

利用路徑頻寬維護設計有效的行動隨意網路繞路協定

陳青文

逢甲大學資訊工程學系

chingwen@fcu.edu.tw

翁傳奇

逢甲大學資訊工程學系

P9521773@fcu.edu.tw

林子健

逢甲大學資訊工程學系

M9601573@fcu.edu.tw

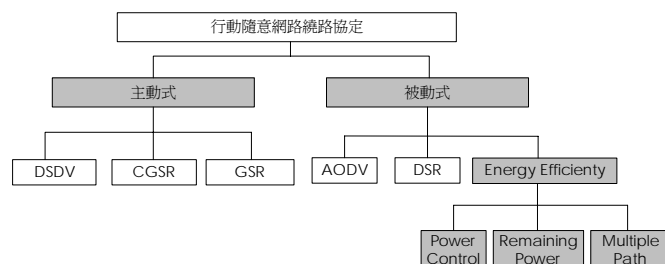
摘要—過去以省電為目標的繞路研究大多針對節點的剩餘電量等議題，卻沒有將訊號強度與頻寬因子列入考慮，可能導致傳輸時間較長，消耗較多的電量。我們設計一個具有高傳輸頻寬與低維護成本的省電繞路法則，在不需 GPS 定位裝置的情況下，選擇一條具有高傳輸頻寬的路徑，縮短傳輸所需時間，節省電量消耗。另外，為了避免節點因移動而導致傳輸頻寬下降，甚至路徑中斷的現象，我們提出一個利用中間節點轉傳的路徑維護機制，維持路徑的傳輸品質，避免耗費額外重新找路的路徑電量。在實驗模擬中，將我們提出的最小傳輸電量消耗協定與 AODV、DSR、MMBCR 以及 PAMP 進行傳輸路徑的平均頻寬、尋找路徑過程電量消耗與整體電量消耗的模擬分析。

關鍵詞—路徑頻寬、電量消耗、路徑維護

一、簡介

行動隨意網路是一種不需透過有線網路或任何固定式存取設備的無線區域網路，具有建置快速與容易形成的特性，可以應用於一些特殊的環境，如災區緊急通訊網路。

在大型的行動隨意網路中，當節點要傳遞資料給一個不在傳送範圍內的節點時，資料就必須利用多重跳躍 (Multi-hop) 的方式傳遞至目的節點。因此，如何在行動隨意網路中尋找一條傳輸路徑把封包有效的透過中間節點送往目的地，成為無線網路中一個基本且關鍵的研究議題。過去行動式隨意網路繞路協定的研究，大致上可分為主動式和被動式兩大類，如圖一所示。



圖一、行動隨意網路繞路協定種類

主動式繞路協定中，節點會定期以廣播的方式發送網路拓撲資訊 (Network Topology Information)。節點會將接收到的網路拓撲資訊，儲存於繞路表中。當節點要進行資料傳輸時，可以透過查詢繞路表得到有效的路由資訊。如 DSDV (Destination Sequenced Distance Vector) [11]、GSR (Global State Routing) [1] 及 CGSR (Clusterhead Gateway Switch Routing) [2] 等繞路協定。但節點的繞路表必須定期更新，以確保路徑資訊的正確性。然而，節點週期性的廣播網路拓撲資訊可能會導致網路中碰撞發生的機率增加。為了改善主動式繞路協定的問題，有學者提出了被動式的繞路協定。當節點有資料傳輸的需求時，才進行路徑尋找的動作，取代週期性的廣播網路拓撲資訊。例如 DSR (Dynamic Source Routing) [8] 和 AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) [10]。

由於行動隨意網路中的節點大多是使用電池作為電力的主要來源。因此，如何設計具省電考量的繞路協定來延長節點的使用週期，成為一個重要的研究方向。部分以省電為目標的繞路協定以節點的剩餘電量或傳輸使用的電量

為設計重點，如 MMBCR (Min-Max Battery Cost Routing) [13] 與 MTPR (Minimum Total Transmission Power Routing) [12]。雖然這些研究考慮到資料傳輸使用的電量或節點的剩餘電量議題，然而，卻沒有考慮到距離對於頻寬的影響。根據學者 Stojmenovic 等人的研究[14]指出，兩傳輸節點間的距離會影響到傳輸頻寬以及傳輸的電量消耗。他們推導出距離與電量消耗的關係式 (1)，其中， $u(d)$ 為電量消耗、 d 為兩傳輸節點間距離、 α 是介於 2 到 4 之間的常數。由此公式我們可以發現，傳輸的距離與傳輸資料時的電量消耗成正比關係。

$$u(d) = ad^\alpha + c \quad (1)$$

從上面的討論與分析中，我們可以發現當一個省電式繞路協定為了找到一條符合預期的路徑時，必須收集所有路徑中的節點資訊，而這也表示路徑在找尋的過程中必須花費大量的找路成本。然而，當資料在傳輸的過程中如果發生路徑斷裂的現象時，則必須再一次花費大量的找路成本進行重新找路。另外，在資料傳輸的過程中，會因為節點移動的關係而讓原本的路徑發生變化，使得路徑的傳輸品質受到影響。因此，一個好的路徑維護機制除了可以在資料傳輸的過程中避免路徑斷裂的現象發生，也可以維持原本的路徑傳輸品質。

在這篇文章中，我們提出一個新的省電式繞路協定，稱為最小傳輸電量消耗繞路協定，目標是希望能在不使用 GPS 裝置的協助下，透過偵測節點訊號強度的方式，獲得節點的距離以及頻寬資訊，根據距離以及頻寬我們可以找到一條傳輸電量消耗最小的路徑。另外，由於最小傳輸電量消耗繞路協定屬於省電式繞路協定，因此在找路階段必須花費較高的找路成本，如果使用相同的找路方式進行路徑的維護將會使得維護成本過高。因此，我們設計一個『中間節點路徑維護』方法來降低維護成本。在資料傳輸的過程中，同樣透過偵測節點訊號強度的資訊來判斷路徑的傳輸品質是否下降，一旦需要進行路徑維護時，則透過中間節點轉傳的方式修正路徑以提高路徑的傳輸品質。

這篇文章其它章節的架構如下：第二章我們介紹以省電為主要考量的被動式繞路協定。第三章我們首先分析節點間傳輸電量的消耗和頻寬與距離的關係，接著提出『具低傳輸電量消耗與高傳輸頻寬之省電繞路協定』來達到節省傳輸電量的目的，同時設計了一個具有低維護成本的傳輸路徑維護機制以維持路徑傳輸品質。為了驗證我們方法的效果，在第四章中，我們模擬所提出的繞路協定、AODV、DSR、PAMP[17] 和 MMBCR，並且比較這些繞路協定在找路成本，電能消耗，與輸出量方面的表現。最後，在第五章中，我們對此篇論文提出我們的結論。

二、相關研究

在這一節，我們將介紹過去幾個重要的被動式繞路協定以及省電為目標的被動式繞路協定。過去較為著名的被動式繞路協定包括有 DSR[8]、AODV[10] 等繞路協定；而過去以省電為主的被動式繞路協定設計可以分成以下幾類：第一類是透過電量控制來節省傳輸耗電，如 MTPR[12]、ES-AODV[16]；第二類是考慮節點其剩餘電量的路徑，如 MMRP[15]、MBCR[9]、MMBCR[13]；第三類則是為傳輸建立多條傳輸路徑，如 PAMP[17]、REAR[7]。以下我們將對上述的這些繞路協定提出介紹。

(一) 被動式繞路協定

過去較為著名的被動式繞路協定包括 DSR 及 AODV 等協定。DSR 繞路協定中，節點利用廣播的方式發送路徑請求 (Route request, RREQ) 封包與路徑回應 (Route reply, RREP) 封包，進行尋找路徑的動作。RREQ 封包經由網路中節點的反覆轉傳，到達目的端節點後，由目的端節點選擇一條跳躍數 (Hop Count) 最少的路徑作為資料的傳輸路徑。AODV 同樣也是使用 RREQ 及 RREP 封包來進行找路。與 DSR 不同的是，AODV 是選擇一條最快到達目的端節點的路徑。DSR 與 AODV 分別找到一條跳躍數最少及最快到達目的端節點的傳輸路徑，但這樣的設計可能會造成傳輸路徑中兩相鄰節點

距離較遠，跳躍長度過長，使傳輸信號強度過低導致資料傳輸頻寬下降，傳輸失敗機會增加。

(二) 以電量控制為主要考量的省電繞路協定

為了改善 DSR 及 AODV 在電量消耗上的表現，並提高整體網路壽命及降低節點傳輸時所消耗的電量，有學者提出了以電量控制為主要考量的繞路協定 [4-6, 13, 16]，我們介紹 MTPR [13] 與 ES-AODV [16]。

MTPR (Minimum Total Transmission Power Routing) [12] 以找路階段所消耗的電量做為選擇路徑的主要依據。MTPR 將環境中的干擾 (SNR, Signal-to-Noise Ratio) 列入考慮條件，並設定一個臨界值。為了建立一條最小電量消耗的路徑，MTPR 會根據計算出來的 SNR 值來調整傳輸所使用的電量。然而，因為 MTPR 會根據 SNR 值來調整傳輸使用的電量，調整的結果可能會導致節點傳輸的信號較弱，影響傳輸頻寬，使得傳輸的時間增加。調整傳輸使用電量的結果也容易因節點的移動，使傳輸路徑的穩定性降低。

ES-AODV [16] 繞路協定則根據計算節點傳輸信號強度與距離的關係，求出滿足傳輸需求的最小傳輸電量，藉由控制傳輸使用的電量來達到省電目的。為了避免信號隨距離衰減造成傳輸失敗的情況發生。ES-AODV 將可以被正確接收的最小電量除以信號的衰減率，得到傳輸使用的最小電量，並將每一個跳躍所使用的最小電量加總後，找出一條整體電量消耗最小的路徑，作為資料的傳輸路徑。由於 ES-AODV 使用最小的傳輸電量進行傳輸，雖然 ES-AODV 有將信號的衰退加入考慮，但傳輸的電量會影響到信號強度，當信號強度過低時，會導致傳輸頻寬不佳，使傳輸時間較長。且節點會隨著時間移動，一旦節點移動出傳輸範圍，會導致傳輸失敗甚至路徑斷裂的情況發生。

(三) 以網路節點剩餘電量為主要考量的省電繞路協定

在省電為目標的繞路協定中，除了以傳輸電量為考量外，為了延長節點的存活時間，節點的剩餘電量也是重要的因素。

MBCR (Minimum Battery Cost Routing) [9]，則是從所有可能路徑中選擇一條節點剩餘電量最大的路徑，來降低路徑在進行資料傳輸時因為節點電量不足所產生的路徑斷裂問題。

為了得到所有路徑中剩餘電量最大的路徑，MBCR 計算每一條路徑中節點的剩餘電量總和。根據計算的結果，目的地節點便可以從所有的路徑中選擇一條剩餘電量最大的路徑。雖然 MBCR 透過剩餘電量的累計倒數來計算路徑的剩餘電量，但這樣的方式仍不能很有效的反應出路徑中是否存在剩餘電量很低的節點。

MMBCR (Min-Max Battery Capacity Routing) [13] 則是以路徑中節點剩餘電量最小者作為選擇路徑的依據，改善 MBCR 可能會選擇到剩餘電量過小的節點進行傳輸的問題。MMBCR 在找路的過程中會根據電力消耗函數 (6) 計算出的節點剩餘電量，並與儲存於 RREQ 封包內的前一個節點剩餘電量函數做比較。如果 RREQ 封包內儲存的剩餘電量函數值小於目前節點的值，RREQ 內的紀錄則改為目前節點的剩餘電量函數值；相反的，則不做更動繼續往下一個節點廣播。如此一來，RREQ 內將一直記錄著路徑節點中最大的剩餘電量的值，藉此找出所有路徑中剩餘電量最大者，作為資料傳輸的路徑。

MMBCR 雖可以有效的避免使用到剩餘電量過小節點協助轉傳，但對於傳輸時的耗電並未多加討論，可能導致節點傳輸時的額外耗電。

MMPR (Minimizing the Maximum used Power Routing) [15] 主要希望能達到兩個目標：計算所有傳輸路徑的電量消耗值，選擇一條消耗電量最小的節點；平均分配網路中節點使用的電量，避免網路中部分節點負擔過大導致存活時間縮短，而影響到整體網路壽命。

MMPR 於找路階段會，利用每個節點的電量消耗來計算整體路徑的電量消耗。若節點的電力消耗大於設定的臨界值，則將消耗的電量與臨界值的差距乘上一個常數，代表節點目前的電力消耗負擔 (Loading)。負擔越大的節點，越不易被選入傳輸路徑中。藉此平衡網路節點

的電量消耗，提升網路壽命。

MMPR 提出了一個同時滿足尋找電量消耗最小的路徑及平衡網路節點耗電的方法，但對於臨界值的設定未多加研究探討。而臨界值的設定將影響尋找路徑的結果。太高，可能會導致路徑無法建立；太低則顯現不出省電的效果。

(四) 透過建立多條路徑的繞路協定

除了上述針對電量議題所提出的繞路協定，另外還有同時建立多條傳輸路徑的繞路協定。我們介紹 PAMP (Power-Aware Multi-Path Routing Protocol) [17]、REAR (Reliable Energy Aware Routing) [7]。

PAMP (Power-Aware Multi-Path Routing Protocol) [17] 中，假設來源端節點已知傳輸所需的電量。在找路過程中，RREQ 封包會逐一記錄節點的剩餘電量，路徑中剩餘電量最小之節點剩餘電量值即表示該路徑可供資料傳輸電量。當第一個 RREQ 封包到達目的端節點後，目的端節點會比較傳輸所需電量與路徑可傳輸量，若路徑可傳輸量不足，則會等待下一個 RREQ 封包到達，直到滿足傳輸資料所需電量。

當傳輸過程中發生傳輸路徑中斷的情況，PAMP 便改用預先建立好的第二條傳輸路徑，繼續進行資料的傳輸。PAMP 雖然建立了多條傳輸路徑以滿足節點所需的資料傳輸量，但 PAMP 預先建立的多條資料傳輸路徑可能會因節點的移動而導致傳輸路徑失效的情況發生。

REAR (Reliable Energy Aware Routing) [7] 的目的是希望建立一條穩定的傳輸路徑，減少路徑的斷裂次數。在找路的階段，REAR 會排除剩餘電量過低的節點。因此，包含在傳輸路徑內的節點將保證有足夠的電量完成資料的傳輸。另外，REAR 會建立一條備用的路徑以因應傳輸路徑發生斷裂的情況。雖然 REAR 可以透過備用路徑機制，在發生路徑中斷後很快的改用另一條路徑繼續傳輸。然而，備用路徑的建立對節點也是一項額外的電量消耗。

綜合以上所介紹的省電繞路協定，雖然許多研究對於省電的繞路研究提出方法，但是在找路的過程中沒有考慮距離、頻寬和耗電的關

係，以及面對路徑斷路時的因應方法，使得找到的路徑在進行資料傳輸時可能會產生額外耗電及重新找路增加耗電的情況。因此，在下一個章節中，我們將介紹如何同時考量傳輸電量消耗與路徑之維護，來設計省電的繞路協定。

三、低傳輸電量消耗與高傳輸頻寬之省電

繞路協定

在這個章節中，我們提出『最小傳輸電量消耗繞路協定』，來找到一條耗電量最小的傳輸路徑。然而，考慮到路徑的維護成本，我們提出一個『中間節點路徑維護模式』，避免因重新找尋路徑而造成額外的電量消耗。

(一) 節點傳輸與接收時電量消耗分析

我們首先分析兩傳輸節點之間距離與傳輸電量消耗的關係。當節點將無線電訊號送出後，訊號會呈現發散的特質，就像一個不斷膨脹的球體。基於能量守恆的原理，整個球體表面積所散佈的能量必須守恆。因此在理想的狀況下，接收功率會和傳播距離的平方成反比。

透過參考文獻[3, 14]，我們可以得知，兩傳輸節點之間的距離會影響到傳輸的頻寬，進而影響到傳輸的電量消耗。而訊號強度與距離之間的關係可以被寫成(2)。在(2)中， λ 表示波長； d 表示傳送者與接收者的距離； n 表示訊號衰減的係數，且 $n \geq 2$ ； g_t 和 g_r 表示傳送與接收者的天線增益； P_t 表傳輸端節點的傳輸訊號強度； P_r 為接收端節點接收到的訊號強度。我們可以進一步將(2)簡化成(3)。根據(3)，我們可以發現接收端收到的訊號強度會與傳輸距離成 n 次方成反比關係。

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^n g_t g_r \quad (2)$$

$$P_r = P_t \left(\frac{1}{d} \right)^n * \alpha \quad \text{where } \alpha = \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^n g_t g_r \quad (3)$$

另外，由於信號強度與距離成反比，而頻寬與信號強度成正比關係。因此傳輸的頻寬

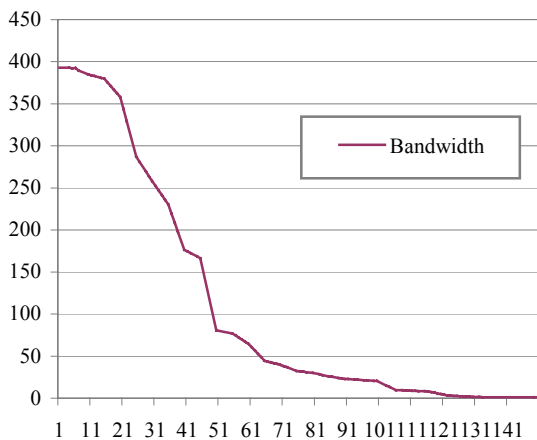
(Bandwidth) 與節點間距離成反比關係；而傳輸的頻寬會影響傳輸所需的時間。因此，傳輸時間會與節點距離成反比，可表示為 (4) 和 (5)。另外，當傳輸資料的時間越久，節點的耗電量越多，所以電量消耗(Power Consumption, PC) 會與傳輸時間 (Transmission Time, TT) 成正比，將此關係表示成 (6)。

$$\text{Bandwidth} \propto \left(\frac{1}{d}\right)^n \quad (4)$$

$$TT \propto (d)^n \quad (5)$$

$$PC \propto (d)^n \quad (6)$$

我們在真實環境中以兩台配備有 IEEE 802.11b 無線網路通訊裝置的筆記型電腦：HP Compaq NC4000 1.4GH 及 Toshiba Portage 3500 1.3GHz，來測量距離和傳輸頻寬的關係，測量結果如圖二所示。從圖中我們可以得知，當距離在 1 到 21 公尺之間，傳輸頻寬介於 350KB/s 到 400KB/s 之間，其下降的趨勢沒有非常明顯；然而，在 21 到 51 公尺之間，頻寬會呈指數型式下降，由 350KB/s 下降到約 75KB/s。根據這個現象我們可以得知，當兩傳輸節點間距離過大時，如果能在兩個傳輸節點之間加入一個中間節點，透過此中間節點進行資料轉傳的話，將能夠提高傳輸頻寬，並達到省電的效果。下一段文章中，我們將提出一個新的低傳輸耗電的繞路協定。



圖二、節點間距離與資料傳輸頻寬的關係圖

(二) 最小傳輸電量消耗之傳輸模式

在這一節，我們提出一個具低傳輸耗電的繞路協定，稱之為『最小傳輸電量消耗繞路協定』。主要目標在於能夠從來源端到目的端之間的所有可能的傳輸路徑中，尋找一條傳輸消耗電量最小的資料傳輸路徑，達到省電的目標。根據上述推導，電量消耗與節點間距離的次方成正比關係。因此最小傳輸電量消耗協定在找路的階段，會透過節點多次的發送和接收找路需求封包，蒐集網路中節點間傳輸之信號強度 (dB) 大小。根據 (3) 我們可以得知節點間距離與信號強度成反比關係。因此我們累計路徑中任兩點間信號強度倒數之總和，由目的端節點來選擇一條路徑中信號強度倒數和最小者，該路徑即是傳輸電量消耗最小的路徑。

假設 dB_i 表示從節點 i 到節點 j 的信號強度，因此一條路徑 r_d 中相鄰兩點之信號強度和 (7)。假設所有可能路徑的集合為 r^* ，於是最小傳輸電量消耗協定便在路徑集合 r^* 中，選一條傳輸電量消耗最小的路徑 r_{min} ，(8)。

$$P(r_d) = \sum_{i=0}^{d-1} \frac{1}{dB_i} \quad (7)$$

$$P(r_{min}) = \min_{r_i \in r^*} P(r_i) \quad (8)$$

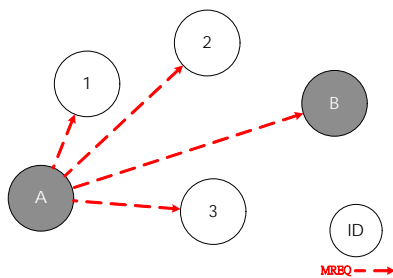
由前面的推導我們可以確定最小傳輸電量消耗協定可以找到一條耗電量最小的傳輸路徑。但最小傳輸電量消耗協定在找路的過程中需要進行較多的封包資訊交換，導致找路所耗費的成本較高。為了避免因為路徑發生中斷而必須耗費大量成本重新找路，我們提出了一個「中間節點路徑維護模式」，利用這個模式可以有效的維護路徑品質，同時避免因重新找路而耗費的大量成本。

(三) 中間節點路徑維護模式

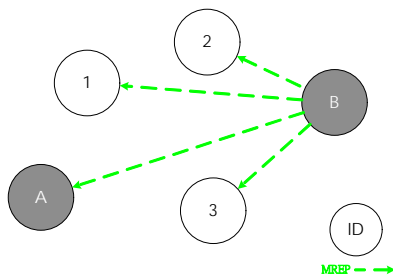
由前述的分析結果我們可以得知，當傳輸路徑中兩相鄰節點因為移動導致距離過大時，會導致傳輸頻寬的下降，甚至發生路徑斷裂。當路徑發生斷裂的情況時，必須重新尋找新的傳輸路徑。但是以我們『最小傳輸電量消耗模

式』來看，重新建立一條新的路徑會耗費較高的找路成本，因此我們提出了利用中間節點來協助路徑維護的模式，維持最小傳輸電量消耗之路徑，同時避免因為重新找路而耗費的大量電力。

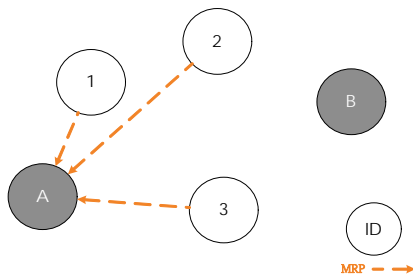
中間節點路徑維護模式是由發送端所主導，如圖三所示。當發送端 A 發現傳輸信號強度下降時，便主動發出尋找中間節點需求封包 MREQ (Midnode REQuest)，接收端 B 收到 MREQ 後，便廣播 MREP (Midnode REPLY) 封包，如圖四。如此一來，中間節點可收到 MREQ 及 MREP 且得知節點與兩端點之訊號強度資訊，節點將信號強度資訊包裝於 REP (REply Packet) 封包後，回覆至發送端節點，由發送端節點 A 選擇可協助之中間節點，如圖五所示。



圖三、尋找中間節點之 MREQ 封包傳送

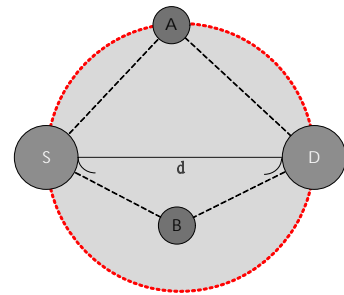


圖四、尋找中間節點之 MREP 封包傳送



圖五、尋找中間節點之 REP 封包傳送

中間節點回覆 REP 封包至節點 A 後，由 A 選擇最合適的中間節點加入路徑協助傳輸。根據距離與電量消耗的關係及畢式定理，節點與兩端點形成直角或鈍角三角形，節點至兩端點的距離平方和會小於兩端點距離平方，如圖六。因此，位於圓範圍內的中間節點可協助資料的轉傳並達到省電的目標。



圖六、中間節點距離關係

在行動無線隨意網路中，每一個節點都具有移動性，節點移動的結果可能會造成路徑中兩相鄰節點距離逐漸增加而導致信號強度降低。當信號強度降低會使得傳輸品質下降以至於消耗電量增加，因此我們考慮在距離過大的兩傳輸節點之間增加一中間節點協助傳輸，避免傳輸跳躍距離過大，導致傳輸品質不佳，耗費較高的電力成本。但尋找中間節點協助傳輸同樣需要付出找路成本，因此我們比較傳輸之成本及尋找中間節點所需付出之找路成本，推導出利用中間節點進行轉傳最佳的時機，以獲得較大的好處。

若我們不利用中間節點協助轉傳，當兩節點距離 D 加大，導致信號強度減弱時，會使傳輸頻寬降低。假設節點剩餘傳輸的資料量為 $Data$ ，於頻寬 B_{conti} 的狀態下傳輸，所需傳輸時間 T_{conti} 如 (9)：

$$T_{conti} = \frac{D}{B_{conti}} \quad (9)$$

所需付出之電量成本 PC_{conti} 為接收端節點接收資料之電量消耗 $PC_{Receiver}$ 及發送端節點發送資料之電量消耗 PC_{Sender} 乘上傳輸資料所花費時間如 (10)：

$$PC_{conti} = T_{conti} \times (PC_{Receiver} + PC_{Sender}) \quad (10)$$

同樣的，剩餘資料量為 $Data$ ，利用中間節點協助傳輸所需付出之電量成本包括：發送端節點發送一次 MREQ 封包、接收一次 MREP 封包及接收 N 個 REP 封包； N 個鄰居節點分別接收 MREQ、MREP 以及發送 REP 封包所需電量；以及接收端節點接收一次 MREQ 封包、發送一次 MREP 封包。

假設發送 MREQ、MREP 及 REP 封包分別需電量 PC_{S_MREQ} 、 PC_{S_MREP} 及 PC_{S_REP} ；接收 MREQ、MREP 及 REP 封包需要電量 PC_{R_MREQ} 、 PC_{R_MREP} 及 PC_{R_REP} ；整體行為耗電 PC_F 。我們可以得到尋找中間節點所需耗費的電量，如 (11)。

$$PC_F = \left[PC_{S_MREQ} + PC_{R_MREQ} + N(PC_{R_REP}) \right] + \left[N \times (PC_{R_MREQ} + PC_{R_MREP} + PC_{S_REP}) \right] + (PC_{R_MREQ} + PC_{S_MREP}) \quad (11)$$

使用中間節點需進行兩次的傳輸，分別於頻寬 B_{M1} 、 B_{M2} ，所需傳輸時間 T_{M1} 、 T_{M2} ，如 (12)、(13)，及完成傳輸所使用電量 PC_{M1} 、 PC_{M2} ，如 (14)、(15)。

$$T_{M1} = D / B_{M1} \quad (12)$$

$$T_{M2} = D / B_{M2} \quad (13)$$

$$PC_{M1} = T_{M1} \times (PC_{Receiver} + PC_{Sender}) \quad (14)$$

$$PC_{M2} = T_{M2} \times (PC_{Receiver} + PC_{Sender}) \quad (15)$$

因此，利用中間節點轉傳之電量消耗 PC_M ，包括了尋找中間節點的消耗電量 PC_F 以及進行兩次傳輸所消耗電量 PC_{M1} 與 PC_{M2} ，(16)。

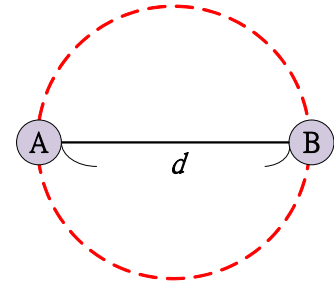
$$PC_M = PC_F + PC_{M1} + PC_{M2} \quad (16)$$

根據前述推導，我們可以發現當 (16) 小於 (10)，也就是透過中間節點轉傳所需消耗電量比直接傳輸來的小時，我們就可以利用中間節點路徑維護模式來協助轉傳，減少節點電量

消耗。

根據前述推導成本條件，我們可以知道透過中間節點轉傳可以獲得較高的效益，但並不是每次都能找到合適的中間節點進行轉傳。因為節點會移動，因此我們可以根據交換 MREQ 封包時，推算兩點間距離，推算出可供協助轉傳之節點數，當節點數高於某一個值時，我們可以找到合適的中間節點；若低於某個值，則可能找不到。若協助轉傳節點數過低的情況下，我們則不考慮尋找中間節點進行轉傳，避免額外的電力浪費。

在傳送 MREQ 的同時，我們可以藉由節點 B 傳送含有鄰居節點資訊之 MREP 封包至節點 A 的同時，利用傳輸的信號強度 (dB) 來推算出兩點間距離 d ，並利用距離 d 為圓半徑，兩節點連線之中點為圓心畫圓，如圖。



圖七、有效之中間節點範圍

位於以 d 為直徑之圓範圍內節點即為可協助路徑維護之中間節點。我們假設節點的位置為平均分布，因此隨著兩點間距離加大，所畫出之圓面積也加大，代表我們能到找到供協助轉傳節點的機會也隨著增加。設環境中節點密度為 D ，兩節點間距離為 d ，在兩節點之間能找到的中間節點數 $Node_{Mid}$ 可表示為 (17)。

$$Node_{Mid} = D \cdot \pi \cdot d^2 \quad (17)$$

我們想要求得至少能找到一個中間節點的臨界距離 d 。因此，我們將 (17) 改寫為 (18)：

$$1 = D \cdot \pi \cdot d^2 \quad (18)$$

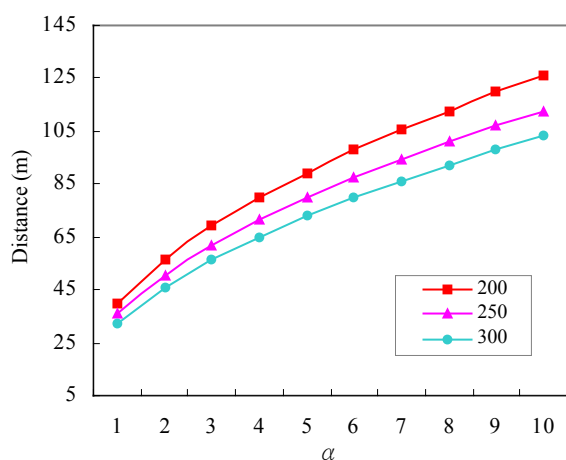
(18) 經過移項後，得到 (19)：

$$d = \sqrt{\frac{1}{D \cdot \pi}} \quad (19)$$

由 (19) 我們可以得知，要找到至少一個共同鄰居節點的臨界距離 d 如 (20)：

$$d = \sqrt{\frac{\alpha}{D \cdot \pi}} \quad \text{where } \alpha \geq 1 \quad (20)$$

當接收節點發現收到的信號強度低於某一個臨界值即代表兩節點間距離超過我們設定的臨界距離 d ，便可以要求尋找可以協助傳輸之中間節點，藉由中間節點的轉傳，來維持路徑的穩定性並且避免路徑發生中斷的情況。接著我們分析兩節點間距離與可找到之共同鄰居節點個數 α 之關係，如圖八。從圖八中我們可以發現，距離與共同鄰居節點個數呈正比關係。當兩節點間距離越遠，我們可以找到的共同鄰居節點個數就越多。另外，當環境中節點密度越高時，找到相同數量的共同鄰居節點的距離就越短。



圖八、距離與可找到之節點個數關係

四、模擬

在這個章節，我們介紹實驗環境及相關的實驗參數。我們利用 C++ 程式語言設計一套網路模擬程式來模擬我們所提出的繞路協定以及著名的被動式繞路協定 AODV 以及 DSR；以剩餘電量為導向的 MMBCR 及同時建立多條傳輸路徑的 PAMP 進行實驗模擬比較。比較的內容

包括：(1) 路徑找尋時之成本 (2) 頻寬 (3) 電量消耗。詳細實驗模擬環境描述如表一所示。

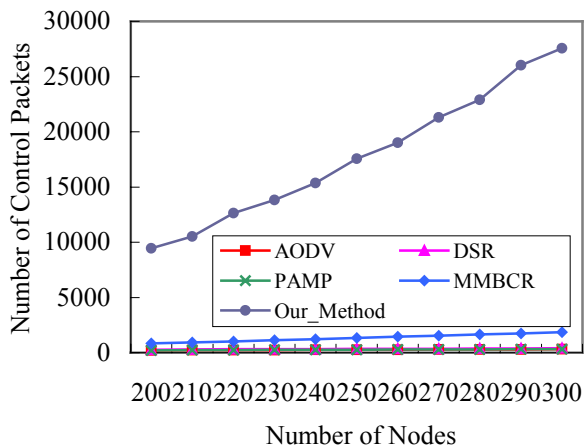
表一、實驗環境參數

實驗參數	參數值
模擬範圍	1000 公尺 * 1000 公尺
節點個數	200~300 個
節點速率	0-10 (公尺/秒)
傳輸範圍	150 公尺
節點電量	50 焦耳
資料量	100M bytes
流量模組	CBR
封包大小	512 位元組

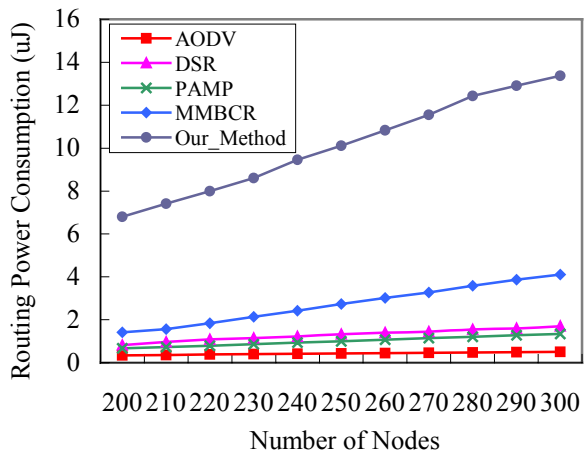
(一) 找路時的成本

在無線隨意網路中，尋找一條傳輸路徑所需的成本是指在找路階段『消耗的電源』。其中包括了接收及發送控制封包的消耗電量。因此，我們分別模擬我們的方法 (Our Method)、AODV、DSR、MMBCR 以及 PAMP 於找路階段所廣播的控制封包數以及消耗的電量。

我們的方法需要收集節點與其鄰居節點間信號強度關係。我們藉由 RREQ 封包傳送的信號強度來找到一條頻寬表現最佳的路徑。因此，我們的方法在找路階段的封包使用量會較其它方法來的高，圖九。雖然在我們的方法中必須廣播大量的廣播封包，但不是每一個節點都須幫忙進行轉傳，因為除了找到目的地節點之外，主要的目標是為了取得鄰居節點的資訊。因此，由圖十我們可以看到，在找路階段的電量消耗，我們的方法所消耗的電量約為其他協定的 6 倍。AODV 在找路階段每個節點只會協助轉傳一次 RREQ 封包，因此使用的控制封包數相對於少於其他的找路方法。MMBCR 則是利用回覆 RREP 的同時計算路徑的剩餘電量，來找出一條剩餘最小電量最大者，因此在控制封包數會比 AODV、DSR 以及 PAMP 來得多，消耗電量也較高。



圖九、找路時所使用的控制封包數



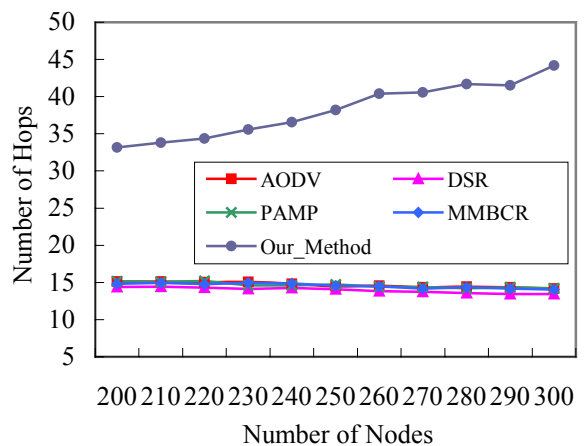
圖十、找路時所耗的電量消耗

為了減少因路徑中斷，進行重新找路耗費的大量成本，我們使用中間節點轉傳的方法來維護路徑的傳輸品質。下個小節中，我們將以傳輸效能來討論實驗模擬的結果。

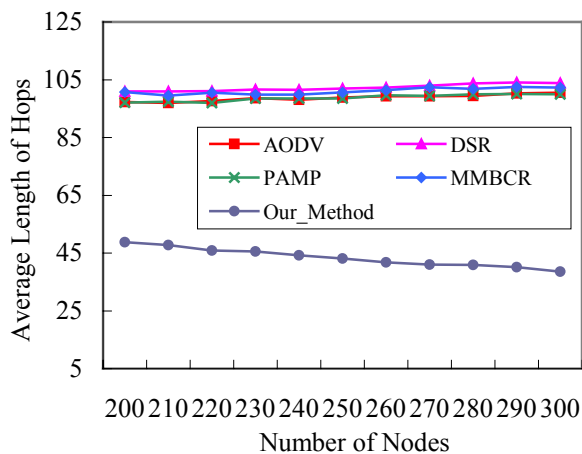
(二) 頻寬

這個小節討論我們的方法與 AODV、DSR、MMBCR 及 PAMP 這五種不同的繞路協定所建立路徑的傳輸頻寬。根據前面的介紹，傳輸使用的頻寬會與兩傳輸節點間的距離有關。因此，我們先比較這五種繞路協定所建立的路徑中，平均每個跳躍的距離。由圖十一我們可以發現，DSR 與 MMBCR 的跳躍次數平均大約為 14；AODV 與 PAMP 則大約 15；而我們所提出的方法跳躍次數平均為 38，次數上比其他繞路協定來得多。從圖十二可以看到，我們方法中

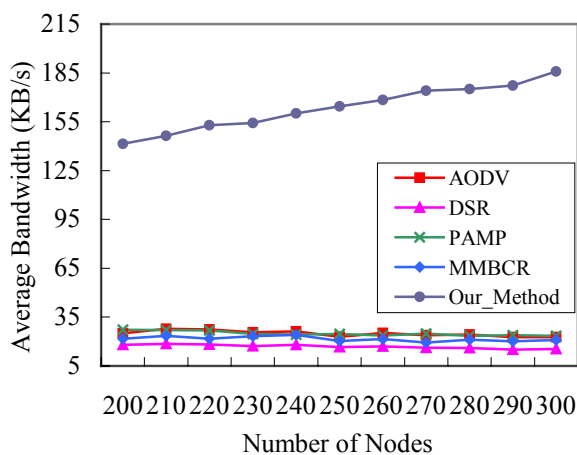
每個跳躍的平均距離都比其他協定來得短。由於 AODV 與 PAMP 選擇的都是一條最快到達目的地的路徑，因此跳躍數相對較少，距離則較長，約 120 公尺。而我們的方法是選擇一條每個跳躍信號強度最強的路徑。因此，跳躍距離較短，平均約 43 公尺。因為節點間距離與傳輸頻寬會成正比關係，從圖十三中我們可以看到，我們的方法在未考慮節點間通道競爭的情況下，整體傳輸頻寬平均約 150 KB/s，較其他協定高出約 6.6 倍之多。另外，在圖十四中，我們將節點間傳輸通道競爭的情況列入考慮，我們提出的方法平均傳輸頻寬約為 21 KB/s，整體傳輸頻寬的表現也比其他協定高出 2.5 倍。比較圖十三及圖十四可以發現：我們的方法中，頻寬的下降比率是最大的。主要的原因是當網路環境中有較多節點競爭傳輸通道，會導致整體可用頻寬下降。由於我們選擇平均跳躍距離最短的路徑，節點距離較近的結果導致競爭的次數增加，使得可用頻寬衰減。然而，我們的方法仍能提供比其他方法較佳的可用頻寬。



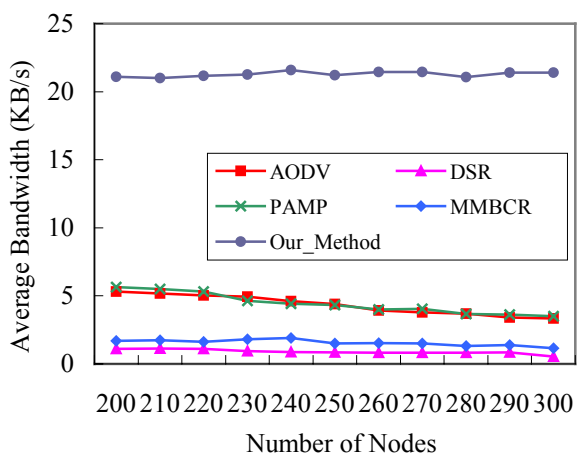
圖十一、傳輸路徑的跳躍次數



圖十二、傳輸路徑的平均長度



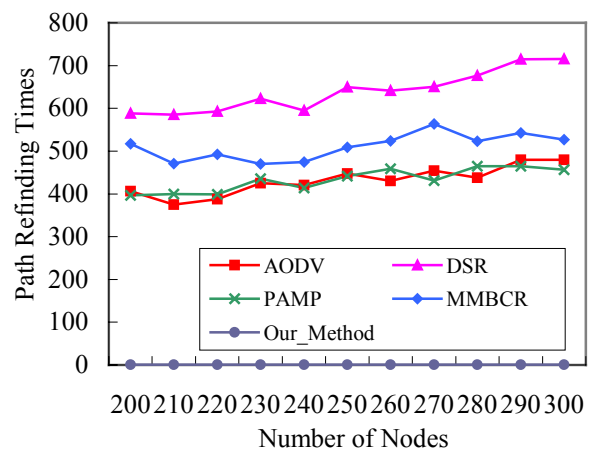
圖十三、傳輸路徑的頻寬



圖十四、傳輸路徑頻寬

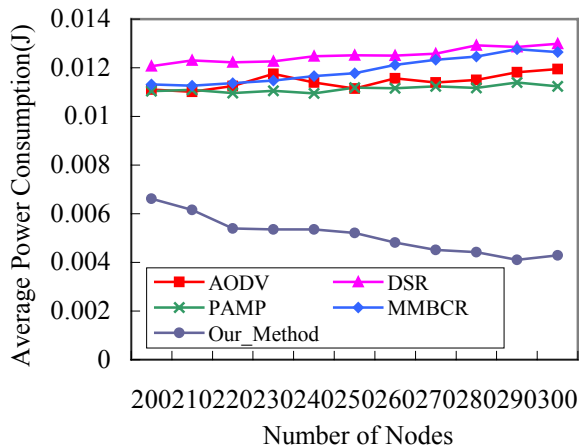
接著，我們討論整體的電量消耗。由圖十五我們可以發現，我們的方法可以有效的將重新找路次數降低，這是由於我們提出的中間節點維護模式能夠有效的在路徑發生斷裂前，加入中間節點協助轉傳，有效的減少路徑斷裂而進行重新找路的次數。DSR 建立一條離目的端節點最近的路徑，也就是跳躍數最少的路徑。如此一來，使得兩傳輸節點間距離較大，當節點隨著時間移動，發生斷裂的機會也增加。

在圖十六中，我們提出的方法在整體的電量消耗平均會比 AODV 少 90%，比 MMBCR 少 80%，主要原因是我們的方法能夠使用頻寬較佳的路徑進行傳輸，有效的減少節點在傳輸時候的電量消耗。由[3]我們可以得知，節點在傳輸資料時所消耗的電量會比傳輸控制封包來的大。因此，雖然我們的找路方法會耗費較多的找路電量，但我們的方法所找出來的傳輸路徑可以利用較佳的傳輸頻寬，在最短的時間內將資料傳輸完畢；同時，我們利用中間節點的路徑維護模式，大幅減少發生路徑中斷而耗費電量進行重新找路的情況。因此，我們所提出的方法可以有效的大幅減少節點的電量消耗。



圖十五、平均的重新找路次數

(三) 省電



圖十六、整體的電量消耗

五、結論

在本篇論文中，我們提出一個使用於無線行動隨意網路中，具有高傳輸頻寬與低維護成本的省電繞路協定。為了達到省電的目的，我們希望利用高頻寬進行傳輸，縮短傳輸所需時間。另外，考慮到我們方法需要負擔較高的找路成本，以及節點的移動對傳輸頻寬所造成的影響，我們設計一個中間節點路徑維護模式。在距離過大的兩節點間，加入一個中間節點協助傳輸，維持傳輸品質並避免路徑發生中斷的情況。從模擬結果我們可以看到，在頻寬的表現上，我們會比其他的協定高出約 6.6 倍；在電量消耗部分，整體的電量消耗會比以省電導向的繞路協定低 41.4% 左右，而比 AODV 低 55.3%。我們所提出的最小電量消耗繞路協定，可以有效的找到一條具有高傳輸頻寬的傳輸路徑，並且利用中間節點路徑維護模式，有效的減少路徑中斷的情況發生，達到減少電量消耗的目的。

誌謝

本研究由國科會贊助，計畫編號
NSC96-2221-E-035-004-MY3

六、參考文獻

[1] T. W. Chen and M. Gerla, "Global State Routing: A New Routing Scheme for Ad-hoc

Wireless Networks," Proceedings of IEEE ICC, pp. 171-175, 7-11 June 1998, Atlanta, Georgia, USA.

- [2] C. C. Chiang, H. K. Wu, W. Liu, and M. Gerla, "Routing in Clustered Multi-Hop Mobile Wireless with Fading Channel," Proceedings of IEEE SICON 1997, pp. 197-211, April 1997.
- [3] L. M. Feeney, "An Energy Consumption Model for Performance Analysis of Routing Protocols for Mobile Ad hoc Networks," Mobile Networks and Applications, Vol. 6, Issue 3, June 2001.
- [4] J. Gomez and A. Campbell, "Power-Aware Routing Optimization for Wireless Ad Hoc Networks," Proceedings of HSN, June 2001, Balatonfured, Hungary.
- [5] J. Gomez and A. Campbell, "Conserving Transmission Power in Wireless Ad Hoc Networks," Proceedings of IEEE ICC, pp. 24-34, 7-11 June 2001, Atlanta, Georgia, USA.
- [6] J. Gomez, A. Campbell, M. Naghshineh, and C. Bisdikian, "PARO: Supporting Dynamic Power Controlled Routing in Wireless Ad Hoc Networks," ACM/Kluwer Journal on Wireless Networks, Vol. 9, No. 5, pp. 443-460, 2003.
- [7] H. Hassanein and J. Luo, "Reliable Energy Aware Routing in Wireless Sensor Networks," Proceedings of IEEE DSSNS, pp. 54-64, 24-28 April 2006, Columbia, Maryland.
- [8] D. Johnson and D. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," in Mobile Computing, edited by Tomasz Imielinski and Hank Korth, chapter 5, pp. 153-181. Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [9] K.-R. Kim, S.-G. Min, and N.-K. Yu, "Maximizing the lifetime of wireless ad hoc networks using Minimizing the Maximum used Power Routing," Wireless Pervasive Computing, 2008. ISWPC 2008. 3rd International Symposium on, pp. 557 - 561, 7-9 May 2008.
- [10] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc

- On-Demand Distance Vector Routing,” Proceedings of WMCSA, pp. 90-100, 25-26 February 1999, New Orleans, Louisiana, USA.
- [11] C. E. Perkins and P. Bhagwat, “Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers,” *Computer Communications Review*, Vol. 24, pp. 234-244, 1994.
- [12] K. Scott and N. Bambos, “Routing and Channel Assignment for Low Power Transmission in PCS,” Proceedings of IEEE ICUPC, pp. 498-502, 29 September - 2 October 1996, Cambridge, MA.
- [13] S. Singh, M. Woo, and C.S. Raghavendra, “Power-Aware with Routing in Mobile Ad Hoc Networks,” *Proceedings of ACM/IEEE MOBICOM*, pp. 181-190, 25-30 October 1998, Dallas, Texas.
- [14] I. Stojmenovic and X. Lin, “Power Aware Localized Routing in Wireless Networks,” *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol. 12, issue 11, pp. 1122-1133, 2001.
- [15] C.-K. Toh, H. Cobb, and D. A. Scott, “Performance Evaluation of Battery-Life-Aware Routing Schemes for Wireless Ad hoc Networks,” Proceedings of IEEE ICC, pp. 2824-2829, 11-14 June 2001, Helsinki, Finland.
- [16] X. Wang, Q. Liu, and N. Xu, “The Energy-Saving Routing Protocol Based on AODV” *Natural Computation, 2008. ICNC '08, Fourth International Conference, Volume 5*, Page(s):276 – 280, 18-20 Oct. 2008.
- [17] J.S. Yang, K. Kang, Y.-J. Cho, and S.Y. Chae, “PAMP: Power-Aware Multi-Path Routing Protocol for a Wireless Ad hoc Network,” Proceedings of IEEE WCNC, pp. 2247-2252, 31 March - 3 April 2008, Las Vegas, USA.