

在無線感測網路中利用線性密度控制 優化感測器佈署

黃志明
玄奘大學
e-mail :

chiming@hcu.edu.tw

鄭瑞恒
玄奘大學
e-mail :

rhc@hcu.edu.tw

陳冠帆
玄奘大學
e-mail :

sony5210@hotmail.com

摘要

因為每個感測器的位置不同，它們同時佈署在無線感測網路，在網路中每個感測器的壓力或能源消耗都有所不同，可能會造成不同的傳送壓力，有些感測器可能會提早耗盡能源，而造成網路瓶頸。根據過去文獻的方法，是以感測器跟基地台的距離成反比去調整密度和電池，平衡負載來延長網路壽命或加強數據的傳遞。儘管如此，要準確地計算出承受壓力的感測器耗能並佈署是有相難度的。但若依據至基地台的距離，然後以反比例的線性密度來佈署感測器可較容易執行的。此外，不同的壓縮機制用在通訊上的結果將會造成不同現象瓶頸出現。在這篇文章，我們評估在網路中考慮感測器壓縮後能量的耗能。有了這個理念，用線性密度控制去找出感測器佈署的最佳佈署方法，根據不同層級的壓縮率來平衡感測器在無線感測網路中的壓力，並將網路的壽命延長，增加數據成功傳遞的可能。分析和模擬結果詳見本文。

關鍵字：無線感測網路、瓶頸、網路可用性、感測器佈署、線性密度控制

1. 簡介

設計一個無線感測網路在一個區域放數百或數千的同樣能源的感測器來收集訊息。感測器感測到它們四周所發生的事件然後將這些事件傳送給沒有能源限制的基地台(base station, 基地台)。雖然感測範圍是固定的，感測器會將數據直接發送給基地台或經由介於它們跟基地台之間的感測器轉送。轉送的路徑是經由梯度協定所建立的。在這篇文章，一個感測器在 h 層計算到基地台需要 h 跳(傳送次數)。因此，為了增加網路數據的回收率，高層的感測器會藉由其它層的感測器來轉送數據給基地台。

但以這種方式，當感測器在低層時會比高層感測器承擔較多通訊的壓力。因此，當感測器越靠近基地台，它的能源耗能越快。當很多(全部)感測器在低層死亡，高層感測器的數據沒辦法傳送給基地台，這會導致數據傳遞降低，會導致"甜甜圈現象"的瓶頸現象[7]。當發生甜甜圈現象，低層的感測器會有轉送的瓶頸出現。根據過去文獻[1, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13]

都是考慮感測器跟基地台之間能源有效的佈署，但沒有考慮甜甜圈現象影響。這些建議可以延長網路壽命，但是對於網路有效性的數據傳遞或網路的可用性並不是一定像預期的好。在這篇文章，我們研發一個分析模型，即感測器距離基地台的跳數和感測器在不同層級轉送數據的壓縮率，來評估當感測器在不同層之間能源消耗的情形。根據評估，實際上大多數研究佈署的方法只考慮到在不同層會有不平衡的負載。希望加強網路的可用性並提升數據的回收率。其餘的數據如下，第2節：一些相關分工。第3節：評估感測器在網路中能量的耗能和建議以線性密度控制感測器最佳的佈署方式。第4節：目前我們的模擬結果和一些之前研究和在第5節提出我們的結論跟未來展望。

2. 工作分配

考慮到感測器在每層有不同負載，一些文獻[7, 8, 6]提出問題的解決辦法在於有效佈署感測器和基地台來延長網路壽命。

作者[8]提出，如果越靠近基地台的感測器電池容量就越大，並且跟基地台距離成反比，

那麼就能夠減少甜甜圈現象。假設在自然地理位置，去佈署感測網路是危險和不方便的。這是非常困難，把一個特定的感測器和一個特定電池容量佈署在一個特定的環境。而且和大量生產相同容量的電池比起來，分別製造不同容量的電池其總成本將會高出很多。作者透過文獻[7]，說明了感測器的密度需求取決於與基地台距離、感測器的傳輸範圍和覆蓋範圍、事件的發生率，這些參數如果有任何改變，就需要改變感測器的密度。增加基地台周圍感測器放置的數量可以減少甜甜圈現象。在網路佈署同性質感測器的費用是比較合乎成本。然而，分析在無線感測網路的瓶頸是經由把數據轉送的2維問題簡化成1維的問題，低估了在低層的感測器壓力，因為低層感測器的壓力是最遠層的好幾倍。作者在文獻[6]提出了一個方法，將離基地台較近的感測器之間的通訊距離縮短，使基地台周圍的感測器可以避免的瓶頸現象。傳輸的範圍較小，感測器傳輸所需的電力就比較小，但那是在特定的應用。在實際應用中感測器的資料傳輸是需要雙向的，非對稱傳輸範圍的設計會讓感測器跟基地台不容易傳輸。此外，因為感測範圍小，所以感測器在那層數量相對也變少。在這裡，數量少的低層感測器會承擔較多的壓力，因為幫數量較多的高層感測器轉送的關係，使得甜甜圈現象更加嚴重。在本文，我們提出一個模型來準確評估感測器平均分佈後，感測器在不同層的能量耗能或壓力，數據壓縮和整合也包括在數據轉送中。有了這個方法後，在感測網路中能源的耗能或壓力，用線性密度來優化感測器佈署去平衡感測器在無線感測網路中的壓力，並且延長網路生命和加強數據回傳的成功率。

3. 能源消耗的評估

一般的無線感測網路和單一的基地台可以被看成隨機分佈(均勻分布)的 $N(.)$ 感測器在一個半徑為 R 的圓上。由於每個感測器訊息發送在一個固定功率的範圍 r ，在一個圓的範圍裡可以分裂成很多的圓環，在做法上，即特定的環在所有感測器和圓環形狀是不平滑的[7]。不過，一個感測器佈署在特定環中，即 i 層，表示基地台的距離是 i 跳以及感測器數在 i 層裡表示為 $N(i)$ 。很明顯地，最遠的層即是 h ，而整個網路等於 R/r ，且

$$N(.) = \sum_{i=1}^h N(i)$$

(1)

在網路中，假設感測器的分佈是均勻的， $N(i)$ 是該地區 i 層的比例，整個網路即為

$$N(i) = N(.) \times \frac{\pi(ir)^2 - \pi[(i-1)r]^2}{\pi(hr)^2}$$

$$= \frac{2i-1}{h^2} N(.) \quad , 1 \leq i \leq h \quad (2)$$

全部從任何感測器到基地台轉送的路徑都是根據文獻[1]的梯度協定。整體的路由結構生成樹是以基地台為根發展下去，有個例子是，一個路由樹在無線感測網路，如圖1，我們注意到，有些感測器(感測器A和C的例子)可能會有多个感測器在同一條路徑上做轉送。因此我們不能把每個轉送路徑看做一個獨立的線性網路，相對於過去的研究文獻[7, 6]。

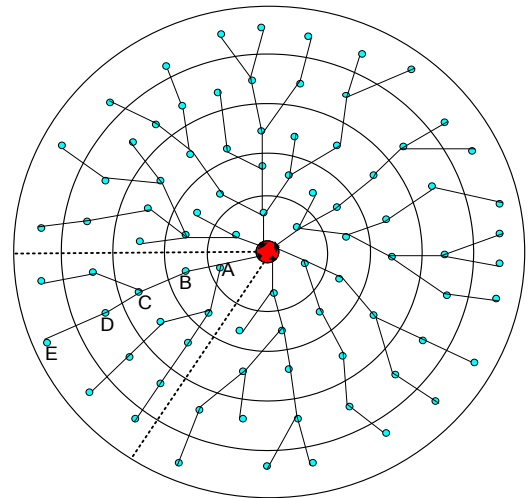


圖1、一個梯度路由的結構。這梯度值的感測器A到E分別是1到5，也就是感測器A到E分別1到5層。

3.1 感測器在網路負載分配

單個感測器所需能源描述如下，在任何感測器能源消耗發生在 (i) 感測、(ii) 計算和 (iii) 通信(接收和傳輸)。傳輸的距離對感測器能源耗能的計算和接收是獨立的。根據文獻[7]給的數據，我們考慮到計算的能量耗能

和其它的耗能比較下，是微乎其微的小，由於感測器所需要能源幾乎是不變的，以下的分析我們考慮只採取能源的耗能對於傳輸和接收。因此當來源感測器產生一個位元資訊轉送給基地台和傳輸能源的耗能是(i)在每個感測器轉送路徑和(ii)接待在每個感測器路徑轉送，除了源頭的感測器之外。在本文中，一個封包的傳輸和接收能源需求，分別假設是 ξ_T 和 ξ_R 。除了轉送的操作也包括了資訊的壓縮。壓縮比例是表示 μ ，這是數據量的比率壓縮前後。 μ 值在 $\{0\}$ 時 $\mu=1$ 表示執行不壓縮。首先，我們分析在 i 層的感測器能量平均轉送封包給所有在 x 層的感測器的耗能，即 $E_i(x)$ ，當 $0 < i \leq x$ 。假設 V 事件是隨機觸發其中的感測器；這預期一個感測器封包傳送的觸發是 V/N 。我們簡稱 $\rho = V/N$ 。這事件感覺到數據封包的數量從感測器 x 層是 $\rho \times N(x)$ 因此這些封包傳送的能量耗能在 $(x-1)$ 層會像 $\rho \times \xi_T \times N(x)$ 。

式子(3) 顯示在 x 層的每個感測器源平均的耗能

$$E_x(x) = \frac{\rho \xi_T N(x)}{N(x)} = \rho \xi_T \quad (3)$$

所有從 x 層傳輸的封包將會由在 $(x-1)$ 層感測器完全收到， μ 收到所有的壓縮封包的速率和在 $(x-2)$ 層重新傳輸給感測器，因此，在 $x-1$ 層每個感測器從 x 層收到和轉送所有封包的平均耗能，將顯示在式子(4)

$$\begin{aligned} E_{x-1}(x) &= \frac{\rho \xi_R N(x) + \rho \mu \xi_T N(x)}{N(x-1)} \\ &= \frac{\rho N(x)}{N(x-1)} (\xi_R + \mu \xi_T) \end{aligned} \quad (4)$$

式子(5) 是指一般在情形下 i 層(i 介於 1 至 $x-1$)的感測器去承擔 x 層感測器轉送的壓力

$$E_i(x) = \frac{\rho N(x)}{N(i)} \mu^{x-i-1} (\xi_R + \mu \xi_T) \quad (5)$$

當 i 屬於 $\{1, x-1\}$

我們可以計算一個感測器在 i 層整體能源的耗能，記為 $\overline{E_i}$ ，之後 V 事件會觸發網路跟感測器之間一致的佈署，即

$$\begin{aligned} \overline{E_i} &= \sum_{x=i}^h E_i(x) \\ &= \frac{\rho(\xi_R + \mu \xi_T)}{(2i-1)\mu^{i+1}} \sum_{x=i}^h [(2x-1)\mu^x] \end{aligned}$$

當 $1 \leq i \leq h$ (6)

經過以上提到能量的模型，我們可以評估能量在不同層的耗能。圖表 2 以網路例子顯示負載分佈，是用在以下幾節，就不同程度的壓縮當 R 和 r 分別設置為300米和600米，即 $h=5$ 。很明顯地在基地台層周圍的感測器能源耗能跟這些遠離基地台層明顯地更大，尤其是 μ 的事件更大，另一方面，而 μ 較小，在基地台層周圍的感測器能源耗能不一定是最大，這表示在壓縮率 μ 夠小的情況下，網路中的甜甜圈現象是不存在的。在文獻[5]的研究中，假設在高壓縮下且不考慮甜甜圈現象，提出了許多的方法來延長網路壽命，舉例：多個封包結合成1個封包[5]。因此，最佳的感測網路的佈署等級需要依賴整合和數據壓縮再轉送的處理，以下，我們需要用線性密度控制來感測器佈署在不同層級之下對於整合和壓縮。

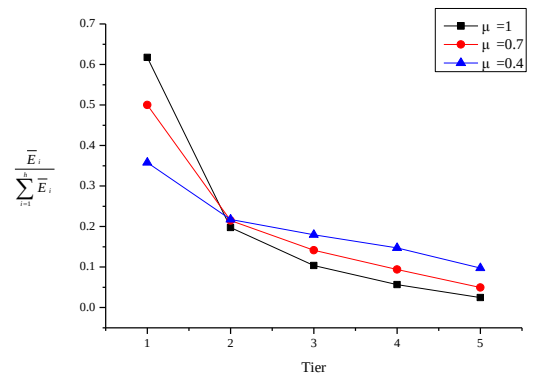


圖 2、在不同壓縮比率下感測器的耗能比。

3.2 線性密度控制

假設感測器在 i 層佈署跟密度，記為 $D(i)$ ，這比例成反比為 $i \cdot i$ 和 $D(i)/D(h)$ 之間的關係，將會透過兩點， $(0, m+1)$ 和 $(h, 1)$ 其中 $m \geq 0$ ，繪成一條線段，這意味著在低層的感測器密度會比高層大。一個例子密度函數為 $H = 5$ 以圖 3 所示。

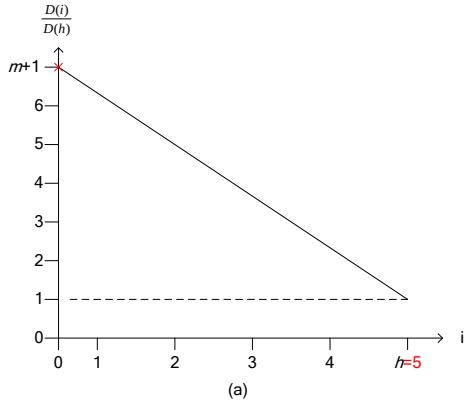


圖 3、密度函數為 $h=5$ 和 $m \geq 0$ 。

這相應的線函數可以作為代表

$$D(i) = [(m+1) - \frac{m}{h}i]D(h)$$

當 $1 \leq i \leq h$ 且 $m \geq 0$ (7)

感測器在 i 層密度， $D(i)$ ，不同的 m 值，在例子中第 5 層是最遠的層。這是兩個特別例子對於 $m=0$ 和 $m=h(=5)$ 對密度函數平均分佈和感測器佈署建議分別在文獻[5]。圖 4 顯示 $D(i)$ 在網路用不同 m 值來佈署 1000 個的感測器例子，可以發現， $m=0$ 時佈署是一致的，而 $m=h$ 時，與文獻[5]建議佈署是一致的。在這篇論文，我們會找到一些 m 使得感測器能源耗能或負載，大多數是負載平衡，將會延長網路壽命和網路的可用性，即數據回收率，將會增加。

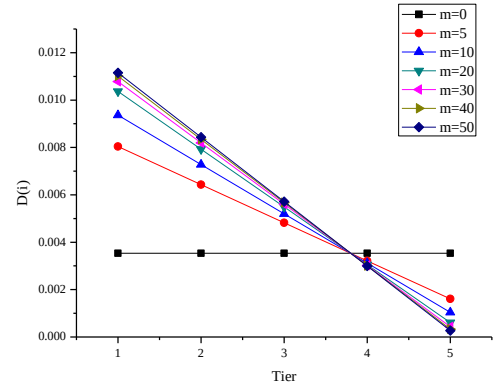


圖 4、密度函數關於 m 不同的值在網路中 5 層是最遠層。

和 i 層相對應的是 $A(i)$ ，在 i 層感測器數量，是 $N(i)$

$$A(i) \times D(i) = (2i - 1)\pi r^2 D(i) \quad (8)$$

圖 5 顯示當各方面不同的值 m

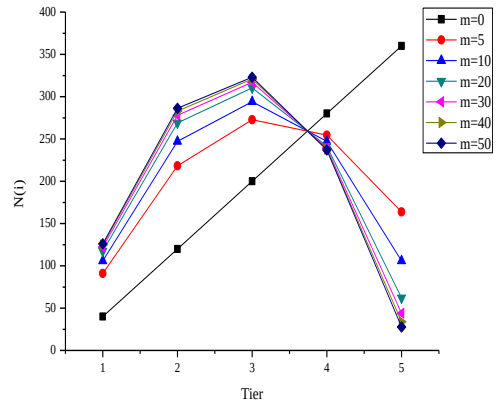


圖 5、 i 層感測器的數量， $N(i)$ ，跟不同的 m 值。

在網路中感測器的總數為

$$N(.) = \sum_{i=1}^h N(i) = \sum_{i=1}^h A(i)D(i) = \sum_{i=1}^h (2i - 1)\pi r^2 D(i) \quad (9)$$

由式子 7，8 和 9，我們可以獲得

$$N(.) = \sum_{i=1}^h (2i - 1)\pi r^2 [(m+1) - \frac{m}{h}i]D(h) \quad (10)$$

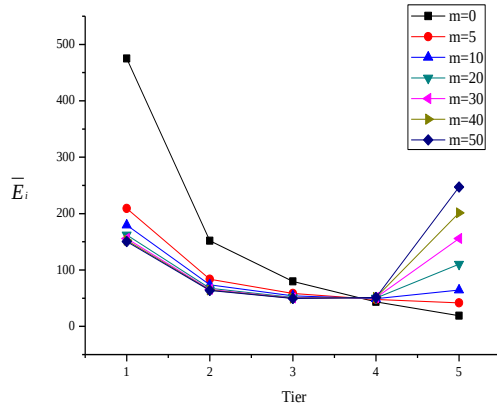
並且

$$D(h) = \frac{6N(\cdot)}{\pi r^2 (m - 3mh + 2mh^2 + 6h^3)}$$

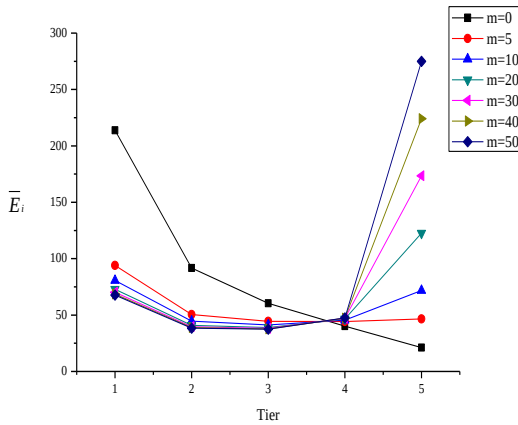
由於感測器不一致的佈署，感測器在 i 層能量平均的耗能， $\overline{E_i}$ ，式子式(5)應將重新產生，即

$$\begin{aligned} \overline{E_i} &= \sum_{x=i}^h E_i(x) = \sum_{x=i}^h \frac{N(x)}{N(i)} \rho_x \mu^{x-i-1} (\xi_R + \mu \xi_T) \\ &= \frac{V}{h^2 N(i)} \frac{\xi_R + \mu \xi_T}{\mu^{i+1}} \sum_{x=i}^h (2x-1) \mu^x \end{aligned} \quad (11)$$

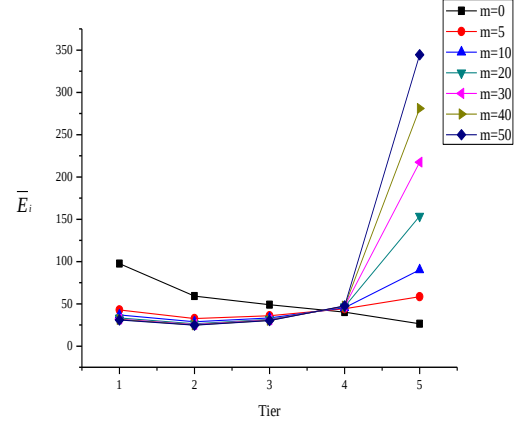
一個感測器能量平均的耗能跟不同耗能比率會顯示在圖 6



(a) $\mu = 1.0$



(b) $\mu = 0.7$



(c) $\mu = 0.4$

圖 6、一個感測器位於 i 層在不同的壓縮比率下平均的耗能。

為了盡量減少感測器高層和低層之間不同的負載， $\overline{E_1}$ 應該接近 $\overline{E_h}$ ，這是， $\frac{\overline{E_1}}{\overline{E_h}}$ 這是一個方法如果感測器負載分佈大多數是負載平衡，首先，如果在還沒壓縮之前網路轉送封包數據給每個感測器，即 $\mu = 1$ ，可以發現

$$\overline{E_1} = \frac{(\xi_R + \xi_T)V}{h^2 N(1)} \sum_{x=1}^h (2x-1) = \frac{(\xi_R + \xi_T)V}{N(1)} \quad (12)$$

並且

$$\overline{E_h} = \frac{(\xi_R + \xi_T)V}{h^2 N(h)} \sum_{x=h}^h (2x-1) = \frac{(\xi_R + \xi_T)V}{h^2 N(h)} (2h-1) \quad (13)$$

因此，

$$\frac{\overline{E_1}}{\overline{E_h}} = \frac{h^2 D(h)}{D(1)} = \frac{h^2 D(h)}{[(m+1) - \frac{m}{h}] D(h)} = \frac{h^3}{hm + h - m} \quad (14)$$

假設 $\frac{\overline{E_1}}{\overline{E_h}} = 1$ ， m 是相當於 $h^2 + h + 1$ 其

中每個最佳解的 m 值是不同的，即 $m = h$ ，來自[5]或 $m=0$ 在同一佈署。

在其它的狀況下 $\mu \neq 1$ ， m 值可以在下面的式子得到滿意的解答

$$\frac{\overline{E_1}}{\overline{E_h}} = \frac{N(h) \sum_{i=1}^h (2i-1)\mu^i}{N(1) (2h-1)\mu}$$

$$= \frac{D(h) \frac{1+\mu-\mu^h(2h+1)+\mu^{h+1}(2h-1)}{(1-\mu)^2}}{D(1)} \quad (15)$$

如果 $\frac{\overline{E_1}}{\overline{E_h}} = 1$ ， m 等於

$$\frac{h[1+u-u^h(2h+1)+u^{h+1}(2h-1)-(1-u)^2]}{(h-1)(1-u)^2}$$

當 A 在不同 m 的 m 下其壓縮比率，如圖 7。例如，當 μ 是同等於 1.0，0.7 或 0.4， m 相對應的值分別是 30，10 或 5

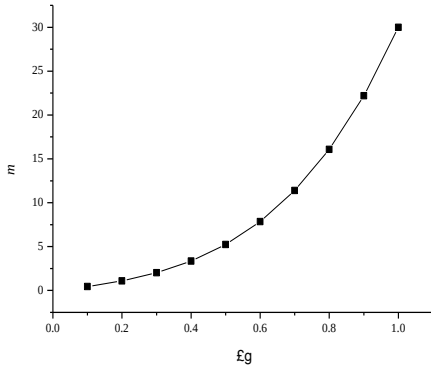


圖 7、 m 值在不同的壓縮比率下的最佳解。

由於負載分佈偏差較小，即代表負載更加地平衡。如預期的，在網路中的感測器能源的偏差或負載的分佈，經由各不同時期的最佳 m 值來控制線性的密度，其比較如圖 8

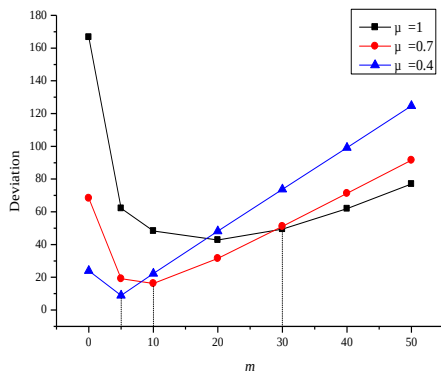


圖 8、經由 m 值在不同壓縮率下的線性密度控制後，感測器的能源消耗偏差和負載分佈。

4. 模擬結果

在模擬中，一千個固定的感測器用線性密度去控制佈署跟 $m=0$ 、5 和 30 的分別在一個半徑 300 公尺的圓中，基地台是設置在中心區域，(300, 300)。每個感測器感測範圍是 60 公尺。模擬網路的運作，即 500、1000、...、2000 的事件隨機觸發，其中當感測器需要去傳送一個固定長度封包給基地台。根據文獻[5]所使用的能源模型，感測器在 60 公尺中傳輸和接收 1 單位的能量的耗能分別是 210nJ 和 50nJ。每個感測器的初始能源是 10000nJ。這佈署的過程將會十次個別的執行，並得到十個模擬結果。

我們設定感測器是同性質和初始電量相同，而且轉送過程中會受壓縮率的影響，即壓縮比率 μ ，設為 1。因為甜甜圈現象，感測器在第一層的能源很容易耗盡，這會降低數據回傳的成功率，比較感測器佈署在第一層的生存率顯示在圖 9，我們的方法讓再第一層感測器多延長生命，而不像之前的方法。其實，在發生 30000 個事件之後，平均分佈的存活率下降至 20%，會比其它 2 種佈署要少得多，同時，我們方法比[7]建議佈署方法還要好上 20%。

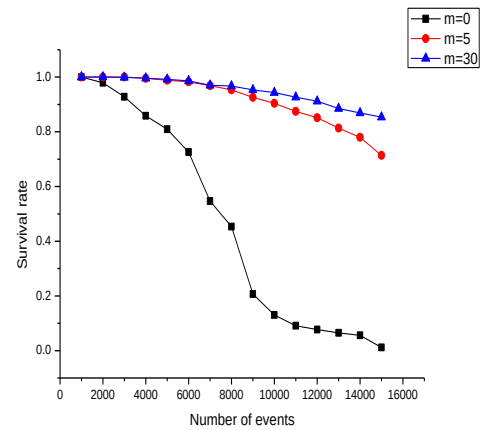


圖 9、比較第一層生存率當佈署不同的感測器。

圖 10 和 11 顯示 m 值不同下，經由線性密度控制後的數據回收率和生存率跟感測器，顯然，我們的方法優於其它 2 個方法在數據傳遞率和生存率這樣網路的可用性將會增強也會延長網路壽命。其實，在文獻[5]佈署建議比平均分佈更好更顯著。這可以解釋的瓶頸現象

是確實存在於多跳式的無線感測網路中，增加感測器的數量或基地台周圍的密度可以有效平衡網路負載這樣可以讓網路壽命延長和數據傳遞率相應的可以增加。

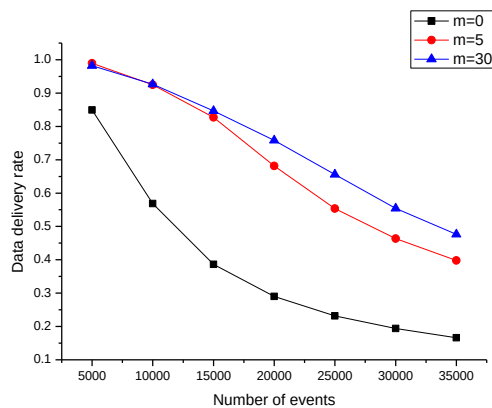


圖 10.數據回收率

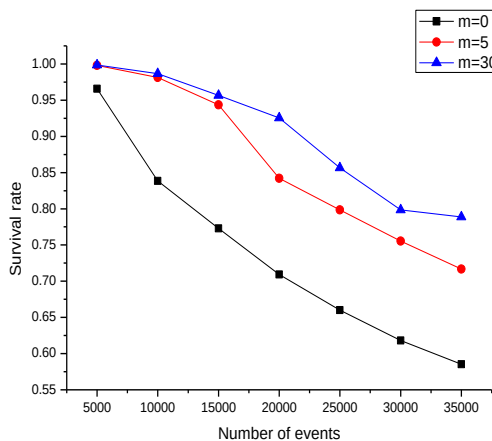


圖 11、存活率

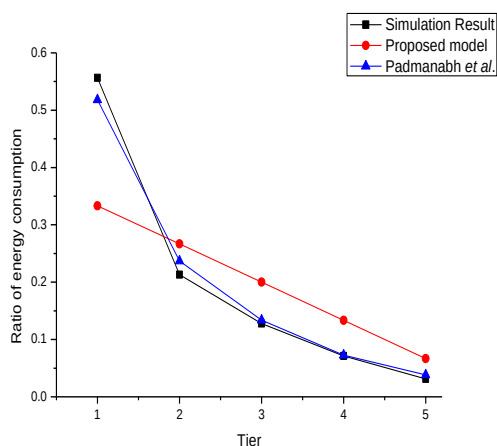


圖 12、在不同層級中，模擬感測器的能源消耗，評估模型文獻為[6]

在圖 11，模擬顯示感測器在不同層能量耗能的比較，我們評估在所有層的能源消耗，

與從文獻[6] 比較。顯然，作者在文獻[6]低估感測器的耗能，越靠近基地台周圍的壓力較大，會使得低層的感測器能源快速耗盡，造成相同的瓶頸與較低的傳遞數據和存活率。

5.結論

在這篇文章裡，我們評估能感測器在網路中，大多數能源耗能和負載分佈。然後用之前相關工作去考慮感測器在每層能源的耗能，而不是只有單一路徑，此外，也考慮數據轉送的壓縮比，據我們所知，考慮到很少有文獻採用這種。較低的壓縮率會導致感測器更高的負載在基地台周圍的層，在另一方面，壓縮增益已經是夠高，感測器在基地台周圍的壓力可能不會比那些比較遠的基地台多，有了這個壓力分佈的觀念後，提出使用線性密度控制去平衡在不同層中感測器的負載，使得瓶頸現象消失。盡可能去延長網路壽命和提高網路可用性。模擬的結果顯示我們方法明顯優於平均分佈，在事件發生後的無線感測網路中並提出優於佈署[7]的數據傳遞數據和存活率。

參考文獻

- [1] A. Howard, M. J. Mataric, and G. S. Sukhatme, "An Incremental Self-Deployment Algorithm for Mobile Sensor Networks," *Autonomous Robots*, vol. 13, pp. 113-126, 2002.
- [2] F. Ye, G. Zhong, S. Lu, and L. Zhang, "GRAdient Broadcast: A Robust Data Delivery Protocol for Large Scale Sensor Networks," *Wireless Networks*, vol. 11, pp. 285-298, 2005.
- [3] H. Chiming, C. Rei-Heng, W. Tung-Kuang, and C. Shau-Ruei, "Localized Routing Protocols Based on Minimum Balanced Tree in Wireless Sensor Networks," in *Mobile Ad-hoc and Sensor Networks*, 2009. MSN '09. 5th International Conference on, 2009, pp. 503-510.
- [4] J. Pan, L. Cai, Y. T. Hou, Y. Shi, and S. X. Shen, "Optimal base-station locations in two-tiered wireless sensor networks," *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, vol. 4, pp. 458-473, 2005.
- [5] K. Hyun-sook and H. Ki-jun, "A power efficient routing protocol based on balanced tree in wireless sensor networks," in *Distributed Frameworks for Multimedia Applications*, 2005. DFMA '05. First International Conference on, 2005, pp.

- 138-143.
- [6] K. Padmanabh, P. Gupta, and R. Roy, "Transmission range management for lifetime maximization in wireless sensor network," in Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems, 2008. SPECTS 2008. International Symposium on, 2008, pp. 138-142.
 - [7] K. Padmanabh and R. Roy, "Bottleneck around Base Station in Wireless Sensor Network and its Solution," in Mobile and Ubiquitous Systems - Workshops, 2006. 3rd Annual International Conference on, 2006, pp. 1-5.
 - [8] M. L. Sichitiu and R. Dutta, "Benefits of Multiple Battery Levels for the Lifetime of Large Wireless Sensor Networks," Proceedings of Networking 2005, pp. 1440-1444, 2005.
 - [9] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "GPS-less low-cost outdoor localization for very small devices," Personal Communications, IEEE, vol. 7, pp. 28-34, 2000.
 - [10] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "Adaptive beacon placement," in Distributed Computing Systems, 2001. 21st International Conference on., 2001, pp. 489-498.
 - [11] P. Bergamo and G. Mazzini, "Localization in sensor networks with fading and mobility," in Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2002. The 13th IEEE International Symposium on, 2002, pp. 750-754 vol.2.
 - [12] S. Capkun, M. Hamdi, and J. P. Hubaux, "GPS-free positioning in mobile ad-hoc networks," in System Sciences, 2001. Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on, 2001, p. 10.
 - [13] S. Meguerdichian, F. Koushanfar, M. Potkonjak, and M. B. Srivastava, "Coverage problems in wireless ad-hoc sensor networks," in INFOCOM 2001. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE, 2001, pp. 1380-1387 vol.3.
 - [14] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in System Sciences, 2000. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on, 2000, p. 10 pp. vol.2.