

私立東海大學資訊工程與科學研究所

碩士論文

指導教授：蔡清欉

行動隨意網路上結合來源繞送機制的
多路徑距離向量繞送協定之研究

Multipath Distance Vector Routing Protocol with
Source Routing Mechanism on Mobile Ad Hoc Network

研究生：林俊宏

中華民國九十二年七月

摘要

隨意網路是指由一群在訊號範圍內之無線行動主機，動態形成的一個無線網路。此網路不需要如基地台等形式的基礎建設或集中式的管理，且網路中任意主機皆可擔任路由器的角色幫助將資訊繞送至目的地。無線隨意網路在商業、軍事、教育、急難救助等應用領域上都有許多可能的發展方向。

繞送協定是隨意網路相關研究中的重點項目，因為隨意網路有高度的變動性，如何在動態環境下隨時建立理想的封包繞送路徑便是最重要的課題。考慮到網路中各主機資源以及網路資源的有效運用，本論文將提出一個需求導向式隨意網路繞送演算法。此演算法改良自前人提出之需求導向式隨意網路繞送協定 AODV、DSR，並加入多路徑之觀念。在尋找路徑時利用 DSR 的來源繞送特性，在每個節點保留路徑資訊，繞送回覆時利用這些資訊回報多條路徑回來源節點，避免 AODV 中可能有的單向連結問題。使得找到的路徑無論在數目與品質上都適合作為備份路徑。利用這些備份路徑以減少封包汜流頻率，使得封包傳輸較穩定。且在資料封包傳送時使用 AODV 的距離向量繞送方法，使得與 DSR 比較下，能減少資料傳輸封包大小。並且與我們設計模擬程式來評估所提出之方法的效能，實驗結果證明本論文的方法與這兩種方法比較，都耗用更少的網路資源。

關鍵詞：行動隨意網路、需求導向、距離向量繞送法、來源繞送法、繞送協定、多路徑

Abstract

Ad hoc network is a wireless network that is dynamically established among a group of mobile hosts within communication range. This network will not need infrastructure or centralized management such as base station. Every mobile host can serve as a router to help routing information to any destination. Wireless Ad hoc network has many development possibilities in many application fields such as commercial, military, education, and search-and-rescue operation.

Routing protocols is an important issue in Ad hoc researches. Because of the highly dynamic nature of Ad hoc network, how to build an ideal packet routing path under this dynamic environment is the most important subject. By considering the effective use of mobile host resources and network resources, we will propose an on-demand Ad hoc network routing algorithm. This algorithm is improved from the preexistent on-demand Ad hoc routing protocols AODV and DSR, and even adds the multi-path concept. We use the source routing mechanism in DSR to keep routing information in every intermediate node when route requesting, then use these information to reply multiple paths when route replying, this also avoid non-symmetric link problem in AODV. We can find multiple paths with well quality and proper quantity. And use these backup paths to reduce the frequency of packet flooding, which make the packets transfer steadily. Compared with DSR, our method uses distance vector routing of AODV to reduce the size of transferring data packets. Eventually we designed a simulation program to evaluate the performance of the proposed algorithm. Experimental results shows that compared with AODV and DSR, our method consume much less network resources.

Key word: mobile ad hoc network, on-demand, distance vector routing, source routing, routing protocol, multipath protocol.

誌謝

在研究所的這幾年，無論在課業上、生活上，都讓我更加充實自己，認識自己。毫無疑問的對於我往後的人生路途有著極大的影響。這一段路上雖然不是一帆風順，但過的還算愜意。雖然也發生了許多無可避免的意外，但也未嘗不是一種磨練與教訓。回想起來，我要在這裡感謝許多的人。

首先我最需要感謝的是我的指導老師蔡清欉，從大學時期開始給我的鼓勵與幫助，給了我許多學術研究與生活態度上的指引與啟發，幫助我完成了這本論文。而且我要感謝研教組的老師們與資訊系主任、系助理，沒有他們的幫忙我也可能無法在今年順利畢業。我還要感謝實驗室的同學們：蔡昇達、蘇淳閔與徐育良，無論在做研究時、生活上、或是閒暇時的娛樂，都一直陪著我同甘共苦著。最後我要感謝我家人與親友，還有我的女友，他們對我的期望、鼓勵與幫助，讓我在這幾年能夠安心致力在課業上，決心完成我的研究，並且幫我為未來鋪路。讓我對於未來有著更多的理想與盼望。

目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iv
目錄	v
圖目錄	vii
表目錄	ix
第一章 緒論	1
1.1 無線隨意網路簡介	1
1.2 隨意網路繞送協定簡介	3
1.3 研究動機與目的	4
第二章 文獻探討	6
2.1 無線區域網路	6
2.2 隨意網路通訊協定	12
2.3 隨意網路繞送協定相關研究	13
2.4 背景知識	20
第三章 多路徑距離向量隨意網路繞送方法	30
3.1 方法簡介	30
3.2 路徑搜尋	32
3.3 路徑設定	39
3.4 路徑維護	42
3.5 實驗結果	43
第四章 結論	58
4.1 結論	58
4.2 貢獻	58

4.3 未來研究方向	59
參考文獻	61

圖目錄

圖 1.1	ISO/OSI 七層網路架構與隨意網路	2
圖 2.1	無線主從式網路	7
圖 2.2	無線隨意網路	8
圖 2.3	一些基本的隨意網路繞送協定示意圖	14
圖 2.4	DSDV 中某一個節點所維護的繞送表格	14
圖 2.5	CGSR 的示意圖	15
圖 2.6	AODV 的路徑搜尋示意圖	16
圖 2.7	DSR 的路徑搜尋示意圖	17
圖 2.8	獨播與廣播	20
圖 2.9	氾流的示意圖	21
圖 2.10	雙向連結與單向連結	23
圖 2.11	完全連結網路兩點間所存在的無迴圈路徑	27
圖 2.12	用單純流水號檢查法搜尋多路徑	28
圖 3.1	本論文所提出的方法之流程圖	33
圖 3.2	本論文提出的方法中路徑搜尋的流程圖	34
圖 3.3	繞送請求封包所包含的欄位	35
圖 3.4	繞送回覆封包所包含的欄位	35
圖 3.5	本論文提出的方法的路徑搜尋流程	37
圖 3.6	多路徑繞送回覆濾除單向連結路徑的機制	38
圖 3.7	本論文提出的方法中路徑設定的機制	39
圖 3.8	繞送設定封包所包含的欄位	40
圖 3.9	繞送設定回覆封包所包含欄位	41
圖 3.10	本論文所提出方法的資料封包包含欄位	41
圖 3.11	繞送錯誤封包所包含之欄位	42

圖 3.12	在 6 個節點的環狀實驗網路中尋找多路徑的實驗	45
圖 3.13	在 9 個節點的自訂實驗網路中尋找多路徑的實驗	45
圖 3.14	在 15 個節點的實驗網路中尋找多路徑的實驗	46
圖 3.15	在 20 個節點的實驗網路中尋找多路徑的實驗	47
圖 3.16	在 25 個節點的實驗網路中尋找多路徑的實驗	48
圖 3.17	在 30 個節點的實驗網路中尋找多路徑的實驗	49
圖 3.18	正規化繞送負載比較圖	52
圖 3.19	封包遺失率比較圖	53
圖 3.20	點對點延遲比較圖	54
圖 3.21	泛流次數比較圖	55
圖 3.22	不同資料封包大小實驗的環境	56
圖 3.23	不同資料封包大小實驗的結果	56

表目錄

表 2.1 表格驅動式以及需求導向式通訊協定的比較	12
表 3.1 AODV 與 DSR 的比較	30

第一章 緒論

1.1 無線隨意網路簡介

近幾年來，行動資訊服務一直都是最熱門的話題，行動裝置如行動電話、個人數位助理(personal digital assistant, PDA)、手持式電腦(handheld PC)、網路數位板(webpad)等硬體的功能也都日新月異。這類行動資訊服務環境的理想狀態，是要提供一個無所不在的資訊環境，讓資訊使用者可以在任何時間，任何地方，利用各種有線或無線網路傳輸各種的資訊與資源。而現在，最主要的行動資訊服務，便是行動電話系統。在台灣，從數年前的第一代 AMPS 類比式行動電話到今天已經人手一機的二代 GSM 行動電話，GPRS 行動資訊服務，以至於漸漸普及的三代(3G)行動電話系統。另一方面區域性的藍芽(bluetooth)無線通訊技術也為日常生活增加許多便利性。無線區域網路(wireless LAN)讓我們可以用行動裝置隨時上網。毫無疑問的無線資訊服務為大眾的生活帶來無窮的便利性，可以想見行動資訊在未來必定是所有資訊應用領域的主要趨勢。

行動式隨意網路(mobile ad hoc network, MANET)，簡稱隨意網路(ad hoc network)，是一種特殊的區域網路，近年廣為受到研究界的重視。隨意網路可以隨時隨地由數個兩兩互相在通訊範圍內的行動通訊裝置如 PDA，筆記型電腦構成，而能彼此傳遞資訊。對於許多場合中如災區警急通訊網路，戰區即時通信網路，或是臨時的私人區域通訊會議等，隨意網路都可以扮演很方便的溝通管道。隨意網路的資訊封包在各個節點的傳遞方法，稱作繞送協定(routing protocol)，是隨意網路的基礎，在 ISO/OSI 七層網路架構中屬於網路層(network layer)的通訊協定，如圖 1.1 所示。

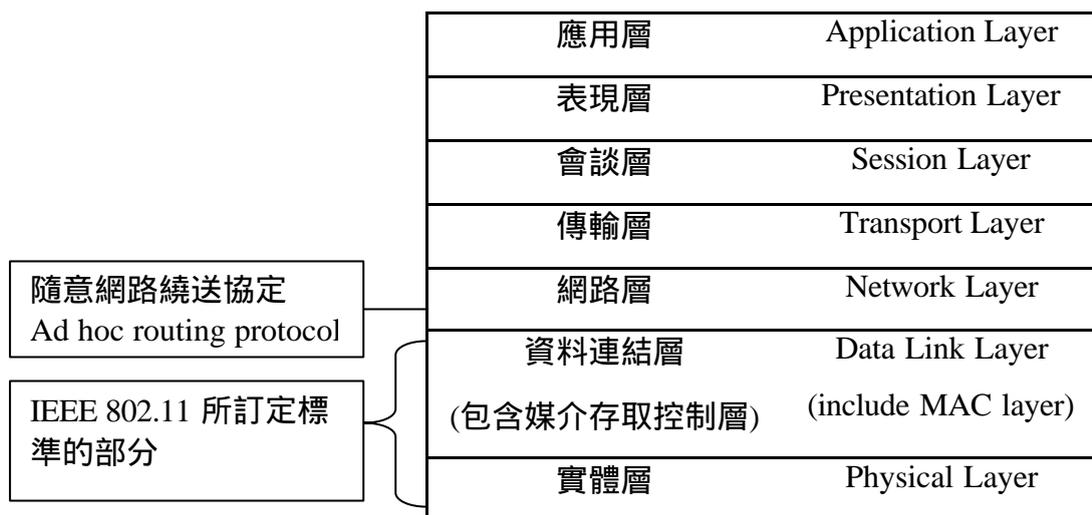


圖 1.1 ISO/OSI 七層網路架構與隨意網路

隨意網路的通訊機制建立在下層的媒體存取控制層(media access control layer, MAC layer)之上。IEEE802.11 所訂定的便是無線區域網路(wireless LAN)媒體存取控制層與實體層的標準。媒體存取控制層為 ISO/OSI 架構之中資料連結層(data link layer)的子層(sub layer)。

一個隨意網路繞送協定 (ad hoc network routing protocol) 能提供網路中某一行動裝置，略稱做節點(node)，可以將封包(packet)順利的傳送到另一個指定的節點。前者稱做來源節點(source node)，後者稱做目標節點(destination node)。此兩節點若在無線訊號的傳送範圍之內可以直接傳輸封包，而若在無線訊號的傳送範圍以外，來源節點經由隨意網路繞送協定，可以將封包交由兩節點之間其他通訊範圍許可之節點幫忙傳遞封包到目標節點。一個隨意網路繞送協定的最主要基本功能便是：提供封包傳送路徑。除了有效的尋找路徑的方法外，因為隨意網路上各節點皆有自由移動的能力，因此常造成傳送路徑的中斷，所以更需要有維護路徑的機制。研究此傳送路徑的建立方法與維護方法，便是隨意網路繞送協定的兩重點。

1.2 隨意網路繞送協定簡介

隨意網路繞送協定依路徑尋找與建立的機制可以分為兩類：主動式(proactive)與被動式(reactive)。

(1) 主動式一般稱做表格驅動式(table-driven)。在這種繞送協定裡，各節點隨時都以適當形式不斷更新並保持整個網路上各節點的最新繞送資訊，更新繞送資訊的動作通常是以週期性的是以氾流(flooding)封包形式進行。氾流的動作是一種廣播的動作，讓一節點所廣播的封包不斷向外繼續廣播出去以致於幾乎可以傳遍網路上所有節點，可以想見這種動作對於網路資源將是大量且必要的負荷。但是在隨意無線網路環境中硬體資源通常不多，網路頻寬也很可貴。因此使用表格驅動式的方法往往造成網路資源與硬體資源的嚴重浪費。因此在今天對於隨意網路的研究大多趨向被動式的方向。

(2) 被動式一般稱為需求導向式(on-demand)。需求導向式繞送協定只在一節點對於另外一節點有傳送需求時才尋找可行路徑，因此平時各行動裝置不需有任何工作，甚至可以進入省電休眠模式以節省硬體資源。但是尋找路徑時將有必要的一段等待時間，而且在路徑中斷時常常重新做一次尋找路徑的動作。

需求導向式的隨意網路繞送協定又有兩種主要的導向，一種是來源繞送(source routing)導向，來源繞送是一種集中管理方式的方法，另一種為分散式(distributed)管理的方法。在來源繞送的方法之下，來源節點完全將會知道並且掌控搜尋到的整條路徑，因此是一種集中管理。而分散式方法類似傳統 Bellman-Ford 的距離向量(distance vector)的方法。各節點保有各自的路徑表格，但是沒有一個節點知道整條路

徑的各節點詳細位址。各節點根據繞送協定與所建立的路徑表格，幫忙傳送所接收到的每個封包。因此是一種為分散式管理的方法。

上述的來源繞送方法與距離向量法各有其優缺點，本論文將試圖尋求一個方法整合這兩種方法的優點，同時加入多路徑的機制。

1.3 研究動機與目的

在一般需求導向式的隨意網路繞送協定中，路徑的尋找都採用單一路徑的方式，並且以氾流的方式進行。無線隨意網路中每個行動裝置都隨時可能移動，造成路徑的中斷。而每次的路徑中斷，都將重新啟動一次氾流，也就是路徑尋找的動作，每次的氾流對於網路狀況都可以說是很大的負擔。因此本論文的動機便在尋求減少氾流發生頻率的方法。我們將以多路徑的方式，讓使用中路徑中斷時，能夠馬上找到預先儲存的備份路徑，同時也提供備份路徑的檢查。只有在所有備份路徑都以中斷時，才需要重新尋找路徑，而不需要每次路徑中斷時都需要啟動氾流。另外多路徑的路徑搜尋機制可以讓我們的通訊協定在搜尋路徑的時候不會找到存在單向連結(asymmetric link)的路徑。

本論文中的多路徑概念，就是要能在來源節點儲存多條尋找到的路徑，一次挑選一條最快的路徑來傳輸封包。而在來源節點儲存多條路徑將需要仰賴來源繞送方法的路徑搜尋(path discovery)機制，因為這種機制可以讓來源點知道整條路徑的完整資訊，使我們可以簡單的達到建立多路徑的目的。但是考慮到來源繞送方法會增加所有封包的標頭大小，因此我們再引用距離向量方法的資料封包傳送方式以達到減少標頭大小的目的，而不需要花費多餘的分析與傳輸標頭時間。

本論文的繞送方法結合多路徑概念，以來源繞送概念進行路徑尋找，並以距離向量繞送概念進行資料封包傳送。而能達到：

- (1)與一般單路徑方法比較，節省重建路徑對網路增加的負擔。
- (2)與來源繞送的方法比較，減少資料封包大小。
- (3)與距離向量的方法比較，能夠使用在有單向連結狀況的網路。
- (4)使用備份路徑時提供檢查的機制。

本論文第二章為背景知識及文獻探討，介紹無線網路的發展與隨意網路，並且詳細敘述隨意網路的通訊協定與相關研究。另外敘述隨意網路的通訊協定設計上可能遭遇的一些問題。第三章多路徑距離向量隨意網路繞送方法中詳細敘述本論文所提出的繞送方法敘述、模擬實驗的結果與討論。第四章為結論。

第二章 文獻探討

2.1 無線區域網路

無線區域網路(WLAN, wireless local area network)的基本觀念為一個區域內的無線網路。此網路的作用為達到彼此的資訊能夠互相交流。如一個辦公室或實驗室內的小區域無線網路。

2.1.1 無線區域網路技術簡介

事實上無線區域網路通訊的技術從 90 年代初期就已經開始發展，當時已有使用 500MHz、2.4GHz、5GHz 頻帶的無線區域網路裝置與技術出現，但是由於價格、性能、通用性、缺乏標準等種種原因，沒有得到廣泛應用與發展。直到 1997 年第一個無線區域網路標準 IEEE802.11 正式頒布實施，為實體層和媒介存取控制層制定了統一的標準，有力地推動無線區域網路技術的快速發展。由於 IEEE802.11 的最高頻寬只有 2Mbps，1999 年更進一步提出 IEEE 802.11 的延伸規格：IEEE802.11a 與 IEEE 802.11b。其中 IEEE802.11a 使用 5GHz 頻帶，最高頻寬可達 54Mbps，但是礙於 5GHz 頻帶為受管制的頻帶，其使用權尚有待政府的開放。而 IEEE802.11b 使用一般提供作學術、企業、醫學研究用免費的 2.4GHz 頻帶，最高頻寬 11Mbps。現今無線區域網路的研究發展與業界實際應用大多建構在 IEEE802.11b 所訂定的標準之上。IEEE802.11b 提供了一個底層的通訊協定使得無論架設主從式的網路或者是隨意網路，都可以直接使用 IEEE802.11b 所提供的服務與資源來達成需要的工作。

無線網路簡單的說就是一個能讓無線裝置能夠存取網路上的資源的環境。無線網路依網路架構方式來看，可分為兩種：一種需要有

線網路作為背景架構，稱作主從式網路(infrastructure network)；另一種純粹由一群行動通訊裝置自行架構而成，而可以互相交換資訊的網路，稱作隨意網路(ad hoc network)。其實體上最大的差別在於存取點(AP, access point)或基地台(BS, base station)的有無。這兩種無線網路將在下面的小節做描述。

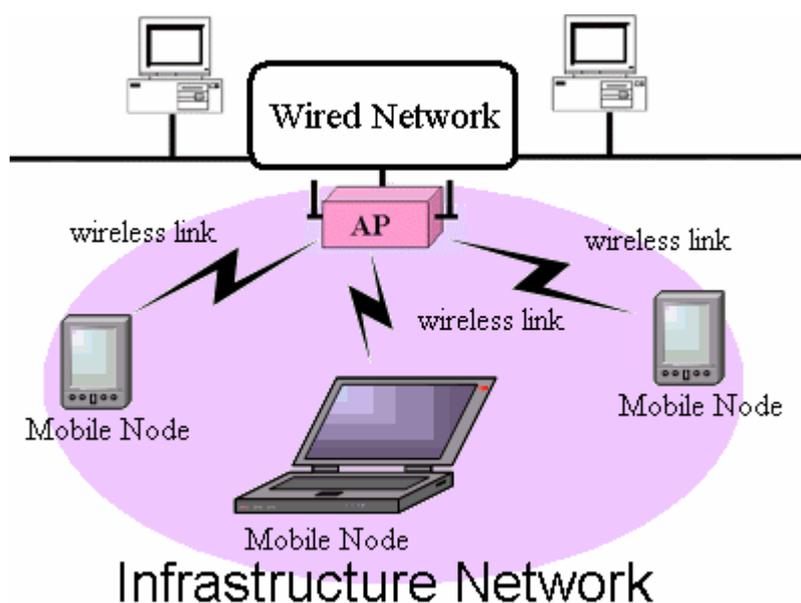


圖 2.1 無線主從式網路

2.1.2 主從式網路

主從式網路需要存取點或基地台作為通訊的媒介，各無線裝置並不直接互相通訊，而只與基地台進行資訊交換。多個基地台間更可能以有線網路相互連結，或是直接將基地台連接到廣域網路上，而是藉由存取點或基地台透過有線網路資訊交換資訊。其優點是易於管理，且通訊較穩定，並能方便的取得有線網路上豐富的資訊。但是架設背景架構的成本高，且根本上限制了網路的機動性。這種網路的應用有以基地台作為背景架構的行動電話系統，以及架設存取點使得無線裝置能夠存取網際網路(internet)資訊的無線乙太網路(wireless

Ethernet)。圖 2.1 為主從式網路的示意圖。

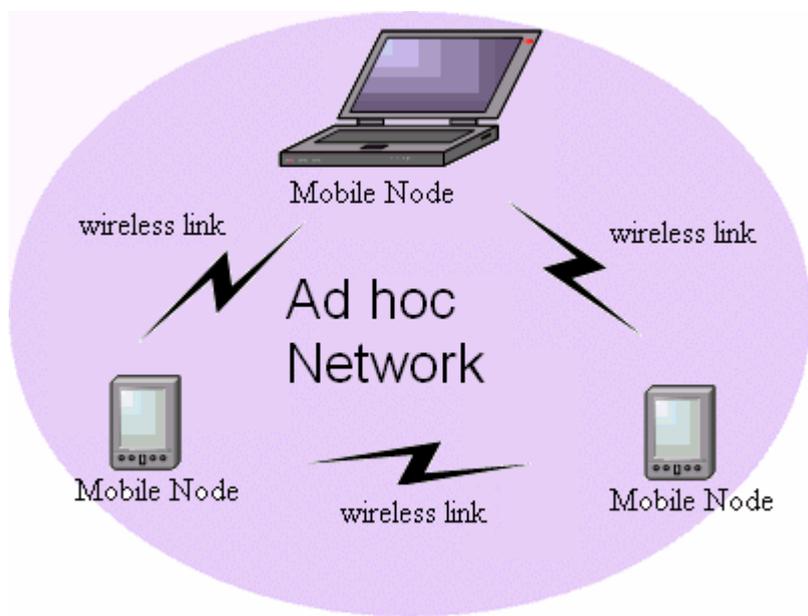


圖 2.2 無線隨意網路

2.1.3 隨意網路

隨意網路的架構裡不需要存取點或基地台的存在，因此一群行動裝置節點(node)可在任何地方隨意的架構成一個區域網路，彼此交換資訊。但是受限於各節點間的通訊範圍有限，因此若兩節點的距離超出通訊範圍，便可經由兩節點間的其他節點幫忙將資訊傳達。圖 2.2 為無線隨意網路的示意圖。

對於隨意網路實際上所可能面對的問題，近年來在國內外已有許多相關的研究[1-7]。這些問題列舉如下：

- (1) 頻帶的使用權(spectrum allocation and purchase)：無線訊號的頻帶，如現在最流通的通訊標準 IEEE802.11b 使用 2.4GHz 頻帶，但是這個頻帶有可能與一些家電的電波互相干擾。而其他標準如 IEEE802.11a 使用的 5GHz 頻帶，其使用權是受到國家嚴格管制的。尚須等待政府的評估與開放。

- (2) 媒介存取(media access): Ad hoc network 中的每個裝置都可能需要短時間內傳送或接收許多資料，因此媒介存取機制必須提供避免訊號碰撞而遺失的機制。當多個行動裝置同時互相傳送資料時，將會有許多的碰撞發生。IEEE802.11b 所提供的碰撞避免機制 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 使用在隨意網路上的效能尚需評估。
- (3) 繞送方法(routing): 隨意網路上並沒有一個中央管理者能夠有效提供並監控正確的繞送路徑，因此資料封包在隨意網路上如何繞送是一個很重要的課題，這也是本論文的軸心所在。
- (4) 群播機制(multicasting): 群播是一種一點發送，並且指定特定的多點接收的機制。應用在如視訊會議等場合。群播概念如何有效的在隨意網路中應用，也是一個有趣的問題。
- (5) 能源使用效率(energy efficiency): 行動裝置多使用充電電池，若一裝置不斷進行需要傳送封包、維護表格等動作，可能很快就不知不覺耗盡電量。因此行動裝置的設計上多配有省電模式的功能，隨意網路的繞送協定設計要考慮配合省電功能。
- (6) TCP 效能 (TCP performance): 將在有線網路上所普遍使用的 TCP 通訊協定，使用於高度移動性的隨意網路上的效能仍需評估。
- (7) 服務提供與存取的方法(service location, provision, access): 當一台行動裝置進入一個隨意網路時，如何能夠得知有哪些資源可以使用，或是某個節點如何告訴其他節點它所提供的服務，這些都是需要研究的問題。本論文的通訊協定設計尚未

考慮服務提供機制的問題。

- (8) 硬體資源使用(hardware resource usage)：硬體能力包含記憶體與處理器的資源等。因為一般的行動裝置設計上多以輕薄短小為訴求，因此由於體積與電力等因素，在處理計算的動作上必須要簡單、有效。而在記憶體使用上要能以最小的記憶體消耗量達到最佳的效果。
- (9) 安全性、隱私權問題(security and privacy)：隨意網路是一個全新型態的網路，網路安全的考量勢必與傳統網路有所不同。例如因為行動裝置的訊號發送都是一種廣播，所以無線訊號與資料可能被任何在其通訊範圍之內的節點所接收的問題。

2.1.4 隨意網路的應用

隨意網路具有廣泛的應用空間，特別是在某些群組性及具有高移動性的行動群體使用者。如在戰場的通訊、災害現場、警察人員間的聯繫、保全系統、醫療資訊會診、企業內部的資訊交換等應用等。以下敘述一些隨意網路的可應用方向：

- (1) 在偏遠戰場的中遠距離通訊上通常沒有方便可用的網路架構，因此往往仰賴一般類比式的無線電來進行簡單的語音交換，這種通訊方式非常沒有安全性。而無線隨意網路這種無須基礎建設的數位式網路架構非常適合使用在戰場上的資訊交換。未來甚至可以擴展到即時影像聲音交換的應用。對於戰術戰略上將有很大的運用價值。
- (2) 災害往往會造成一般電力的中斷，甚至連電話管線也遭到中斷。因此造成緊急搜救上的不便。此時無須仰賴固定式電力

供應的行動裝置便可以使用在搜救行動上，例如搜救人員之間的聯絡，甚至是受災民眾與搜救人員之間的聯繫，隨意網路都可以扮演緊急的溝通管道

- (3) 警察人員之間往往也是使用傳統的類比式無線電收發交換資訊，因此容易有遭到竊聽的危險。若是逮捕行動、偵查行動時警員間的對話遭到竊聽，後果將不堪設想。此時若使用數位式的隨意網路進行資訊交換將會是一個不錯的選擇。
- (4) 傳統保全系統在保全裝置偵測到異常狀況時，是以電話線路進行資訊傳輸，而這種依賴有線設備的保全系統將可能輕易被破壞。而若以無線網路進行資訊傳輸，可以增加保全系統的設計上的彈性。
- (5) 在醫院內的資訊交換上，隨意網路可以使用在如不同院室間的緊急會診。另外在院內若使用功率大的行動電話通訊，可能造成干擾醫療儀器的嚴重後果。此時若使用低功率的無線裝置進行資訊即時直接交換，當有無線通訊的緊急需求時可以提供極佳的應用環境。
- (6) 在企業內部為了達到最快速簡便的資訊交換，常常會使用無線網路來提供資訊環境。此時使用不需基礎建設的隨意網路將可以節省無線網路建設的成本。

綜合以上所述，隨意網路不但具有非常高的應用價值，並且估計將是未來無線網路研究裡重要的一環。隨著底層通訊協定與通訊裝置發展漸趨成熟，隨意網路通訊協定的品質受到肯定之後，隨意網路的也將漸漸被廣泛的接受與應用。

2.2 隨意網路通訊協定

由於隨意網路中的基本要求便是資訊能夠經由網路中的各節點幫忙傳達，因此傳達路徑如何建立便是隨意網路通訊協定(protocol)的一個重點。近年來有許多的隨意網路通訊協定[8]被提出。基本的隨意網路通訊協定分為兩個大類：(1)表格驅動式(table-driven)[9-15]以及(2)需求導向式(on-demand)通訊協定[16-26]。表 2.1 為此二者的比較。

表 2.1 表格驅動式以及需求導向式通訊協定的比較

隨意網路通訊協定	表格驅動式	需求導向式
主要優點	隨時都有最新可用路徑以供使用	無須週期性廣播，節省網路資源
主要缺點	使用週期性廣播維護最新繞送表格，將持續大量耗用網路資源與硬體資源	路徑搜尋與維護都比表格驅動式方法花費時間
代表	DSDV	AODV、DSR

2.2.1 表格驅動式隨意網路

表格驅動式隨意網路，顧名思義為各節點都儲存一個對於網路中各個其他節點之繞送資訊的表格，以此表格驅動封包送出的動作。表格驅動式隨意網路中各節點都會每隔一小段時間發出更新訊息，以保證表格時常進行更新，隨時有通訊需求都能正確的將資訊送達。此種通訊協定的優點在於尋找封包繞送路徑的反應時間快，網路拓撲有改變時也能馬上更新資訊，然而因為表格需要經常的更新最新資訊，因此各節點需要週期性的廣播自己的資訊，此廣播動作將以汜流方式傳遍網路讓每個節點知道，以提供更新表格所需資訊，此動作將耗用大量網路資源。另外對於每個節點必須隨時在記憶體中儲存龐大表格，

因此在規模較為龐大的隨意網路中將更耗用大量記憶體資源。

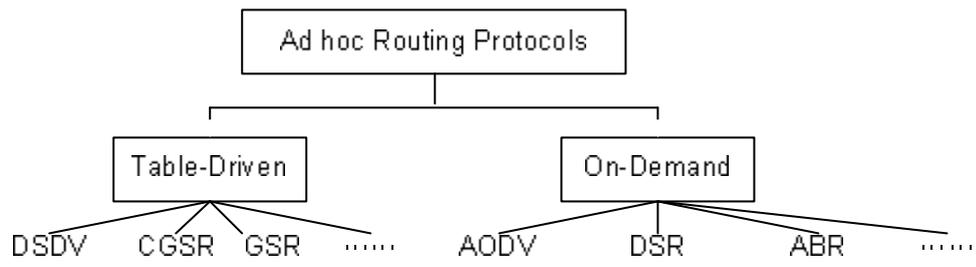
表格驅動式隨意網路是由有線網路的繞送協定中改良而來，但是有線網路與無線網路有幾個重要的差別：有線網路的頻寬容易增加，但是無線網路的頻寬跟隨著底層協定而有限制；另外有線網路的用戶多為固定式電腦，有著強大的硬體資源，包含快速運算速度與龐大記憶體容量，且不易有電源耗盡的問題。而無線網路的行動裝置在這些硬體資源上往往不足。舉例來說，一般有線區域網路電腦的硬體資源有：運算速度以 GHz 為單位的處理器，記憶體有容量可達 1Gbytes 以上的動態記憶體(DRAM)與數十 Gbytes 的硬碟，網路資源有 100Mbps 的區域網路，並且不會有電源不足的問題。但無線行動裝置如攜帶簡便的 PDA，其硬體資源為 100MHz 左右的處理器，數十 Mbytes 左右的快閃記憶體(flash RAM)，網路資源上主流為最高只有 11Mbps 的 IEEE802.11b 規格無線網路，而且待機狀態下電池只能供應數小時的電力。因此以目前的無線裝置硬體資源與網路資源看來，無線隨意網路並不適合使用表格驅動式的通訊協定。

2.2.2 需求導向繞送協定

需求導向繞送協定中，當一個來源節點想傳送資料給一個目標節點時才發出尋找路徑的請求，當找到路徑後資料才會開始被傳送。平時沒有工作的節點不需要維護任何表格。相較於表格驅動式演算法的週期性汨流廣播大量耗用網路資源，需求導向的演算法只有在尋找路徑時需要啟用汨流，因此對於頻寬有限的無線網路環境較為合適。

2.3 隨意網路繞送協定相關研究

圖 2.3 為目前隨意網路繞送協定研究的示意圖。C. E. Perkins 等人所提出的 DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector Routing) [9]



S. Murthy 等人所提出的 CGSR (Clusterhead Gateway Switch Routing)[10]也是一種表格驅動式演算法，CGSR 基本繞送機制使用 DSDV 的方法，但與 DSDV 在網路架構概念上有所不同，相較於 DSDV 的平面式(flat)網路，CGSR 以階層式(hierarchical)的概念將網路分割成數個群組(Cluster)，每一群組的成員為一個群組頭(clusterhead)以及在群組頭之通訊範圍之內的所有群組成員(cluster member)。兩個相重疊群組之間共用的一個節點稱作閘道節點(gateway)，如圖 2.5。每個節點所傳的封包都會先傳給群組頭，由群組頭經由閘道節點往目標傳送。CGSR 提供一種特殊的網路架構概念，可以提供做一些管理上的研究。但是在群組頭的選擇上，CGSR 以分散式的方法，週期性或者在網路拓撲改變時進行群組頭選擇演算法，這必定會造成一種額外的網路資源浪費。

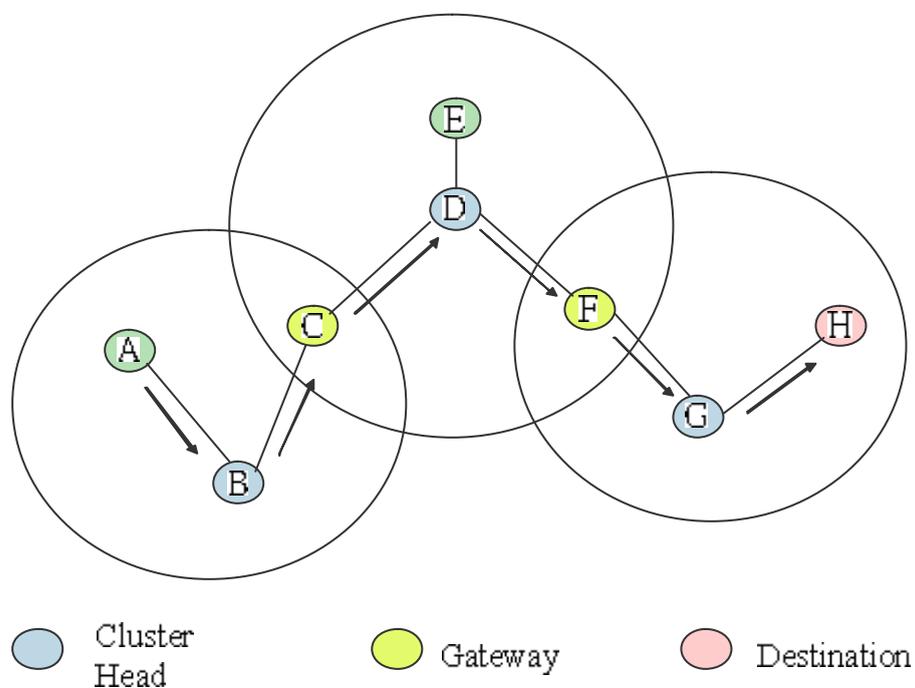
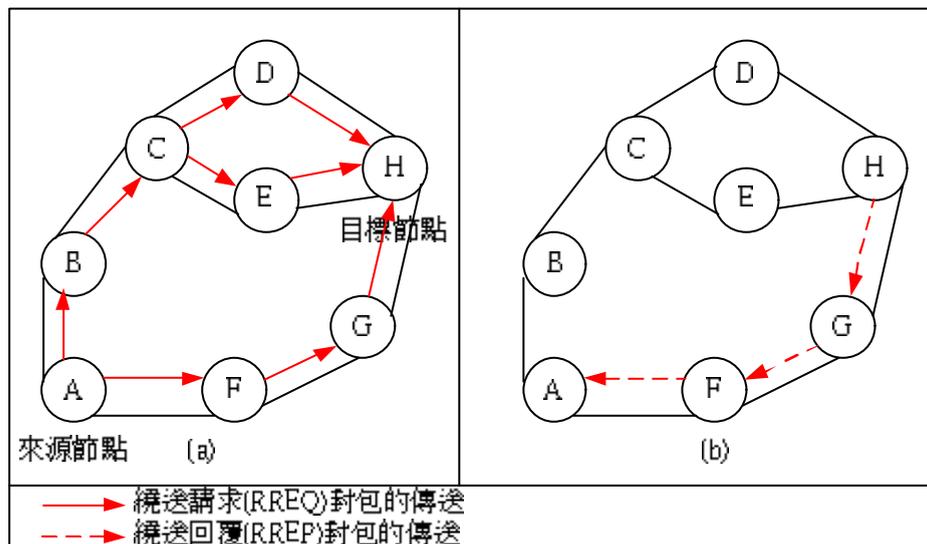


圖 2.5 CGSR 的示意圖

T. W. Chen 等人提出的 GSR (Global State Routing) [13] 也是一種表格驅動式演算法。與 DSDV 的距離向量法相對的，GSR 屬於連結狀態(link-state)法。這兩種方法都是有線網路中行之有年的分散式網路繞送方法。GSR 的目標是網路中每個節點都知道整個網路的繞送資訊。每個節點週期性的發布訊號給其鄰居。周圍連結狀態有變時會進行表格更新，並且兩兩相鄰節點間會週期性的交換最新的網路更新狀態。GSR 中每個節點可以隨時知道整個網路的狀態，因此可以簡單的達到最短路徑搜尋。但是 GSR 中每個節點儲存了多個表格，對於行動節點的硬體資源耗費較大。並且週期性的表格更新的雖然對於網路資源是一種很大的負荷。在變動性大的隨意網路中此種情形將更為嚴重。G. Pei 等人所提出的 FSR (Fisheye State Routing) [14] 則是一個改良自 GSR 的方法，試圖減低連結狀態法對於網路的負載。



C. E. Perkins 等人另外提出了 AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing) [16]。AODV 是改良自 DSDV 的需求導向式演算法，其最大的不同在於傳輸中路徑以外的節點完全不需維護任何

繞送表格。AODV 分為兩個部分：路徑搜尋(path discovery)與繞送維護(route maintenance)。當一個來源節點希望對一個目標節點發送封包時，AODV 會用路徑搜尋來建立一條可行路徑。圖 2.6 為 AODV 一次路徑搜尋的示意圖，圖 2.6(a)為繞送請求步驟中的封包傳送與處理過程，封包經過的所有節點都會被設下返回路徑，目標節點會對於最快接得的一個繞送請求封包進行繞送回覆。圖 2.6(b)為繞送回覆步驟的封包傳送與處理過程，繞送回覆封包順著先前所設下的返回路徑傳回，並且同時在每個節點設下順向路徑，以提供資料封包傳送的方向。繞送維護則發生在當此路徑上的一節點無法傳送資料給後一個節點時，它會回傳一個連結失敗通知(link failure notification)給來源節點，來源節點再啟動另一次的路徑搜尋。AODV 需要在完全雙向連結的網路中才能使用，否則會有路徑搜尋失敗的情況。而且在路徑搜尋時 AODV 的繞送搜尋封包在每一個節點設下返回路徑，卻只有其中一條會是繞送回覆所決定的路徑。路徑以外的節點要等待一段時間才會發現本身並非繞送路徑的節點而刪除返回路徑。這種方式並不是很理想的作法。

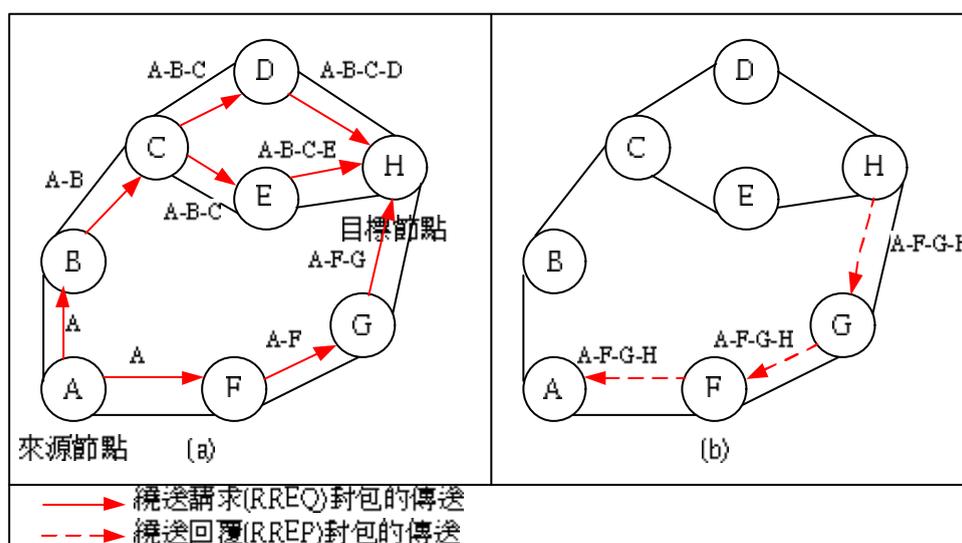


圖 2.7 DSR 的路徑搜尋示意圖，(a) 繞送請求步驟 (b)繞送回覆步驟

D. B. Johnson的 DSR(Dynamic Source Routing) [18]是以來源繞送的方法進行封包繞送的工作。DSR 與 AODV 的相似分為兩個部分：路徑搜尋與繞送維護，它們的作用動機與封包汜流方式也都大致相同，如圖 2.7 所示，圖 2.7(a)為繞送請求封包的傳送與處理示意圖，各個廣播出去的封包會紀錄所經過的每個節點位址，也就是路徑的完整資訊。目標節點對於適當的路徑進行繞送回覆動作如而圖 2.7(b)，繞送回覆封包順著其中紀錄的路徑傳回來源節點。因為 DSR 的繞送請求封包中帶有當次繞送請求的識別碼，以及曾經經過的各個節點位址，這些資訊可以很方便的用來避免繞送迴圈，以及許多其他的路徑管理動作，包含本論文所提出的多路徑方法。DSR 的資料封包中也都帶有整條路徑的各個節點位址，封包只需順著這些節點傳送。DSR 更提出使用一種繞送快取區(route cache)的方式試圖加速繞送請求。每個節點會在接收到任何繞送請求相關封包時將其中的路徑資訊紀錄到繞送快取區中。但是繞送快取區事實上增加了各個節點所要維護的表格，消耗記憶體資源，又不能監控保證快取路徑的時效。對於需求導向繞送協定來說可以說是一種多餘的做法。另外 DSR 為一種來源繞送方法，因此資料封包的標頭與分散式繞送方法比較起來往往會被加大許多。

C. K. Toh提出的 Associativity-Based Routing (ABR) [21]與 AODV 或 DSR 有很不一樣的想法，它定義了一個新的參數，稱作關聯穩定度(degree of association stability)。在 ABR 中，路徑將根據節點的關聯穩定度來作選擇。每個節點會維護一個特殊的關聯表格(associativity table)，並且會週期性的廣播發出一個信號(beacon)讓周圍的節點知道它的存在，接到這個信號的節點會更新它們的關聯表格，可以想見如果在一段時間中累積接到越多從同一個節點發出的信號，代表著那個

節點一直在可通訊範圍中，連結狀態穩定，便可以假設此節點為靜止不動的節點。ABR 以這種概念希望能夠找到能夠長久維持的繞送路徑(longer-lived routes)，但實際狀況上這個方法只能找到當時比較穩定的路徑，但隨意網路的每個節點停止一段時間又突然移動是一定會發生的事，關聯穩定度的方法並不一定比一般方法保證有更好的效果。維護關聯表格與週期性的發送信號也比一般的需求導向繞送方法多出一些硬體與網路資源的耗費。另外 ABR 在路徑維護上提供了能夠從路徑中斷處尋找新的路徑的方法，試圖縮短路徑重建所需花費。但因為來源節點並不知道路徑有改變，所以在一些管理程序上，如路徑刪除時，這種方法產生了新的問題。

另外還有一些特別的繞送方法 [27,28] 基於耗電與能源規劃的考量，將所選擇的路徑上各節點的電量使用狀況列入選擇路徑的標準當中。讓繞送協定不會長久使用同一條繞送路徑，而導致此路徑節點的能源快速消耗。這種特殊的考量可以說是針對無線裝置的特性而設計。

除了上述基本的繞送協定演算法外，有一些研究 [29,30] 採用很不同的觀點。這些方法建立在 GPS(Global Positioning System) 全球衛星定位系統裝置的支援之下。GPS 能夠讓各個行動裝置得知自己在地表上的絕對位置。這些方法試圖使用這個資訊來幫助進行路徑搜尋、建立等工作。藉著地理資訊的提供可以讓網路的規劃更簡單可靠且更有彈性。但是這種方法必須要求每個節點附有 GPS 裝置，另外 GPS 的訊號容易因為建築物造成干擾。對於純粹以無線行動裝置構成的網路之中，這種仰賴其他裝備的方法並不是很合適的一種想法。

上述方法大多屬單路徑的繞送方法，而許多研究 [31-35] 也在這些方法裡頭加入多路徑機制。包括多路徑結合 AODV [31]、多路徑結合

DSR[32]等。多路徑的目的大致可以分為兩種，一種是尋求備份路徑，另一種為分散頻寬。分散頻寬的概念其效果尚須研究，因為其管理不容易，對於整體傳輸效能的提升不能保證。在本論文中的多路徑距離向量繞送方法目的在於尋求備份路徑來減少封包氾流所發生的次數，以減少網路負載，並且能夠同時結合來源繞送管理與距離向量繞送封包傳輸的優點，同時屏除它們的一些缺點，如浪費節點資源與增加封包大小等。

2.4 背景知識

本節對於需求導向式隨意網路繞送協定設計上的一些背景知識，與所需要考慮一些問題列舉說明如下。

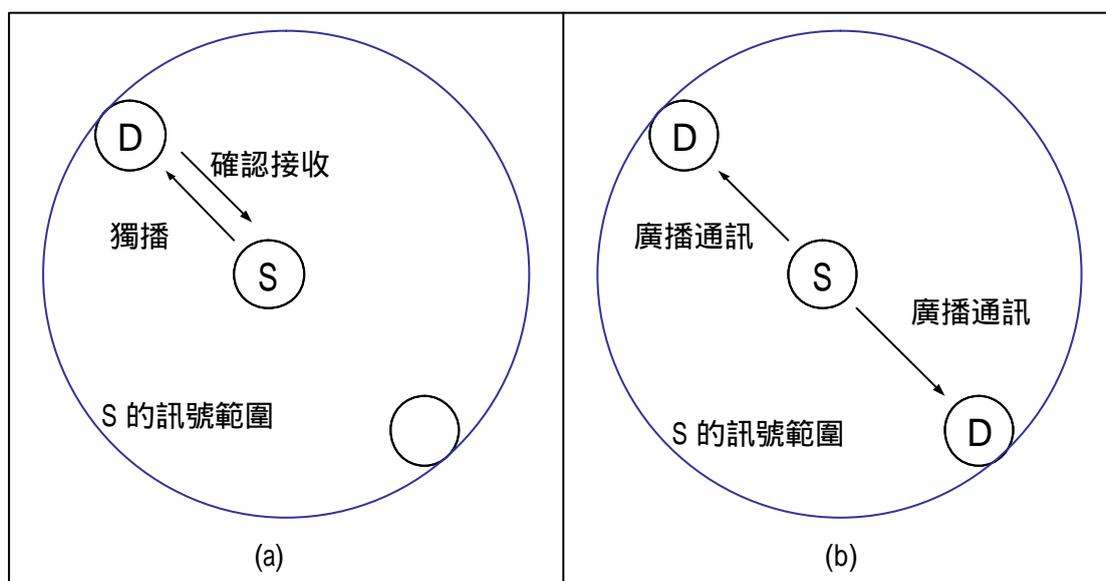


圖 2.8 獨播與廣播，(a)獨播的動作 (b)廣播的動作

2.4.1 獨播(unicast)、廣播(broadcast)與氾流(flooding)

由於無線訊號的基本通訊模式其實都是以廣播方式進行，因為無線電波(radio)是沒有方向性的發送。如同收音機所接聽到廣播電臺的

訊號一樣，發出訊號並不知道會被誰收到，這可以說是一種單向的通訊，並不能用來交換訊息或建立完善的網路。因此需要特殊的網路通訊協定來建立獨播的機制，如 IEEE802.11 所訂立的標準。圖 2.8 為獨播與廣播的示意圖，圖 2.8(a)中的獨播為雙向傳送的動作，S 指定獨播資訊給 D，並且 D 會回傳確認接收的訊息，若其他節點接收到將會忽略此信號。而圖 2.8(b)的廣播為單向傳送的動作，S 對其通訊範圍內之所有節點發送訊息，並且不需要知道將會有那些節點接收到，接到訊息的節點也不會迴傳確認接收的訊息。有了獨播的通訊方式，才能讓無線網路中的任兩個裝置如同有線網路一樣建立雙向通訊。簡單的來說，

- (1) 獨播是一個裝置指定將資訊傳送給另一個裝置，並且可以確認該裝置有接收到。
- (2) 廣播是一個裝置將資訊往外發送，所有在他訊號發送範圍內的裝置都會接收到，但此裝置本身並不知道哪幾個裝置接收到了他的資訊。

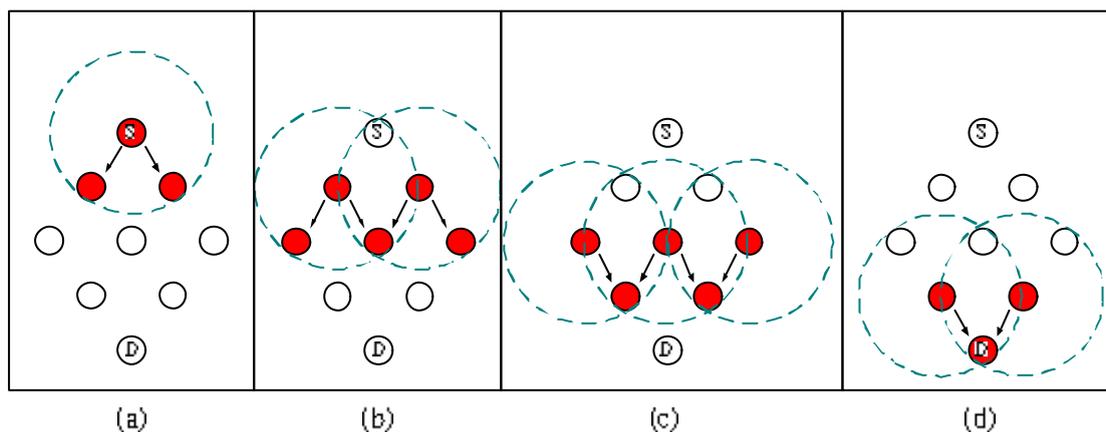


圖 2.9 氾流的示意圖

封包的氾流建立在廣播的機制上面，氾流的意思是一種讓一個封

包流汜傳遍整個網路的機制，如圖 2.9 所示，圖 2.9(a)中來源節點 S 廣播發出的汜流封包會不斷繼續向外一步步廣播出去，經過圖 2.9(b)與圖 2.9(c)的汜流後，封包傳遍網路上的所有節點直到圖 2.9(d)時找到了目標節點 D。隨意網路的需求導向繞送協定必定需要使用廣播的方式來進行路徑搜尋，因為來源節點並不知道網路全貌，只能讓發出的繞送搜尋封包傳遍整個網路來尋找可以傳到目標節點的路徑。而使封包傳遍網路的方法就是來源節點將繞送搜尋封包廣播出去，而在其通訊範圍內的節點接到後在廣播出去，如此一傳十，十傳百，以確保封包能夠盡量經過所有可能路徑，找到目標節點。封包的汜流對於網路資源的消耗可想而知，因此本論文使用多路徑的方法試圖減少封包汜流的頻率。

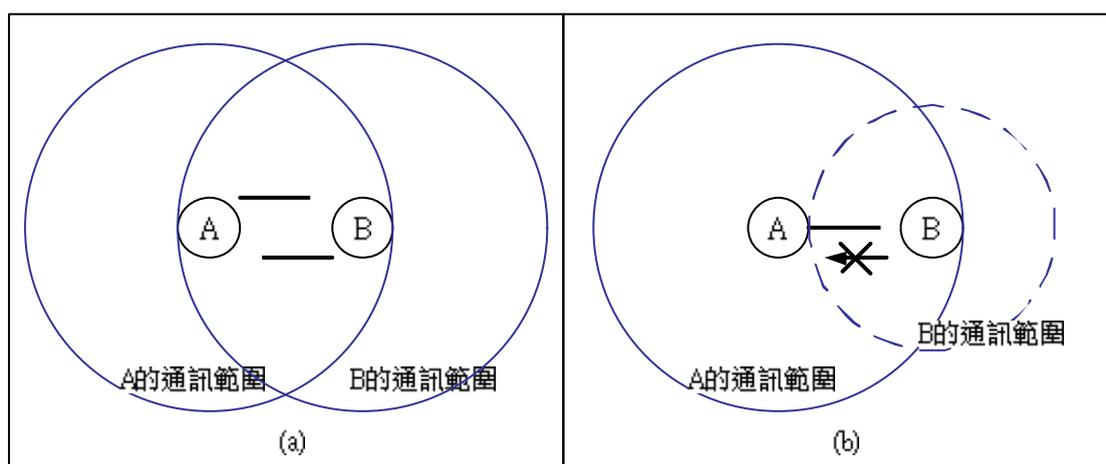
2.4.2 分散式繞送法與來源繞送法

網路資料封包的傳輸機制可以區分為分散式 (distributed) 與來源繞送 (source routing) 式兩種。

- (1) 分散式封包繞送的方式中，每個節點只需要負責把接到的封包往路徑上的下一個節點傳，這倚靠事先設定好的路徑。如 AODV 中繞送搜尋封包與繞送回覆封包各會在路徑上的每個節點上的簡單繞送表格中相對於目標節點位址設下返回路徑與順向路徑。之後每個資料封包只需要看表格中的目標位址來傳給順向路徑上的下一個節點即可。這種方法可以減少封包標頭 (header) 所需大小，降低分析封包所需時間與簡化傳輸流程。但因為各個節點上各有設定一些資訊，在維護上就比較麻煩，例如可能需要有路徑刪除的動作來刪除無用的路徑在各節點所設下的資訊。

(2) 來源繞送的封包繞送簡單來說就是依靠來源節點決定整條路徑該經過哪些節點。來源節點掌握路徑的決定權，而路徑上的節點不需要保存任何資訊。來源繞送方法中來源節點會在每個資料封包的標頭加入整條路徑所需經過的節點位址，因此接到封包的節點可以分析這一串位址來得知下一個應該傳送的節點。這種方法在管理上比較方便，因為只有來源節點需要負責繞送表格的維護，但也因為這一串位址使得每個封包都被加大不少，與分散式的繞送法比較起來增加傳輸時間與封包處理時間。

因為來源繞送的方法方便管理，所以本論文採用此方法，能夠方便的應用多路徑的概念讓來源節點保有多條路徑而選一條最快的來使用。但是考慮到來源繞送的封包會加大，本論文的方法中更結合分散式繞送，用一個路徑設定(route setup)的封包將路徑上的節點設定成分散式傳送的模式，使得之後的資料封包可以不需要帶有路徑節點位址的資訊在裡面，而能減少封包的大小與處理時間。



2.4.3 單向連結與雙向連結

理想的網路結構中，每條連結都應該是雙向連結，如圖 2.10(a) 所示，A 節點與 B 節點的通訊範圍一樣時，一般情況下 A、B 間將可以有正常的雙向連結。這樣每個節點之間才能夠有雙向溝通以交換資訊，當某節點離開另一節點的通訊範圍時，另一節點才會發現異常。但無線隨意網路裡有時候會出現單向連結，如圖 2.10(b) 所示，兩個行動裝置 A、B 擁有不同的發收功率時，A 節點的通訊範圍大於 B 節點的通訊範圍時，可能會有 A 節點的訊號傳得到 B 而 B 節點的訊號卻無法傳到 A 的情形。這種情形將會造成通訊協定設計上許多的不便。例如：

- (1) 傳輸中路徑上的某一節點無法知道下一個節點是否有接到它傳的封包。因為它的封包單向傳給下一個節點，卻無法收到下一個節點所傳來的確認接收(acknowledge)的訊息。
- (2) 路徑中斷時，上游節點若有單向連結，將會使得繞送錯誤的封包無法沿著反向路徑傳回來源節點。

因此，隨意網路通訊協定所尋找到的路徑中，是絕對不該被允許有單向連結的存在。

在 AODV 中聲明只支援雙向連結的網路，因為在它的路徑搜尋過程中，若最短路徑上有單向連結的話，將會造成繞送回覆封包無法順著此條路徑返回來源節點。因此 AODV 的路徑搜尋機制有它天生的缺點。雖然 AODV 中提出一個使用”hello”訊息來確認網路的雙向連結這種方法，但週期性的 hello 訊息卻也為網路頻寬增加了額外的負擔。而 DSR 雖然支援單向連結的繞送回覆，但實際上無論何種通訊協定，其傳輸路徑都必須是雙向連結的，否則會造成許多問題。

本論文所提出的多路徑方法可以簡單的避免尋找到單向連結的

問題。因為目標節點會對於許多條路徑發出繞送回覆的封包，繞送回覆封包回沿著路徑傳回，若此路徑上有單向連結的狀況，則封包會自動被濾除，而無法傳回來源節點。因此來源節點的多路徑表格自然不會包括了有單向連結的路徑。

2.4.4 繞送封包與資料封包

網路上的兩個節點間，由一個節點發起路徑搜尋，一直到資料傳輸完畢。這一段流程通常稱作一次的會談(session)。一次的會談之間可能傳輸許多的封包，這些封包可以分為兩大類：繞送封包(routing packet)與資料封包(data packet)。

- (1) 繞送封包：其大小通常很小，如本論文提出的方法中，繞送封包包含：繞送請求封包、繞送回覆封包、繞送設定封包、繞送設定回覆封包、以及繞送錯誤封包。這些封包的目的都只在於路徑的搜尋或維護時所需資訊，因此通常不需要帶有龐大資料在其中，內容通常是封包標頭的一些簡單的欄位。靠著各個節點的繞送協定來達到路徑搜尋、維護的目的。另外，以來源繞送(source routing)方式產生的繞送封包，因為封包中常常會帶有路徑節點列表，因此相較於分散式繞送的繞送封包會更大，並且大小可變化。本論文提出的方法雖然路徑請求與設定上使用來源繞送的方法，但因為繞送封包在整個會談中通常只佔一小部分的交通流量，因此其大小將不會對於網路造成太大影響。
- (2) 資料封包：資料封包帶有來源節點所要傳給目標節點的資訊內容，因此與繞送封包比較起來體積往往相當大，通常有一個上限，例如每個資料封包的大小最多可能為 128Kbytes。

同時在一次的會談中通常會有很多的資料封包數量。另外若以來源繞送方式如 DSR 來進行資料封包的傳送，將會在每個資料封包的標頭加入整條路徑的各節點位址，當路徑長度較長時這將是一個龐大的壓力。同時資料封包的數量往往很多，將每個封包都加大將會對網路資源造成不小的壓力。因此在本論為所提出的方法當中，資料封包的傳送上試圖採取分散式的距離向量(distance vector)方法，以減輕網路負擔，增加效能。

2.4.5 節點位址的格式

一般來說應用在隨意網路節點的位址格式可以用許多方式來實做，如 IPX, IPv4, IPv6, 動態 IP 等...在本文實作中將不探討各種位址格式的實作比較，而使用最常用的 IPv4 格式。也就是說一個節點位址佔有 4 bytes。若使用來源繞送的方法，對於一個含有 10 個節點的路徑，將會在每個資料封包的標頭加上 40 bytes 的繞送路徑。

我們發現若是以上述的一條 10 個節點的路徑來傳輸，在 AODV 的方法中，資料封包的標頭可能只需要來源與目標節點的位址，因此每個標頭只占 8 bytes 的大小；而 DSR 的資料封包標頭卻佔了 48 bytes 的大小。對於各個節點分析標頭所花的時間上將會造成不小的差異。這也是我們想要使用距離向量繞送法傳送資料封包的原因。

2.4.6 路徑數量的控制

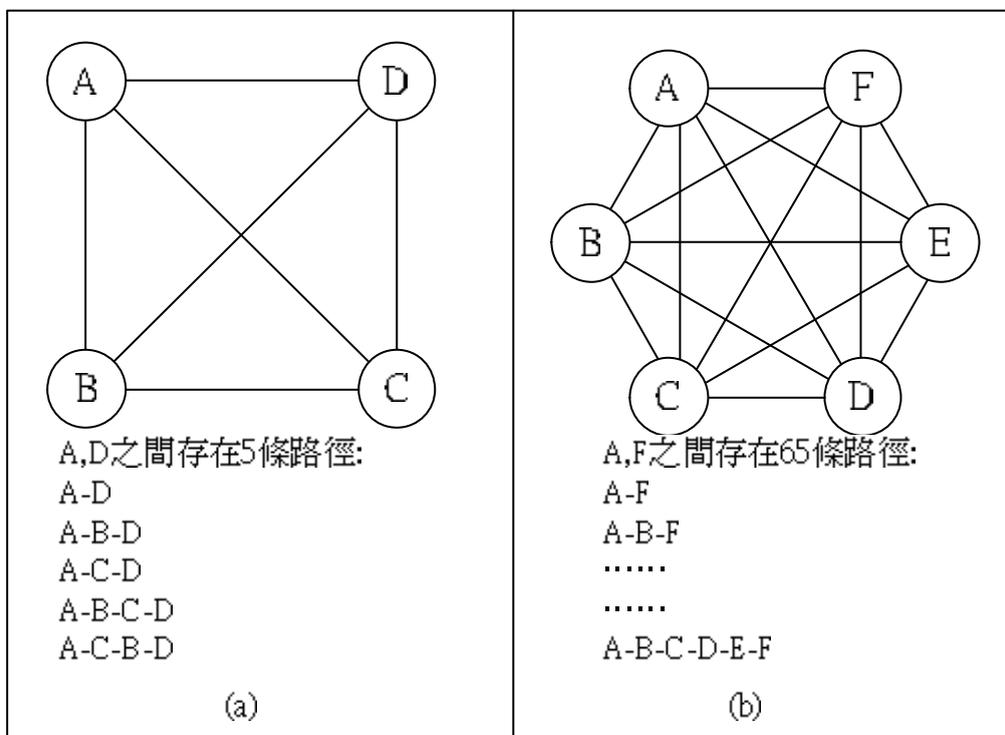
假設一個完全連結網路中有 N 個節點，則兩點之間將會存在的所有無迴圈無重複節點路徑將會有 S 條。此時 S 為

$$S = P_0^m + P_1^m + \dots + P_m^m, \text{ 其中 } m = N - 2。 \quad (2.1)$$

公式 2.1 中， P_b^a 為排列計算，內部計算公式如下：

$$P_b^a = b \times C_b^a = \frac{a!}{(a-b)!} \quad (2.2)$$

以圖 2.11 為例來說，圖 2.11(a)為一個包含 4 個節點的完全連結網路，兩點間共有 5 條無迴圈路徑。而當完全連結網路如圖 2.11(b)存在 6 個節點的時候，任意兩點間以汜流方法搜尋無迴圈路徑，以公式 2.1 加以計算結果將有 65 條可能的無迴圈路徑存在。這是一個極為龐大的路徑數量，同時也會產生極為龐大的封包汜流。更不用說當網路規模更龐大時，所會產生的路徑數量。一般的網路雖然不會是完全連結網路，但是若不使用一些策略來減少所搜尋到的路徑，將會造成路徑過多而浪費網路資源與節點硬體資源。本論文的方法中對於路徑數量的控制與路徑搜尋，將可以有效減少路徑的數目。



2.4.7 多路徑的品質

在一般的路徑搜尋汜流方法裡，繞送請求封包本來就會經過整個網路上許多不同的路徑。但此時繞送請求封包通常會使用一種流水號檢查的方法來減少汜流封包數量。同時也使得經過多條路徑的封包被過濾至剩下最後的幾個封包。我們可以用這幾個封包所經過的路徑作為回覆的多條路徑以達到搜尋多路徑的效果。但是此時所剩下的這些路徑往往具有以下特徵：

- (1) 路徑數量為目標節點之通訊範圍內之鄰近節點個數，因為只有廣播至這些節點的封包不會遭到流水號檢查的過濾。這時候如果目標節點附近恰好只有一個節點，將會只搜尋到一條路徑，而浪費了許多的可能路徑。
- (2) 除了在目標節點周圍部份的路徑會有較多變化以外，各路徑常常有著一模一樣的前幾個節點，因為這幾個節點為封包由來源節點廣播至目標節點所經之較短路徑，路徑上的節點已經存在此次繞送請求流水號，經過其他較長路徑的封包往往被這條路徑上的節點所過濾掉，因此也過濾掉了許多可能有用的路徑資訊。

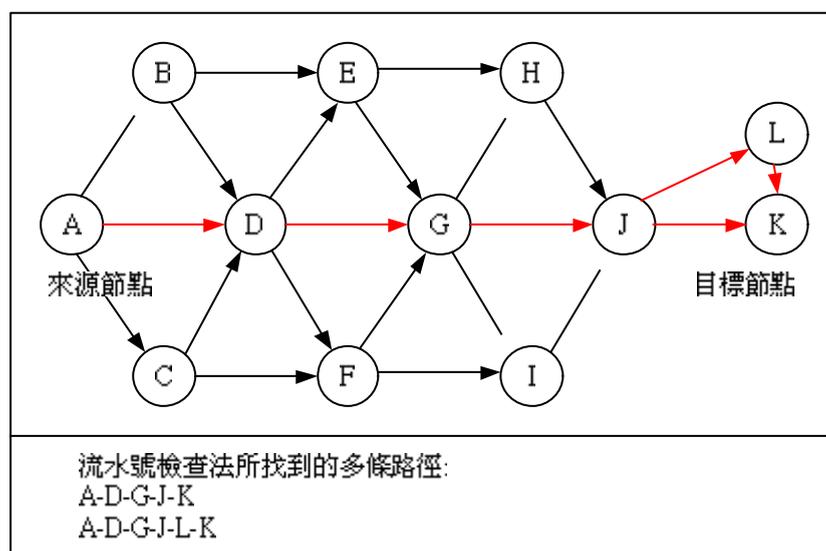


圖 2.12 用單純流水號檢查法搜尋多路徑

如圖 2.12 中雖然繞送請求封包經過了許多不同的路徑，但是最後這些封包在 J 節點被過濾掉，而只剩下經過 A、D、G 節點的繞送請求封包通過。造成所搜尋到的路徑數目為 2：分別經過目標節點通訊範圍內的兩個節點 J 與 L。且搜尋到的路徑擁有完全重複的前 4 個節點，忽略掉了許多有用的資訊如經過 B、E、H 節點或 C、F、I 節點的路徑。

針對這種狀況，利用來源繞送方法的繞送請求封包中紀錄了所經路徑的特點，在每個節點以一個暫時的路徑表格紀錄所經繞送請求封包的路徑資訊。而在繞送回覆時提供更豐富的路徑資訊，繞送回覆封包會參考所經節點在這次繞送請求時所紀錄的路徑表格，適當的更改封包中所存的路徑並且尋求更有效的多條路徑來進行回覆。同時也配合流水號檢查與路徑檢查的方法避免繞送迴圈。

第三章 多路徑距離向量隨意網路繞送方法

3.1 方法簡介

本論文所提出的方法，綜合多路徑(multipath)，AODV，DSR 的技術(表 3.1 為 AODV 與 DSR 的比較)。為了方便描述，以下將本論文的方法簡稱作 MDV (Multipath Distance Vector routing)。

表 3.1 AODV 與 DSR 的比較

需求導向式 通訊協定	AODV	DSR
繞送概念	分散管理式(距離向量法)	集中管理式(來源繞送法)
主要優點	資料封包傳送機制簡單快速	來源節點知道路徑全貌，方便進行路徑管理
主要缺點	<ul style="list-style-type: none">◆ 當網路發生單向連結時會無法搜尋到路徑◆ 路徑搜尋對於各節點都造成額外負擔◆ 路徑維護需要發出另一次氾流	<ul style="list-style-type: none">◆ 各個封包標頭會被加大來存放整條路徑各節點位址，增加了分析標頭的所需時間◆ 路徑維護需要發出另一次氾流

MDV 將有以下四個優點：

- (1) 路徑重建節省網路資源：當網路拓撲變動時，路徑可能時常中斷。此時一般單一路徑演算法的處理方法往往是重新發出封包氾流，來尋找一條新的路徑。但是這種方法將會大量消耗網路資源。而 MDV 的多重備份路徑方法，將可以讓路徑中斷時，有很大的機會不須重新發出封包氾流，只需要在先前所建立的備份路徑當中選出最好的一條來傳送即可。因此預計可以節省大量網路資源。

- (2) 資料封包處理快速：來源繞送的方法如 DSR，其封包標頭會比分散式繞送方法，如 AODV 的封包標頭，還多出了一串整條路徑的各點位址。這兩種封包標頭的大小可能相差不只一倍。每次的會談(session)可能需要傳送許多的資料封包，而當封包傳到路徑上的每個中繼節點時，它們所需要分析的就是封包的標頭，累積下來來源繞送方法的資料封包比較起來顯得很沒有效率。因此在封包處理的速度上，分散式繞送方法會比來源繞送式方法要節省許多分析處理時間。MDV 在路徑搜尋時的繞送請求封包使用來源繞送的方法，以達到方便儲存多條路徑的機制。而繞送封包在一個會談中所佔時間與數量只是小部分。但是在大量的資料封包的傳送若使用 DSR 的來源繞送法，將比較沒有效率。因此 MDV 在這部分試圖使用 AODV 的分散式距離向量繞送方法，以求大量改善資料封包處理效率。
- (3) 自動濾除存在單向連結的路徑：AODV 中，若尋找到的路徑有著單向連結，會造成繞送回覆封包無法有效回覆。而 DSR 中，若網路有單向連結，繞送回覆封包需要另外發出一次的汜流來試圖傳回來源節點。而事實上封包的傳送路徑是不能存在單向連結的，否則路徑的上游節點無法確認下游節點是否接收其傳送之封包，是一種可能被判定成路徑中斷之情況。對於路徑維護將造成很大的問題。MDV 使用尋找多條路徑的方法。除了方便來源節點對於多條路徑的管理之外，若遇到有單向連結的路徑，其繞送回覆封包無法順著原路傳回來源點。因此 MDV 有著自動濾除存在單向連結之路徑的功能。

- (4) 找到適當數目的有效路徑：MDV 以在各個節點中，保留多條可能路徑，並在路徑回覆時，適當更改繞送回覆封包所含路徑的方式，以求搜尋到的多條路徑不會包含太多相同節點。同時配合繞送請求流水號檢查的方式以減少封包數目，並且檢查各封包所包含路徑是否造成路徑迴圈，以確保所找到的會是多條無迴圈路徑。

MDV 的整個流程如圖 3.1，方法分為：路徑搜尋、路徑設定與路徑維護。分別在下面三個小節作詳細敘述。

3.2 路徑搜尋

當一個來源節點 (source node) 對於網路上的另一個目標節點 (destination node) 有傳送需求時，將會先以路徑搜尋的方法搜尋封包應該傳送的所經路徑。路徑搜尋的方法分為兩個部分：繞送請求與繞送回覆。路徑搜尋的基本流程圖如圖 3.2。

- (1) 繞送請求：繞送請求來源節點以向外發出汜流的方式，單向廣播一個繞送請求 (RREQ, route request) 封包。RREQ 封包中包含幾個欄位，分別是：來源節點的位址、目標節點的位址、此次繞送請求的流水號，以及一個路徑上各個節點位址的繞送列表 (route list)。如圖 3.3 所示。若未處理過相同封包則判斷自己為路徑的中繼節點之一，將此封包所經過的路徑資訊存至暫時的路徑表格，而後將本身的位址加入繞送列表中，然後再把封包廣播出去。同時將來源節點位址與繞送請求流水號存在一個暫存區中，以提供後來的封包檢查之用。在這個步驟裡因為封包以汜流方式傳送，因此幾乎可以走過網路中的每一個節點，也就是說可能順著許多不同的路徑傳

到目標節點。

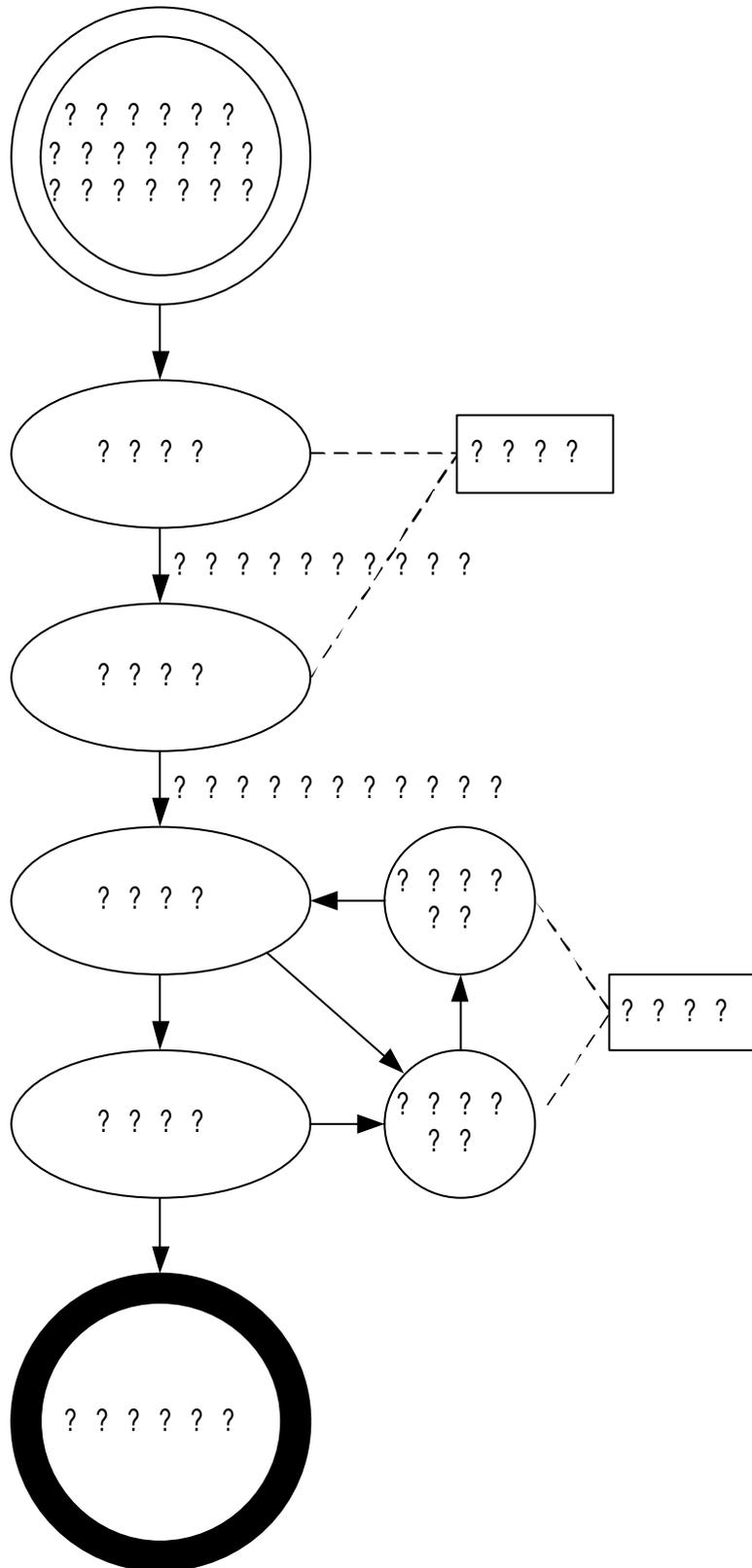


圖 3.1 本論文所提出的方法之流程圖

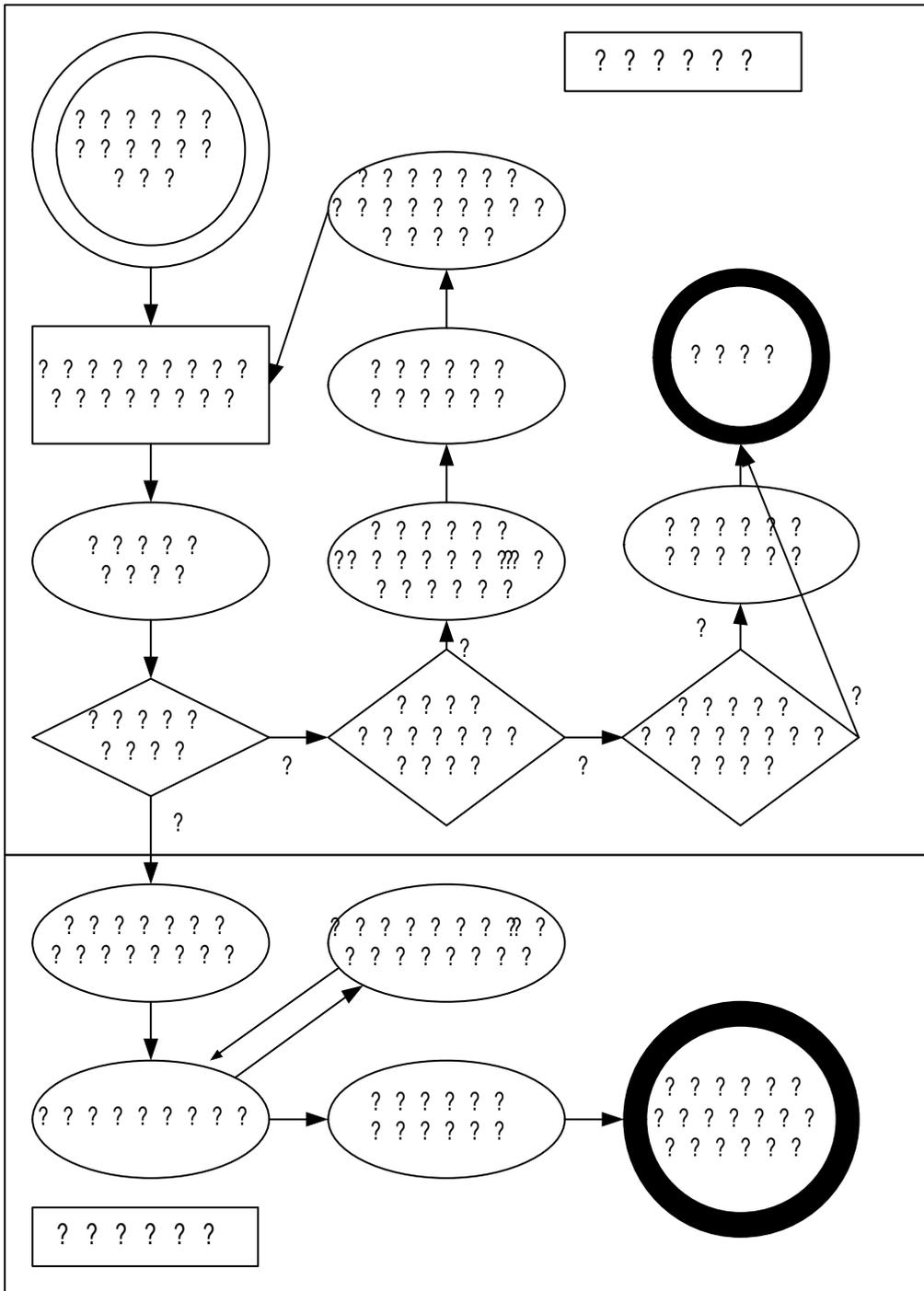


圖 3.2 本論文提出的方法中路徑搜尋的流程圖

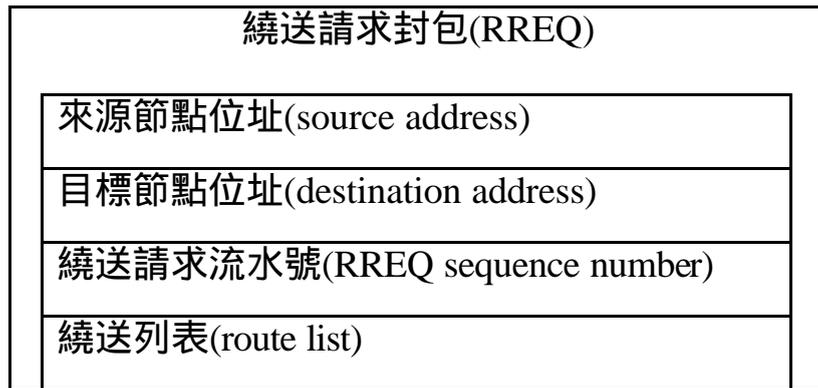


圖 3.3 繞送請求封包所包含的欄位

而這些路徑途中所經過的每個節點的位址都會被紀錄到繞送列表之中，因此在目標節點將會接到許多份的繞送請求封包，每個封包會有所經過的路徑列表在其中。

- (2) 繞送回覆：在 MDV 中通常會有許多份的繞送請求封包傳達到目標節點，這些封包各自順著不同的路徑傳過來，並且將路徑上各個節點的位址紀錄在封包的路徑列表之中。目標節點接到每一份的繞送請求封包，都對每條路徑進行繞送回覆的工作。目標節點將會產生一個繞送回覆封包 (RREP, route reply)，此封包所需包含的欄位有：來源節點位址，目標節點位址，與路徑列表。如圖 3.4 所示。

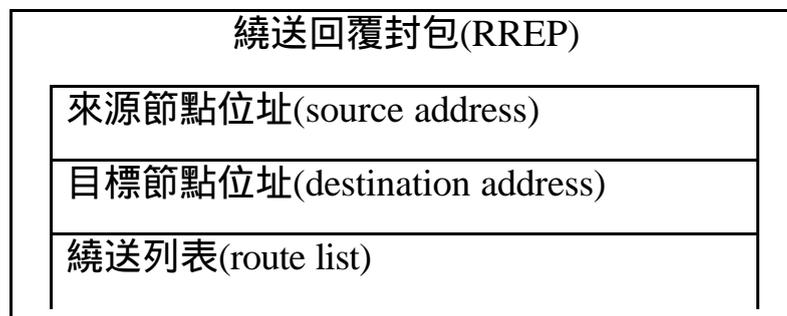
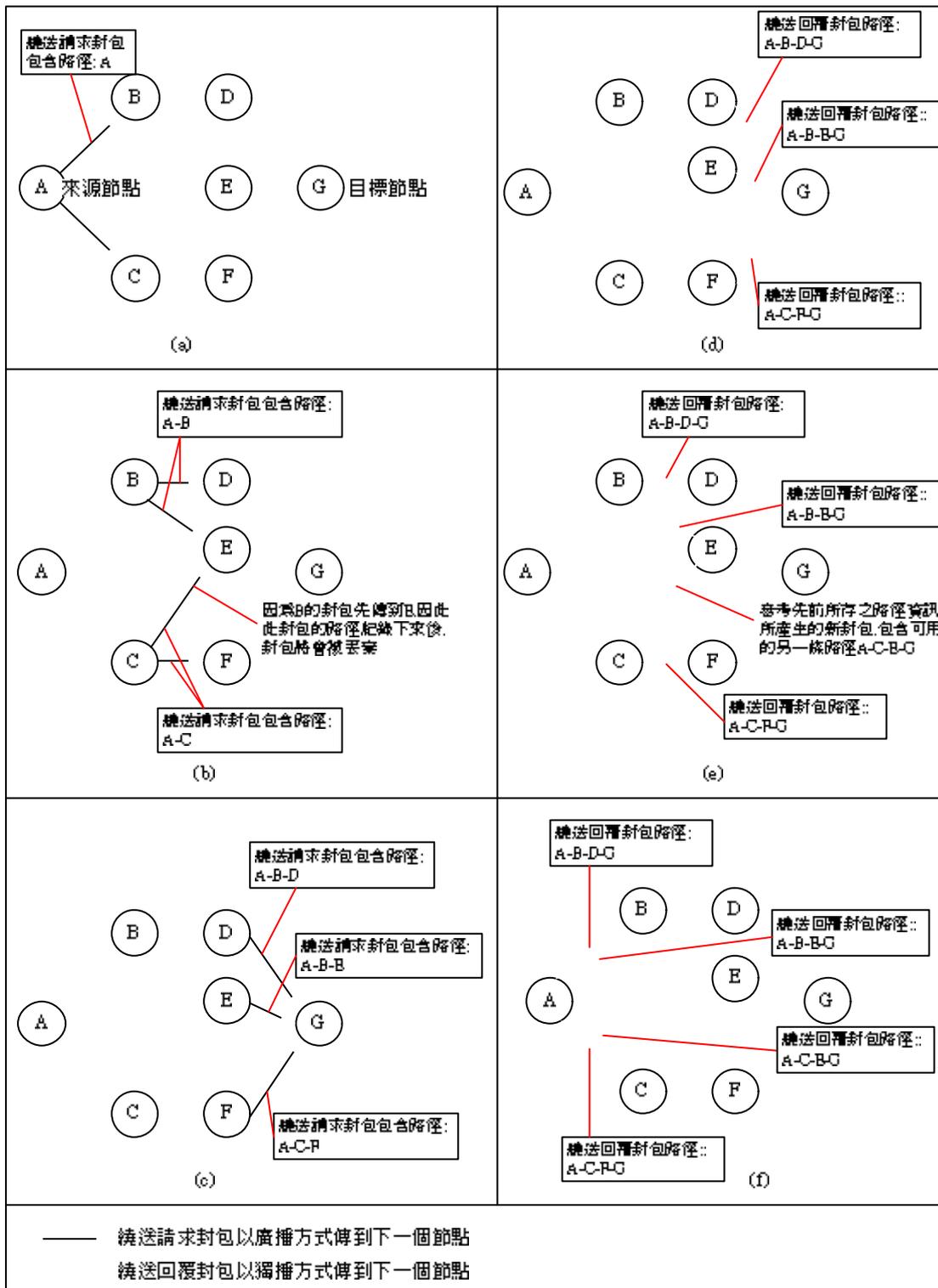


圖 3.4 繞送回覆封包所包含的欄位

目標節點並將繞送請求封包中的來源節點位址、目標節點位址、路徑列表，加到這個繞送回覆封包中。接著分析繞送列

表，找出路徑的上一個節點，將繞送封包送回去。接到繞送回覆封包的節點則參考先前所存之暫時繞送表格，適當修改繞送回覆封包中的繞送列表。此時修改的方法有許多種，最簡單的一種為在暫存的繞送表格中找到最短的一條路徑，替換掉繞送回覆封包原本的路徑。並找出新路徑的上一個節點加以傳送。我們重複這個動作，將封包順著多條反向的路徑送回去，直到封包傳到來源節點。來源節點此時將路徑存到其繞送表格中，此繞送表格內容為到一目標節點的多條可能路徑。每一個路徑回覆封包將會建立一條新的路徑，因此傳回的路徑回覆封包個數便是此次路徑搜尋找到的多條路徑數量。MDV 在第一個路徑回覆封包傳到時就可以進行下一個步驟：路徑設定。因為最快傳到的路徑回覆封包通常代表著此條路徑最短。所以 MDV 將以此條路徑作為資料傳送的路徑。但是之後可能還會陸續接到其他路徑的繞送回覆，來源節點都會一一將路徑紀錄到繞送表格中。圖 3.5 為 MDV 的路徑搜尋的例子。其中可以發現在繞送請求時最後只有 3 個封包傳到目標節點，但是經過繞送回覆後來源節點接到 4 個繞送回覆封包，因為在圖 3.5(e)中 E 節點參考在圖 3.5(b)時所紀錄的另一條路徑增加了一個新的繞送回覆封包而將最短的 4 條路徑都回覆給來源節點。因此有效找尋到數條路徑。

此外 MDV 的避免單向連結路徑影響的機制也建立在多路徑方法上，因為多條回傳的繞送回覆封包中任何一條路徑有單向連結時，其繞送回覆封包將無法順利傳回，自然不會在來源節點建立此條路徑。這個自動濾除存在單向連結之路徑的方法，可以圖 3.6 為例



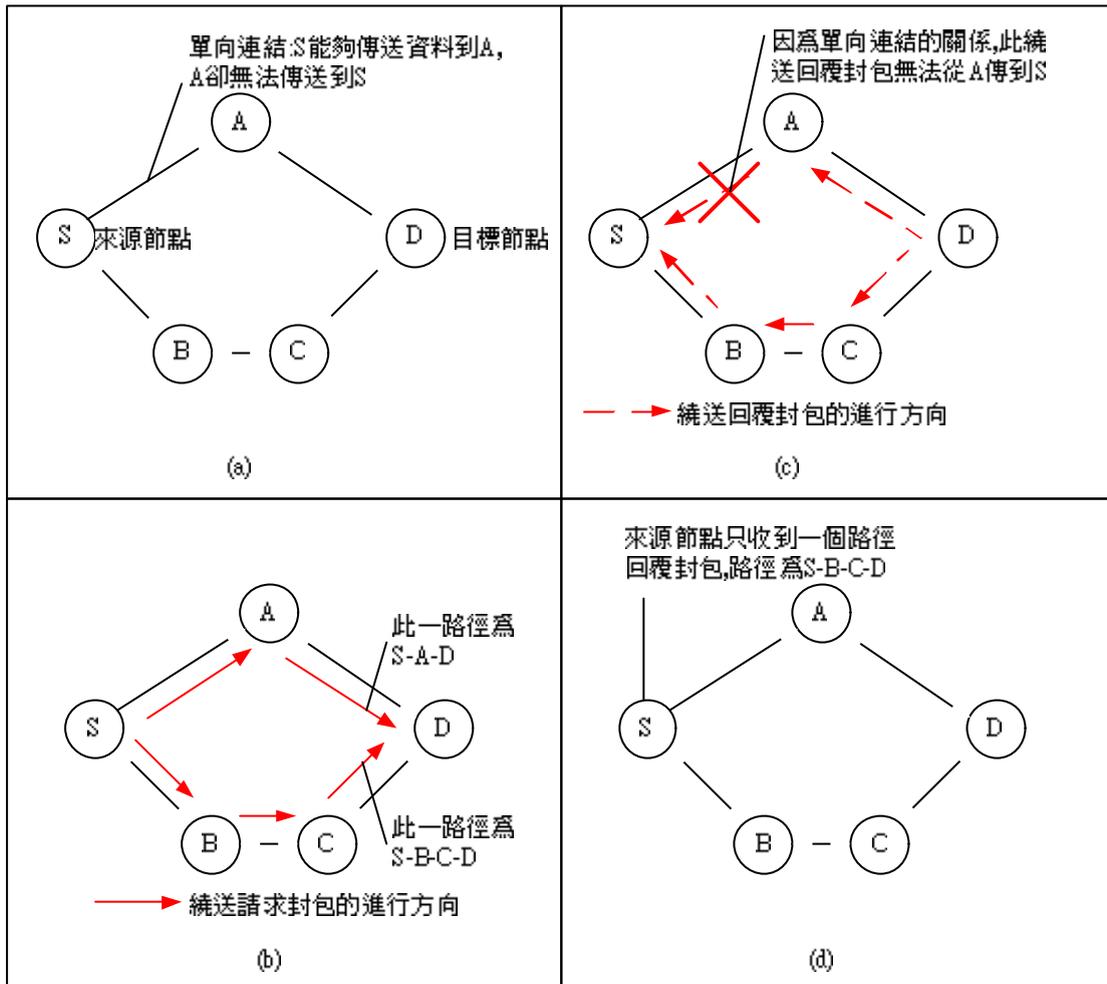


圖 3.6 MDV 中多路徑繞送回覆濾除單向連結路徑的機制, (a) 這個網路中 S 節點與 A 節點之間存在單向連結, (b) S 的繞送請求封包可以順利傳到目標節點 D, (c) D 的路徑回覆封包在單向連結存在處無法傳送而被濾除, (d) 來源節點所找到的路徑中不會包含有單向連結的路徑

圖 3.6 的網路結構在來源節點 S 與目標節點 D 間的最短路徑為經過 A 的路徑, 但在 S 節點與 A 之間存在單向連結, 所以若以 AODV 的方法尋找路徑, 因為只會對於一條路徑進行繞送回覆, 因此在單向連結發生處會無法順利回傳繞送回覆封包, 造成不斷逾時而重新尋找路徑, 但仍然找不到的狀態。但若以 MDV 則可以用另外一條路徑作為主要路徑回覆。

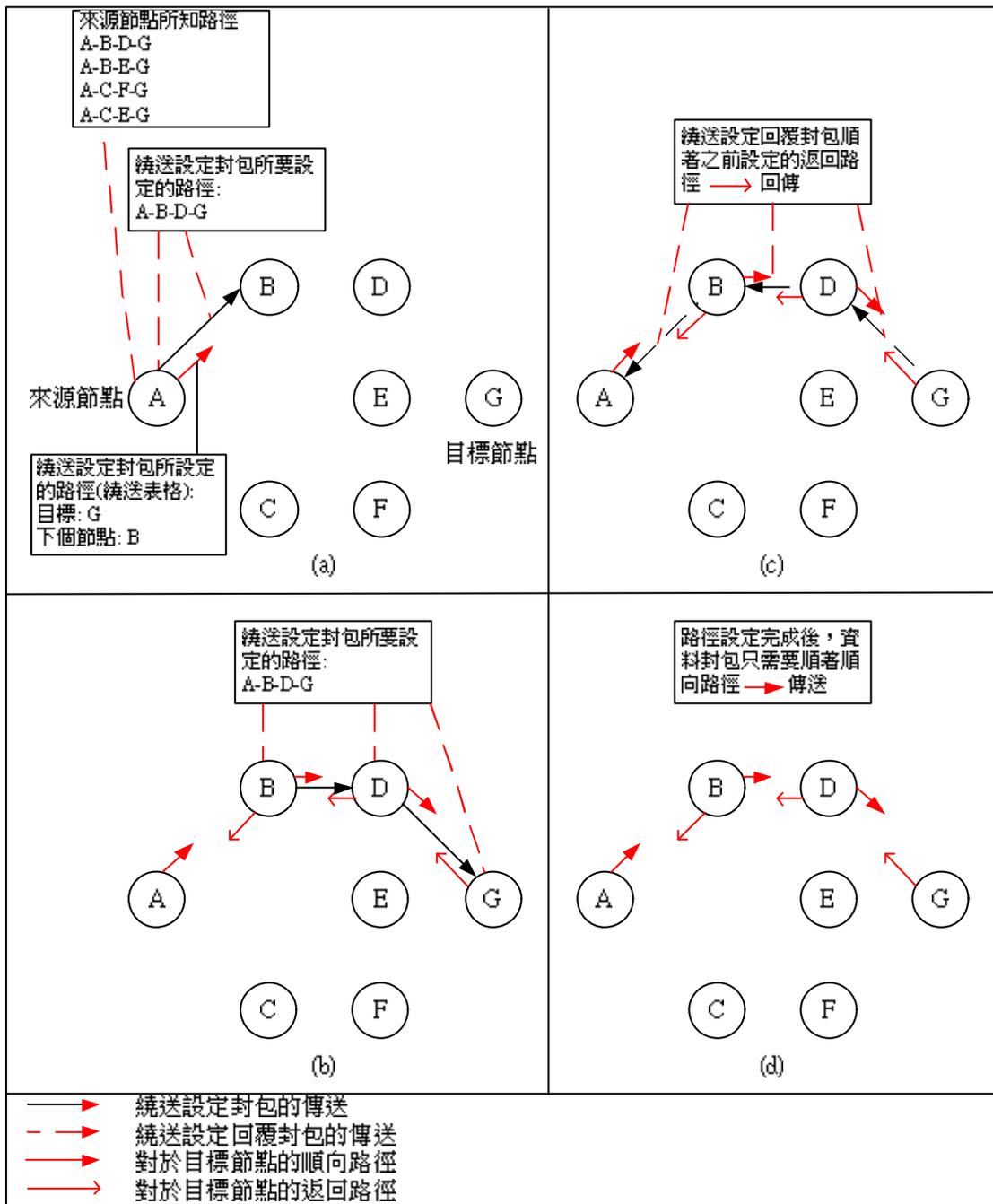


圖 3.7 MDV 中路徑設定的機制

3.3 路徑設定

路徑設定的目的有二，分別是：

- (1) 將路徑上的每個節點設定成分散式繞送的形式，以求節省之後的大量資料封包繞送時，各節點所需之分析處理封包標頭時間。

- (2) 提供路徑確認的工作。在路徑維護時，所選擇的備份路徑可能已經中斷。此時先做路徑設定的動作，若路徑已經中斷則可以再尋找其他的備份路徑，或是當所有路徑皆以中斷時，需要再重新發出一路徑搜尋的工作。

路徑設定範例如圖 3.7。其詳細步驟如下：圖 3.7(a)中來源節點在其多路徑繞送表格中選出一條最短路徑。在第一次的繞送回覆動作時，此路徑為第一個傳回的繞送回覆封包中包含的路徑。而在路徑維護時，此路徑為多路徑繞送表格中所經節點數最短的一條。對於所選出的路徑，來源節點將產生一個繞送設定(RS, route setup)封包，此封包的內容如圖 3.8。

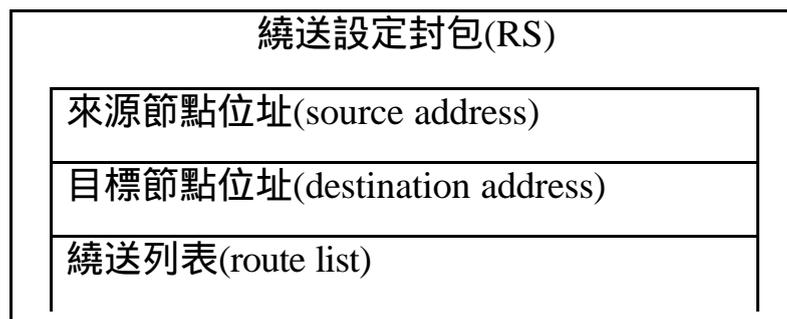


圖 3.8 繞送設定封包所包含的欄位

圖 3.7(b)中來源節點將最短路徑的各節點位址存入繞送列表中，之後將此繞送設定封包傳出。每個接到此封包的節點分析繞送列表，在記憶體中建立一個簡單的繞送表格，表格中存放兩個位址，分別是要到達封包的目標節點，此路徑上的下一個節點位址；以及如果要回覆繞送錯誤封包到來源節點，此路徑上的上一個節點位址。繞送設定封包從來源節點開始對於路徑上的每個節點作設定，每個節點並且將封包順著繞送列表往下一個節點傳。當此封包傳到目標節點時，路徑就設定完成。但是此時來源節點尚不知道路徑是否設定完成，因此目標節點尚需回傳一個路徑設定回覆(RSR, route setup reply)封

包,此封包內只需要有簡單的兩個欄位:來源節點與目標節點的位址

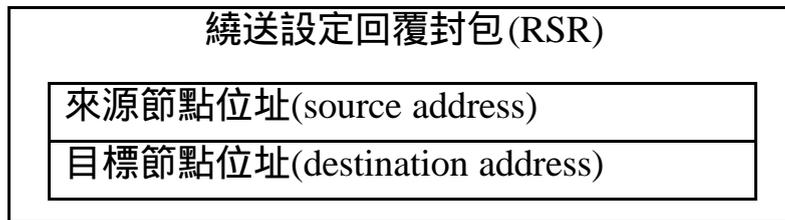


圖 3.9 繞送設定回覆封包所包含欄位

圖 3.7(c)中目標節點將此繞送設定回覆封包,往繞送設定時建立好的繞送表格之中,此條路徑的上一個節點位址傳送。之後的每個接到此封包的節點也重複此動作,一直到路徑設定回覆封包傳回到來源節點。圖 3.7(d)為繞送設定回覆封包傳回來源節點後,路徑上的每個節點將被設定成以距離向量法傳送資料封包的狀態。路徑設定完成之後,就可以開始資料封包的傳送。資料封包從來源節點開始只需要參考路徑設定建立的繞送表格,找出下一個應該傳送的節點,將資料封包傳給他即可。因此資料封包的標頭格式相當簡單,只需要有來源節點位址以及目標節點位址即可。

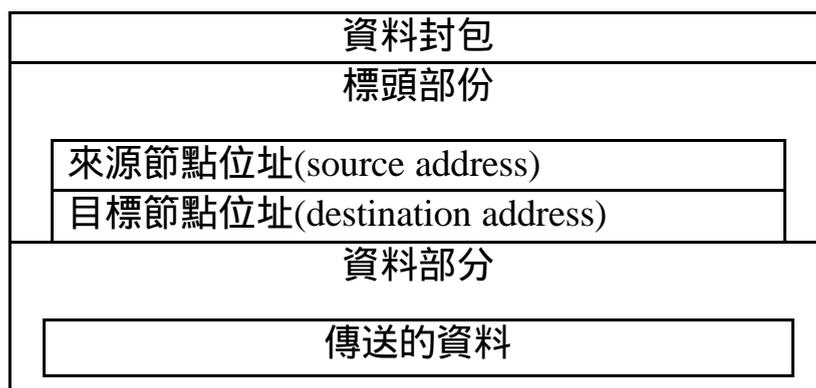


圖 3.10 MDV 的資料封包包含欄位

在繞送設定封包或資料封包由來源節點傳到目標節點的過程當中,若有發現路徑錯誤,將會進入路徑維護的動作。

3.4 路徑維護

路徑維護發生在三種狀況，第一種是資料封包傳送時發現路徑中斷，第二種狀況為路徑設定時發現路徑中斷，第三種狀況為繞送搜尋或繞送設定封包傳出後過了一段時間沒有收到分別的回覆封包，也就是恰巧在目標節點回傳繞送回覆封包或者繞送設定回覆封包時，才發生路徑中斷。在第三種狀況下來源節點會重新發出一次的繞送搜尋或是繞送設定封包。而前兩種狀況則都是屬於獨播的雙向連結動作，也就是說路徑上的相鄰兩點之間，上一節點傳送封包給下一節點時，下層的通訊協定將會作雙向確認動作。當上一節點發送的訊息過了一段時間沒有收到回覆時，將判斷下一節點已經離開通訊範圍。此時上一節點就會發出一個繞送錯誤(RE, route error)封包。此封包內容包含欄位有：來源節點位址，目標節點位址，節點本身位址與下一節點位址。來源節點位址與目標節點位址為發生錯誤的封包中的來源與目標節點。而回傳兩個錯誤節點位址是考慮無法知道移動的是哪個節點。繞送錯誤封包的格式如圖 3.11。

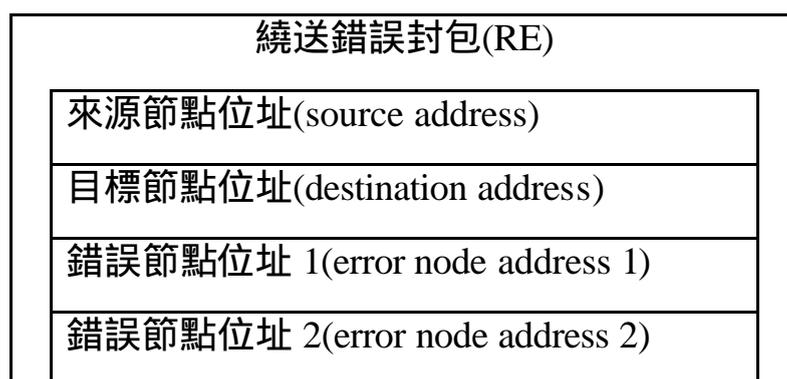


圖 3.11 繞送錯誤封包所包含之欄位

此繞送錯誤封包的傳送方式上，將沿著路徑設定時，各節點的繞送表格所建立的返回路徑往來源節點傳回。當來源節點接到此封包時，就得知對應其目標節點位址的路徑已經中斷，也知道發生錯誤的

節點是哪一個。來源節點此時將其多重路徑表格中所有包含這兩個相鄰錯誤節點的路徑全部刪除，也就是說刪除所有包含此一錯誤連結的路徑。因為找到的多條路徑中，偶爾會有兩條以上路徑共用一些相同連結的情況。此時若共用的連結斷裂，就會讓多條路徑同時中斷。我們無法得知是哪個節點發生移動，因此路徑刪除的依據為發生錯誤的連結，也就是兩個節點。

刪除包含中斷連結的路徑之後，來源節點將在剩下的多路徑表格中，挑選一條最短的路徑。挑選的依據以路徑經過節點數為主，若有相同長度的路徑則挑選較快建立至繞送表格的一條。對於此條路徑重新發出一個繞送設定封包。直到繞送設定回覆傳回之後才可以繼續傳送資料封包。若此時繞送表格中已經沒有任何備用路徑，才會重新啟用另一次的路徑搜尋程序。

3.5 實驗結果

本論文將 MDV 在以一個模擬的無線網路環境中做實作，並對其進行一些繞送效能的實驗。我們以 Borland C++ Builder 6.0 在 Windows 平台上實作一個模擬程式。模擬環境基本設定的概述如下：在一個 200 * 200 公尺大小的房間中，存在一個數目的節點，節點位置可以自定，也可以以亂數決定，每個節點的通訊範圍相同。每個節點的位址為了簡化模擬環境，只以一個節點號碼表示，但是在計算效能時每個節點位址使用 4 個位元組的空間。並且在本實驗中並不考慮建立於何種特定底層通訊協定之上，而假設底層通訊協定會提供完善的傳送服務，例如獨播傳送時可以馬上發現連結斷裂等，提供有效的廣播服務，且不需考慮頻寬限制、各節點封包緩衝區限制、或是發生訊號碰撞等問題。

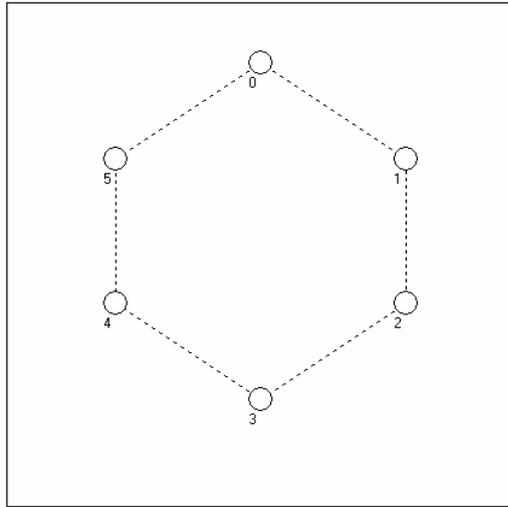
我們進行的實驗分為兩個部分，分別是多路徑效果的實驗以及與 AODV、DSR 之協定效能比較的實驗，這兩個部分的模擬環境有著些許的不同。在證明多路徑的效果實驗上，為了明顯看出效果，因此將來源節點與目標節點定在特定位置，各個節點為靜止不動的狀態，且使用較長的傳輸範圍，較少的節點數目，以減低表現出來的路徑複雜度。而在效能比較的實驗上我們使用較多的節點，較短的傳輸範圍，並且不限定來源節點與目標節點的位置，各個節點都有行動能力，以求能夠模擬較真實的網路環境。

3.5.1 多路徑的效果

為了證明本 MDV 可以有效找出數條可行的路徑，我們在模擬器中產生了一些固定的以及隨機的拓撲來實驗多路徑的效果，這些網路中各節點的通訊範圍為 100 公尺。節點並不運動，而以 MDV 進行一次路徑搜尋，並將來源節點所接到的繞送回覆路徑資訊列舉出來。

在固定的網路拓撲狀態的實驗裡，我們在如圖 3.12(a)的一個環狀網路以及圖 3.13(a)的網路中以本實驗的方法尋找節點 0 與節點 1 之間的路徑，實驗結果分別列表於 3.12(b)與 3.13(b)。

在隨機的網路狀態實驗上，我們隨機產生四個網路，並將實驗程式的網路拓撲圖形抓出來。同時將其所找到的路徑列出。這四個網路分別是 15 個節點，20 個節點，25 個節點，以及 30 個節點。來源節點節點 0，目標節點為節點 1，為了明顯看到效果，我們將來源節點擺在左上角(0,0)，目標節點擺在右下角(200,200)。實驗結果如圖 3.14、圖 3.15、圖 3.16、圖 3.17，分別為 15 個節點，20 個節點，25 個節點，以及 30 個節點下的實驗結果。

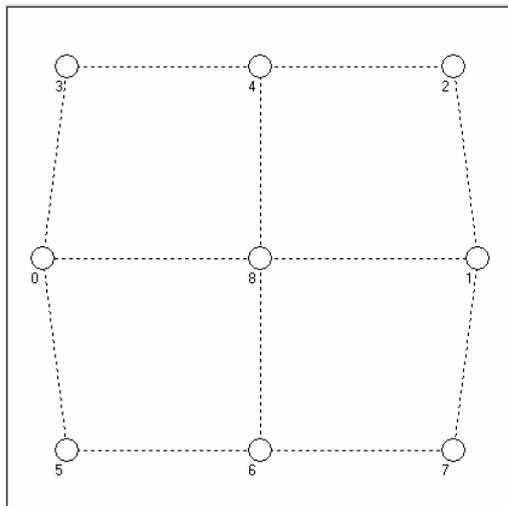


(a)

尋找到的路徑列表
0-1
0-5-4-3-2-1

(b)

圖 3.12 在 6 個節點的環狀實驗網路中進行尋找多路徑的效果的實驗，(a)網路的圖形，(b)尋找到的路徑列表

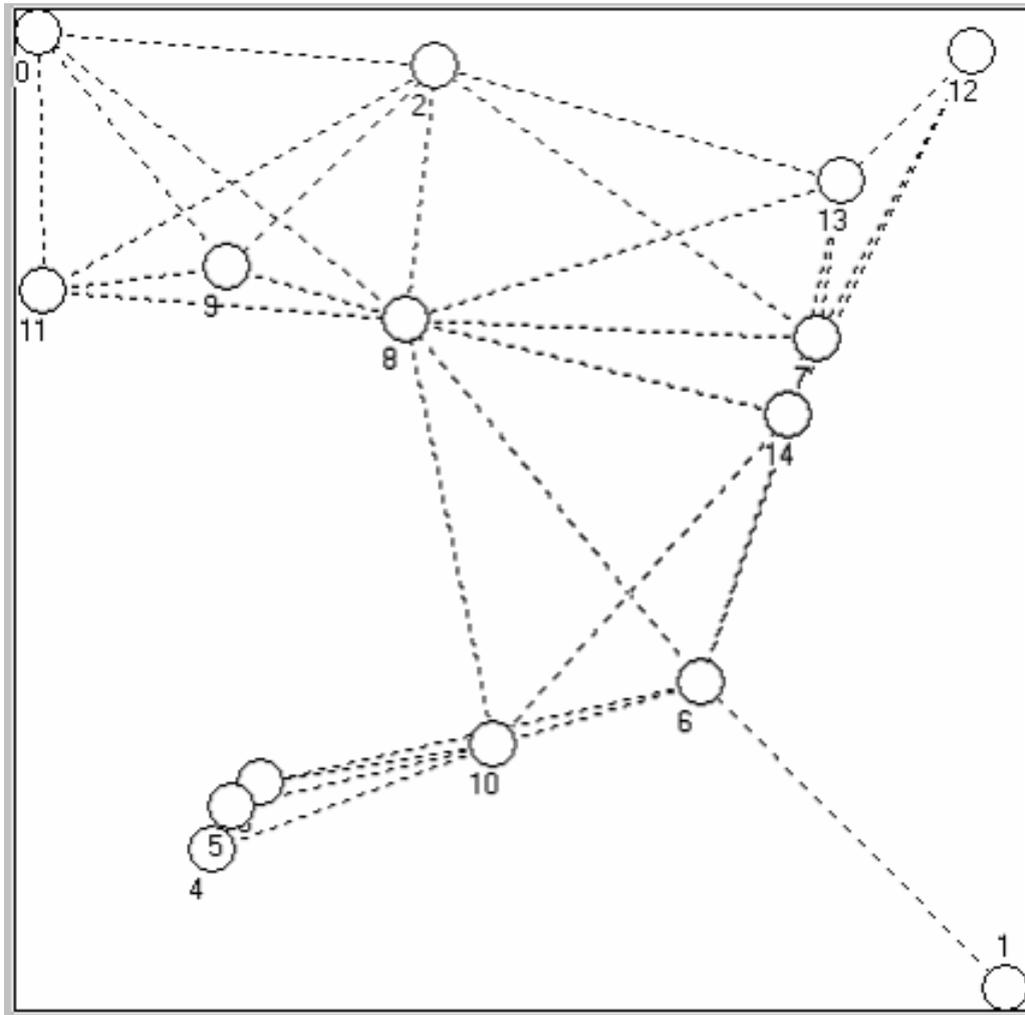


(a)

尋找到的路徑列表
0-8-1
0-3-4-2-1
0-5-6-7-1

(b)

圖 3.13 在 9 個節點的實驗網路中進行尋找多路徑的效果的實驗，(a)網路的圖形，(b)尋找到的路徑列表

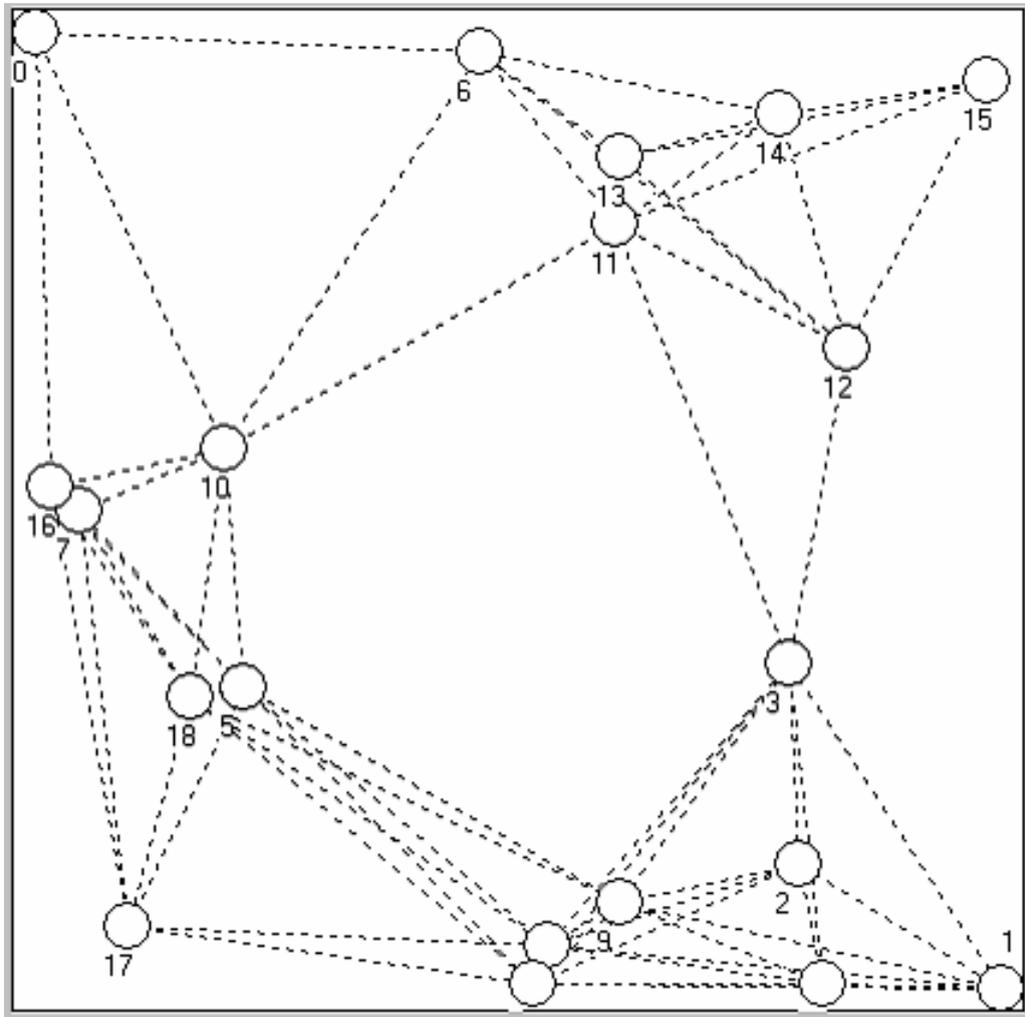


(a)

尋找到的路徑列表
0-8-6-1-
0-9-8-6-1
0-2-7-6-1
0-11-9-8-6-1
0-5-7-4-6-1

(b)

圖 3.14 在 15 個節點的實驗網路中進行尋找多路徑的效果的實驗，(a)網路的圖形，(b)尋找到的路徑列表

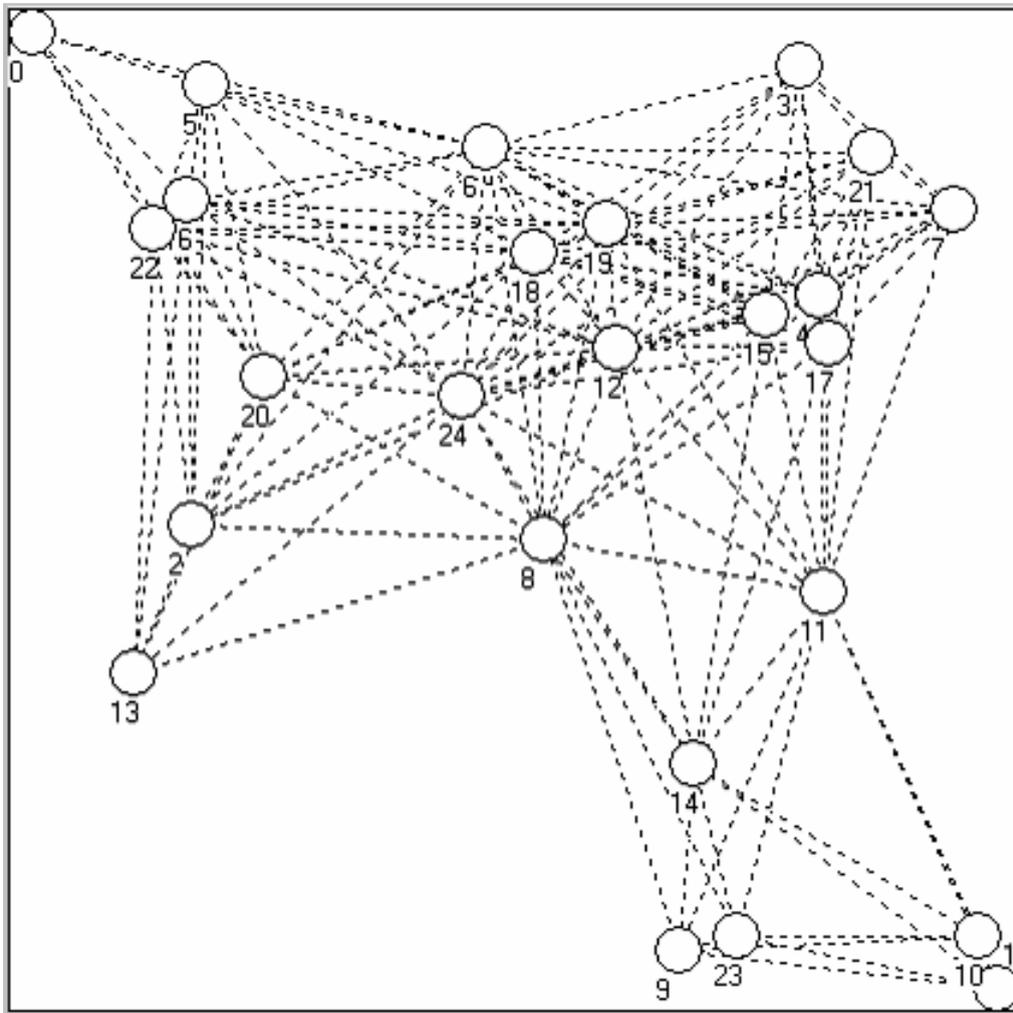


(a)

尋找到的路徑列表
0-6-11-3-1
0-10-5-4-1
0-16-10-5-4-1-

(b)

圖 3.15 在 20 個節點的實驗網路中進行尋找多路徑的效果的實驗，(a)網路的圖形，(b)尋找到的路徑列表

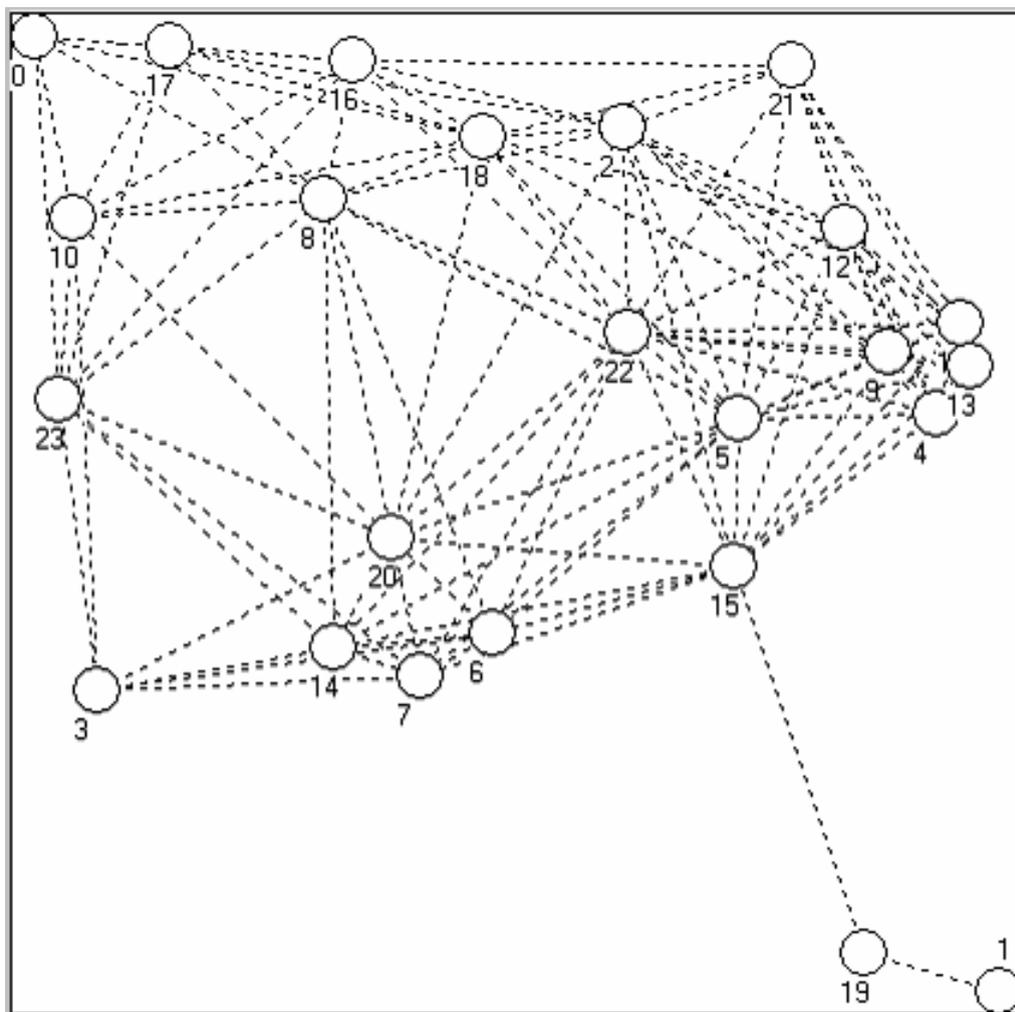


(a)

尋找到的路徑列表
0-6-4-11-1-
0-16-13-8-23-1
0-5-2-12-4-11-1
0-22-5-2-12-4-11-1

(b)

圖 3.16 在 25 個節點的實驗網路中進行尋找多路徑的效果的實驗，(a)網路的圖形，(b)尋找到的路徑列表



(a)

尋找到的路徑列表
0-18-9-15-19-1
0-8-6-20-2-15-19-1
0-23-8-6-20-2-15-19-1
0-16-21-2-11-9-15-19-1

(b)

圖 3.17 在 30 個節點的實驗網路中進行尋找多路徑的效果的實驗，(a)網路的圖形，(b)尋找到的路徑列表

由以上實驗我們可以得知，MDV 不但可以減少所搜尋到的路徑總數以及在網路上所造成的封包總數，同時搜尋到的路徑至少會包含一條最短路徑。也就是說來源節點與目標節點之間的最短路徑一定會被搜尋到，而其他的路徑就被當作是一些備份的路徑。同時我們也證明，如圖 3.17 的網路中，若以純粹流水號檢查的方法進行多路徑搜尋，則只會找到一條路徑，因為目標節點的通訊範圍內只有一個節點 19。但以 MDV 所搜尋到的多路徑則比流水號檢查方法能搜尋到更多有用的路徑。

3.5.2 與 DSR、AODV 通訊協定之效能比較

我們將 MDV 與 DSR、AODV 之效能作比較。分別測試在各種規模的網路，與不同的網路變動頻率之下，MDV 之效能與另外兩種方法之效能比較。我們使用的實驗環境設定如下：在長寬分別為 200 的空間中，存在若干節點。各節點之訊號傳送距離固定為 50 公尺。時間流程中每個時間單位為每個節點會從其封包佇列(packet queue)中取出一個封包傳送給其他節點的時間，換算成一般的秒數單位大約是每 5 個模擬時間單位為一秒。每個節點所收到的封包都會先存到其封包佇列中，儲存時視封包特性調整插入位置，繞送封包有比資料封包更高的優先權。每個實驗為一次完整的會談(session)，每次會談所傳送的資料封包為 1000 個。在 1000 個封包傳送完後，紀錄每次的傳輸效能。另外我們也針對不同的網路變動狀態，定義兩種網路變動頻率。並對於兩種網路作模擬實驗。兩種狀態分別為：高度變動網路(high mobility)與低度變動(low mobility)網路。

- (1) 高度變動網路的設定如下：我們試圖模擬一個展覽會場中的各行動節點移動狀態下的網路變動頻率。每個節點在停止時

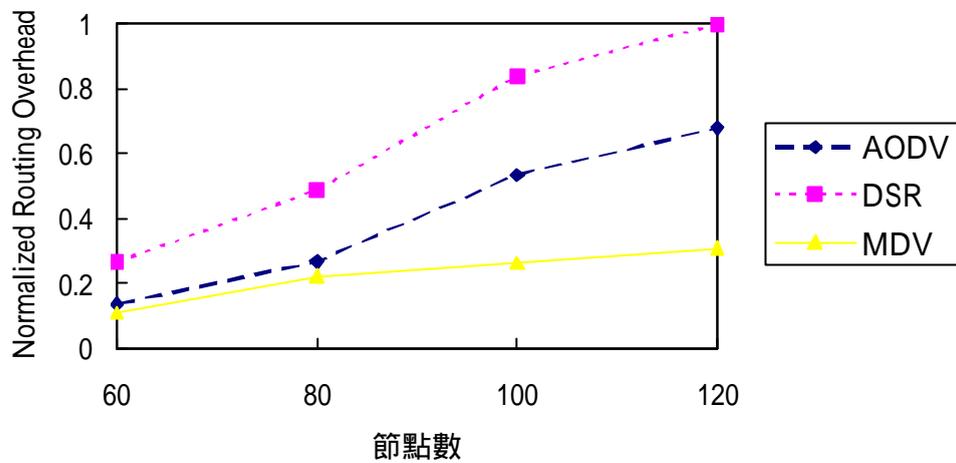
隨機決定是否進入移動狀態，平均每 100 個時間單位開始進入移動狀態，此時對兩個分量各產生一個隨機的分量速度，隨機數的產生為 0 到 0.5 之間的浮點數，為一般人行走的移動速率。動作中節點隨機決定是否靜止，平均每 100 個時間單位才會靜止下來。此種網路的狀態將會是時常有許多節點處於隨機移動的狀況下，因此網路的變動頻率很大。

- (2) 低度變動網路的設定如下：我們試圖模擬一個辦公室中的各行動節點移動狀態下的網路變動頻率。每個節點在停止時隨機決定是否進入移動狀態，平均每 100 個時間單位開始進入移動狀態，此時對兩個分量各產生一個隨機的分量速度，隨機數的產生為 0 到 0.5 之間的浮點數，為一般人行走的移動速率。動作中節點隨機決定是否靜止，平均每 100 個時間單位才會靜止下來。此種網路的狀態將會是時常有許多節點處於靜止的狀況下，因此網路的變動頻率很小。

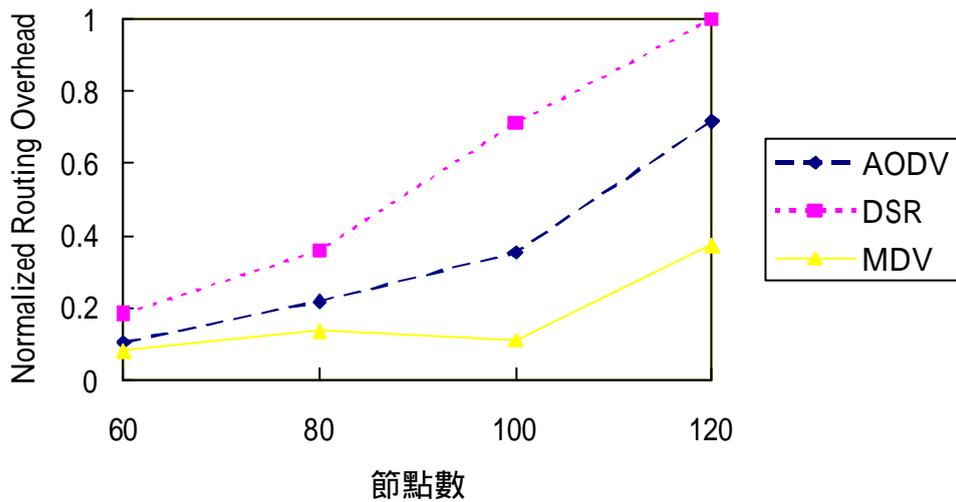
我們首先分別設定 60、80、100、120 個行動節點的網路，分別在高度變動與低度變動的網路狀態下，以三種繞送方法分別對 3 種繞送協定進行正規化繞送負載(normalized routing overhead)、封包遺失率(packet loss)、點對點延遲(end-to-end delay)、與氾流次數(flooding times)的實驗。

繞送負載為整個會談中網路上所產生的繞送封包與資料封包數目之間的比例，此項效能代表著繞送協定為了尋找傳送資料的路徑，會在網路上產生之尋找路徑封包數量，與所傳的資料量的比例。繞送負載越小代表著：對於整個網路上的所有節點資源，以及網路狀態，造成更少的負擔。繞送負載的實驗數據隨著環境的不同會有極大的落差，因此每個環境下的實驗數據正規化至 0-1 之間，讓實驗的結果比

較容易比較。實驗結果如圖 3.18。



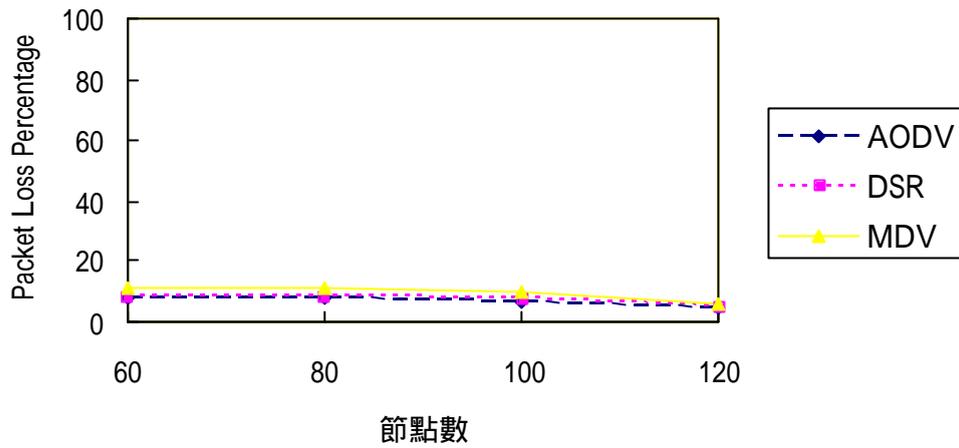
(a)



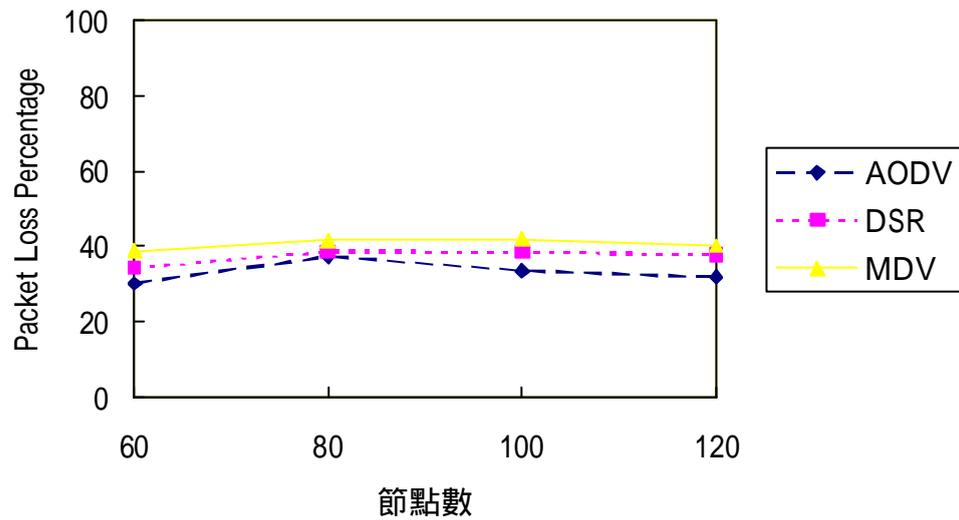
(b)

圖 3.18 正規化繞送負載比較圖，(a)低度變動網路狀態(b)高度變動網路狀態

封包遺失率為整個會談中所遺失的資料封包數目相對於全部資料封包數目的比例，這個數據代表著繞送協定的可靠度。資料封包的遺失大多是因為路徑中斷所造成，因此網路變動狀態嚴重決定了封包遺失量。封包遺失量越小，同時也可以看出每個協定在路徑維護的速度效能。實驗結果如圖 3.19。



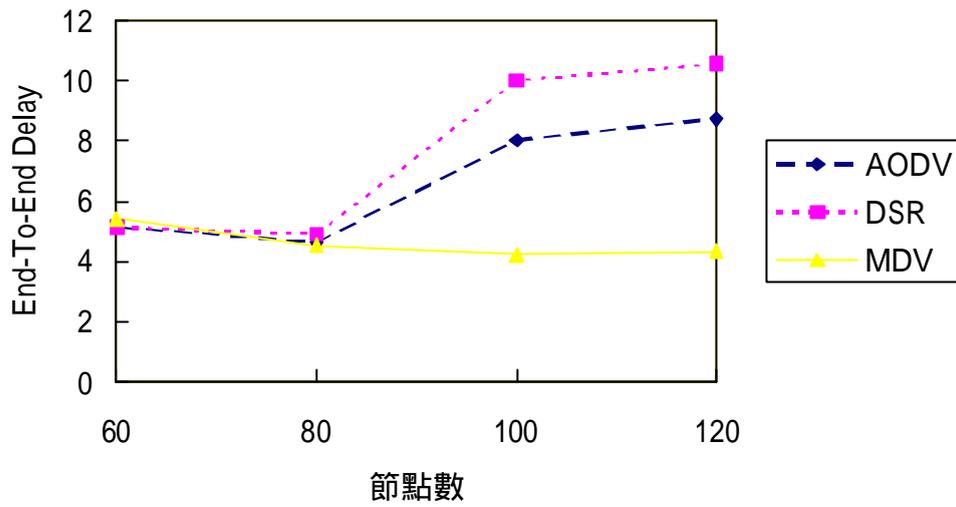
(a)



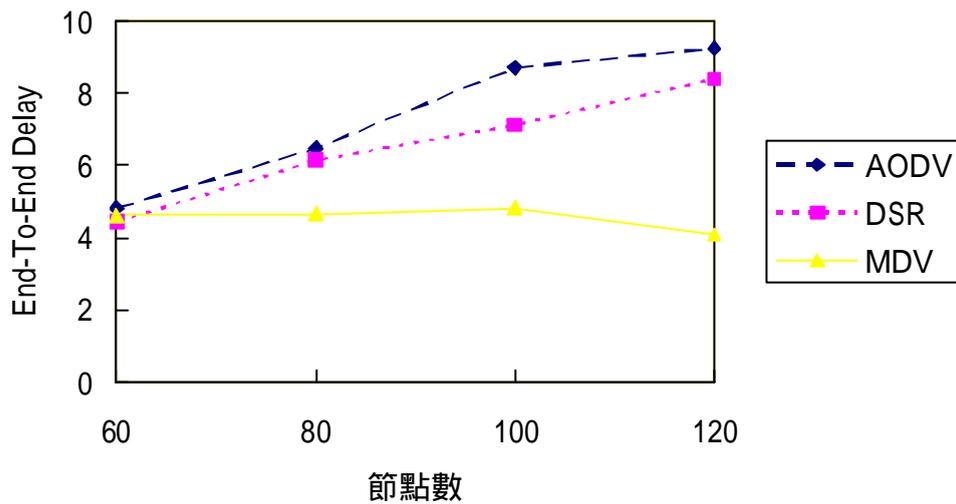
(b)

圖 3.19 封包遺失率比較圖，(a)低度變動網路狀態(b)高度變動網路狀態

點對點延遲為每個成功傳到目標節點的封包由來源節點發出後所經過時間的平均，這個時間可以看出所尋找到的路徑狀況，通常每次都能夠找到越短的路徑，則點對點延遲越小。實驗結果如圖 3.20。



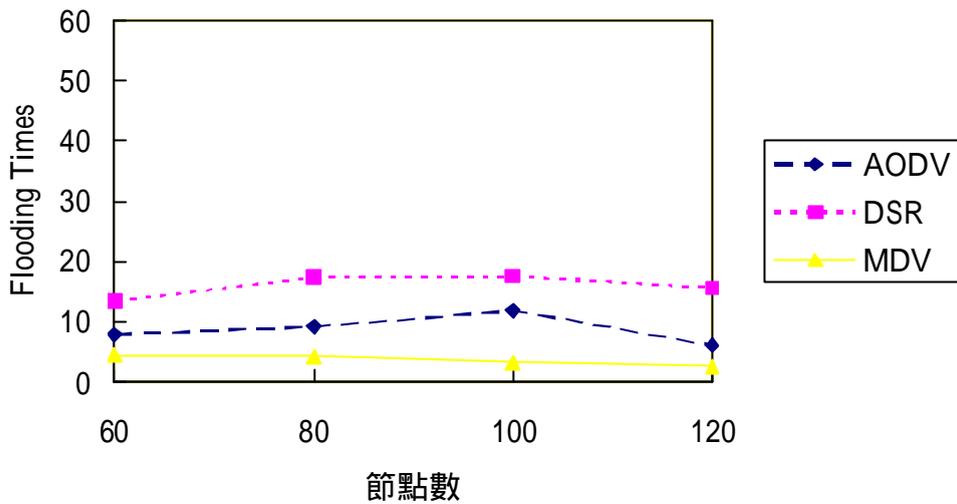
(a)



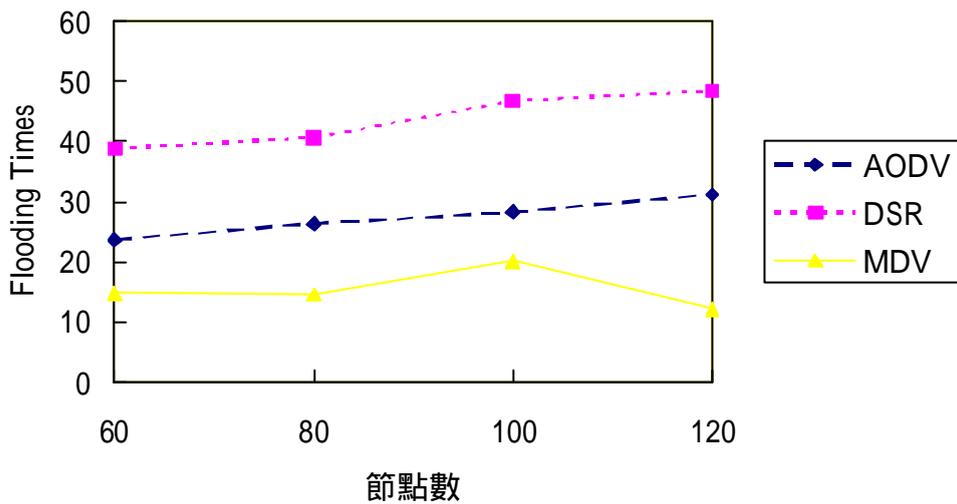
(b)

圖 3.20 點對點延遲比較圖(a)低度變動網路狀態(b)高度變動網路狀態

氾流次數為各個繞送方法啟動路徑搜尋的次數，此數據為需求導向通訊協定所特有。每次的氾流會在網路上不斷廣播製造出大量的需處理封包，造成網路的嚴重負擔。因此氾流頻率越小，對於整個網路的所有節點與資源造成的總影響會越小。實驗結果如圖 3.21。



(a)



(b)

圖 3.21 泛流次數比較圖(a)低度變動網路狀態(b)高度變動網路狀態

另外我們假設在一個包含 30 個固定不動節點，各節點之訊號傳送距離為 50 的網路，封包都可以完全傳送的環境，將三種方法分別進行一次完整會談，並且調整不同的資料封包大小，分別為 16 位元組，32 位元組，64 位元組，128 位元組，計算各種繞送方法在網路上所產生的資料封包總量。此實驗之環境如圖 3.22，封包將由圖中左

上角的節點 0 傳送到右下角的節點 1。實驗結果如圖 3.23。

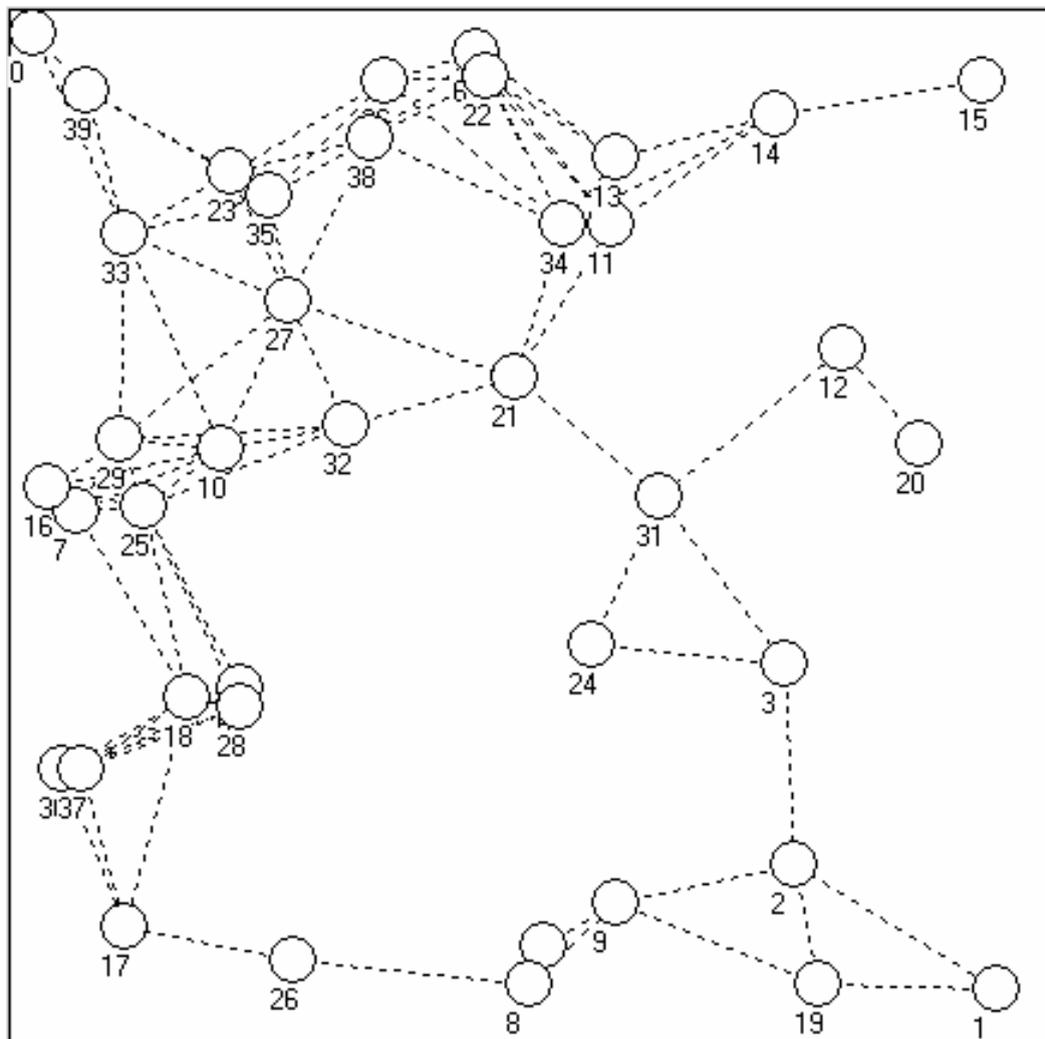


圖 3.22 不同資料封包大小實驗的環境

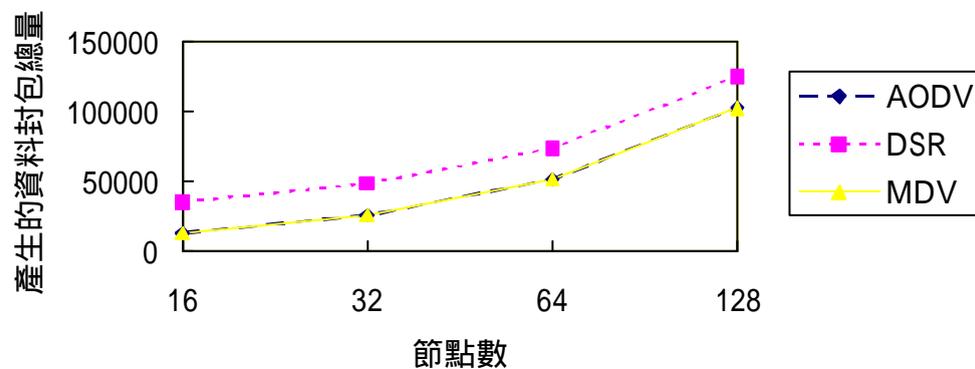


圖 3.23 不同資料封包大小實驗的結果

3.5.3 實驗結果討論

由 3.5.1 的實驗中證明了 MDV 的路徑搜尋機制能夠有效的尋找數條無迴圈路徑，並且不會搜尋到太多的路徑，而造成太大的汨流與浪費網路資源的情況。同時我們發現，以 MDV 所找到的多條路徑，在質與量上面都比一般單純尋找無迴圈路徑的方法 或是流水號檢查的方法還要有更好的效果。

3.5.2 的實驗說明了 MDV 的繞送方法與 AODV、DSR 比較起來，在降低繞送負載與減少汨流頻率上都有著出色的效能，也由此可知 MDV 能夠找到多條有效的路徑，直接的減少許多次的封包汨流，並且間接的大量減少繞送協定對於整個網路產生的繞送負載。而另外在封包遺失率與點對點延遲的效能上也都能有與 AODV、DSR 相當的效果。另外資料封包總量的實驗結果說明了本方法在傳送資料封包上，使用分散式的方法，與 DSR 比較起來能夠有效的減少傳送的總資料量，而與 AODV 有著相同的效果。其中在資料封包原始大小越小時，DSR 的繞送方法所增加的資料量越顯著。

第四章 結論與未來研究方向

4.1 結論

本論文提出的方法有著可以有效的尋找路徑、提供來源節點對於多條路徑的掌控、提供避免單向連結路徑的機制、簡化資料封包傳送花費等優點。雖然在路徑搜尋以及維護時較一般的單路徑方法多了一段繞送設定的時間，但繞送設定是獨播的動作，對於路徑之外的網路節點不會造成負擔。相較於 AODV 中網路上幾乎每一個節點都會被設下繞送表格，且主要路徑之外的節點，需要等待一段時間才被允許刪除這個表格，本論文的方法可以省下這些硬體資源浪費。而相較於 DSR 的來源繞送方法，本論文的方法在資料封包繞送時可以節省許多硬體資源。本論文的多路徑方法也有避免單向連結路徑以及提供備份路徑的功能。備份路徑最大的好處在於路徑維護時不需要重新發出氾流，由實驗效果證明本論文的方法與一般單一路徑繞送協定相較之下，將可以大量減少對於整個網路產生的繞送負載。因此，考慮到對於整體網路與硬體資源的運用上，本論文的方法將是一個很有實用價值的方法。

4.2 貢獻

綜合上節所述，本論文所提出的多路徑隨意網路繞送演算法有以下貢獻：

- (1) 以多路徑的方法快速尋找替代路徑，減輕網路封包氾流的頻率。也就是減少了路徑維護的時間與對於整個網路的資源所造成的負擔。
- (2) 以多路徑的方法解決了單向連結的問題，保證所尋找到的路

徑都會是完全雙向連結的路徑，當路徑有錯誤時才能夠正確的回報。

- (3) 以 DSR 的路徑搜尋方法尋找多條路徑，為一種簡單有效的多路徑方法。尋找路徑時使用 DSR 的來源繞送法，將比 AODV 的方法要容易管理的多，並且一般來說不會消耗使用中路徑以外的節點任何的資源。
- (4) 以 AODV 的資料封包繞送方法傳送封包，當有大量資料封包需要傳送時，AODV 的距離向量法將比 DSR 的來源繞送法來的簡單且有效率，節省硬體資源。

4.3 未來研究方向

我們將本論文可能進行的未來研究列舉如下：

- (1) 目前對於隨意網路的通訊協定的實作上，因為若要在行動裝置上實作將受到許多阻礙。如：硬體驅動程式、底層通訊協定的原始碼或函式庫的提供、介面開放、作業平台限制...等問題。因此目前研究上通常都僅止於使用模擬方式來實作的階段。未來只要這些資源提供完善後，將可以在行動裝置上實作隨意網路的通訊。
- (2) 本論文的方法並未考慮對於群播(multicast)的支援，將來可以研究如何在我們的方法之中加入群播的機制，使得我們的方法更合乎一些群播應用上的需求，如無線隨意網路上的視訊會議、多人語音聊天室等。
- (3) 本論文的方法可以在來源節點建立多條路徑的繞送表格，但是一次只使用一條路徑來傳輸，未來可以考慮網路所提供的資源來使用多條路徑同時傳輸。如此可以分散對於路徑上的

節點資源的使用，或是提供容錯、服務品質控制等機制。

- (4) 本論文的方法尋找路徑的機制之下，所找到的路徑雖然相較於流水號檢查方法所找到的路徑減少了許多的路徑上游節點重複的現象，但是在找到的路徑結果仍不算穩定，無法預估其中是否有著許多的重複連結。將來可以尋找更好的方法來尋找更適合的多條路徑。

參考文獻

- [1] C.K. Toh, Ad Hoc Mobile Wireless Networks, Prentice Hall, 2002
- [2] M.Gerla, S. Lee, C.K. Toh. A Simulation Study of an Ad Hoc Routing Protocol for Multihop Mobile Wireless Networks. Computer Science Department, University of California, Los Angeles, 1998.
- [3] S. Corson, J. Macker. Mobile Ad Hoc Networking, Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations. IETF RFC 2501, 1999, <http://www.ietf.org/rfc/rfc2501.txt>
- [4] J. Broch, D. A. Maltz, D. B. Johnson, Y.C. Hu, and J. Jetcheva. A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols. Proceedings of MOBICOM, 1998.
- [5] A S. Tanenbaum. Computer Networks: Third Edition, Prentice Hall PTR, New Jersey, 1996.
- [6] P. Johansson, T. Larsson, N. Hedman, B. Mielczarek, and M. Degermark. Scenario-based performance analysis of routing protocols for mobile ad-hoc networks. In Proceedings of MOBICOM, 1999.
- [7] H. Xiao, W. K.G. Seah, A. Lo and K.C. Chua. A Flexible Quality of Service Model for Mobile Ad Hoc Networks. Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference, 2000.
- [8] E. M. Royer, C.K. Toh. A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks. IEEE Personal Communications, Vol.62, pp. 46-55, April 1999.

- [9] C. E. Perkins, P. Bhagwat, Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers. *Computer Communications Review*, pp. 234-244, October 1994.
- [10] S. Murthy, J.J. Garcia-Luna-Aceves. An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks. *ACM Mobile Networks and App. J.*, Special Issue on Routing in Mobile Communication Networks, pp. 183-97, October 1996.
- [11] S. Murthy and J.J. Garcia-Luna-Aceves. Distributed Bellman-Ford routing protocol (DBF), A Routing Protocol for Packet Radio Networks. *Proc. ACM International Conference on Mobile Computing and Networking*, 1995
- [12] P. Jacquet, P. Muhlethaler, A. Qayyum, A. Laouiti, L. Viennot, T. Clausen. Optimized Link State Routing Protocol. IETF Internet-Draft, 2001. [http://www.ietf.org/internetdrafts /draft-ietf-manet-olsr-06.txt](http://www.ietf.org/internetdrafts/draft-ietf-manet-olsr-06.txt)
- [13] T. W. Chen, M. Gerla. Global State Routing: A New Routing Scheme for Ad-hoc Wireless Networks. *Proceedings of IEEE Int'l Conference on Communications (ICC'98)*, 1998.
- [14] G. Pei, M. Gerla, and T. W. Chen. Fisheye State Routing: A Routing Scheme for Ad Hoc Wireless Networks. *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications*, 2000.
- [15] J. Garcia-Luna and M. Spohn. Source Tree Adaptive Routing (STAR) Protocol. IETF Internet-Draft, 1999. [http://www.ietf.org/internetdrafts /draft-ietf-manet-star-00.txt](http://www.ietf.org/internetdrafts/draft-ietf-manet-star-00.txt).
- [16] C. E. Perkins and E. M. Royer. Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing. *Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, 1999.

- [17] C. E. Perkins, E. M. Royer. Multicast Ad hoc On-Demand Distance Vector (MAODV) Routing. IETF Internet-draft, 2000, <http://www.ietf.org/internetdrafts/draft-ietf-manet-maodv00.txt>
- [18] D. Johnson, D. A. Maltz, and J. Broch. The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks. IETF Internet Draft, 1999, <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-dsr-02.txt>.
- [19] S. R. Das, C. E. Perkins, and E. M. Royer. Performance Comparison of Two On-demand Routing Protocols for Ad Hoc Networks. Proceedings of INFOCOM, 2000.
- [20] V. D. Park, S. Corson. A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks. Proceedings of INFOCOM , 1997.
- [21] C-K. Toh. Associativity-Based Routing for Ad-Hoc Mobile Networks. Wireless Personal Communications, Vol. 4, No. 2, pp. 1-36, March 1997.
- [22] R. Dube, C. D. Rais, K. Y. Wang, and S. K. Tripathi. Signal stability based adaptive routing (SSA) for ad-hoc mobile networks. IEEE Personal Communications, February 1997.
- [23] S. Guo, O. W. Yang. Performance of Backup Source Routing (BSR) in mobile ad hoc networks. IEEE Wireless Networking Conference, 2002.
- [24] C. M. Chung, Y. H. Wang, and C. C. Chuang, Ad Hoc On- Demand Backup Node Setup Routing Protocol, Proceedings of the 15th IEEE International Information Networking Conference, 2001.
- [25] Z. Haas and M. Pearlman. The Zone Routing Protocol for Highly Reconfigurable Ad-Hoc Networks. Proceedings of ACM SIGCOMM 98, 1998.

- [26] M. Gunes, U. Sorges, and I. Bouazizi. ARA - The Ant-Colony Based Routing Algorithm for MANETs. Proceedings of International Conference on Parallel Processing Workshops (ICPPW'02), 2001.
- [27] S. Singh, M. Woo, and C. S. Raghavendra. Power Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks. Proceedings of MOBICOM, 1998.
- [28] R. C. Shah and J. Rabaey. Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2002.
- [29] Y. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin. Geography Informed Energy Conservation for Ad Hoc Routing. In Proceedings of the Seventh ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing (ACM MOBICOM) and Networking, 2001
- [30] Y. Ko and N. H. Vaidya, "Location-Aided Routing (LAR) Mobile Ad Hoc Networks," In Proceedings of MOBICOM, 1998.
- [31] M. K. Marina and S. R. Das. On-demand Multipath Distance Vector Routing in Ad Hoc Networks. Proceedings of IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP), 2001.
- [32] A. Nasipuri, S.R. Das. On Demand Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Networks. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN'99), 1999.
- [33] K. Wu and J. Harms, Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Networks. IEEE ComSoc/KICS Journal of Communications and Networks, Special Issue on Innovations in Ad Hoc Mobile Pervasive Networks, Vol. 4, No. 1, March 2002, pp. 48-58.

- [34] A. Tsirigos, Z. J. Haas, and S. Tabrizi. Multipath Routing in Mobile Ad Hoc Networks or How to Route in the Presence of Topological Changes. IEEE MILCOM'2001, 2001.
- [35] M. Pearlman and Z. Haas. Improving the Performance of Querybased Routing Protocols Through "Diversity Injection". Proceedings of WCNC'99,. 1999.