

A Self-healing Routing Scheme

on Wireless Mesh Networks

Fongray Frank Young, Sheng-Tsung Tseng, Liang-Tay Lin*, Jim-Min Lin**
and Kai-Wen Chang

Department of Communications Engineering, Feng-Chia University, Taiwan

* Department of Transportation Technology Management, Feng-Chia University, Taiwan

** Department of Information Engineering and Computer Science, Feng-Chia University, Taiwan

fryoung@fcu.edu.tw

摘要

在無線網狀網路中，由於行動節點的頻繁移動，經常導致路由路徑失效。AODV 路由協定對失效路由路徑反應速度過慢，使得資料傳送的延遲時間延長，為了解決相關問題，本文提出了終端多路徑備份演算法。藉著 AODV-BR (Backup Route) 的相聯輔助路徑備份演算法，本研究加強了在行動節點移動時，快速更新傳輸路由的機制。利用行動節點的鄰近節點輔助，加上行動節點自身的多路徑備份，同時在路徑選擇上考量當前路徑中繼節點的負載量，選擇平均負載量少並傳輸速度的路由。可以使正在傳輸資料的移動行動節點，即時更新路由路徑，並減少資料傳輸的延遲。

關鍵詞：無線網狀網路、行動節點、路徑備份、相聯輔助路由、AMBR

Abstract

Traffic network control system provides important basis of traffic directions for metropolises. City governments used to set up the control system without deeply investigating issues on fault tolerance and performance enhancement. This sub-project proposes a distributed traffic control system using wireless network technique to link all traffic control facilities. The wireless network environment reduces the problem of

disconnection happening due to road repair. Internet protocol and agent technologies are applied to prevent this system from being halted, hacker invasion and denial of service. A self-organized processing scheme and a portable traffic center are established for traffic control among intersection nodes. Traffic conditions are expected to be well controlled instantly under this system.

Keywords: Traffic Network Control System, Wireless Networks, Internet Protocol, Distributed System, Mobile Traffic Control Center

1. 緒論

以往在無線備份議題上，最常見的就是在傳送之前建立多條路進來進行備份。但在建立多條路徑之初，往往都需發送額外的封包，這使得網路整體負載相對變大。為此，Sung-Ju Lee 與 Mario Gerla 提出 AODV-BR[4]路徑備份演算法，此演算法的特色是使用原有的無線廣播特性，不用增加多餘的控制封包下，進行多路徑備份與建構網狀路徑。它主要是利用 AODV 路由協議中回送 RREP 與資料傳輸的階段，來建立與主路由相鄰的輔助路由路徑[7][9]。

由於 AODV-BR 是利用 AODV 既有的封包與無線傳輸的廣播特性進行由備份，因此相對於 AODV 的效能並不會造成多餘負擔。此演算法利用無線網路廣播的特性與主路徑相鄰節點，來進行備份多路徑是很好的方法。但對於行動節點來說，仍有改進 AODV-BR 路由演算法的空間，來達成快速更新路徑。因此，藉著 AODV-BR (Backup Route) 路徑備份與關聯輔助演算法[11]，本研究加強了在行動節點移動時，快速更新傳輸路由的機制進而提出 AODV-AMBR (Associativity Multi-Backup Routing) 以下簡稱 AMBR。利用行動節點的鄰近節點輔助[10]，加上行動節點自身的多路徑備份，可以使正在傳輸資料的移動行動節點，即時更新路由路徑，並減少資料傳輸的延遲。

另外，一般傳統路由演算法都是以保證各節點能量充足的情況做考量設計的，然而使用在實際應用在獨立無限網狀網路上，由於並不能保證各個行動裝置的能量是永遠無限，因此各點的能量負載是必須被考量。且在某些應用場合會需要獨立的無線存取點來提供用戶使用，而這些獨立無線存取點同時必須此互相溝通與傳輸。因此，為了平均各節點負載，本研究在路徑選擇上需考量路徑上節點當前的負載量，與當前路徑中繼節點的關聯性，選擇平均負載量少並傳輸速度的路由。下面將對本研究相關的研究背景做介紹。

2. 理論基礎

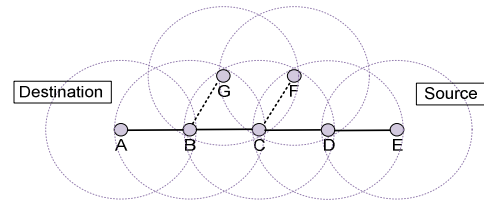
2.1 AODV-BR (AODV-Backup Route)

AODV-BR[4]是由 Sung-Ju Lee 與 Mario Gerla 提出，此演算法的特色是不用增加多餘的控制封包下，進行多路徑備份與建構網狀路徑。他主要是利用 AODV 路由協議中回送 RREP 與資料傳輸的階段，來建立與主路由相鄰的輔助路由路徑。由於 AODV-BR 是利用 AODV 既有的封包與無線傳輸的廣播特性進行由備份，因此相對於 AODV 的效能並不會造成多餘負擔。下面將說明 AODV-BR 的流程。

2.1.1 路徑建置

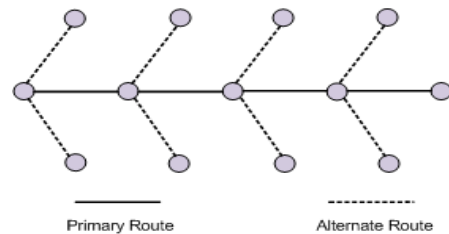
當目的端回送 RREP 給來源端與來源端傳送資料給目的端時，在主路由相鄰的節點藉由無線傳輸的廣播特性，監聽這些訊息封包並在自身的 Alternate Route Table 登錄傳送訊息封包的鄰近節點為前往訊息封包中來源位址的下一站

(Next Hop)。如圖 1 所示，假設目的端 (Destination) A 傳送 RREP 給來源端 (Source) E。當 RREP 經過 B 時，鄰近 B 的節點 G 將會監聽到前往來源端 E 的 RREP，並在自身中登錄鄰近節點 B 為具有前往目的端 A 的下一站，即 RREP 中的來源位址 (Source IP)。同理，當目的端 A 傳送資料時，節點 F 會登錄 C 為前往目的端 A 的下一站。



▲ 圖 1 AODV-BR 演算法

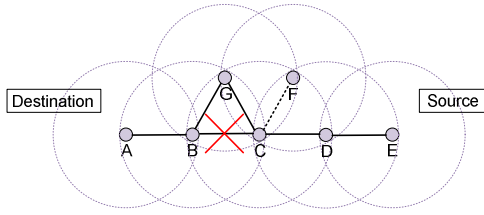
通常鄰近節點都會監聽到多個同路徑的訊息封包，這時節點本身會自行判斷最佳路徑並紀錄於備份路徑表中。因此從來源端到目的端之間與備份路徑就會形成如魚骨搬得網狀架構，如圖 2。值得注意的是，在 AODV-BR 演算法中，他只監聽 RREP 封包與傳輸資料封包。這是由於在 AODV 的四種類封包中，這兩種訊息封包的可靠性最大。其中 RREQ 為路徑探索階段，對路徑的可行性不大，而 RERR 則是路徑錯誤訊息，故這兩類訊息封包不監聽。



▲ 圖 2 AODV-BR 路由架構圖

2.1.2 備份路徑維護與斷裂修復

AODV-BR 備份路徑的維護方法及斷裂修復跟 AODV 方法差不多[8]。在原來 AODV 路徑的維護方法中，路徑經過一段時間沒有使用，會將此路徑從路由表中刪除。而 AODV-BR 也同樣採用此作法來進行備份路徑維護。如果節點監聽到傳往目的端的資料封包時，則會立即更新相關路徑。若有一段時間都沒監聽到相關訊息封包，則會將相關路徑紀錄從備份路由表中刪除。



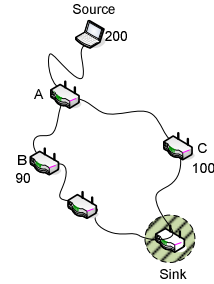
▲ 圖 3 AODV-BR 路徑斷裂修復

在路徑斷裂修復方面如圖 3，當節點 C 發現與節點 B 之連接消失時，節點 C 會將資料封包以單跳廣播 (One Hop Data Broadcast) 的方式傳送給鄰近節點 G。並在其標頭上註明此資料封包是因為路徑斷裂，希望鄰近節點能夠幫忙將資料封包傳往目的端。而當鄰近節點 G 接收這些需幫忙傳送的資料封包，並檢查備份路由表中有其需要的備份路徑時，除了會幫忙傳送資料風暴到達目的端外，為了防止形成資料傳輸迴圈，同時會檢查下一個發送節點是不是與上一個發送節點相同。另外，此偵測到路徑斷裂的中繼節點 C，會向來源端發送 RERR 封包，通知其更新路徑以便即時反應網路之拓模改變。

2.2 成本路徑考量

由於在獨立無線網狀網路中，除了傳輸效益要良好以外，其整體的傳輸壽命亦需考量的重點之一[7]。在參考文獻[12]中，作者等人藉由成本和預算之關係與自然界中水往低處流的定律，提出了 Cost Field 的概念。Cost Field 對每個節點而言，是定義為在最佳路徑上從該節點到達 Sink 端的最低成本需求，節點送出的封包中，會記錄著該節點到達 Sink 端的最低成本需求以及從該節點出發截至到達目前節點時已消耗掉的成本 (Cost) [13]。收到封包的所有節點必須將自己本身的成本和封包中的已消耗之成本相加後與封包中來源端之成本比較[6]，只有小於或等於此值的節點才可繼續轉發此封包，尋徑時以不超過成本需求為原則來將資料傳回 Sink 端，而非限定使用單一路徑傳送。以圖 4 來簡單說明運作原理。假設每個節點都能算出自己到達 Sink 端的最低成本需求，這個值可以是跳躍 (Hop) 數目、延遲的時間 (Delay) 或是能量消耗 (Energy Consumption) [14]。圖中 Source Node、Node B 及 Node C 到達 Sink 端所需之成本分別為 200、90 及 100。此時，Source Node 送出一個封包欲到達 Sink 端，封包中會記錄著這個成本值，用意在於“避免超支”，不難想像，可以將預算值 (Budget) 設定為和成本相等，每經過一段路徑，

就會扣除掉花費的路徑成本。若 Source Node 到達 Node A 時已花費掉 110，當 Node A 廣播封包時，Node B 和 Node C 都會收到，但是此時封包的預算僅剩 $200 - 110 = 90$ ，對於 Node C 而言，因為其本身成本大於封包所剩之預算值，會丟棄封包，而 Node B 之成本等於封包所剩之預算值，所以 B 會將封包再廣播出去。



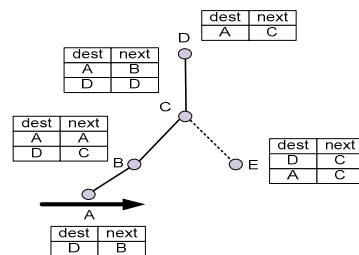
▲ 圖 4 成本路徑傳送示意圖

3. 研究方法

在 AODV-BR 路由演算法中，利用無線網路廣播的特性與主路徑相鄰節點，來進行備份多路徑是很好的方法。但對於行動節點來說，還可以改進 AODV-BR 路由演算法，來達成快速更新路徑。利用終端鄰近節點輔助，加上行動節點自身的多路徑備份，可以使正在傳輸資料的移動行動節點，能即時更新路由路徑，以減少資料傳輸的延遲。同時，在本研究中考慮了路徑上部份中繼節點因過度負載而使提早失效，在 AODV 路徑選擇時，加入節點負載度的考量。希望將整體網路負載度能均勻分散，則網路的有效連結時間就可提升。

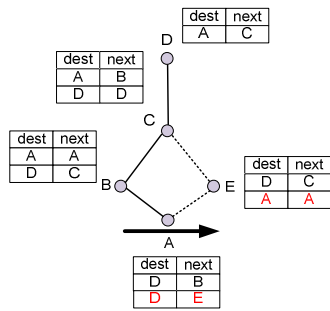
3.1 行動節點的多路徑備份

如圖 5，節點 A 正與節點 D 傳輸資料封包並向節點 E 移動，並建立以節點 B、C 為中繼的主路由路徑。同時依照 AODV-BR 路由演算法，節點 E 亦建立了備份路徑。



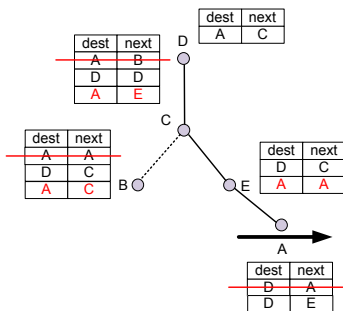
▲ 圖 5 終端多路徑備份演算法 (a)

當節點 A 移動到節點 B、E 之間時，由於節點 A 自身的 Hello Message 使得節點 E 發現其存在，並檢查後發現節點 A 為備份路徑的目的端，則發送 HOP 為 1 的 RREP 封包通知節點 A 自己可代傳的訊息，同時更新路由表的路徑。節點 A 收到此訊息後立即將此備份路徑登錄路由表中，然後將利用節點 E 定時發送的 Hello Message 來進行此備份路徑的維護，如圖 6。



▲ 圖 6 終端多路徑備份演算法 (b)

最後當節點 A 離開節點 B，或發現節點 B 不存在後，此時進入路徑維修階段，如圖 7。節點 A 會將節點 B 的路徑移除，並選擇最佳的備用路徑當作主路由路徑。同時發送 HOP 為 2 的 RREP 通知節點 C 更新其路由表內的路徑。然後節點 B 隨著時間與監聽轉為備用路徑節點，如此就完成終端多路徑備份演算法。

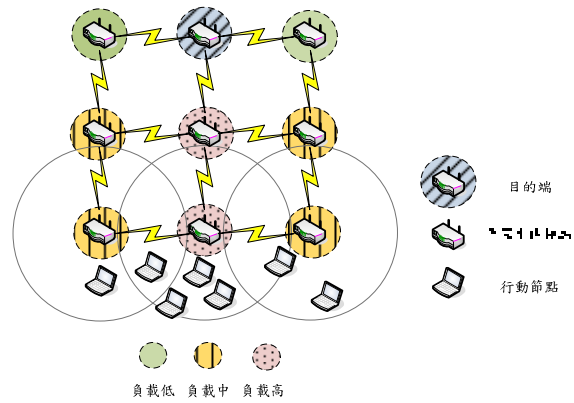


▲ 圖 7 終端多路徑備份演算法 (c)

3.2 路徑選擇與負載量相關

一般討論路由協定最佳化中，大多是找出一條最短路徑 (Shortest Path)，並利用此路徑傳遞資料。但這樣容易使該路徑上部分節點過度傳輸負載而提早失效 (如圖 8)，造成所謂的網路分割。若無其他備援路徑可切換，則可能因部分節點已失效而使得存活節點為跨過這些失效的節點以傳遞資料而必須負擔更多傳輸量，當然這也會使得網路的生命週期提早結束。如果網路中的

節點傳輸負載量都能均勻分散，則網路的有效連結時間就可提升。為了解決在獨立無線網狀網路上路由負載問題，在路徑建立之初路由協定需能考慮如何選擇較佳的路徑來進行封包傳輸[2]。

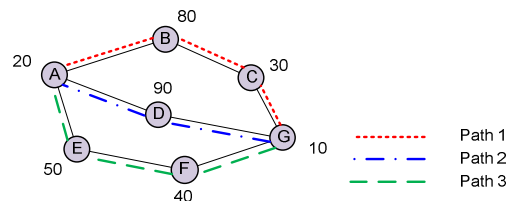


▲ 圖 8 一般路由協定之節點負載

在本研究為了同時考量傳輸延遲與能量均分，因此在 RREQ 及 RREP 中增加一個負載刻度 ENG_{METRIC} 提供路由選擇標準。其公式如下：

$$ENG_{METRIC} = \frac{((ENG_{PERCENT})^2 / (PKT_{COUNT} + 1) + (ENG'_{METRIC})^2)}{2} \quad (1)$$

如式 (1) 所示，其中 $ENG_{PERCENT}$ 為封包經過節點時，當下節點剩餘能量與初始能量比值百分比， PKT_{COUNT} 為封包原有記錄經過多少 HOP 數， ENG_{METRIC} 則為所收封包中記錄的能量刻度。在路由封包經過每個節點時，各節點會比較封包上路由資訊的負載刻度大小作為更新路由依據之一，更新完路由後再將自己所剩下的能量，加入公式計算出負載刻度並寫入路由封包中傳送出去。



▲ 圖 9 成本路徑示意圖

如圖 9 所示，當節點 A 欲與節點 G 傳送資料時，會先發送 RREQ 來做尋徑動作。尋徑途中各中繼節點會將當前自己的負載刻度加入 RREQ 中，然後節點 G 會收到三條路徑的相關負載刻度值 $Path\ 1_ENG_{METRIC}$ (31)、 $Path$

2_ENG_{METRIC} (46) 和 Path 3_ENG_{METRIC} (24)，在比較各路徑後選擇 Path 2 當作最佳路徑回傳 RREP。為了與終端多路徑備份演算法作結合，在回傳 RREP 時各節點同樣需將能量刻度寫入封包傳送，以提供終端路由更新時的路由資訊。

4. 效能分析與比較

4.1 模擬環境

本研究架構是運用 NS2 平台來進行模擬測試。為觀察不同機制降低轉送封包數量與電力消耗的情形，設定每個節點與 Sink 端進行 10 次通訊，讓每個節點產生固定資料量，以觀察不同機制在限制廣播後所產生的轉送封包數量多寡並比較其電力消耗情形。資料封包傳送則是使用 CBR (Constant Bit Rate) 資料流型式，而傳送協定則為較可靠的 TCP。媒體存取控制層採用 IEEE 802.11 架構，雖然分散式協調功能除了使用載波感測多重存取及碰撞避免方式來避免網路中大部份的碰撞，也額外增加 RTS/CTS 及 ACK 機制更進一步地降低碰撞發生的機會。表 2 為 NS2 模組的參數與本研究機制相關參數的設定表[1][3]。

▼表1. 模擬情境 1 參數值設定值

Experiment 1		
Parameter	Normal Value	Description
Packet size	512	Packet size in bytes
N	7x7、9x9、11x11	Number of nodes for simulation
MN placement	edge	MN placement policy
MN	1~4	Number of Mobile Nodes
Transmission	400	Transmission time in sec
Simulation	400	Simulation duration in sec.

上表 1 是各路由策略在不同大小的模擬架構與不同數量的移動節點條件下進行分析。在此模擬環境 1 中，各移動節點是依據模擬架構邊緣進行來回測試。

▼表2. 模擬情境 2 參數值設定值

Experiment 2		
Parameter	Normal Value	Description
Packet size	512	Packet size in bytes
N	9x9	Number of nodes for simulation
MN placement	Random	MN placement policy
MN	2	Number of Mobile Nodes
Transmission time	400	Transmission time in sec
Simulation time	400	Simulation duration in sec.
Sampling	5	sampling frequency

而上表 2 是各路由在固定結構大小與移動節點數量下，進行隨機測試。在此模擬環境 2 中，各移動節點分別是以上下及左右來進行來回測試，並輪流傳送 10 秒數據，而每個實驗數據皆取樣五次並作平均。本研究將針對這兩種模擬環境進行分析移動節點傳輸數量與端點對端點的延遲時間，以了解節點的運作情形與穩定性。

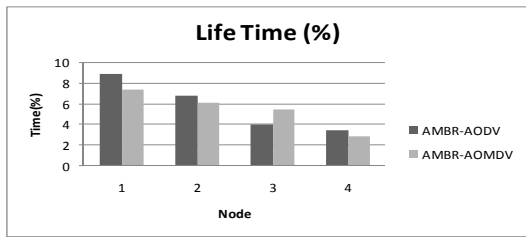
4.2 模擬環境 1 效能分析

在各路由機制模擬中，除了本文所設計的 AMBR (Associativity Multi-Backup Routing) 路由機制外，也對 AODV 路由機制與 AOMDV 路由機制進行模擬，並將三者進行比較。AMBR 路由機制的實驗架構，將主要路由機制從速度的建立拓樸表轉換為漸進式擴散的路由機制，讓無線網狀網路的路由機制使用時，能多方面的效能提升，經過了 NS2 的模擬軟體後，讓 AMBR 路由機制架構得以驗證，與其他的路由架構相比較。接著以下分別對模擬環境 1 中三種架構與模擬環境 2 等四種架構進行分析與探討。

4.2.1 負載分析

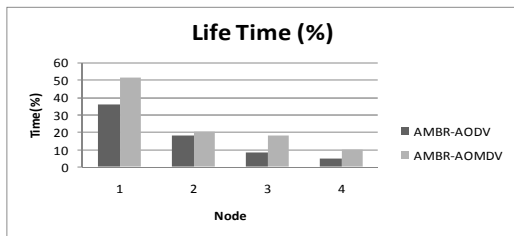
首先是針對各個不同的路由機制彼此在能量負載調節的差異。由於在獨立無線網狀網路下能量的調節是很重要的，因次我們藉著模擬獨立無線網狀網路架構，來進行三種路由機制下能量調節的差異性。為了觀察各路由彼此間的差異性，針對節點存活時間定義一個觀察指標如下：

$$\text{存活時間延長率} = \frac{\text{各能量點時間差之平均}}{\text{模擬時間}} \times 100\%$$



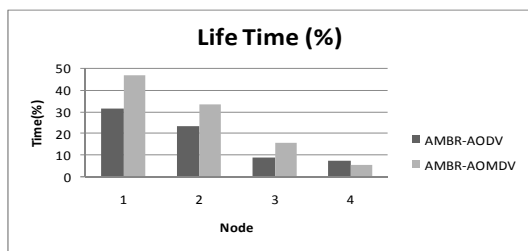
▲ 圖 10 架構 7x7 節點的存活時間延長率

圖 10 為架構 7x7 節點的存活時間延長率，可以發現在此架構下各路由彼此的相差時間不大，這是由於移動節點所需傳輸能量已接近整體架構能量，故三者差異性較小。AMBR 相對另一個路由機制大約只能延長 10% 以內。



▲ 圖 11 架構 9x9 節點的存活時間延長率

圖 11 為架構 9x9 節點的存活時間延長率，可以發現在此架構下移動節點小於 3 個時 AMBR 對 AOMDV 的延長率比 AODV 來的高。同時可明顯看出 AMBR 與其他路由之間的延長時間差，但當 3~4 個移動節點時，由於所需傳輸能量已接近整體架構能量，故差異性較小。



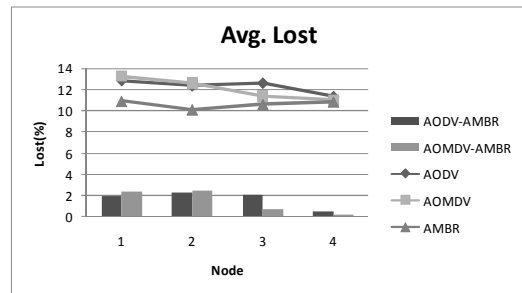
▲ 圖 12 架構 11x11 節點的存活時間延長率

圖 12 為架構 11x11 節點的存活時間延長率，可以發現在此架構下移動節點小於 3 個時 AMBR 對 AOMDV 的延長率比 AODV 來的高。同時可明顯看出 AMBR 與其他路由之間的延長時間差，但當 3~4 個移動節點時，由於所需傳輸能量已接近整體架構能量，故差異性較小。

在此數據分析中由於移動節點是在基本架構外圍，沿著邊緣來回行動。因此相較於基本架構上其他節點來說，基本架構的邊緣節點的傳輸負載會比較大。由前三個實驗架構數據分析來看，發現 7x7 架構對於基本架構的邊緣節點來說，其傳輸量是屬於較為飽和的，但仍能看出 AMBR 能延長節點存活壽命。而在 9x9 與 11x11 架構中，對於 1~3 個移動節點來說，對基本架構的邊緣節點是較為充裕的架構，所以較能明顯看出延長時間的差異性。因此，AMBR 與其他路由比較起來更能延長節點存活時間，也相對的更能有效的使用整體架構的能量。

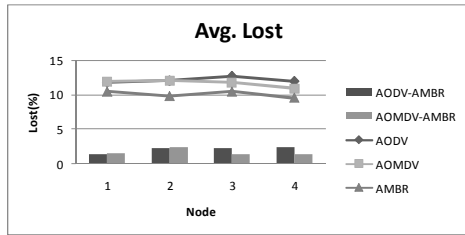
4.2.2 流量分析

在一般無線網路的環境中，封包被丟棄的原因大多是節點斷路所導致，少有因為線路品質變差而丟棄封包的事情發生，然而現今的網路品質都很好，幾乎不可能發生線路品質的問題。然而相對於無線網路，無線網狀網路運作時，其無線連結常常會碰到雜訊或干擾的情形，所以在傳送封包時，很有可能會發生傳送到一半路徑錯誤的事情，一旦發生封包被丟棄，就表示此次傳送不成功，前面節點所幫忙轉送封包的成本全部都浪費掉，若傳送的型態是如 TCP 的可靠性傳輸協定，則影響的層面更廣



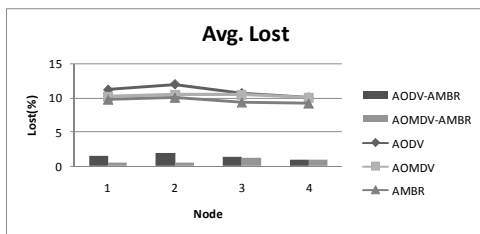
▲ 圖 13 架構 7 x 7 移動節點的平均封包遺失率

圖 13 說明三種路由機制在 7x7 架構下，移動節點的平均封包遺失率。在圖中可以發現當四個移動節點時，由於傳輸量接近飽和，三種路由遺失率是差不多的。而當 1~3 移動節點時，傳輸能量尚且充裕，因此平均封包遺失率約能降低 2%。



▲ 圖 14 架構 9 x 9 移動節點的平均封包遺失率

圖 14 說明三種路由機制在 7x7 架構下，移動節點的平均封包遺失率。在圖中可以發現 AMBR 相較於另兩種路由機制，由於傳輸量尚且充裕，因此平均封包遺失率約能降低 1~2%。



▲ 圖 15 架構 11 x 11 移動節點的平均封包遺失率

圖 15 說明三種路由機制在 7x7 架構下，移動節點的平均封包遺失率。在圖中可以發現 AMBR 相較於另兩種路由機制，由於對於基本架構的邊緣節點傳輸量尚且充裕，因此平均封包遺失率約能明顯降低 1~2%。

由以上三種數據分析同可以看出，雖然整體降低的平均封包遺失率並不多，除了在 7x7 架構下當四個移動節點時，由於基本架構的邊緣節點傳輸量接近飽和，三種路由遺失率是差不多的。但在 9x9、11x11 架構中，相對基本架構的邊緣節點傳輸量充裕的情況下，AMBR 移動節點上的遺失率仍能保持大約降低 1~2% 左右。因此 AMBR 路由機制相較於另兩種路由機制不但不會造成封包遺失率的增加，尚能減少 1~2% 的遺失率。

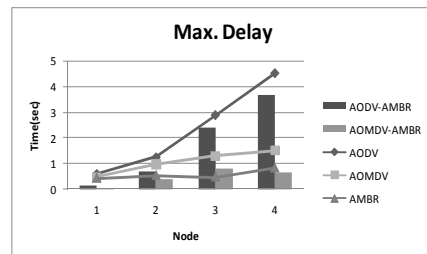
4.2.3 延遲分析

要評定一個協定的好或壞，最重要而且最常用的指標莫過於端點對端點的延遲時間。對於無線網路而言，端點對端點的延遲時間可以展開成

下列項目的加總：

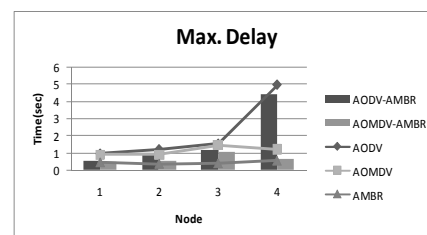
$$\text{Delay} = \text{Response Time} + \text{Transmission Time}$$

其中回應時間 (Response Time) 是指利用路由協定找尋可用路徑的時間，傳輸時間 (Transmission Time) 是指資料封包真正傳送到目的端的時間，傳輸時間又包括查詢路由表的時間以及封包在每一段通道內的傳輸時間。通常在行動無線網路下，造成最大延遲的原因多半是行動節點在換手機制上的問題，而整個延遲時間亦以換手時間為最長。因此若一個路由協定寫的好，能夠快速搜尋到路徑、縮短回應時間，就可以迅速的將封包往目的端的方向傳送出去，以獲得較短的延遲時間。



▲ 圖 16 架構 7x7 移動節點的最大傳輸延遲

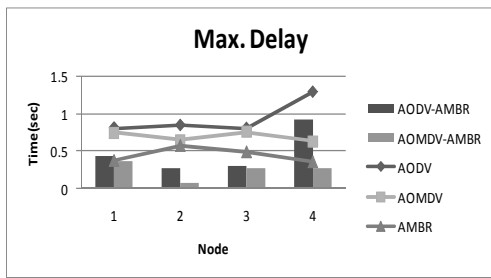
圖 16 說明三種路由機制在 7x7 架構下，移動節點的平均與最大傳輸延遲曲線圖。由圖 16 的最大傳輸延遲圖中可以發現，當只有一個移動節點時，網路傳輸流量充裕，三種路由機制的最大傳輸延遲都相當；然而傳輸流量接近飽和時，可以得知 AMBR 的最大的移動節點延遲時間都比另外二種協定低上許多。



▲ 圖 17 架構 9x9 移動節點的最大傳輸延遲

圖 17 說明三種路由機制在 9x9 架構下，移動節點的平均與最大傳輸延遲曲線圖。由圖 17 的最大傳輸延遲圖中可以發現，當 1~2 個移動節點時，基本架構的邊緣節點傳輸流量充裕，三種路由機制的最大傳輸延遲都相當；然而基本架構的邊緣節點傳輸量接近飽和時，可以得知

AMBR 的最大的移動節點延遲時間都比另外二種協定低上許多。



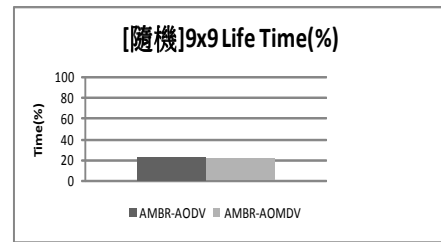
▲ 圖 18 架構 11 x 11 移動節點的最大傳輸延遲

圖 18 說明三種路由機制在 11x11 架構下，各移動節點的平均與最大傳輸延遲曲線圖。由圖 18 的最大傳輸延遲圖中可以發現，當 1~3 個移動節點時，基本架構的邊緣節點傳輸量充裕，三種路由機制的最大傳輸延遲都相當；然而基本架構的邊緣節點傳輸量接近飽和時，可以得知 AMBR 的最大的移動節點延遲時間都比另外二種協定低上許多，可知其 AMBR 的路由協定，在換手時能夠快速找到的路由並能馬上重新再傳輸資料。

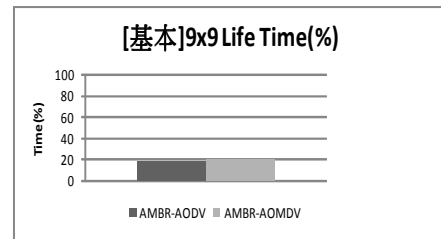
4.3 模擬環境 2 效能分析

前面分析完了模擬環境 1 的三種架構後，接著針對各路由在固定結構大小與移動節點數量下，進行隨機測試。由於參照在模擬環境 1 的數據結果與分析，在此模擬環境中主要以基本架構節點傳輸量能夠充裕的 9x9 架構與兩個移動節點為主。各移動節點分別是由隨機邊緣節點為出發點，以上下穿越及左右穿越來進行來回測試，並輪流傳送 10 秒數據到模擬結束。且每個實驗數據皆取樣五次並作平均。下面將針對此模擬環境進行分析移動節點傳輸數量與端點對端點的延遲時間，以了解移動節點在兩種架構下的運作情形與穩定性。

圖 19 是 AMBR 分別在模擬環境 2 與 9x9 中，相較其他兩個路由機制，基本架構節點的存活時間延長率。由圖 19 可以看出 AMBR 在模擬環境 2 與 9x9 架構環境下，整體平均存活率都高於另兩種機制 20% 存活時間。

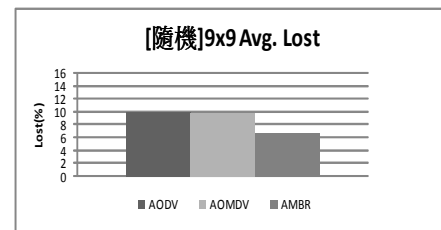


(a) 9x9 [隨機]

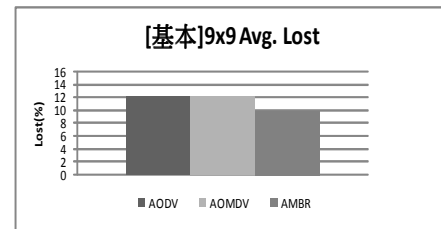


(b) 9x9 [基本]

▲ 圖 19 模擬環境 2 與 9 x 9 架構存活時間延長率



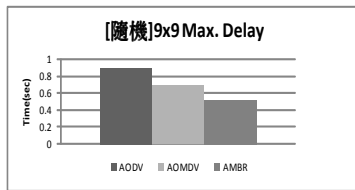
(a) 9x9 [隨機]



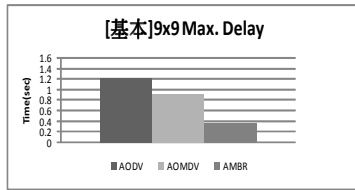
(b) 9x9 [基本]

▲ 圖 20 模擬環境 2 與 9x9 架構移動節點的平均封包遺失率

圖 20 說明三種路由機制在模擬環境 2 與 9x9 架構環境下，所有移動節點的平均封包遺失率。由圖 20 中可以發現移動節點在模擬環境 2 會比在 9x9 架構環境下整體有較低的遺失率，但 AMBR 在兩環境下，相較於另兩種路由機制，都仍能下降 2~4% 的封包遺失率。



(a) 9x9 [隨機]



(b) 9x9 [基本]

▲ 圖 21 模擬環境 2 與 9x9 架構移動節點最大傳輸延遲

圖 21 說明三種路由機制在模擬環境 2 與 9x9 架構環境下，移動節點的最大傳輸延遲。圖 21 中可以發現移動節點在模擬環境 2 下比在 9x9 架構環境下整體具有較低的最大傳輸延遲時間。而 AMBR 在兩種環境下，相較於另兩個路由機制的最大傳輸延遲約能下降 0.2~0.4 秒。因此代表 AMBR 不管是在負載能量上的調節以及在移動節點上封包快速再傳輸的機制上都明顯優於 AODV 與 AOMDV。

5. 結論

由從模擬環境 1 的數據分析可以得知，三種不同路由機制在不同的條件架構，隨著基本架構的邊緣節點傳輸量的限制，而在節點存活時間與換手延遲時間上效能差異性的不同。而在模擬環境 2 中的數據分析則可以得知，三種不同路由機制的移動節點在足夠環境的條件下的效能分析，不但能比較出 AMBR 確實相較於其他兩個機制效能的優異性，同時印證在不同架構下 AMBR 確實具有良好的性能。由於 AODV 在路徑失敗時會選擇最遠的路徑當作新的路由，所以相較於 AOMDV 直接取用最快的前幾個路徑當作備份路徑，在路徑失敗時直接使用。雖然 AOMDV 資料重傳上會比 AODV 來的快，但卻造成節點能量耗損率加快，使得中繼節點因能量不足而提早失效。

相較於 AODV 與 AOMDV 兩種路由機制，AMBR 不但結合多路徑備份與傳輸能量調節，同時改善換手上延遲過大的問題，比其他二種的機制更適合用於無線網狀網路上。也因此不管是在基本架構的邊緣節點傳輸量是否充裕的情況下，都能看出相較其他兩種路由有效延長基本

架構節點的存活時間。而封包遺失率也沒有過大問題，並且在延遲時間上 AMBR 亦能看出相較於 AODV 相當好的效能，有效減少換手時所造成的延遲問題。因此對於獨立無線網狀網路而言，整體定度有明顯的提昇。

6. 參考文獻

- [1]. Bruno Bougard, Sofie Pollin, Gregory Lenoir, Liesbet Van der Perre, Francky Catthoor and Wim Dehaene, "Energy-Aware Radio Link Control for OFDM-Based WLAN", *IEEE Xplore SIPS*, 2004
- [2]. Sheetakumar Doshi, Shweta Bhandare and Timothy X Brown, "An On-Demand Minimum Energy Routing Protocol for Wireless Ad Hoc Network", *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, July 2002
- [3]. Mathieu Lacage and Thomas R. Henderson, "Yet Another Network Simulator", <http://yans.inria.fr/yans>
- [4]. S. J. Lee and M. Gerla, "AODV-BR : Backup Routing in Ad Hoc Networks," *Proceedings of IEEE WCNC 2000*, Chicago, IL, Sep. 2000.
- [5]. C. Perkins, E. Belding-Royer and S. Das, "Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", *RFC3561*, July 2003
- [6]. Joongseok Park and Sartaj Sahni, "Maximum Lifetime Routing In Wireless Sensor Networks", *University of Florida*, June 2005
- [7]. Ching Hui Shen and Fongray Frank Young, "Investigations of Performance Enhancement of Flooding Scheme on Wireless Sensor Networks," *The 13th Mobile Computing Workshop*, pp.131-139, April 2007.
- [8]. Jinglun Shi, Zhang Ling, Shoubin Dong and Zhou Jie, "A Stability-based Multipath Routing Algorithm for Ad Hoc Networks," *Proceedings of the 14th IEEE International Symposium*, 2003
- [9]. Yi-Hung She and Fongray Frank Young, "Investigations of Routing Performance Enhancement on Wireless Mesh Networks," *The 4th Workshop on Grid Technologies and Applications*, pp.167-171, December 2007.
- [10]. C-K Toh, "Associativity Based Long Lived Routing For Ad Hoc Mobile Networks" *Wireless Personal Communications Journal*,

Special Issue on Mobile Networking & Computing Systems, Vol. 4, No. 2, March 1997.

- [11]. C-K Toh, “**Associativity-Based Routing for Ad-Hoc Mobile Networks**”, *Wireless Personal Communications* 4 103–139, 1997
- [12]. Fan Ye, Alvin Chen, Songwu Lu and Lixia Zhang, “**A Scalable Solution to Minimum Cost Forwarding in Large Sensor Networks**,” *Proc. 10th Int’l. Conf. Comp. Commun. and Networks*, 2001, pp. 304–09.
- [13]. Qiling Xie, Chin-Tau Lea, Mordecai J. Golin and Rudolf Fleischer, “**Maximum Residual Energy Routing with Reverse Energy Cost**”, *IEEE GLOBECOM*, 2003
- [14]. Gil Zussman and Adrian Segall “**Energy Efficient Routing in Ad Hoc Disaster Recovery Networks**” *Technion – Israel Institute of Technology Haifa 32000, Israel*, 2002
- [15]. 柯至亨, 程榮祥, 謝錫堃, 黃文祥, “**計算機網路實驗-以 NS2 模擬工具實作**”, 學貫行銷股份有限公司, 2005 年
- [16]. 曾煜棋, 潘孟鉉, 林致宇, “**無線區域及個人網路：隨意及感測器網路之技術與應用**”, 加樺出版 經瑋經銷, 2006 年
- [17]. 陳彥文, 劉惠英, 許獻聰, 周立德, 賴源正, 陳仁暉, “**網路路由技術 第二版**”, 全華科技圖書股份有限公司, 2007 年
- [18]. 楊豐瑞, 楊豐任, “**網路概論與實務 第四版**”, 學貫行銷股份有限公司, 2009 年