

# 國立交通大學

資訊管理研究所

碩士論文

一個以 Ant-Tabu 為基礎的無基礎行動網路路由演算法

An Ant-Tabu-Based Routing Algorithm for Mobile Ad Hoc Networks

研究生：梁文典

指導教授：羅濟群 博士

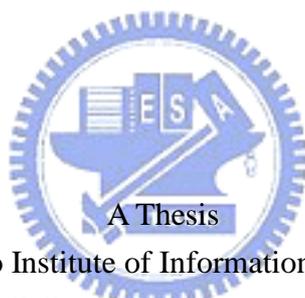
中華民國 九十五年 六月

一個以 Ant-Tabu 為基礎的無基礎行動網路路由演算法  
An Ant-Tabu-Based Routing Algorithm for Mobile Ad Hoc Networks

研究生：梁文典  
指導教授：羅濟群

Student: Wen-Tien Liang  
Advisor: Chi-Chun Lo

國立交通大學  
資訊管理研究所  
碩士論文



Submitted to Institute of Information Management  
College of Management  
National Chiao Tung University  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master of Business Administration  
in  
Information Management  
June 2006  
Hsinchu, Taiwan, the Republic of China

中華民國 九十五年 六月

# 一個以 Ant-Tabu 為基礎的無基礎行動網路路由演算法

研究生：梁文典

指導教授：羅濟群 博士

國立交通大學

資訊管理研究所

## 摘要

無基礎行動網路(mobile ad hoc networks)可視為一種藉由行動通訊節點所自我組成(self-organized)的無線網路，其優點在於不需要任何基礎設備(infrastructure)的支援即可運作，其特點是動態網路拓樸(topology)與多點跳躍(multi-hop)的傳輸方式，由於無基礎行動網路的特點，使得傳統有線網路的路由方式無法適用於無基礎行動網路，因此有許多新的路由方式紛紛被提出來，然而這些路由方式只解決了動態網路拓樸環境下尋找路由路徑的問題，無法同時解決多點跳躍傳輸方式所產生的問題，有鑑於此，本研究將提出一新的路由演算法(Ant-Tabu-Based Routing Algorithm, ATBRA)以螞蟻演系統(ant system)與禁忌搜尋法(tabu search)為基礎，並證明其能同時解決動態網路拓樸與多點跳躍傳輸方式所產生的問題。

關鍵字：無基礎行動網路、動態網路拓樸、多點跳躍、螞蟻演系統、禁忌搜尋法、路由演算法

# An Ant-Tabu-Based Routing Algorithm for Mobile Ad Hoc Networks

Student: Wen-Tien Liang

Advisor: Dr. Chi-Chun Lo

National Chiao Tung University

Institute of Information Management

## Abstract

Mobile ad hoc networks can be regarded as the category of wireless networks self-organized by mobile nodes. Being capable of operating without the support of any infrastructure is its advantage; dynamic topology and multi-hop relaying are its features. Due to its features, conventional wired networks' routing protocols can't be applied into mobile ad hoc networks so there are more and more new routing protocols are proposed. However, those routing protocols are used to solve the problem of finding route in dynamic topology and can't be used to solve the problem of multi-hop relaying as well. With a view to this situation, we will propose a new routing algorithm (Ant-Tabu-Based Routing Algorithm, ATBRA) which bases on ant system and tabu search. We will prove it can solve the problems resulted from dynamic topology and multi-hop relaying.

Key words: mobile ad hoc networks, dynamic topology, multi-hop relaying, ant system, tabu search, routing protocol

## 誌謝

本論文的完成，首先要感謝家人這兩年來的支持與鼓勵，尤其是父母無怨無悔的付出，讓我得以順利取得交通大學碩士學位。

其次要感謝羅濟群老師在研究過程中所給予的指導，尤其是教導我要勇於做自己喜歡又與其他人不同的事，我會遵循老師的教誨並在未來的工作生涯中追求卓越的表現。

最後要感謝實驗室的學長姐、同學與學弟們，在這兩年的學習過程中給予我的協助。



# 目錄

第一章 緒論.....	- 1 -
1.1 研究動機.....	- 1 -
1.2 研究目標.....	- 2 -
1.3 研究方法.....	- 3 -
1.4 章節介紹.....	- 4 -
第二章 文獻探討.....	- 5 -
2.1 無基礎行動網路(Mobile Ad-Hoc Networks).....	- 5 -
2.1.1 無基礎行動網路的特性.....	- 5 -
2.1.1.1 動態拓樸(Dynamic Topology).....	- 5 -
2.1.1.2 多點跳躍(Multi-Hop).....	- 5 -
2.1.2 無基礎行動網路的應用.....	- 8 -
2.1.2.1 軍事用途.....	- 8 -
2.1.2.2 商業用途.....	- 8 -
2.2 無基礎行動網路的路由協定.....	- 9 -
2.2.1 路由協定分類.....	- 9 -
2.2.1.1 Table-Driven.....	- 9 -
2.2.1.2 On-Demand.....	- 11 -
2.2.1.3 Hybrid.....	- 13 -
2.2.1.4 Swarm-Intelligence.....	- 14 -
2.2.2 路由協定比較.....	- 16 -
2.3 Ant-Tabu Algorithm.....	- 17 -
2.3.1 螞蟻系統(Ant System).....	- 17 -
2.3.1.1 Ant-Cycle.....	- 20 -
2.3.1.2 Ant-Density.....	- 20 -
2.3.1.3 Ant-Quantity.....	- 21 -
2.3.2 禁忌搜尋法(Tabu Search).....	- 22 -
2.3.3 Ant-Tabu Algorithm.....	- 24 -
第三章 Ant-Tabu-Based Routing Algorithm.....	- 25 -
3.1 自私節點(Selfish Node)問題.....	- 25 -
3.2 惡意節點(Malicious Node)問題.....	- 26 -
3.3 Ant-Tabu-Based Routing Algorithm.....	- 26 -
3.3.1 路徑探索階段.....	- 26 -
3.3.2 路徑回應階段.....	- 30 -
3.3.3 資料封包傳送階段.....	- 30 -
第四章 模擬與結果分析.....	- 33 -
4.1 模擬流程.....	- 33 -

4.2 模擬結果與分析.....	- 38 -
4.2.1 動態拓樸的影響.....	- 38 -
4.2.2 節點數目的影響.....	- 39 -
4.2.3 封包大小的影響.....	- 40 -
4.2.4 封包數目的影響.....	- 41 -
4.2.5 傳送間距的影響.....	- 42 -
4.2.6 自私節點的影響.....	- 43 -
4.2.7 費洛蒙蒸發率的影響.....	- 45 -
4.3 模擬結果比較.....	- 46 -
第五章 結論與未來研究方向.....	- 47 -
5.1 結論.....	- 47 -
5.2 未來研究方向.....	- 48 -
參考文獻.....	- 49 -



## 圖目錄

圖一 蜂巢式網路運作方式.....	- 6 -
圖二 無基礎行動網路運作方式.....	- 7 -
圖三 結合單點跳躍與多點跳躍的通訊方式.....	- 8 -
圖四 無基礎行動網路路由協定分類.....	- 9 -
圖五 DSDV 路由方式(1).....	- 10 -
圖六 DSDV 路由方式(2).....	- 11 -
圖七 DSR 路由方式.....	- 12 -
圖八 ZRP 路由方式.....	- 13 -
圖九 ARA 路由方式.....	- 14 -
圖十 真實螞蟻路徑探索過程.....	- 18 -
圖十一 旅行推銷員問題.....	- 18 -
圖十二 啟發式搜尋法求解過程.....	- 23 -
圖十三 ATBRA 整體流程圖.....	- 32 -
圖十四 模擬流程圖.....	- 34 -
圖十五 動態拓樸對 SDR 的影響.....	- 38 -
圖十六 動態拓樸對 RO 的影響.....	- 38 -
圖十七 節點數目對 SDR 的影響.....	- 39 -
圖十八 節點數目對 RO 的影響.....	- 40 -
圖十九 封包大小對 SDR 的影響.....	- 40 -
圖二十 封包大小對 RO 的影響.....	- 41 -
圖二十一 封包數目對 SDR 的影響.....	- 41 -
圖二十二 封包數目對 RO 的影響.....	- 42 -
圖二十三 傳送間距對 SDR 的影響.....	- 42 -
圖二十四 傳送間距對 RO 的影響.....	- 43 -
圖二十五 自私節點對 SDR 的影響.....	- 43 -
圖二十六 自私節點對 RO 的影響.....	- 44 -
圖二十七 費洛蒙蒸發率對 SDR 的影響.....	- 45 -
圖二十八 費洛蒙蒸發率對 RO 的影響.....	- 45 -

## 表目錄

表一 蜂巢式網路與無基礎行動網路的比較.....	- 7 -
表二 以螞蟻演算法為基礎的路由機制研究.....	- 15 -
表三 路由協定比較.....	- 16 -
表四 DSR、ARA 與 ATBRA 路由封包比較.....	- 28 -
表五 ARA 與 ATBRA 費洛蒙累積方式比較.....	- 28 -
表六 DSR、ARA 與 ATBRA 路徑選擇方式比較.....	- 29 -
表七 ARA 與 ATBRA 的機率計算方式.....	- 29 -
表八 實驗結果比較.....	- 46 -



# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機

隨著網路技術的普及與資訊科技的日新月異，現今社會處處可見到各種體積小而功能強大的行動通訊裝置，例如 PDA 與 Smart Phone 等，隨著 3G 與 WiMax 時代的來臨，這些行動通訊裝置在高速的無線網路傳輸環境下，將可提供我們更多即時與便捷的資訊服務。

目前所使用的無線網路傳輸環境大多需要依靠基礎設備(infrastructure)的支援才能運作，例如基地台(base station)或無線擷取器(access point)，然而這些基礎設備所能涵蓋的通訊範圍有限，若行動通訊裝置移動到此範圍以外便無法取得網路服務，此外，基礎設備需要時間來完成佈署，對於發生大型災難時的緊急救援行動，若是既有的基礎設備遭受破壞，則無法提供立即的網路服務。

有鑑於此，無基礎行動網路(mobile ad hoc networks)被提出來避免上述的缺點，無基礎行動網路可視為一種藉由行動通訊節點所自我組成(self-organization)的無線網路環境，其優點在於不需要任何基礎設備的支援即可運作，其特點是行動通訊節點的移動性所造成的動態網路拓樸(topology)環境與節點間透過多點跳躍(multi-hop)的傳輸方式來達到通訊的目的，由於缺乏基礎設備的支援，因此無基礎行動網路必須採用分散的方式(distributed manner)來解決路由與資源管理等問題。

由於無基礎行動網路具有動態網路拓樸環境與多點跳躍傳輸方式等特點，使得傳統有線網路的路由方式無法適用於無基礎行動網路，因此有許多新的路由方式紛紛被提出來，例如 DSDV[2]、DSR[3]、ZRP[23]與 ARA[17]等，然而這些路由演算法只解決了動態網路拓樸環境下尋找路由路徑的問題，無法同時解決多點跳躍傳輸方式所產生的問題，例如自私節點(selfish node)與惡意節點(malicious

node)等問題，因此，本研究希望能發展出一路由演算法，使其能同時解決動態網路拓撲與多點跳躍傳輸方式所產生的問題。

## 1.2 研究目標

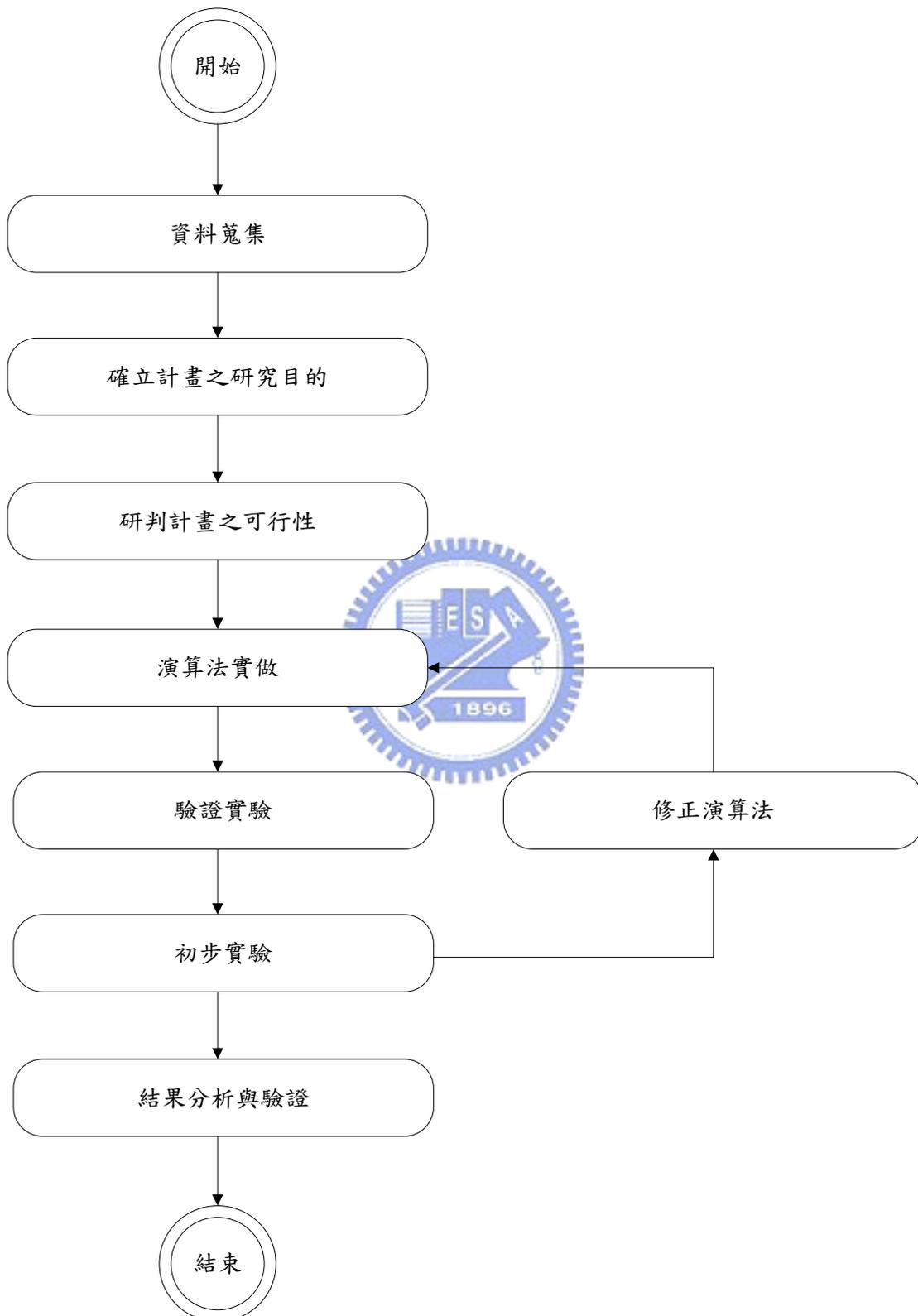
本研究的目標是提出一適用於無基礎行動網路的路由演算法，使其不僅能在高度動態的網路拓撲環境中能有很高的效能，並且能解決多點跳躍傳輸方式所產生的問題，例如自私節點(selfish node)與惡意節點(malicious node)等問題。

所謂的自私節點是指節點基於本身資源的有限，例如電力或運算能力，而丟棄其它節點所傳來不屬於自己封包。所謂的惡意節點是指藉由惡意的攻擊行為，達到竊取資料或使某些節點無法正常的使用網路服務的目的，例如 Black Hole 攻擊，在這種攻擊模式下，惡意節點藉由對其它節點宣稱自己擁有到達攻擊目標節點的最短路徑，使得其它節點要傳遞封包給攻擊目標節點時，封包都會先經過此惡意節點，此惡意節點就可將這些封包收集或丟棄以達到竊取資料或阻斷其它節點與攻擊目標節點的通訊。

若是路由演算法在尋找路由路徑時，將自私節點或惡意節點納入所尋找到的路由路徑中，將會降低網路效能與增加 routing overhead，因此本研究認為有必要將解決多點跳躍傳輸方式所產問題的方法納入路由演算法的路由路徑搜尋機制中。

本研究以 M. Gunes, U. Sorges, and I. Bouazizi 所提出的 ARA (Ant-Colony Based Routing Algorithm) [17]為基礎，此種路由演算法的是藉由模擬真實螞蟻尋找路徑的方法，利用螞蟻所累積的費洛蒙來達到指引路由封包尋找路由路徑的目的，使得此種路由演算法具有效能高與路由封包小的優點，本研究將根據此演算法加以修改，並採用 Taichi Kaji 所提出的方法學(Ant-Tabu Algorithm)[22]，將不理想的節點(自私或惡意等節點)視為螞蟻尋找路徑時的禁忌名單(tabu list)，使得在尋找路徑的過程中，能降低將這些節點納入路由路徑的可能性。

### 1.3 研究方法



## 1.4 章節介紹

第二章將針對相關的主題做文獻探討，其內容包括無基礎行動網路的特性與應用、既有路由協定的分類與本研究所採用的方法學(Ant-Tabu Algorithm)介紹；第三章則對本研究所提出的路由演算法(Ant-Tabu-Based Routing Algorithm, ATBRA)做詳細介紹；第四章則介紹本研究所使用的模擬流程與模擬結果分析；第五章為結論與未來研究方向。



## 第二章 文獻探討

### 2.1 無基礎行動網路(Mobile Ad-Hoc Networks)

無基礎行動網路可視為一種藉由行動通訊節點所自我組成的無線網路環境，其特點是行動通訊節點的移動性所造成的動態網路拓樸與節點間透過多點跳躍的傳輸方式來達到通訊的目的，由於不需基礎設備的支援即可運作，目前用途以軍事或緊急救援行動為主，未來還有可能運用於商業用途。

#### 2.1.1 無基礎行動網路的特性

##### 2.1.1.1 動態拓樸(Dynamic Topology)

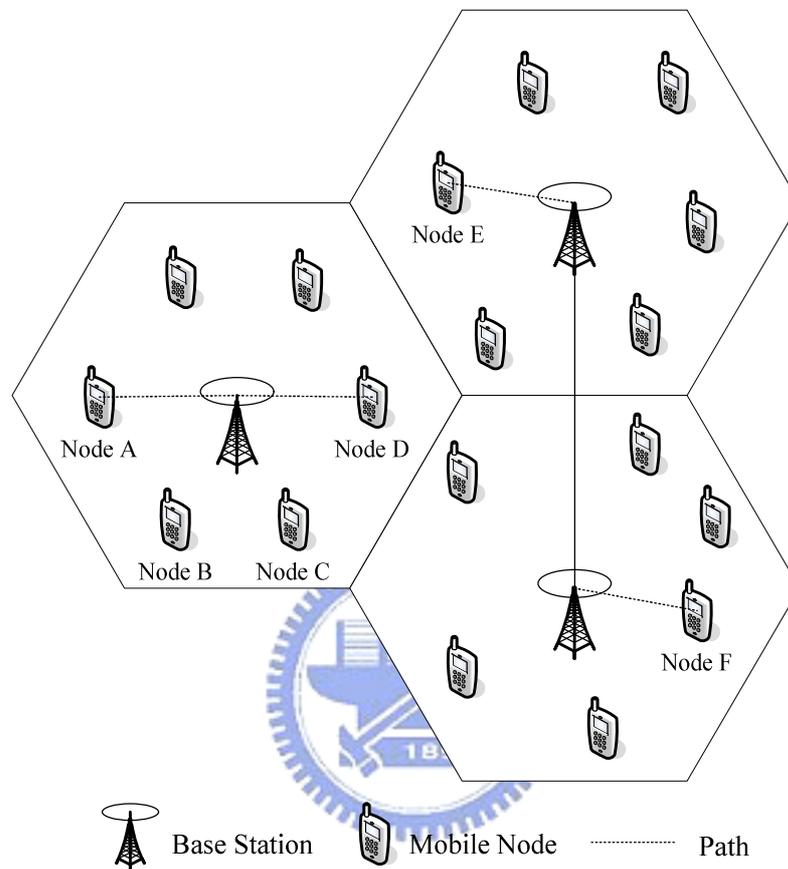
動態拓樸起因於無基礎行動網路的通訊節點具有移動性，這些通訊節點可隨時進入或離開網路環境並在網路環境中任意的移動，為滿足節點移動性的需求，這些節點往往具備有限的運算能力或電源供應，並且使用無線網路作為傳輸媒介。

##### 2.1.1.2 多點跳躍(Multi-Hop)

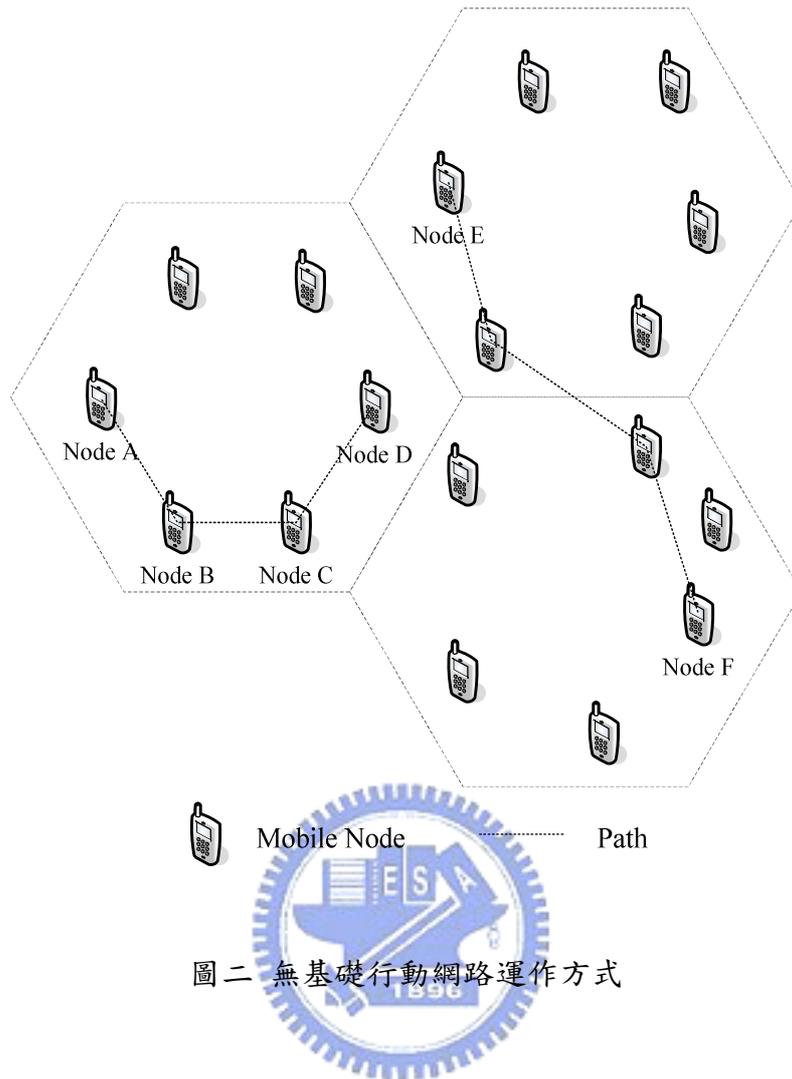
目前所使用的無線網路傳輸環境大多需要依靠基礎設備的支援才能運作，例如蜂巢式網路(cellular networks)，其運作方式如圖一所示，節點 A 與節點 D 之間的任何通訊都必須藉由一個基地台的協助才能完成，而任兩節點的通訊經由第三個節點的傳遞即可完成的傳輸方式稱為單點跳躍(single-hop)。蜂巢式網路的優點在於基地台的存在可採集中的方式來做路由與資源的管理，以提供較安全與穩定的通訊服務，其缺點在於環境的建置需耗費成本且基地台若故障或節點移動到基地台通訊範圍以外則無法通訊等缺點。

而無基礎網路的運作方式如圖二所示，節點 A 與節點 D 之間的通訊可藉由任何介於兩個節點之間的數個節點的協助來完成，因此封包傳遞路徑的選擇較為

彈性但也因此較為複雜，而節點之間的通訊藉由多個節點的傳遞來完成的傳輸方式稱為多點跳躍(multi-hop)。由於無基礎行動網路缺乏基地台的存在，使得路由與資源的管理必須採取分散的方式來處理。



圖一 蜂巢式網路運作方式



圖二 無基礎行動網路運作方式

表一 蜂巢式網路與無基礎行動網路的比較[1]

	蜂巢式網路	無基礎行動網路
基礎設備支援	有	無
資源管理方式	集中式	分散式
封包傳遞方式	單點跳躍	多點跳躍
環境建置成本	高	低
環境建置時間	長	短
路由方式	簡單	複雜
應用領域	手機通訊	軍事或緊急救援行動

## 2.1.2 無基礎行動網路的應用

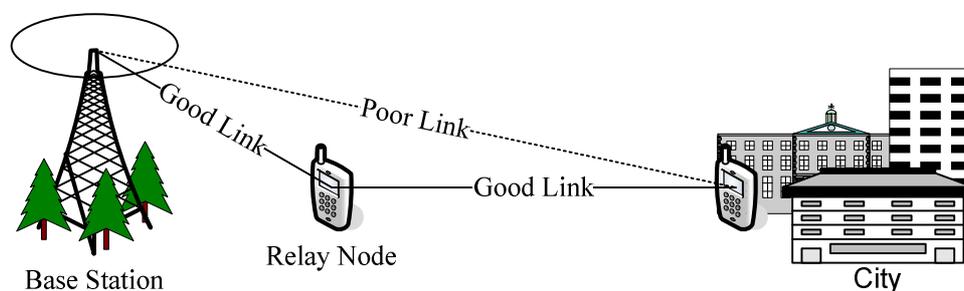
由於無基礎行動網路不需任何基礎設備的支援，具有網路環境建置需求成本低與速度快的特性，因此可用於軍事或緊急救援行動等，未來隨者無基礎行動網路技術的發展，還有可能應用在商業用途以提供我們更便利的生活。

### 2.1.2.1 軍事用途

在軍事用途方面，無基礎行動網路特別適合用來作為軍隊作戰時通訊的媒介，由於在敵軍領土建立基礎設備來協助通訊幾乎無法立即辦到的，此時無基礎行動網路就可做為即時的通訊方式，此外，對於大型的軍事單位，例如戰鬥機或軍艦等，可藉由衛星所提供的全球定位系統(Global Positioning System, GPS)來使無基礎行動網路的路由與資源的管理運作更有效率。

### 2.1.2.2 商業用途

雖然電磁波對人體的危害與否尚未有科學的定論，但拆除都會地區的基地台的行動早已在台灣社會展開，此舉將造成都會地區手機的通訊品質的下降，而無基礎行動網路的機制可讓都會地區的手機藉由多點跳躍的方式傳遞訊息或是將訊息帶到偏遠地區基地台能涵蓋的範圍內，此種結合單點跳躍與多點跳躍的通訊方式如圖三所示。



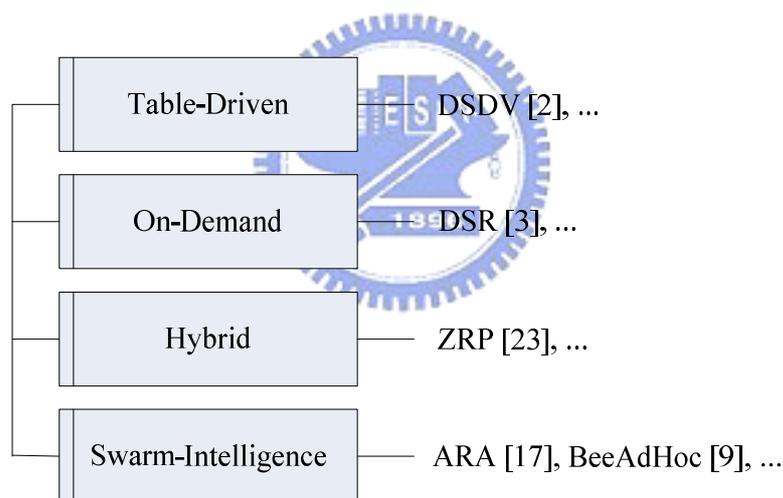
圖三 結合單點跳躍與多點跳躍的通訊方式

## 2.2 無基礎行動網路的路由協定

路由協定(routing protocol)的作用在於使網路節點能互相交換路由訊息而找到傳遞封包到目的節點(destination node)的路由路徑，由於無基礎行動網路具有動態網路拓樸與多點跳躍傳輸方式等特性，使得傳統有線網路的路由協定並無法直接套用在無基礎行動網路環境中，因此許多針對無基礎行動網路而設計的路由協定紛紛被提出來。

### 2.2.1 路由協定分類

目前應用在無基礎行動網路的路由協定可依據路由資訊更新方式分為以下四類，如圖四所示：



圖四 無基礎行動網路路由協定分類

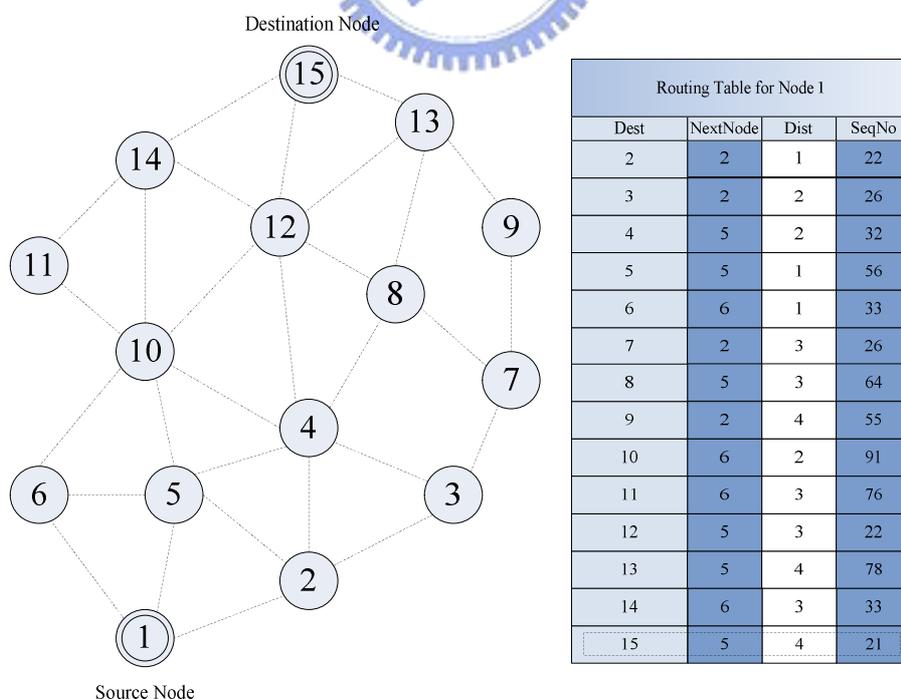
#### 2.2.1.1 Table-Driven

此種路由方式是由傳統有線網路的路由方式所變化而成的。在 table-driven 的路由方式中，每個節點都會負責維護一個路由表(routing table)來記錄所有的封包傳送路徑，其缺點是為了確保路由表所記錄資料的正確與即時性，每隔一段時間，節點之間就必須彼此交換路由資訊而產生大量的路由封包，且路由封包的量會受節點數目與網路拓樸變動率的影響，當節點數目越多或網路拓樸變動率越大

時，所產生的路由封包也就越多，因此無法適用於節點數目多或高度動態網路拓樸的無基礎行動網路環境下；其優點是節點可藉由查詢路由表而立刻得到路由路徑。

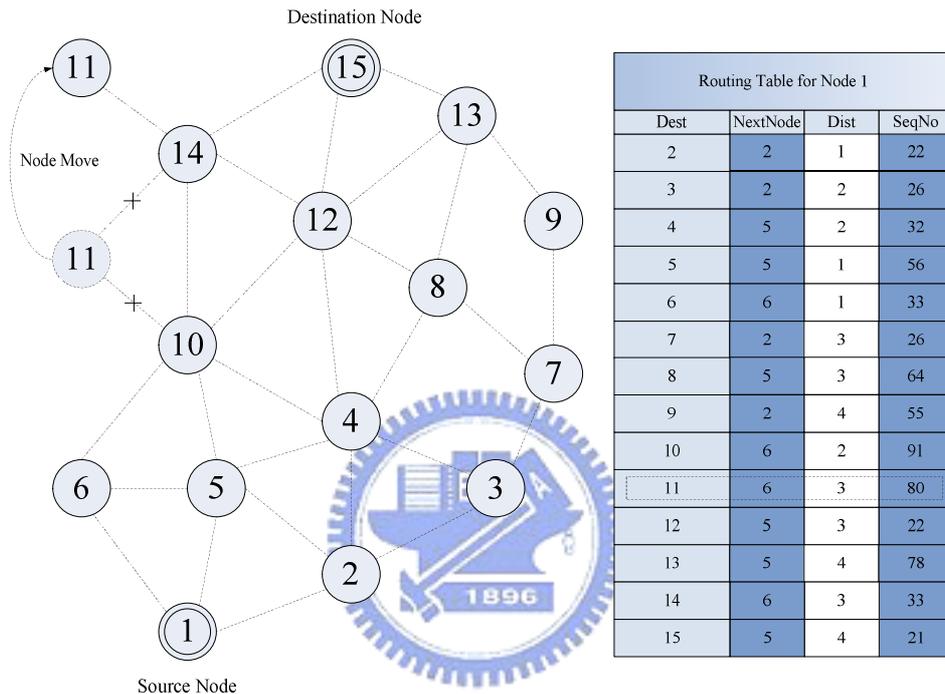
DSDV(Destination Sequenced Distance-Vector)[2]是一個屬於 table-driven 的路由協定，每個節點都各自維護一路由表，其內容記錄當節點要將封包傳遞到某目標節點(destination node)時，此節點接下來應該將封包傳給哪個鄰近節點(neighbor nodes)，每隔一段時間，節點之間就會交換路由資訊以更新路由表來確保路由路徑的即時與正確性。

路由資訊的更新起源於某目的節點與新節點建立連線時，此目的節點就會將此路由資訊賦予一個更新序號(sequence number)並且廣播給其鄰近節點，當鄰近節點收到此訊息後，即可藉由比較更新序號來確認這是否是新的路由資訊，若是新的路由資訊則會更新自己的路由表並把此資訊再廣播給其鄰近節點，若是舊的資訊就會將它忽略。



圖五 DSDV 路由方式(1)

如圖五所示，節點 1 是資料封包的來源節點而節點 15 是資料封包的目的地節點，節點 1 的路由表記錄了到每個節點的路由資訊，例如由節點 1 到節點 15 的最短路徑是經由節點 5 並且須經過 4 個 hop，而此路由資訊的更新序號是 21，若是再收到由節點 15 所散佈的路由資訊且其更新序號大於 21 時，即可判定是新的路由資訊。



圖六 DSDV 路由方式(2)

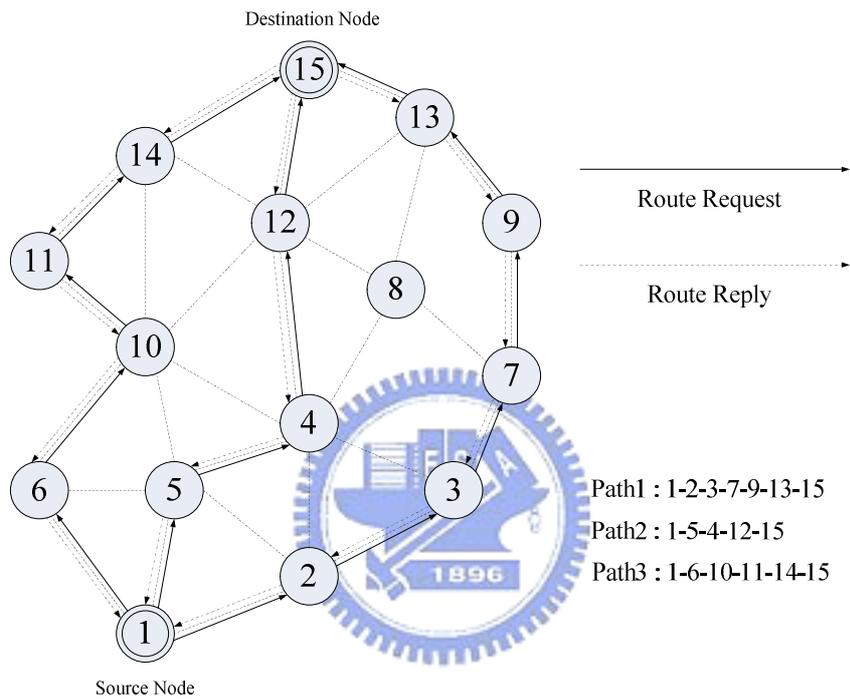
如圖六所示，當節點 11 因為移動而與其鄰近節點 10 與 14 之間的連線中斷時，其它節點會暫時無法傳遞封包給節點 11，直到節點 11 與節點 14 再次建立連線後，新的路由資訊又會再次廣播給每個節點，收到此路由資訊的節點就可更新 routing table 而得到節點 11 的路由路徑。

### 2.2.1.2 On-Demand

為了解決 table-driven 路由方式所產生大量路由封包占據網路頻寬的問題，因此 on-demand 的路由方式被提出。在 on-demand 的路由方式中，唯有當節點間需要傳遞封包時，才須經由路徑探索機制來尋找路由路徑，其優點是所產生的路

由封包受網路拓樸變動率的影響較低，因此在高度動態的網路拓樸環境下仍能保有很好的效能；其缺點在於封包傳輸前須等待路由探索的機制完成後才能開始。

DSR(Dynamic Source Routing)[3]是一個屬於 on-demand 的路由協定，每個節點平時不需維護路由表，唯有當節點需要傳遞封包給某目的節點時，才須經由一路徑探索機制尋找到此目的節點的路由路徑。



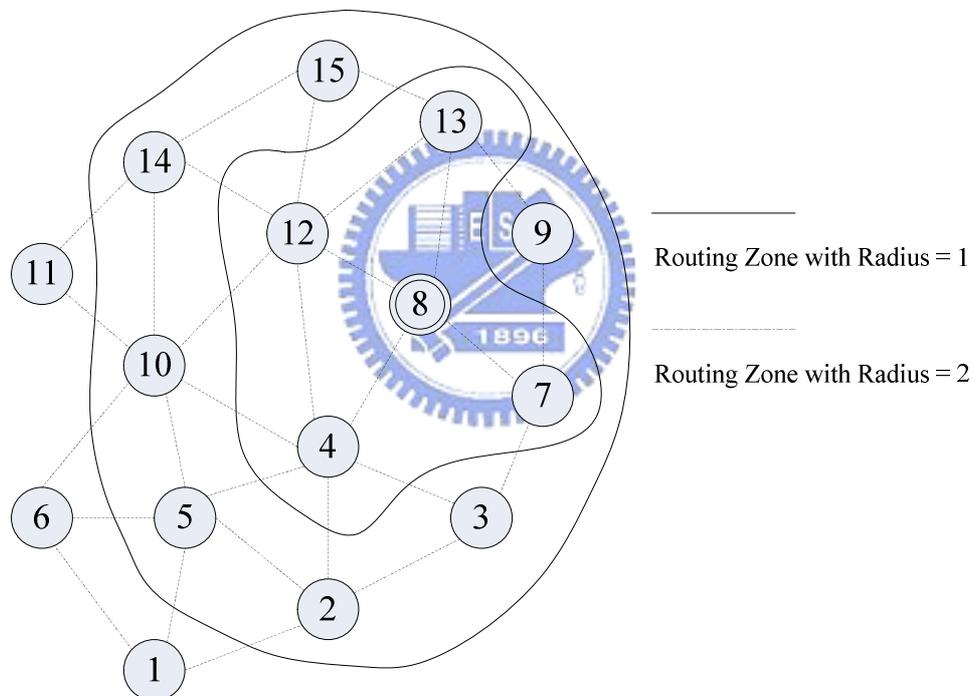
圖七 DSR 路由方式

圖七所示，當節點 1 需要傳遞封包給節點 15 時，節點 1 會廣播路由請求(route request)封包到它的鄰近節點，當鄰近節點收到路由請求封包時，會先確認此路由請求封包在先前是否已處理過，若已處理過則將其丟棄，若是沒處理過則會檢查自己是否是路由請求封包所要尋找的目的節點，若是則回覆一路由回應(route reply)封包，使得此路由回應封包能將路由路徑帶回到來源節點，若不是則會將自己的節點 ID 記錄到路由請求封包中後再將其廣播給鄰近節點，最後節點 1 共得到三條到達節點 15 的完整路由路徑。

### 2.2.1.3 Hybrid

為了整合 table-driven 與 on-demand 路由方式的優點並且適用於節點數目較多的無基礎行動網路環境下的路由方式，因此 hybrid 的路由方式被提出來。在 hybrid 的路由方式中，近距離節點間的路由路徑可藉由查詢路由表而立刻得到，而遠距離節點的路由路徑需藉由路徑探索機制才能獲得。

ZRP(Zone Routing Protocol)[23]是一個屬於 hybrid 的路由協定，若目的節點位於來源節點的 routing zone 以內的區域，則採用 table-driven 的方式決定路由路徑，反之，則採用 on-demand 的方式。



圖八 ZRP 路由方式

如圖八所示，假設節點 8 的 routing zone 範圍是在與節點 8 hop 數相距 2 以內的節點，而 hop 數與節點 8 相距為 1 的節點(7、4、12、13)屬於 interior nodes，hop 數與 node 8 相距為 2 的節點(2、3、5、9、10)屬於 peripheral nodes。

當節點 8 要與位於 routing zone 以內的節點(例如節點 10)通訊時，只要經由查詢自己維護的路由表即可得到路由路徑，當節點 8 要與位於 routing zone 以外

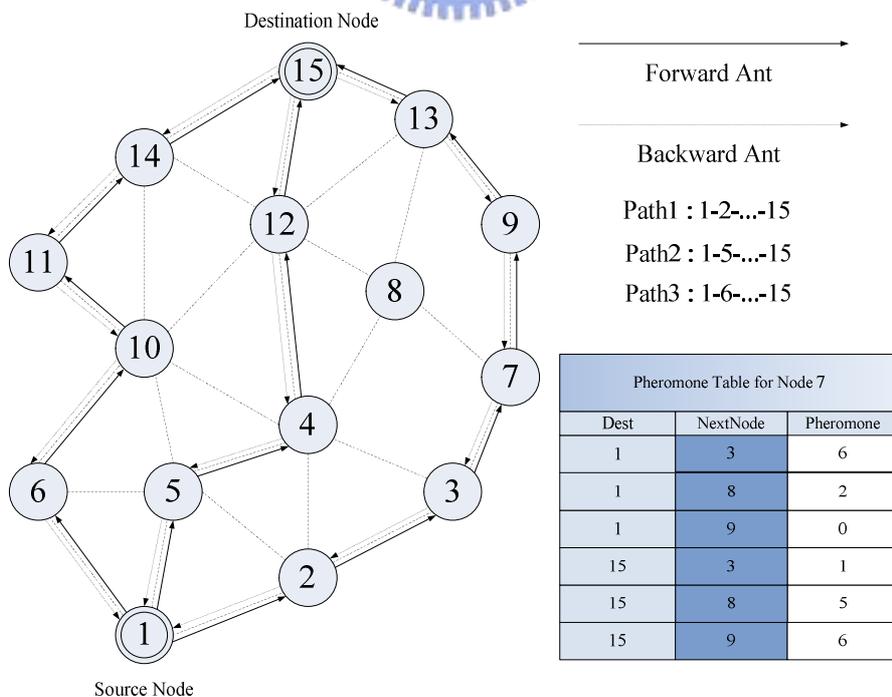
的節點(例如節點 11)通訊時，就必須要藉由路徑探索機制來尋找路徑。

所謂的路徑探索機制是節點 8 會廣播路由請求封包到它的 peripheral nodes，若是目標在某 peripheral node 的 routing zone 以內，則此 peripheral node 會回覆路由回應封包給節點 8 並告知路由路徑，反之，則再次將此 route request 封包廣播給其 peripheral nodes。

### 2.2.1.4 Swarm-Intelligence

Swarm-intelligence 路由方式是藉由觀察生物(例如：螞蟻與蜜蜂等)的習性而得到啟發的，這些生物通常靠著一些簡單的群體智慧卻能有效的解決許多複雜的問題(例如：尋找食物與採蜜等)，因此 swarm-intelligence 路由方式可藉由模仿這些簡單的群體智慧來達到路由路徑尋找的目的。

ARA(Ant-based Routing Algorithm)[17]是藉由模擬真實螞蟻尋找食物的行為所設計的路由演算法，其方法是藉由費洛蒙的濃度來指引螞蟻有效的尋找到路由路徑。



圖九 ARA 路由方式

如圖九所示，當節點 1 需要尋找到節點 15 的路由路徑時，forward ants 會被傳遞到其鄰近節點，鄰近節點就可藉由經過的螞蟻來累積費洛蒙，例如節點 7 的費洛蒙表所紀錄的費洛蒙值表示曾經有節點 1 所散佈的螞蟻由節點 3 與節點 8 傳遞過來，也曾經有節點 15 所散佈的螞蟻由節點 3、節點 8 與節點 9 傳遞過來，由於費洛蒙值會與所經過螞蟻數目成正比而與所累積的時間長度成反比，因此可知螞蟻由節點 7 往節點 9 移動而找到節點 15 的機率最大，當 forward ants 找到節點 15 後，節點 15 會將收到的 forward ant 轉換成 backward ant，並同尋找路徑過程的機制回到節點 1，當節點 1 收到 backward ant 時，可知道對節點 15 的路徑探索已經完成。

近年來有許多以螞蟻演算法為基礎的路由機制研究，其方法名稱與目的如表二所示：

表二 以螞蟻演算法為基礎的路由機制研究

方法名稱	目的
ABEC[19]	以節省電力消耗為目的的路由演算法
ABLS[18]	應用於大型網路環境下的路由演算法
GPAL[5]	結合 GPS 以提升網路效能的路由演算法
ARAAI[24]	控制費洛蒙蒸發率提升網路效能的路由演算法

### 2.2.2 路由協定比較

表三 路由協定比較[14] [17]

	DSDV (Table-Driven)	DSR (On-Demand)	ZRP (Hybrid)	ARA (Swarm-Intelligence)
Availability of route	Always available	Determined when needed	–	Determined when needed
Routing overhead <sup>a</sup>	–	Lower than ARA	–	Higher than DSR
Periodic updates	Yes	Not required	–	Not required
Delay level	Small	Higher than DSDV	–	Higher than DSDV
Scalability level	Up to 100 nodes	Up to few hundred nodes	Designed for up to 1000 or more nodes	Up to few hundred nodes
Performance <sup>b</sup>	Bad	Good	–	Between DSDV and DSR

<sup>a</sup> in packet

<sup>b</sup> in high dynamic topology

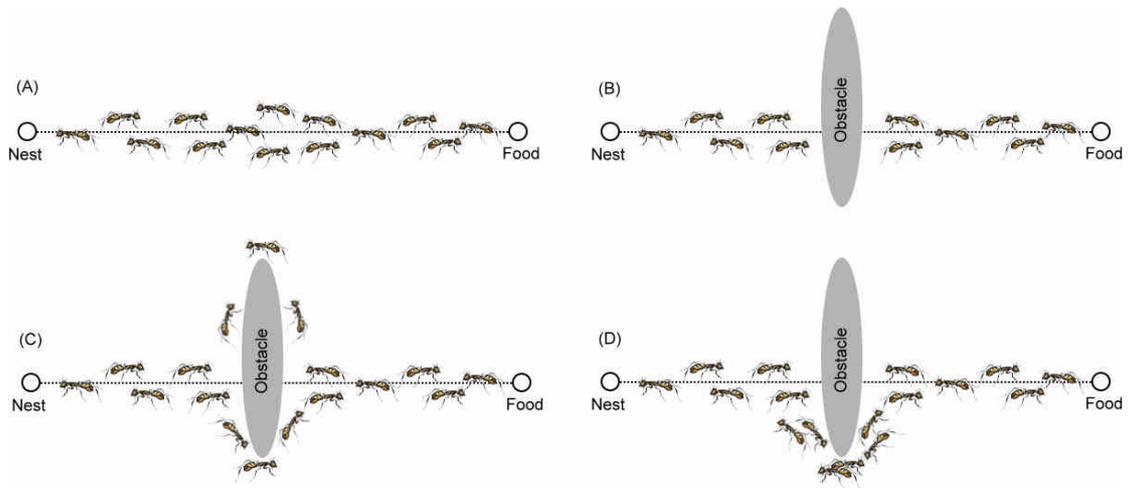
## 2.3 Ant-Tabu Algorithm

螞蟻系統(ant system)是藉由模擬自然界螞蟻的行為而發展出一套尋找最佳路徑的方法，而禁忌搜尋法(tabu search)源自於古老人類對於懼怕的事物擁有許多禁忌而發展出一套跳脫區域最佳解的方法，由於螞蟻系統在隨機圖形(Random graph) [26]容易陷入區域最佳解而無法找到全域最佳解，Taichi Kaji 於是整合上述兩種方法學而提出 Ant-Tabu Algorithm [22]。

### 2.3.1 螞蟻系統(Ant System)

螞蟻系統(ant system) [4]是由 Dorigo 首先提出來，其原始目的在於解決旅行推銷員問題(traveling salesman problem)，由於其優秀的尋優能力，使得有越來越多學者投入相關研究並且應用在其它各種不同的領域上，如資料採礦領域用以做資料分群[12][15]、資訊安全領域用以做信任證據的散佈[21]與無基礎行動網路用以做路由路徑的探索[17]等。

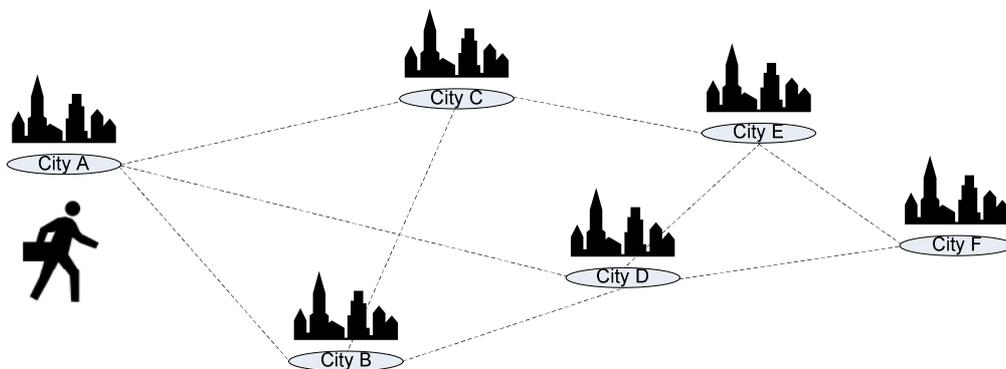
根據研究，真實螞蟻會在尋找食物的路徑上遺留下一種稱為費洛蒙(pheromone)的化學分泌物質，費洛蒙會由螞蟻經過時的遺留而增加，也會由時間的經過因蒸發而減少，而往後的螞蟻會朝費洛蒙濃度較高的路徑移動，如此經過一段時間後，較短的路徑會累計較多的費洛蒙，因此間接的幫助螞蟻找到最短的路徑。根據這個概念，我們可以利用人工螞蟻來模擬真實螞蟻的行為來尋找最佳路徑。



圖十 真實螞蟻路徑探索過程

(A)螞蟻在巢穴與食物間的最短路徑移動 (B)當有障礙物阻擋了這條最短路徑時 (C)螞蟻會嘗試尋找其它到達食物的路徑 (D)由於較短路徑累積較多費洛蒙，因此螞蟻漸漸往較短的路徑移動

螞蟻系統主要包含兩個機制，其一是路徑選擇機率機制，另一是費洛蒙更新機制，藉由結合此兩種機制的螞蟻系統來解決旅行推銷員問題，所謂的旅行推銷員問題如圖十一所示，給定某一數量的城市及城市之間移動所需的成本，目標是使推銷員能以最低的成本拜訪每個城市並且回到原來出發的城市，以下我們就以旅行推銷員問題為例子來介紹此兩種機制。



圖十一 旅行推銷員問題

在螞蟻系統中，螞蟻 $k$ 由城市 $i$ 選擇前往下一個城市 $j$ 的機率計算方式如下：

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k \in \text{allowed}_k} [\tau_{ik}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ik}]^\beta} & \text{if } j \in \text{allowed}_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

其中  $\text{allowed}_k$  代表與城市  $i$  相鄰但尚未被螞蟻  $k$  所拜訪過的城市； $\tau_{ij}(t)$  是路徑  $(i,j)$  在時間  $t$  所累積的費洛蒙濃度； $\eta_{ij}$  是經過路徑  $(i,j)$  所需付出的成本(在螞蟻系統中， $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ ,  $d_{ij}$  表示節點  $i$  到  $j$  的距離)；而  $\alpha$  與  $\beta$  參數是用來控制  $\tau_{ij}(t)$  與  $\eta_{ij}$  對於決定選擇路徑時的相對重要性。當計算出來的機率越大，螞蟻就越有可能選擇這條路徑並遺留下越多的費洛蒙。

螞蟻系統中另一個重要的機制就是費洛蒙更新機制，費洛蒙的增加是由螞蟻經過路徑時所遺留的，而費洛蒙的減少是隨時間經過而蒸發的，其計算方式如下：

$$\tau_{ij}(t + \Delta t) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}$$

其中  $\Delta t$  代表一段時間； $\rho$  代表這段時間的費洛蒙蒸發率；而  $\Delta\tau_{ij}$  的計算方式如下：

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k$$

其中  $\Delta\tau_{ij}^k$  代表在此段時間中，螞蟻  $k$  在路徑  $(i,j)$  所遺留下來的費洛蒙，假設有  $m$  隻螞蟻經過路徑  $(i,j)$ ，因此費洛蒙在路徑  $(i,j)$  的總累積量為個別累積量的加總；而  $\Delta\tau_{ij}^k$  的計算方式可再區分為 ant-cycle、ant-density 與 ant-quantity 三種，以下我們就這三種不同的費洛蒙累積方式分別討論。

### 2.3.1.1 Ant-Cycle

在 ant-cycle 模式底下，當螞蟻 k 完成一個 cycle (由出發城市開始尋訪每個城市後並回到原來出發的城市)以後，才會對每個城市累積費洛蒙，其累積的量計算方式如下：

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & \text{if ant k goes through the path (i,j)} \\ & \text{in its tour bewteen time t and t+\Delta t} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

其中 Q 是一個常數值， $L_k$  是螞蟻 k 尋訪過所有城市路徑長的總和，若螞蟻 k 在  $\Delta t$  此段時間中有經過路徑(i,j)則會遺留下  $Q/L_k$  的費洛蒙，否則螞蟻 k 在路徑(i,j)所遺留的費洛蒙為 0。

### 2.3.1.2 Ant-Density

在 ant-density 模式底下，螞蟻 k 在尋訪路徑的過程中就會對每個城市累積費洛蒙，其累積的量計算方式如下：

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} Q & \text{if ant k goes through the path (i,j)} \\ & \text{bewteen time t and t+1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

其中，螞蟻 k 會對每個經過的路徑(i,j)都累積相同數量的費洛蒙 Q。

### 2.3.1.3 Ant-Quantity

在 ant-quantity 模式底下，螞蟻 k 在尋訪路徑的過程中就會對每個城市累積費洛蒙，其累積的量計算方式如下：

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{d_{ij}} & \text{if ant } k \text{ goes through the path } (i,j) \\ & \text{between time } t \text{ and } t+1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

其中， $d_{ij}$  代表路徑(i,j)的距離，因此螞蟻 k 會對經過較短的路徑(i,j)都累積較多數量的費洛蒙  $Q/d_{ij}$ 。



### 2.3.2 禁忌搜尋法(Tabu Search)

禁忌搜尋法是由 Glover[7]所提出的一種跳脫區域最佳解(local optimal solution)的搜尋程序，可以廣泛的應用在各種不同的領域，例如銷售員尋訪問題(traveling salesman problem)、路徑指派問題(path assignment)與排程問題(scheduling)等。

現存解決最佳化問題的方法可區分為兩種，一種是利用傳統的方法，例如 greedy search、divide and conquer 與 dynamic programming 等等，另一種是利用評估函數(evaluation function)所形成的啟發式搜尋法(heuristic search)，例如 neural network、ant system 與 genetic algorithm。使用傳統方法的好處在於求解速度快與準確性高，但是當問題情況改變或遇到新的問題時，就必須重新設計解決問題的演算法，而使用啟發式搜尋法的優點在於只需要調整評估函數來判斷搜尋結果的好壞，因此可以將相同的演算法廣泛的應用在類似的問題上，其缺點是在利用評估函數往較好解移動的過程中容易陷入區域最佳解。

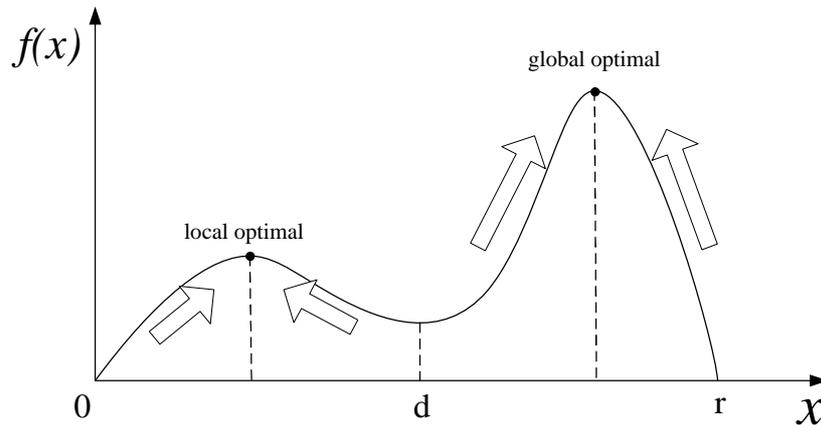
所謂的區域最佳解與全域最佳解的定義[16]如下：

$$f(x^*) > f(x) \text{ for all } x \in R \text{ for which } |x-x^*| < d$$

當有個評估函數  $f(x)$  在  $x=x^*$  所得到的解，在  $|x-x^*| < d$  的範圍內無法求得更好解時，此時  $x=x^*$  就是此區域的最佳解。

$$f(x^*) > f(x) \text{ for all } x \in R$$

當評估函數  $f(x)$  在  $x=x^*$  所得到的解，在所有可行解(feasible solution) $R$  中無法找到更好的解時，則  $x=x^*$  就是全域的最佳解。



圖十二 啟發式搜尋法求解過程

如圖十二所示，當啟發式搜尋法求到的解位於 0 與  $d$  之間，由於評估函數的影響，往後的求解過程會往區域最佳解方向移動，為了使求解的過程中能跳脫區域最佳解而得到全域最佳解，因此才會發展出禁忌搜尋法。

禁忌搜尋法主要由以下模組所組成：

➤ 移步

所謂的移步是指由一疊代解移動到下一疊代解的過程。當禁忌搜尋法開始求解之前，會先由可行解中挑選一解作為起始解並搜尋此解的鄰近解，之後會將所搜尋到最好的鄰近解作為下一疊代的起始解，這個過程就稱為移步。

➤ 禁忌名單(tabu list)

禁忌搜尋法利用短期的記憶(short term memory)將求解過程中遇到的解記錄在禁忌名單中，隨著求解過程的進行，所求得新的解會被加入禁忌名單中，而原來在禁忌名單中的解會因為短期的記憶而從禁忌名單中移除，禁忌名單的其中一項功能在於避免搜尋過程中陷入重複探索的循環，另一項功能在於使得搜尋過程能接受較差的解，使得求解過程能有機會跳脫區域最佳解而探索到全域最佳解。

➤ 破禁原則

若是在求解過程中找到的解在禁忌名單中，但是此解符破禁原則，則可以因為破禁原則而將位於禁忌名單中的解做為下一疊代的起始解。

➤ 停止搜尋原則

當滿足停止搜尋原則時，整個禁忌搜尋的過程就會停止，常見的停止搜尋原則如達到最大疊代次數或滿足最佳解精確度等。

### 2.3.3 Ant-Tabu Algorithm

Ant-Tabu Algorithm主要是改良螞蟻系統會陷入區域最佳解的問題，其方法是藉由以螞蟻系統(Ant System)為主，在尋找路徑的過程中配合禁忌搜尋法的禁忌名單。

在Ant-Tabu Algorithm中，螞蟻k由城市i選擇前往下一個城市j的機率計算方式如下：



$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta T_j}{\sum_{k \in \text{allowed}_k} [\tau_{ik}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ik}]^\beta T_k} & \text{if } j \in \text{allowed}_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

其中 T 代表禁忌名單，由於禁忌名單的影響，使得螞蟻有機會往費洛蒙濃度較低的節點移動而達到跳脫區域最佳解的目的，Taichi Kaji 的實驗結果顯示，雖然此種演算法要花費較多時間來求解，但是所得到的解卻比螞蟻系統好。

## 第三章 Ant-Tabu-Based Routing Algorithm

在既有針對無基礎行動網路環境下所設計的路由演算法中，DSDV(table-driven)無法適用在高度動態網路拓樸環境下，而 DSR(on-demand)雖然能在此環境下有好的效能，但是缺點就是廣播路由封包會產生許多 routing overhead，雖然 ARA(swarm-intelligence)能利用費洛蒙指引路由封包，但是其效能高度動態網路拓樸環境下卻不及 DSR，因此本研究所提出的 ATBRA(Ant-Tabu Routing Algorithm)將整合 DSR 與 ARA 此兩種路由演算法，使其能在高度動態網路拓樸環境下獲得與 DSR 一樣好的效能，同時所產生的 routing overhead 卻較少。

此外，本研究認為多點跳躍傳輸方式所產生的自私節點與惡意節點對於無基礎行動網路的路由效能有嚴重的影響，但是目前尚無相關的路由演算法能解決此問題，因此，本研究所提出的路由演算法(ATBRA)將整合螞蟻演算法與禁忌搜尋法來解決此方面的問題。



### 3.1 自私節點(Selfish Node)問題

在無基礎行動網路的環境下，由於每個節點擁有絕對的自主權，在其有限的電力與運算能力的條件之下，某些節點可能在使自己的利益最大化的原則之下，選擇丟棄其它節點所傳來不屬於自己的封包，我們稱這種節點為自私節點(selfish nodes)，自私節點的存在將會嚴重影響網路的效能，因此若是在路徑探索階段時將自私節點納入路由路徑中，不但會使傳送的封包被丟棄，更會造成路由路徑必須重新探索而產生更多的 routing overhead，因此本研究所提出的 ATBRA 路由演算法將螞蟻演算法利用費洛蒙濃度來選擇路徑的機制結合禁忌名單的概念來降低將自私節點納入路由路徑的可能性。

## 3.2 惡意節點(Malicious Node)問題

由於無基礎行動網路資料的傳遞必須藉由節點間彼此相互的合作才能有效運作，然而無基礎行動網路具有以無線網路傳輸、具移動性的節點、分散式的資源管理與節點電力有限的特色，使得惡意節點可以很容易地利用假的路由資訊或大量的路由請求封包來影響整體網路運作的效能，例如 Black Hole 與 Denial of Service[8]。

在 Black Hole 攻擊模式下，惡意節點藉由對其它節點宣稱自己擁有到達攻擊目標節點的最佳路徑，因此其它節點要傳遞給攻擊目標節點的封包都會經過此惡意節點，此惡意節點就可以蒐集或丟棄這些資料封包來達到竊取資料或阻斷其它節點與攻擊目標節點通訊的目的。

在 Denial of Service 擊模式下，惡意節點藉由傳遞大量的路由請求封包來攻擊特定節點，達到占據攻擊節點的網路頻寬或消耗電力的目標，使其無法再和其它節點通訊。



## 3.3 Ant-Tabu-Based Routing Algorithm

本研究所提出的 Ant-Tabu-Based Routing Algorithm(ATBRA)，其主要目的是為了解決動態網路拓撲環境與多點跳躍傳輸方式下所產生的問題，ATBRA 流程主要包含三個階段，依序為路徑探索階段(phase 1)、路徑回應階段(phase 2)與資料封包傳送階段(phase 3)，此三階段分別敘述如下：

### 3.3.1 路徑探索階段

階段 1：路徑探索(依序經過來源節點、中介節點與目的節點)

(1-1)：來源節點需要傳送資料封包到某目的節點

(1-2)：詢問 route cache 是否有到達目的節點的路由路徑，若有則跳到(3-1)，若

是沒有則進行(1-3)

(1-3)：建立尋找路由路徑的 forward ant，以來源節點的 ID 與節點自己維護的序號作為每個 forward ant 的代號，並且依資料封包的需求(ex:穩定路由或安全路由)，將尋找過程中需要排除的節點(ex:自私節點或惡意節點)加入 forward ant 的禁忌名單中，節點資訊搜集的方法參考[13]與[6]

(1-4)：中介節點收到 forward ant

(1-5)：中介節點利用紀錄在 forward ant 路由路徑中的節點資料累積費洛蒙，累積費洛蒙的方式如下所述：

由於 ATBRA 中的螞蟻所記錄的都是完整的路由路徑，螞蟻依序經過的節點都會被紀錄起來，因此費洛蒙的累積量可以採用 Ant-Quantity 方式計算，其計算方式如下：


$$\Delta\tau_{n \rightarrow i}^j = \frac{Q}{\text{hop}_{ij}}$$

其中， $\Delta\tau_{n \rightarrow i}^j$  代表節點 i 藉由從鄰近節點 n 所傳來的螞蟻而對節點 j 所累積的費洛蒙量，節點 j 是螞蟻曾經過並紀錄在其路由路徑中的節點；Q 是一定值， $\text{hop}_{ij}$  是節點相距的 hop 數，因此節點 i 所累積的費洛蒙量會與 hop 數成反比。

而在 ARA 中的螞蟻沒有紀錄路由路徑的完整資訊，因此費洛蒙的累積量必須採用 Ant-Density 方式計算，其計算方式如下：

$$\Delta\tau_{n \rightarrow i}^s = Q$$

其中， $\Delta\tau_{n \rightarrow i}^s$  代表節點 i 藉由從鄰近節點 n 所傳來的螞蟻而對螞蟻來源節點 s 所累積的費洛蒙量，其值都是一定值 Q。

表四 DSR、ARA 與 ATBRA 路由封包比較

	DSR	ARA	ATBRA
紀錄資訊	完整路由路徑	來源節點與目的節點	完整路由路徑
優點	能將完整路徑帶回	路由封包較小	能將完整路徑帶回
缺點	路由封包較大	無法將完整路徑帶回	路由封包較大

表五 ARA 與 ATBRA 費洛蒙累積方式比較

	ARA	ATBRA
累積方式	$\Delta\tau_{n \rightarrow i}^s = Q$ (Ant-Density)	$\Delta\tau_{n \rightarrow i}^j = Q/\text{hop}_{ij}$ (Ant-Quantity)
優點	計算方式簡單	累積速度快且能依據 hop 數而累積不等量的費洛蒙
缺點	累積速度慢且不能依據 hop 數而累積不等量的費洛蒙	計算方式複雜

(1-6)：依 forward ant 的代號來判別是否已處理過，若是已處理過則進行(1-7)，若是沒有則跳到(1-8)

(1-7)：將已處理過的 forward ant 丟棄，避免因中介節點重新廣播 forward ant 而重複處理相同代號的 forward ant

(1-8)：依 forward ant 要尋找的目的節點來判別是否已經有此目的節點的費洛蒙累積，若是沒有則進行(1-9)，若有則跳到(1-10)

(1-9)：利用重新廣播 forward ant 做為路徑節點選擇方式

(1-10)：利用費洛蒙與禁忌名單做為路徑節點選擇方式

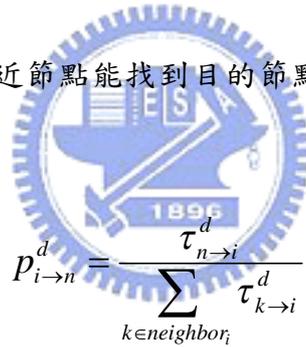
ATBRA 與其它路由演算法(ARA 與 DSR)最大的不同點在於路徑選擇方式，

ATBRA 的路徑選擇方式取決於此節點是否有目的節點的費洛蒙累積，若是沒有，則以廣播的方式將 forward ant 傳遞給所有鄰近節點，若有費洛蒙累積則計算選擇每個鄰近節點能找到目的節點的機率，其計算方式如下：

$$P_{i \rightarrow n}^d = \frac{\tau_{n \rightarrow i}^d \cdot T_n}{\sum_{k \in neighbor_i} \tau_{k \rightarrow i}^d \cdot T_k}$$

其中， $P_{i \rightarrow n}^d$  代表節點 i 將 forward ant 傳給鄰近節點 n 能找到目的節點 d 的機率； $\tau_{n \rightarrow i}^d$  代表節點 i 藉由從鄰近節點 n 所傳來的螞蟻而對目標節點 d 所累積的費洛蒙量； $T_n$  代表鄰近節點 n 是否在 forward ant 的禁忌名單中，若鄰近節點 n 在 forward ant 的禁忌名單中，其值為 0，反之則為 1；k 代表所有的鄰近節點。

ARA 計算選擇每個鄰近節點能找到目的節點的機率的方式只有依靠費洛蒙，其計算方式如下：



$$P_{i \rightarrow n}^d = \frac{\tau_{n \rightarrow i}^d}{\sum_{k \in neighbor_i} \tau_{k \rightarrow i}^d}$$

表六 DSR、ARA 與 ATBRA 路徑選擇方式比較

	DSR	ARA	ATBRA
選擇方式	廣播	費洛蒙	廣播、費洛蒙與禁忌名單

表七 ARA 與 ATBRA 的機率計算方式

	ARA	ATBRA
計算方式	$P_{i \rightarrow n}^d = \frac{\tau_{n \rightarrow i}^d}{\sum_{k \in neighbor_i} \tau_{k \rightarrow i}^d}$	$P_{i \rightarrow n}^d = \frac{\tau_{n \rightarrow i}^d \cdot T_n}{\sum_{k \in neighbor_i} \tau_{k \rightarrow i}^d \cdot T_k}$

(1-11)：目的節點收到 forward ant

(1-12)：目的節點利用紀錄在 forward ant 路由路徑中的節點資料累積費洛蒙

(1-13)：依 forward ant 的代號來判別是否已回應過，若是已回應過則進行(1-14)，  
若是沒有則跳到(2-1)

(1-14)：將已回應過的 forward ant 丟棄，避免因中介節點重新廣播 forward ant 而  
重複回應相同代號的 forward ant

### 3.3.2 路徑回應階段

階段 2：路徑回應(依序經過目的節點、中介節點與來源節點)

(2-1)：目的節點將 forward ant 轉換成 backward ant

(2-2)：中介節點收到 backward ant

(2-3)：中介節點利用紀錄在 backward ant 路由路徑中的節點資料累積費洛蒙

(2-4)：中介節點依 backward ant 的路由路徑傳遞給下一個節點

(2-5)：來源節點收到 backward ant

(2-6)：來源節點利用紀錄在 backward ant 路由路徑中的節點資料累積費洛蒙並將  
backward ant 帶回的路由路徑存入 route cache 中

### 3.3.3 資料封包傳送階段

階段 3：資料封包傳送(依序經過來源節點、中介節點與目的節點)

(3-1)：來源節點將路由路徑加入資料封包並傳遞出去

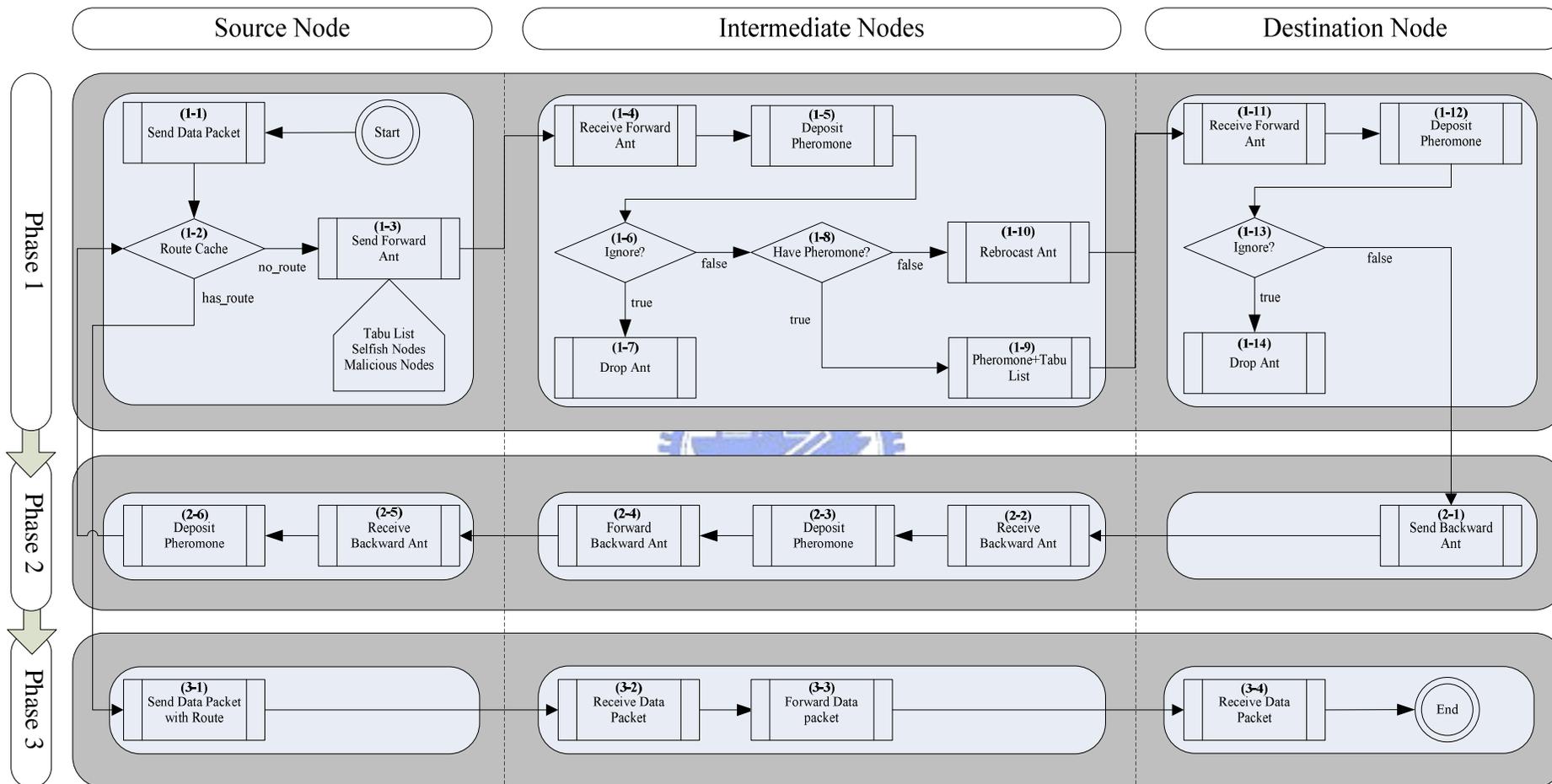
(3-2)：中介節點收到資料封包

(3-3)：中介節依資料封包的路由路徑傳遞給下一個節點

(3-4)：目的節點收到資料封包

ATBRA 流程所包含的路徑探索階段、路徑回應階段與資料封包傳送階段及各階段所依序經過的來源節點、中介節點與目的節點如圖十三所示。





圖十三 ATBRA 整體流程圖

## 第四章 模擬與結果分析

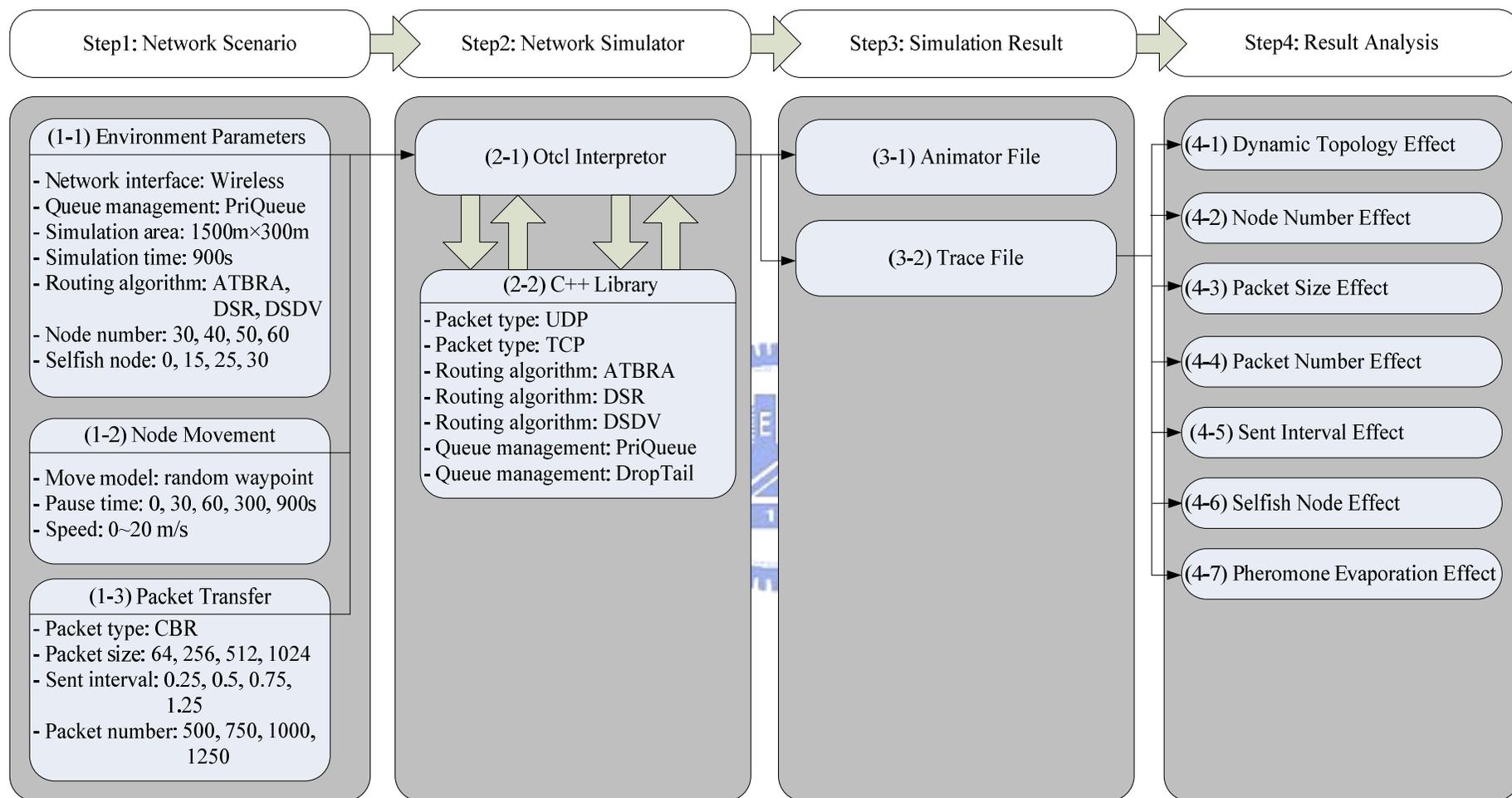
由於要建置真實的網路環境做實驗的成本極高，對於研究網路相關領域形成一定程度的困難，因此 UC Berkeley 開發了一套物件導向的網路模擬軟體—NS2(Network Simulator, version 2)[11]。

NS2 是由 OTcl 與 C++ 共同作為開發語言，使用者可以藉由 OTcl 撰寫網路模擬的情境(network scenario)交由 NS2 做網路模擬，此外，由於 NS2 是開放原始碼(open source)的軟體，使用者可以學術研究用途修改或新增 NS2 內建的 C++ Libraries，例如通訊協定、路由演算法與封包佇列管理方式等，因此本研究利用 NS2 提供的 C++ Libraries 協助下，實做出應用在無基礎行動網路環境下的新路由演算法(ATBRA)。

### 4.1 模擬流程

為了驗證本研究所提出的路由演算法(ATBRA)應用在無基礎行動網路環境下所產生的效能，本研究的模擬流程如圖十四：[10] [25]





圖十四 模擬流程圖

## 步驟一：撰寫模擬情境

### (1-1)：設定環境參數

其內說明節點網路介面(network interface)採用無線(wireless)網路、佇列管理(queue management)方式使用的是 PriQueue(Priority Queue), PriQueue 是一種能根據不同網路流量而調整封包丟棄優先次序的佇列管理方式、模擬範圍為 1500m×300m，節點可在此範圍內任意移動、總模擬時間為 900 秒。

本實驗將使用到三種不同的路由演算法，其中 ATRBA 是本研究所實做出來的路由演算法，而 DSR(on-demand)與 DSDV(table-driven)是 NS2 內建的路由演算法。

此外，為了探討不同節點數目的影響，我們分別在節點數目為 30、40、50 與 60 的情況下實驗；為了探討自私截點的影響，我們分別在路由演算法(ATRBA 與 DSR)中假設在總節點數 50 的情況下，分別有 0、15、25 與 30 個自私節點，而自私節點會有 75%的機率丟棄由其它節點所傳遞過來不屬於自己的封包。

### (1-2)：設定節點移動方式

本實驗節點移動的模式採用 random waypoint model[20]，在此移動模式下，節點會先依照停留時間(pause time)的設定而在某一地點停留一段時間，之後再從模擬範圍內隨機選擇一個目的地後，以介於最小與最大速率之間的一個速率移動到目的地後再停留一段時間，如此週而復始直到模擬時間結束。我們在 5 種不同的停留時間下實驗，分別是 0、30、60、300 與 900 秒，當停留時間越短，表示網路拓樸變動率越高，反之，則表示網路拓樸變動率越低，節點最小移動速率是 0m/s 而最大移動速率是 20m/s。

此外，本研究大部分的模擬都是在高度動態網路拓樸環境下所做的實驗，我們對此環境的定義為在 random waypoint 模式下，節點停留時間為 0 秒且最小移

動速率是 0m/s 而最大移動速率是 20m/s。

### (1-3)：設定資料封包傳送

本實驗所傳遞的資料封包都是 CBR(constant bit rate)，CBR 是一種屬於 UDP 的封包，目的節點收到封包後不需對資料封包的來源節點作回應。

為了探討不同封包大小的影響，我們分別將資料封包設定為 64、256、512 與 1024 bytes 的情況下實驗；為了探討不同封包傳送間距的影響，我們分別將資料封包傳送間距設定為 0.25、0.5、0.75 與 1 秒的情況下實驗；為了探討不同封包數目的影響，我們分別將最大資料封包傳送數目設定為 500、750、1000 與 1250 個的情況下實驗。

### 步驟二：交由 NS2 模擬

#### (2-1)：OTcl Interpreter

OTcl Interpreter 會剖析並模擬網路情境並視網路模擬情境的需要而與 C++ Library 做互動，在模擬結束後會產生實驗結果的記錄檔。

#### (2-1)：C++ Library

C++ Library 是由 C++ 所撰寫的函式庫，專門供應以 NS2 為平台的網路研究，使用者可以依據不同的研究主題(ex: 路由演算法或佇列管理方式)來新增或修改 C++ Library。

### 步驟三：產生模擬結果

#### (3-1)：Animator File

可利用 Network Animator 播放模擬過程的記錄檔。

#### (3-1)：Trace File

可利用 awk 程式語言所撰寫的程式分析模擬結果的記錄檔。

#### 步驟四：模擬結果分析

本研究將對動態拓樸、節點數目、封包大小、封包數目、傳送間距、自私節點與費洛蒙蒸發率對於路由演算法的影響(4-1~4-7)並以下列項目來做評比：

##### ➤ Successful Delivery Rate(以下簡稱 SDR)

要得知一個路由演算法對於網路效能的影響，最重要的評比項目就是 SDR，其計算方式如下：

$$SDR = \frac{\text{total receive packet}}{\text{total sent packet}}$$

其值是由每個節點收到的資料封包數除以每個節點發送的封包數，其值越高，表示路由演算法的效能越高，反之，則越低。

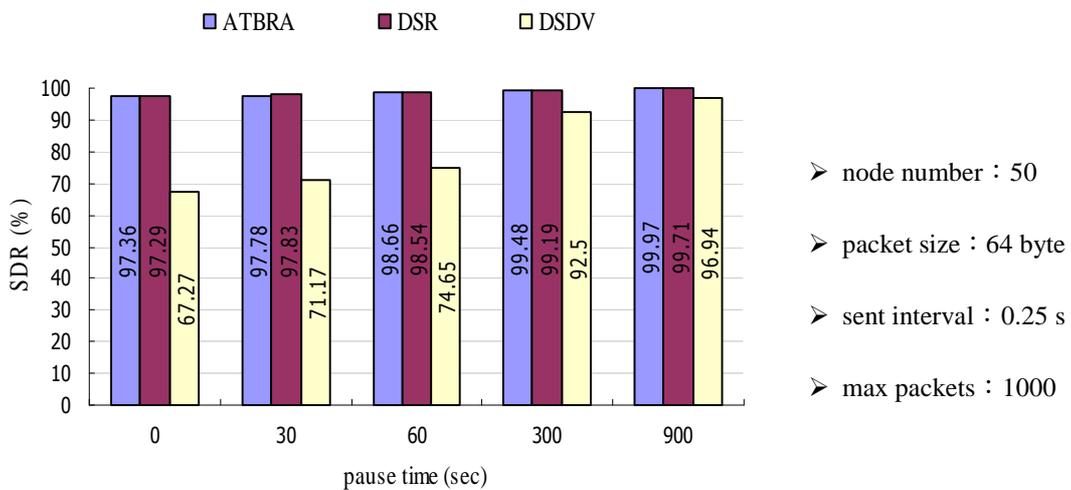
##### ➤ Routing Overhead(以下簡稱 RO)

另一個評比項目是 RO，其值代表路由演算法為了尋找路由路徑所產生的路由封包數量，當 RO 的值越高，表示有越多的路由封包佔據了網路頻寬，這會影響資料封包的傳遞使得整體網路效能降低，此外，節點必須耗費更多的資源來處理這些路由封包，特別是在節點的電力與運算能力有限的形況下，此項評比項目也就更為重要。

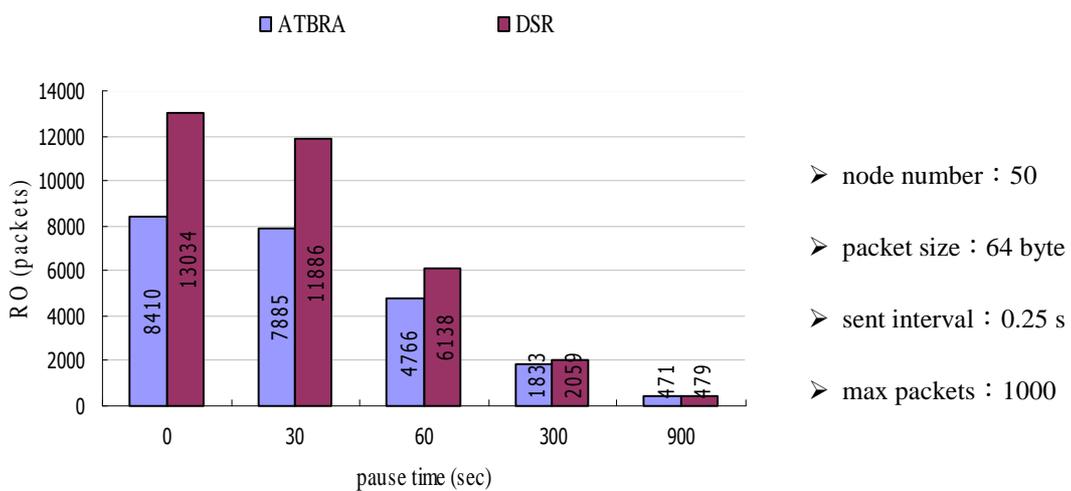
## 4.2 模擬結果與分析

### 4.2.1 動態拓樸的影響

當停頓時間(pause time)越短，表示網路拓樸變動率的越大，網路拓樸的變動會中斷正在傳送資料的路由路徑，因此節點必須再次尋找新的路由路徑。



圖十五 動態拓樸對 SDR 的影響



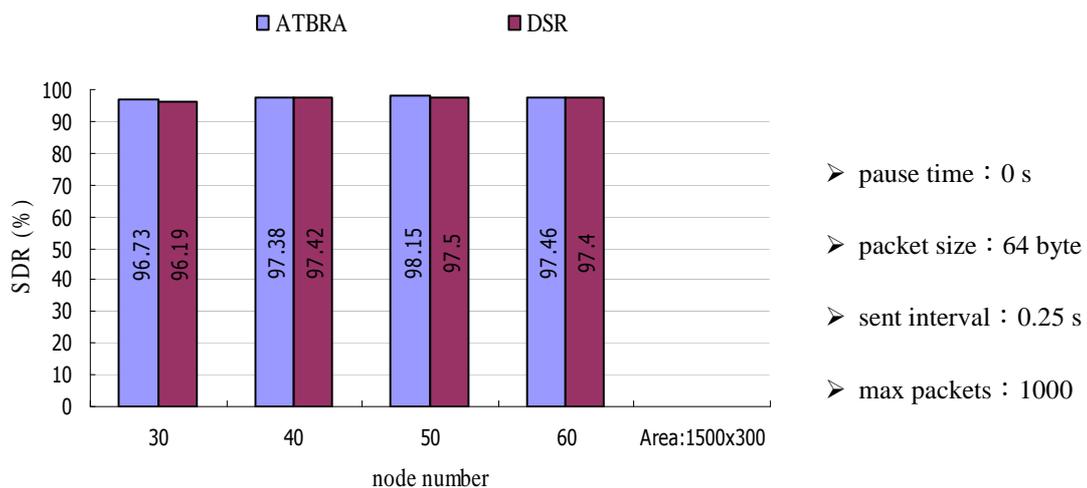
圖十六 動態拓樸對 RO 的影響

如圖十五所示，X 軸代表節點停留時間，當節點停留時間越長，代表網路拓樸變動率越小，當節點停留時間越短，代表網路拓樸變動率越大，由於模擬時間為 900 秒，因此當停留時間為 900 秒時，代表完全靜態的網路拓樸環境，而當停留時間為 0 秒時，代表完全動態的網路拓樸環境。ATBRA 與 DSR 在高度動態的網路拓樸與靜態的網路拓樸環境中，都能有很好的效能(90%以上的 SDR)，而 DSDV 在節點停留時間大於 300 秒以上時，才能有很好的效能。

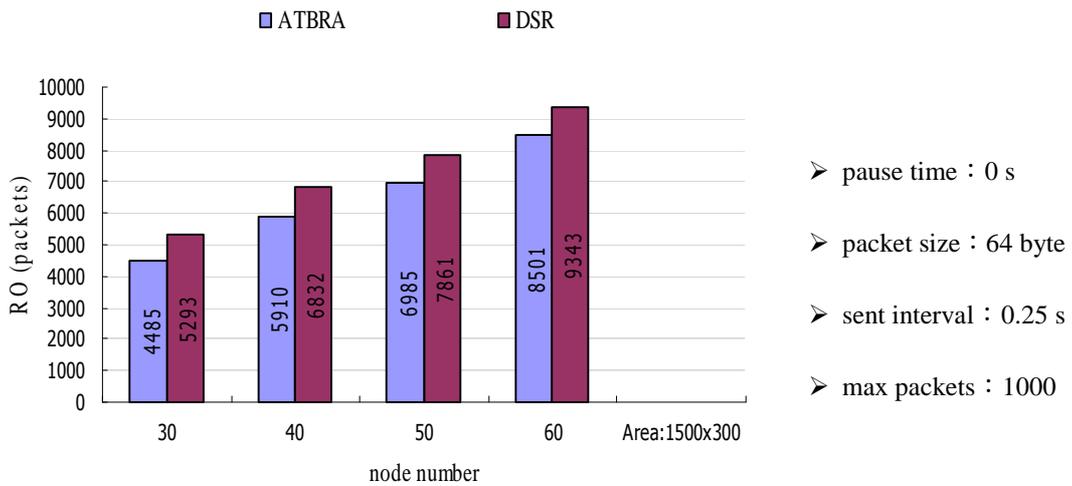
由於後續的實驗都是在高度動態網路拓樸環境下進行，而 DSDV 無法在高度動態網路拓樸下維持好的效能，因此後續的實驗將只比較 ATBRA 與 DSR 的實驗結果而已。

如圖十六所示，ATBRA 所產生的 RO 要比 DSR 少，而且在 RO 越大的情況之下情況越顯著，其原因是較多的路由封包有助於節點費洛蒙的累積，因此有越多的路由封包經由費洛蒙的指引而找到目的節點。

#### 4.2.2 節點數目的影響



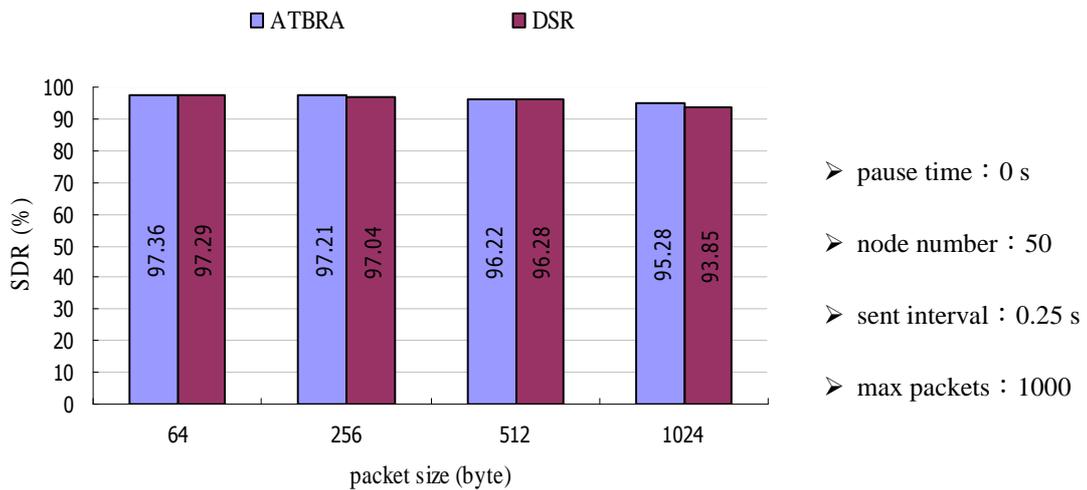
圖十七 節點數目對 SDR 的影響



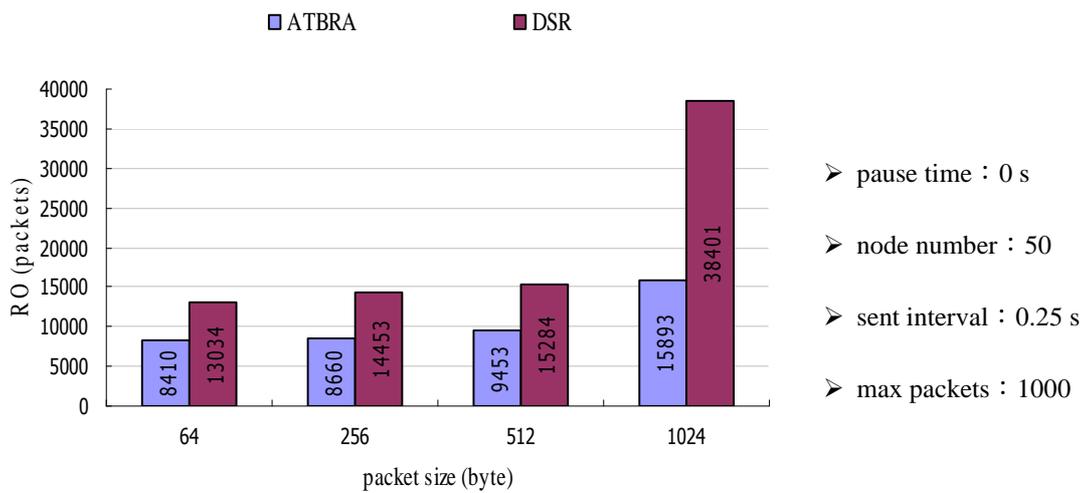
圖十八 節點數目對 RO 的影響

如圖十七與十八所示，X 軸代表在節點數目而模擬的範圍都是 1500mx300m，當節點數目越多時，會產生較多的 RO。

#### 4.2.3 封包大小的影響



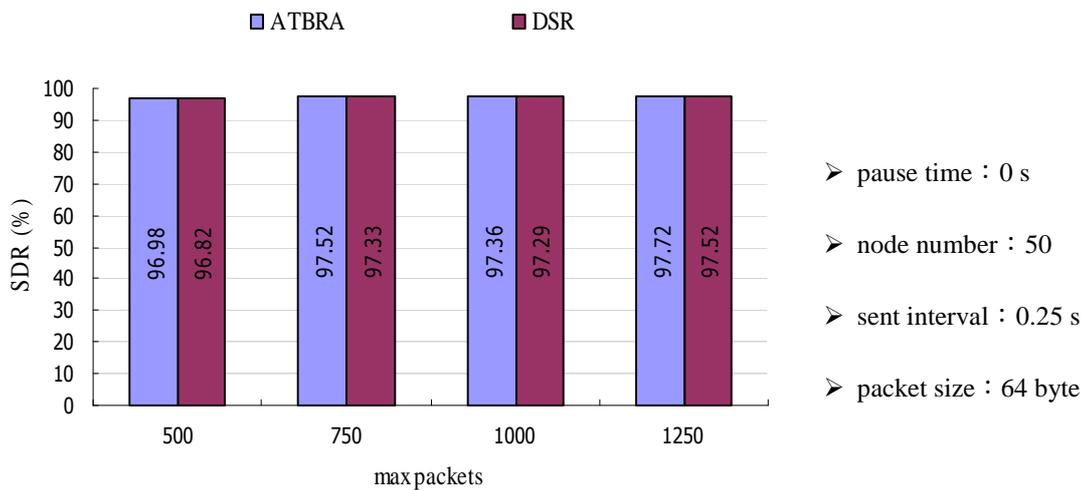
圖十九 封包大小對 SDR 的影響



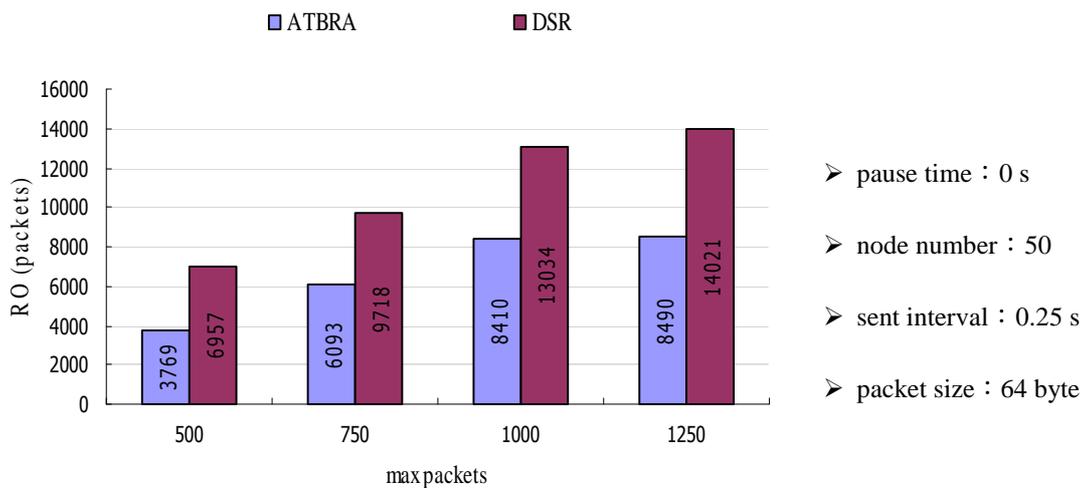
圖二十 封包大小對 RO 的影響

如圖十九與二十所示，X 軸代表節點傳送資料封包的大小，其單位是 byte，當傳送的封包越大，ATBRA 與 DSR 的 SDR 越低，所需的 RO 會越高。

#### 4.2.4 封包數目的影響



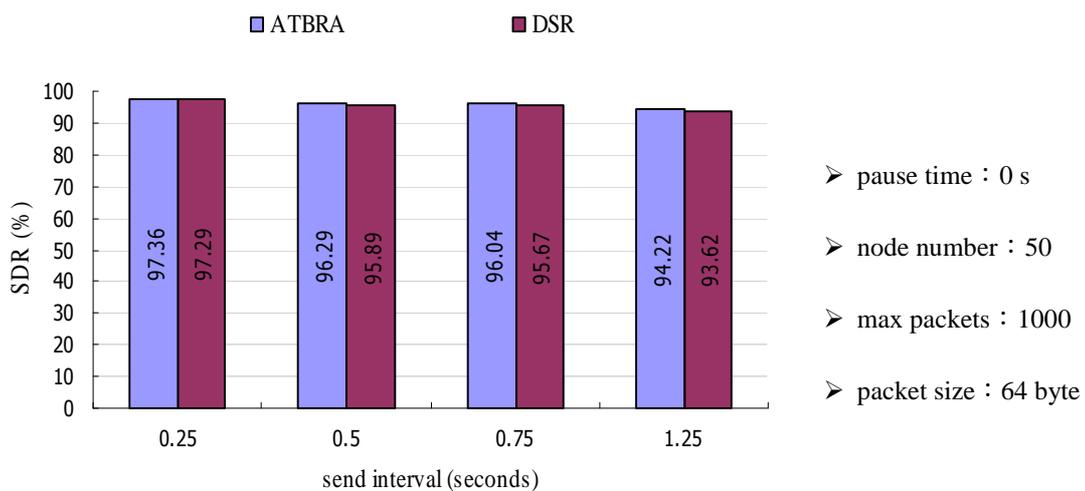
圖二十一 封包數目對 SDR 的影響



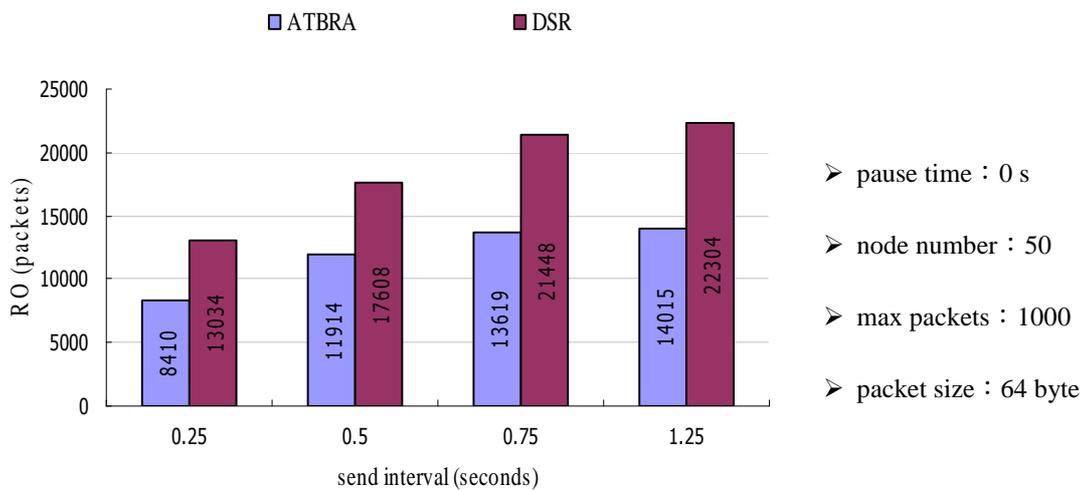
圖二十二 封包數目對 RO 的影響

如圖二十一與二十二所示，X 軸代表節點在模擬時間結束前所能傳送最多資料封包數目，雖然封包數目對 ATBRA 與 DSR 的網路效能影響不顯著，所需的 RO 卻明顯的隨著封包數目的增加而增加。

#### 4.2.5 傳送間距的影響



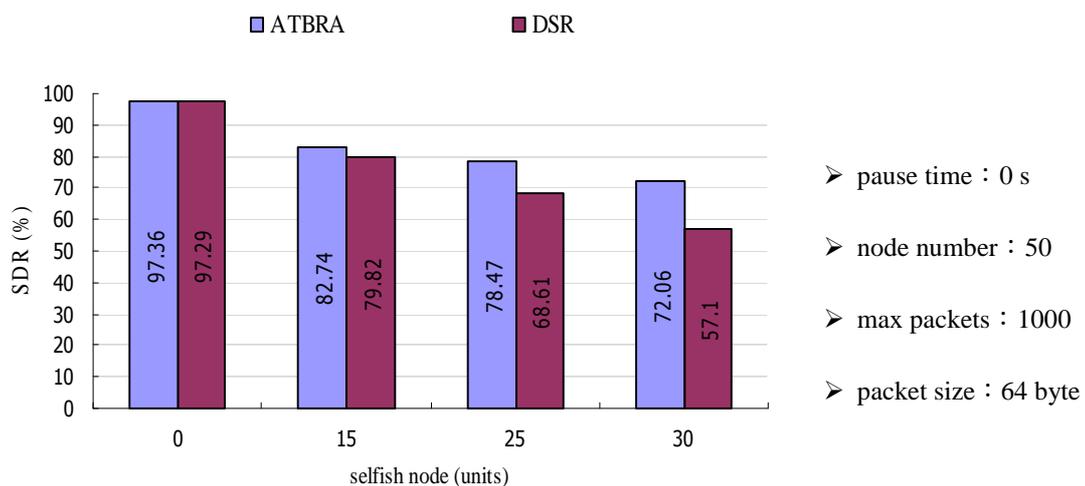
圖二十三 傳送間距對 SDR 的影響



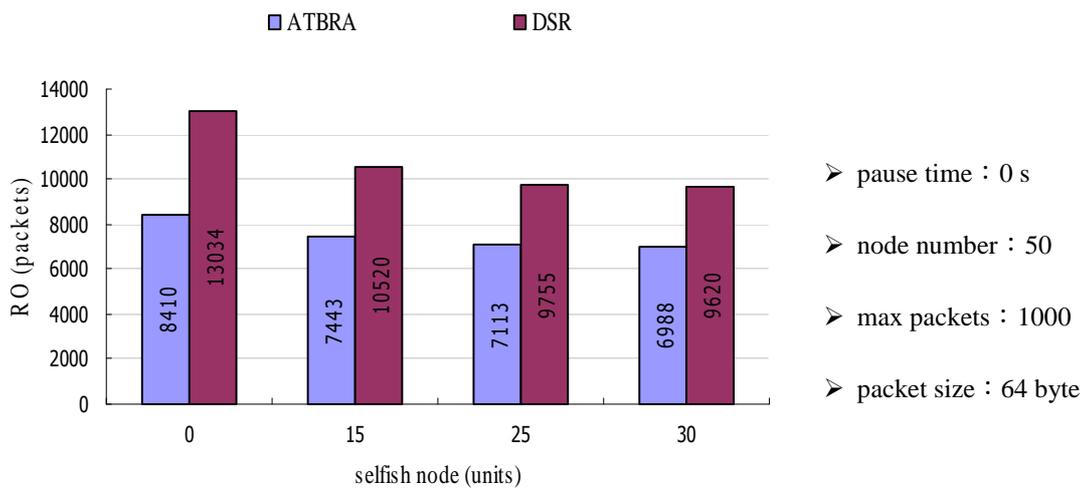
圖二十四 傳送間距對 RO 的影響

如圖二十三與二十四所示，隨著傳送間距的增加，ATBRA 與 DSR 的 SDR 都會降低，而 RO 也會因此升高。

#### 4.2.6 自私節點的影響



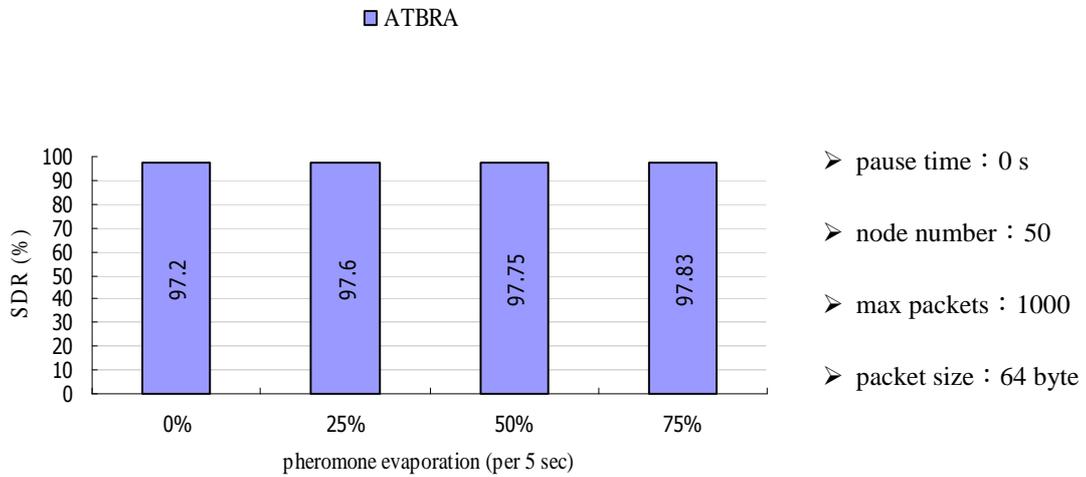
圖二十五 自私節點對 SDR 的影響



圖二十六 自私節點對 RO 的影響

由圖二十五與二十六所示，X 軸代表自私節點的數目，而總節點數是 50。由於無基礎行動網路使用多點跳躍的傳輸方式，部分節點因為有限的電力或運算能力的原因，而採取將其它節點傳遞過來不屬於自己的封包丟棄，當自私節點越多，ATBRA 與 DSR 的 SDR 也就越低，但是由於 ATBRA 在選擇路由時，有把自私節點的因素考慮在內，能降低將自私節點納入路由路徑的機率，因此能比 DSR 獲得較好的效能，且兩者效能的差距隨著自私節點的數目增加而增加。雖然自私節點的存在會增加 RO 以尋找其它的路由路徑，但同時自私節點也會丟棄這些路由封包而降低 RO，因此 RO 會隨著自私節點的數目增加而有些微的降低。

## 4.2.7 費洛蒙蒸發率的影響



圖二十七 費洛蒙蒸發率對 SDR 的影響



圖二十八 費洛蒙蒸發率對 RO 的影響

如圖二十七與二十八所示，當費洛蒙蒸發率提高時，費洛蒙容易因為蒸發而減少，使得 ATBRA 會利用廣播的方式尋找路徑節點而產生較多的 RO。

### 4.3 模擬結果比較

如表八所示，本實驗主要目的在於證明 ATBRA 在高度動態拓樸環境下可獲得與 DSR 一樣好的效能且所產生的 RO 較 DSR 少，此外，ATBRA 在有自私節點的情況下能獲得比 DSR 好的效能。

表八 實驗結果比較

實驗目的 1 (P1) :					
ATBRA 在高度動態拓樸環境下可獲得與 DSR 一樣好的效能 (ATBRA 的 SDR/ DSR 的 SDR)					
實驗目的 2 (P2) :					
ATBRA 所產生的 RO 較 DSR 少(ATBRA 的 RO/DSR 的 RO)					
實驗目的 3 (P3) :					
ATBRA 在有自私節點的情況下能獲得比 DSR 好的效能(ATBRA 的 SDR/ DSR 的 SDR)					
Pause Time	0	30	60	300	900
P1	100.07%	99.95%	100.12%	100.29%	100.26%
P2	64.52%	66.34%	77.65%	89.02%	98.33%
Node Number	30	40	50	60	
P1	100.56%	99.96%	100.67%	100.06%	
P2	84.73%	86.50%	88.86%	90.99%	
Packet Size	64	256	512	1024	
P1	100.07%	100.18%	99.94%	101.52%	
P2	64.52%	59.92%	61.85%	41.39%	
Maximum Packet	500	750	1000	1250	
P1	100.17%	100.20%	100.07%	100.21%	
P2	54.18%	62.70%	64.52%	60.55%	
Send Interval	0.25	0.5	0.75	1.25	
P1	100.07%	100.42%	100.39%	100.64%	
P2	64.52%	67.66%	63.50%	62.84%	
Selfish Node	0	15	25	30	
P3	100.07%	103.66%	114.37%	126.20%	
P2	64.52%	70.75%	72.92%	72.64%	

## 第五章 結論與未來研究方向

### 5.1 結論

本研究所提出的路由演算法(ATBRA)不僅在高度動態網路拓樸環境下有很高的效能，並且可同時解決多點跳躍傳輸方式所產生自私節點與惡意節點的問題，相較於其它路由演算法(DSR)，ATBRA 可以解決更多無基礎環境下所產生的問題，同時所產生的 RO 又較少，以下提出三點有關本研究對既有演算法(DSR 與 ARA)改良的部份做說明：

- (1) ATBRA 結合了 DSR 與 ARA 的路徑節點選擇方式，以廣播與費洛蒙並行的方式，能有效提升網路效能並降低 RO。
- (2) ATBRA 的路由封包中紀錄完整路由路徑，能比 ARA 累積較多費洛蒙而更速尋找到路由路徑。
- (3) ATBRA 將禁忌名單的觀念結合螞蟻演算法做為選擇路徑的機制，能解決多點跳躍傳輸方式所產生的問題。

為了驗證 ATBRA 的效能，本研究在 NS2 模擬平台上實做出此路由演算法，並且參考其他學者的驗證方式與模擬環境，將 ATBRA 與其它常見的路由演算法(DSR 與 DSDV)以 SDR 與 RO 作效能評比項目，並探討動態拓樸、自私節點、封包大小、封包數目與傳送間距對於路由演算法的影響。

實驗結果發現，ATBRA 在高度動態的網路拓樸環境下能有著與 DSR 一樣高的 SDR，但是所需要的 RO 卻較少，而在有自私節點的環境下，雖然 ATBRA 與 DSR 的效能都因此而降低，但是 ATBRA 的效能還是比 DSR 好。

## 5.2 未來研究方向

以下針對本研究所提出來的路由演算法(ATBRA)在未來可能改進的地方加以說明：

- (1) ATBRA 藉由本研究的實驗證明能在高度動態網路拓樸環境下有良好的效能，同時 ATBRA 有著所產生的 RO 較少的優點，可利用此優點發展出一適合應用在大型無基礎行動網路環境下的路由演算法。
- (2) ATBRA 利用螞蟻內建的禁忌名單來降低將自私節點與惡意節點的納入路由路徑的可能性，以達到尋找穩定或安全路徑的目的，未來可將相同的概念應用於其它目的的路由路徑上，例如省電路由的尋找。



## 參考文獻

- [1] C. Siva Ram Murthy, B.S. Manoj, “Ad Hoc Wireless Networks: Architectures and Protocols”, Prentice Hall PTR, 2004.
- [2] C. E. Perkins and P. Bhagwat, “Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers,” Proceedings of ACM SIGCOMM 1994, pp. 234-244, August 1994.
- [3] D. B. Johnson and D. A. Maltz, “Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks,” Mobile Computing, Kluwer Academic Publishers, vol. 353, pp. 153-181, 1996.
- [4] Dorigo M. and Gambardella L.M., “Ant Colonies for the Traveling Salesman Problem”, 1996.
- [5] Daniel Camara and Antonio Alfredo F.Loureiro, “A GPS/Ant-Like Routing Algorithm for Ad Hoc Networks,” Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference(WCNC’00), September 2000.
- [6] G. Rote, “Path Problems in Graphs,” Computing Supplementum, 1990.
- [7] Glover, F. and M. Laguna, “Tabu Search,” KluwerAcademic Publishers, 1997.
- [8] Hongmei Deng, Wei Li, Dharma P. Agrawal, “Routing Security in Wireless Ad Hoc Network”, IEEE Communications Magazine, 2002.
- [9] Horst F. Wedde, Muddassar Farooq, Thorsten Pannenbaecker, Bjoern Vogel, Christian Mueller, Johannes Meth and Rene Jeruschkat, “BeeAdHoc: An Energy Efficient Routing Algorithm for Mobile Ad Hoc Networks Inspired by Bee Behavior,” Proceedings of the 2005 conference on Genetic and evolutionary computation, June 25-29, 2005.
- [10] 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 the Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom’98), pages 85–97, 1998.
- [11] K. Fall and K. Varadhan, “The ns Manual,” 2000.
- [12] Lumer E.D. and Faieta B., “Diversity and Adaptation in Populations of Clustering Ants”, MIT-Press, 1994.
- [13] Laurent Eschenauer, Virgil D. Gligor, John S. Baras, “On Trust Establishment in

Mobile Ad-Hoc Networks,” Security Protocols Workshop, 2002.

- [14] M. Abolhasan, T. Wysocki, and E. Dutkiewicz, “A Review of Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks,” *Ad Hoc Networks*, vol. 2, pp. 1–22, 2004.
- [15] Monmarché N., Slimane M. and Venturini G., “AntClass: Discovery of Clusters in Numeric Data by An Hybridization of An Ant Colony with The Kmeans algorithm”, Internal Repport, 1999.
- [16] Michael W. Carter, Camille C. Price, “Operations Research: A Practical Introduction”, CRC Press, 2001.
- [17] M. Gunes, U. Sorges, and I. Bouazizi, “ARA – The Ant-Colony Based Routing Algorithm for MANETs,” *International Conference on Parallel Processing Workshops (ICPPW’02)*, Vancouver, B.C., Canada, August 18–21, 2001.
- [18] M.Heissenbuttel and T.Braun, “Ants-based Routing in Large Scale Mobile Ad-Hoc Networks”, *KiVs03*, March 2003.
- [19] Srisathapornphat, C., Shen, C.-C., “Ant-Based Energy Conservation for Ad hoc Networks,” *12th International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN)*, 2003.
- [20] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies, “A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research,” *Wireless Communication & Mobile Computing (WCMC): Special Issue on Mobile Ad Hoc Networking Research, Trends and Applications*, Vol. 2, No. 5, pp. 483-502, 2002.
- [21] Tao Jiang, John S. Baras, “Ant-Based Adaptive Trust Evidence Distribution in MANET,” *ICDCS Workshops*, 2004.
- [22] Taichi Kaji, “Approach by Ant Tabu Agents for Traveling Salesman Problem,” *IEEE*, 2001.
- [23] Z. J. Haas, “The Routing Algorithm for the Reconfigurable Wireless Networks,” *Proceedings of ICUPC 1997*, vol. 2, pp. 562-566, October 1997.
- [24] Zeng Yuan-yuan and He Yan-xiang, “Ant Routing Algorithm for Mobile Ad-Hoc Networks Based on Adaptive Improvement,” *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 2005.
- [25] <http://www.tracegraph.com/conference.html>
- [26] [http://en.wikipedia.org/wiki/Random\\_graph](http://en.wikipedia.org/wiki/Random_graph)