

# 感測器傳輸距離調整對網路耗能之影響及分析

黃志明  
玄奘大學  
資訊管理所  
教授

yalo.huang@gmail.com

鄭瑞恒  
元培科技大學  
資訊工程所  
教授

reiheng@gmail.com

黃泰明  
玄奘大學  
資訊管理所  
研究生

ted00186@gmail.com

## 摘要

一個無線感測網路(WSN)是在區域中部署大量的同性質感測器及特別的感測器所組成的,其中較特別的感測器稱之為基地台(BS),而且在 WSN 中感測器會收集附近資料並傳回到 BS。但由於每個感測器在 WSN 所佈署的位置不同(離 BS 近的感測器需幫外圍感測器的資料做轉送),使每個感測器在傳輸上的負載也會有所不同,而讓一些負載較大的感測器能源較早耗盡。在過去的研究中,遇到負載過大情況下,通常是改變其傳輸距離或者是調整感測器佈署的密度來改善。但是在本研究發現,縮短內層感測器的傳輸距離不但無法平衡網路壓力,甚至更增加最內層的壓力以致於這些感測器更早死亡造成資料回收更不容易。本文將對這些現象的影響做有系統的分析,同時也將資料壓縮的因素也考慮進去。

**關鍵詞**: 無線感測網路、瓶頸、資料回收率、傳輸距離、負載平衡

## Abstract

A wireless sensor network is composed by many sensors and base station. Each sensor will sense their location information then sends the packet to base station. Therefore, sensors in different layer would suffer different loading for the different amount of data forwarded causing the network bottleneck in the layers near the BS. In this paper, we find that the shorter transmission range of sensors in the layer near the BS would result in the more loading of sensors in the layer such that sensors in the layer would die earlier than the other sensors, therefore data generated by sensors in the farer layers would be difficult to be delivered to the BS. The analysis would be evaluated systemically, more, the compression of data would be considered simultaneously.

**Keywords**: Wireless sensor network 、

Bottleneck、Data delivery rate、Transmission range、Load balance

## 1. 前言

一個 WSN 是由感測器和 BS 所構成,但其通常應用於取得沒有固定網路和公共建設之區域的資訊,例如像戰場和海洋或深山等等人們難以到達地方的資訊。而因為 WSN 中,是由多個同性質感測器跟一些少數的資訊接收器平均分布在整個網路中,且每個平均分布的感測器會感知其附近的環境資訊,並傳輸到 BS。但是感測器通常使用電池來做為它的能源,而電池會有能源耗盡的問題,所以只要感測器一沒電會使得資料無法回傳到 BS,而使得 WSN 的壽命縮短,因此如何延長每個感測器在網路中的壽命來持續監視區域並成功地回傳資料到 BS,成了現在無線感測網路的重要議題。

在過去的研究中,為了解決這種情形減少感測器耗電量,通常是利用增加 BS 周圍感測器數量來改其密度,來減少靠近 BS 周圍感測器的耗能,但這是不太可能做到的,因為在特定地點放置特定的感測器本來就不易達成,且還要在更為複雜人類難以到達的地區放置;所以在過去文獻中採用改變感測器的傳輸距離的方法,這是很好的一個方法,因為其不改變感測器數量或者 WSN 的密度,且讓比較耗電的內層感測器縮短它們的傳輸距離,還讓耗電較大的外層感測器增加傳輸距離,這樣可以使 WSN 的整體耗電比較平衡,但我們認為這裡面也有一些問題需要做到分析,因為改變了傳輸距離後會使的內層感測器的範圍縮小,而這讓我們覺得其傳輸距離縮小後會使得幫忙做轉送的內層感測器數量減少很多,這可能會使 WSN 中的感測器更耗電,所以我們藉由圖 1、圖 2 兩個圖做 WSN 之感測器傳輸範圍縮小結構改變圖的比較。

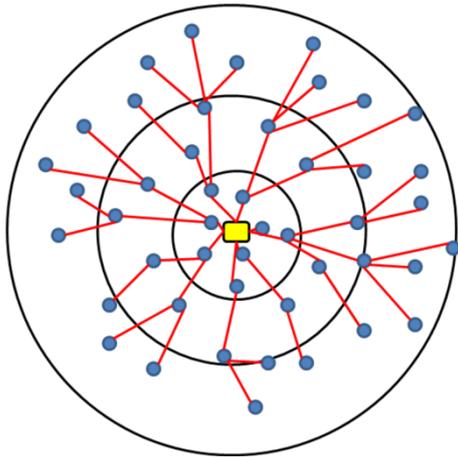


圖 1. WSN 未改變傳輸距離的轉送結構

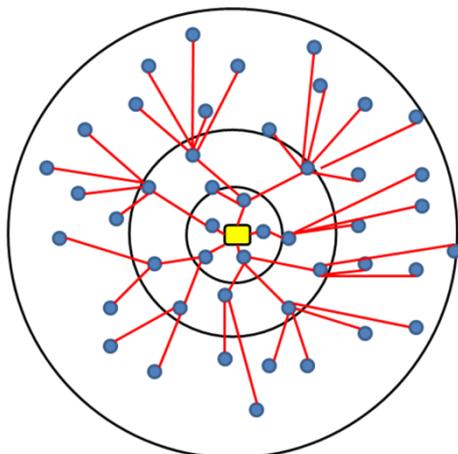


圖 2. WSN 改變傳輸距離後的轉送結構

圖 2 中我們經過比較後可以發現在縮短傳輸距離後，雖然會讓內層感測器其耗電量減少很多，可能也會使得 WSN 其整體電量變得平衡，但也可以在圖中發現因為縮短了傳輸距離使的內層感測器數量變少，這樣也使的內層感測器要幫外層感測器轉送資料的壓力大增，對於這樣的情形是否會讓圖 2 中的 WSN 減少其感測器的整體耗電我們是抱持著疑問的，所以在下面的研究中我們會加入數學算式的分析，跟實驗結果的分析來證明我們的想法的合理性。

論文其他的章節介紹如下，第二章介紹一些相關文獻，第三章利用數學分析感測器有無經過壓縮後的影響，第四章則以實驗結果來做一個分析，而結論則在第五章。

## 2. 相關文獻探討

在 WSN 中，大部分的文獻裡因為考慮到感測器在不同層負載都不同，所以在以前的文

獻中其提出解決辦法在於如何節省感測器能源部分，和有效的佈署感測器與 BS 的位置來提升資料到達率。

文獻[3]中提出一種計算感測器壓力的方法，其方法是利用一條路徑方式計算整個 WSN 的壓力，但是其實這方法是有問題的，因為它的方式通常乎略低層靠近 BS 感測器是需要幫多個高層感測器作轉送，而他的方式只考慮到單一條路徑算出壓力，這嚴重低估了內層感測器之負載，所以得出的結果並不正確。

文獻[5]中把文獻[3]中沒做到的事情補完了，文中把整個 WSN 的每個感測器精準算出其壓力並且也平衡了其壓力，且文中是考慮多條路徑分析算出壓力的，所以其結果會很不錯，但是論文中只提出算壓力的方法卻沒提到如何佈署 WSN 這是一個問題，所以文中還是有需要修改的地方。

文獻[4]中提出新方法，其使用兩中方法來佈署 WSN，其中一種是利用控制密度方式，在壓力大的感測器附近加入新的感測器平衡其壓力；另一種是改變傳輸距離，在壓力大的感測器中縮短它傳輸距離來減少耗電以延長 WSN 壽命，但是它卻也沒考慮到在特定地方放置特定感測器在 WSN 中是難以達成的，所以這方法還是有些問題。

文獻[6]中知曉了在 WSN 中佈署特定感測器是不容易的，所以文中利用線性密度方式佈署感測器並算出感測器的壓力平衡，但是仍然是有問題的，因為在惡劣的環境中佈置特定感測器是不易達成的，所以這方法也不是很好。

文獻[7]中提出縮小內層感測器傳輸距離且放大外層感測器傳輸距離之平衡感測器壓力方法，其方法利用感測器傳輸距離一樣時的壓力來計算壓力並平衡，但其實在感變感測器之傳輸距離時他的整個 WSN 之感測器分佈就有所改變，使得其算出的結果並不正確。

所以在以上文獻中，我們可以得知用密度控制方法佈署 WSN 是有問題的，但是在我們的研究中也發現隨機分佈傳輸距離改變的方法中的一個問題，就是關於感測器轉送資料封包的問題，因為在改變感測器傳輸距離後會導致感測器數量的變化，其會讓縮短傳輸距離之感測器它幫忙做轉送動作的感測器數量大減，進而讓感測器壓力大增使的感測器耗電量提升讓其早死，讓 WSN 的網路壽命減少，所以本篇文章就是針對傳輸距離改變的方法做一個詳細分析。

### 3. 數學分析

在之前的文獻分析中我們已知道，傳輸距離改變之感測器的一些問題，因為感測器在縮短傳輸資料距離時會讓幫忙做轉送的內層感測器數量變少，使其 WSN 的資料回收率可能會變差，所以本章節針對分析 WSN 第一層所有感測器的耗能分析是否在改變傳輸距離情形下會變差，爾後再加入壓縮率來針對轉送資料封包壓縮時是否會影響整體 WSN 的分析，來證明我們的想法是無誤的。

#### 3.1 傳輸距離改變之耗能分析

而在算式分析中，我們假設一開始 WSN 不經過壓縮的情形維持  $h$  層(即最遠跳數)，且把靠近 BS 第一層的  $r_1$  假設它的傳輸範圍增減  $c$  倍舉例(即  $c$  為第一層感測器的傳輸距離增減)，其原因是要假設有無改變傳輸距離的變因，因為在通常方沒有改變傳輸距離之方法 WSN 的每一層傳送範圍是固定的，所以增減他的每層傳輸距離分析有利於對於 WSN 之感測器的數學分析。

$$r_1 = c \cdot r \quad (1)$$

在  $r_1 = r$  為  $c=1$  時，它每一層傳輸距離固定時，要知道 WSN 之感測器所需耗能，就要先把第一層的轉送封包能量和接收封包能量跟傳送自己封包能量全部加起來，所以下面的算式就代表著 WSN 第一層感測器總耗能計算：

$$\begin{aligned} & \rho(\pi \cdot R^2 - \pi \cdot r^2) \cdot d \\ & = \rho \cdot \pi \cdot r^2 (h^2 - 1) \cdot d \end{aligned} \quad (2)$$

在(2)算式中， $\rho$  是所送封包資料數，而中間大  $R$  減小  $r$  是外圍 WSN 之面積(不包含第一層的範圍)，之後其相乘在乘密度，就變為外圍感測器送出的所有封包數，且為第一層接收所需要的封包數。

$$\frac{\rho \cdot \pi \cdot r^2 (h^2 - 1) \cdot d \cdot \xi_R}{\pi \cdot r^2 \cdot d} \quad (3)$$

因為知曉了(2)中接收所需的封包數後，在乘以  $\xi_R$  為接收所耗的能量，後再除以  $r_1$  內層感測器數量，就可以知道(3)是平均每個內層感測器所需接收之耗能。

$$\frac{\rho \cdot \pi \cdot h^2 \cdot r^2 \cdot d (\xi_R + \xi_T \cdot r^2)}{\pi \cdot r^2 \cdot d} \quad (4)$$

所以在知道了接收的能量後，剩下的轉送封包所需的能量跟傳送自己封包之能量，可在(4)中知道，算式中  $\xi_T \cdot r^2$  為轉送封包的能量加上  $\xi_R$  為自己傳送封包到 BS 的能量。

$$\begin{aligned} & \rho(h^2 - 1) \cdot \xi_R + \rho \cdot h^2 (\xi_R + \xi_T \cdot r^2) \\ \overline{E}_1(r) & = \rho(h^2 - 1) \cdot \xi_R + \rho \cdot h^2 (\xi_R + \xi_T \cdot r^2) \end{aligned} \quad (5)$$

爾後把(3)接收封包之耗能加上(4)的轉送封包耗能加自己傳送封包之耗能量，可以得到(5)第一層靠近 BS 的整體耗能。

同理我們再假設  $r_1 = c \cdot r$  時，其  $0 < c < 1$  時，計算出靠近 BS 之內層感測器傳輸距離縮小的耗能，且經由帶入下列算式得出傳輸距離減少後的第一層內感測器之耗能：

$$\begin{aligned} & \rho(\pi \cdot R^2 - \pi \cdot r_1^2) \cdot d \\ & = \rho \cdot \pi \cdot r^2 (h^2 - c^2) \cdot d \end{aligned} \quad (6)$$

同之前方法，讓(6)作為新的縮小範圍後，第一層靠近 BS 之感測器所需接收資料要的封包數。

$$\frac{\rho \cdot \pi \cdot r^2 (h^2 - c^2) \cdot d \cdot \xi_R}{\pi \cdot c^2 \cdot r^2 \cdot d} \quad (7)$$

同理知道(6)的封包數後，在乘以  $\xi_R$  為接收所耗的能量，後再除以縮小距離範圍的第一層感測器數量(其傳輸距離縮小且感測器的數量也會減少)，就可以知道(7)為新的  $r_1 = c \cdot r$  平均每個內層靠近 BS 之感測器所需接收之耗能。

$$\frac{\rho \cdot \pi \cdot h^2 \cdot r^2 \cdot d (\xi_R + \xi_T \cdot (c \cdot r)^2)}{\pi \cdot c^2 \cdot r^2 \cdot d} \quad (8)$$

而(8)中式子為  $r_1 = c \cdot r$  轉送封包的能量加上  $r_1 = c \cdot r$  為自己傳送封包到 BS 所需的能量。

$$\overline{E}_1(c \cdot r) = \frac{\rho(h^2 - c^2) \cdot \xi_R + \rho \cdot h^2 (\xi_R + \xi_T \cdot c^2 \cdot r^2)}{c^2} \quad (9)$$

而把上面算式(7)加上算式(8)後，可以得到縮小傳輸距離後新的第一層所耗的能量(9)。

$$\begin{aligned} \overline{E}_1(r) - \overline{E}_1(c \cdot r) & = \frac{c^2 \cdot \rho(h^2 - 1) \cdot \xi_R + c^2 \cdot \rho \cdot h^2 (\xi_R + \xi_T \cdot r^2)}{c^2} \\ & \quad - \frac{[\rho(h^2 - c^2) \cdot \xi_R + \rho \cdot h^2 (\xi_R + \xi_T \cdot c^2 \cdot r^2)]}{c^2} \end{aligned} \quad (10)$$

因為知道了兩個不一樣  $r_1$  之第一層耗能，所以我們分析讓  $\overline{E}_1(r) - \overline{E}_1(c \cdot r)$  比較其耗能大小(10)，在算式我們可以分析其結果看其結

果是否會大於 0，或者是小於 0，因小於 0 就表示我們的想法是正確，也證明傳輸距離縮小的內層感測器減少後，並沒有比傳輸距離不變的感測器耗能小反而會更耗能。

$$\begin{aligned}
&= \frac{\rho}{c^2} \cdot \{(c^2 \cdot h^2 - c^2) \cdot \xi_R + c^2 \cdot h^2 \cdot \xi_R + c^2 \cdot h^2 \cdot r^2 \cdot \xi_T \\
&- h^2 \cdot \xi_R + c^2 \cdot \xi_R - h^2 \cdot \xi_R - h^2 \cdot \xi_T \cdot c^2 \cdot r^2\} \\
&= \frac{\rho}{c^2} \cdot (2c^2 \cdot h^2 \cdot \xi_R - c^2 \cdot h^2 + c^2 \cdot h^2 \cdot r^2 \cdot \xi_T \\
&- 2h^2 \cdot \xi_R + c^2 \cdot \xi_R - c^2 \cdot h^2 \cdot r^2 \cdot \xi_T) \\
&= \frac{\rho}{c^2} \cdot [2h^2 \cdot \xi_R \cdot (c^2 - 1)] < 0 \quad (11)
\end{aligned}$$

在算式(11)分析中因為知道  $c$  是小於 1 的，而且在式子中其  $c$  平方後會越小，所以我們把式子解完後可以得到(11)是小於 0 的，同時也證明我們的想法是比較正確的。

### 3.2 增加傳輸封包的壓縮率來分析

在之前的分析中，我們已證明了傳輸距離縮小的數學耗能分析，而本節主要是對感測器傳輸資料的封包加入壓縮率的分析，因為在我們認為壓縮率對於 WSN 的整體耗能減少有很大的關係，比如在同時傳送十個封包所耗的能量一定比壓縮成十分之一的大很多，所以在下列算式中我們利用前一節的數學算式加入壓縮率來比較有無改變傳輸距離之感測器其結果會如何：

$$\mu < 1 \quad (12)$$

再本節裡我們先設壓縮率為  $\mu$  加入算式中，而沒壓縮的封包資料我們先設壓縮率為  $\mu = 1$ ，而在本節的算式中我們把  $\mu < 1$  設置為經過壓縮帶入前一節中的第一層沒改變傳輸距離之感測器算出其耗能，並在比較經過縮小感測器傳輸距之耗能，來證實感測器封包資料壓縮率對於感測器的耗能有無影響。

$$\begin{aligned}
&\frac{\rho \cdot \pi \cdot r^2 (h^2 - 1) \cdot d \cdot \mu \cdot \xi_R}{\pi \cdot r^2 \cdot d} \\
&+ \frac{\rho \cdot \pi \cdot r^2 (h^2 - 1) \cdot d \cdot \mu \cdot (\xi_R + \xi_T \cdot r^2)}{\pi \cdot r^2 \cdot d} \\
&+ \frac{\rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot d \cdot (\xi_R + \xi_T \cdot r^2)}{\pi \cdot r^2 \cdot d} \\
&= \rho \cdot (h^2 - 1) \cdot \mu \cdot \xi_R
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&+ \rho \cdot (h^2 - 1) \cdot \mu \cdot (\xi_R + \xi_T \cdot r^2) \\
&+ \rho \cdot (\xi_R + \xi_T \cdot r^2) \quad (13)
\end{aligned}$$

在(13)中我們先把之前(5)裡的第一層靠近 BS 的整體耗能加上  $\mu$ ，可以得到沒經過傳輸距離改變之感測器的第一層新耗能。

$$\begin{aligned}
&\frac{\rho \cdot \pi \cdot r^2 (h^2 - c^2) \cdot d \cdot \mu \cdot [\xi_R + \xi_R + \xi_T \cdot (c \cdot r)^2]}{\pi \cdot (c \cdot r)^2 \cdot d} \\
&+ \frac{\rho \cdot (\xi_R + \xi_T \cdot (c \cdot r)^2)}{\pi \cdot (c \cdot r)^2 \cdot d} \quad (14)
\end{aligned}$$

算式(14)則是，把縮短傳輸距離的算式(9)加入壓縮率  $\mu$ ，這樣可以得到經過傳輸距離改變之感測器的第一層新耗能。

$$\overline{E}_1(r) - \overline{E}_1(c \cdot r) \quad (15)$$

而(15)中知道兩種經過壓縮後的感測器之耗能，把兩項相減得其耗能大小証實我們的分析是沒錯的。

$$\begin{aligned}
&2\rho(h^2 - 1) \cdot \mu \cdot \xi_R + \rho(h^2 - 1) \cdot \mu \cdot r^2 \cdot \xi_T + \rho(\xi_R + \xi_T \cdot r^2) \\
&- \frac{1}{c^2} \rho \cdot \pi \cdot (c \cdot r)^2 \cdot d \cdot (\xi_R + \xi_T \cdot (c \cdot r)^2) \quad (16)
\end{aligned}$$

算式(16)則為帶入算式(12)減(13)的式子，而為了求出我們所需要的結果，我們將把(15)式子在分析：

所以我們先假設若  $\overline{E}_1(r) > \overline{E}_1(c \cdot r)$ ，而  $0 < c < 1$  且  $\mu < 1$ ，則會讓(17)式成立：

$$\begin{aligned}
&(2c^2 h^2 \xi_R - c^2 \cdot r^2 \xi_T - 2h^2 \xi_R + c^4 \cdot r^2 \cdot \xi_T) \\
&> c^4 \cdot r^2 \cdot \xi_T - c^2 \cdot r^2 \xi_T \quad (17)
\end{aligned}$$

當改變傳輸距離  $c$  值是固定的，其(18)也會達成

$$\begin{aligned}
&[2h^2 \xi_R (c^2 - 1) + c^2 \cdot r^2 \xi_T (c^2 - 1)] \cdot \mu \\
&> c^2 \cdot r^2 \xi_T (c^2 - 1) \quad (18)
\end{aligned}$$

爾後因前面條件成立，且因為  $c^2 - 1 < 0$  所以會讓(19)求出  $\mu$  之條件會符合我們所想要的結果

$$\begin{aligned}
&[2h^2 \xi_R + c^2 \cdot r^2 \xi_T] \cdot \mu < c^2 \cdot r^2 \xi_T \\
&\mu < \frac{c^2 \cdot r^2 \xi_T}{2h^2 \xi_R + c^2 \cdot r^2 \xi_T} \quad (19)
\end{aligned}$$

最後把  $\mu$  帶入常數數值，會得到縮小第一層的傳輸半徑將可降低其耗能已達平衡之效果，也可得其結論為只壓縮率要越小而改變傳輸距離之感測器其耗能會比沒改變得要好，所

以這些算式證實了感測器的傳輸資料封包在有無經過壓縮是一個需要慎重考慮的地方，因其在 WSN 中很可能會導致實驗結果在有無壓縮下變成相反的答案，所以在下面實驗中我們會以此來實驗並驗證我們的分析是正確的。

#### 4. 實驗結果

為了在次印證我們的想法，在本章節實驗裡我們先把事件數都設 30000 次，爾後把實驗中縮需要的壓縮率分別設置 1.0、0.8、0.6、0.4，但壓縮率在正常情形下不可能壓縮至 0.1 所以我們實驗中只做到 0.4，而這樣也比較符合實驗需求，爾後其電量設為壓縮率 1.0 電量設 8000J、0.8 電量設 4000J、0.6 電量設 2000J、0.4 電量設 1000J，其設置成這樣的原因為壓縮過的 WSN 到達率如果不降低電量的話其結果會不明顯，所以有了這些前提下我們開始實驗，其表 1 為固定數值：

表 1 固定實驗數值

事件數	30000 次
感測器數量	2000 個
網路半徑	300m

在我們比較兩種傳輸距離調整策略，第一種方法為感測器傳輸距離相等，第二種引用文獻[7]之作法求出其傳輸距離調整之  $r$  來分析這兩種情形，而各種參數如表 2、表 3：

表 2 固定傳輸距離

壓縮率	電量	$r1=r2=r3$
1.0	8000J	100m
0.8	4000J	100m
0.6	2000J	100m
0.4	1000J	100m

表 3 傳輸距離改變

壓縮率	電量	$r1$	$r2$	$r3$
1.0	8000J	51m	94m	155m
0.8	4000J	56m	96m	148m
0.6	2000J	63m	97m	140m
0.4	1000J	72m	98m	130m

在圖 3 中代表黑線的是傳輸距離不變的 WSN，而紅線代表的是傳輸距離改變的 WSN，其中我們可以發現，圖在一開始就證實了我們的想法是有道理的，因為在沒改變傳輸距離之 WSN 壓縮率為 1.0 的黑線其一開始到達率就比改變傳輸距離之紅線的到達率要好，說明了在黑線中它的整個壓力是比紅線的 WSN 壓力平

衡的，因為黑線只要感測器能源不夠它整個網路到達率就會持續下降，而紅線則是壓力比較不平衡的在其中會有壓力大的感測器較早耗盡能源，且壓力小的感測器則一直存在使得他的到達率會忽然提升，這樣不穩定的情形對 WSN 來說是比較不利於資料回傳的，所以在壓縮率 1.0 的實驗情形下改變傳輸距離之感測器對於 WSN 的壓力平衡是比差的，也證明了我們的分析是正確的改變感測器傳輸距離之方法其實還有些問題是需要解決的。

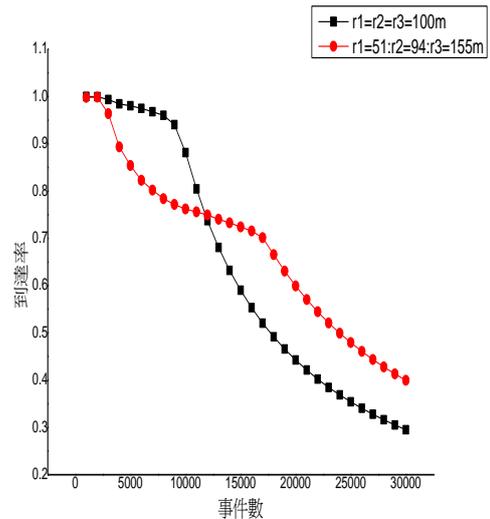


圖 3.在壓縮率 1.0 時之到達率圖

在圖 4 中其黑線代表的是傳輸距離不變的 WSN，而紅線代表的是傳輸距離改變的 WSN，其中我們可以發現，經過壓縮後紅線的壓力明顯有比較平衡，這也表示其壓縮率對於 WSN 影響也是很重的，下面我們將持續壓縮看其它實驗圖中的情形。

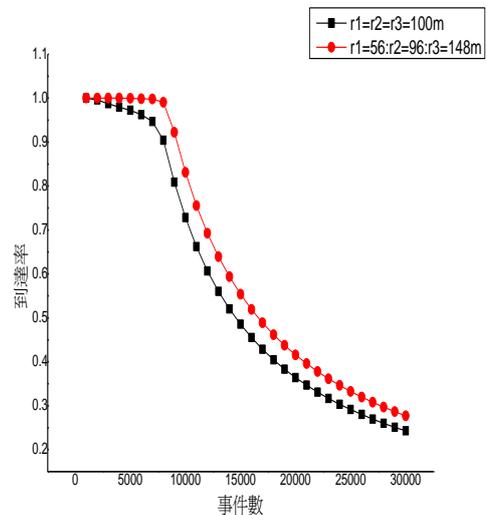


圖 4.在壓縮率 0.8 時之到達率圖

在圖 5 中兩條線會比較相近的原因是，因為黑線的平均跳數會大於紅線的，且我們實驗中的實驗模型會在每轉送資料一次會壓縮一次，使得其壓縮的比較多使得耗能較少才使兩者的到達率相近。

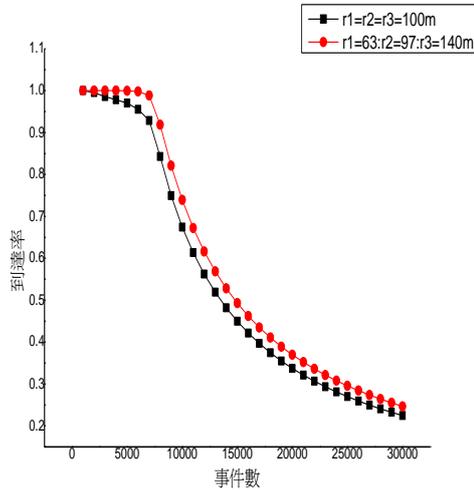


圖 5.在壓縮率 0.6 時之到達率圖

在圖 6 中可以看出經過壓縮到 0.4 的情形下它們的到達率會更相近，但其實正常情況下壓縮率也無法壓得太小，但對於 WSN 也是有很大的影響，所以在有了實驗圖上的對比讓我們可以知道，以前文獻中常忽略的資料封包壓縮對於 WSN 也是有些影響的。

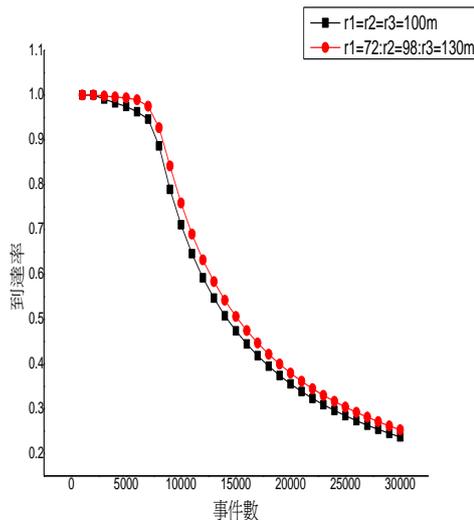


圖 6.在壓縮率 0.4 時之到達率圖

## 5. 結論

在經過前面第三、第四章節的分析中，我們先是利用數學分析了改變傳輸距離可能比較差的原因後又加入壓縮率對其 WSN 整個影響，最後又在實驗中利用圖表證明了數學分析跟我們的想法是差不多的，這也證明如果要使用改變感測器傳輸距之方法是要在詳細考慮的，因為在我們的章節中分析了 WSN 其大部分的問題在哪裡，因此本文也適用於其它的多跳式無線感測網路之應用。

## 參考文獻

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Rei-Heng Cheng, Chiming Huang, Kuan-Fan Chen, "Evaluation of Tier-Based Energy Consumption in Wireless Sensor Networks" *The 2012 International Conference on Applied Materials and Electronics Engineering (AMEE 2012)*, 2012.
- [6] Chiming Huang, Rei-Heng Cheng, "An Effective Sensor Deployment Strategy by Linear Density Control in Wireless Sensor Networks," *International Journal of Advanced Information Technologies (IJAIT)*, Vol. 5, No. 2, Dec. 2011.
- [7] Chiming Huang, Rei-Heng Cheng, Tai-Ming Huang, Wei-Yu Lai, "非固定傳輸距離之

多跳式路由協定以平衡無線網路耗能” 2012 *International Conference on Advanced Information Technologies and The Second National Conference on Web Intelligence and Applications*, AIT / NCWIA 2012.