

基於多重跳躍之叢集化無線感測網路之 叢集頭消耗能量等化

吳典輝

朝陽科技大學網路與通訊研究所
e-mail:s9430613@mail.cyut.edu.tw

黃永發

朝陽科技大學網路與通訊研究所
e-mail: yfahuang@cyut.edu.tw

摘要

在叢集化(clustering)無線感測網路中，叢集裡的叢集頭(cluster head)，負責把從叢集裡的感測數據傳遞到遙遠的基地台，叢集頭將會消耗更多的能量，因此，本文乃探討在叢集式無線感測網路中，改變以往每個叢集頭將所收集之資料直接傳送至基地台，在每個叢集頭與基地台之間，每個叢集頭與叢集頭之間應用多重跳躍(multi-hop)的方式，使每個叢集頭都是無線的鏈結點，來形成一個鏈結的架構，將每個鏈結點所收集之資料往鄰近的鏈結點傳送，最後鏈頭則會將鏈上的資料收集必傳遞到基地台，依照每個叢集之叢集頭依照其與鄰近之叢集頭的距離，調整其叢集之範圍以使其每個叢集頭所消耗能量等化(energy equalization)，以延長整個無線感測網路的壽命(lifetime)。

關鍵詞：無線感測網路，叢集化，叢集頭，能量等化，延長壽命

1. 前言

近來由於微型元件製照技術以及通訊電池技術的發展，促使微小感測器具有感應能力、無線通訊以及資料處理能力[1]。也由於感測器的體積小且數量龐大，要重新充電幾乎不可能，而它所搭載的能源容量也就相對的有限。且感測器的位置一旦佈置後，這個無線感測網路(wireless sensor networks)的位置通常是在使用者所無法達到的地方，所以省電就成為感測網路設計一個很重要的考量，因此，能量的有效運用就變成了一大議題[1]。這一類的感測器不但可以感應以及偵測環境的目標物，並可處理所收集到的資訊數據，並將經過處理過的資料已無線傳輸的方式經由資料匯聚點在傳送到基地台。由於感測器廣泛散佈，使得網路管理困難，加上感測器內部的電池無法更換或是充電，因此，其感測節點(sensor node)

能量的有效運用是一個非常重要之問題，此外，而感測器的壽命(life time)或整個網路的壽命將是感測網路能否被採用之重要考量因素[2]。

感測網路中主要能量之消耗是在感測資料傳輸的過程中，而其中最簡單的方式就是直接傳輸，每個感測器直接傳送所收集到的資料傳送到遠處基地台(sink)，應用這種方式時，距離基地台較遙遠的感測器很容易就能量耗盡，所有節點能量消耗速率無法一致，故較大面積的感測網路就不適合此種傳輸方式[3]。而第二個方法就是經由多重跳躍(multi-hop)方式，過去常用於隨意網路(ad hoc network)的路由協定[3]-[7]，這樣路由協定可以將感測節點形成一個或數個鏈架構，而每個鏈都會有一個收集者擔任鏈結頭，節點只需要將資料往鏈上靠近鏈頭的鄰居傳遞，最後鏈頭則會將鏈上的資料收集並傳遞到基地台[4]，這種傳遞資料方式的缺點是，當資料從感測點收集到數據資料，要傳送到遠端基地台時，必須經由點對點方式傳遞，越靠近基地台的節點將傳送越多筆資料，因此耗費太多之能量。

第三種方法是叢集化(clustering)[3]，[6]-[7]，使相鄰的許多感測器形成叢集(cluster)。叢集裡的任一個感測器將被選為叢集頭(cluster head)，並且負責把數據資料從叢集裡的每個感測器傳遞到遙遠的基地台，這種方法中，叢集頭自然成為數據資料融合和資料壓縮的點，因為叢集頭將會消耗更多的能量，因此叢集頭的壽命會比其他感測器短[7]，但若能讓叢集頭以輪流方式擔任，那麼叢集架構將較具有能量使用效率[8]。

因此選用叢集頭將偵測範圍內的感測器能量收集後再傳送至基地台，可避免每一個感測器皆將資料直接傳送回基地台，而消耗大量的能源，但當作叢集頭的感測器往往壽命會相對的較其他的感測器的低。叢集頭主要負責將此叢集中其它感測器的資料加以整理或進行

資料融合並傳送資料給基地台，如此避免了每一個感測器皆將資料各自傳回基地台，而額外消耗大量的能源。

先前之研究成果中[9-10]，所提出之固定叢集演算法(fixed clustering algorithm, FCA)可依據所需之叢集數劃分出適當之叢集區以提升感測節點之傳輸能量效率，但因為每個叢集頭所感測的範圍以及距離基地台的距離皆有所不同，因此在整體的無線感測網路的環境中叢集頭的壽命往往都不一樣，也影響了整個無線感測網路的壽命。因此本文中，我們由叢集頭到基地台之間應用多重跳躍(multi-hop)的方式，依照叢集頭與叢集頭之間的距離來考慮調整其叢集的偵測範圍，以及在最靠近基地台之叢集頭應用資料融合之技術，來做一個比例的配置，使其讓整個感測網路的環境內的所有叢集頭的消耗能量能夠等化，以達到延長感測網路的壽命的目的。

2. 網路與系統架構

在本文中，我們定義了感測區域如圖 1 所示，在感測區域中均勻散佈感測器，其中感測區域可以分成四個相等的區域，為其方便分析驗證，我們取其圖 1 之深色部分來進行能量分析，深色部分為整個環境之四分之一的範圍。圖 2 為深色部分區域，為其方便分析，我們以矩形區域來表示叢集感測範圍，其中我們將此區域之四個叢集分別以 ABCD 表示之，如圖 2 所示，其每個叢集之邊長我們分別定義為 x_{two} 和 y_{two} ，其叢集之叢集頭(cluster head)，分別以 H_A 、 H_B 、 H_C 及 H_D 來表示，其每個叢集頭距離叢集頭以及叢集頭距離基地台(BS)之資料傳遞距離為 d_x ，如圖 2 中， d_{x_c} 為叢集頭 $H_{C(two)}$ 傳遞資料到叢集頭 $H_{A(two)}$ ， d_{x_A} 表示叢集頭 $H_{A(two)}$ 至基地台之距離。

在無線通訊通道中，傳送的訊號在大氣中傳輸會受到衰退(fading)之效應，因為我們只考慮長期之系統效能，所有的感測節點均假設布置後即不再變動，因此對於短期衰減(short-term fading)與遮蔽效應(shadow fading)均忽略，只考慮路徑損失指數(path loss exponent)，所以感測節點接收之訊號功率為

$$P_r = c \frac{P_t}{d^\alpha} \quad (1)$$

其中 d 為感測節點傳輸的距離， P_t 表示傳送訊號之功率， c 為與發射器傳送與接收器接收效

率有關之常數， α 是無線電波衰減指數(attenuation exponent)， α 範圍 2~6 之間[4]，在無線感測網路中，其資料的傳輸往往會因為不同的 α 的情況之下，而造成每個叢集之路徑損失指數的不同，而造成叢集資料傳輸時所消耗之能量有很大的不同。

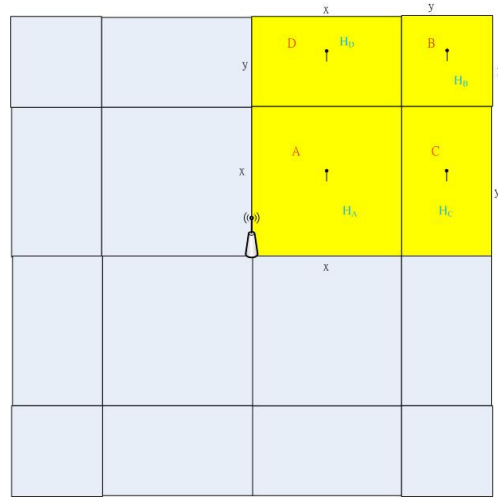


圖 1 無線感測網路之感測區域

為探討各叢集頭傳送資料所消耗之能量之差異，我們將叢集一回合(round)中傳送資料所消耗之能量定義為

$$E_{CH} = E_p \cdot X^2 \cdot d_x^\alpha \quad (2)$$

其中 d_x 為叢集頭到叢集頭之資料傳遞距離， X^2 為叢集感測區域， $E_p(\text{J/m}^2/\text{m}^\alpha)$ 為傳送每單位區域封包一公尺所需之能量，這是因為我們假設感測之資料量與感測範圍大小成正比，此外，假設在可通訊之條件下，接收功率之需求為 $P_r = c_1 \cdot c$ ，其中 c_1 為與通道雜訊有關之常數，因此(2)式對應到(1)式可得

$$E_p X^2 = T_r \cdot P_t \quad (3)$$

其中 $T_r(\text{second})$ 為一回合中所需傳送資料之總時間。

3. 資料融合

在無線感測網路收集資料的過程中，乃採用各個節點單獨傳送資料到叢集頭會有兩個缺點：(1)浪費頻寬及能量(2)降低資料收集之能力，因此為了避免這兩個問題之發生，所以在叢集頭收集資料的過程中就必須使用資料融合(data aggregation)[11]技術，資料融合是將多份資料或是訊息進行處理，組合出更有效，更符

合用戶需求的資料過程。

在無線感測網路中能量節省是必要的，而減少傳輸的資料量可以有效的節省能量，因此再從各個感測節點收集資料的過程中，利用節點本身的計算及儲存能力處理資料，進行資料融合操作，去除冗餘的訊息，盡量減少傳輸量，進而達到節省能量之目的，此外感測節點容易發生失效性，在無線感測網路中也需要資料融合之技術對多份資料進行融合，以提高資料的準確度。

資料融合技術的目的在於節省能量，提升資料準確度之同時也必須犧牲其他方面的性能。首先是延遲：在資料傳送過程中，尋找易於進行資料融合的路由、進行資料融合操作、為融合而等待其他資料到來，這幾方面都可能增加網路的平均延遲[11]。其次是容錯性：無線感測網路相對於傳統網路有更高的節點失效率以及封包遺失率，資料融合可以大幅降低資料的冗餘性，但是遺失相同之資料量可能會損失更多之訊息，因此相對也降低網路的容錯性。

4. 多重跳躍之叢集頭能量等化分析

圖 2 與 3，分別為我們所提出之 Two-hop 與 Three-hop 兩種不同傳輸路徑之模型，由於每個叢集的叢集頭距離基地台之距離不同，因此其叢集範圍皆不同，為其方便分析，我們以矩形區域來表示叢集感測範圍，且由於感測環境假設為均勻分布，因此將感測密度定義為 $d_s (1/m^2)$ ，此外，我們假設每一回合中，每個感測器所需傳出之資料均為一個封包，長度均相同，因此，不同叢集頭所需轉傳之資料量可能不相同，並與其叢集中之感測節點數有關，首先，我們先以圖 2 之 Two-hop 的模型來分析，在圖 2 中為求其四個叢集之叢集頭所消耗之能量，因此把圖 2 所表示叢集頭之相關變數代入公式(2)，於是我們可求得四個不同叢集頭在每個回合所消耗能量分別為

$$E_{A(two)} = \eta_{two} \cdot E_p \cdot (x_{two} + y_{two})^2 \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{2} x_{two} \right)^\alpha \quad (5)$$

$$E_{B(two)} = E_p \cdot y_{two}^2 \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{2} (x_{two} + y_{two}) \right)^\alpha \quad (6)$$

及

$$E_{C(two)} = E_{D(two)} = E_p \cdot (x_{two} \cdot y_{two}) \cdot \left(\frac{1}{2} (x_{two} + y_{two}) \right)^\alpha \quad (7)$$

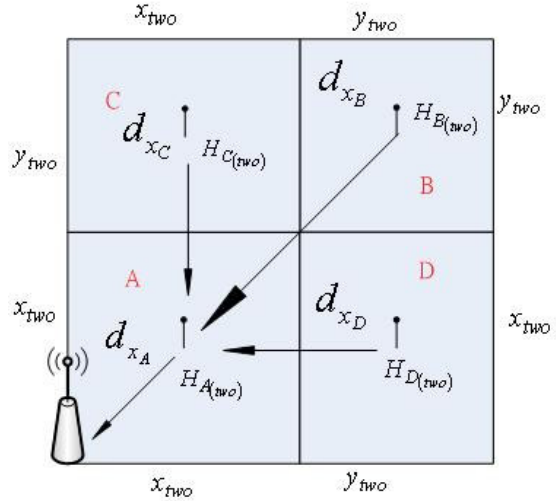


圖 2 Two-hop 感測網路之多重跳躍方式

為使不同叢集頭在每個回合所消耗功率相等，進而延長整個網路壽命，於是，我們將調整不同叢集之感測區域大小，如圖 2 所示，我們可以將邊長以 x_{two} 和 y_{two} 兩個比例來簡化表示之，其中由於在我們所提出之改善方法中，叢集頭 $H_{A(two)}$ 為最接近基地台(BS)且是將整個範圍之節點與其他之叢集頭所收集之資料收集壓縮再傳給基地台，因此，我們在叢集頭 $H_{A(two)}$ 加入了資料融合之技術，如公式(5)，將叢集頭 $H_{A(two)}$ 之能量消耗等式中，加入其資料融合 η_{two} 一方面能使其叢集頭 $H_{A(two)}$ 所要傳送至基地台的資料量降低，使其傳輸能量之消耗能減少，另一方面能使其叢集頭 A 能與其他叢集頭之消耗能量得以能夠進行均化已達到等化之目的，因此，我們先以叢集頭 H_B 為基準，分別調整叢集 C 和 D 之範圍，即其邊長 x_{two} ，令叢集頭 $H_{C(two)}$ 和 $H_{D(two)}$ 每個回合所消耗功率相等，則得 x_{two} 和 y_{two} 的關係式為

$$\begin{aligned} y_{two}^2 \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{2} (x_{two} + y_{two}) \right)^\alpha \\ = (x_{two} \cdot y_{two}) \cdot \left(\frac{1}{2} (x_{two} + y_{two}) \right)^\alpha \end{aligned} \quad (8)$$

由於 $H_{C(two)}$ 之相關關係式與 $H_{D(two)}$ 相同，因此 $H_{B(two)}$ 和 $H_{D(two)}$ 之相關關係式，也如公式(8)所示。

由於(8)之關係式，可以求得在不同之路徑損失指數下所得 x_{two} 和 y_{two} 之比例，之後我們將叢集頭 $H_{B(two)}$ 與叢集頭 $H_{A(two)}$ 作其等化，令叢集頭 $H_{B(two)}$ 和 $H_{A(two)}$ 每個回合所消耗功率相等，可得其關係式為

$$\eta_{two} \cdot (x_{two} + y_{two})^2 \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{2} x_{two} \right)^\alpha = y_{two}^2 \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{2} (x_{two} + y_{two}) \right)^\alpha \quad (9)$$

將我們從公式(8)中，所求其 x_{two} 和 y_{two} 在不同之路徑損失指數下之相對比例函數，代入公式(9)，可求其在不同之路徑損失指數的情況下資料融合 η_{two} 之函數。

此外，我們再探討 Three-hop 傳輸方法之叢集頭消耗能量之等化，如圖 3 所示，為使其五個叢集頭所消耗之能量等化，我們將圖 3 中所表示叢集頭之相關變數代入公式(2)，於是我們可求得三種叢集頭所消耗能量之公式分別為

$$E_{A(three)} = E_{A(three)} = E_p \cdot \eta_{three} \cdot \frac{(x_{three} + y_{three})^2}{2} \left[\frac{\sqrt{5}}{3} x_{three} \right]^\alpha \quad (10)$$

$$E_{B(three)} = E_p \cdot y_{three}^2 \cdot \left[\frac{(x_{three} + y_{three})}{2} \right]^\alpha \quad (11)$$

及

$$E_{C(three)} = E_{D(three)}$$

$$= E_p \cdot \left(x_{three} \cdot y_{three} + \frac{y_{three}^2}{2} \right) \cdot \left(\sqrt{\left(\frac{x_{three}}{3} + \frac{y_{three}}{2} \right)^2 + \left(\frac{x_{three}}{6} \right)^2} \right)^\alpha \quad (12)$$

為使不同叢集頭在每個回合所消耗功率相等，進而延長整個網路壽命，於是，我們將調整不同叢集之感測區域大小，如圖 3 所示，我們可以將邊長以 x_{three} 和 y_{three} 兩個比例來簡化表示之，其中由於在我們所提出之改善方法中，叢集頭 $H_{A(three)}$ 為最接近基地台(BS)且是將整個範圍之節點與其他之叢集頭所收集之資

料收集壓縮再傳給基地台，因此，我們在叢集頭 $H_{A(three)}$ 加入了資料融合的技術，如公式(10)，將叢集頭 $H_{A(three)}$ 之能量消耗等式中，加入其資料融合 η_{three} 一方面能使其叢集頭 $H_{A(three)}$ 所要傳送至基地台的資料量降低，使其傳輸能量之消耗能減少，另一方面能使其叢集頭 A 能與其餘叢集頭之消耗能量得以能夠進行均化已達到等化之目的，因此，我們依然如 Two-hop 之方法先以叢集頭 $H_{B(three)}$ 為基準，分別調整叢集 C 和 D 之範圍，即其邊長 x_{three} ，令叢集頭 $H_{C(three)}$ 和 $H_{D(three)}$ 每個回合所消耗功率相等，則得 x_{three} 和 y_{three} 的關係式為

$$y_{three}^2 \cdot \left(\frac{1}{2} (x_{three} + y_{three}) \right)^\alpha = \left(x_{three} \cdot y_{three} + \frac{x_{three}^2}{2} \right) \cdot \left(\frac{x_{three} + y_{three}}{2} \right)^\alpha \quad (13)$$

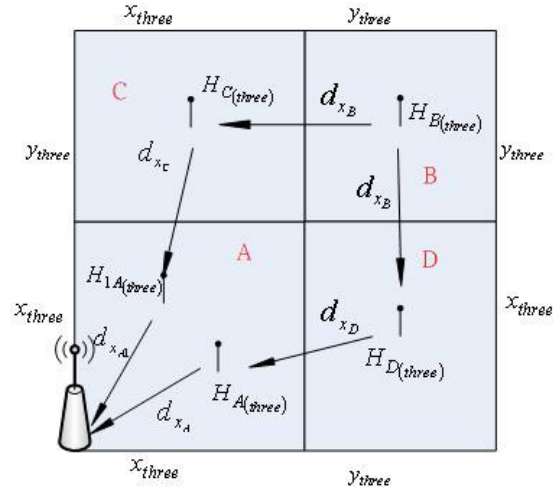


圖 3 Three-hop 之感測網路之多重跳躍方式

由於 $H_{C(three)}$ 之相關關係式與 $H_{D(three)}$ 相同，因此 $H_{B(three)}$ 和 $H_{D(three)}$ 之相關關係式，也如公式(13)所示。由於(13)之關係式，可以求得 Three-hop 在不同之路徑損失指數下 x_{three} 和 y_{three} 之比例，之後我們將叢集頭 $H_{B(three)}$ 與叢集頭 $H_{A(three)}$ 作其等化，在 Three-hop 中，如圖 4 所示，我們將叢集 A 依照對角線將叢集 A 分成兩個等腰三角形之範圍，在應用三角形中心的概念將叢集 A 所分分佈兩個叢集頭 $H_{A(three)}$

和 $H_{A(three)}$ ，以 $H_{A(three)}$ 為例，依照中心之原理叢集頭 $H_{A(three)}$ 距離 C 之距離 $\frac{2}{3}\overrightarrow{OC} = \frac{1}{3}\overrightarrow{AC} = \frac{\sqrt{2}}{3}x_{three}$ ，因此可以利用直角三角形求斜邊之公式推算出叢集頭 H_A 距離基地台 $d_{x_{A(three)}}$ 之距離為 $\sqrt{\frac{5}{9}}x_{three}$ ，之後令叢集頭 $H_{B(three)}$ 和 $H_{A(three)}$ 每個回合所消耗功率相等，可得其關係式為

$$\left(x_{three} \cdot y_{three} + \frac{y_{three}^2}{2}\right) \cdot \left(\sqrt{\left(\frac{x_{three}}{3} + \frac{y_{three}}{2}\right)^2 + \left(\frac{x_{three}}{6}\right)^2}\right)^\alpha = \eta \cdot \frac{(x_{three} + y_{three})^2}{2} \left[\frac{\sqrt{5}}{3}x_{three}\right]^\alpha \quad (14)$$

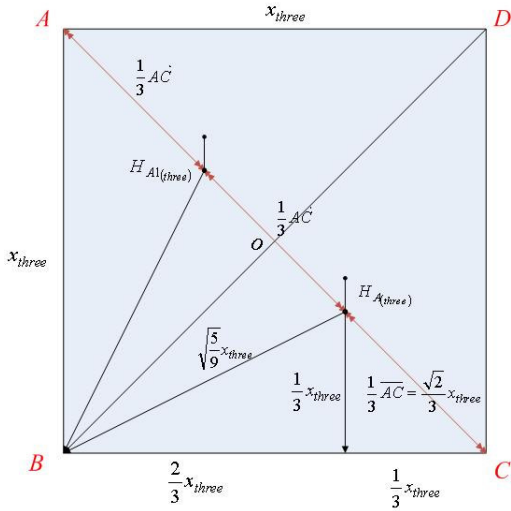


圖 4 Three-hop 之叢集 A 之感測區域

由於 $H_{A(three)}$ 之相關關係式與 $H_{A(three)}$ 相同，因此 $H_{B(three)}$ 和 $H_{A(three)}$ 之相關關係式，也如公式(14)所示。之後我們將公式(13)中，所求 Three-hop 之 x_{three} 和 y_{three} 在不同之路徑損失指數下之相對比例函數，代入公式(14)，可求其 Three-hop 在不同之路徑損失指數的情況下資料融合 η 之函數。

我們假設感測期間由基地台接收完感測區每個感測點一筆資料的週期為一回合 (Round)，而一個回合包含資料的感測以及封包的傳輸到叢集頭，再經由叢集頭轉傳到基地台的週期時間，當沒有資料傳送期間，假設叢集頭為休眠狀態。

5. 數值分析結果

在本節之數值分析過程中，我們將兩種多重跳躍法之叢集 A 之邊長 x_{two} 和 x_{three} 設為 10m，並令路徑損失指數為 $2 \leq \alpha \leq 5$ 之不同無線傳輸環境下，分別畫出在兩種多重跳躍法中其他三個叢集 BCD 叢集之邊長 x_{two} 和 x_{three} 以及 y_{two} 和 y_{three} 所對應之長度，如圖 5 所示。

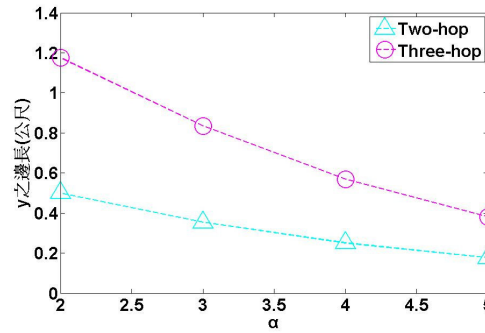


圖 5 當 $x_{two} = 1$ ， $x_{three} = 1$ ， $2 \leq \alpha \leq 5$ ，使叢集頭消耗能量等化時，Two-hop 和 Three-hop 之 y 之邊長變化

由圖 5 可看出，當路徑損失指數增大時， y_{two} 和 y_{three} 會快速下降，以使叢集 B、C 與 D 之感測區域縮小，而達到叢集頭消耗能量等化之目標，此外由圖 6 可看出，當路徑損失指數增大時， η 也快速下降，在叢集 B、C 與 D 區域縮小時，其無線感測網路之容錯性與延遲也隨著 η 之下降而上升與下降，此外，為了探討圖 5 所示之叢集感測範圍，是否會因為每個叢集的邊長不同而有所不同之變化，我們將假設兩種多重跳躍法之邊長 x_{two} 和 x_{three} 為自變數，並選擇 $\alpha = 2$ 和 $\alpha = 4$ 兩種路徑損失指數之情況下探討其感測面積比之變化如圖 7 所示。

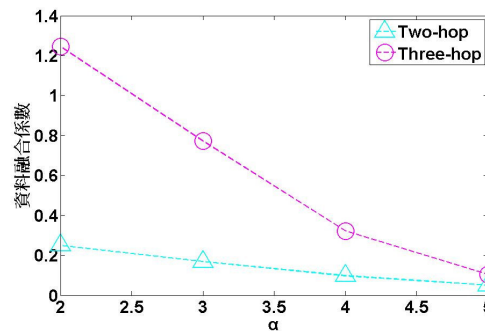


圖 6 當 $x_{two} = 1$ ， $x_{three} = 1$ ， $2 \leq \alpha \leq 5$ ，使叢集頭消耗能量等化時，Two-hop 和 Three-hop 之叢集 A 需要之資料融合係數變化

由圖 7 所示之結果顯示，在 $\alpha = 2$ 和 $\alpha = 4$

兩種不同路徑損失指數的情況下，其邊長 y_{two} 和 y_{three} 均呈現線性變化，因此由圖 5-7 所示，在達到叢集頭消耗能量等化之要求下，我們可根據不同的路徑損失指數而求出各叢集區域各邊長與資料融合之比例。

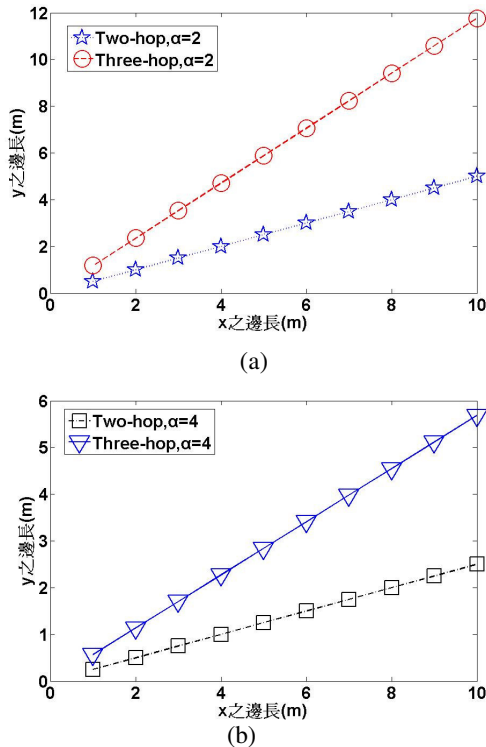


圖 7 當(a) $\alpha=2$ ，(b) $\alpha=4$ ，在叢集頭傳輸消耗能量等化時，其邊長 y 對 x 之變化

在目前所提出之方法，是為了達到叢集頭能量等化之目的情況下，在叢集頭與叢集頭之間應用 multi-hop 之概念，來改善叢集頭直接傳輸到基地台之方法，來更有效應用能量，來使其叢集頭之壽命更長的以延長，因此，我們在 x_{two} 和 x_{three} 之邊長為 10 公尺，其感測面積相等之情況下，分別均勻分佈 10000 個感測點及以圖 5 中所求出 Two-hop 之資料融合係數 η ($\eta=0.25, 0.1692, 0.0977, 0.0509$) 為基準且總能量定義為 2 焦耳之條件下來模擬比較兩種所提出之模型，如圖 8 所示，在提出之方法，在 $\alpha=2 \sim 5$ 之不同的路徑損失指數之情況下，在加入多重跳躍的方法之下，我們以 Two-hop 與 Three-hop 兩種不同跳躍方式與路徑來作其比較，其可看出在我們所提出之方法中，Three-hop 之方法比 Two-hop 更能有效運用能量，來延長叢集頭之壽命。

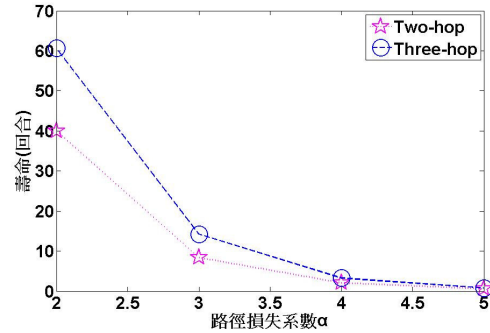


圖 8 兩種多重跳躍模型之壽命比較

6. 結論

為了提升叢集式無線感測網路的壽命，我們使每個叢集之叢集頭依照其與叢集頭的距離，依照不同之多重跳躍法來調整其叢集之範圍以及資料融合率，以使其每個叢集頭所消耗能量等化，由我們所提出等化公式，得各叢集的邊長之比例，在不同的路徑損失指數的環境下，均呈線性關係。不僅改善了直接傳輸無法完全覆蓋所有感測之範圍的缺點，而更能使其模型能夠適應其他不同的環境，此外，Three-hop 在路徑損失指數 $\alpha=2$ 下是無法運用資料融合來使其叢集頭能量等化，雖然 Three-hop 比 Two-hop 更能有效運用能量，僅可在 $\alpha=3 \sim 5$ 之路徑損失指數情況下運用之缺點。

參考文獻

- [1] D. Culler, D. Estrin, M. Srivastava, "Guest Editors' Introduction: Overview of Sensor Networks," *IEEE Computer*, Vol. 37, Issue 8, pp. 41- 49, Aug. 2004.
- [2] E. J. Duarte-Melo and M. Liu. Analysis of energy consumption and lifetime of heterogeneous wireless sensor networks," *Proc. of IEEE Global Telecommunication Conference*, pp. 21-25, Nov. 2002.
- [3] V. Raghunathan, C. Schurgers, S. Park and M. B. Srivastava, "Energy-aware wireless microsensor networks," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 19, no. 2, pp. 40-50, March 2002.
- [4] C. Schurgers and M. B. Srivastava, "Energy efficient routing in wireless sensor networks," *Proc. of IEEE Military Communications Conference*, Vol. 1, pp.357-361, Oct. 2001.
- [5] I. F. Akyildiz, W. Su, Y.Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless sensor network: a survey," *Computer Networks*, vol. 38, pp. 393-422, 2002.
- [6] O. Younis and S. Fahmy, "HEED: a hybrid,

- energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks". *IEEE Trans. Mobile Computing*, pp. 660-669, 2004.
- [7] J. Zhu and S. Papavassiliou, "On the energy-efficient organization and the lifetime of multi-hop sensor networks," *IEEE Commun. Letters*, vol. 7, no. 11, pp. 537-539, Nov. 2003.
- [8] A. Mainwaring, D. Culler, J. Polastre, R. Szewczyk, J. Anderson, "Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring", *The First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA '02)*, Georgia, September 2002.
- [9] Y.-F. Huang, W.-H. Luo, J. Sum, L.-H. Chang, C.-W. Chang, and R.-C. Chen, "Lifetime Performance of an Energy Efficient Clustering Algorithm for Cluster-Based Wireless Sensor Networks," in *Frontiers of High Performance Computing and Networking*, LNCS 4743, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 455-464, Aug. 2007.
- [10] 黃永發、張智惟, 具能量效率之叢集式無線感測網路, 2006資通技術與應用研討會,高雄樹德科技大學,2006年5月.
- [11] R. Szewczyk and A. Ferencz, "Energy implications of network sensor designs," Tech. Rep., Berkeley Wireless Research Center, Santa Clara, Calif, USA, 2000.