

# 為 MANET 非對稱傳輸連結環境而設計之反向路徑確認動態來源繞

## 送機制

### A Back-Path-Affirmed Dynamic Source Routing Algorithm

#### (BA-DSR) under MANET with Asymmetric Transmission Links

童曉儒

國立屏東科技大學資訊管理系

[strong@mail.npust.edu.tw](mailto:strong@mail.npust.edu.tw)

廖仁宏

國立屏東科技大學資訊管理系

[M9456025@mail.npust.edu.tw](mailto:M9456025@mail.npust.edu.tw)

余遠澤

高雄醫學大學醫療資訊管理學系

[yuyt@kmu.edu.tw](mailto:yuyt@kmu.edu.tw)

詹昕翰

國立屏東科技大學資訊管理系

[M9556015@mail.npust.edu.tw](mailto:M9556015@mail.npust.edu.tw)

#### Abstract

#### 摘要

無基礎式架構網路(MANET)是一種不需要任何基地台便可使行動裝置(mobile hosts, MHs)之間的溝通具有靈活及機動特性的無線網路架構。然而實際上，由於行動裝置的多樣化，不同的MH可能有不同的傳輸功率以及接收靈敏度，然而這可能導致在MH之間存在非對稱(單向)傳輸連結之現象，我們發現非對稱傳輸連結的存在將使某些眾所皆知的on-demand 繞送協定效能嚴重地下降，如AODV及DSR。為了解決這個問題，我們提出「反向路徑確認動態來源繞送機制(Back-path-Affirmed Dynamic Source Routing algorithm, BA-DSR)」，基本上，我們實施條件性轉播RREQ封包的策略，只有在MH確認與先前節點有回應路徑(back path)時才將RREQ封包轉播。模擬結果顯示，相較於AODV與DSR，在非對稱傳輸環境之下，BA-DSR有效改善了路徑建立與維護的效率。

**關鍵詞：**無基礎式架構網路、非對稱傳輸、反向路徑確認、回應路徑

A mobile ad-hoc network (MANET) provides flexible and dynamic interconnections among a set of mobile hosts (MHs) without relying any access point. However, in practice, due to the device variety, MHs may own different transmission powers and receiving sensitivities. This potentially causes asymmetric (unidirectional) transmission links between MHs. We find that the existence of such asymmetric transmission links severely deteriorates the performance of some well-known on-demand routing protocols, like AODV and DSR. To solve this problem, we propose a back-path-affirmed dynamic source routing (BA-DSR) algorithm. Basically, we enforce a conditional rebroadcast policy that a MH rebroadcasts a route request (RREQ) message to its neighbors only if a back path to its predecessor exists. The simulation results reveal that compared with AODV and DSR, BA-DSR significantly improves the path establishment and maintenance in a MANET with asymmetric transmission links.

**Keywords :** MANET, Asymmetric Transmission, Back-Path-Affirmed,

## 一、緒論

MANET 通常是由一群無線的裝置所形成的網路，兩節點之間溝通、交換訊息、資料傳送、接收必須靠節點(node)之發射功率(transmission power)及天線之接收靈敏度(receive sensitivity)來決定二節點彼此之間是否能互相溝通交換訊息，而在兩節點傳輸能力不同的情況下，可能造成訊號可去卻無法回的情形，產生節點與節點之間的單向路徑狀況，而這對於在 MANET 中必須靠節點與節點之間互相溝通交換資訊的需求下，無疑是產生了重大的影響。而目前依照 IEEE 802.11 標準的產品均具備 Ad Hoc 功能，而各家廠牌無線設備之傳輸能力及天線接收靈敏度也不盡相同，故由各無線設備所建立之無基礎式架構網路(Ad Hoc Network)很有可能由不同傳輸能力及接收能力的裝置所組成。此外，行動裝置所提供的電力亦對於其傳輸的範圍亦有相當大的影響，例如將傳輸力調升至最大，將加速耗損行動裝置之電力，而以省電模式運作，則會大大降低裝置之傳輸能力，雖然電力並不是決定傳輸距離唯一的因素，但的確是無線裝置在決定射頻功率高低時的重要依據。在目前尚未對行動裝置傳輸與接收功率統一規範前，MANET 中節點與節點之間將必定會存在非對稱性傳輸能力之關係。

上述因素所產生非對稱性傳輸能力使兩節點之間僅能單向傳送訊息，亦即在兩節點之間僅能產生單一方向的傳輸路徑。這對於目前最普遍使用的無線通訊標準例如 802.11，其標準下的 CTS-RTS 封包以及 ACK 的回應，或者需要使用 hello message 詢問封包的通訊協定等需要使用雙向路徑的條件下才能有效運作，而上述之因素所造成之單向路徑將會出現一端僅能傳送而收不到回應訊息的耳聾(Deaf)狀態，另一端僅能接收而無法回應的啞吧(Dumb)狀態[3]，這樣的情況下將產生建

立錯誤路徑的結果。而傳送訊息的節點因為在一段時間內收不到目的節點所送回的訊息而判定為路徑中斷，該節點則再次重新尋找路徑，這樣反覆的啟動路徑尋找機制，將會對網路運作之效率產生非常大的影響[1]。

在 MANET 中，因無基地台來傳送行動裝置欲傳輸之訊息，因此每個節點必須擔任猶如路由器(Router)的角色替其他節點繞送訊息，而在訊息被送出前，須先找到一條適當的繞送路徑才能順利的將訊息由來源端繞送至目的端，現行的繞送路徑建立機制分為 Proactive[6](又稱為 table-driven)：每個節點皆擁有路由表，且路由表需不斷更新，藉由節點中之路由表來達到繞送訊息之目的，較適合用於拓撲較小之網路，如 DSDV[10]等協定、Reactive[6](又稱為 on-demand)：節點間無須一直保有路由表，而是在欲傳輸訊息時再由來源端發出 RREQ 封包要求時建立臨時路由表或繞送路徑，如 AODV[11]及 DSR[5]等協定、以及 Hybrid[6]：結合 Proactive 與 Reactive 兩種方式，共三種路徑建立機制。由於 Reactive 機制中各節點不需定期交換資訊來更新路由表，只需在有資料要傳送時建立路由資訊，因此 Reactive 較 Proactive 方式更為省電且更適合用於大型拓撲的 ad hoc 網路中。

在很多有關於 MANET 的研究，大部份是在解決行動裝置的電力問題、路徑尋找效率問題、有效路徑再用、控制廣播風暴等等問題，而在這些研究中，鮮少將非對稱傳輸之環境一併納入考量，造成實驗環境與現實網路環境有所出入，將可能使得研究出之數據結果產生誤差。以目前無線網路發展的情形及速度，未來將會有各類不同形式的行動裝置，而 MANET 中之非對稱傳輸現象將會更為明顯，因此應將此一情形納入考量，以更符合實際的網路環境。

在實際的環境中，由各項不同的無線設備或網路型態所組成的 MANET 傳輸距離差距可由 30 公尺至 3 公里相差約 100 倍，

而多數相關 MANET 研究對於非對稱傳輸的情況均未納入考慮，絕大部份之研究皆直接假設網路上組成成員所具備之傳輸能力均相同作為研究以及實驗之環境，與實際之網路環境有所出入。然而亦有一些針對 MANET 非對稱性傳輸的情況做相關之研究[2][3][8][12]，但目前非對稱傳輸問題的解決方式仍需仰賴來源端多次啟動路徑尋找機制，利用 RREQ 封包的發送來標示出無效路徑所在的節點，進而找出一條可用的路徑，這樣的作法，除了會使得網路中充斥大量的控制封包(control packet)外，來源節點亦需等待路徑尋找 Time out 後，才能再啟動另一次的路徑尋找機制，增加路徑被建立的時間。

本研究將針對非對稱傳輸之 MANET 環境深入探討在不同傳輸能力的行動裝置所組成之 Ad hoc 網路環境下，將現行通訊協定所面臨的問題加以討論並提出相關解決的方式。由於 AODV 在路徑尋找(route discovery)時，每一個收到路徑需求封包(RREQ)的節點必須與上一個節點建立反向路徑(back path)，但在非對稱傳輸環境下，因傳輸功率的不同，所建立的路徑很可能為單向路徑，導致節點無法回應而造成路徑建立失敗，DSR 執行尋找路徑程序時，雖允許兩條不對稱之雙向路徑同時存在，必要時也可由目的端啟動路徑尋找機制建立回應路徑，但需耗費的路徑建立成本過高並造成較大的控制訊息(overhead)，因此本研究提出一套「反向路徑確認動態來源繞送機制(A Back-Path-Affirmed Dynamic Source Routing)」，我們稱之為 BA-DSR，本機制將以 DSR 為基礎，利用來源端啟動路徑尋找機制時發出的 RREQ 封包裡加上節點傳輸能力及天線接收靈敏度等兩項資訊，計算出兩節點間是否存在雙向路徑，若不存在雙向路徑則將限制 RREQ 封包的轉播(re-broadcast)，直到有雙向路徑可回應時再將之前保留住之封包轉播出去，並且在建立雙向回應路徑時，保留單向最少 hop count 之路徑做為傳送路徑，使資料能更快速的被傳送至目的端，而相鄰兩節

點之間若為單向路徑，則必定有一條大於等於 2 hop count 的雙向回應路徑存在，例如  $A \rightarrow B$  為存在單向路徑的相鄰兩節點，而 B 可透過其他節點回應至 A，並且為雙向路徑，例如  $B \longleftrightarrow C \longleftrightarrow A$ ，使其能夠兼具使用雙向連結(bidirectional link)及單向連結(unidirectional link)的特質以符合實際需求，而透過反向路徑預先偵測，可只在發出一次氾濫式廣播的情況下便建立雙向可用路徑，改善原有 DSR 協定須由來源端與目的端各執行一次 flooding 以建立兩條非對稱性路徑，以及改善 AODV 節點間必須均為雙向路徑之困境。根據本研究的模擬實驗結果，BA-DSR 機制對於非對稱傳輸所造成單向路徑問題，較原有之 AODV 與 DSR 協定有更高的效率，包含較短的路徑建立時間、較低的控制封包數量與較高的封包到達率等，確實能改善現行 ad hoc 網路中非對稱傳輸情況對網路的影響。

## 二、文獻探討

### 非對稱性傳輸對 MANET 繞送之影響

在無線網路中，節點與節點之傳輸是使用無線電波技術，其產生非對稱性傳輸原因在於節點之傳輸能力及天線接收靈敏度並不盡相同，因此各節點的傳輸距離便會有所不同，而在傳送訊號的過程中訊號傳送強度(Transmission Power)減去路徑損失(Path Loss)後到達接收端的訊號必需要大於接收端的天線接收靈敏度(Receive Sensitivity)，接收端才可收到傳送端之訊號。

依據周湘宏(2006)的研究[1]指出在非對稱性傳輸的網路環境中，將嚴重影響 MANET 之網路繞送。該研究指出在非對稱傳輸的環境下，使用 AODV 協定時即使兩點之間存在雙向路徑，但因 AODV 選擇最小 hop count 之因素，亦可能無法找到有效可用路徑，就算加入黑名單機制，AODV 若找不到任何存在的雙向對稱路徑，亦會造成路徑建立失敗。而 DSR 亦會受單向路徑影響而降低效能，因 DSR 使用 cache

reply 的機制，在尋找路徑的過程中，節點可能建議了錯誤的路徑給來源端，造成建立了無效路徑，使來源端必須重新廣播 RREQ 尋找新路徑，或由目的端重新廣播 RREQ，使得大量的控制訊息除了產生 Broadcast storm[4][9][13]外亦有 Route Reply storm 問題，延長了路徑被建立之時間。此外，該研究也發現網路密度越大則越容易找到路徑，其原因是當網路上節點多時，受到非對稱傳輸節點影響的機會將會變少；在 Ramasubramanian(2002)等學者的研究顯示[10]，單向路徑對於 AODV 需要雙向對稱路徑的協定來說，將會造成極大的影響，雖然 AODV 的黑名單(Black list)機制可以將單向路徑過濾，但卻會大大的延長路徑建立的時間，若在網路內找不到任何可用的雙向路徑，則可能導致路徑建立失敗，找不到可用的路徑，而此項研究也針對 AODV 在單向路徑的環境做了效能分析，結果證實非對稱性的傳輸環境的確使 AODV 的效能下降；在 Marina(2002)等學者的研究[7]裡也針對 AODV 在單向路徑的效能做評估與分析，結果顯示各項成本皆會增加，包含斷路機率增加、封包傳輸延遲增加、封包到達率降低等，在在顯示單向路徑對於 AODV 有著極大的影響。

### AODV 於非對稱傳輸環境之探討

AODV 在建立路徑時，當節點收到 RREQ 封包後便會與記錄前一節點於 routing table 內做為其繞送依據，因此 AODV 所建立之路徑必須為雙向路徑，否則該路徑將建立失敗。雙向路徑是指 A 節點要建立到 B 節點的路徑，當 B 節點收到 A 節點建立路徑至 B 節點後，B 節點必須也建立一條路徑至 A 節點，使資料可以送去及送回，這樣的路徑，稱之為雙向路徑 (bidirectional path)，反之則稱為單向路徑 (unidirectional path)。

AODV 目的端依據來源端 RREQ 所建立的路徑回應 RREP 訊息時，所有經過路徑上的節點依先前 RREQ 資訊所建立的路由表(routing table)來決定下一個傳送

的節點，同時依據選擇最短路徑演算法，目的端會依據來源端所建立的路徑選擇一條 hop count 數最小的路徑回應 RREP 的訊息，這樣的機制在對稱傳輸環境之下看起來似乎很合理，由於 B 節點可以成功的接收到由 A 節點所發出的訊號，因此我們判斷 A 節點亦能收到由 B 節點所發出之訊號，但在非對稱傳輸的網路環境中，這樣的論點可能就無法完全成立。在非對稱傳輸的網路環境裡，由於各個節點的傳輸功率及天線接收靈敏度不盡相同，因此每個節點所傳送的功率也不相同，造成每個節點的訊號範圍大小有所差異，使得 B 節點可以收到 A 節點的訊號，但 A 節點卻不一定能收到 B 節點的回應，造成無法建立有效的雙向路徑，而只有單向路徑被建立，這樣的結果對於 AODV 建立路徑的特性來說是全然不被接受的，在一定的時間內，若發送端一直無法接收到回應的 RREP 封包，將會造成路徑建立失敗，而發送端不斷重啟 Route Discovery 機制，不斷發送 RREQ 封包，嚴重的影響網路的效能，若是在非對稱性嚴重的網路中，此一情形將更為嚴重。

如圖 1 所示，S 啟動 Route Discovery 機制要求建立路徑時，依照 AODV 建立路徑的演算法找到了目的節點 D，當 D 收到第一個 RREQ 封包後會等待一段時間以便接收更多由各地所傳來的 RREQ，假設目前 D 根據三個 RREQ 封包所獲得的路徑為  $S \rightarrow C \rightarrow D$ 、 $S \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow D$  及  $S \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$  等三條，依據 AODV 最短路徑 (Shortest Path) 演算法，D 節點將會選擇 Hop Count 最少的路徑傳送 RREP，因此  $D \rightarrow C \rightarrow S$  將會是回傳 RREP 至 S 的路徑，但因路徑上  $S \rightarrow C$  只建立了單向路徑，換而言之，就是 C 的傳輸能力可能因為種種因素無法到達 S，雖然在 C 收到 S 發送的 RREQ 封包時就已建立一個繞送路徑表記錄回覆路徑，但 C 卻無法正確的將 RREP 送達 S，S 端也因為無法接收來自 C 所回覆的 RREP 封包，因此 S 在等待一斷時間後，判定路徑的中斷，因而重啟 Route Discovery 機制。然而事實上在 RREQ 的

三條路徑當中， $S \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow D$  為可用的雙向路徑，但因為不是最短路徑而不被選用。當網路上非對稱情形嚴重時，諸如此類的情形亦有可能增多，而來源端因收不到 RREP 封包，將不斷的重新啟動 Route Discovery 機制，使大量控制封包在網路中流竄，造成廣播風暴[4][9][13]，佔用頻寬，影響到正常封包的傳送。

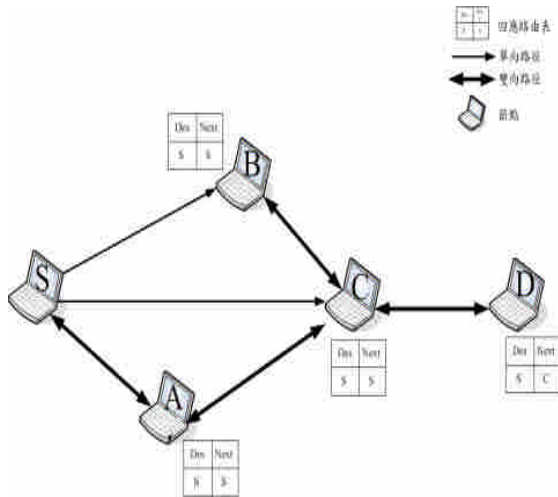


圖 1 AODV 非對稱傳輸示意圖

目前 2003 年的 10 版修訂針對單一路徑的問題提出在節點利用黑名單 (black\_list) 的方式來紀錄標示出相鄰節點單一路徑[11]。當路徑上的節點在轉送目的端 RREP 時，如果下一個節點經過一段時間均無回應，則紀錄到黑名單內，對於下一次該節點所轉送的路徑需求封包時則不予處理，避免再次選擇單向路徑產生，但該作法當目的端回應 RREP 產生錯誤時，需要等待 time out 後再由來源端使用 flooding 的方式以新識別碼重新廣播 RREQ 封包，因此即使用黑名單的機制仍必須等待所有擁有最少 hop count 之單向路徑均被標示出後，正確的路徑才會被考量使用，這種作法將會大大延長路徑被建立的時間。

### DSR 於非對稱傳輸環境之探討

DSR 雖與 AODV 同樣為 on-demand 方式在有需要時才建立路徑，但其不同於 AODV 的地方是每個節點毋須紀錄路由表 (routing table)，DSR 使用的是路徑快取

(route cache)，當來源節點啟動 Route Discovery 後，收到來源節點所發送的 RREQ 封包的節點，會將整條路徑上各節點的位置記錄到路徑快取 (route cache) 內，因此節點可記錄整條路徑的完整資訊，我們稱之為 hop-by-hop 資訊。如圖 2 所示，當 S 節點需要傳送資料時，會從 route cache 找出有無可達目的端的資訊，若無則採 flooding 方式發出 RREQ 封包尋找路徑，如同上一節所介紹的方式找到一條可用的路徑。

AODV 與 DSR 在非對稱傳輸環境中皆會遇到單向路徑的問題，尤其在非對稱傳輸較嚴重的網路裡，單向路徑發生的機率將更高，若 DSR 因單向路徑影響而無法順利回傳 RREP 封包，可由目的端以 flooding 尋找可用路徑直到路徑被建立，便使用該條路徑做為回應路徑，換而言之，DSR 可以建立出兩條非對稱性的路徑，允許資料封包去與回由不同的兩條路徑傳送，如圖 3 所示。

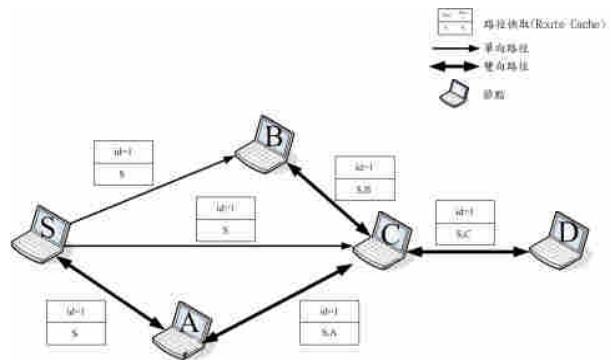


圖 2 DSR 非對稱傳輸示意圖

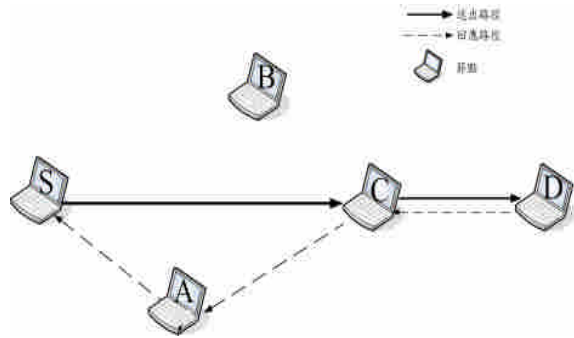


圖 3 DSR 所建立非對稱路徑示意圖



### 三、研究方法

#### 問題定義

在 MANET 的網路環境中，以 Reactive(On-Demand)的協定做為繞送協定是較常見也較廣為接受的一種方式，因考量節點電力持續性的問題，因此當節點欲傳送資料時，再啟動路徑找尋機制是較佳之做法。而當來源端啟動路徑找尋機制(route discovery)時，必須讓目的端收到該 RREQ 封包及來源端收到目的端所發出之 RREP 封包後，路徑才算建立完成，節點也才可以開始進行資料交換。以 DSR 來說，當網路上節點收到來源端發出之 RREQ 封包後，若判斷目的端並非自己時，該節點將自己的位址加入後再將該 RREQ 封包重新廣播(rebroadcast)出去，直到目的端收到 RREQ 封包後回應 RREP 封包至來源端，但這樣的方式在節點傳輸能力不同時，則可能因單向連結(unidirectional link)而造成單向路徑(unidirectional path)的問題以致於無法將 RREP 封包回應至來源端，而 DSR 在無法回應 RREP 封包的情況下，只好由目的端再執行 flooding 來尋找另一條回應路徑(back path)以傳送 RREP 封包至來源端。

本研究依據節點傳輸功率(transmission power)及天線接收靈敏度(recvive sensitivity)計算兩端點之間無線電波所能傳輸有效距離，預先偵測兩點之間傳輸能力的方式，限制 RREQ 封包的轉播(re-broadcast)，需在確定該節點具有回應路徑(back path)時再執行轉播，避免因 unidirectional path 產生路徑建立錯誤。本研究所提出之「反向路徑確認動態來源繞送機制」(Back-Path-Affirmed Dynamic Source Routing Algorithm, BA-DSR)，即為一個架構在 DSR 協定上，減少路徑建立錯誤以降低來源端重新啟動 route discovery 的次數，並且以最少 hop count 之路徑做為 forwarding path，以雙向路徑

這樣由來源端及目的端各自執行 Route Discovery 的動作，建立非對稱的兩條路徑，的確可以解決單向路徑的問題，但來源端及目的端各執行氾濫廣播，將非常容易造成網路上廣播風暴(Broadcast Storm) [4][9][13]的問題。

點對點傳輸(Uncast)在無線網路 802.11 協定下使用 CTS-RTS、hello message 及 ACK 等機制偵測路徑上的前後節點是否存在，AODV 因建立之路徑均為雙向路徑(bi-directional path)，因此可藉由相鄰兩節點間互相交換 hello message 來判斷對方存在與否，但 DSR 所建立之路徑可能包含單向路徑(unidirectional path)，節點僅能向前傳遞封包，若下一個節點離開則因無法收到回應而無法得知斷路訊息，如圖 4 所示，DSR 在單向路徑維護上必須由來源端在特定的時間內偵測目的端之回應封包，若一段時間內無收到目的端之回應在而發生 time out，便判斷路徑發生斷路，而重新啟動路徑尋找的機制，將因無法即時掌握斷路情況而造成整體效能下降。

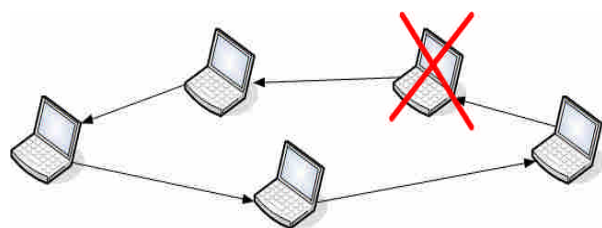


圖 4 單向路徑維護

綜觀以上所述，AODV 與 DSR 在非對稱傳輸的環境下，皆會受到單向路徑的影響，即使兩點間存在其他路徑且為雙向，AODV 仍會因選擇最短路徑造成路徑選擇錯誤而造成路徑建立錯誤，雖然 DSR 允許使用兩條單向之非對稱路徑，但若網路內非對稱程度嚴重，依然會造成路徑建立成本增加，網路效能下降，並有路徑維護上的困難。

(bi-directional path)做為 back path，且包含 forwarding path 上之所有節點，使 unidirectional path 上之相鄰兩節點之間必定有 bi-directional path 做為 back path，進而降低路徑尋找與維護之成本，提升網路效能。

### Back-Path-Affirmed(BA) DSR

首先我們假設網路上有  $N$  個節點，編號為  $0, 1, \dots, N-1$ ，我們將節點  $i$  以  $n_i$  來表示，節點  $j$  以  $n_j$  來表示，假設從  $n_i$  所發射的無線電波  $n_j$  可以接收得到，則我們稱兩者間存在一方向性連結(directional link)，將其表示為  $\langle n_i, n_j \rangle$ 。一條方向性路徑(directional path)是由一連串的 directional link 所建立而成，如果我們能找出一條從  $n_j$  回到  $n_i$  之間的 back path，則我們稱為  $\langle n_i, n_j \rangle$  為 back-path-affirmed，如果  $\langle n_i, n_j \rangle$  與  $\langle n_j, n_i \rangle$  同時存在，代表在  $n_i$  及  $n_j$  之間有雙向連結(bi-directional link)，我們以  $(n_i, n_j)$  或  $(n_j, n_i)$  來表示。

我們首先討論如何確認在相鄰的兩節點之間有 bi-directional link 存在，我們稱此方式為雙向連結偵測(bi-directional link test, BL test)。一種最常見的方式為兩個節點之間彼此交換 hello message，不過該方式將會造成大量的廣播訊息(broadcast)，使網路負擔加重。在此我們提出一種更有效率的機制，無須額外的廣播，而是單純從所收到的訊息(messgae)來判斷 bi-directional link 是否存在。假設  $n_i$  之傳輸功率(transmission power)以  $T_i$  表示， $n_i$  之天線接收靈敏度(recive sensitivity)以  $S_i$  表示， $n_i$  到  $n_j$  之路徑衰減(path loss)以  $pl_{\langle i, j \rangle}$  表示，我們也假定兩節點間 path loss 相等即  $pl_{\langle i, j \rangle} = pl_{\langle j, i \rangle}$ ，那麼若能同時滿足下列兩個條件，則表示  $(n_i, n_j)$  存在。

$$T_i - pl_{\langle i, j \rangle} \geq S_j \quad (1)$$

與

$$T_j - pl_{\langle j, i \rangle} \geq S_i \quad (2)$$

圖 5 說明了上述之關係。基本上當  $n_j$  收到  $n_i$  所發出的封包後代表  $\langle n_i, n_j \rangle$  存在，我們期望  $n_j$  能進一步判斷是否有能力回應至  $n_i$ ，也就是  $\langle n_j, n_i \rangle$  存在。為了實現此構想，我們加入了兩項欄位在 RREQ 封包當中， $T_{power}$  與  $R_{sense}$ ，當  $n_i$  發出 RREQ 封包時， $T_{power}$  與  $R_{sense}$  將分別填入傳輸功率  $T_i$  及接收靈敏度  $S_i$ ，當  $n_j$  收到 RREQ 時，它測量所收到封包之訊號強度，我們將其表示為  $R_j$ ，並且取得  $T_{power}$  與  $R_{sense}$  之值，即  $T_i$  與  $S_i$ ，接著計算  $n_i$  與  $n_j$  之間之 path loss 即  $pl_{\langle i, j \rangle} = T_i - R_j$ ，而因我們假設兩點之間之 path loss 相等，所以  $pl_{\langle i, j \rangle} = pl_{\langle j, i \rangle}$ ，若  $T_j - pl_{\langle j, i \rangle} \geq S_i$  則表示  $n_i$  可接收來自  $n_j$  的訊息，也就是  $\langle n_i, n_j \rangle$  存在，由於  $\langle n_i, n_j \rangle$  與  $\langle n_j, n_i \rangle$  同時存在，換而言之，即表示  $(n_i, n_j)$  存在。

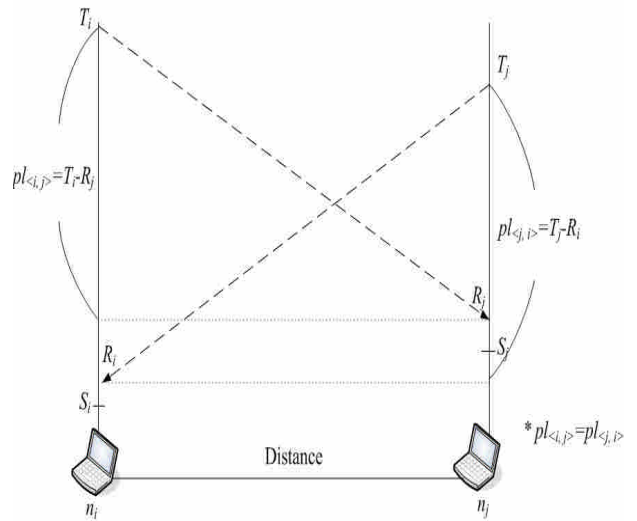


圖 5 雙向路徑偵測示意圖

接下來我們將敘述 BA-DSR 如何建立路徑。基本上，BA-DSR 之路徑尋找方式與 DSR 之方式非常相近，唯一的不同點在於 (1)BA-DSR 在每個節點上所實施的 RREQ 轉播(rebroadcast)以及 (2)目的端的回應路徑之選擇之策略。在 RREQ 轉播策略上，標準的 DSR 中，每個節點收到 RREQ 封包後若無法在 route cache 中找到可至目的端節點之路徑，則節點將加入自己的位址於 RREQ 封包後再將此 RREQ 封包 rebroadcast；而在 BA-DSR 中，節點轉播

RREQ 的條件是與前一節點的 link 是否為 back-path-affirmed。為了實現此構想，我們加入一個新的欄位 *Ulink* 在 RREQ 封包當中。當 *Ulink* 欄位值為 1 時，表示此 RREQ 封包內之 path 欄位所記錄的路徑中至少包含有一個 unidirectional link，若 *Ulink* 之值為 0，則表示此路徑上所有的連結均為 bi-directional link，換而言之，也就是該路徑為一雙向路徑 (bi-directional path)。

最初，來源端節點  $n_s$  發出 RREQ 封包要求建立路徑，封包內之 *Ulink* 值設定為 0。其他中間節點之 rebroadcast 流程如圖 6 所示，在繞送的過程中，假設  $n_i$  節點收到由  $n_j$  節點所發出之 RREQ 封包，此時  $n_i$  節點便透過 BL test 來確認是否有能力回應  $n_j$ ，如果無能力回應，此 RREQ 封包將會被放入一個暫存的串列 (pending list) 中，且 RREQ 封包中之 *Ulink* 欄位將被設為 1 (表示該路徑中  $\langle n_i, n_j \rangle$  為 unidirectional link，但我們尚未確認是否為 back-path-affirmed)；如果有能力回應，則  $n_i$  會將此 RREQ 封包 rebroadcast 且不會更動 *Ulink* 的值，同時  $n_i$  會檢查 pending list，找出所有之前從其他從任何  $n_k \in N_j$  所收到之 RREQ，此處之  $N_j$  代表 path 欄位中之節點，若有找到上述條件之 RREQ 封包， $n_i$  便會將這些 RREQ 封包 rebroadcast (此處之 *Ulink* 值應為 1，意謂  $\langle n_k, n_i \rangle$  是 back-path-affirmed，也就是說我們可以找到從  $n_i$  回至  $n_k$  的 back path)。RREQ 封包透過節點之間以此方式一直被轉播下去直到找到目的端節點  $n_d$  為止。

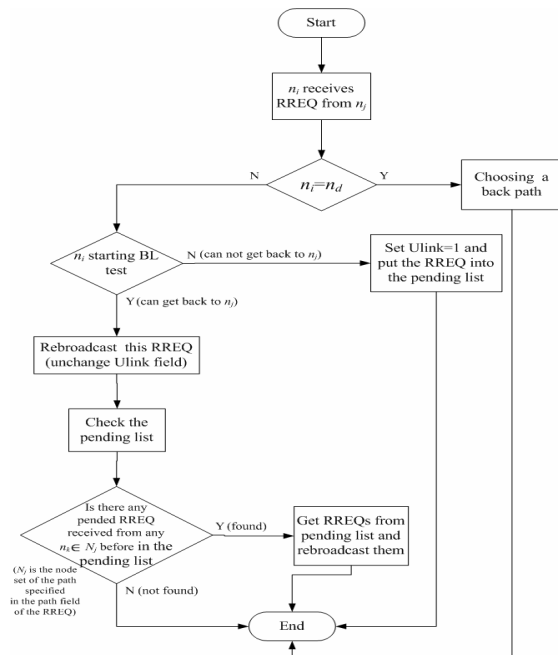


圖 6 中間節點  $n_i$  之 Rebroadcast 流程圖

在 back path 的選擇上(從目的端到來源端)，標準的 DSR 中，目的端節點  $n_d$  會收集 RREQ 一段時間，然後從中選取最小 hop count 的路徑做為 forwarding path，並以將此路徑資訊放入 RREP 封包中，以此路徑之反向來做為 back path 回覆 RREP 封包至來源端  $n_s$ ，而來源端便以 RREP 封包中的路徑資訊傳送資料給目的端。假如目的端等待一段時間後發生 time out，則目的端便可確認此 back path 不存在，於是便可由自己啟動 route discovery 來建立 back path。而在 BA-DSR 中， $n_d$  亦選擇一個最少 hop count 的路徑做為 forwarding path，並且將資路徑資訊放入 RREP 中，但是此目的端所選擇的 back path 需符合下列三項條件：(1) 最小 hop count，(2) *Ulink* 欄位的值必須為 0，(3) back path 上的節點必須包含傳送路徑上的所有節點。*Ulink*=0 代表該條路徑上的 link 均為雙向，意謂著有必定有路徑可回溯至  $n_s$ ，RREP 即可循該路徑成功地送回到  $n_s$ ，上述 back path 的選擇流程如圖 7 所示。



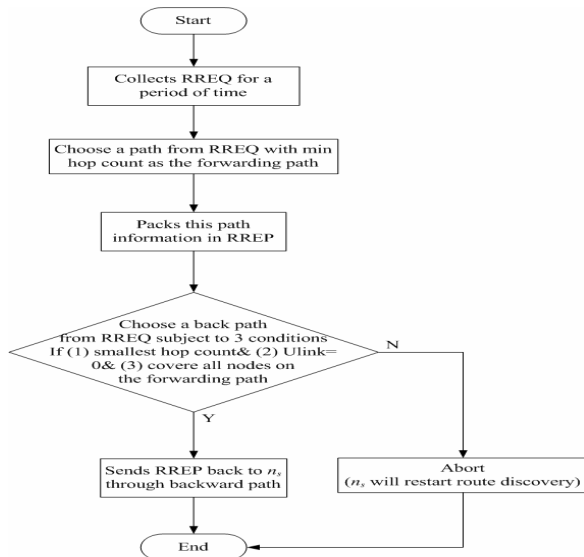


圖 7 目的端節點  $n_d$  之 Back Path 選擇流程圖

接下來我們以一個例子來說明 BA-DSR 之路徑尋找機制。假設目前網路節點如圖 8 所示，S 端 broadcast RREQ 要求建立至 D 的路徑，該 RREQ 將會被加上 Tpower、Rsense 與 Ulink 三個新的欄位，Tpower 存放 S 的傳輸功率  $T_s$ ，Rsense 存放 S 之天線接收靈敏度  $S_s$ ，Ulink 值則設為 0。RREQ 封包 broadcast 後，假設 A 與 B 皆收到由 S 所 broadcast 之 RREQ，A 與 B 在確認自己並非目的端 D 後，便啟動 BL test，判斷自己是否有能力回覆至 S，假設經由偵測得知 A 可回應 S，但因 pending list 中亦無任何先前所保留下來的 RREQ，故 RREQ 中 Ulink 欄位之值不會被更動(即為 0)，而 A 在 path 欄位中加入本身位址後(即在 path 欄位中加上 A)將 RREQ 封包 rebroadcast。另一方面，假設經由 BL test 得知 B 無能力回應至 S，因此將 RREQ(3)中之 Ulink 欄位值設為 1，並將 RREQ(3)加入 pending list 串列，接著，B 收到了由 A 所轉播之 RREQ(2)，並經由 BL test 判斷有能力回覆訊息至 A，因此亦不須更動 Ulink 之值(依然為 0)，而 B 除了將 RREQ(4)封包 rebroadcast 之外，同時也至 pending list 中裡比對是否有先前保留來自其他節點之 RREQ，而 B 在 pending list 當中找到了先前所保留之 RREQ(3)，因此亦將之取出

rebroadcast，換而言之，B 共 rebroadcast 了 RREQ(3)與 RREQ(4)兩個封包，最後 D 便收到了兩個來自不同路徑的 RREQ 封包，即 RREQ(3)與 RREQ(4)。

節點 D 一共收集到自 B 所發出的兩個 RREQ 封包(RREQ(3)與 RREQ(4))，從中選出最小的 hop count 做為 forwarding path，並將該路徑存放於 RREP 封包中，在此為 RREQ(5)中的路徑  $S \rightarrow B \rightarrow D$ ；而 back path 之選擇必須符合下列三項條件：(1) 最小 hop count，(2) Ulink 值為 0，(3) 包含 forwarding path 上所有節點之路徑，在此為 RREQ(6)中的路徑  $S \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow D$ ，D 便透過該路徑之反向  $D \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow S$  將 RREP 傳送回 S，而 S 便以 RREP 封包中之路徑  $S \rightarrow B \rightarrow D$  傳送資料給 D。此例中，由 BA-DSR 所建立之 forwarding path 與 back path 如圖 9。注意，本例中 forwarding path 之 hop count 僅為 2，而 back path 為 3。

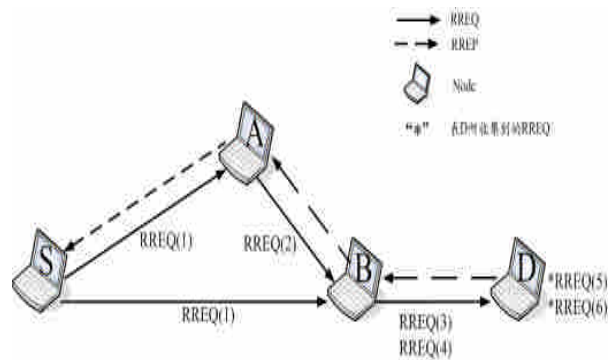


圖 8 BA-DSR 繞送路徑尋找機制

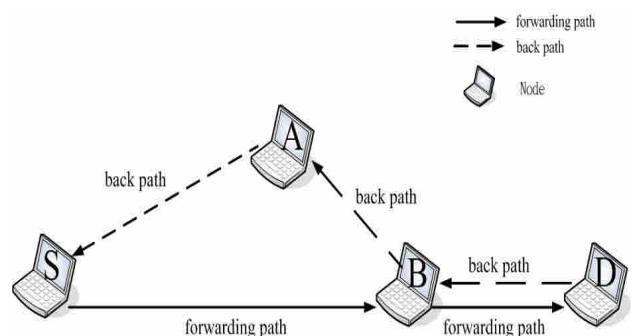


圖 9 BA-DSR 所產生之雙向繞送路徑

在標準之 DSR 中，路徑上的相鄰節點以監聽對方有無傳送訊息來得知對方的存在，若有鄰近節點離開，因節點未聽到鄰近節點有任何傳送封包之動作，便可察

覺該路徑中斷並通知來源端節點斷徑已中斷，來源端得知路徑中斷後，便重啟 route discovery 以建立新的路徑。然而這樣的做法必須假定節點之間為 bi-directional link，若在  $n_i$  與  $n_j$  之間為 unidirectional link， $n_i$  則無法監聽  $n_j$  的傳輸情況，因此  $n_i$  將無法得知  $n_j$  已經從路徑上離開，而這樣的情況會使得斷路資訊無法立即告知來源端，而導致來源端必須等待 time out 後才判斷路徑中斷而重啟 route discovery。相對地，在 BA-DSR 中，在 forwarding path 上的節點也包含在 back path 上，且 back path 上的 link 皆為 bi-directional link，當路上有任何斷路發生(包含 forwarding path 及 back path)時，便能馬上的被鄰近節點發現，然後將斷路資訊傳送給來源端。以圖 10 為例，假設因節點 F 離開而造成路徑中斷，雖節點 C 受 unidirectional link 影響無法得知 E 已經離開，但可藉由 bi-directional path 上之節點 E 得知斷路資訊，並將斷路訊息回傳給來源端 S，S 便可重啟 route discovery，如此一來將可更快速的重建中斷的路徑。

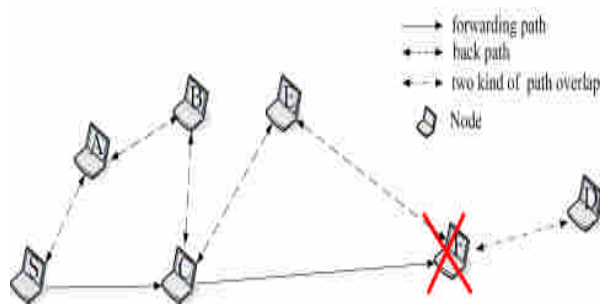


圖 10 BA-DSR 路徑維護示意圖

### AODV、DSR 與 BA-DSR 之路徑特性探討

在非對稱的網路環境中，因節點之 transmission power 互有不同而容易出現 unidirectional path 之問題，由於 AODV 必須在節點間彼此存在 bi-directional path 時才允許建立路徑，因此 AODV 所建立之路徑雖均為雙向之對稱路徑(意謂 forwarding path 與 back path 為相同的路徑)，但因受到非對稱環境影響，需等待節點間彼此有 bi-directional path 時才可建立，路徑建立時間可能較長，並且

可能有較多的 hop count 而造成傳輸效能較低；而 DSR 因允許 forwarding path 與 back path 之路徑均可為 unidirectional link，並且因為路徑上可包含有 unidirectional path，因此可能有較少的 hop count，但 DSR 須在無法使用 forwarding path 做為 back path 傳送 RREP 時，才能由目的端啟動 route discovery 尋找另一條可用的 back path，路徑建立時間將會提高，並且在 unidirectional link 間因節點之間無法得知對方的存在與否，路徑維護效率亦較低；而 BA-DSR 在尋找路徑時會先偵測兩點間是否存在 back path 以做為 RREQ 封包 rebroadcast 之依據，利用最少 hop count 之路徑做為 forwarding path，路徑上與 DSR 同樣允許有 unidirectional link，但 back path 必須均為 bi-directional path 以利 RREP 回傳與路徑之維護，雖 forwarding path 上可能包含有 unidirectional link，但相較於 AODV 卻因 hop count 較少而有較佳之傳輸效率，更重要的是 back path 上之節點包含了 forwarding path 上之所有節點，可利用 back path 節點之間為 bi-directional link 之特性來維護 forwarding path 上 unidirectional link 之節點，在路徑維護上亦比 DSR 更有效率。

綜觀本章所述，BA-DSR 在繞送效能上有下列幾點的優勢，首先，BA-DSR 使用了 bi-directional path(意指 path 上所有 link 皆為 bi-directional link)來做為 back path 傳送 RREP 封包，與 DSR 相較之下，來源端將有更大的機會收到 RREP。其次，BA-DSR 將最少 hop count 的路徑由 RREP 送回給來源端，因此 forwarding path 之 hop count 最小，有時能比 AODV 有更少的 hop count。第三，BA-DSR 所建立的 back path 包含了 forwarding path 上的所有節點，back path 上均為 bi-directional path，因此可以較快速的得知斷路並重新建立路徑。最後，有條件的傳送 RREQ 可避免在非對稱傳輸環境下因 unidirectional link 而造成如 AODV

須等待多次 time out 後找到可用之 bi-directional path 才能建立路徑及如 DSR 需由來源端及目的端分別執行 flooding 之問題，因此能有更快的路徑建立速度與更低的控制訊息(controlling overhead)，以減少 packet loss。

#### 四、模擬實驗與結果討論

在這個章節裡，我們將以模擬的方式觀察非對稱傳輸(asymmetric transmission)環境對 MANET 的各個繞送協定所造成之影響，我們將分別在靜態 Link 拓撲與動態拓撲下，使用我們所提出的 BA-DSR 機制，與標準的繞送協定 AODV 與 DSR 以及在先前研究[1]所提出之 PAODV 與 PDSR 一同做比較。

PAODV 與 PDSR 是一種在 AODV 與 DSR 協定上加入 power-aware 的機制，利用偵測節點之間是否為 bi-directional link 來做為 RREQ 封包轉播之依據，並將所有 unidirectional link 過濾不用，換而言之，以 PAODV 或 PDSR 所建立之路徑一定是 bi-directional path，不過卻會有 hop count 較多之缺點，使封包傳輸的效率較差；而因 BA-DSR 並不完全排除 unidirectional link，理論上在 forwarding path 能比 PAODV 與 PDSR 有更少的 hop count，也就是說有更佳的傳輸效率，所以我們亦將 PAODV 與 PDSR 一同納入模擬並做比較分析。

我們將採用 Glomosim(Global Mobile Simulation)模擬軟體，並修改 Glomosim 原有之 DSR 繞送協定使其符合本研究提出之 BA-DSR 機制，並設定不同的節點傳輸功率(transmission power)來模擬各種 MANET 節點之間傳輸能力的不對稱性。

#### 在靜態 Link 拓撲下非對稱性傳輸環境之影響

我們首先要模擬的是在節點靜止不動的 Link 拓撲下非對稱性傳輸環境，我們在模擬區中安排 8 個節點(Node 0~Node 7)，並將節點排成一直線(如圖 11 所示)，以 Node 0 為來源端節點，Node 7 為目的

端節點。每次模擬都將調整來源端節點的 transmission power，來源端節點 transmission power 一開始為 10dBm，以每次模擬增加 5dBm 之方式，直到增至 50dBm 為止，共 9 種不同之 transmission power (10dBm~50dBm)，其他節點之 transmission power 則均設為 10dBm，而所有節點之 receive sensitivity 均為 -70dBm，使用 IEEE802.11 標準，無線通訊頻率為 2.4GHz，頻寬為 2M，節點與節點間使用 Free Space Path Loss。

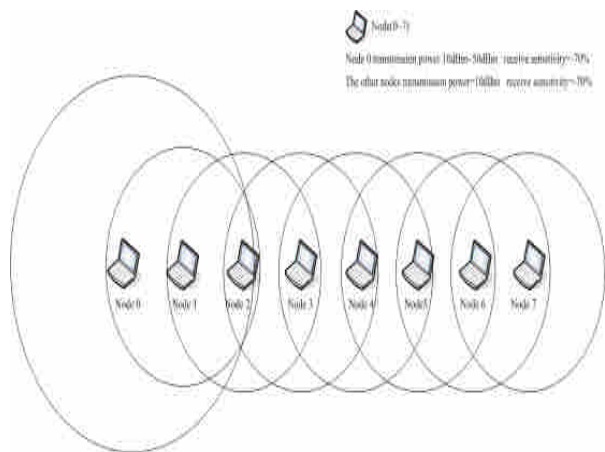


圖 11 靜態 Link 拓撲示意圖

模擬開始後由來源端以 UDP 之方式每一秒傳送 1 個 512Byte 大小的封包，共傳送 1000 個封包至目的端，以單純調整來源端節點之 transmission power 方式呈現 asymmetric transmission 環境，探討各類協定於路徑建立時間、封包到達率與控制封包數之情形。

首先我們要討論在靜態 Link 拓撲下各協定路徑建立時間，路徑建立時間是影響封包到達率高低的重要因素，圖 12 為各協定路徑建立時間之模擬結果。

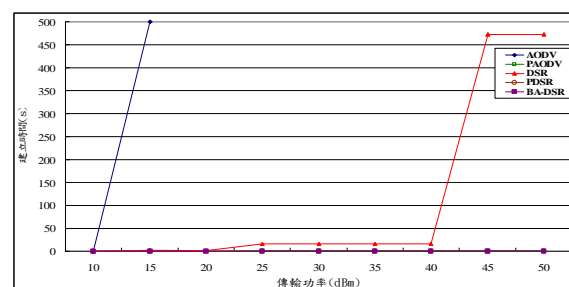


圖 12 靜態 Link 拓撲下各協定之路徑建立時間比較



一開始，當網路 transmission power 為 10dBm 時，因是對稱性(symmetric)之傳輸環境，並無 unidirectional link 之影響，所以各協定均能在一秒內就建立繞送路徑。當 Node 0 之 transmission power 提升為 15dBm 時，由於節點為靜止狀態，因此需要雙向路徑的 AODV 已經因為無法找到 back path 而造成路徑建立失敗(因本模擬軟體之 AODV 未有 black list 之機制因此無成功建立路徑，若在有 black list 機制之環境下，AODV 一次一次的過濾掉 unidirectional path 並找到 bi-directional path 後便可建立路徑，但需耗費相當長的時間)，因此之後 transmission power 再提升後亦無法成功地建立路徑；而 DSR、PAODV、PDSR 與 BA-DSR 則因可處理 unidirectional path 之問題，因此在來源端之 transmission power 為 15dBm 時，路徑建立時間分別為 2.08 秒、0.34 秒、0.33 與 0.29 秒，當 transmission power 再提升至 25dBm 時，DSR 之路徑建立時間已增至 16.63 秒，其餘3者依然可在一秒內建立路徑，顯示 DSR 雖可成功建立路徑，但已受 asymmetric transmission 環境之因素，而加長了路徑建立的時間。當 transmission power 再提升至 45dBm 時，DSR 之路徑建立時間更增加到 471.96 秒，超出一般可以接受的時間範圍，這是因為因來源端之 transmission power 太大，asymmetric transmission 情況嚴重，各節點在 route cache 內記錄無效的路徑，而 DSR 協定所採用的 route reply 機制建議了錯誤的路徑，造成來源端在 time out 後不斷重啟 route discovery 機制，因此嚴重影響繞送路徑被建立的時間，而 PAODV、PDSR 與 BA-DSR 在送出 RREQ 封包時加入了 transmission power 與 receive sensitivity 來做為封包 rebroadcast 之依據，因此在 asymmetric transmission 環境中亦能快速建立路徑，雖然此三者之路徑建立速度皆很快，但不同之處在於 PAODV 及 PDSR 將所有的 unidirectional path 完全過濾僅保留 bi-directional

path 來做為 forwarding path 與 back path，在封包的傳輸上可能因路徑之 hop count 較多造成傳輸效率較低，而 BA-DSR 則是選擇最小 hop count 之路徑做為 forwarding path，雖路徑上可能包含 unidirectional link，但可有較高的封包傳輸效率。

接下來我們要討論在靜態 Link 拓撲下各協定封包到達率，我們以 UDP 方式每一秒傳送一個 512Byte 大小的封包，在模擬一開始就立即傳送，在路徑還未建立之前，這些傳送的封包會被暫存在來源端的 buffer 當中，若 buffer 已 overflow 但路建尚未建立完成，則封包將會被 drop，造成封包遺失，因此封包到達率為評估繞送協定建立路徑效能的一項重要指標。在靜態拓撲中因節點不會移動，所以路徑一旦建立完成，來源端便可一直依該路徑傳送資料直到傳送完畢，換而言之，路徑建立速度越快，將會有越高的封包到達率，圖 13 為各協定封包到達率的模擬結果。

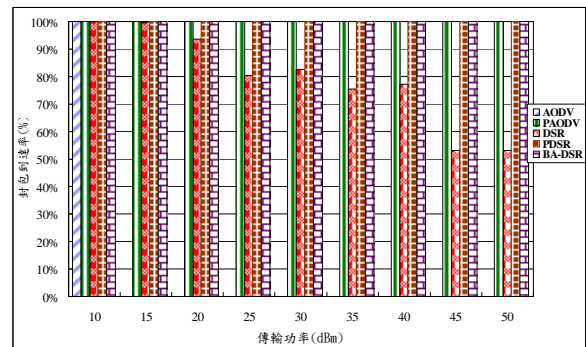


圖 13 靜態 Link 拓撲下各協定之封包到達率比較

由圖中可以看出在 transmission power 均為 10dBm 的對稱傳輸狀態下，五種協定均能有 100% 的封包到達率，transmission power 調升 15dBm 以上後，因 AODV 已無法建立路徑，因此並無任何封包送達，而在 DSR、PAODV、PDSR 與 BA-DSR 中，因路徑建立時間尚短，除 DSR 之到達率為 99.8%，其餘均為 100%，封包到達率皆非常高，但將 transmission power 繼續往上提升時，DSR 因 asymmetric transmission 較嚴重，造成路徑的建立時間變長，在路徑尚未建立前，封包暫時保



留在來源節點的 buffer 中，直到 buffer overflow 時封包被 drop 掉，封包到達率因而下降，在 25dBm 時僅有 80.3% 之到達率，在 45dBm 時更僅剩 53% 之到達率，而 PAODV、PDSR 與 BA-DSR 因為路徑建立時間短，並且在節點為靜止之狀態下，因為沒有路徑重建之問題，均能有 100% 的封包到達率。

接下來我們要討論的是在靜態 Link 拓撲下各協定控制封包數量，控制封包數量在 MANET 中亦是一個重要的數據，若節點在無法建立路徑時重新啟動 route discovery，必須以 broadcast 方式發送控制封包(如 RREQ)，而這樣的方式將會使網路上充斥著大量的控制封包，導致網路負擔增加，甚至影響資料封包的傳送，造成整體網路效能下降，圖 14 為控制封包(control packet)數量之模擬結果。

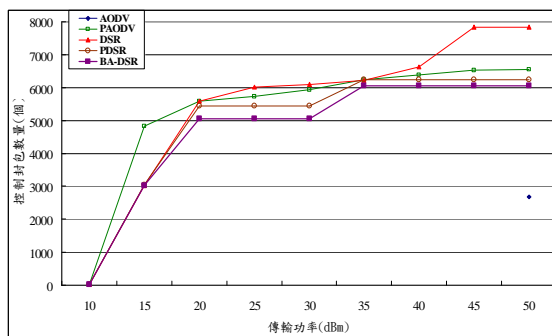


圖 14 靜態 Link 拓撲下各協定之控制封包數量比較

由圖中顯示在 transmission power 均為 10dBm 的對稱傳輸狀態下，AODV、PAODV、DSR、PDSR 與 BA-DSR 之五種協定控制封包數分別 17、17、16、21 與 21 個，皆為極少量之控制封包數。當 transmission power 上升至 15dBm，AODV 已無法建立路徑。另一方面，由於來源端之 transmission power 增加而造成 unidirectional link 之產生，因此在執行路徑尋找時會產生較多的控制封包，在 transmission power 為 20dBm 時，因發送功率變大，可涵蓋的節點較多，因此在較多節點收到 RREQ 封包並 rebroadcast 封包的情況下，各協定之控制封包均有增加的情形，DSR、PAODV、PDSR 與 BA-DSR 之

控制封包數各為 5594、6839、5433 及 5051 個，transmission power 調升至 35dBm 時，DSR、PAODV、PDSR 與 BA-DSR 之控制封包數 6243、6242、5833 及 6055 個，不過在 transmission power 調升至 45dBm 後，DSR 因 asymmetric transmission 嚴重之故，控制封包數已達到 7000 個以上，而 PAODV、PDSR 及 BA-DSR 皆依然穩定在 6000~6500 個控制封包之間，且 BA-DSR 還比 PAODV 與 PDSR 有更少的控制封包數，並且與來源端功率較小時相距不遠，呈現穩定狀態，這是因為此三者透過路徑偵測機制在路徑尋找時預先處理 unidirectional link 問題，因此節點收到 RREQ 後並不會盲目的 rebroadcast 封包，能有較平穩的控制封包數，而 DSR 因受 unidirectional link 的影響造成路徑無法在一次 flooding 下成功建立，因此控制封包數量較其它三者高出許多。

#### 在動態拓撲下非對稱性傳輸環境之影響

在這個模擬中，我們將模擬傳送一部 30 分鐘的 mpeg4 影片來建構一個在 MANET 中傳送影片之情境，由於 mpeg4 影片之 bit rate 為 56kbps，因此我們以 UDP 方式每 140ms 傳送 1 個 1KB 大小的封包以符合該速率，又因影片長度為 30 分鐘，因此共傳送 12600 個封包，以這樣的傳送方式來模擬傳送一部 30 分鐘的 mpeg4 影片之情境，本模擬之區域大小為 2500m\*2500m，樣本狀態為在模擬區中分別安排 50、60、70、80、90 及 100 個之六種節點密度，在模擬節點中選擇左上角與右下角兩個最遠的節點做為來源端與目的端(如圖 15 所示)，其他節點則以 Random 的方式散布於區域中，並分配不同比率之 transmission power 製造 asymmetric transmission 環境，各節點之天線接收靈敏度為 -81dBm，節點與節點間使用 Free Space Path Loss，移動方式為 Random Way Point(指節點朝一個隨機的方向移動後，停留若干時間再朝一個隨機的方向移動)，節點停留時間為 20 秒，移動速度為每秒 0-20 公尺採 Random 方式配速。本模擬欲以與實際情況較相符之 MANET 情境來比較各協定

在 asymmetric transmission 網路環境下，當節點會移動時，不同節點密度下之封包到達率、forwarding path hop count 數量與控制封包數之情況，藉以分析網路之效能。

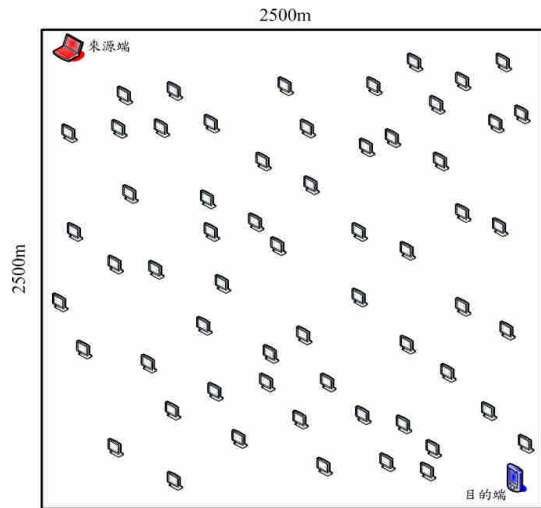


圖 15 模擬節點分佈示意圖

首先我們要討論在動態拓撲時，在不同的節點密度下對於封包到達率的影響，因在節點會移動的情況下，建立好的路徑可能因為節點的移動導致中斷而必須重新建立新的路徑，另一方面，在節點會移動的情形下，相較於靜態拓撲時可能有較大的機會建立路徑，避開因 asymmetric transmission 所造成的 unidirectional link，而藉由封包到達率高低的觀察，我們也可以評估各協定在路徑建立時間與斷路維護上的效能之好壞，圖 16 為在動態拓撲時，不同節點密度下各協定的封包到達率模擬結果。

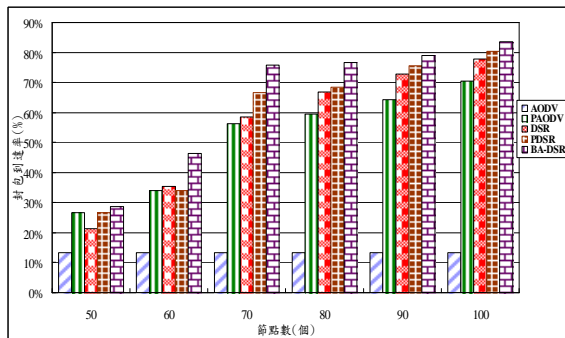


圖 16 動態拓撲下各協定之封包到達率比較

由圖顯示，在整個網路節點密度的提

升下，各協定的封包到達率亦相對的提升，顯示節點密度越高，路徑被建立的機會越大，並且路徑的維護也較有效率。不過 AODV 因需建立對稱之 bi-directional path，而受到 asymmetric transmission 環境之影響，必須藉由等待節點移動之後，若找到每一個節點間皆存在 bi-directional link 才能成功建立路徑，造成路徑建立失敗比率高，封包無法正確的被繞送至目的端，就算路徑成功的建立，但當節點再次移動時，又會因無法找到可用路徑而造成封包遺失，雖然節點密度的增加可有利於提升路徑建立之機率，但因本 AODV 未使用 black list 過濾 unidirectional link，因此僅能在第一次就找到 bi-directional path 時建立路徑，即便節點密度提升，在沒有 black list 機制下封包到達率仍僅能在 13.31%。

在其他協定方面，50 個節點密度時因節點數較少使各協定之路徑建立時間均受影響，DSR 封包到達率為 21.45%，因受 unidirectional path 影響導致斷路時重建路徑效率差，若此時 route cache 又提供錯誤的路徑資訊給來源端，將使建立有效路徑的時間更長，而 PDSR 與 PAODV 因在建立路徑時先確認有 bi-directional link 存在時才 rebroadcast RREQ，因此路徑建立時間應較 DSR 短，使封包到達率分別均為 26.58%，較 DSR 為高，而 BA-DSR 所建立之路徑因使用較少的 hop count 做為 forwarding path，並使用 bi-directional path 做為 back path，因此除比 PAODV 與 PDSR 有更好的傳輸效率外，更重要的是在斷路偵測上與重建上亦較 DSR 有效率，可以在較短時間內重建路徑，但因受到 back path 須建立為 bi-directional path，因此在節點密度較少的情況下，封包到達率為 28.74%，不過隨著節點數量增加，路徑建立的機會更大，因此 DSR、PAODV 與 PDSR 協定因節點密度不斷提升之故使封包到達率亦漸漸上升，但 BA-DSR 在節點密度為 70 時，封包到達率已達到 75.71%，明顯高於其他協定。由此可見節點之密度若較高，對於各

協定來說可降低 asymmetric transmission 之影響，率增加路徑建立機會與斷路維護效率，隨著節點密度的上升而逐漸提升封包到達率，另一方面，對於 BA-DSR 來說，當節點密度增至某個程度後（以本模擬來說是在 70 個節點時），即可大幅提升封包到達率，有別於其他協定是隨著節點密度提高而逐漸上升，表示 BA-DSR 在路徑的建立與維護上比其他協定更有效率。

接著我們將觀察在動態拓撲下，不同節點密度對各協定之控制封包數量有何影響，我們知道若路徑建立失敗時，必須重啟 route discovery 機制，而這將造成控制封包數的上升，換而言之，若路徑的建立越有效率，則控制封包數量將會越低，另一方面，在路徑維護上越有效率，同樣也能降低控制封包的數量，圖 17 為在動態拓撲時，不同節點密度下各協定的控制封包(control packet)數量模擬結果。

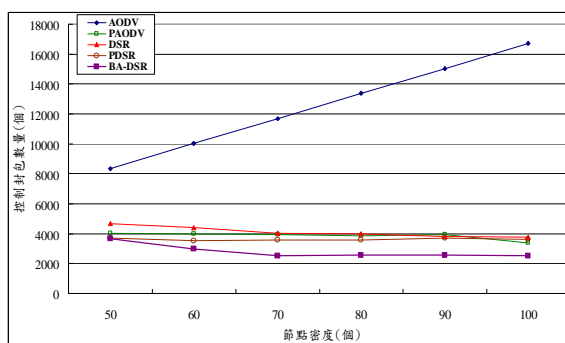


圖 17 動態拓撲下各協定之控制封包數量比較

從本圖中我們發現到 AODV 因 asymmetric transmission 之影響，建立路徑較為困難，在來源節點不斷啟動 route discovery 的情況下，其他節點又盲目的 rebroadcast RREQ，造成在路徑無法建立時的 broadcast storm，由密度為 50 節點時的 8354 個，成長為 80 個節點時的 13364 個，到 100 個個節點時的 16704，控制封包的數量隨著節點數越多而不斷成長。在其他協定方面我們發現到因節點密度提升，各協定在路徑建立機會皆會增加，因此控制封包的數量較節點密度小時

更少，顯示節點密度越高，受 asymmetric transmission 影響之情況會越少。例如當 50 個節點密度時，因尋找路徑較困難，控制封包數量分別為 DSR 的 4655 個、PAODV 的 4043 個、PDSR 的 3690 個及 BA-DSR 的 3676 個，DSR 因受 asymmetric transmission 之影響，route cache 可能提供錯誤路徑，造成控制封包數較高，而隨著節點密度的提升，各協定的控制封包數依然保持穩定，並不會如同 AODV 在 asymmetric transmission 環境下因無法建立路徑導致節點密度越高而產生越多的控制封包，此外，BA-DSR 之控制封包除節點密度為 50 時外，在其它密度時皆保持在 3000 個以下，均低於其它協定，顯示 BA-DSR 相較於其他協定可有效的降低控制封包的數量。

接下來我們將討論在動態拓撲下，不同節點密度對各協定之 forwarding path 平均 hop count 數量有何影響，AODV、PAODV 與 PDSR 因皆需建立 bi-directional path，因此會有較高的 hop count，而 DSR 與 BA-DSR 皆允許使用 unidirectional link，因此有較低的 hop count，圖 118 為在動態拓撲時，各協定於不同節點密度下 forwarding path 平均 hop count 數量模擬結果。

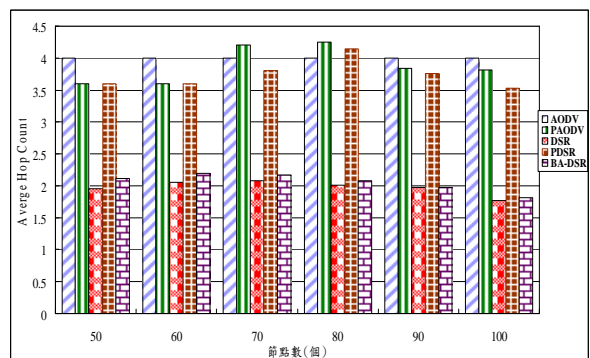


圖 18 動態拓撲下 Forwarding Path 平均 hop count 數量比較

由本圖我們可以看出由於各協定均選擇最小 hop count 之路徑，因此節點密度與 forwarding path 之 hop count 並沒有顯著的關係，換而言之，雖然節點密度提升有助於提高建立路徑的機會，但 hop



count 並不會因為節點度的提升而上升或下降。另一方面，由本圖可以顯示出 BA-DSR 的 forwarding path 之 hop count 均較 AODV、PAODV 與 PDSR 還少，這是因為 BA-DSR 能保留包含 unidirectional link 的路徑，使 forwarding path 能有較少的 hop count，而 PAODV 及 PDSR 均完全排除有 unidirectional link 的路徑，因此 hop count 會較高；此外，相較於 DSR，由於 BA-DSR 在 back path 上各節點之間必須為 bi-directional link 且包含 forwarding path 上之所有節點，若較小 hop count 之 forwarding path 無 bi-directional path 做回 back path 時，路徑將不會被建立，因此雖然有時 BA-DSR 所建立之 forwarding path 之 hop count 仍較 DSR 高但差距甚小，此外 BA-DSR 相較於 AODV、PAODV 與 PDSR 有明顯較佳的資料傳送效率。

### 模擬結果討論

以上之模擬實驗，均為探討非對稱傳輸情況在 MANET 的影響，使用本研究所提出之 BA-DSR 機制與傳統協定 AODV、DSR 以及先前之研究 PAODV、PDSR 做比較，而從模擬之結果我們歸納出以下五點結論：(1) 非對稱傳輸環境所造成之 unidirectional link，將使 AODV 與 DSR 協定之繞送效能嚴重下降，(2) 當節點密度越高時，路徑建立的機會就越大，封包到達率也將因此而提升，(3) 因為 BA-DSR 採用 bi-directional link test 機制，節點收到 RREQ 後不會盲目 rebroadcast，因此可比其它協定有更少的控制封包數量，(4) BA-DSR 所建立之 forwarding path 可比 AODV、PAODV 與 PDSR 有更少的 hop count，因此可有更佳的傳輸效率，(5) 在非對稱傳輸環境下，BA-DSR 能比其他協定有更快的路徑建立時間與更高的封包到達率。

### 五、結論

依據先前之研究顯示，在非對稱傳輸的 MANET 環境裡，的確會因節點之間傳輸能力不同而造成之單向路徑現象並對網

路之效能有重大之影響[1][8][12]。本研究係針對 MANET 於非對稱傳輸環境中，提出一種比標準繞送機制(如 DSR)更有效率之方法 BA-DSR，並以模擬實驗分析其效能。

而實驗結果也顯示 BA-DSR 除了能夠成功的建立有效路徑之外，對於整體之網路效能也有顯著的提升，BA-DSR 所採用之 Back-Path-Affirmed 機制，不但改善了 AODV 必須建立 bi-directional path 而造成路徑建立失敗的問題，也提升了 DSR 在尋找路徑時的時效性，避免節點無謂的 flooding，成功的降低控制封包的數量，在路徑維護上也能透過 bi-directional path 上之節點來維護 unidirectional path 之斷路，使來源端能在較短之時間得知斷路資訊重啟 route discovery 重新建立新路徑，提升封包到達率，另一方面，相較於 PAODV 與 PDSR，BA-DSR 不完全排除掉 unidirectional link，它除了以 unidirectional path 做為 back path 外，也使用包含 unidirectional link 且為最少 hop count 之路徑做為 forwarding path，因此能有更少的 hop count，提升傳輸效能。

### 參考文獻

- [1] 周湘宏，“非對稱性傳輸特性對無實體架構無線網路繞送之影響”，國立屏東科技大學資訊管理系碩士學位論文，2006 年 6 月。
- [2] Bao, L., Garcia, L.A. “Link-state Routing in Networks with Unidirectional Links”. In Proceedings of International Conference on Computer Communications and Networks (IC3N), pages 358-363, 1999.
- [3] Duros, E., Dabbous, W., Izumiyama, H., Fujii, N., Zhang, Y. ” A Link-Layer Tunneling Mechanism for Unidirectional Links. “ RFC 3077, 2001.
- [4] Hu, C., Hong Y., Hou, J. “On Mitigating the Broadcast Storm Problem with



- Directional Antennas” IEEE Communications, 2003.
- [5] Johnson, B.D., Maltz, A.D., Hu, Y.C. “The dynamic source Routing protocol for mobile Ad Hoc Networks”, IETF internet draft, draft-ietf-manet-dsr-10.txt, 19 July 2004.
- [6] Lee, M.J., Zheng, J., Hu, X., Juan, H.H., Zhu, C., Liu, Y., Yoon, J.S., Saadawi, T.N. “A New Taxonomy of Routing Algorithms for Wireless Mobile Ad Hoc Networks: The Component Approach”, Page 116–123, IEEE Communications Magazine, November 2006.
- [7] Leung R., Liu, J., Poon, E., Chan A., Li, B. “MP-DSR: A QoS-Aware Multi-Path Dynamic Source Routing Protocol for Wireless Ad-Hoc Networks”, In Proc. of the 26th IEEE Annual Conference on Local Computer Networks (LCN 2001), pp. 132-141, November, 2001.
- [8] Marina, K.M., Das, R.S. “Routing Performance in the Presence of Unidirectional Links in Multihop Wireless Networks”, Proc. ACM MobiHoc 02, pp. 12-23, 2002.
- [9] Ni, S.Y., Tseng, Y.C., Chen, Y.S., Sheu, J.P. “The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network”, ACM Wireless Networks Vol. 8, No. 2, pp. 153 -167, March 2002.
- [10] Perkins, C.E, Watson, T.J “Highly dynamic destination sequenced distance vector routing (DSDV) for mobile computers”, ACM SIGCOMM 94 Conference on Communications Architectures, London, UK, 1994.
- [11] Perkins, C.E., Belding-Royer, E.M., Das, S.R. “Ad Hoc on demand distance vector (AODV) Routing”, draft-ietf-manet-aodv-13.txt, IETF internet draft, 17 FEB 2003.
- [12] Ramasubramanian, V., Chandr, R., Mossé, D. ” Providing a Bidirectional Abstraction for Unidirectional Ad Hoc Networks”. In Proceedings of IEEE INFOCOM, 2002.
- [13] Yang, C.C., Chen, C.Y. “A Reachability-Guaranteed Approach for Reducing Broadcast Storms in Mobile Ad Hoc Networks” Proceedings of IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference (VTC-2002), 2002.