大值的感測區域為止。假設其他的感測節點被察覺到之後，就會對應如下的步驟。當達到最大的感測範圍時，事實上，仍然還有很多區域未被偵測到，而導致成不足以覆蓋整個感測區域。

事件2：假設一個感測區域，只有一個鄰近感測器的話，這時候必須把彼此連線的中點與中垂線畫出，區分為兩個區域，而這兩個區域分別就是兩個節點所負責感測的範圍。假設節點的另外一邊是無限大的區域，這時候節點就會像事件1一樣，感測器的感測範圍放到最大範圍為止。

事件3：假設多過於兩個以上的鄰近感測器，像是 $ns(i,r',0)$, $ns(i,r',1)$,...和 $ns(i,r',n(i,r')-1)$ 為 $n(i,r')$ 感測器 i 所感測的範圍僅為半徑 r 之內，除此之外，半徑 r 也會依據角度大小和感測器 i 所區別及彙整，並保存在 $NVP(i,r')$ 的名單之中。在本文之中可令 $ns(i,x)$ 可寫成 $ns(i,x \bmod n(i,r'))$ when $x \geq n(i,r')$ 。這個空間可能會被射線所加以區分出於不同的區域角度，像是 $HL(i, ns(i,r',0))$, $HL(i, ns(i,r',1))$, 和 $HL(i, ns(i,r',n(i,r')-1))$ ，這些都會被 $Angle(0,i,1)$, $Angle(1,i,2)$,...和 $Angle(n(i,r')-1,i,0)$ 之間所大約地區別出來。依據圖2，表示分割出來的區段分別為節點 i 感測範圍半徑 r ，而 $c-1$ 和 c 兩個鄰居點可以偵測到與未偵測的區域，像是 $DA(i,r',x)$ 和 $UD(i,r',x)$ 能存在於偵測範圍 i 及半徑 r 之間，並且加以偵測出最靠近感測器 x 之感應區。假設三個垂直平分線 $LS(i,c-1)$, $LS(i,c)$ 和 $LS(c-1,c)$ 交於一點 $IP(i,c-1,c)$ 。這樣就很請楚的可以劃分每個感測器所對應的區域範圍[18]。以目前現況來看，感測器 i 會在每個角度中找出它的責任區域。例如， $Angle(c-1,i,c)$ 當 $0 \leq c \leq n(i,r')-1$ ，其原理是根據下面之過程。

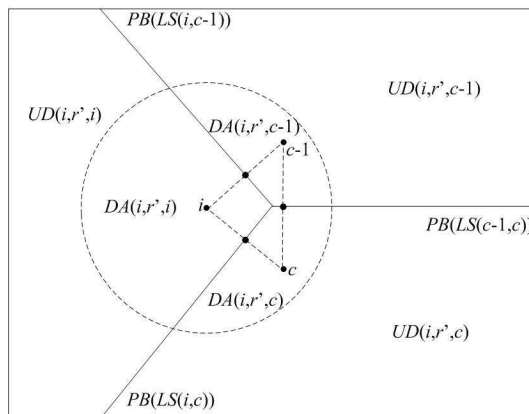


圖2. 根據凡諾依方法，分別求出感測區 i 所偵測到與未偵測到之面積。

事件3-1：若是 $\angle(c-1,i,c) \leq 180$ ，該點 $DA(i,r',i) \cap Angle(c-1,i,c)$ 會落在於感測器 i 之最短距離。這塊面積是屬於 $Vp'(i,r')$ ，其意思是感測點 i 所要負責的區域加以去完整的覆蓋。當 $DA(i,r',c-1) \cap Angle(c-1,i,c)$ 和 $DA(i,r',c) \cap Angle(c-1,i,c)$ 的時候，在 $Vp'(i,r')$ 裡沒有其他感測器在這個區域內負責去覆蓋感測目標，但是，對於感測節點 i 的觀點來看，卻是無法知道其他的節點是否該負責覆蓋區域。當 $UD(i,r',i) \cap Angle(c-1,i,c) \neq \emptyset$ 成立，感測範圍應該要確實地放大到足以去覆蓋感測範圍的最大值為止。假設感測器 i 在沒辦法偵測的區域裡。

定理 1: 若感測器 i 在探測不到其他的節點時就會成立為 $\|LS(i,i')\| > r'$, then $Vp'(i, \|LS(i,i')\|) \subseteq Vp'(i,r')$ 。

證明：感測器 i 的相鄰點會隨著感測範圍 r ，並且也會隨伴著感測範圍 $\|LS(i,i')\|$ 。很明顯，只要有更多的感測器來去承擔這些覆蓋責任，那麼在每個感測所責任區域也就會越小。

定理 2：當 i' 存在的話，假設 $PB(LS(i,i')) \cap Vp'(i,r') \neq \emptyset$ 在 $Angle(c-1,i,c)$ 區域角度裡面，然後 $Vp'(i, \|LS(i,i')\|) \subset Vp'(i,r')$ 。

證明：很明顯的，這就是屬於凡諾伊圖形規劃之理論。

從定理1和2感測器 i' 有可能會影響 $Vp'(i,r')$ 的形成，是否 $PB(LS(i,i')) \cap Vp'(i,r') \neq \emptyset$ 會在 $Angle(c-1,i,c)$ 區域角度裡面，就是說，假設 $Vector(i, IP(i,c-1,c)) * Vector(i,i') / 2 < \|Vector(i,i')\| / 2$ 那麼就會如圖3之結果。

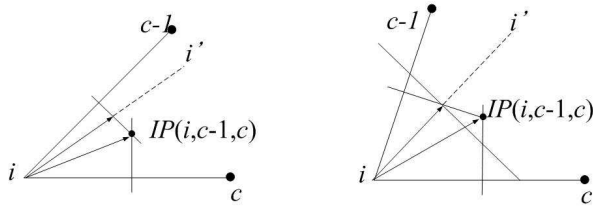


圖3. 選擇是否有影響對感測器*i*所求*vp*的節點。

定理 3：感測器 i' 無法在 $\text{Angle}(c-1, i, c)$ 偵測到自己負責區域，角度 $\text{Angle}(c-1, i, c)$ 會影響 $Vp'(i, r')$ ，是否感測器 i' 存在於無法偵測的該影響的區域裡，像是 $UID(i, r', \text{Angle}(c-1, i, c)) = \text{Circle}(IP(i, c-1, c), \|LS(i, IP(i, c-1, c))\|) \setminus \text{Circle}(i, r')$ 如圖4證明。

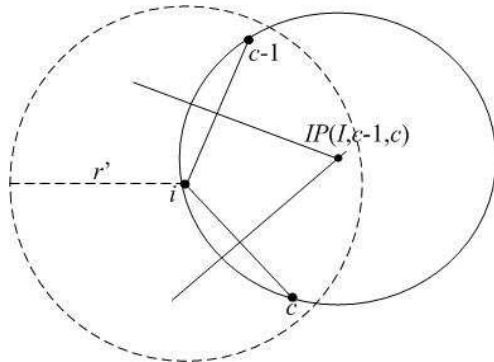


圖4. 尚未在感測範圍內，但會有影響感測器*i*所畫出的*vp*之區域。

在這個事件裡 $UD(i, r', c-1)$ 或 $UD(i, r', c)$ 在 $\text{Angle}(c-1, i, c) \cap UID(i, r') \neq \emptyset$ ，感測器 i 延伸出其他感應之距離，即可作出該負責較小的區域，像是對感應點 i 的能源消耗和覆蓋重疊等。檢測範圍和目標範圍，這個過程中可能會交代在明確性的政策之下。一些新的啟發式原理將會在下一節裡作出解釋。

事件3-2：當 $\angle(c-1, i, c) > 180$ ，這相當於 $\angle(c, i, c-1)$ 表現在圖4上。像這樣的事件總是會不斷的在邊界上發生或是發生在感測器密度小的時候。圖4顯示：當節點 i 與感測器之間的距離中， i 和任何點在 $DA(i, r', i)$ 和 $UD(i, r', i)$ 小於其他兩個感測器 $c-1$ 和 c 。因此節點 i 應該要延伸出它的感測範圍到下一階段，其目的是要再尋找新的感測鄰居點 $UD(i, r', i)$ 一起去分擔該負責的覆蓋感測區域。這個演算法的過程中，會盡可能的達到最大的感測範圍，直到找到其他的鄰居節點。除此之外，當這個感測範圍延伸之後，新的感測鄰居點，像是 $UD(i, r', c-1)$ 或 $UD(i, r', c)$ 就可以減少該負責的感測區 i 的範圍。

在這個方法中，本文分析如何決定刪除對

於感測器 i 的區域之內，對本文有影響的節點，由 $\text{Angle}(c-1, i, c)$ 和 $0 \leq c \leq n(i, r') - 1$ ，影響的區域 $\text{Circle}(IP(i, c-1, c+1), \|LS(i, IP(i, c-1, c+1))\|) \cap \text{Angle}(c-1, i, c+1)$ ，感測器 c 在這區域之外。感測器 c 對鄰居的作法相同 leman2 ，由圖5這個例子顯示，在 $NVP(i, r')$ 範圍之中把感測器 c 給刪除。

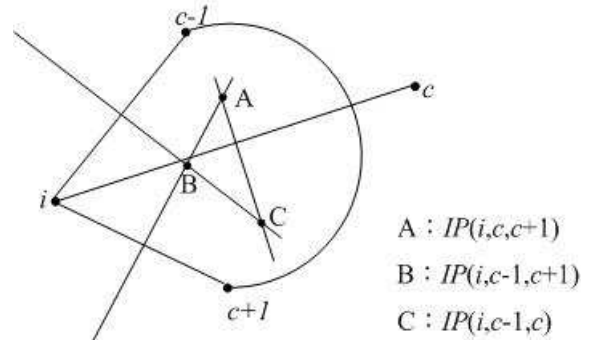


圖5. 感測器*i*對*c-1*、*c*、*c+1*關係圖。

定理 4：調整三個會影響 $NVP(i, r')$ 的鄰居感測器 $c-1, c$ 和 $c+1$ ，如果感測器 c 是對本文沒有影響的鄰居點則刪除掉， c 在本文的 $NVP(i, r')$ ， $HL(i, IP(i, c, c+1)) * HL(i, IP(i, c-1, c)) > 0$ 。

證明：由圖5裡 $IP(i, c-1, c)$ 和 $IP(i, c, c+1)$ 顯示出彼此的關係，明顯的 $HL(i, IP(i, c-1, c))$ 和 $HL(i, IP(i, c, c+1))$ 是順時針方向和 $HL(i, IP(i, c-1, c)) * HL(i, IP(i, c, c+1)) > 0$ ，則右手法則。

定理 5：本文認為四個感測器 $c-1, c, c+1$ 和 $c+2$ 是影響 $NVP(i, r')$ 的區域，這個區域不可能出現在感測器 c 的 $\text{Circle}(IP(i, c-1, c+1), \|LS(i, IP(i, c-1, c+1))\|)$ 和感測器 $c+1$ 裡面，和區域在 $\text{Circle}(IP(i, c, c+2), \|LS(i, IP(i, c, c+2))\|)$ 感測器 c 和 $c+1$ 是在區域 $\text{Circle}(IP(i, c-1, c+2), \|LS(i, IP(i, c-1, c+2))\|)$ 。

證明：由圖6說明這四個的感測器去調整對本文有影響的點 $NVP(i, r')$ ，沒有影響的點就刪除掉。

依據定理 5 感測器 c 與感測器 $c+1$ 在具有影響的範圍內會被辨識出來，假設在角度 $(c-1, i, c+1)$ 與角度 $(c, i, c+2)$ 內則可以忽略。感測器 c 不會被忽略若是兩個已被修正過的點，像是被偵測感應點 c 和 $c+1$ 就會影響到 $Vp'(i, r')$ ，或者是說感應點被忽略的話，感應點 c 就不會直接影響到 $Vp'(i, r')$ 。這樣一來， $Vp'(i, r')$ 會建立在 $\text{Angle}(c-1, i, c+1)$ for $c=0$ to $\|NVP(i, r')\|$ 和 $NVP(i, r')$ 的相鄰點的數目之中，演算法的表示如圖7。

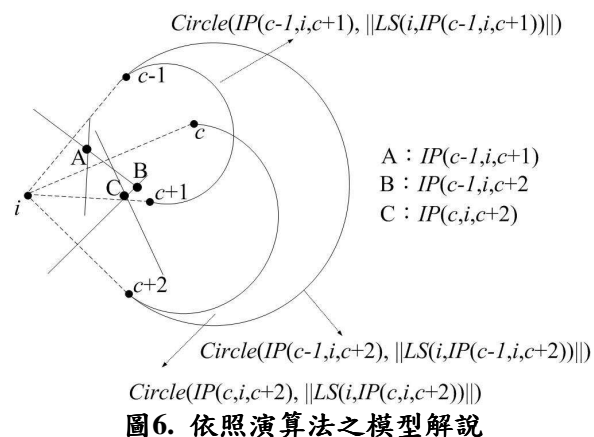


圖6. 依照演算法之模型解說

```

Algorithm for constructing  $Vp'(i,r')$  for sensor  $i$ 
begin
mark all sensors in  $NVP(i,r')$  Unselected;
select Unselected sensor  $c$  in  $NVP(i,r')$ ;
while (sensor  $c$  exists)
if sensor  $c$  in  $Circle(IP(i,c-1,c+1), ||LS(i,IP(i,c-1,c+1))||)$ 
then
 $c = \text{next Unselected sensor in } NVP(i,r')$ ;
Mark sensor  $c$  Selected;
else
delete sensor  $c$  from  $NVP(i,r')$ ;
mark sensor  $c-1$  and  $c+1$  Unselected;
 $c = \text{next Unselected sensor in } NVP(i,r')$ ;
end while
 $Vp'(i,r') = \emptyset$ 
For each sensor  $c$  in  $NVP(i,r')$ 
 $m1 = PB(LS(i,c-1)) \cap LS(i,c-1)$ ;
 $m2 = PB(LS(i,c)) \cap LS(i,c)$ ;
if  $\angle(c-1,i,c) \geq 180^\circ$ 
then
 $Vp'(i,r') = Vp'(i,r') \cup (\text{Angle}(m1, IP(i,c-1,m2),c) \cap \text{Angle}(c-1,i,c) \cap \text{Circle}(i,r'))$ ;
else
 $Vp'(i,r') = Vp'(i,r') \cup (\text{Angle}(m2,IP(i,c-1,c),m1) \cap \text{Angle}(c-1,i,c+1) \cap \text{Circle}(i,r'))$ ;
end for
end
    
```

圖7. 區域性感測策略演算法

明顯的，由圖6所知，在本文演算法的時間複雜度是 $O(n(i,r') * \log n(i,r'))$ 在這個模型裡對感測器 $NVP(i,r')$ ，和 $UID(i,r', \text{Angle}(c-1,i,c)) = \emptyset$ 則對所有的鄰居 c 在 $NVP(i,r')$ ， $Vp'(i,r')$ 將對於 $Vp'(i,\infty)$ ，例如無線感測網路的感測器 i 是一個完整的 Voronoi Polygon (VP)。

對於異質結構的感測，每一個的感應器所

釋放出的耗能是不一樣的，例如感測器不足以有能力做出覆蓋的動作，或是感測器已經無法運作。對於所有的感測器 $vp'(i,r')$ 都會影響到點 $NVP(i,r')$ ，儲存到該點上。當用盡感測範圍 i 時，會偵測到附近的鄰居點以至於不用負責去覆蓋到任意區域或目標。感測鄰近點會去檢查感測範圍內是否會有影響這個區域的感測器。若非如此。感應區 i 則不會改變任何在 $Vp'(i,r')$ 的任動作。若非如此，感測器 i 在 $NVP(i,r')$ 則為感測器 c 。感測器 i 將會在 $\text{Angle}(c-1,i,c+1)$ 中找出它所有的相鄰點，像是 $c-1, c1, c2, \dots, ck$, and $c+1$ 分別去做搜尋並且選出較具有影響性的節點。提出這個演算法可以運用在節點與非鄰居節點，並加以去調整出 $Vp'(i,r')$ 的相對應區域。這種具有調整式功能的方法是相當妥當的，並也是可實行的，尤其是對於無線感測區的最大範圍。這個有效性的調整過程會在下一段提出模擬的實驗數據結果中做出詳細的分析。

3.2 目標覆蓋的策略

當對應的 $Vp'(i,r')$ 對於每個感測器 i 成立之後，在這塊區域裡所有的目標應該都會被感測器 i 所覆蓋住。因此，最小值的覆蓋區與特殊的規劃 $C(i)$ 配置。

1. 在 $NVP(i,r')$ 裡，從感測器 i ，像 $R(i)$ 中選出最長間距。若這個範圍控制區被隔離， $R(i)$ 應該要建立一套範圍的等級 x ；那 x 就等於或大於最長間距和較低的等級 $x-1$ 。同樣地，若最大值的感測範圍比最長間距來的短，那就必須對最大值的等級範圍成立 $R(i)$ 。

2. 在 $NVP(i,r')$ 中，兩個鄰近點 $c-1$ 和 c 之間找出最大角。然後令 $F(i) = \angle(c,i,c-1)$ 同樣地，若這個感測範圍過大， $F(i)$ 必須設立較適當的範圍去控制感測大小，用來覆蓋 $\angle(c,i,c-1)$ 。

3. 從 i 點到 x 點中設定出方向性 $D(i)$ ，那 $\angle(c,i,x) = \angle(x,i,c-1)$ ，像 $D(i) = HL(i,x) / ||LS(i,x)||$ 為向量單位。

這個目標已被感測區 i 覆蓋；連續性的設定以及不連續的模型。呈現在圖8及圖9之間，所有的目標。像是目標1、2、3 跟4在 $Vp'(i,r')$ 中都會被感測器 i 以及扇形區中的設定值所覆蓋。除此之外，目標6、7跟9已經被感測器1覆蓋，因此，感測器1不但要負責去覆蓋，而且又要被感測區 i 覆蓋住；如此一來就會引起多餘的重疊性，也會引起更多的能量消耗。

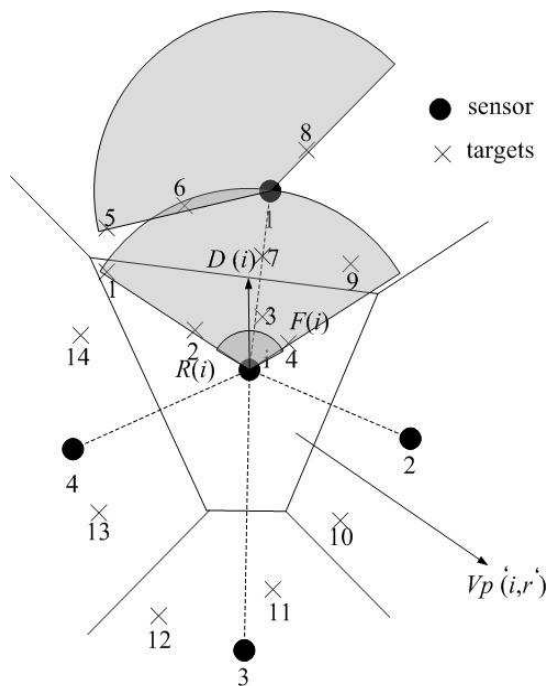


圖8. 區域性偵測策略連續的作法

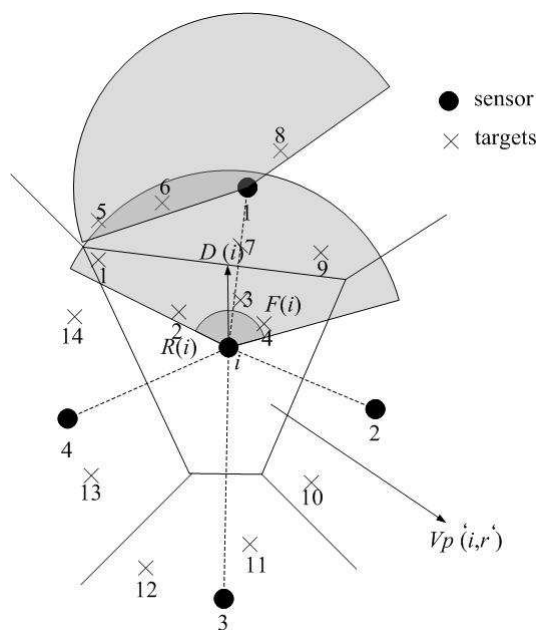


圖9. 區域性偵測策略不連續的作法

在本文中，探索性的方式就是要減少多次重疊覆蓋率為目的。假設所有的目標都被感測器 i 覆蓋到 $Cover(i, C(i))$ ，那麼目標這將會被感測器 i 的鄰近點給共同分享。應用在區域性偵測策略，就是對每個鄰近點形成 $Cover(i', C(i')) \cap Cover(i, C(i)) \neq \emptyset$ ，例如：感測器 i 會存在的機率較高的環境之下。像這樣的事件，感測區 i 的目標會被其他感測器所忽略，並且會調整出 $C(i)$ 的等級，讓它成為更緊密也更小。值得本文注視的地方，就是在 $C(i)$ 在調整的過程

中，目標往往只遭到忽略而以，而不是從覆蓋區 $C(i)$ 中被刪除或是被刪減。在圖 8 中，位於 $C(i)$ 區中的目標，就算是隨著更新設定，目標 6 能然還是存在於 $r(1, C(1))$ 。對於每個調整過的感應器，過程上都會變的更快速，以便去減少覆蓋重複率並且在模擬系統下達到完善的成果。

4. 實驗結果

在本章節中，使用區域性偵測策略與 ILP-based 的解決方式比較。本文中，利用重疊率來比較雙方能源的耗損，比較由 [15] 和 [19] 所提。實驗的環境，設定在一個固定的網路，網路的大小為 50×50 。本文假設感測器都是使用同一類型，在一開始，所有感測器都有一樣的電量，在實驗中，本文可以考慮調整的參數：

本文令 N 是感測器的數量，在本文的實驗之中 N 的數量控制在 30 到 200 之間。

以套用 FOVs 的方向和感測範圍 [6]，如下： $F = \{45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ, 360^\circ\}$ ， $D = \{d \mid 0^\circ \leq d \leq 360^\circ\}$ 和 $S = \{5m, 10m, 20m\}$ 。

感測所要花的能量與距離成正比，例如： $C(f, d, s) = s^2 * f / 2$ ，當 $f \in F, d \in D$ 和 $s \in S$ 。

實驗結果顯示，圖 10 顯示出，在密度不同的情況下，感測器都能有效的覆蓋，除了一些密度過於稀疏的地方。從上面的數據可以顯示出，由於密度愈來愈高，可以使用的責任區域愈來愈小。實驗中凡諾依方法，比較過去談論覆蓋問題所提出，最佳或接近最佳等方法還要好，因為區域性偵測策略，可以在不同的密度之下，有較好的覆蓋耗能表現。了解 ILP 是 NP-hard 的問題 [20]。而區域性偵測策略，執行時間是線性的，由於感測所要花的能量與距離成正比，所以重疊率為主要評估的條件。

在圖 11 中區域性偵測策略方法與之前研究的比較，OGDC 的重疊率為 130%~140% 之間，且 NODC 也有 115~125% 之間的表現，都是遠不及區域性偵測策略方法一直維持在 100~110% 之間。

在這裡所提最佳 ILP 方法與所提區域性偵測策略，是解決目標的覆蓋範圍問題。由二種感測器類型，在 30 個感測器和 50 個目標數時的感測比較，圖 12 顯示出該網路的模型，三種方法覆蓋率為 100%，而重疊率之比較，區域性偵測策略方法連續優過於 ILP 方法，主要因為本文的方法為 $0^\circ \sim 360^\circ$ 的方式去覆蓋目標。

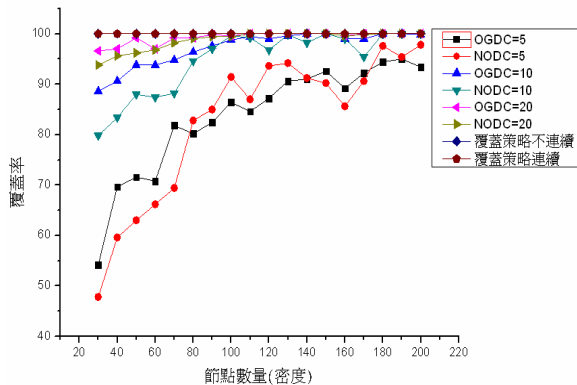


圖 10：密度與覆蓋率之關係

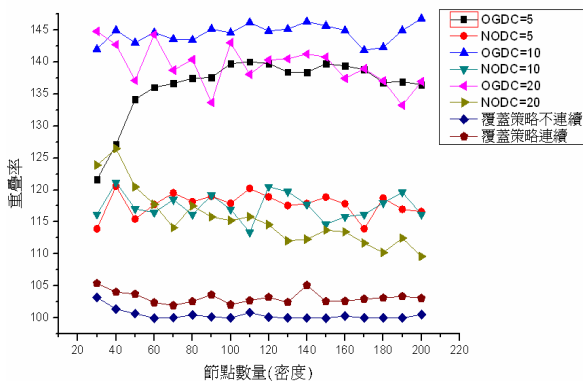


圖 11：密度與重疊率之關係

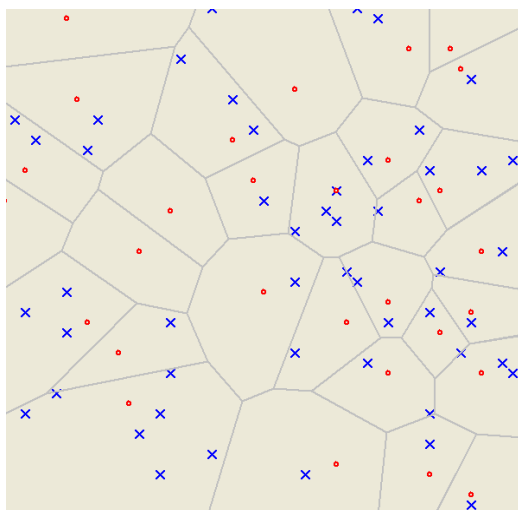


圖 12：區域性偵測策略網路模型

表 1 ILP 與區域性偵測策略比較表

方法	目標覆蓋率	重疊率
區域性偵測策略連續	100%	100.12%
區域性偵測策略不連續	100%	110.81%
ILP	100%	109.92%

5. 結論與未來展望

藉由適當的調整感測器，在方向性的無線感測網路，所得到的總耗能，確實是有效的減少。這些設定包含了感測範圍方向(延展角度的視線)，在本文中提出演算法，劃分出每一個感測器的責任區域，將能把區域內的目標給含蓋住，每一個感測器將可自訂出，最小的感測面積來填加覆蓋。因此，覆蓋將會是完善並有效率的控制能量消耗，即使方法在感測範圍上是有限制的，但只要密集度足夠，也能夠有較好的目標覆蓋。從模擬的結果，本方法與 ILP，在 OGDC 和 NODC 相比之下，都有較佳的覆蓋率和能量的消耗。本文中，所提到的方法是可採納的，執行的時間是依靠著 $O(M(i)\log M(i))$ ，那 $M(i)$ 是感測器 i 其中的相鄰點，也是獨立於密度的感測器的部署。藉著凡諾依理論和目標覆蓋的方法是不需要龐大複雜的運算，找尋地理資訊及路由由同步的相關問題。大規模的方向性無線感測網路是得以實現的。此外，當有一些感測器無法運作的同時，只要經過些微的調整，也能有效率的重新部署感測器。由於有一些感測器無法運作，所以由較遠沒有影響凡諾依多邊形的感測器，再規劃出新的適當凡諾依區域。實驗模擬之下所得出的結果顯示，之後有 50% 的感測器無法運作，那麼在相同的覆蓋率和能量消耗上也將不會有大量的變化，所以適當的去改變環境的策略是必要的。

參考文獻

[1] Hongxing Bai, Xi Chen, Xiaohong Guan, "Preserving Coverage for Wireless Sensor Networks of Nodes with Various Sensing Ranges" Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Networking Sensing and Control, August 2006, pp. 54-59

[2] X. Wang, G. Xing, Y. Zhang, C. Lu, R. Pless, and C. Gill, "Integrated Coverage and Connectivity Configuration in Wireless

- Sensor Networks*,” in Proc. 3rd ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys’03), Los Angeles, CA, USA, November 2003, pp. 28-39
- [3] D. Tian and N.D. Georganas, “*Location and Calculation-free Node-scheduling Schemes in Large Wireless Sensor Networks*,” *Ad Hoc Networks*, Vol. 2, 2004, pp. 65-85.
- [4] J. Jiang and W.H. Dou, “*A Coverage-preserving Density Control Algorithm for Wireless Sensor Networks*,” *Lecture Notes in Computer Science* 3158, 2004, pp. 42-55.
- [5] B. Carburnar, A. Grama, J. Vitek, and O. Carburnar, “*Coverage Preserving Redundancy Elimination in Sensor Networks*,” in Proc. 1st IEEE International Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks (SECON), Santa Clara, October 2004.
- [6] Yahya Osais , Marc St-Hilaire , and F. Richard Yu “*Directional Sensor Placement with Optimal Sensing Range, Field of View and Orientation*”, IEEE International Conference on Wireless & Mobile Computing, Networking & Communication, October 2008,pp. 19-24
- [7] S. Megerian and M. Potkonjak. “*Low power 0/1 coverage and scheduling techniques in sensor networks*.” In *UCLA Technical Reports* 030001, January 2003.
- [8] K. Chakrabarty, S. Sitharama, H. Qi, and E. Cho, “*Grid coverage for surveillance and target location in distributed sensor networks*,” *IEEE Transactions on Computers*, vol. 51, no. 12, pp. 1448–1453, 2002.
- [9] X. Xu and S. Sahni, “*Approximation algorithms for sensor deployment*,” *IEEE Transactions on Computers*, vol. 56, no. 12, pp. 1681–1695, December 2007.
- [10] J. Ai and A. A. Abouzeid, “*Coverage by directional sensors in randomly deployed wireless sensor networks*,” *Journal of Combinatorial*
- [11] W. Cheng, S. Li, X. Liao, S. Changxiang, and H. Chen, “*Maximal coverage scheduling in randomly deployed directional sensor networks*,” in *International Conference on Parallel Processing Workshops (ICPPW)*. IEEE, 2007, pp. 68–73.
- [12] Y. Cai, W. Lou, M. Li, and X.-Y. Li, “*Target-oriented scheduling in directional sensor networks*,” in *26th International Conference on Computer Communications (INFOCOM)*. IEEE, 2007, pp. 1550–1558.
- [13] H. Zhang and J.C. Hou, “*Maintaining Sensing Coverage and Connectivity in Large Sensor Networks*,” *Technical Report*. UIUCDCS-R-200302351.
- [14] H. Zhang and J.C. Hou, “*Maintaining Coverage and Connectivity in Large Sensor Networks*” *The Wireless Ad Hoc and Sensor Networks: An International Journal*, 2005.
- [15] Yi Shang and Hongchi Shi “*Coverage and Energy Tradeoff in Density Control on Sensor Networks*”, *Proceedings of the 2005 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems*, 2005
- [16] J. Carle, A. Gallais, and D. Simplot-Ryl, “*Preserving Area Coverage in Wireless Sensor Networks by using Surface Coverage Relay Dominating Sets*,” in Proc. 10th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), Cartagena, Spain, 2005.
- [17] D. Tian and N.D. Georganas, “*A Coverage-Preserving Node Scheduling Scheme for Large Wireless Sensor Network*,” in Proc. 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA’02), Atlanta, Georgia, USA, September, 2002.
- [18] F.P.F' reparata and M.I. Shamos. "Computational Geometry-An Introduction", New York, Springer-Verlag (1985).
- [19] H. Zhang and J.C. Hou, “*Maintaining Coverage and Connectivity in Large Sensor Networks*” *The Wireless Ad Hoc and Sensor Networks: An International Journal*, 2005.
- [20] Mihaela Cardei, Jie Wu, Mingming Lu, and Mohammad O. Pervaiz “*Maximum Network Lifetime in Wireless Sensor Networks with Adjustable Sensing Ranges*” *IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*, Aug. 2005, pp 438-445