

在無線感知網路上採用節點覆蓋範圍分群工作節點

Partitioning working sensors by node coverage grouping in wireless sensor network

林朝興

國立台南大學資訊工程所

mikelin@mail.nutn.edu.tw

陳執中

南台科技大學資訊管理所

M9690225@webmail.stut.edu.tw

摘要

無線感測網路(Wireless Sensor Networks)近年來是一個非常熱門的研究主題，數量龐大的微小無線感測器所組成，由於微小的感測器不論是運算能力、儲備電量都受到目前微機電硬體的限制；因此，維持長時間的網路生命期以及充足的任務感測區域，在目前無線感測網路領域是很重要的研究主題之一。此篇論文中，提出了節點覆蓋分群法(Node Coverage Grouping ,NCG)把感測節點分群並進行工作排程的方式，來避免太多鄰近的感測器同時工作而造成過多且多餘的感測區域，因為在高度密集的感測網路中，過多的鄰近節點會造成感測過多、通道壅塞等問題，而透過節點分群演算法的排程，可以關閉過多的感測節點，以節省電力，以維持更長的網路工作時間，從模擬實驗三個分析指標 1.存活節點數(alive node) 2.節點覆蓋率(coverage, %)及 3.工作節點數(working node)來看，NCG 在節省電量的效率上是高於 PEAS[6]以及 LDAS(Lightweight Deployment-Aware Scheduling)[15]，NCG 利用節點的覆蓋範圍為基準來分群，可避免在工作時傳送多餘的封包，進而節省電力，延長節點的壽命。

Keyword: wireless sensor networks, scheduling, sensor coverage, deployment

關鍵字：無線感測網路、工作排程、感測覆蓋、佈置

一、前言

由於科技不斷的蓬勃發展，無線網路的各種應用不斷推陳出新，不僅在室內可以利用無線路由建構無線網路，許多校園、公司在園區內設置網路熱點(hot spot)，在室外也可連接網路，使得各種的個人網路設備(如手機、筆記型電腦)使用上方便許多，此外，也帶動了許多在無線網路成熟的架構上，衍生的新應用，無線感測網路(Wireless Sensor Networks, WSN)便是其中之一[13]。

每個感測節點(sensor node)都是利用低功率(low-power)的無線電波來進行感測、傳遞訊息，由於佈置感測節點是隨機大量佈置，不太容易控制每個感測節點，以及每個區域的節點密度，再加上感測節點的電力無法作更換或補充，因此，如何在有限的資源下，延長無線感測網路的壽命，一直是無線感測網路研究領域中，十分重要的主題。如圖 1 所示，無線感測網路具有收集環境的各種數據的能力，並由各個感測節點傳回資訊，匯集到基地台(base station)或稱 sink 端，再傳回到任務管理者，進行各種資料分析及運用[11]。無線感測網路由成千上萬個無線感測節點所組成，每個節點都具有感測資料(sensing)、資料儲存(storage)、數據運算(computing)以及無線通訊(communication)的能力，並且因為成本低、建置方便、適應性高等優點，應用日益增加。

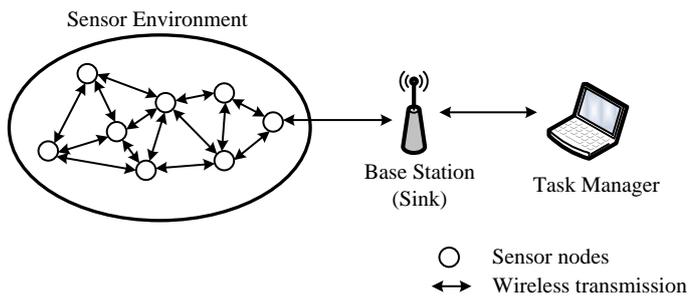


圖 1.無線感測網路環境

無線感測網路提供人類安全的生活環境，例如觀察環境汙染、森林火災的防治、農作物的栽培、監控化學物質毒素以及軍事上的應用，甚至可延伸應用於工業或醫療等。它也提升國家與人民在資訊生活方面的便利性，就像是智慧型建築、目標追蹤、資料收集、援救派遣、國家安全、監控災區、環境研究與家庭安全[11]。這些應用的研究時間可能長達數周甚至數個月，因此，電力的節省便影響了任務的成功率。目前常見的應用是溫度、濕度的監控，這類的應用不會需要用到百分之百的感測範圍監控[15]，例如辦公室溫度的監控，只需要掌握每個房間角落的溫度，不需監控整個房間也可以得到正確的數據，因此，感測節點工作的調配就有很大的空間，考慮到感測節點運算能力及電量的限制，我們提出不會增加節點負擔的節點覆蓋分群演算法(Node Coverage Grouping, NCG)，來將龐大且複雜的節點散佈，作有效的分群，當進行溫度感測的任務時，可以利用同個區域內不需全部感測範圍的特性，讓同一個群組的節點協調工作時間，群組裡的感測節點彼此之間都能夠覆蓋其他成員的感測範圍，在工作輪替時都會有替代的感測節點，因此可以保證節點關閉時，不會降低此群組工作的品質，讓每個節點輪流工作，就可以有效地把感測節點的存活時間延長，無線感測網路在進行溫度監控任務時，如果感測節點無法作有效的排程，就會收集到大量、重複的資訊，感測節點也無法自行篩

選資料，仍會對這些重複、無用的數據進行通訊傳輸，造成傳輸壅塞、節點電力的浪費，這些問題對資源十分有限的感測節點是非常嚴重的，因為節點的存活率直接影響到任務的成功率，這也是資源管理在 WSN 領域會如此重要的主因。

我們運用節點分群工作的方式，降低鄰近的感測節點收集到相同資料的機率，資料收集的品質不會因為傳送、接收大量重複的資料而下降，群組間節點輪流工作，也可以不斷的延長此區域內的感測時間，直到群組裡所有節點都死亡為止，群組間節點的工作排程對感測節點的負擔也很小，比起協調整個網路的方法，節點覆蓋分群演算法更適合用於 WSN 的環境，我們提出 NCG 節點覆蓋分群演算法能讓感測節點之間的工作更有效率，並有效地延長網路整體的生命期。

本篇論文架構如下：第二節為相關文獻探討，第三節介紹節點覆蓋分群演算法的細節，第四節介紹節點覆蓋分群演算法的模擬實驗及效能分析，最後第五節為本論文之結論及未來研究。

二、 相關研究

WSN 的研究最早起源於 50 年代，美國以及蘇聯的冷戰時期，不過因為科技的種種限制，一直到了 80 年代才發展出完整且能夠應用的感測網路，不過也只應用於軍事上，戰場上敵方軍隊的行動偵測；到了 90 年代，微機電科技(Micro Electro Mechanical System, MEMS)發展迅速，使得感應器的研發得以突破，感應器尺寸縮小、製造成本降低、電池容量增加、資料處理的運算速度變快以及網路通訊能力的進步，讓無線感測網路的應用延伸到許多不同的產業。

2.1 無線感測網路與傳統隨意網路

無線感測網路與傳統隨意(ad hoc)網路多有相似之處，但是隨意網路的協定無法直接應用的原因在於以下幾點的不同[3]：

- 感測網路的節點成本低廉許多，因此不

論在電力或者運算處理能力方面都會有其限制

- 感測網路的主要應用在於大量的節點進行任務所需的資料收集，確保任務的品質，而 ad hoc 網路主要用於分散運算
- 感測網路的節點具有主從關係，必須透過 sink 節點與外界網路溝通，資料傳輸為廣播(broadcast)為主，而 ad hoc 網路則是每個節點之間為平等，都具有與外界網路溝通的能力，傳輸則以點對點(peer-to-peer)為主
- 感測網路節點為靜態，ad hoc 網路則是動態，具機動性的節點
- 感測網路的節點資源有限制，容易失效，為了平衡節點剩餘的資源，因此網路拓撲變動頻繁
- 感測網路拓撲的設計儘量讓節點有自治的能力，以減少人力管理的成本

2.2 感測網路的限制

感測節點的資源有限，其中又以通訊的功能最耗費電力，因此為了有效的延長網路生命期，如何有效率地收集資料，再傳輸回基地台，便是重要的議題。在高密度的感測網路中，勢必有許多的感測節點的感測區域重疊，當多個感測節點把相關的資料傳回基地台，不僅造成內爆(implosion)問題，而且也浪費了不少的電力，進行不必要的資料傳輸。當多個感測節點位置相當靠近，在同一個時間點所收集到的數據資料，幾乎是完全一樣，同時回傳資料，會對節點造成資料傳輸上不必要的擁塞，因為資料是一樣的，由此可知，若沒有進行工作排程，多個位置靠近節點同時傳回一樣的資料，增加整個系統的負擔及浪費，造成內爆問題。

為了解決以上的問題，又要能確保資料收集的品質，我們提出以節點覆蓋分群的方式來進行節點的工作排程，把鄰近的感測節點分為同一群

組，是因為當感測節點之間的距離越近，也代表著感測範圍重複率越高，因此形成多餘的感測範圍，如圖 2 兩節點距離越近時，感測範圍的重複率越高，因此造成資源的浪費。圖 3 顯示出當有多個節點鄰近時，節點 D 的感測範圍是完全被其他節點覆蓋的，節點 A,B,C 的感測範圍能夠覆蓋節點 D，因此節點 D 的感測範圍是完全重複的。換句話說，節點之間越靠近，收集到同樣的資料的比例也會越高，形成無謂的電力浪費。感測節點分為群組之後，每次開始感測工作時，同組中只由一個節點來工作，如此就能夠容易地關閉多餘的節點，即使不對節點的運算能力造成負擔，也可以讓每個群組的節點進行仔細的工作排程，將浪費的資源降到最低，而溫度感測任務不需要全部的感測範圍，因此並不會因為節點進行排程而降低任務的品質。

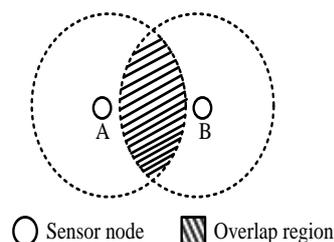


圖 2. 兩節點之間重疊的感測範圍

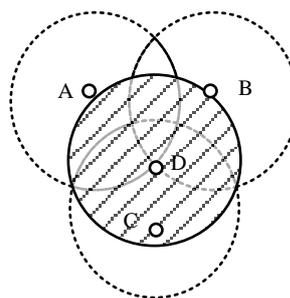


圖 3. 完全多餘的感測範圍

當整體網路多餘的節點進入睡眠，剩餘的節點會進行工作，並在一段時間之後，再將工作交替給群組中的其他節點，藉此平衡感測節點之間的資源，有效率的進行任務工作。表一顯示出鄰近節點數以及多餘感測範圍的關係[15]。

表一：鄰近節點數量與多餘的感測範圍的關係

Number of neighbors	Probability of Complete redundancy	Percentage of the redundant area(\geq)
5	31.22 – 37.01%	91.62%
7	64.29 – 65.21%	96.89%
9	82.97 – 83.09%	98.85%
11	\approx 92.28%	99.57%

表一顯示，當鄰近節點數達到 11 的時候，完全多餘的感測範圍[15]，將會逼近於 92.28%，而多餘的範圍更達到 99.57%，事實上在鄰近節點數只有 5 個時(這在高度密集的感測網路中，是很容易發生的)，多餘的感測範圍，也已經超過 91.62%，可以得知如果所有的感測節點，同時進行感測工作，不僅是形成嚴重的內爆問題，而在傳輸資料上更造成資源浪費。

2.3 感測節點休眠省電機制

由於感測節點資源有限，電量損耗的控制尤其重要，接下來我們介紹 2 種運用節點休眠省電機制的方法 PEAS[6]以及 LDAS[15]。

● PEAS

PEAS 是一個以節點的感測範圍來動作的方法，節點 A 會用廣播的方式寄出封包給感測範圍內的其他節點，在工作中的節點收到封包，回應 Reply 封包，代表此感測範圍已經有節點在工作，節點 A 就會進入到休眠的狀態，每隔一段時間節點 A 甦醒會在廣播出封包來確認感測範圍中是否有工作的節點，當沒有工作的節點回應的時候，節點 A 就會進入到工作的狀態，進行感測任務直到節點死亡。PEAS 可以有效地管理感測節點的休眠及工作，並控管節點的感測範圍，同範圍內不會有其他的節點工作，節省電力，但缺點是節點必須持續的接受封包及傳送封包，在節點密度很高的區域，工作的節點必須不斷的傳送大量 Reply 封包，造成電力上的損耗，

以及資料傳送的壅塞。

● LDAS(Lightweight Deployment-Aware Scheduling)

LDAS 以接收封包的數量作為節點休眠的門檻值，每個節點會廣播封包給感測範圍內的所有節點，節點會計算收到的封包數，當封包數超過門檻值的時候，節點就會進入到休眠狀態，反之則維持工作狀態，節點收到的封包數只有進入休眠狀態後才會清除，如果節點未進入休眠，封包的計數會持續累積，這個設計可讓鄰近節點不多，但是工作時間很長的節點也能獲得休眠的機會，LDAS 的好處在於節點不用管理其他節點的情況，只要計算接收到的封包數，切換休眠或者工作狀態，平衡各個節點的電力，達到節點休眠以省電的目的，缺點在於節點必須不斷的傳送以及接收封包，在控制封包的傳遞上負擔較大，當節點密度很高的時候，也會產生封包碰撞等問題。

三、節點覆蓋分群法

由於感測節點的電量有限，在節點排程的過程中，傳送的通訊封包也會造成電量消耗，降低節點分工的效率，LDAS 的感測節點要不斷地廣播封包及接收封包，以進行節點的休眠，而 PEAS 則是利用廣播及回傳封包來確認鄰近節點的狀態，決定是否要進行工作，在進行工作排程時都會傳送大量的封包，對感測節點造成負擔，因此我們提出 NCG 節點覆蓋分群演算法，NCG 可以利用節點覆蓋範圍的分群工作，同群組間節點輪流工作，省去節點必須不斷傳送封包的過程，降低節點在排程中傳送的封包數，以增加節點工作的效率。

3.1 NCG 節點覆蓋分群演算法概觀

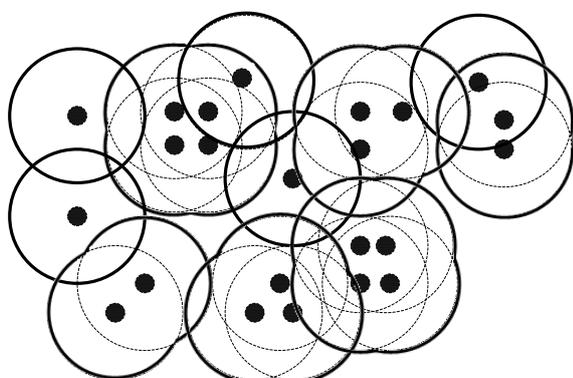
在無線感測網路中，利用關閉感測節點節省

電力，是比其他調整電力的方法[16]來的更有效率的[5]，NCG 節點分群法目的在於節省高度密集的感測網路中，多餘的節點執行工作所浪費的資源，利用關閉多餘的工作節點，來平衡網路節點的資源，並且避免傳送大量的控制封包，延長感測網路的生命期。

進行任務的區域是在一個平面上，網路的組成有一個 sink 端及多個感測節點，每個感測節點都知道自己的座標，並適用於大規模的監控任務，而在感測節點中，運用低功率的無線電波傳遞訊息是很常見的，感測節點可以很容易的得知在感測範圍中的其他節點，最常見的做法是廣播一個在感測範圍內才能收到的封包訊息，訊息中只要包含傳送端的代號及位置，當接收端收到廣播訊息後，代表有其他節點是接收端的鄰近節點，接收端節點也可以自己建立起鄰近節點的列表，然後接收端會再回傳訊息給封包傳送端，如此可以讓每個節點都接收到鄰近節點的訊息，以降低接下來節點分群的難度。

我們定義以下的網路環境假設[15]：

- 有 N 個感測節點平均的散佈在平面中
- 平面中的感測節點都為同質節點，並且具有同樣的資源限制，節點散佈之後，地理位置是不會變動的
- 每個感測節點知道彼此的位置座標
- 感測節點為隨機且均勻的散佈



----- 節點感測範圍
 ——— 群組感測範圍

圖 4.節點覆蓋分群

圖 5 為感測節點的狀態圖。

- 閒置(Idle)
感測節點的起始狀態，會廣播訊息封包給感測範圍內的節點，接著進行節點分群
- 節點分群(Node grouping)
感測節點開始進行分群的作業，當分群完成之後會進入到工作狀態
- 工作(Working)
感測節點在工作狀態會進行感測收集資料，並將收集到的資料回傳到 sink 端，工作完的節點會進入到休眠狀態
- 休眠(Sleeping)
感測節點休眠階段，不會進行感測收集資料，若工作節點喚醒之後會進入到工作狀態

當散佈完感測節點後，感測節點會開始收集附近節點的資訊，並開始節點分群的工作，分群完成之後由主持的節點工作，其他節點則跳過工作階段，而進入休眠，當工作節點工作完，喚醒一個群組節點以替代工作位置，然後進入到休眠狀態，此後群組內節點會輪流進行感測任務。

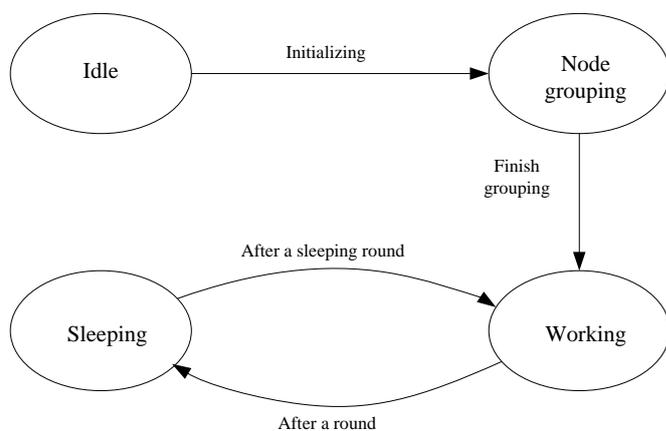


圖 5.節點狀態圖

3.2 感測網路的建置階段

感測節點散佈完之後，接著會傳送及從鄰近的節點接收封包訊息，來建立起鄰近節點列表，訊息中包含節點的代號、位置、狀態及接收時間，如表二所示，在建置階段，節點的狀態皆為 Idle。建立起鄰近節點列表之後，就可以進行節點群的工作，由鄰近節點數最多的節點開始分組，可以藉由每個鄰近節點的座標計算出，群組中的其他節點是否也在彼此的感測範圍內。而最後的結果要讓群組中的每個節點都為鄰近的關係。

建立起鄰近節點列表之後，就可以進行節點群的工作，由鄰近節點數最多的節點開始分組，可以藉由每個鄰近節點的座標計算出，群組中的其他節點是否也在彼此的感測範圍內。而最後的結果要讓群組中的每個節點都為鄰近的關係。

表二：節點建立起的鄰近節點列表

Node ID	Location	Mode	Receive time
1	(4,0)	Idle	0 : 10 : 59
2	(1,2)	Idle	0 : 10 : 30
3	(5,7)	Idle	0 : 10 : 03
4	(6,8)	Idle	0 : 10 : 44

3.3 節點覆蓋分群演算法最佳化

節點覆蓋分群演算法是將每個節點和鄰近它的其他節點，劃分為同一群組，並且在群組中的節點，彼此之間也都屬於鄰近的關係，換句話說，群組中的每個節點，都在彼此的感測範圍內，如圖 4。若能將多個感測節點劃分為最少的群組，也就是說每個群組中的節點數為最大，那麼就能夠節省最多的資源，達到節點分群的最佳化。

3.4 NP-Complete

我們將說明節點分群問題為 NP-Complete[16]。Clique 問題[16]是在一個非導向的圖形 $G = (V, E)$ 中，一個 Clique 為 G 中頂點的子集合， $V' \in V$ ，在 V' 內的感測節點，兩兩

被 E 中的一個邊連接。Clique 是在圖形中，求最大數量頂點的子集合，並且集合中所的節點彼此都有邊來連接的最佳化問題，節點覆蓋分群演算法要使得把每個感測節點分到一個子集中，子集內的感測節點數為最大，且感測節點兩兩在彼此的感測範圍內，意即每個節點都為相連接鄰近的狀態，把節點覆蓋分群演算法節點互相相鄰轉化為 Clique 中的頂點相連，Clique 問題要求大小為 k 的 Clique，而節點覆蓋分群是求 k 為最大的 Clique。

由圖 6 可以看到一個圖形中的 Clique 為 $V' \{V_1, V_2, V_3\}$ ，此 Clique 的大小為 3，並且 Clique 中每個頂點彼此都有邊連接。與 Clique 的差別只在節點覆蓋分群演算法要把所有的節點都分成群組，而 Clique 問題只要找出一個為 Clique 的群組，因此，假設有一個在多項式時間 (polynomial time) 內能計算 Clique 問題的演算法，那麼運用此演算法重複地運算 Clique 問題，直到所有節點分組完成，就可以得到節點覆蓋分群的最佳解，但是 Clique 是一個已知的 NP-Complete 問題，能在多項式時間內求得 Clique 的最佳解的演算法仍未被發現，因此無法求得節點分群問題的最佳解。

3.5 NCG 節點覆蓋分群演算法

節點覆蓋分群演算法是在感測網路建置的階段之後，當所有感測節點已經計算出與鄰近節點的距離，建立起完整的列表之後，才開始執行節點的分群工作，節點覆蓋分群演算法分為以下

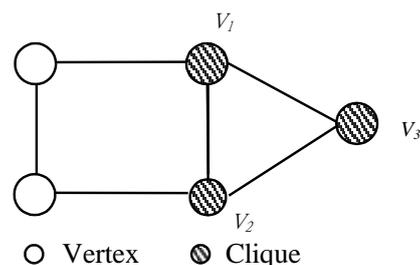


圖 6.大小為 3 的 Clique

的七個步驟，表三為演算法參數，表四為演算法：

1. 由鄰近節點數最多的感測節點-主持節點，進行分組
2. 檢查主持節點的鄰近節點之間，是否都在彼此的感測範圍內
3. 挑選出互相不屬於鄰近關係的節點
4. 比較與主持節點的距離
5. 將離主持節點較遠的節點，從群組中剔除
6. 最後剩下的節點即為一個群組
7. 重複執行以上的步驟直到所有節點分組完畢

表三：演算法參數設定

參數	屬性
k	number of sensor nodes , $k \in N$
i	sensor node , $i=1$ to k
j	sensor node (In addition to i)
r	sensor radius
t_i	node's neighbor number of total
x_i	node i 's neighbor
y_i	node i 's neighbor (In addition to x_i)
$d_{i,j}$	distance between node i and j
$d_{i,x}$	distance between node i and neighbor x
$d_{i,y}$	distance between node i and neighbor y
$d(x_i,y_i)$	distance between node i 's neighbors x and y
S_a	Group of sensor nodes , $a \in N$
U	Any sensor node other than S

表四：節點覆蓋分群演算法

1.	Begin
2.	While $U \neq \emptyset$
3.	For each i
4.	If $d_{ij} \leq r$ then
5.	$t_i \leftarrow t_i + 1$
6.	end for

7.	Choose Max_t_i
8.	Add X_i to S_a
9.	If $d(x_i,y_i) \geq r$ then
10.	If $d_{i,x} > d_{i,y}$ then
11.	Delete x in S_a
12.	end if
13.	end if
14.	$S_a \leftarrow S_a + 1$
15.	$U \leftarrow U - S_a$
16.	end while
17.	End

實例探討:

表五中共有 10 個感測節點，散佈在 10(m)*(10m)的正方形中，節點的感測半徑為 4m，鄰近節點數最多的是 1 號節點，因此，節點分群是從 1 號節點開始，1 號節點為主持分群節點。挑出 1 號節點的鄰近節點作為群組成員，群組 1 成員 {1,2,3,4,6,7,8,9}，演算法會去計算成員之間的距離，確認是否有不在感測範圍中的節點組合，演算法挑出節點 {2,4}、{3,7}、{2,8} 這幾組，彼此不在感測範圍中的組合，然後確認組合中節點與主持分群的節點，也就是 1 號節點之間的距離，刪除掉距離比較遠的節點，因此，演算法刪除掉節點 4,7,8，最後 1 號節點主持的群組為 {1,2,3,6,9}。

表五:節點分布資訊

節點	座標	鄰近節點	鄰近節點數
1	(4,5)	2,3,4,6,7,8,9	7
2	(4,7)	1,3,6,7,9	6
3	(7,5)	1,2,6,9	4
4	(1,4)	1,7	2
5	(6,1)	8,10	2
6	(6,5)	1,2,3,9	4

7	(2,7)	1,2,4	3
8	(4,2)	1,5,10	3
9	(6,8)	1,2,3,6	4
10	(2,1)	5,8	2

當群組分群完畢後，就會從整體網路的分群資訊中刪除，刪除掉節點 1,2,3,6,9 的分組資訊，這些節點為群組 1 的成員，並由剩下的節點繼續分群的工作。以此類推直到所有節點都分群完畢。

3.6 群組節點的工作排程

當所有的節點都已經完成分組之後，接著就是每個群組進行工作排程，由電力最高的節點開始進行感測工作，只要群組中有節點目前正在工作，那麼其他的節點就都是處於睡眠的狀態，以節省電力，並持續進行工作，直到電力過低無法勝任感測工作時，才由群組中電力最高的節點進行感測工作，好處在於網路拓撲變動不會過於頻繁，在資料的傳輸上也可以避免常常重新連線的困境。

四、 模擬實驗及分析

在此章節中將針對節點覆蓋分群演算法進行模擬實驗及結果的分析與評估。模擬實驗中，由於感測節點的電量無法替換，因此演算法的耗電對於感測任務的時間長短有直接的影響。

4.1 模擬實驗參數

本實驗中，假設任務散佈的感測節點有 500 個，為隨機散佈而且節點的位置不重複，任務區域為 100(m)*100(m)的正方型區域，節點的感測範圍(sensing range)以及通訊範圍(communication range)採用與 LDAS 相同的設定為 10m[15]，每個節點的總電量為 5000 單位電量，進行感測任務為 20 單位電量、傳送封包為 10 單位電量、睡眠所耗損 4 單位電量，每個感測節點都知道自己

的位置且具備直接和 sink 端的能力。

4.2 效能指標

模擬實驗中，分別執行三種效能指標比較不同方法，對於感測節點進行任務時電量的損耗。評估是否有效率地運用感測節點的電量。

1. 存活節點數(alive node)

感測節點電量無法替換，在任務進行中損耗電量越少，存活的節點數量越多，就能夠進行越久的感測任務，任務品質也能夠被保證。

2. 感測覆蓋率(coverage)

感測任務為監控一個區域的情況隨著時間所做的改變，完整的監控區域是被要求的，觀察覆蓋率在不同方法下的改變，可以判斷出對任務的貢獻度。

3. 工作節點數(working node)

為了降低感測節點進行感測時損耗的電量，會選擇性地讓重複感測範圍的節點進行休眠，達成最低工作節點數，而覆蓋率最大的最佳化狀態，當任務時間進行時，觀察不同方法下，節點的工作數量來評估效能。

4.3 實驗結果與分析

圖 7 的評估指標為存活節點數(alive node)，存活節點數即為感測節點在進行任務時未死亡的節點，感測節點的資源有限且電量無法補充，因此存活的節點數越多表示可以進行越長的任務時間，在此實驗中可以觀察在實驗時間(system lifetime) 200(sec)時 NCG 的存活節點數為 PEAS 的 269%，LDAS 的 436%，NGC 是利用節點分群輪流工作的方式讓節點進行完感測工作後，進入休眠狀態，等待同群組內的節點輪流工作一輪之後，再重新進行感測工作，同群組內的節點越多，輪流的次數就越少，意即群組內節點數越多的群組，工作的次數較少所損耗的電量就少，整個群組的存活時間就會比較長，因此在 800(sec)

時大部份的節點都已死亡，但仍有少數節點能存活到 1000(sec)左右，即是因為此群組的節點數很多，延長整個群組的壽命。

而在整體網路的死亡時間，NCG 也超過 PEAS 及 LDAS，NCG 的節點是同群組內輪流分工，一個節點工作其他節點休眠，LDAS 的分工比較沒有效率，必須等到節點的得票數到達門檻值才能休眠，休眠的節點較少，過程中也傳送比 NCG 更大量的封包，因此效能較差，在此可以明顯的看出節點分群法的效能優於其他兩種方法。圖 8.的效能指標為節點覆蓋率，在感測任務進行中，節點的工作為監控區域內的變化，當任務開始節點就會進行感測工作收集資料，因此節點的覆蓋率是很重要的指標，若感測的覆蓋率低，表示可監控的區域小收集到的資料不完全，無法達到任務要求的品質，感測的覆蓋率很高，但整體的系統生命期短，表示節點的工作沒有效率，耗損過多的電量。感測任務中很重要的一環為節點的隨機散佈，隨機散佈的情況無法控制節點的分佈狀況，因此實驗中假設所有節點散佈完並全部開啟感測的感測覆蓋區域為 100%，計算 NCG、PEAS、LDAS 在每個時間在工作的感測節點之覆蓋率，總和即為節點覆蓋率 coverage(%)。

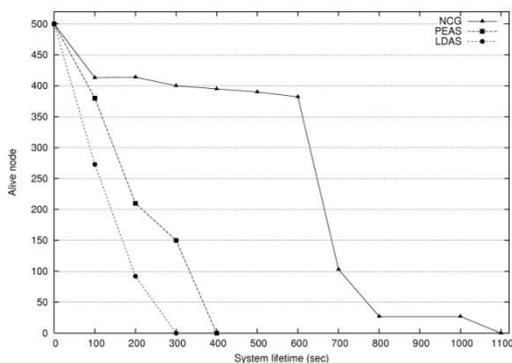


圖 7.存活節點數

在實驗一開始 NCG 以及 PEAS 的覆蓋率維持在 85%，而 LDAS 則是超過 95%，但不到 system lifetime 200(sec)時，LDAS 的覆蓋率便即大幅衰退，即因工作的節點多損耗太多的電量，致使無

法延長網路生命期，NCG 及 PEAS 的工作節點

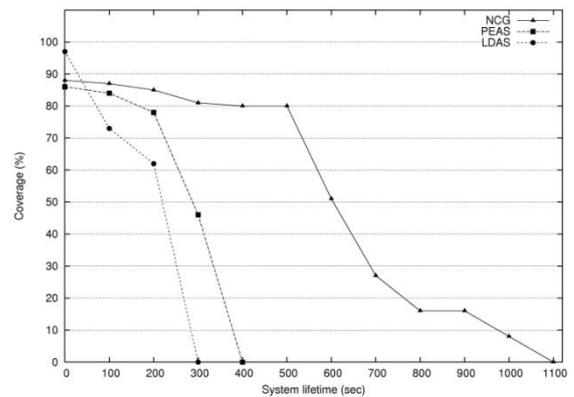


圖 8.節點覆蓋率

數相差不遠，NCG 略高 PEAS 一點，但即使工作節點數較少，PEAS 在 300(sec)時就開始下降，因為 PEAS 在節點的排程中傳送的封包比 NCG 高上許多，損耗大量的電量影響到感測節點的壽命，在 350(sec)時 PEAS 的覆蓋率大幅衰退低於 60%，而 NCG 仍維持 80%以上，說明了 NCG 在節點工作的過程中效能比較高。

圖 9 的效能指標為工作節點數量，當節點進行任務時，不同方法進行節點休眠的數量也不同，由於感測節點為隨機散佈無法控制節點所處的位置，散佈之後也無法移動，且在高度密集的環境下節點與節點之間會靠得很近，產生大量的重複感測範圍，因此有效率的降低工作節點數很重要的，LDAS 一開始的工作節點數最高在 150(sec)後就大量下降，因為節點已經大量死亡。

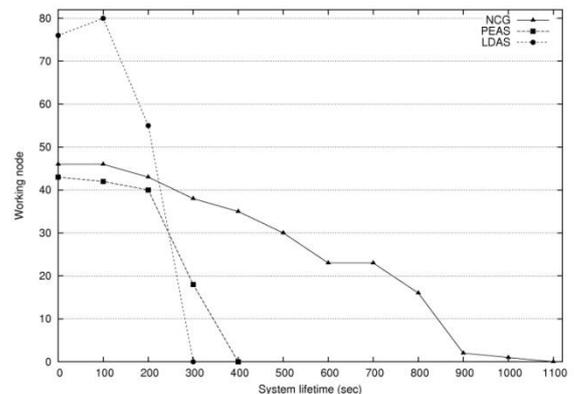


圖 9.工作節點(working node)數

而 NCG 及 PEAS 的工作節點數相差不大，NCG 略高於 PEAS，到 350(sec)時 NCG 維持將近 40 個工作節點，PEAS 則將近 20 個相距大約一倍，意即覆蓋率也相差將近一倍，而 NCG 在 400(sec)之後才有明顯的衰退，也比 PEAS 及 LDAS 效能更好，主要原因仍在於 NCG 的工作過程中，節點不需要傳送大量的封包，節省的電量，可提供節點往後的生命延長，而 PEAS 及 LDAS 傳送大量的封包，損耗的電量龐大，因此生命也比較短。

五、 結論及未來的研究

在無線感測網路的環境下我們提出 NCG，能夠使感測節點的工作排程更有效率，在對每個感測節點的位置進行分析之後，將之分成多個工作群組，每個工作群組內的成員，在必要的時候都可以相互的替代工作位置，不需要複雜的節點排程步驟，也可以為感測節點進行有效率的工作輪替，節點不用傳送大量的通訊封包來溝通，以此平衡整個網路的資源，避免在任務的進行中，浪費掉太多珍貴的節點資源。

未來將對於每個群組間的節點的資源平衡作研究，讓每個群組間的工作節點，可以進行有效率的分工合作，讓節點分群演算法的節點分群排程，能夠更進一步地，在避免感測節點多餘的工作，浪費有限的資源之後，可以對整體的網路，作有用的規劃，讓工作排程更加的全面，進而延長無線感測網路的生命期。

六、 參考文獻

[1] B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan and R. Morris, "An energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in Ad Hoc wireless networks", proc. of International Conference on Mobile Computing and Net-

working, pp.85-96, 2001.

- [2] C. Hofner and G. Schmidt, "Path Planning and Guidance Techniques for an Autonomous Mobile Cleaning Robot", Robotics and Autonomous Systems, vol.1, pp.199-212, 1998.
- [3] C. fan Hsin and M. Liu, "Network coverage using low duty-cycled sensors: random & coordinated sleep algorithms", proc. of Information Processing in Sensor Networks, pp.433-442, 2004.
- [4] D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann and S. Kumar, "Next Century Challenges: Scalable Coordination in Sensor Networks", proc. of International Conference on Mobile Computing and Networking, pp.263-270, 1999.
- [5] D. Tian and N.D. Georganas, "A Coverage-preserved Node Scheduling scheme for large wireless sensor networks", proc. of Wireless Sensor Networks and Applications, pp.32-41, 2002.
- [6] F. Ye, G. Zhong, J. Cheng, S. Lu and L. Zhang, "PEAS: a robust energy conserving protocol for long-lived sensor networks", proc. of International Conference on Distributed Computing Systems, pp.28-37, 2003.
- [7] F. Aurenhammer, "Voronoi Diagrams - A Survey Of A Fundamental Geometric Data Structure", ACM Computing Surveys, vol.23, pp.345-405, 1991.
- [8] G. Borriello and R. Want, "Embedded Computation Meets the World Wide Web", Communications of the ACM, vol.43, pp.59-66, 2000.
- [9] G.J. Pottie, W.J. Kaiser, "Wireless Integrated Network Sensors", Communications of the ACM, vol.43, pp. 51-58, 2000.
- [10] H. Wang, D. Estrin and L. Girod, "Prepro-

- cessing in a Tiered Sensor network for Habitat Monitoring”, Applied and Signal Processing, vol.2003, pp.392-401, 2003.
- [11] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, ”A survey on sensor networks”, IEEE Communications Magazine, vol.40, pp.393-422, 2002.
- [12] I. Stojmenovic, ”Position-based routing in ad hoc networks”, IEEE Communications Magazine, vol.40, pp.128–134, 2002.
- [13] J. Kahn, R. Katz and K. Pister, ”Next century challenges: mobile networking for Smart Dust”, proc. of International Conference on Mobile Computing and Networking, pp.271–278, 1999.
- [14] J. Pan, Y.T. Hou, L. Cai, Y. Shi and S.X. Shen, ”Topology control for wireless sensor networks”, proc. of International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 286–299, 2003.
- [15] Kui Wu, Yong Gao, Fulu Li and Yang Xiao, ”Lightweight Deployment-Aware Scheduling for Wireless Sensor Networks”, Mobile Networks and applications, vol.10, pp.837-852 , 2005.
- [16] R. M. Karp, ”Reducibility Among Combinatorial Problems”, Symbolic Logic, vol.40, pp. 85–103, 1979.
- [17] S. Ramanathan, R. Rosales-Hain, ”Topology control of multihop radio networks using transmit power adjustment”, proc. of IEEE Computer and Communications Societies, pp.404-413, 2000.
- [18] S. Rhee, D. Seetharam and S. Liu, ”Techniques for Minimizing Power Consumption in Low Data-Rate Wireless Sensor Networks”, proc. of IEEE Wireless Communications and Networking, pp.1727-1731, 2004.
- [19] S. Shakkottai, R. Srikant and N. Shroff, ”Unreliable sensor grids : Coverage, connectivity and diameter,” proc. of IEEE Computer and Communications, pp.702-716, 2003.
- [20] W.W. Gregg, W.E. Esaias, G.C. Feldman, R. Frouin, S.B. Hooker, C.R. McClain and R.H. Woodward, ”Coverage Opportunities For Global Ocean Color In A Multimission Era”, Geoscience and Remote Sensing, vol.36, pp. 1620-1627, 1998.
- [21] X. Wang, G. Xing, Y. Zhang, C. Lu, R. Pless and C. Gill, ”Integrated coverage and connectivity configuration in wireless sensor networks,” proc. of Embedded Networked Sensor Systems, pp.28-39 , 2003.