

利用小世界理論來設計感測網路上的路由通訊協定

金芳瑋、俞征武

中華大學資訊工程系暨研究所

cwyu@chu.edu.tw

摘要

無線感測網路 (wireless sensor network) 是以眾多低成本且體積小的感測器，利用任何可行的方式密集的散佈在需要偵測的範圍之內。每一個感測點在所在感測半徑之內偵測到不同的訊號 (例如: 溫度、溼度、光度、聲音等)，並在其傳送半徑之內的感測點可以互相傳遞訊息。利用多個這種感測器便可架構成一個無線網路。在所有感測網路的應用中，最基本的問題是：在發生感測網路中發生的事件 (Event) 被鄰近的感測點快速的偵測 (detect) 到，並可將此資訊順利地傳送到有興趣的查詢節點 (Query)，查詢的需求 (Query request) 與事件的發生 (Event) 是隨時隨地 (anytime anywhere) 都有可能發生。在這種需求下，設計省電及快速有效的網路路由通訊協定 (Routing Protocol) 是一個相當基本且重要的問題。在本篇論文中，將提出一個方法，利用小世界理論的架構，藉以尋找最有效的路徑，連結 Query 與 Event 之間。

關鍵字：無線感測網路、小世界理論、路由協定、能量消耗分析

1. 簡介

無線感測網路 (wireless sensor network) 是以眾多低成本且體積小的感測器，利用任何可行的方式密集的散佈在需要偵測的範圍之內。每一

個感測點在所在感測半徑之內偵測到不同的訊號 (例如: 溫度、溼度、光度、聲音等)，並在其傳送半徑之內的感測點可以互相傳遞訊息。利用多個這種感測器便可架構成一個無線網路。

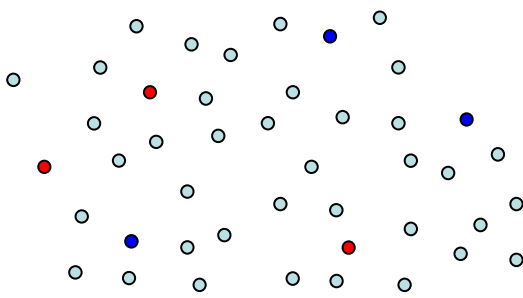
由於無線感測網路的特性，我們可以部署感測網路在人類所無法到達的區域，自動搜集所需的資料。例如，早期在戰爭時，人們為了搜集戰場上的資訊，必須派遣偵察兵搜集。然而偵察兵卻很容易在搜集資訊的同時，被敵軍發現，進而被射殺。又例如，在人們無法到達的災區 (例如: 地震、火災... 等災區)，我們即無法搜集到這些區域的資料，達到即時救援的目的。使用感測網路，使得我們得以克服地理上的障礙，在這些特殊的環境下作即時的監控並收集資訊，並作出適當的應變。感測網路尚有倉儲管理、品質監控，健康醫療協助、家居應用，車輛追蹤及偵測等應用。因此近年來，感測網路上的研究議題受到廣泛的重視。這些問題包含如何節省電源 (power saving) [1]、目標追蹤 (target tracking) [2]、網路的資料傳送路徑 (routing) 之方式 [3]、網路的覆蓋問題 (coverage)、網路的連結強度等。

感測網路可以透過一個 Sink (可視為一個 Gateway) 來當作此感測網路和外界的橋樑。所有感測器搜集到的資訊都會先匯集到 Sink，再由 Sink 將資訊以衛星、Internet 或是其它方式傳送給遠方的使用者或伺服器。因為感測器的體積小且數量龐大，要重新充電幾乎不可能，而它所能搭載的電源容量也就相對的有限。所以省電就成為感測網路設計上一個很重要的考量。此外，無線感測器的運算

能力與儲存空間也有所限制，所以在設計路由協定時，也要考慮到其感測點的能力。

在未來的無線感測網路應用上，隨著研究的進步，感測點的效能也會越來越進步，所能產生的應用也會越來越廣，而為了所應用的範疇不同，感測節點所搭配的能力，需要的路由方式也會有所差異，想像未來某一天，我們可以在家電視上輕鬆的看到火星上環境的各種變化（利用無線感測網路持續的監控太空中的活動）。

在所有感測網路的應用中，最基本的問題是：在發生感測網路中發生的事件（Event）被鄰近的感測點快速的偵測（detect）到，並可將此資訊順利地傳送到有興趣的查詢節點（Query）上。如圖一所示。



圖一、Query(藍色)與 Event(紅色)隨時隨地(an anytime anywhere)都有可能發生。

在無線感測網路的眾多應用中，查詢的需求（Query request）與事件的發生（Event）是隨時隨地（anytime anywhere）都有可能發生。在這種需求下，設計省電及快速有效的網路路由通訊協定（routing protocols）[3]是一個相當基本且重要的問題。一個需要隨時隨地傳送資訊的通訊協定需要符合那些特性呢？我們以為必需符合下列特性：

1. 儘可能地省電。
2. 儘可能地不使用衛星定位（GPS）設備。
3. 可隨時隨地（anytime anywhere）地傳輸。
4. 具容錯功能。

先前的研究大多採用固定的節點 Sink 利用建造 routing path（tree）來收集整個 Event 的資訊；但是現在的問題不同：無固定位置的事件（Event）

需傳送到另一個無固定位置的詢問（Query）者。事先造好的 routing path（tree）並不能有效地提供不特定的 Query request。且當感測晶片失效時，可導致 routing path（tree）需要花更多時間和電源來重整。若每次傳輸前都使用 flooding 來尋路，又會整個網路都充滿著詢路的封包，而又導致每個感測晶片消耗過多的電源。新的通訊協定必需更俱有機動性及省電性。

如何在廣大的範圍內，有效的尋找出 Query 與 Event 之間的路徑，有關於這個問題，之前已經有一些相關的研究，傳統的做法像是 flooding、cluster 與 gradient，或是之後提出的 rumor routing[4]與 random walk[7]。但是以 flooding 的方式，固然可以有效的找到最短的路徑，可是在能源消耗上卻是相當的驚人，只要一有事件或是詢問產生就需要所有的點消耗能源在找尋路徑上，如果一個地區，時常有不同的事件或是詢問發生，那麼所有的資源幾乎都會消耗在找尋路徑上，這樣會導致整個網路的存活時間變短。

在以 random walk 的方式找尋 Event 上，是採取有使用 GPS 的情況下，每個點在收到封包後，在去計算與 Event 的距離，從而使得封包靠近逐步的靠近所需要的終點，在這個方法中，需要 GPS 的裝置，而 GPS 就會增加整個感測網路的成本，然而在不使用 GPS 裝置的情況下，也有 rumor routing 的方法被人所提出，可是 rumor routing 雖然可以改善 flooding 的能源消耗問題，但是就沒有辦法找到較短的路徑，會有繞路的問題，更甚至於在繞路的狀況下，根本就沒有辦法找到適當的路徑連結 Query 與 Event 之間；而在 rumor routing 中，雖然可以控制所派出 agent 數量的多寡，來減少找不到的情況發生，但過多的 agent，一樣會增加感測點的能源消耗。

本篇論文架構如下。第二節介紹說明無線網路以及前人的研究，第三節有關於小世界理論[8]的介紹。第四節提出一個有效的方法利用小世界理論原理。第五節分析此方法，最後則是說明未來展望與工作。

2.此問題相關研究介紹

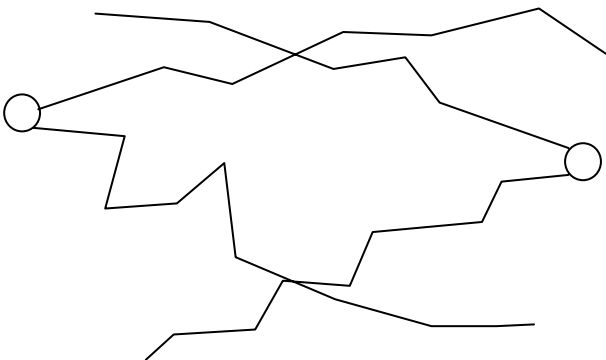
以下介紹前人如何解決查詢的需求 (Query request) 與事件的發生 (Event) 是隨時隨地 (anytime anywhere) 發生的問題。

2.2.1 Flooding

在這種沒有固定節點收集資訊的無線感測網路上，最早是使用 flooding 的方式來完成通訊。當事件發生時，就由感測到這個事件的節點 flooding 這個資訊，讓整個網路中的每一個節點都收到此訊息，此種方式稱為 Event flooding。或是當某一感測節點要知道相關訊息，就以 flooding 的方式，去詢問每一個其他節點，此種方式稱為 Query flooding。兩種 flooding 可以找到最短傳輸路徑，但是在 flooding 的過程中，也會浪費許多的不必要電源時間及頻寬，也就是所謂的廣播風暴 (broadcasting storm)，甚至導致網路的存活時間 (lifetime) 縮短。

2.2.2 Rumor routing

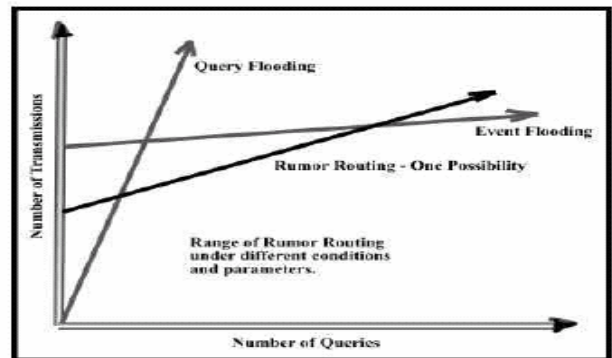
所以有另外一種方法 rumor routing[4]的出現。rumor routing 較 flooding 節省能源，以發生事件為基礎，使用代理人 (agent) 程式沿著節點隨機地 (randomly) 向外發出偵測到的訊號，代理人所經過的節點皆紀錄下相關資訊，(有關事件發生的距離，時間等) 並形成路徑 (path)。當 Query 發生時，也是隨機地 (randomly) 向外前進，直到遇到代理人所形成的路徑。之後就是利用雙方所形成的路徑來傳遞資訊。如圖二所示。



圖二、Rumor routing 之示意圖。

圖三則顯示不同 Query 個數下之 Rumor Routing

與兩種 Flooding 效能之比較。



圖三、不同 Query 個數下之 Rumor Routing 與兩種 Flooding 效能之比較

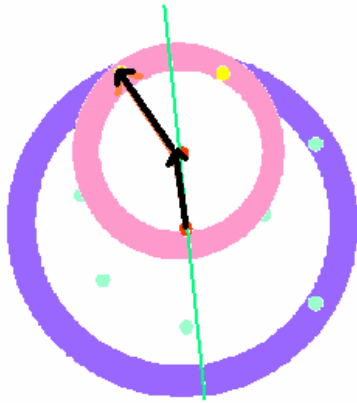
2.2.3 Zonal rumor routing

rumor routing 找到 Event 與 Query 之間的路徑常常不是最短的。此路徑也很有可能螺旋般的繞線產生，不僅因此造成 loss 率的提高，甚至 Query 根本找不到 Event 發生所在。zonal rumor routing[5]就是設計來改善其的缺點。zonal rumor routing 以分區塊 (cluster) 的方式，來改善螺旋繞線的問題。zonal rumor routing 讓 agent 的行進儘可能地向外擴散；在 agent 在 randomly 選取下一個 node 時，不會選同一個區域內的 node。如此使其 agent 沿著所分的區域向外延展的傳遞出去，以達到儘可能向外延展 path 的目的。其好處在於，可以較原先的 rumor routing 所找到的 path 更遠。

但 zonal rumor routing 也要考慮到如何適當的分區塊，區塊的大小與 node 分佈的狀態都會影響到其效能。在 node 分佈不均勻的狀況下，密度高的區域就會有可能還是有 rumor routing 相同的問題。另一方面，zonal rumor routing 只是稍加改善其螺旋繞線的問題，讓 agent 儘可能的向遠方散佈出去，並沒有真正找到較短的路徑。此外，在劃分區塊的過程中，需要耗費更多的時間以及電源；區塊內的 node 需要先互相溝通，還要有更多的儲存空間來儲存區塊內的節點狀態資訊。

2.2.4 Straight line routing

Straight line routing[6] 也是設計來改善 rumor routing 可能有螺旋般的繞線的缺點。Straight Line Routing 是使 agent 在找尋下一個 node 時，不再是採用 random 的方式，而是儘量採取一個固定的方向，用開始的兩個 node，以不同的半徑畫圓，設定 outside band 與 inside band 互相交叉的區域為候選區，再自候選區選出離原 node 較遠的點，以達到儘可能走直線向外延展的目標。避免螺旋繞線的問題（如圖四），



圖四、Straight line routing。

使得結果（Query 找到 Event）更趨近於數學上的理想值（平面中五條線與另一條線相交的的比率 98%）。但在運作時，每一個經過的節點都要做運算，去尋找下一個節點所在。最不好的是，有可能根本找不到下一個節點的情況發生。雖然 Straight line routing 可以在調整其 outside band 與 inside band 的大小來增加候選區域的大小以提高找到下一點的機會，但其所花費的時間及運算成本，也就隨之增加了。

2.2.5 Random walks in a dynamic small-world space

相較於前面的方法，這個方法是在有 GPS 的狀況之下執行，當 Query 發生時就已經知道所需詢問的對象位置座標，在一般的狀況下，通常是採用 greed 的方式，直接向目標終點，作詢問的動作，但有可能事件在某一地區發生頻繁，當此一狀況出現，採取 greed 的方式就會使得所找到的路徑上的節點很快的就消耗沒電，所以作者提出 random walk 的方法，迂迴的向終點前進，藉以達到負載平衡的效果，使得電源消耗不會集中在某

些特定的節點上，而又由於他參照小世界理論的方式前進尋找路徑，所以也可以保證不會因為 random walk 這種方式，而導致需要浪費過多的時間才能到達終點。

但在這種方法下，一開始每個節點就需要 GPS 的座標定位，而在 Query 發生時也需要清楚的知道目標座標所在，在感測網路中，需要 GPS 裝置就會增加其成本；而在 Query 時就已經知道目標所在，固然就可以容易的找到目標，但在一些應用上，像是火災偵測...等，感測節點之所以散佈在廣大範圍內，就是由於不確定事件何時何處會發生，在事件發生時，才能由節點偵測出，而詢問端也不知道是否有事件在哪裡發生。

在研究前人的方法後，我們認為有以下問題值得再思考：

前人的方法在找尋 Query 與 Event 之間的路徑並非最短的路線。有時甚至也有找不到 Query 與 Event 之間的路徑的機會。

幾個改善 rumor routing 的方式，雖然可以避免繞線的缺點，但花費在計算上的電源及時間卻也隨之大大增加，如此違反省電的基本原則。

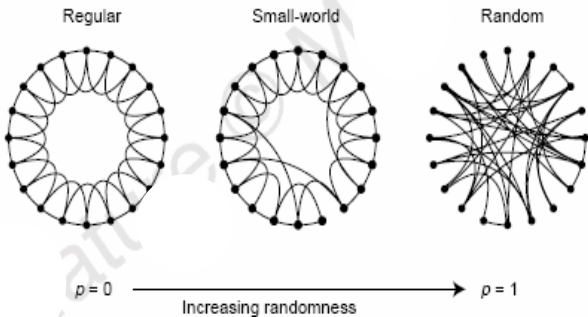
如何利用最少的電源找到一條連接 Query 與 Event 之間的較佳路徑，應有其他的可能。

第三章 小世界理論之簡介

小世界理論（small world）[8]，又稱做為六度分隔，一開始是由康乃爾大學中的兩位數學家華茲（Duncan Watts）與史楚蓋茲（Steve Strogatz）於 1998 年所發表的論文：小世界網路的集體動力學（Collective Dynamics of 'small-world' Network）提出此概念。其論文中研究在圖上任兩個點的連接間距，當圖形上的點，以一種部分規則部分任意的相連，就可以使得圖上任兩個點之間連接的分隔度（點與點之間最短路徑）可以變成相當的小。

小世界理論和隨機圖（random graph）相當有關。最簡單的隨機圖應用例子，就是城鎮之間的路徑問題。假設 50 個互相不聯通的城鎮，隨意建造多少條路線，就可以保證連結絕大部份的城鎮之間？答案是 98 條。98 條隨意建造的路就可達到此一保證。

這理論的基礎乃是牙利大數學家艾迪胥（Paul Erdos）所發明的隨機圖（random graph）。他發現不管在圖上有多少個點，只需要很少百分比的隨機連線，就足以連成一個大約完全連通的網路。小世界理論是介於隨機圖（一個完全隨機連線的圖）和規律圖（一個完全規律連線的圖）之間的一個綜合體。如圖五最左為規律圖，最右為隨機圖，而中間的圖為小世界理論。



圖五、規律圖、小世界及隨機圖

規律圖是相當規律地連接臨近的點；隨機圖則是隨意地連接任意點；小世界理論則是一部份規律地連接臨近的點，另一小部份則隨意地任意點。小世界常出現在自然的現象中：如 internet，鐵路的連接，甚至辭彙之間的相關性。利用小世界理論產生的網路常常需要很少的連線就可以達到不錯的連接效果。

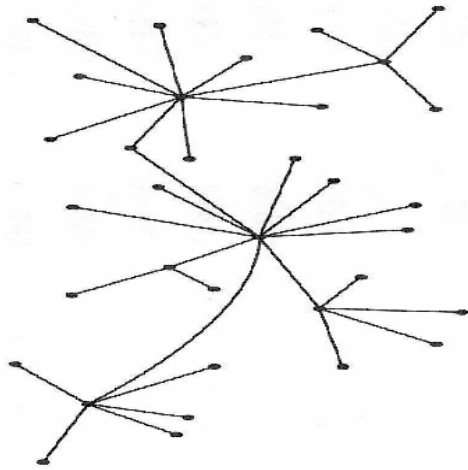
小世界理論中可用人際關係來說明。人與人之間的關係，不論距離多遠。我們常認識附近的人（強連結），也偶而結識住在遠方的朋友（弱連結）。社會學家發現世界上任意兩個人，不論所在地的遠近，都可在 6 步關係之內找到相互關係（六度分隔）。其中所謂的弱連結，正是連結很遠兩個點之間的關鍵。弱連結可以一下子就將兩個很遠的點連結起來，拉近彼此之間的關係。而祇要利用少數的弱連結的個數，就足以使整個人際關係的連接的分隔度控制於六步之內。

在小世界理論中，影響其連結度的，最重要的莫過於其分支度，如果分支度過小，就會導致整個網路無法連通，而形成互不連通的小區塊的網路，然而在此時只要多加幾條連通線，就可以達到互相連通的目標，而這多加的幾條線也就變成

了最重要的關鍵所在，但如何找到這幾條關鍵的線，或者這說幾條線，真的有那麼關鍵嗎？

這可以分為兩種情形來舉例，第一：有一種情況，相信大家都不陌生，當大眾在拍手的時候，通常會由一開始的雜亂無章，而變成到最後的協調的掌聲，研究這種在非有人出來指揮其同步的狀況下，為何會產生同步的情況，在真實的情況中，在眾人拍手時，會有一小部份人，剛好率先拍手頻率相同，分散在眾人之間，造成了合鳴，即使是極短暫的時間，但其聲音已經蓋過其他人，旁人便很容易的追隨這樣的節奏，加入其中，幾秒鐘過後，眾人便很容易的達到同步拍手的情況，而這一部份的人，變成了其中的關鍵所在，但如果在做下一次的，拍手同步，這一部份的人可能又會變成了別組人馬。在這例子中，也可以說是小世界理論的另外一種對應，但這裡我主要所要說明的就是，其中的確會是有其關鍵點的所在，如果沒有這些關鍵點就沒有辦法達到近一步的同步效果，但這些關鍵點的建立，以一開始來說，根本就沒有人知道誰會成為所謂的關鍵存在，只有在達成同步之後，才找到其關鍵點，而在下次想要達成同步的結果，也沒有辦法預期其關鍵點，這就是我之前所說的關鍵的存在其必要性，與肯定性，當然我們也可以在同步中，操縱其關鍵所在，要一部分的人一開始即以相同的節奏拍手，就可以很快的達到眾人同步的效果。

在這例子中，我們可以很容易的了解，真正操控關鍵的所在，並不需要許多的節點，只有少部分的節點扮演了重要的角色，在小世界理論中，就存在著這種現象，要破壞或是建立小世界就是依靠這些少數的關鍵點或是關鍵的連結線，而其分支度在數學上呈現幕次律的分佈（幕次法則 Power-law），簡單來說，影響越多點的越少，影響越少的點越多，以下圖六網路模型作為觀察，作為中心節點，可以算為 5 個，最為重要中心的有兩個，當這兩個節點損毀時，整個網路也就沒有辦法在連通，或者是當兩團網路上下之間的連線，一但中斷，整個網路就變成了區塊，無法連通，但當下層子節點壞死時，卻不會對網路的連通造成任何影響。



圖六 簡化過後網路模型

然而，上圖只是簡化過後的網路模型，在真實世界的，小世界理論，就像是上面拍手同步的例子一般，總是會有關鍵中心點的出現，就算沒有經過事先的協調，這說明了小世界中的容錯，與適應性，畢竟在複雜的網路中，點與點之間的連結，不是只有一兩條的連線，通過許多的連線，就有其彈性效果，使得網路連通不會那麼容易死亡，在現行的網路架構來說，並沒有任何人去協調其構成，但自動的形成了小世界理論的模式，以人際關係而言，也是如此，小世界理論自然的形成，使得人與人之間的關係，既緊密又分離，在我的論文中就是想利用這種特性，使得網路上節點與節點之間的路徑可以有一定的容錯性，不會因為單一節點的錯誤而導致節點之間無法連通。

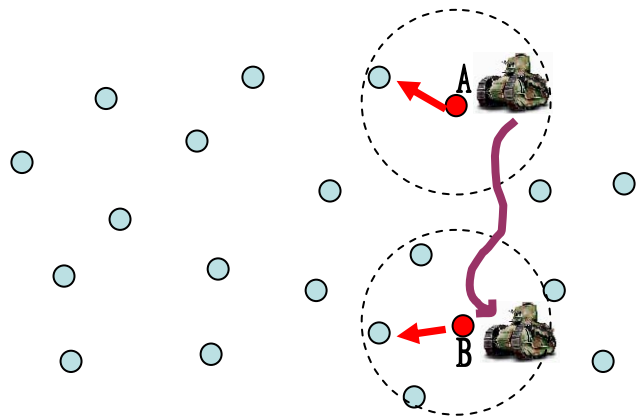
PS.幕次法則有兩種特性:1.極大值發生在靠近原點的地方，然後持續下降至無窮遠處。2.他的衰減的速率，比常態分配緩和，以城市人口多寡為例，擁有較少人口的鄉鎮，遠多過於擁有廣大人口的大都市，而越多人口的城市則越少見。

4.利用小世界理論的 Routing 方法

4.1 基本概念

本研究的基本概念如下，假設我們將「事件節點」與「要求此事件訊息的節點」都當作是「一個人」，而「節點與節點之間的連線路徑」當作是「人與人之間的關係」。我們將利用社會學中的小世界 (small world) 理論[35]的特性，在感測網路

上設計快速尋找 Event 與 Query 兩者之間的路徑。模擬小世界理論來作 routing：就是代理人 (agent) 程式隨機地 (randomly) 向外尋路時一部份連接臨近的節點，另一部份則是隨機地連接任意的點。但任意的點常不在廣播的範圍內，故以類似 rumor routing 或 line rumor routing 取代之。如此的作法有如 broadcasting tree 和 rumor routing 的綜合作法。再者，在某些實際應用上，事件會隨著時間而改變所在位置，比如說在戰場中，需要偵測敵軍的所在位置，而敵軍的所在位置可能會隨著時間的變化而改變，這種時候就需要即時偵測出敵軍所在位置，或是及時獲得最新資訊，如下圖八所示 sensor node A 在感測到資訊後，發出 Event 1 訊息夾帶時間的資訊，形成路徑，而 node B 也在感測到 Event 1 之後，發出 Event 資訊，當 Query 發生時，有可能遇到，由 A 或是 B 所發出的路徑，這時 Query 就挑選時間較新的資訊，藉以偵測出最新的敵軍位置。



圖八: event 隨著時間改變位置

如上述，只是針對事件有可能改變，但實際上有另外一種狀況，詢問者也有可能移動，一方面需要偵測移動中的物體的更新資訊，另一方面詢問者本身也會有移動，將訊息經由新的路徑傳遞給詢問者的最新所在的感測點。

為何要使用 small world routing protocol?

- 1.採取分散式的運作方式可提高容錯能力。
- 2.為降低成本我們將考慮沒有 GPS 系統下的運作。
- 3.選擇合適長度的路徑以達到省電的目的。
- 4.由小世界理論來找到的 routing path 可能不只一條。我們的路由通訊協定可考慮電源的容量、hop 數的多寡、到 destination 的距離、路徑的傳送品質

來決定一條最佳的路徑。

5.在 small world 中，找尋多條路徑，而且針對有長連結的部分，就有更多的機會找到較短的路徑。

6.在小世界理論中，有一定的保證可以找到人與人之間相互之間的關係，所以我們認為，依據這種 routing protocol 可以保證一定的連接機率。

7.不同的事件詢問品質保證，在我們提出來的方法中，可針對不同的 Event 或是 Query 來設定其能源消耗，對不同的 Query 或 Event 設定其重要性，區分誰可使用較多的能源，保證其連通品質。

4.2 路徑建立之演算法

為了利用小世界理論有效地解決網路路由問題。我們採取 3 種方式來模擬小世界理論作 routing：

4.2.1 利用 agent 的 hop count 數來控制 agent 的散佈

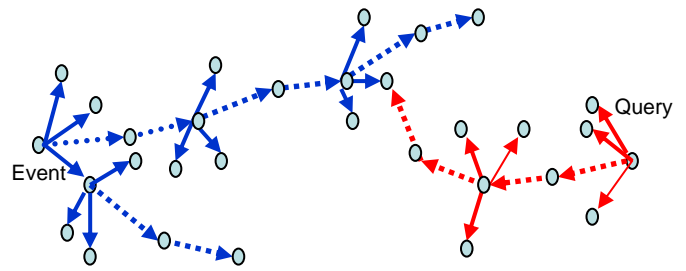
就是代理人 (agent) 程式隨機地 (randomly) 向外尋路時一部份 (α) 連接臨近的節點，另一部份 (β) 則是隨機地連接任意的點。令 $\alpha + \beta = k$, k 為在小世界中連接的個數。當節點 x 隨機地連接任意的節點 y , 而 y 不在 x 的廣播的範圍內時，可利用 x 到 y 的一條直的路徑取代。如何調整 α 、 β 、 k 的參數使得 routing 時連通的機率提高並且省電是一個值得深入討論的議題。如圖九所示，實線代表直接連接到臨近的節點 (強連結); 而多個虛線是代表串連若干節點以間接連接到遠方的節點 (弱連結)。

4.2.2 利用能源消耗來控制 agent 的散佈

利用 constant power control for specific agent.

就是代理人 (agent) 程式，向外 random 尋找一個傳送範圍內的節點，以一固定的能源消耗 P 作為準則，在去計算要找多少個點，點又距離原點有多少距離，因為在感測網路中，感測點傳送的能源消耗與距離成次方比，要傳送較遠的距離就需要較多的能源消耗，這一方面可以模擬小世界理論中，長距離的連結較少，短距離的連結較多，一方面又可以顧慮到感測點的能源消耗，在向外找尋路徑中類似 rumor routing，但又可能有多個

短傳送出去，有如 tree 的成長，如此的作法有如 broadcasting tree 和 rumor routing 的綜合作法。



圖九、利用小世界理論所選擇之 routing path

4.2.3 利用總能源消耗來控制 agent 的散佈

當 Query 或是 Event 發生時，代理人 (agent) 程式，即在一開始就限定能源消耗多寡，以能源消耗的多寡，來限制住此條找尋路徑的長短大小，先前的兩種方法，都是以 hop 的個數來限制路徑的長短，以 hop 數來限制路徑的長短，可以保證一部分路徑的長度大小，但在某些實際應用上，個別的 Event 或是 Query 其重要性可能有所不同，假設某個資訊非常的重要，我們就設定可以提供許多的能源消耗，來尋找其路徑，以保證其可以正確有效的找尋到所需要的資訊，另一方面，這較多能源所產生的 tree 會比較大，也可能會找到更多的路徑可以連通 Query 與 Event 之間，而這多條路徑，就會產生更多的容錯性，當其中一條路徑不幸壞死時，就可以迅速的使用其他路線作為替代，來保護重要資訊間的連通。

4.3 會移動的 Query 與 Event

在某些應用上，例如在戰場中偵測敵軍，不論是詢問者或是被詢問的對象，都有可能移動，敵軍會隨著時間移動其所在的位置，偵測者也可能需要改變其所在位置，在這種狀況下，我們針對上面提出的路徑建立方法有所修正。

這是因為在偵測移動中的物體時，對於可能會隨時移動的物體，並不需要花費過多的能源來，建立維護其路徑，其路徑隨時會因為物體的移動而無效，花費過多只是浪費能源，但是如果其趨於穩定不再移動，或是移動的速度緩慢，就可以花費較多的能源去維持其路徑，一方面也可以增加其找到的機率，也就是說當一個物體移動速度快速，其先前

的路徑很快的會變為無效，而花費能源在很快會無效的路徑上，並不值得，但是當不再移動或是移動緩慢，維護建立路徑就有其價值所在。

4.3.1 由 4.2.1 所提出的 α 與 β 作調整

在感測網路中要偵測物體，經由上述的方法建立其路徑，但由於 Query 與 Event 都有可能移動，所以作了以下的修正，在 Query 與 Event 剛開始發生時，感測點依據一開始的 α 與 β 的 $\alpha+\beta=K$ 建立路徑，但隨著時間的增加，改變增加其 α 與 β 的 $\alpha+\beta=K$ 值，所以隨著時間的增加改變其 α 與 β 的 $\alpha+\beta=K$ 值，來動態調整其路徑的分支的大小。

4.3.2 由 4.2.2 所提出改變能源大小

改變 4.2.2 的能源大小設定，使其能源消耗，隨著停留時間的增加，改變能源消耗大小，停留的越久，能源消耗的可以越多，藉以增加路徑分支度的大小。

4.3.3 由 4.2.3 改變能源消耗大小

改變 4.2.3 的一開始的能源消耗大小，以 4.2.3 的說法而言，就是將停留時間越久，視為越重要，增加其能源消耗的比重，而停留時間短暫的，就越不重要，不需要花費過多能源維護建立路徑。

5.分析

在我們所提出的方法中，利用小世界理論的理論基礎建立長短不同的路徑，應該會得到較 rumor routing 可以有較少的 hop 數量，雖然可能較 rumor routing 有更多的路線分支，但在 loss 的機率上也可以達到下降的效果，最主要是看分支的參數設定，在小世界理論中，能使分散的網路，在經過某一臨界值就可以突然的達到全部的連通，而這邊所設定的各項參數，就是希望能針對此一臨界值，而不會造成過多的能源浪費。而對移動中的物體，去判斷需不需要耗費過多的能量來維持路徑樹的價值，增加此方法在實際上的應用。

6. 結論與未來工作

在我們的方法中，利用之前的 rumor routing 與小世界理論的原理，來設計出這種 routing 方式，以期能找到較佳的路徑，與較少的 loss 率，之後朝向改變設定參數作測量，期望能找到較好

的能源使用效率與效能。

參考文獻

- [1] Curt Schurgers and Mani B. Srivastava “Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks,” IEEE Military Communications Conference, 2001, pp. 357 – 361.
- [2] Zack Butler and Daniela Rus “Controlling Mobile Sensors for Monitoring Events with Coverage Constraints,” IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004, vol. 2, pp. 1568 – 1573.
- [3] Mohamed Younis, Moustafa Youssef, and Khaled Arisha “Energy Aware Routing in Cluster-Based Sensor Networks”, 10th IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunications Systems, 2002, pp. 129 – 136.
- [4] D.Braginsky and D.Estrin “Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks.” In *Proc.First ACM Workshop on Sensor Networks and Applications*, Atlanta, GA, USA, October 2002, pp. 22–31
- [5] T.Banka, ; G.Tandon, ; A.P. Jayasumana, “Zonal Rumor Routing for Wireless Sensor Networks”. 2005. International Conference on Information Technology: Coding and Computing, Volume 2, 2005, Page(s):562 - 567
- [6] Cheng-Fu Chou; Jia-Jang Su; Chao-Yu Chen.” Straight Line Routing for Wireless Sensor Networks”, 10th IEEE Symposium on Computers and Communications, Page(s):110 - 115
- [7] Rezaei, B.A.; Sarshar, N.; Roychowdhury, V.P. ” Random walks in a dynamic small-world space” Vehicular Technology Conference, 2004 VTC2004-Fall.2004 IEEE 60th Volume 7, 26-29 Sept. 2004 Page(s):4640 - 4644
- [8] D. Watts and S. Strogatz. :”*Collective dynamics of ‘small world’ networks.*” Nature, Volume393,Page(s):440-442, 1998.