

# 使用基因演算法的無線感測網路之節能法

## An Energy-saving Routing Scheme by Using Genetic Algorithm in Wireless Sensor Networks

許紘銘

國立高雄應用科技大學電機工程系  
sh.ming@msa.hinet.net

黃文祥

國立高雄應用科技大學電機工程系  
wshwang@mail.ee.kuas.edu.tw

**摘要**—IEEE802.15.4標準[1]所構成的無線感測網路，具有低成本、低傳輸速率、低消耗功率的特性。路由管理為無線感測網路中極為重要的一環，它干涉了整個網路拓樸的存活時間和資料傳輸路徑，所以制定一個有效的路由協定是刻不容緩的。本文提出一種有效的、節能的路由管理方法。主要在基因演算法的適應函數(Fitness Function)中，加入能量成本(Energy Cost)的概念，並動態的更新網路的資料傳輸路徑，使感測網路上，較靠近基地台的感測節點不被過度使用。模擬結果顯示，此演算法不僅能快速的找出較為良好的資料傳輸路徑，而且還能有效的解決無線感測網路在資料匯集時造成的資料的擁塞，以及部分節點的能量被過度使用的現象，促使整個網路拓樸消耗的能量較為均勻。

**關鍵詞**—感測網路、繞徑協定、基因演算法。

### 一、簡介

近年來由於科技不斷的演變、創新，促使微處理器(Microprocessor)的設計能更小、更聰明。間接的促使低成本、低傳輸速率、低消耗功率的無線感測器(Sensor)，漸漸的融入我們的生活起居[9]。人們可以經由這些微型的感測器，長期觀察使用者感興趣的資料；或是藉由數十個到數百個不同類型的感測器佈置，形成一個綿密而遼闊的無線感測網路(Wireless Sensor Network)。近幾年，在感測網路的研究議題中，不外乎坐落在能量管控、節點資料容錯性和網路拓樸擴充性，在眾多議題中，學者最關心的還是能量的管控，因為大多數的感測節點多半仰賴電池供給能量，在太陽能技術或是薄膜電池還沒成熟之前，能量的消耗一直是感測節點最致命的一環，所以大部分的研究都在強調，以最少的資源，達到最大的效能[3,4,8,10,15]。

IEEE802.15.4[1]標準明確而詳細的定義實體層(Physical Layer)以及屬於資料鏈結層(Data link Layer)的媒體存取控制(Medium Access Control)層，然而卻未對較上層(Upper Layer)，制定較為完整的規範，像是應用層(Application Layer)或是網路層(Network Layer)；而 Zigbee 聯盟在基於 IEEE802.15.4 標準上，訂定較為完整的標準，制定的內容包括應用層(Application Layer)和安全性服務(Security service)；目前 IEEE 802.15 Task group 5 致力於 mesh tree routing 的規格和架構修訂，學者們也嘗試去修訂標準中的實體層和媒體存取控制層，使 Zigbee 構成的 WPAN mesh network 能更健全。綜觀整個標準制訂過程，不難發現網路層的制定，在標準中是較為薄弱的一層，因為制定的過程必須考量到媒體存取控制層的運作模式以及現存硬體的適用性；可是在眾多感測應用大量崛起的時代，訂定一個有效的路由協定是必要的，因為路由協定在此種無線隨意感測網路(Ad hoc networks)涉及所有資料的傳輸。

無線感測網路中的感測器，將收集到的數據資料以無線傳輸的模式，並藉由單一跳躍(Single-hop / Direct transmission)或是多重跳躍轉傳(Multi-hop relay)的方法，把數據資料傳回給基地台(Base Station)。在單一跳躍的資料傳輸方式下，如果感測環境的外界干擾因素較小，感測節點的覆蓋範圍又夠大，資料的傳輸或許會顯得比較有效率而且節省封包轉傳的時間(End-to-end delay)，但是過度使用單一跳躍的方式來傳送封包，會導致整個無線感測網路上的感測節點，本身的電力被快速的消耗，此種資料傳輸方式，對於仰賴固定電池電量而運作的感測節點來說，是

一種極大的威脅；以 multi-hop 作為封包傳輸的機制下，雖然能達到感測節點之間互相分工合作，但是在由數十到數以百計的感測節點構成的感測網路中，採用不適合的路由協定(Routing protocol)，將會造成感測節點複雜的計算、過多的硬體儲存空間被占據以及產生轉傳頻率過高的資料傳輸路徑，相對的，過度的轉傳資料也會造成不必要的能量損耗。

因此，在近幾年的研究中，學者在設計感測網路的路由管理(Routing management)，多半會利用分群(Clustering)的方式[11,13,18,20]，結合路由協定和適當的節點擺設方式，來設計一個有效的路由管理；分群(Clustering)的做法，最主要的目的是想把存在網路拓樸中的所有感測節點，依某種特定的機制分群，並依照當時網路的條件，選出適當的 Cluster head 來收集鄰近節點的資料並轉傳資料；感測網路在此種階層式(Hierarchical)架構下，資料傳遞的路徑將會是有規律的，所以不僅能有效降低路徑找尋的複雜度，節省感測節點的能量消耗，而且還能達到良好的網路拓樸擴充性(Scalability)。本論文主要藉助基因演算法能快速求出近似於最佳解的特性，在大量的資料傳輸路徑中，找出較為平均消耗能量的路徑，以彌補傳統路由協定的即時性、動態性不足的問題。本論文主要章節如下所示。第二章節主要在描述現存感測網路之繞徑協定，以及傳統基因演算法運作流程；第三章節將詳盡敘述，如何在感測網路上利用基因演算法，加入能量成本的概念，求得較為節能之路徑；模擬結果將會在第四章節討論；第五章將做個總結。

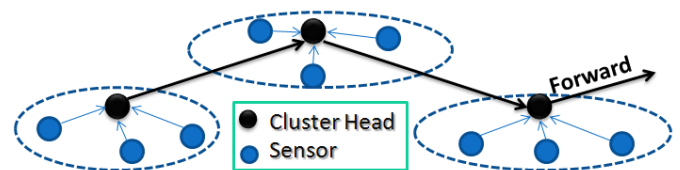
## 二、相關研究

### (一) 現存路由協定

從柏克萊大學投入 Smart Dust 計畫開始，無線感測網路從此開始發展，眾多的應用也相對興起。在早期的感測網路中，較著名的路由協定如：LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[18]、Directed diffusion[5]、HEED (A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed clustering approach)[13]。LEACH 會在網路拓樸形成時，將相鄰的感測節點分群，並且選出適當的 Cluster

Head，當有資料必須傳送時，每一個感測節點會依照本身所在的區域，把資料傳給 Cluster Head；此機制假設每顆感測節點的能力是相當的，所以為了避免某個 Cluster Head 被過度利用，因此在選擇 Cluster Head 的演算法中會加入條件機率以及能量的考慮。Directed Diffusion[5]的特色在於，感測節點會把所偵測到的事件做為本身節點的命名，當 Base Station 想要知道某個訊息時會利用廣播的方式，告知所有節點，要是拓樸中存在基地台所需要的資料時，該感測節點會依照廣播封包所經過的路徑，再把資訊傳回給基地台。HEED[13]機制下的 Cluster Head 是週期性會變動的，主要考量的原因，也是為了避免某個感測節點能量被過度的消耗；此機制下 Cluster Head 的選擇主要以  $CH_{prob}$  和鄰居節點的距離為考慮條件。

在近幾年學者的深度研究中發現[16]，仰賴電池存活的感測節點主要消耗電力的因素有；資料感測耗能(The sensing power)、資料傳輸耗能(The transmitting power)和資料處理耗能(The processing power)。其中又以資料傳輸所消耗掉的能量為居多，因此在近幾年的路由管理中，會開始比較注重如何做出比較有效率的傳送，來減少能量的損耗[3,4,8,10,11,13,15,18,20]。甚至在更新穎的路由設計中，相關文獻甚至會強調，除了低能量的消耗，還要必須做到能使資料達到一定的即時性(Real-time)和可靠度(Reliability)；像是應用在消防、火山、工廠和居家照護的感測網路，如果感測的區域產生異常的現象，而節點又不能及時回報異常的資料，或是回報時，所有資料在網路中某個區域產生大量阻塞的現象，所以在這些緊急的情況下，資料的即時性和可靠度，將會決定緊急事件發生時，所造成的損失。CEER[3]利用 DV-hop 演算法來計算每個節點在網路拓樸中的相對位置，藉由 DV-hop 所計算出來的相對距離，並結合色彩理論(Color-theory)；利用色彩



圖一、Cluster Head

理論的 HSV 系統，藉由顏色的色調會跟隨色階作遞減，產生顏色會愈來愈淡的特性，把此特性直接對應到節點間的相對距離，計算出每個感測節點的 HSV 之後，再將更新後的 HSV 值轉換成相對應的 RGB 值，並且將此值傳給伺服器做定位的運算。完成上述 RGB 的計算步驟之後，節點間將會比較 RGB 的差異性，來做出路徑選擇。DEBR[4]的作者覺得，大部分注重能量消耗的路由演算法，只會考慮有關於如何找一個能量消耗較小的路徑，而忽略了感測節點傳送時，僅存能量的狀態，所以本篇作者提出一種簡潔的能量成本(Energy cost)概念。藉由在感測節點本身建立一個 Energy cost table，此表格將會包含的鄰居節點的能量成本，當節點要傳送資料時，將會判斷表格裡的數值，來達到分散式的路由協定。EAMTR[8]遵照 IEEE 和 ZigBee 聯盟所提出的標準[1,2]，在原本的 Meshed Adaptive Robust Tree 中，加入多重樹(Multi-Tree)的概念；在相同網路拓樸下從 Sink 端到感測節點，會生成多個 MART，因此每一個感測節點在不同的樹中，會有不同的身分，相對的，也意味著感測節點將會擁有多條資料傳送的路徑，來平衡網路的流量以及能量的消耗。

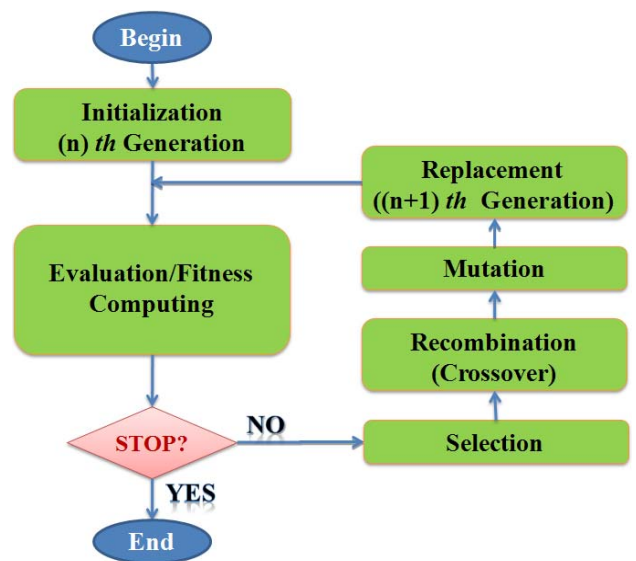
## (二) 基因演算法

基因演算法(Genetic Algorithm)是由美國密西根大學 John Holland 教授，於 1975 年時，把基因演算法的概念發表在 "Adaptation in Natural and Artificial Systems" 這本書中，此演算法在於仿效生物界，物競天擇的自然進化法則，並利用此概念來進行大規模的數據演算，快速計算出系統所要求之最佳近似解。基因演算法執行流程大致上分為[12]：

- **Initialization**  
初始化的過程，主要在亂數產生所有可能的染色體以供選擇，而所產生的染色體族群(Population)，將視整個問題的複雜度而訂定；整個族群的大小將決定染色體的多樣性。
- **Evaluation**  
當初始化結束後，進入此階段後將會有適應函數(Fitness function)來計算每條染色體的適應

值(Fitness value)。適應函數的訂定將會間接牽扯到所求的解是否能趨近於最佳解。

- **Selection**  
在此階段，演算法將會選擇適應值較高的染色體做出選擇的動作，選擇的方式將會以優勝劣汰的精神為導向。一般選擇染色體的方法包含 roulette-wheel selection、stochastic universal selection、ranking selection 和 tournament selection。
- **Recombination**  
重組的階段，意味著將會把上一階段所選出的染色體，利用單點或多點交配(Crossover)的方式，來保留上一代的優良特質，並嘗試產生更優良的下一代。
- **Mutation**  
為了在系統上，產生更多樣化的染色體，突變的過程，將會隨機更改任何一條染色體的某一個基因，來得到多樣化結果。
- **Replacement**  
在此世代的染色體族群中進行一連串的選擇、交配和突變之後。許多的重置技巧將可以被運用在染色體族群的替換，像是 elitist replacement、generation-wise replacement 和 steady-state replacement。基因演算法的運作流程圖大致上如圖二所示。



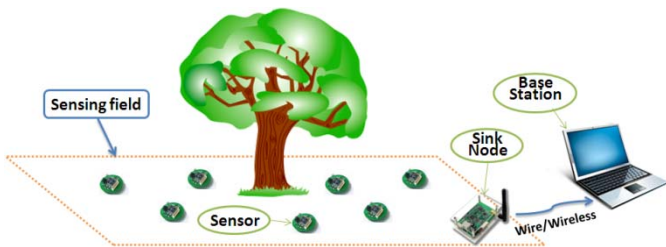
圖二、基因演算法流程圖

### 三、以基因演算法為基礎之繞徑協定

本論文主要採用基因演算法的精神，在大量的資料傳輸路徑中，經過不斷的選擇、重組、突變和複製的程序，透過 Base Station 的計算，快速的找出較不耗能量的路徑，並把結果廣播給網路中所有感測節點。本章節將會詳細介紹，本論文所採用之網路架構以及所提出之路由協定。

#### (一) Network model

在所提出之路由協定中，整個感測網路由感測節點(Sensor node)、匯集節點(Sink node)和基地台(Base Station)所組成，如圖三。



圖三、網路架構圖

- 感測節點(Sensor node)：在此網路中扮演偵測環境資料的角色，並週期性的利用 multi-hop relay 的方式回傳(Forward)資料給(Sink node)。此網路拓樸中的感測節點，系統假設在每個感測節點進入的流量(Income flow)可以多個，但是出去的流量(Outcome flow)只能存在同一條路徑上，會有此點的考量是因為，如果採用 multi-path 的方式傳送資料，或許可以達到更好的能量平衡，因為相同的資料會經由不同的路徑傳送，間接促使網路流量較為平衡，但是在演算法加入此做法會增加許多計算的複雜度，並且造成整個集中式管理的網路，不必要的等待時間，相關研究可以參考 R. Srinivasan 這位學者的研究[14]，此文獻模擬的結果明確的顯示為了找出 multi-path，在網路拓樸佈建後，網路初始化的過程就必須花費掉一段漫長的等待時間，所以 Multi-path 對本篇論文提出的動態變更路徑的架構是不適用的；在本篇論文提出的另一個假設為，一旦感測節點佈置之後，位置將會固定不動(Fixed)，並且在感測節點的傳輸範圍內，至少會有一個以上的轉傳節點(Relay node)。

- 匯集節點(Sink node)：負責收集所有感測節點的資料並轉傳給基地台，或負責轉傳基地台，要傳達給感測節點的資訊；在此系統中 sink node 將不負責感測資料。
- 基地台(Base Station)：擔任所有的感測資料彙整、資料庫建立以及大量的數據運算。在所提出之路由協定中，採用集中式管理(Centralized control)，所以基地台在網路初始化時，將會收集所有感測節點位置，才有辦法執行基因演算法；等到所有數據計算完畢，基地台將會利用廣播的方式，把資料傳送給感測節點。

在所感測的區域中，感測節點位置的擺設方式可分為：

方法一：在佈建感測網路之前，就決定每個感測節點位置。此做法將會減少整個網路拓樸的初始化時間，因為所有感測節點擺放位置已經事先知道，所以使用者可以把節點的路徑資訊先計算出來，節點佈置之後直接廣播給感測節點；或是在佈建某個感測節點當下，讓處理好的資料直接載入節點中。

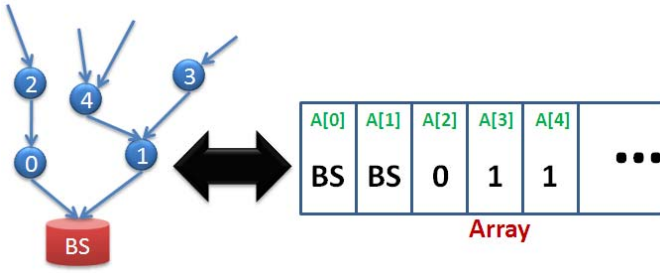
方法二：在隨機佈建之後，再計算每個感測節點位置。此做法可以大幅減少人為擺置的時間，因為每個感測節點將會採取隨機佈建的方式；但是此方法在網路初始化的過程，節點間必須利用 GPS 系統，或是類似 DV-hop[6,7]的定位演算法，來算出相對的位置。

#### (二) Initialization phase

本論文在模擬過程採用隨機擺置(Random placement)節點的方式，並不預先設定節點擺設位置，因此在網路初始化的過程，所有感測節點必須把本身的位置資訊經由 GPS 定位，或是透過定位演算法，把所求得的位置資訊，用廣播的方式告知基地台(Base Station)；當基地台接收到所有感測節點的位置資訊後，將會在本地端，建立感測節點的資料庫，並記錄相關網路拓樸的資訊，開始利用基因演算法來算出適合目前網路的資料傳輸路徑。

## Step 1: Initialization of Genetic Algorithm

在此步驟，基地台會隨機產生許多的染色體 (Chromosome)，染色體的長度跟感測節點數量是相等的，並且染色體中的每個位置代表著感測節點將轉傳資料的目的地，基因排列的方式如圖四所示；如果把所有感測節的命名和陣列位置對應，那麼陣列中的每一個位置儲存的數值，將對應到節點所要轉傳資料的目標。在此步驟中所產生的染色體族群大小，通常象徵整個族群的多樣性，也關係到後續求解的速度。



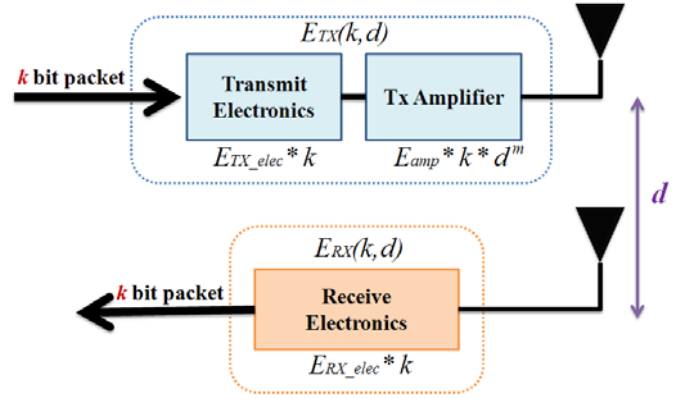
圖四、染色體排列方式

## Step 2: Evaluation

此階段將會有適應函數 (Fitness Function) 來計算染色體的適應值 (Fitness Value)。此適應函數為整個演算法關鍵的一環，因為系統將利用適應函數求出的值來判斷系統是否演化、收斂到一定的程度。系統所採用之適應函數如公式(1)所示：

$$E_{cost} = \sum_{i=1}^n \frac{E_{transmission_i}}{E_{residual_i}} \quad (1)$$

上述公式主要在計算，所有感測節點經過一回合 (round) 的資料傳送後，每一個感測節點的能量成本的加總； $E_{cost}$  代表某條染色體上所有節點的能量成本； $E_{residual}$  代表節點目前剩餘的電量； $E_{transmission}$  代表傳送資料所需的能量， $n$  代表一條染色體中的基因數，也就是一條染色體中存在的感測器數量。 $E_{transmission}$  的計算是採用 the first order radio model [18]，圖五為形成此 model 的示意圖，主要在描述，在  $d$  的傳送距離下， $k$  個 bit 在經過傳送器或是接收器的假設架構。



圖五、Radio energy dissipation model.

$$E_{TX}(k, d) = E_{TX\_elec} * k + E_{amp} * k * d^m \quad (2)$$

$$E_{RX}(k, d) = E_{RX\_elec} * k \quad (3)$$

$$E_{transmission} = E_{TX}(k, d) + E_{RX}(k, d) \quad (4)$$

$E_{TX}(k, d)$  表示兩個節點在  $d$  的距離，傳送  $k$  個 bit 時，所消耗的能量； $E_{TX\_elec}$  代表傳送一個 bit 所消耗的能量； $E_{amp}$  為傳送端傳送的資料經過放大器所造成的耗能； $m$  代表 path loss exponent [17] 相關係數如表 I； $E_{RX}(k, d)$  表示接收端在接收  $k$  個 bit 時，所消耗的能量； $E_{RX\_elec}$  為接收一個 bit 所需要的能量。

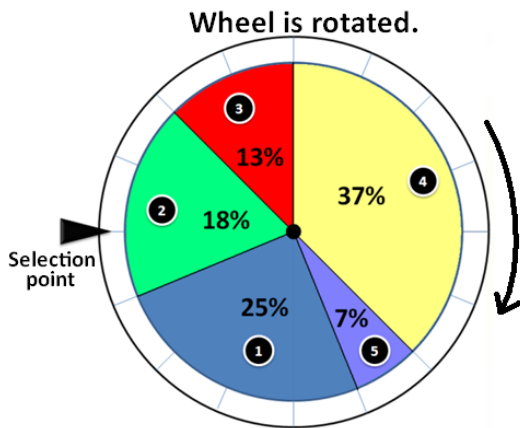
表 I、Path loss exponent.

Environment	Path Loss Exponent, $m$
Free space	2
Urban area cellular radio	2.7 to 3.5
Shadowed urban cellular radio	3 to 5
In building line-of-sight	1.8 to 1.8
Obstructed in building	4 to 6
Obstructed in factories	2 to 3

經過上述的計算之後，將會得知每條染色體所需的能量成本；此適應函數的設計是因為顧慮到相同的傳送能量，隨著時間的消逝，會對節點本身造成不同的能量消耗；因此在傳送到達一定的資料量之後，某些節點會開始出現過度使用的情形出現，所以系統就必須在利用基因演算法計算一次較為適當的路徑，然後傳送給感測節點。

### Step 3: Selection

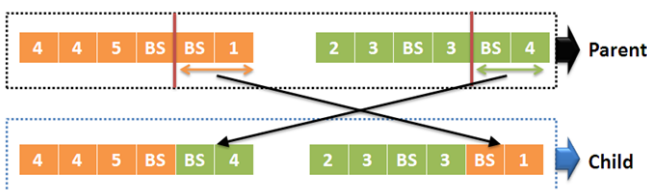
此階段將會配置上一個階段所產生的適應值較「低」的染色體，有較大被選中機率，因為染色體的適應值越小，代表能量成本越低，對整個感測網路的能量消耗越有利。系統利用 roulette-wheel selection 選擇染色體，如圖六。此方法的優點為，經過選擇之後較差的染色體還有可能保留下來，而不會直接被淘汰，會採用此做法是因為假設系統發現染色體上的基因(Sensor)被過度使用時，此時染色體算出的總能量成本會變高，相對的，再一次選中此染色體的機率就會變小。



圖六、Roulette-wheel selection.

### Step 4: Recombination

重組的階段，意味著將會把上一階段所選出的染色體，利用交配(Crossover)的方式，來保留上一代優良的特質，並嘗試產生更優良的下一代。系統在此採用 one-point crossover 來完成交配的方法；如圖七所示，在圖中的兩條親代基因，經由亂數選取 crossover point，假設 crossover point 在第四個和第五個基因之間，所以系統將會對此位置做出切割的動作，並把第五個位置之後的基因全部對調，產生下一個子代的染色體。



圖七、Example of one-point crossover.

### Step 5: Mutation

此步驟將不利用傳統基因演算法隨機突變的方式，而是直接對所交配完後(i)在染色體中能量成本較大的基因(Sensor)以及(ii)染色體中消耗最多能量的基因(Sensor)，做出置換的動作，置換的目的是為了平衡能量的消耗以及減少某一感測節點被過度使用；而置換的對象會以比本身還靠近基地台(Base Station)的節點為考量。

### Step 6: Replacement

經由上述的步驟後，在模擬的過程此階段將會從暫存區中將會演變後的族群複製出來，成為後代族群；後代的族群中將保留上一代的優良血統，並且繼續下一階段的演變。

上述 Step1~Step6 運作流程，相關程式虛擬碼(Pseudo-code)如表 II；在程式剛開始時會先執行亂數產生函式(function)，然後初始化整個網路資料，包括座標、能量和陣列大小等...，初始化完成將會依照所產生的資料來產生第一代的染色體族群；第一個 for loop 運作時會先測試封包的傳送，之後再計算所有亂數產生的染色體之 fitness value，以供後續的 Selection、Crossover 和 Mutation function 運作；當 fitness value 收斂到某種程度時，整個 while loop 將會停止運作，並且把所需數據傾印出來。

表 II、Pseudo-code.

```

Pseudo-code ( Main function )
Main()
{
    Random_Seed();

    Initialize_Network();
    Random_Selection();

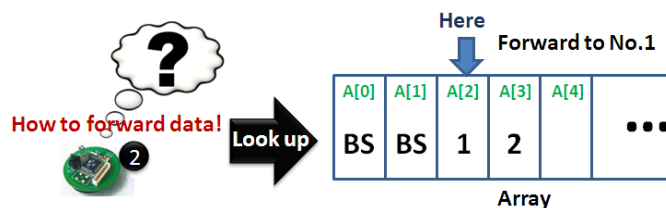
    for( NO.chrom. =0 ; NO.chrom. < Total_chrom. ; NO.chrom++)
    {
        Packet_Send( NO.chrom. );
        Fitness( NO.chrom. );
    }

    while( Unstable )
    {
        Selection();
        Crossover();
        Mutation();

        for( NO.chrom. =0 ; NO.chrom. < Total_chrom. ; NO.chrom++)
        {
            Packet_Send( NO.chrom. );
            Fitness( NO.chrom. );
        }
        Chromosome_Replace();
        Iteration++;
    }
}
    
```

### (三) Data dissemination

在初始化的階段完畢之後，基地台會以廣播的方式把目前系統求出的最佳染色體，廣播給所有感測節點接收；當感測節點接收到染色體的資料，就會查找染色體的資訊，去搜尋資料轉傳的目標，開始週期性的傳送感測到的資料和節點本身所剩餘的能量給轉傳節點，所有的資料將會透過 multi-hop 的方式傳給匯集節點；而基地台在接收感測資料的同時，也會判斷目前整個網路拓樸中是否有節點出現異常能量消耗或是失效，如果產生資料異常現象，系統會依照發生的事件做出適當的處理；譬如感測網路中，為了避免 SPOF (Single Point Of Failure) 的情況發生，當某個感測節點的電量低於系統設定的門檻值(Threshold)，此時基地台將會利用基因演算法重新安排資料傳送路徑。



圖八、感測節點查表過程

### (四) Recovery phase

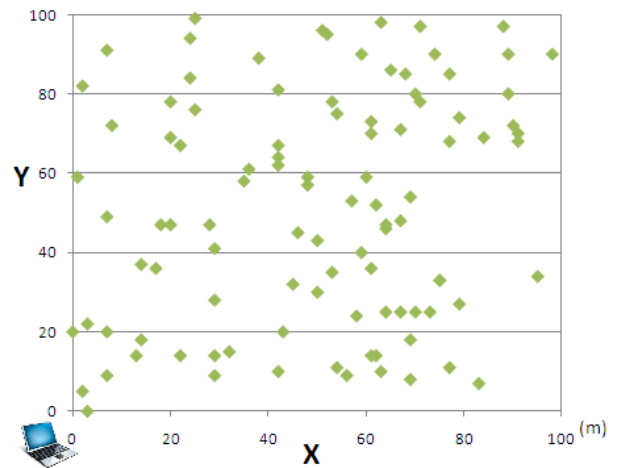
在實際的無線感測網路應用上，網路拓樸其實是比較不固定的，所以當有新節點的加入、舊節點能量消耗殆盡或是故障，那整個機制必須要做修補的動作，否則整個網路拓樸的運作將會開始不平衡。在新節點加入時，新節點將會廣播一個類似 RREQ(Route Request)的訊息給附近節點，並等待附近節點傳送 RREP(Route Reply)的回覆，一旦新節點收到回覆訊息，將會開始與鄰近節點合作，去計算出本身的位置資訊，並傳送給基地台，讓基地台適當的調整新的資料傳送路徑；當網路中某條路徑存在著無回應的節點，此路徑上的節點，將設定一段時間來確認節點是否真的失效，如果該時間到達，此路徑上所有資料無法傳送出去的節點，將會開始廣播錯誤訊息(Error message)到基地台，讓基地台計算新的傳輸路徑。

## 四、效能評估

### (一) 參數配置

我們利用 Visual C++ 來撰寫模擬的程式碼，結合 Slotted ALOHA 的觀念，來實現模擬過程，並且將此協定(ERS-GA)跟現實生活上，感測節點常使用的資料傳輸方式做比較，像是 Direct Transmission (DT) 和 Minimum Transmission Energy (MTE)；DT 傳送資料的方法為直接傳送資料，而且不經過任何節點轉傳；MTE 則是在每次要傳送資料時會去查找在路由表中，消耗最小能量的路徑。

而節點擺設方式採用隨機擺設的方式，主要的目的是要觀察，整個無線網路在不採用 clustering algorithm 和 placement algorithm 的狀況下，能比正常傳輸模式改良多少網路存活時間，圖九的範例為系統在 100m\*100m 範圍下，隨機產生 100 個節點擺設的結果以及基地台的位置。



圖九、Example of random placement.

系統基本的參數設定參照文獻[19]之假設，如表 III 所示：

表 III、System parameter.

Parameter	Value
Area	From(0,0) to (100,100)
Base Station	At ( 0 , 0 )
Initial energy	50 J
Node transmission range	100m
Number of sensor nodes	10,20,30,40,50,60,70,80,90,100
Node placement	Random
Data size	10 Kbit

而能量損耗計算則以學者[18]所提出之數學模型來計算；點與點之間的距離，則以 Euclid distance 為計算的公式。

$$E_{TX}(k, d) = \begin{cases} E_{TX\_elec} * k + E_{amp} * k * d^2, & d < d_{crossover} \\ E_{TX\_elec} * k + E_{two-ray-amp} * k * d^4, & d \geq d_{crossover} \end{cases} \quad (6)$$

$$d(X, Y) = \sqrt{(X_m - X_n)^2 + (Y_m - Y_n)^2} \quad (7)$$

公式(6)相關數據如表 IV 所示；而公式(7)表示在二維平面座標系中，如果存在著  $m \setminus n$  兩點，則點與點相對距離可用公式求得：

表 IV、Radio parameter.

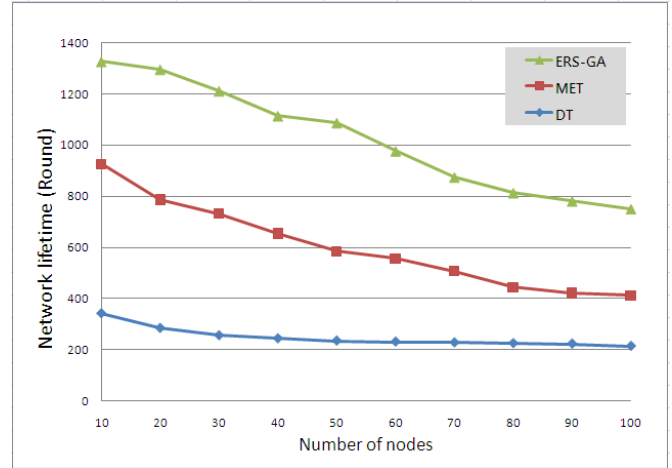
Parameter	Value
$E_{TX\_elec}$	50 nJ/bit
$E_{amp}$	10 pJ/bit/m <sup>2</sup>
$E_{two-ray-amp}$	0.0013 pJ/bit/m <sup>4</sup>
$E_{RX\_elec}$	50 nJ/bit
$M$	$2 \leq m \leq 4$
$d_{crossover}$	$\frac{4\pi\pi \cdot h_t}{\lambda} = 87m$
$h_r, h_t$	1.5m
Signal wave length( $\lambda$ )	0.325m

## (二) Performance Metrics

- Network lifetime：假設所有節點傳送一次資料稱為一回合(round)；評估整個感測網路存活時間標準為，整個網路在不斷的傳輸資料下，出現第一個節點耗盡本身的電能(SPOF；Single Points of Failure)，所運作的回合數。
- Energy consumption：在網路運作一段時間，存在感測網路中，每個節點所剩餘的能量。

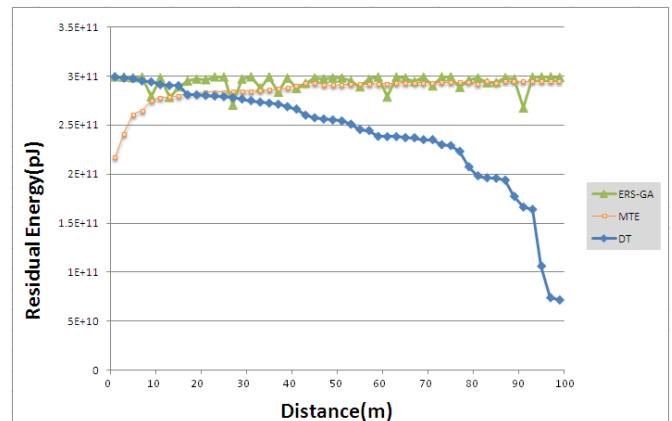
在圖十中可以明顯的看出本機制(ERS-GA)，比傳統的 MET、DT 增加了許多的網路存活時間，是因為此機制會採用能量較為平均的資料傳輸路徑，並且利用能量成本的概念，模擬的過程雖然某些節點會短暫的出現能量消耗較大的現象，但是經由基地台動態調整，該節點幫忙傳輸的資料量就會相對減少，本身能量的損失也會變小；MTE 模擬數據介於本機制與 DT 之間，在節點較為稀疏時，所模擬出的結果與本機制相差不多，但是在節點數增加時，MTE 的傳輸方式會開始造成整個網路拓樸，所存在的能量大量消失；圖中 DT 的網路存活時間會較為平均，因為在此傳

輸方法中，每顆節點會直接傳送資料，就算是資料沒辦法傳送到基地台，也會透過距離本身最遠的感測節點來轉傳資料，因此會損耗巨大的傳輸能量，所以造成每次整個網路的存活時間，都間接被離基地台最遠的幾個節點所決定。



圖十、Network lifetime.

圖十一表示，當網路拓樸存在 50 個感測節點，在三種傳輸方式運作一段時間之後，所剩的節點能量，從圖中可以觀察出，利用 DT 來傳送資料時，因為傳送所需的能量會隨著感測節點與基地台的距離增加而加大，所以能量的分佈會隨著離基地台越遠而越少；而 MTE 因為採用最小能量的資料傳送方式，所以每一次的傳送，它會去找傳送能量為最小的，而不會在乎該節點剩餘能量，因此造成越靠近基地台的節點能量損耗的越快；本機制雖然在圖中產生抖動的現象，但是在基地台動態更新路徑的狀況下，傳送資料的回合數越多，呈現的能量消耗數據會越來越平均。



圖十一、Residual Energy.



## 五、結論

本文利用能量成本的概念，結合基因演算法能快速求解的特性，替低傳輸速率、低消耗功率的無線感測網路，計算出近似於最佳解的路徑，並且加入動態修正的概念，讓某一節點不至於被過度消耗能量，而造成網路存活時間降低；並且敘述了如何在新節點加入網路拓撲或是舊有節點失效的情況下，做出動態的路徑調整。觀察模擬的結果，可以證明本文所提出的演算法不僅比傳統的路徑傳輸更有效率，而且還平衡了能量的消耗；相對地，也意味著有較平均的網路流量。在未來的相關研究中，將會再加入適當的分群演算法以及節點擺設演算法，讓節點的能量能使用的更平均、更有效率；並將與現存路由協定或是最佳解做出比較，以證明此機制的價值。

## 六、致謝

作者在此特別感謝國家科學委員會(NSC)支持本研究，計畫編號: NSC 97-2221-E-151-014，因而本研究方得以順利完成。

## 七、參考資料

- [1] IEEE: "Wireless MAC and PHY specifications for low rate WPAN" (IEEE NY, 2006)( IEEE Standard 802.15.4-2006, Revision of IEEE Std 802.15.4-2003).
- [2] ZigBee Alliance: "ZigBee specification". ZigBee Alliance, San Ramon, CA, ZigBee Document 053474r17, October 2007.
- [3] Chang Tai-Jung, Kuochen WANG, and Hsien Yi-Ling, "A-color-theory based energy efficient routing algorithm for mobile wireless sensor networks," *Computer Networks*, vol. 52, no3, pp. 531-541, February 2008.
- [4] Chang-Soo Ok, Seokcheon Lee, Prasenjit Mitra, and Soundar Kumara, "Distributed energy balanced routing for wireless sensor networks," *Computers&Industrial Engineering*, Volume 57, Issue 1, pp. 125-135, August 2009.
- [5] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed diffusion: A scalable and

robust communication paradigm for sensor networks," in *Proceedings of the ACM Mobi-Com*, Boston, MA, pp. 56-67, 2000.

- [6] D. Niculescu and B. Nath, "Ad-hoc positioning system," *Proc. of the IEEE GLOBECOM*, San Antonio, pp.2926-2931, 2001.
- [7] D. Niculescu and B. Nath, "DV Based Positioning in Ad hoc Networks," *Journal of Telecommunication Systems*, pp. 267-280. 2003.
- [8] H. Fariborzi and M. Moghavvemi, "EAMTR: energy aware multi-tree routing for wireless sensor networks," *IET Communications*, Volume 3, Issue 5, Page(s):733-739, May 2009.
- [9] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *Communications Magazine*, IEEE. Vol. 40, Issue 8, August 2002.
- [10] Junyoung Heo, Jiman Hong, and Yookun Cho, "EARQ: Energy Aware Routing for Real-Time and Reliable Communication in Wireless Industrial Sensor Networks," *IEEE Trans. on Industrial Informatics*, Volume 5, Issue 1, Page(s):3-11, February 2009.
- [11] J.-S. Li, H.-C. Kao, and J.-D. Ke, "Voronoi-based relay placement scheme for wireless sensor networks," Volume 3, Issue 4, Page(s):530-538, April 2009.
- [12] K. Sastry, D. Goldberg, G. Kendall, *Genetic Algorithms*, in: E. Burke, G. Kendall (Eds.), "Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques," Kluwer, pp.97-125, 2005.
- [13] O. Younis and S. Fahmy, "HEED: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Volume 3, Issue 4, Page(s):366-379. Oct.-Dec. 2004.
- [14] R. Srinivasan, V. Vaidehi, M. Sathya and D. Subramani, "Multi-path routing scheme for non-interactive multicast communications," *Internation Journal of Network Management*, pp. 399-413, February 2007.

- [15] Shao-Shan Chiang, Chih-Hung Huang, and Kuang-Chiung Chang, "A Minimum Hop Routing Protocol for Home Security Systems Using Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Volume 53, Issue 4, pp. 1483-1489, November 2007.
- [16] S. Madden, M. J. Franklin, J. M. Hellerstein, and W. Hong, "Tag: A tiny aggregation service for ad-hoc sensor networks," *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, Volume 36, Issue SI, Pages:131-146, 2002.
- [17] T. Rappaport, "Wireless Communications: Principles & Practice." Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.
- [18] W. Heinzelman, "Application-specific protocol architectures for wireless networks," Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2000.
- [19] W. Heinzelman and H. Balakrishnan, "Energy efficient communication protocol for wireless micro-sensor networks," in: *Proceedings of the 33rd HICSS*, Maui, Hawaii, pp. 3005–3014, 2000.
- [20] Xiaorong Zhu, Lianfeng Shen, and Tak-Shing Peter Yum, "Hausdorff Clustering and Minimum Energy Routing for Wireless Sensor Networks," *Volume 58, Issue 2*, pp. 990-997, February 2009.