

國立交通大學

資訊科學系

碩士論文

在無線感測網路中局部更新路由選徑的協定



A Localization Repair Routing Protocol in Wireless Sensor

Network

研究生：吳依萍

指導教授：簡榮宏 教授

中華民國九十四年七月

在無線感測網路中局部更新路由選徑的協定

A Localization Repair Routing Protocol in Wireless Sensor Network

研究生：吳依萍

Student : E-Ping Wu

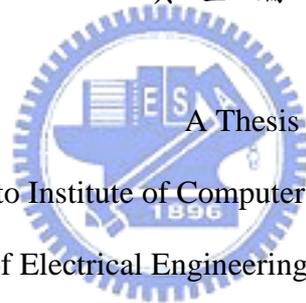
指導教授：簡榮宏

Advisor : Rong-Hong Jan

國立交通大學

資訊科學系

碩士論文



Submitted to Institute of Computer and Information Science

College of Electrical Engineering and Computer Science

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Computer and Information Science

June 2005

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十四年七月

在無線感測網路中局部更新路由選徑的協定

研究生：吳 依 萍

指導教授：簡 榮 宏 博士

國立交通大學資訊科學研究所



無線感測網路有許多實際的用途，例如醫療照護、軍事和災難感測、環境監控等等。然而無線感測網路往往會因為節點的移動，使得路由選徑遭受損壞，因此如何維護及更新路由選徑，是一個很重要的課題。在論文中，我們提出了一個局部更新路由選徑的方法，以達成快速地更新路由選徑的目的。這個方法主要的概念是限制路由選徑的封包傳送範圍，使其能夠在預先定義好的區域中，順利修復路由選徑，避免增加整個網路的負載量。最後，由模擬結果來驗證我們所提出來的的方法，可以使網路節點上有限的能源被更有效率地運用，並且增長了網路的生命週期。

A Localization Repair Routing Protocol in Wireless Sensor Network

Student : E-Ping Wu

Advisor : Dr. Rong-Hong Jan

DEPARTMENT OF COMPUTER AND INFORMATION
SCIENCE NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY



Abstract

There are a lot of applications for wireless sensor network (WSN) such as medical care, military and the disaster detection, environmental monitoring. However, in large-scale sensor networks, node mobility makes route broken. So how to maintain and update route is an important issue for WSN. In this thesis, we propose a method to repair route in local. In order to update route quickly, the proposed method is to restrict routing packets delivered in a predefined range. This method can avoid increasing the network control overhead. Finally, the simulation results show that our approach is energy-efficient and can prolong network lifetime.

目錄

中文摘要	3
英文摘要	4
目錄	5
圖目錄	7
第一章 簡介	8
第二章 相關研究	13
2.1 承索式路由選徑協定	14
2.2 具有擴大環狀式搜尋和局部修復的AODV	14
2.3 適用於承索式路由選徑的局部詢問技術	16
第三章 造成路由選徑動態改變的原因	20
3.1 目標物或收集點的移動	20
3.2 單一感測點的損壞	21
3.3 大範圍的節點能源耗盡	22
第四章 局部更新路由選徑的協定	23
4.1 初始發現路徑程序	23
4.2 回應路徑程序	24
4.3 發現新路徑程序	25
4.4 稀疏的區域	28

4.5	範例說明	29
4.6	網路負擔情形討論	37
第五章	模擬結果	39
5.1	模擬工具模組	39
5.2	模擬結果	40
第六章	結論	45
	參考文獻	46



圖目錄

圖 1 計數器極限值為 2 的QL範例之路由選徑改變前	18
圖 2 計數器極限值為 2 的QL範例之路由選徑改變後	19
圖 3 LRR的範例-行動收集點(1)	30
圖 4 LRR的範例-行動收集點(2)	31
圖 5 LRR的範例-行動收集點(3)	32
圖 6 LRR的範例-行動收集點(4)	32
圖 7 LRR的範例-節點能源不足(1)	33
圖 8 LRR的範例-節點能源不足(2)	34
圖 9 LRR的範例-節點能源不足(3)	35
圖 10 LRR的範例-節點能源不足(4)	36
圖 11 LRR的範例-節點能源不足(5)	37
圖 12 重建路由選徑所要花費的時間	41
圖 13 網路密度的影響	42
圖 14 移動速度的影響	43
圖 15 路由選徑長度的影響	44

第一章 簡介

近年來，整個世界逐漸走向行動化，傳統的連線上網方式已經無法應付新生活型態所帶來的挑戰，而無線網路具有許多優點，可以免除佈線困擾，克服環境上障礙，並提供漫遊使用者隨時隨地可以使用的網路環境。

無線通訊技術的蓬勃發展，更帶動了無線感測網路(wireless sensor network)的研究，無線感測網路是未來發展趨勢，也是目前各國學術研究單位爭相投入的熱門題目。一個無線感測網路通常包含了大量的感測節點，這些感測節點會偵測網路中的情況，以及處理一些必要的運算，除此之外，無線感測網路還會包含一些中繼點，負責轉送資料。和少數負責收集資料的節點，稱為收集點(sink node)[1][2]。

在無線感測網路中，各節點之間可以直接通訊，它具有自我組織的能力，一方面它不但可以簡化網路的管理，提高其強健性和彈性，另一方面，它更能在處於動態的狀況，如位置移動，不定的連結，和無法預測的流量負載的既定基礎結構下，作最理想的資源有效使用。由於它容易佈建的特性，無線感測網路有許多實際的用途，可涵括多元化的偵測應用，包括：醫療照護、軍事和災難感測、環境監控、工廠管理及日常生活監視應用，進一步發展，更可成為未來普及運算環

境或智慧型空間的重要盤石。由此可知，無線感測網路的發展及應用是非常重要的。

無線感測網路有許多的特性，而這些特性在發展其路由選徑協定時，都是必須要考量的因素，其中有一項很重要的特性，即是網路中的節點能源有限的問題，因此如何利用有限的能源，使得網路上資料的傳送達到最大的效益，就成為一個很值得研究的課題。

雖然一般而言，在無線感測網路中，絕大多數的節點，都被假設是靜止不動的，但是目標物(target)和收集點的移動依舊會造成原有的路由選徑被破壞，除此之外，電池電力的耗損，以及軟硬體因為意外而毀損，也同樣會破壞路由選徑。無論是上述什麼原因造成原有路由選徑失效，路由選徑被破壞對資料的傳送來說，是一個非常嚴重的問題。因此，一個好的路由選徑協定，應該要在即使網路連結情形有所改變的情況下，還能持續且有效率地維持路由選徑。換句話說，一個能夠動態地維繫和更新路由選徑的系統，在無線感測網路中是不可或缺的。

在無線網路中建立路由選徑的方法，最主要可以分為兩大類[3]，那就是先進展地路由選徑協定(proactive routing protocol)[4][5]，以及承索式路由選徑協定(on-demand routing protocol)[6][7]，這兩種協定最主要的差別在於，先進展地路由選徑協定，是在網路建立之初就預

先建立路由選徑，它的優點是可以讓每個送出去的封包立刻得知到達目的地的路徑，不會有任何的延遲的情況，但是這種它必須週期性的去廣播訊息，來維護預先建立好的路由選徑，所以相當的浪費無線網路的頻寬與節點的能源。而承索式路由選徑協定，則是在節點想送封包時，卻找不到到達目的地的路徑，才會去開始運作，這類協定的最大好處就是頻寬的使用量較小，只是某一個節點欲送封包時，未必能從路由表(routing table)中找到路徑，所以平均延遲時間較長。

在無線感測網路中，要建造一條新的路由選徑時，通常，是由一個起始節點開始展開建造的過程。而這個時候，起始節點並不知道任何有關目的節點的資訊，唯一能夠建立路由選徑的方法，就是由起始節點去廣播一個要求路由選徑封包(route request packet)，而這個封包會被不斷的轉送，直到整個網路上的節點都收到這個封包的資訊。這個將要求路由選徑的封包傳播到整個網路上的過程，是非常消耗網路資源的，因此，想辦法充分的利用這個過程所得到的資訊，使得我們能夠快速而有效率的回復路由選徑，是絕對必要的一件事。

即使無線感測網路繼承了許多無線隨意網路(wireless ad hoc network)的優點，這兩種網路，仍然擁有它們各自獨特的特徵和必要條件。無線隨意網路主要被設計為，即使在節點有很高行動力的情況下，它依然能提供不錯的表現在控制路由選徑方面。而在無線感測網路之

中，最重要的問題就是如果節省節點有限的能源，所以在設計更新路由選徑的協定時，應該要考量如果有效率的減少重新建造路由選徑的總運載量，同時，也希望能做到路由選徑的最佳化。

因為無線感測網路中的節點，通常是被很密集的放置在網路中，而且網路拓樸不會常常改變，所以期待可以在原來被損壞的路由選徑周圍找到新的路由選徑，是很合理的。而且，新的路由選徑的長度也應該和舊路由選徑的長度相差不遠。

在本篇論文之中，我們提出了一個在無線感測網路中局部更新路由選徑的協定(localization repair routing protocol，簡稱為LRR)。我們所提出的協定，能夠動態地回復被破壞的路由選徑，無論路由選徑是因為起始點、目的點移動，或者是路徑中間的節點發生故障而被破壞的。不像其他的協定必須全面性地在網路中建造新的路由選徑，我們的協定只需要留意在原有路由選徑周圍的節點。我們先定義出一個區域，然後，限制用來更新路由選徑的封包，只能在這個特地的區域中傳送。我們的協定最主要的目的，是希望藉由限制封包傳送的範圍，能夠在原有的舊路由選徑周圍快速地找到新的路由選徑，以達成降低控制網路拓樸所必須消耗的資源，以及減少冗餘的資料傳送量。

接下來的章節中，第二章我們將要介紹與這篇論文相關的研究。而在第三章內，我們將會討論造成路由選徑動態改變的原因。第四章

則會仔細的闡述我們所提出的協定。在第五章，我們會描述我們用來做模擬的工具和模組，以及模擬的結果。最後一章，我們會總結論文並做結論。



第二章 相關研究

到目前為止，在無線感測網路方面，已經有許多路由選徑的協定被提出了，這些路由選徑協定，可以依據它們的路由選徑形成方式、功能、網路拓樸等等分成許多不同的類別，每一種類別都試著去解決在無線感測網路中所面臨不同的問題。

在接下來的 2.1 小節，我們將會簡介所謂的承索式路由選徑協定，我們的路由選徑協定，也是屬於承索式路由選徑協定。另外，若以功能性來看，我們的協定所希望解決的主要問題，是著重在繞徑的修復和更新上，這個問題，先前也有人提出其他相關協定，接下來的 2.3、2.3 小節將介紹兩個具有相同概念的協定。2.2 節將介紹的是，具有擴大環狀式搜查和局部修復的 AODV(Expanding ring search and local repair of Ad hoc On-demand Distance Vector, 簡稱 ERS-AODV)[8]。而 2.3 小節要介紹適用於承索式路由選徑的局部詢問技術(Query Localization Techniques for On-Demand routing Protocols, 又簡稱為 QL)[9]。

2.1 承索式路由選徑協定

在無線隨意網路中，繞徑協定最常見的分類方法，就是分為先進展地路由選徑協定(proactive routing protocol)，以及承索式路由選徑協定，而我們在這裡要簡介的是承索式路由選徑協定。

承索式路由選徑協定最主要的特色是，只有在起始節點有資料要傳送給目的節點時，才需要開始建造路徑，也就是說，在需要路徑的時候，才去建立之。當一個節點要求一條能夠到達目的節點的路徑時，這個節點必須初始一個發現路徑程序(route discovery process)，一直到找到路徑，或者是所有的路徑都被檢查過了，這個程序才算完成。

當所需要的路徑被建構完成之後，資料就可以透過此路徑傳送，為了使資料可以順利被持續傳送，所以協定中還必須包含有維護路徑的機制，直到網路上的節點無法再接近目的節點，或是這條路由選徑已經不被需要為止。

2.2 具有擴大環狀式搜查和局部修復的 AODV

AODV 是一個在點對點無線感測網路中基本的承索式路由選徑協

定。AODV 使用連續序列來判斷，在建立路由選徑過程中，資料是否為新，防止封包傳送形成迴路的情況。在 AODV 中，是藉由對整個網路全面發出詢問封包(query packet)來建立路由選徑，而目的節點會先回應第一個收到的詢問封包。AODV 用分散式的方式來維護路由選徑，也就是它使用了路由表來達成維護路由選徑，網路上的節點在傳遞詢問封包前，必須先把上一個節點記錄下來，因此當回應封包(reply packet)要回傳給起始節點時，每一個路徑中間的節點，就會知道應該把回應封包傳向那一個節點，以完成路由選徑的建立。

當原來的路由選徑被破壞的時候，AODV 提供了一個局部修復的模組，這個局部修復的模組，能夠減少不必要在網路上傳送的封包的數量，這個 AODV 提供的技術，叫做擴大環狀式搜尋(expanding ring search)，它限制了修復路由選徑的範圍。其所使用的方法是，在要求路由選徑封包中設置一個欄位為 TTL(Time to Live)，TTL 欄位的值是根據原先舊路由選徑的長度去設定的，也就是說，要求選徑封包能夠被廣播到的距離長度，只能和舊的路由選徑長度差不多，不能被傳送到太遠的地方，這個模組降低了所有傳送封包的總量，也使得修復路由選徑變得比較有效率。

AODV 這個方法有一個缺點，即是，AODV 協定中的封包會被傳送到四面八方，但是只有傳向目的節點的要求選徑封包才是真正需要

的，因此全面性的傳送封包會對網路資源造成很大的浪費。先前介紹過在 AODV 中，局部修復路由選徑的模組，這個模組試著去減少修復路由選徑所要用到的封包總量，然而，它犧牲掉了重建路由選徑的最佳化，而這個情形，會隨著路由選徑的起始節點、目的節點的持續移動，變得越來越嚴重，路由選徑的總長度也會隨著持續增加，如果一個路由選徑中間包含很多冗餘的節點，將會造成傳送資料時，很多不必要的能源浪費。

2.3 適用於承索式路由選徑的局部詢問技術



QL 這個路由選徑協定，是根據網路上的行動節點，不能移動太快的概念制定的。因此，QL 把先前建立路由選徑的經歷先暫存起來，用這些資訊來評估出一個局限的範圍，在這個有限的範圍內，可以有非常高的機率成功地重新建造路由選徑。

QL 在每個詢問封包中放置一個計數器，舊路由選徑上的節點，收到詢問封包後，不需要增加計數器的值，就可以把詢問封包再廣播出去，而其他所有的節點，都必須先把計數器的值加一之後，才能把封包廣播出去。當封包內計數器的值，到達預定的極限值時，這個封包

就再也不能繼續在網路上被傳送了。也就是說，如果這個計數器的極限值定的很小，詢問封包就只能在延著舊路由選徑的方向傳送，因為廣播到其他方向的封包內的計數器值，都很快就會到達極限值，而停止繼續傳遞。用這樣的方式，一個與舊的路由選徑有很大部分重疊的新路由選徑，就能夠很快被找到了。圖 1 和圖 2 是一個計數器極限值為 2 的 QL 範例。圖 1 表示原來路由選徑傳送資料的情形，圖中黑色的節點，即為原來路由選徑上的節點，箭頭則是表現資料傳送的方向。圖 2，表示原有路由選徑改善之後的情形，對照圖 1 和圖 2，可以發現節點 A 改變了位置，因而造成原有路由選徑被破壞，起始節點 S 發現這個情況以後，就會廣播出一個詢問封包，來要求建立新的路由選徑。網路上的節點收到詢問封包，若為舊路由選徑上的節點(即圖中的黑色節點)，就會直接將詢問封包再廣播出去，反之，則將計數器的值增加 1 之後，再廣播出詢問封包。圖 2 中，節點旁邊標計的數字，即為廣播出詢問封包中計數器之值。

QL 對於重新建立路由選徑來說，是非常有效率的協定，然而，路由選徑的最佳化卻完全被捨棄了，路由選徑可能包含過多冗餘的節點，對傳遞資料的速度，以及節點能源的效用來說，都是很不利的。還有一個問題是，在 QL 中，想要找到和舊路由選徑盡量沒有交集的新路徑是非常困難的。對無線感測網路而言，長時間地使用同一條路徑

來傳送資料，會使得這條路徑上的節點很快就能源耗盡，所以，以希望網路上節點的能源能盡量平衡分配，以及網路的生命週期可以增長的觀點來看，不應該長時間使用同一條傳送路徑，要適當的選擇一條近乎全新的路徑來取代舊的路徑。

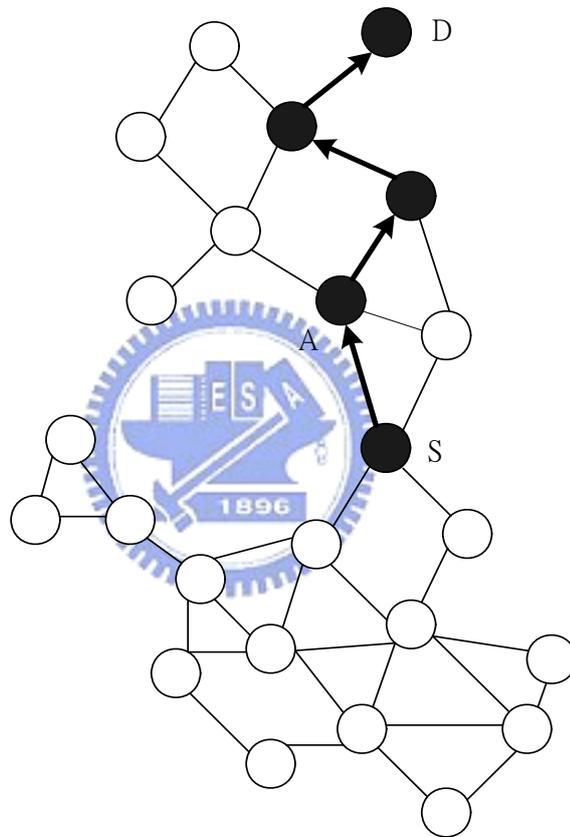


圖1 計數器即限值為2的QL範例之路由選徑未改變前

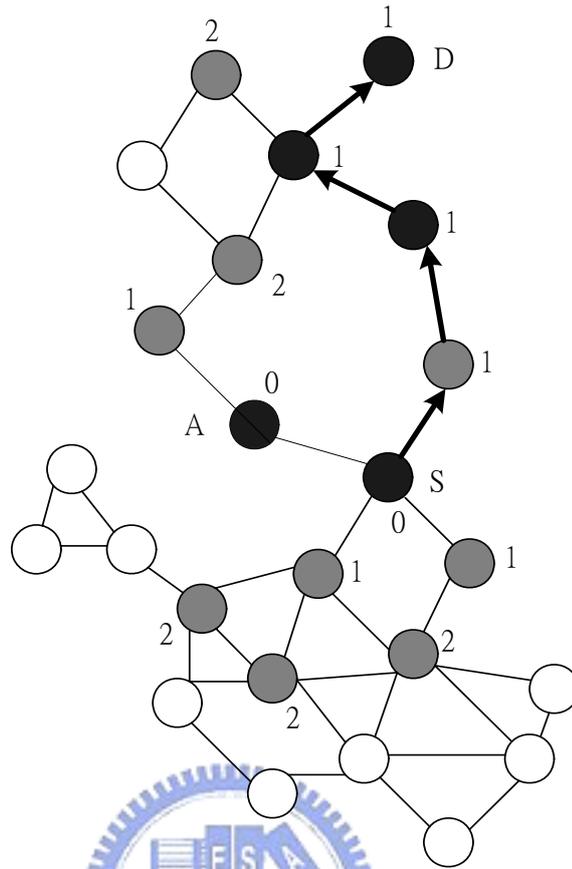


圖2 計算器極限值為2的QL範例之路由選徑改變後

第三章 造成路由選徑動態改變的原因

絕大多數的感測節點(sensor)，在被放置到網路中之後，幾乎都會在原來的位置靜止不動，因而網路拓樸改變的頻率並不高。然而，目標物、收集點的移動，或是感測節點的損壞，都會造成路由選徑被破壞，甚至使得整個網路的節點能源不平衡。

接下來的 3.1 至 3.3 小節，我們將會說明三種導致路由路徑損壞的原因[10]。



3.1 目標物或收集點的移動

雖然有時候收集點是受到外力影響所以才被迫移動，不過大多數的收集點是特地被安排在網路上移動的，這些收集點常常被安置在移動的運輸工具上，比如說飛機、戰車，甚至是機器人，因而收集點可以持續或偶爾地變換它們的位置，以達到較好的傳訊頻道等等。有一些收集點會持續不斷地四處移動，其目的是為了不停改變它們的鄰近節點，以防止鄰近節點的能源太快耗盡，因為一般而言，通常越靠近收集點的節點，要轉送越大量的資料量到收集點。

而要追蹤行動中的目標物，需要好幾個節點共同合作。如果網路上有多個節點同時去感測目標物，是一個相當沒有效率的行為，為了避免這個狀況且節省能源，有一些方法已經提出，能夠使得網路上的感測點，用比較有效率的方式，相互合作來偵測目標物[11]，因為我們要研究的問題是在資料傳送方面，所以這裡不討論這個問題，我們只簡單的假設，當一個目標物離開原本起始節點所能夠偵測的範圍，另一個感測點偵測到目標物，這個感測點就會成為新的起始節點。換句話說，由於目標物的移動，使得起始節點的角色，由一個感測點，轉換到另外一個感測點。

目標物或收集點的移動，會導致現存的路由選徑被破壞，因此為了維護連續的資料傳送，路由選徑協定必須要能處理這個問題，在舊路由選徑不能使用之後，能夠重新建立新的路由選徑。

3.2 單一感測點的損壞

在大範圍的無線感測網路，大部分的感測點，都沒辦法時常去關注，尤其是佈置在敵方環境或危險區域中的感測點。電池電力的耗損、軟硬體發生錯誤、頻道擁塞、外力影響造成的壞損，都可能中止單一

感測點的正常運作。一個簡單而有效率地恢復資料傳送的方法，是去想辦法繞過有問題的節點，以達成重新繼續傳送資料的目的。

3.3 大範圍的節點能源耗盡

連續使用同一條路由選徑來傳送資料，會造成這條路由選徑上的節點，能源被很快的耗盡，而在狹隘範圍內修復路由選徑，有非常高的機率重覆使用舊路由選徑的節點，也會導致相同的結果，同時，還會犧牲掉路由選徑的最佳化。

如果路由選徑常常需要被修復，將會延遲資料的傳送，並影響到整個網路的穩定性。雖然使用多條路由選徑，是一種能夠解決資料延遲情況的方法，但是這個方法需要額外的空間，來儲存備份的路由選徑，對感測點有限的記憶體而言，是很大的負擔，除此之外，要去維護多條路由選徑，也會增加大量的網路封包流量。基於上述使用多條路由選徑的不利原因，另一個可供選擇的方式是，在舊路由選徑上的節點能源被完全耗盡前，先主動去更新所使用的路由選徑，如此一來，就可以使資料的傳送不被中斷，也不需要額外的儲存空間，當然更新路由選徑對網路所造成的負擔，也能保持在一定的值之內。

第四章 局部更新路由選徑的協定

在這個章節中，我們將介紹我們提出來的「局部更新路由選徑的協定」，以下簡稱為「LRR」，LRR 可以在不消耗過多網路資源的前提下，快速地更新有問題的路由選徑。接下來的小節裡，我們將仔細地介紹 LRR 的每個步驟，並提出範例說明，和分析其對網路的負擔情形。4.1 小節將介紹如何初始發現路徑程序，4.2 小節則介紹回應路徑程序(route reply process)，接著在 4.3 小節中介紹發現新路徑程序(new route discovery process)，4.4 小節裡會討論 LRR 在稀疏區域的應變，在 4.5 小節中藉由兩個實際的例子說明 LRR，最後在 4.6 小節探討網路負擔的情形。



4.1 初始發現路徑程序

這篇文章中，我們所討論的無線感測網路，是屬於一種靜態的網路環境，收集點和目標物是被允許在網路之中移動的，但是除此以外，其餘所有的節點都是固定住、靜止不動的。事實上，這樣類型的無線感測網路是相當常見的，尤其是在戰場監督以及環境觀察上，將節點放置在固定的位置上搜集資訊，再將資訊回傳給收集點。

在網路剛開始起動的階段，收集點會告訴整個網路上的節點它所要偵測的目標，然後收集來自各個不同的起始節點回應的資訊，這些資訊使收集點能夠選擇到各起始節點的路由選徑。顯而易見地，在這個時候，收集點並不知道任何有關起始節點的資訊，唯一能夠建立路由選徑的方法，就是向整個網路展開要求路徑程序。

這個要求路徑程序，和一般承索式路由選徑協定步驟相同。當一個節點想要和另外一個節點通訊時，這個節點就要廣播要求路由選徑封包給它所有的鄰居，而網路中任何一個中間的節點收到這個要求路由選徑封包，首先會先判斷是否它已經收到過相同的封包，如果已經收過了，就直接捨棄這個封包，如果沒有收過的話，就會記錄一些必要相關的資訊在自己的路由表中，由這些資訊，將來可以知道路由選徑上節點的次序等等，除此之外，還要再將要求路由選徑封包廣播出去，直到目的節點收到這個封包為止。

4.2 回應路徑程序

在回應路徑程序中，主要有兩項重要的目的。其一是，完成建立路由選徑，其二則為，定義尋找路徑區域(route discovery region)。

當目的節點收到第一個要求路徑封包之後，它會廣播出一個回應封包，這個回應封包被送達起始節點之後，路由選徑就被建立完成了。回應封包內有一個很重要的欄位是 TTL，我們將 TTL 的值初始為 2。

第一個要求路徑封包在到達目的節點途中所經過的節點，即為路由選徑上的節點。這些路由選徑上的節點收到回應封包之後，會更新自己的路由表內的值，以及將自己標示為重建區域內節點，再將封包內 TTL 的值重新設定為 2，並且將回應封包廣播出去。

而其他的節點，收到回應封包之後，首先，也會先將自己標示為重建區域內節點，然後檢查看看回應封包內 TTL 的值是否大於 0，如果 TTL 的值大於 0，就先將 TTL 的值減去 1 之後，再將回應封包繼續廣播出去，如果 TTL 的值等於 0，就在此捨棄此回應封包，不再廣播出去。

如此一來，當回應封包由目的節點送達起始節點的差不多時間內，也會有部分節點被標示為重建區域內節點，而這些重建區域內節點所構成的範圍，就形成了尋找路徑區域。

4.3 發現新路徑程序

初始節點到收集點(目的節點)之間的路由選徑建立完成之後，初始節點搜集到的資料，就能夠持續藉由此路由選徑傳送到收集點，除非有不尋常的狀況發生，使得資料傳送中斷。不論是什麼情況造型路由選徑損壞，當路由選徑發生問題的時候，就必須起動發現新路徑程序，來重新建造新的路由選徑。

我們將需要重新建造路由選徑的情況分為以下 4 項：

1. 當收集點移動，和原來路由選徑上的節點失去連繫時，收集點就會初始發現新路徑程序。
2. 除了收集點之外，目標物也會移動，而不論何時，只要目標物離開了原先舊起始節點可以偵測到的範圍，舊起始點就會廣播一個短訊息，給和它距離一個行程(hop)的鄰居節點，目的是通知這些鄰居節點目標物離開了。這些鄰居節點收到短訊息之後，就會開始偵測目標物出現與否，偵測到目標物的節點，會先等待一段亂數產生的時間，再回應短訊息(等待一段亂數產生時間，是為了避免節點同時送出回應的訊息，造成訊息相同碰撞而遺失)。當出現第一個鄰居節點發出回應訊息之後，其他在等待回應短訊息的鄰居節點，就會抑制、取消自己的回應訊息，同時，這個第一個發出回應訊息的鄰居節點，成為了新的初始節點，並且會繼續追蹤目標物，由這個新初始節點開啟發現新路徑程序，使得新初始節點能夠將所偵測的資料重送到

收集點。

3. 一個初始節點，可以在路由選徑上的絕大多數節點能源都快耗盡時，主動開啟發現新路徑程序。為了確保初始節點能確切地掌握這個情況，路由選徑上的每一個節點，在自己的能源低於某一個標準值時，都必須送出一個能源不足的警告訊息通知初始節點。而當路由選徑上有超過百分之七十的節點，都曾經送出能源不足的警告訊息給初始節點時，初始節點就會主動開啟發現新路徑程序，來建造一條新的路由選徑。
4. 當路由選徑之中有單獨的節點能源耗盡，或是損壞時，它的上方節點就會送出錯誤訊息通知起始節點，此時起始節點也會重新啟動發現新路徑程序。



討論完何時需要開始啟動發現新路徑程序之後，我們現在要來簡介發現新路徑程序的過程。

啟動發現新路徑程序的節點(初始節點或收集點)，會先廣播出一個要求路由選徑封包，要求路由選徑封包的目的是去找到新的路由選徑。所有的節點收到要求路由選徑封包之後，會去檢查自己是不是重建區域內節點，只有同時滿足，自己為重建區域內節點，並且所剩餘電池電力大於一個預設值的節點，能夠繼續廣播要求路由選徑封包。而其他那些收到要求路由選徑封包，但是又不能將要求路由選徑封

包廣播出去的節點，會暫時把這個要求路由選徑封包紀錄下來。如果重建區域內節點的個數足夠密集地分布在舊路由選徑周圍，同時絕大多數重建區域內節點擁有足夠的電池電力的話，要求路由選徑封包就能夠經由至少一條新的路由選徑到達目的地，目的節點會選擇第一個抵達的要求路由選徑封包所經過的路徑，並且回傳回應封包，以完成發現新路徑程序。

4.4 稀疏的區域

在這個小節要討論的問題是，如果為重建區域內節點，且擁有足夠電力的節點個數過於稀疏，將使要求路由選徑封包在半途就被阻塞住，沒辦法傳達到收集點，這麼一來的話，路由選徑就沒有辦法快速地被重建了，為了降低 LRR 失敗的機率，因此增加了其他方法，來解決這個情形。

為了避免網路內的節點密度太稀疏，阻塞了路由選徑的重建，舊路由選徑上的節點，必須設法知道這個情形，並且去擴大重建區域。在 LRR 之中，如果一個舊路由選徑上的節點，收到要求路由選徑封包，這個節點就知道，到自己這個位置為止，重建區域內的節點足夠密集來傳送要求路由選徑封包，因此，這個節點會送出一個確認封包 (confirmation packet) 給舊路由選徑的上個節點，在這個同時，它還會開

啟一個計時器，去等待舊路由選徑上的下個節點送給它確定封包。如果計時器的時間到了，都沒有收到確定封包，這個舊路由選徑上的節點，就會知道重建區域太稀疏，因此阻塞了重新建造路由選徑的步驟，當節點發現這個情形，它就要開始去擴展重建區域，作法是，它會廣播出一個擴展區域封包(extend region packet)，這個封包的 TTL 欄位值設為 1，每傳送一次 TTL 值就要減少 1，但是如果是舊路由選徑上的節點收到此封包，會將 TTL 的值重新設定為 1，擴展區域封包會一直被廣播出去，直到 TTL 之值為 0 為止。一個原本不在重建區域內的節點收到擴展區域封包，會根據節點原來暫存起來的要求路由選徑封包，重新產生一個要求路由選徑封包，並且把它廣播出去，因此要求路由選徑封包，能夠被推進到比原先更遠的範圍，更有機會接近目的點。

4.5 範例說明

在這個小節中，我們將舉出兩個不同的範例，用圖解的方式來闡明 LRR 的步驟。

1. 行動的收集點

在圖 3 中，收集點為 D 點，D 點收到來自起始節點 S 的第一個要求路徑封包之後，就會送出 TTL 值為 2 的回應封包。位於被這條路由

選徑上的節點，即圖 3 中黑色的節點，會將自己標示為重建區域內節點，並且將回應封包欄位中 TTL 的值，重新設定為 1，再廣播出去。其餘非路由選徑上的節點，收到回應封包，會將自己標示為重建區域內節點，並且將 TTL 值減 1 之後，才廣播出去，即圖 3 中灰色節點。圖 3 各節點旁邊的數字，表示為該節點所廣播出回應封包的 TTL 值。當回應封包，由 D 點，經 A、B 點，到達 S 點之後，路由選徑隨即建立完成。同時形成了一個由黑點和灰點構成的重建區域。將來就是在這個重建區域內，建造新路由選徑。

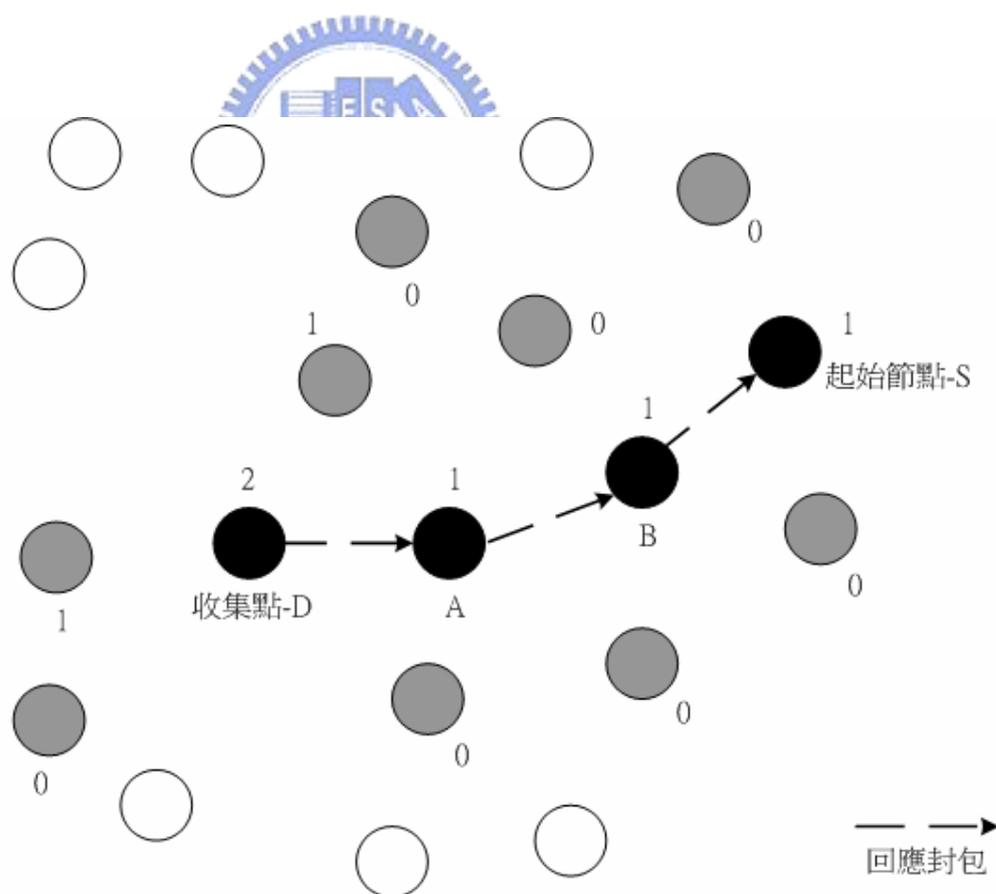


圖3 LRR的範例-行動收集點(1)

路由選徑建立之後，S 點即可利用此路徑將所搜集到的資料傳送到 D 點，直到路由選徑被破壞為止。在這個範例中，D 點移動位置，乃至於 A 點無法與之連繫，如圖 4 所示。

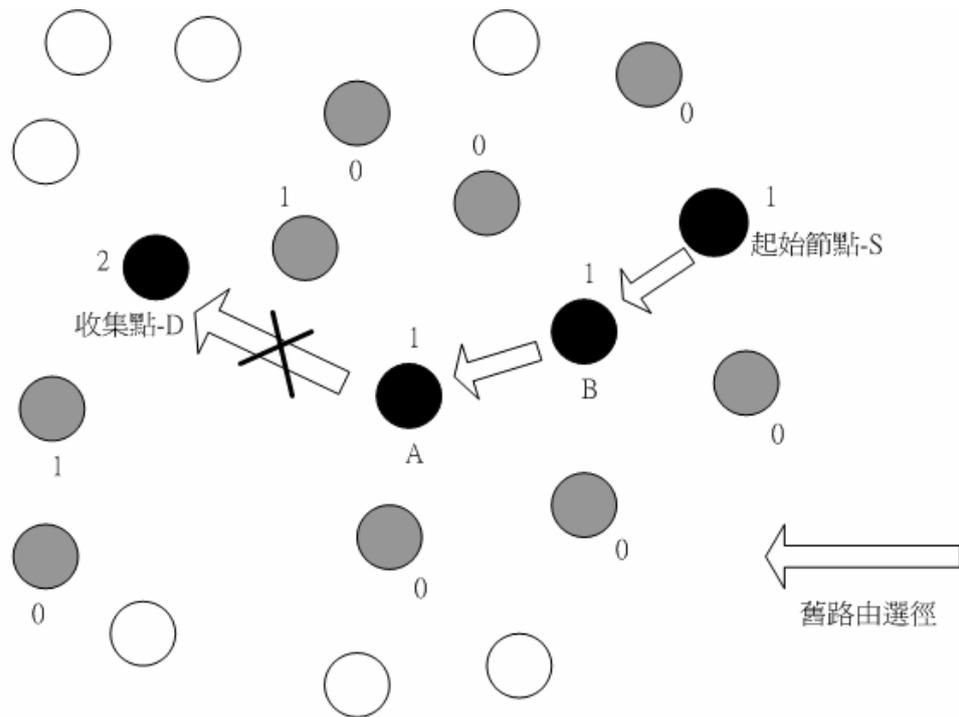


圖4 LRR的範例-行動收集點(2)

當舊路由選徑被破壞之後，我們可以馬上由事先預備好的重建區域中，快速地找到新路由選徑，見圖 5。而且在新路由選徑建立好的同時，也同時形成一個新的重建區域，用以維護現在用來傳輸資料的路徑，如圖 6。

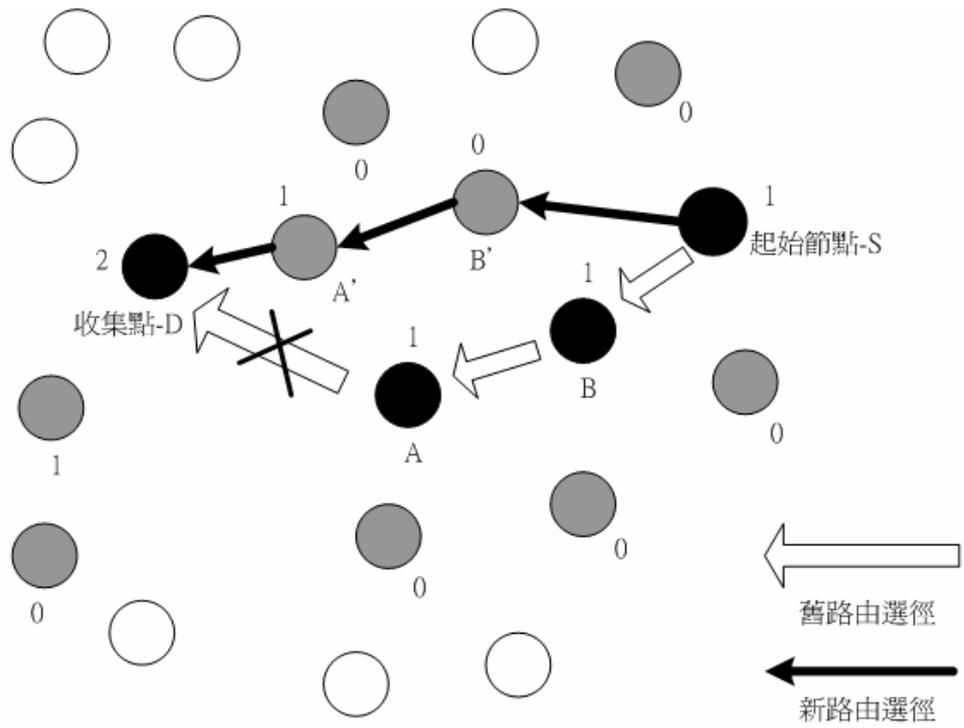


圖5 LRR的範例-行動收集點(3)

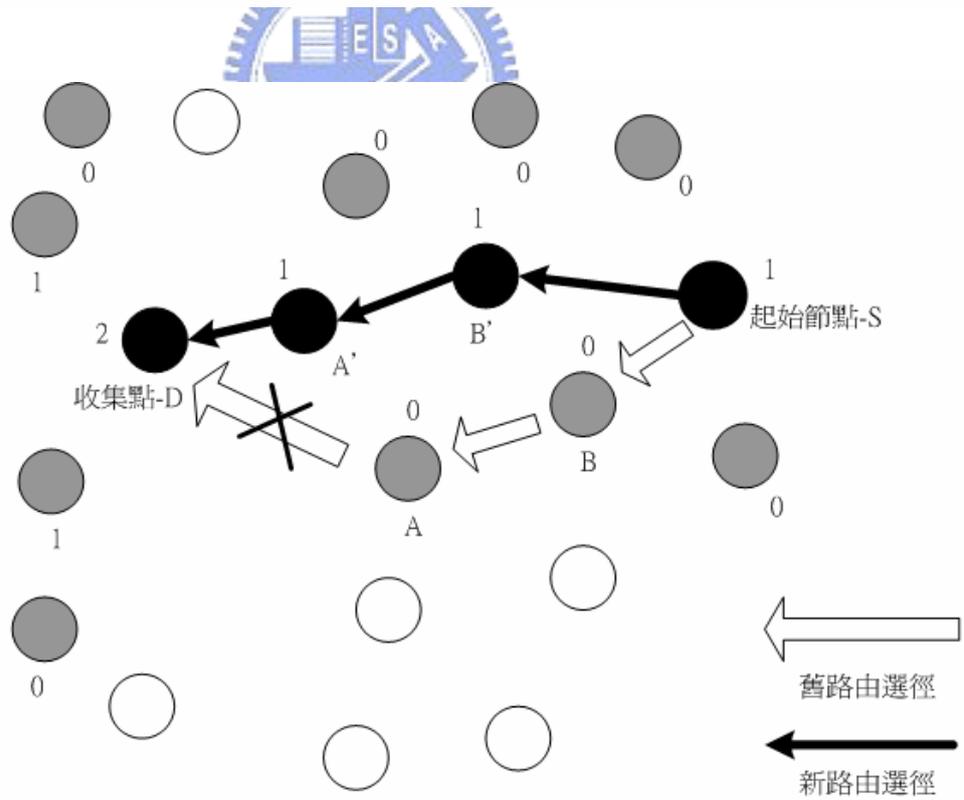


圖6 LRR的範例-行動收集點(4)

2. 路由選徑上節點能源不足

這裡主要是利用路由選徑上節點能源不足的範例，來介紹當重建區域內節點過少的情況。

圖 7 中，由 S' 點開始，經 A、B、C、D 四點到 D'，是原來舊的路由選徑，而這條路徑上絕大多數的節點，能源都低於一個標準值了，因此 S' 會起始發現新路徑程序。

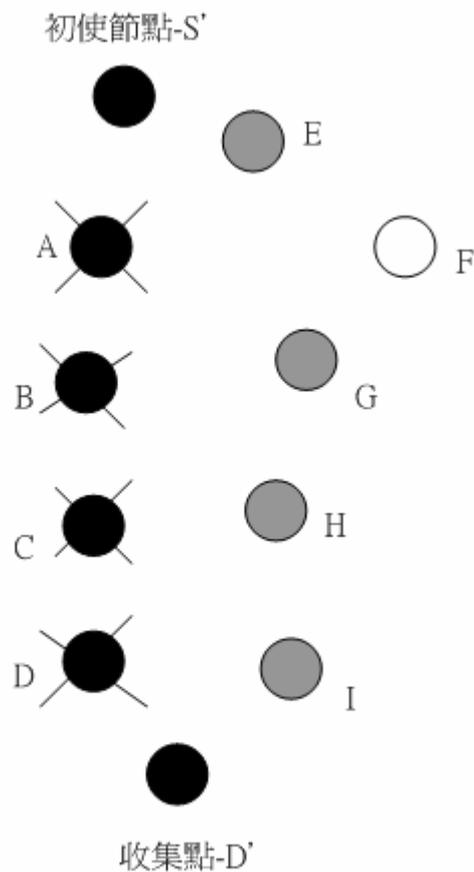


圖7 LRR的範例-節點能源不足(1)

S' 送出要求路由選徑封包之後，A 點和 E 點都會收到，因為 A 點是舊路由選徑上的節點，因此 A 點會回覆一個通知封包給 S'，用以表

示重建區域到自己為止是夠密集來傳遞要求路由選徑封包的，同時，A 點還會開啟一個計時器，等待 B 點傳來的通知封包。而 E 點收到要求路由選徑封包，會再把它廣播出去，F 點收到 E 點送來的要求路由選徑封包，但是因為 F 點不是重建區域內節點，因此 F 點不能再將此封包廣播出去，它就把這個封包暫時存放起來。上述步驟請見圖 8。

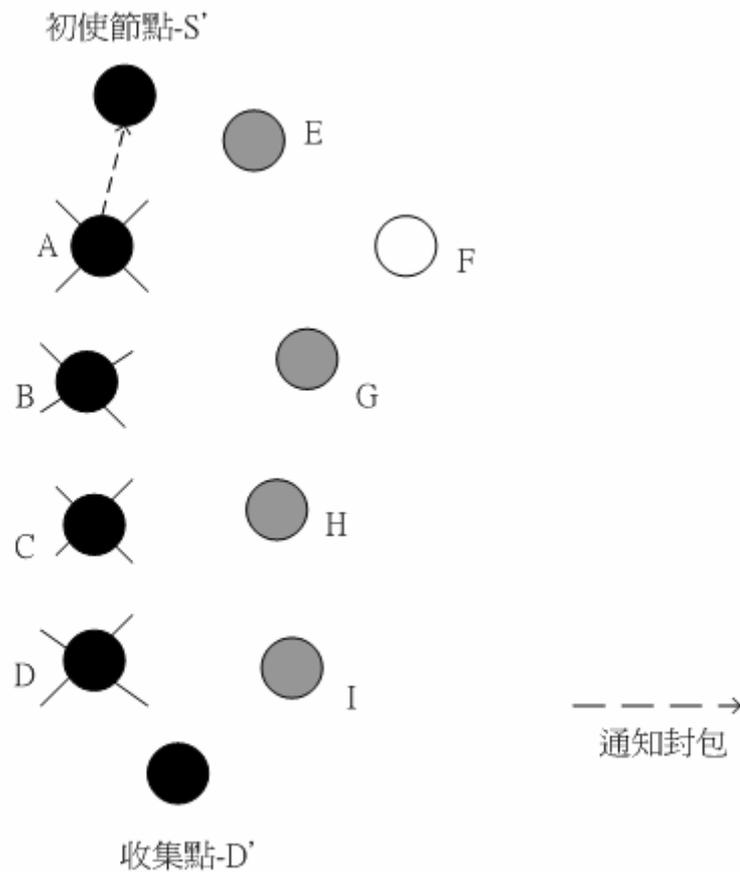


圖8 LRR的範例-節點能源不足(2)

A 點持續等待 B 點送來的通知封包，直接計數器的時間歸零，A 點會送出 TTL 值為 1 的擴展區域封包，圖 9 中 E 點收到這個封包，它會將 TTL 值減 1 之後，再送出擴展區域封包，於是 F 點會收到 TTL 值為 0 的擴展區域封包，F 點發現自己有暫存的要求路由選徑封包，因此它會重新產生一個要求路由選徑封包送出。

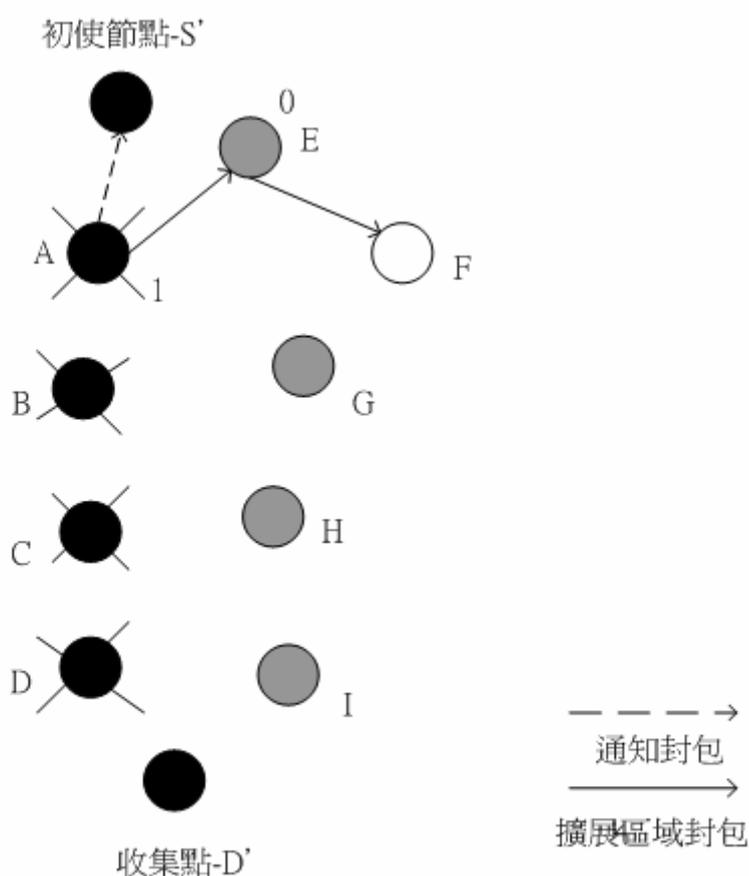


圖9 LRR的範例-節點能源不足(3)

G 點收到 F 點傳來的要求路由選徑封包，因為 G 點是重建區域內節點，因此 G 點可以將要求路由選徑封包繼續傳遞出去，而其他所有的重建區域內節點，也都能繼續傳遞要求路由選徑封包。舊路由選徑

上的節點成功地收到要求路由選徑封包後，也都回傳通知封包給其上一個舊路徑上的節點。最後要求路由選徑封包終於抵達收集點，見圖 10。

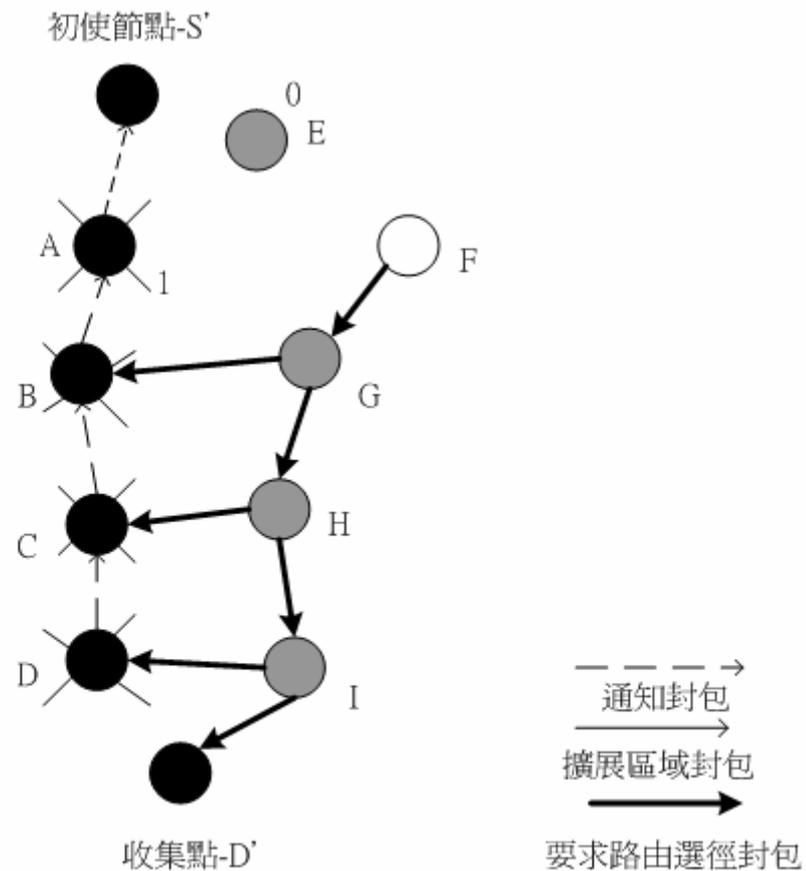


圖10 LRR的範例-節點能源不足(4)

最後收集點收到第一個要求路由選徑封包之後，會回傳回應封包，完成發現新路徑程序。初始節點和收集點隨即開始使用新路由選徑傳遞資料，如圖 11。

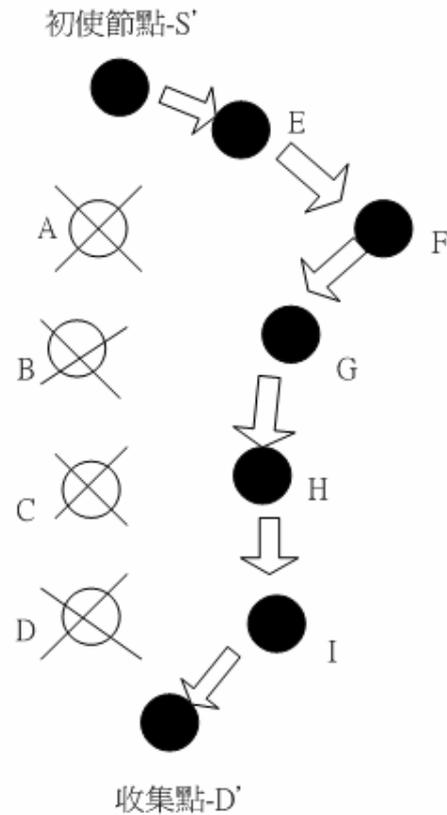


圖11 LRR的範例-節點能源不足(5)



4.6 網路負擔情形討論

為了分析電力是否有效率地使用，我們使用重建路由選徑時，所必須消耗通訊的負擔，來作為一個比較的標準，來評估 LRR，以及對整個網路全面性更新路由選徑的相關協定。

在全面性更新路由選徑的協定中，每一次需要更新路由選徑時，就必須將重建路徑相關的封包傳送給網路上的每一個節點，網路越大、網路上的節點越多，就需要越大量的封包來建立路由選徑，重建

路由選徑對網路造成的負擔，是和網路上節點數量成正比的。

而 LRR，限制了重新建造路由選徑時的範圍，只能在舊路由選徑周圍不遠的區域，因此 LRR 重建路由選徑對網路造成的負擔，只有和舊路由選徑的節點數成正比。因此，網路上節點數的多寡，對 LRR 的影響，遠比對全面性更新路由選徑協定來的低多了。進一步地討論，目標物和收集點的快速移動，會對網路造成很大的負擔，因為路徑兩端點移動的越快，需要重新建造路徑的頻率就越高，然而，高行動速度對 LRR 的影響，依然比對全面性更新路由選徑協定小。

還有一個與 LRR 概念相似的協定是「有效率更新路由選徑協定」，以下簡稱為「ERUP」[13]。ERUP 提出了在限定的區域內重建路由選徑的概念，其和我們的方法 LRR 最大的差別是，ERUP 是當舊路由選徑被破壞的時候，它才去定義一個重新建造新路由選徑的區域，接著再從這個區域裡面建立新的路由選徑。而 LRR 能夠在舊路由選徑被破壞時，馬上從預先定義好的區域內找到新的路由選徑，因此縮短了必須重建路由選徑所必須消耗的時間。快速地回復路由選徑，對重要資料的重送是非常重要的。

根據上述的分析，我們可以得知，在大範圍的無線感測網路之中，LRR 對網路造成的負擔，遠比全面性更新路由選徑的協定來的少。和 ERUP 協定比較，LRR 又能夠更加快速地建立完成新路由選徑。

第五章 模擬結果

在這個章節之中，我們將評鑑和比較我們提出的 LRR，以及 ERS-AODV，和 ERUP。接下來的 5.1 小節，我們將介紹我們用來做模擬的工具模組。5.2 小節則是呈現各個模擬比較的結果。

5.1 模擬工具模組



我們在 NS2(network simulator-version 2) 上實作模擬我們提出的 LRR 協定。NS2 是一套網路模擬軟體，由於它是一種共享資源，因此在學術界中被廣泛的使用。而媒體存取控制層(MAC layer)，所使用的是由 NS2 內提供的 802.11 無線網路模組。節點移動模組是由 CMU/Monarch 組織所提出的，CMU 模組會提供節點的移動檔，產生的移動檔形式如下：

```
$ns_ at 2.000000000000 "$node_(1) setdest 428.631256603473  
146.536350594731 1.0"
```

表示節點 1 在 2.0 秒時，以 1.0 的速度像 (428.6, 146.5) 座標移動。

模擬的時候，節點是隨機的散佈在模擬的區域中，每一個初始節

點每一秒產生一個封包。

5.2 模擬結果

1. 重建路由選徑所要花費的時間

我們測量 LRR 和 ERUP 在不同節點個數的情況下，重新建造路由選徑所消耗的時間關係為何。在這個模擬中，我們將 100 個節點，亂數分佈在邊長 1000 公尺的正方形區域內，收集點或目標物的最大移動速度是每秒 1 公尺。

由圖 12 的結果，我們可以得到 LRR 比 ERUP 可以更加快速地修復路由選徑的結論。因為當舊路由選徑毀損時，LRR 不需要花費額外的時間去定義一個重建區域，而是能迅速地在原先定義好的重建區域中，找到新的路由選徑。而 ERS-AODV 雖然在節點個數少的時候，可以很快地修復路由選徑，但是當節點個數一增加，所要耗費的時間也相對地倍數成長，對大範圍的網路環境來說是不利的。

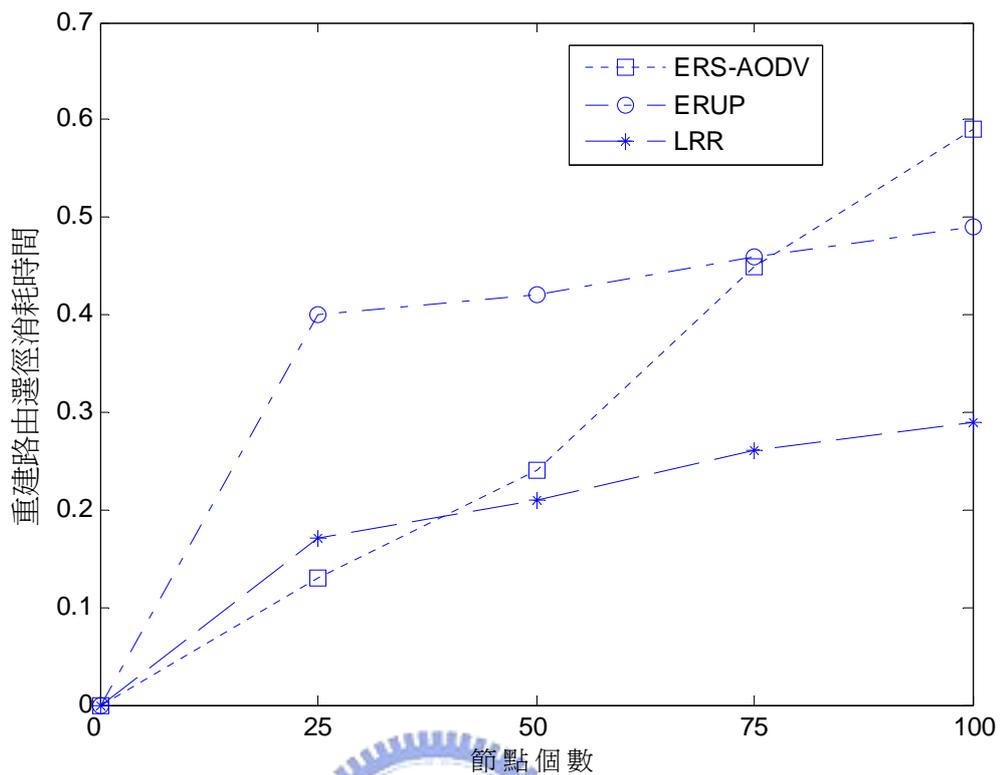


圖 12 重建路由選徑所要花費的時間

2. 網路密度的影響

我們分別將 50、75、100 個不同的節點個數，隨機放置在邊長為 1000 公尺的正方形區域中，路由選徑兩端點(目標物或收集點)，所能移動的最快速度是每秒 1 公尺，節點的傳輸範圍為 100 公尺。圖 13 顯示網路密度對各協定的影響，由圖形中可以看出，網路密度增加時，對使用 ERS-AODV 協定的網路負擔明顯影響增加，這是因為 ERS-AODV 屬於全面性更新路由選徑的協定，因此重新建造路由選徑時，網路的負擔，與整個網路上節點的個數密切相關。而 LRR 和

ERUP，主要是受到舊路由選徑上節點個數影響，因此網路密度增加時，影響不這麼大。

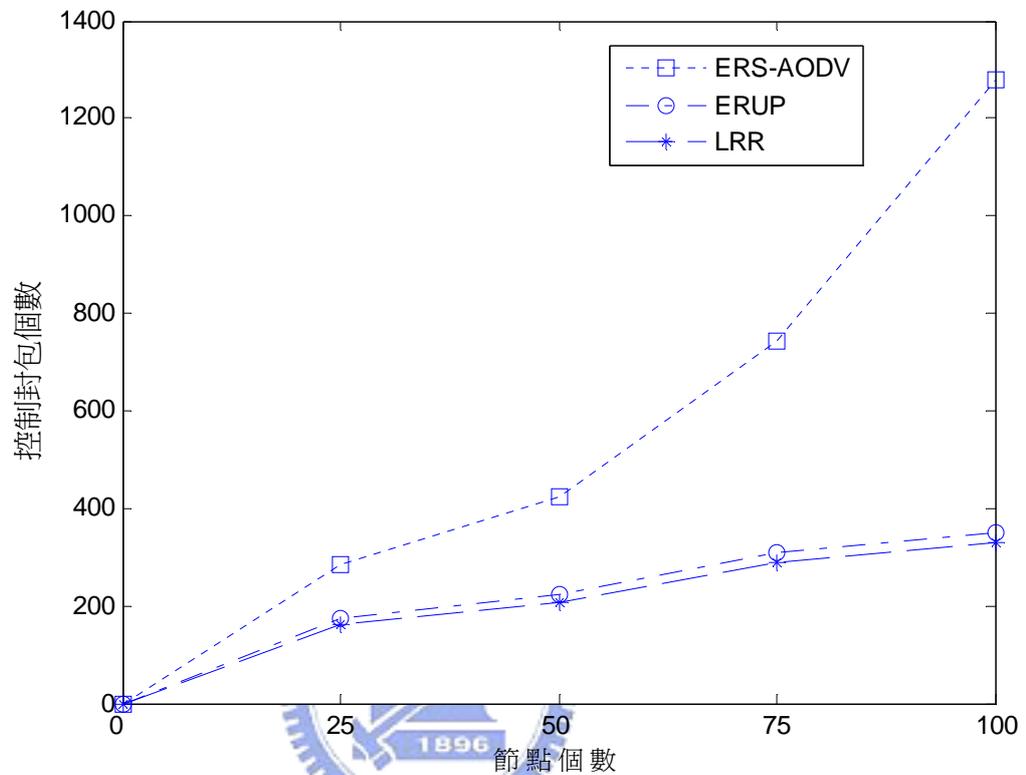


圖 13 網路密度的影響

3. 移動速度的影響

在這個模擬中，200 個節點被分散在邊長 500 公尺的正方形區域中，收集點在網路上移送的速度分別為：每秒 0 公尺、每秒 1 公尺、每秒 2 公尺、每秒 3 公尺、每秒 4 公尺和每秒 5 公尺，模擬時間為 200 秒，而每個節點所能傳輸的範圍是每秒 60 公尺。

圖 14 中可以看出，無論是 ERS-AODV、ERUP 或是 LRR，控制路

由選徑的封包個數，都和收集點移動的速度成正比。這所代表的意義是，收集點移動的越快，需要重新建造新路由選徑的頻率就越高。但是 LRR 和 ERUP 重新建造路由選徑不需要將封包送到整個網路上，因此還是比 ERS-AODV 對網路的負擔來得少許多，由此可知，LRR 在行動的無線感測網路中，是一個對電池電力相當有效率協定。

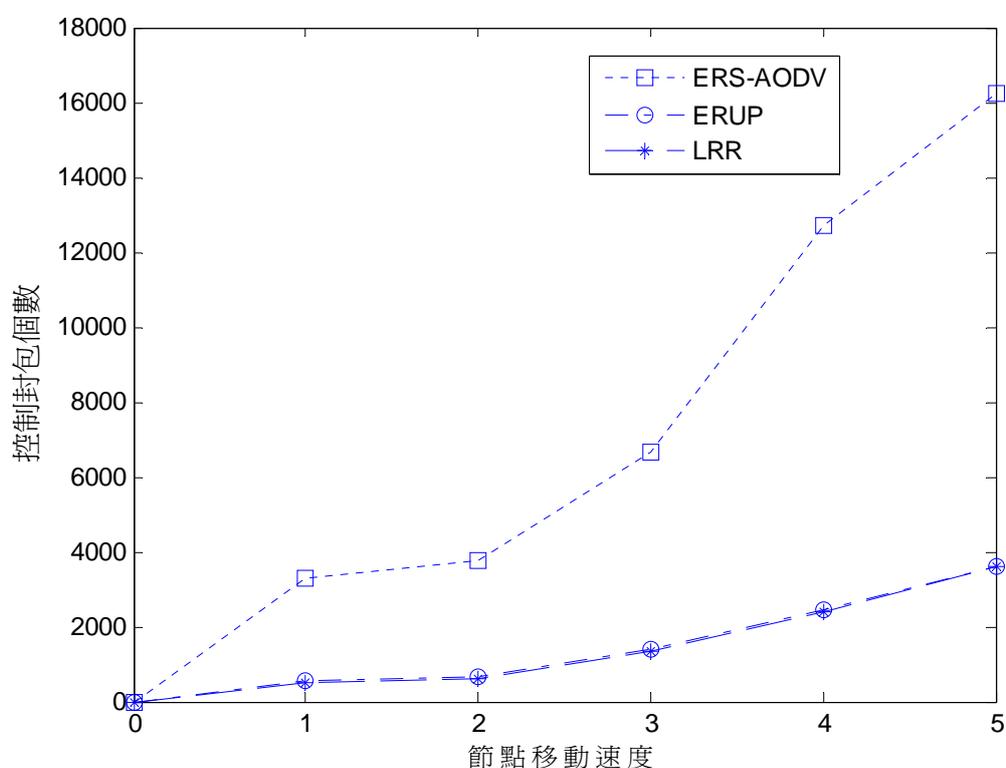


圖 14 移動速度的影響

4. 路由選徑長度的影響

為了比較不同路由選徑長度的影響，我們將 200 個節點，亂數放

置於邊長 500 公尺的正方形區域中，目標物或收集點的移動速度，最快為每秒 2 公尺，每個節點的傳輸範圍是 60 公尺，模擬時間為 200 秒。

圖 15 顯示出路由選徑不同時，對 AODV-ERS、ERUP、LRR 三種協定來說，需要多少控制封包個數來重新建造路由選徑。ERS-AODV 所需要的封包個數遠大於其他兩種協定，那是因為其他兩種協定，所需要的控制封包數都是和路由選徑的長度成正比，但是 ERS-AODV，卻是要全面性地將封包送到網路上來建立新路由選徑。

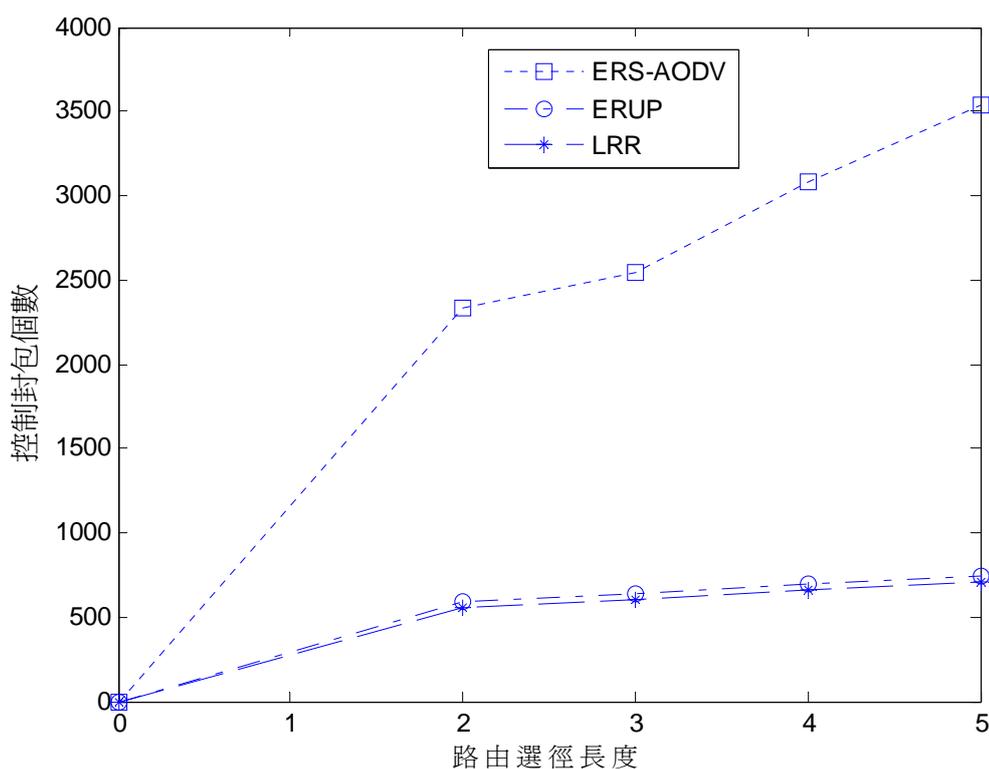


圖 15 路由選徑的影響

第六章 結論

在這篇文章中，我們提出了 LRR，一個能夠快速地重建路由選徑的協定，它能夠使得節點電池電力被更加有效率的使用，提高網路的生命週期。LRR 不需要將重建路由選徑的封包散佈到整個網路的各個方向之中，它降低了重建路由選徑所需要的總封包數，也減少對網路的負擔，LRR 限制封包在預先定義好的範圍內傳送。

模擬結果也顯示 LRR 能夠大大地降低封包運輸量，以及快速地更新路由選徑。因此，LRR 是一個適合在節點能源有限的無線感測網路中使用的協定。



參考文獻

- [1]. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks", *IEEE Communications Magazine*, pp. 102-114, 2002.
- [2]. J.N. Al-Karaki, and A.E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey", *Wireless Communications, IEEE*, Vol. 11, 6, pp. 6-28, 2004.
- [3]. E. M. Royer, and S. Barbara, "A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless networks", *Personal Communications, IEEE*, Vol. 6, 2, pp. 46-55, 1999.
- [4]. C. E. Perkins, and P. Bhagwat, "Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers", *ACM SIGCOMM'94 Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications*, pp. 234-44, 1994.
- [5]. S. Murthy, and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "An efficient routing protocol for wireless networks", *ACM Mobile Networks and Applications*, pp. 183-97, 1996.
- [6]. D. B. Johnson, and D. A. Maltz, "Dynamic source routing in ad-hoc wireless networks," *Mobile Computing*, T. Imielinski and H. Korth, Eds., Kluwer, pp. 153-81, 1996.
- [7]. V. D. Park, and M. S. Corson, "A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks", *Proceeding INFOCOM '97*, 1997.
- [8]. C. E. Perkins, E. M. Belding-Royer, and S. Das, "Ad hoc on demand

distance vector (AODV) routing”, IETF Internet draft, June 2002.

- [9]. R. Castenada, S. R. Das, and M. K. Marina, “Query localization techniques for on-demand routing protocols in ad hoc networks”, *ACM/Kluwer Wireless Networks Journal*, Vol. 8, 2, pp. 137-151, 2002.
- [10]. X. Hu, Y. Liu, M. J. Lee, and T. N. Saadawi, “Efficient route update protocol for wireless sensor networks”, *Military Communications Conference*, Vol. 1, pp. 549-554, 2003.
- [11]. C. Shen, C. Srisathapornphat, and C. Jaikaeo, “Sensor information networking architecture and applications”, *IEEE Personal Communications*, pp. 52-59, 2001.
- [12] X. Hu, Y. Liu, M. J. Lee, and T. N. Saadawi, “Route update and repair in wireless sensor networks”, *Consumer Communications and Networking Conference*, pp. 82-87, 2004.

