

以距離及剩餘電量考量之無線隨意網路繞徑協定

王煌城
國立宜蘭大學
hcwang@niu.edu.tw

陳文宏
國立宜蘭大學
r9426006@niu.edu.tw

■ 摘要

無線隨意網路(ad hoc wireless network)是一種全部由無線裝置建構成的無線網路架構，其最重要的特性，就是節點之間的通訊是藉由鄰近節點互相傳遞、交換訊息而達成。在其中的無線裝置，無論是手機或是筆記型電腦，其電力的消耗都是影響整個無線裝置一個非常重要的因素，因此如果能在擇徑方法上將電池壽命也加入考量，則在效能上應該會有不錯的表現。

在本論文中我們提出新的繞徑演算法(Maximum Path Lifetime Routing, MPLR)，主要是在傳統的繞徑協定如AODV、DSR中，加入節點之間距離及節點之剩餘電量作為擇徑的依據，並將這些因素以數學式表示成能量花費成本模型，最後我們將所提出來的方法與幾種擇徑方法做比較，經過模擬結果顯示我們所提出來的方法確實優於這些方法。

關鍵詞：無線隨意網路、存活時間、MPLR、剩餘電量、繞徑演算法。

1. 前言

隨著無線通訊技術的蓬勃發展，無線網路應用越來越普及化，讓人們不因地理因素的限制，能夠在任何時間、任何地點，利用各種無線通訊網路，充份獲得想要的資訊。一般無線網路中的無線裝置只需負責傳送訊息和接收訊息，無線裝置之間的通訊及資料處理都需要依靠事先架設的有線基地台，所以一旦基地台故障，其涵蓋範圍內的行動裝置皆無法使用。無線隨意網路是一種全部由無線裝置建構成的無線網路，每一個無線裝置可以為被服務

的節點，執行發送或接收通訊內容；或為提供中繼轉送的中繼節點，負責轉送其他節點的通訊要求。無線隨意網路不需基地台的架設，可隨時部署於任意環境中，因此提供一個更即時且更具有彈性的網路通訊能力。由於不需基地台的架設，可大幅的降低網路的維護成本，因此有各式各樣的應用建立在無線隨意網路上。例如：戰場上、災區、偏遠山區、小型會議室等。

在無線隨意網路中，大多數的無線裝置為一般廣為使用的手機、PDA、notebook，其電源皆為電池所提供，一旦電池電量耗盡，該節點將無法繼續工作，造成傳輸路徑斷裂。所以無線裝置節省電量消耗及延長電池壽命對於無線隨意網路的通訊能力是相當重要。本論文利用考慮節點之間距離及各節點之剩餘電量作為擇徑的考量因素，以選擇出耗電量低且傳輸路徑之存活時間(lifetime)長的路徑作為資料傳送路徑。

本論文以下各節的組織如下：第二節為相關文獻探討，介紹無線隨意網路中的繞徑協定以及一些節省電量消耗的繞徑方法。第三節描述繞徑之能量成本模型，介紹節點之間距離及各節點之剩餘電量對於節省電量消耗及延長路徑存活時間的影響。第四節對於所提出的方法進行效能分析，並與現有的方法做比較。第五節為本論文之總結。

2. 相關文獻探討

2.1 無線隨意網路之繞徑協定

在無線隨意網路的繞徑協定中，就路徑選擇方法大致分為兩類，第一類是以 table

driven 的方式來尋找路徑；第二類是以 on demand 的方式來尋找路徑。

在無線隨意網路下的table driven 繞徑方法主要目的在於讓網路中每一個節點的繞徑資訊都保持一致且為最新，使節點在搜尋路徑時，可以快速並且正確的尋找出資料傳送路徑。所以每一個節點內必須包含一個或是一個以上的表格來記錄繞徑資訊，節點必須週期性向鄰近節點要求最新的繞徑資訊以保證其正確性，當網路拓撲變化時，也將立即更新繞徑資訊並通知鄰近節點更新其繞徑資訊。

Table driven 繞徑協定有 Destination Sequenced Distance Vector Routing Protocol (DSDV)，利用最短路徑(即minimum hops) 作為選擇路徑的依據。Clusterhead Gateway Switch Routing Protocol (CGSR)將網路分割成多個群組，藉由群組主控者作為路由器的方式，達到傳送資料的目的，主控者負責維護群組間的繞徑資訊。

On demand 的方法是當節點需要傳送資料時才會啟動繞徑機制，其流程為傳送端先送出尋找目的端的廣播封包，而中繼節點收到廣播封包後，記錄廣播封包所經過的中繼節點直到目的端為止，目的端收到封包之後，依照封包內記錄的路徑回傳訊息給傳送端，再由傳送端選擇一條路徑來傳送資料。雖然on demand 方法在需要傳送資料時才啟動繞徑機制，可以減少閒置時節點之間更新繞徑資訊所造成的浪費，但由於在尋找路徑時需要做廣播動作，所以當網路規模很大的時候，網路的整體效能將大為降低，因整個網路都充斥廣播封包，所以on demand 方法較適用於小規模網路。

On demand 的繞徑協定包括 Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol (AODV) [5]，該法藉由傳遞 RREQ (route request packet) 封包訊息，記錄中間經過之節點，再由目的端從所有接收到的 RREQ 封包中選擇一條最短路徑回覆 RREP (route request reply) 封包，RREP 封包沿著該路徑回送給傳

送端。Dynamic Source Routing Protocol (DSR) [3]和AODV法類似，不同在於每個節點各擁有一個route cache，用來記錄最近的繞徑資訊。Associative-Based Routing (ABR) [9]，藉由兩節點之間的beacon數表示二者間連接的穩定性，beacon 數越大代表穩定性越高，並以beacon 數作為擇徑的依據，以穩定性最高的路徑做為資料傳送路徑。

2.2 節省電量消耗之繞徑方法

由於行動裝置講求輕薄短小、攜帶方便，對於電池的體積大小及電量有很大的限制。為了減少電池體積及延長使用時間，所以降低電量消耗以及延長電池壽命是一個很重要的關鍵。因此有許多研究以降低耗電量及延長電池壽命為考量，而發展出有效節省電量消耗的繞徑方法，以下針對幾種節省電量消耗的繞徑方法做簡單的介紹。

Lee和Jing [4]在其論文中談到一般研究 Power-aware繞徑演算法中，通常可以分成三大類：(1) 切換發射機開關狀態的省電方法，此類型主要的作法為，當節點處於idle mode時，藉由有效的關閉發射機來節省電量，不過此類型只適合應用在節點密度較高的網路中。(2) 以擇徑為基礎的省電方法，此類型主要的作法為，定義不同能量成本模型來計算各路徑能量花費，從所有可能的路徑中找到能量花費最少的作為資料傳送路徑。(3) 控制拓撲範圍大小的省電方法，此類型乃利用有效的控制網路拓撲大小來調整各節點的傳送功率，進而有效節省電池電量。由於本論文所採用的方法近似於類型(2)，所以底下就針對類型(2)目前相關的研究做探討。

Romdhani 和Bonnet [6]在其論文中提出利用節點能量消耗快慢作為擇徑的依據，主要是利用各節點計算其所預估之存活時間，並加總各路徑之總存活時間後，從中選擇一條總存活時間最大之路徑作為資料傳送路徑。不過此

方法以總路徑之存活時間為擇徑依據，可能會找出總路徑之存活時間最大但其中某節點之存活時間很小，當存活時間較小的節點電量耗盡，將使得路徑斷裂而失效。

Shin 和Lee 在其論文中提出了一種增強型的power-aware繞徑演算法ERSA (Enhanced Route Selection Algorithm) [7]，將傳送一個封包所花費的能量定義為傳送所消耗的能量、接收所消耗的能量、剩餘能量、能量消耗率、鏈結數以及資料傳送率等參數所組成之能量成本模型，其能量成本模型主要目的是希望能夠考慮更多省電因素，以更有效節省節點電量花費。但在其模擬中只考慮剩餘能量對於路徑選擇的影響，而未將其他因素考慮進去。

在[1]中提出了一種以各節點之間距離為考量因素的繞徑演算法MECR (Minimum Energy Cost Routing)，在一般無線裝置上傳送資料所耗費的傳送功率是最耗電量的部份，而傳送功率與距離有密切的關係。論文中提出的方法選擇距離較近的節點作為轉送的中繼節點，可以降低傳送功率的消耗以達到節省電量消耗的目標。

MBCR (Minimum Battery Cost Routing) [8]計算路徑上每一節點之剩餘電量，找出一條總剩餘電量最多的路徑來當作資料傳送路徑。此方法的優點為延長每個節點之存活時間，其缺點為雖然總剩餘電量最多，但是路徑中可能有某些節點的電量不足，導致路徑失效，資料無法傳送的問題發生。

Min-Max Battery Cost Routing (MMBCR) [10]是為了改善MBCR之缺點而提出的，在選擇路徑時，從所有可能的路徑中，選取各路徑剩餘電量最少的節點出來做比較，並選擇其值最大者做為傳送資料的路徑。此方法與MBCR方法都只考慮節點剩餘電量之因素，和Romdhani 和Bonnet 的論文中所考慮的存活時間不同，但即使節點有較多的剩餘電量，也可能因為該節點之能量花費較多而比剩餘電

量較少之節點容易因電量耗盡而失效。

3. 能量成本模型

本研究在傳統無線隨意網路的繞徑協定加入考慮節點之間距離因素的能量花費及節點剩餘電量造成之影響，作為擇徑的依據，提出新的繞徑方法稱為Maximum Path Lifetime Routing (MPLR)，利用此方法可以找出能量花費最少以及存活時間最長的路徑。

以往無線隨意網路的繞徑協定如AODV、DSR 皆是以minimum hops 為擇徑的依據，所選擇的路徑雖然經過的中繼節點少但是中繼節點之間的距離可能很遠，在一般Free Space傳輸模式中，傳送功率與距離的平方成正比，在Two-Ray傳輸模型中，由於電波繞射及經過地面反射的關係，傳送功率與距離的四次方成正比，因此選擇較近的中繼節點轉送資料可以用較低的功率來傳送資料。在Minimum Energy Cost Routing (MECR)方法中提出energy cost 並非只與傳送功率 $P_{transmission}$ 有關，也與電子電路功率 $P_{electronics}$ 有關，其能量成本模型如下式(1)所示

$$C_{jk} = \left[6.5 \times \left(\frac{d_{jk}}{25} \right)^2 + 7.5 \right] \text{nJ} \quad (1)$$

其中 d_{jk} 代表節點 j 與節點 k 之間的距離， C_{jk} 為自節點 j 到節點 k 傳送一位元所需花費的能量。加總傳送端到目的端之間各路徑所需消耗的總能量花費，比較並從中選出一總能量花費最少的路徑來當作資料傳輸路徑。

考慮節點之間距離因素所造成各節點電量消耗的影響，雖然可以減少傳送功率的損耗，但是在選擇路徑時並未考慮到剩餘電量的問題，可能會選擇到路徑中有某些節點其剩餘電量較低，使得這些節點電量快速耗盡而無法傳送資料，導致路徑中斷，必須花費額外的電量去尋找新路徑，以及增加控制封包的傳送等問題之產生。本論文參考其能量成本模型，再

考慮節點剩餘電量之因素。

節點之剩餘電量關係到節點之存活時間也代表路徑之存活時間。當路徑中某節點電量耗盡會造成路徑斷裂失效，影響網路的通訊能力，增加必須重新搜尋路徑的額外能量花費，所以如果能將節點之剩餘電量的因素加入擇徑的考量中，可以降低節點的耗電量、延長節點使用壽命及增加網路傳輸的穩定性。

根據Sean Gold在其論文中利用PSPICE模擬ICR-18650 Lithium-Ion電池電壓和其使用率的關係得知[2]，當電池電量越少時，其放電速率會呈現加快的趨勢，如圖1所示，當電池電壓降至3.6V時，其使用率已達80%；降至2.8V時，其電池電量完全耗盡。由此可得知，電池的剩餘電量越少，其放電速度越快，所消耗的功率越大，根據Sean Gold文中的模擬數據，我們利用Least-squares curve fitting方法求出電池電壓與其使用率之間的關係式，如公式(2)所示，透過此公式，我們可以利用電壓來求得目前電池的使用率如下式所示：

$$\text{usage} = 2.93 \times V^4 - 40.47 \times V^3 + 207.48 \times V^2 - 468.26 \times V - 393.82 \quad (2)$$

依斜率我們大致可以將圖1分為四個區段，其斜率可以利用電壓除以使用率得知，代表電池耗電量的大小，當坡度越陡，代表電池耗電量越大。第一段為電池使用率在15%之前，斜率為0；第二段為電池使用率在15%~80%之間，斜率為-0.5；第三段為電池使用率在80%~90%之間，斜率為-2；第四段為電池使用率在90%~100%之間，斜率為-5。我們以公式(3)作為電量消耗的加權指數：

$$W = 1 - \text{slope} \quad (3)$$

最後將加權指數W代入公式(1)，作為新的成本模型，其定義如公式(4)所示。

$$C_{jk} = W \times \left[6.5 \times \left(\frac{d_{jk}}{25} \right)^2 + 7.5 \right] nJ \quad (4)$$

利用此成本模型作為選擇路徑的依據，可以避免選擇到剩餘電量較少的節點作為中繼節點，以及減少節點因為電量耗盡而失效的

機率，因此可延長路徑之存活時間、減少重新找尋路徑所花費的電量消耗、提升網路的穩定度，並降低各節點功率消耗成本。

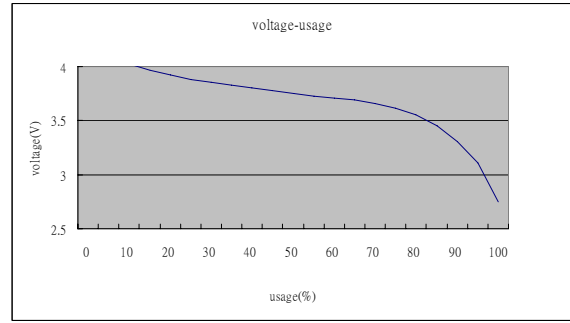


圖 1 電池電壓與使用率關係圖

舉一例說明如下：如圖2所示，鏈結上的數字為兩節點之間的距離，節點旁邊為其電池剩餘電量大小，當來源節點S有資料要傳送給目的節點D時，一般傳統的on-demand routing protocol (例如DSR、AODV)選擇路徑的依據為以最短路徑作為考量，故選擇S→4→D為傳送資料路徑，其能量花費為671.22nJ；對於有考慮距離因素的方法，則會以縮短節點之間距離為選擇依據，其選擇之路徑為S→1→3→5→D，能量花費為373.34nJ；若加入電池剩餘電量作考慮，其選擇路徑為S→1→3→D，能量花費為226.94nJ。此方法可以避開較低剩餘電量的節點5。由此可知多加入電池剩餘電量作為選擇路徑的考量，可以減少能量花費，更進一步延長各節點的壽命。

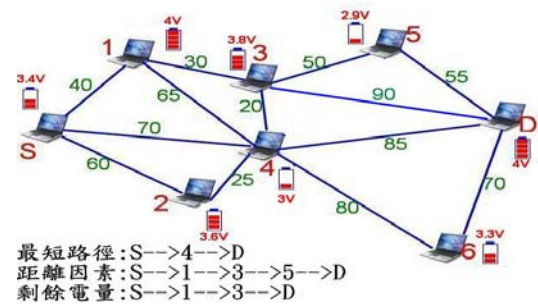


圖2 考慮剩餘電量因素擇徑示意圖

4. 效能評估

我們藉由模擬來評估本論文所提出的MPLR 繞徑演算法，並且與傳統的無線隨意

網路繞徑協定，即考慮 minimum hops (AODV、DSR)，只考慮選擇節點之間距離較短的節點為中繼節點(MECR)和只考慮剩餘電量(MBCR)，此三種方法來做比較。

本研究的模擬環境設定及結果分析乃以 C++ 撰寫，分別在 150×150、200×200、250×250、300×300、350×350 平方公尺的拓樸範圍內散佈 50 個節點；在 150×150、200×200、250×250、300×300、350×350 平方公尺的拓樸範圍內散佈 75 個節點；以及在 200×200、300×300、400×400、500×500、600×600 平方公尺的拓樸範圍內散佈 100 個節點。對於各種拓樸大小及節點數量，我們分別利用亂數產生 200 組不同的網路拓樸，根據 ICR-18650 Lithium-Ion 電池模型，滿電量為 4V，電量耗盡為 2.8V，因此各個節點的初始剩餘電量以亂數產生，其值介於 3V 到 4V 之間，取小數 2 位。我們探討不同的拓樸大小及不同節點密度對於尋找路徑所花費之成本影響及各路徑維持時間長短來做比較。

4.1 模擬結果

4.1.1 各方法之能量花費比較

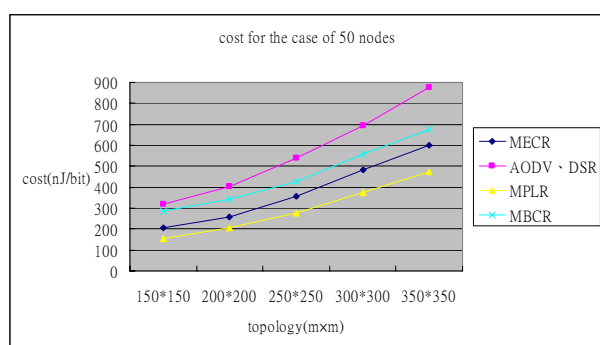


圖3 節點數50的能量花費

圖3至圖5分別顯示節點數為50、75與100的無線隨意網路下，對於不同拓樸大小，四種繞徑演算法所得能量花費的模擬結果。

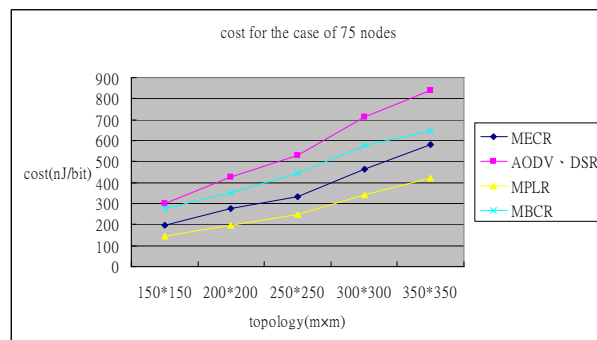


圖4 節點數75的能量花費

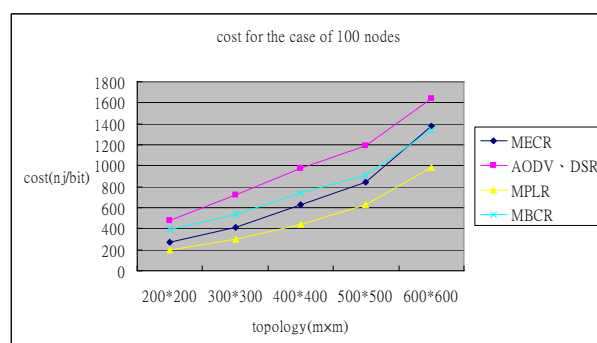


圖5 節點數100的能量花費

由圖中可看出在網路拓樸較小的時候，各種方法能量花費差距不大，其中以傳統的繞徑協定(AODV、DSR)能量花費為最多，因為其擇徑的依據為 minimum hops，雖然所經過的 hop 數量較少但每個中繼節點之間的距離較遠，由於傳送功率的大小和節點之間距離的平方成正比，所以距離越遠，其傳送功率越大，相對所消耗的能量也越多。MECR方法雖然選擇距離較近的節點作為轉送節點，其省電效果較AODV及DSR好，但未考慮節點剩餘電量因素，依Sean Gold 論文中的結果，電池在滿電量和電量將耗盡時，其耗電量差距最多有五倍之多，所以未考慮節點剩餘電量會造成選擇較少剩餘電量的節點作為中繼，而增加能量的花費，且節點較易因電量耗盡而失效，影響整體路徑的穩定度。MPLR方法因為有考慮到節點之間距離的因素，也加入節點剩餘電量做為擇徑的依據，所以不僅可以選擇較近的節點做為轉送中繼節點，還可以避免選擇到剩餘電量較低的節點，所以其選擇的路徑能量花費皆比其

他方法少。

由圖中可知當拓樸範圍較小時，節點密度較高，所需要經過的轉送中繼節點較少，節點之間的距離差距也不大，所以路徑的能量花費差距較不明顯；當拓樸範圍較大時，MPLR 的能量花費大約比AODV、DSR節省一半。由50個節點及75個節點的圖中可以看出，能量花費和節點數量並無太大關係，主要關係在於拓樸範圍的大小，因為當拓樸範圍變大，節點平均所需傳送的距離也相對較遠，所以所需消耗的能量也較大。在100個節點的情況下，當拓樸大小超過500m×500m時，只考慮節點剩餘電量的MBCR方法能量花費比只考慮節點之間距離因素的MECR方法的能量花費要低，因為當拓樸範圍較大時，MECR所需經過的中繼節點比MBCR多，而且沒有考慮節點剩餘電量之因素，故有較大的機率選擇到剩餘電量較低的節點，因而增加其能量花費。

4.1.2 比較各方法之路徑存活時間

我們所考慮各節點的初始剩餘電量都不相同，當路徑中某節點電量耗盡，則這條路徑即失效，所以我們以各方法所選擇路徑中最先失效的節點代表路徑之存活時間。注意，節點剩餘電量最少並不一定代表越快失效，因為剩餘電量多的節點很可能因為與下一個傳輸節點距離較遠而花費較多的傳輸功率，以致加快節點失效；反之，剩餘電量較少的節點也可能因為與下一個傳輸節點距離較近，所以花費較少的傳輸功率，使其存活的時間較長。所以我們考慮節點之存活時間是比較各種方法所選擇路徑中各節點的剩餘電量及各節點的能量花費，計算該節點能傳送的封包數及節點存活時間，取路徑中最短節點存活時間作為各路徑之存活時間，其公式如下式。

$$P_j = \frac{V^2}{R} = \frac{\left(\frac{V_j - 2.8}{4 - 2.8} \right)^2}{R} \quad (5)$$

功率等於電壓平方除以電阻，其中電壓以節點 j 剩餘電量和總可用電量比值來表示，根據Sean Gold 的論文，本研究模擬所參考的ICR-18650 Lithium-Ion 電池模型，當電量耗盡時為2.8V，而 R 為電阻值，一般射頻天線電阻匹配至50Ω。可傳送之總位元數計算如下：

$$\text{總傳送位元數}_j = \frac{P_j}{(C_{jk} / t_b)} \quad (6)$$

P_j 為節點 j 的總功率， (C_{jk} / t_b) 為節點 j 傳送一位元到鄰近節點 k 所需消耗之功率， t_b 為傳送一位元所需花費的時間，假設傳輸速率為2 Mbps，則傳送一位元須耗時 $0.5 \mu s$ ，相除即可求出節點 j 可傳送的總位元數。節點 j 之存活時間可以下式求得：

$$\text{存活時間}_j = \frac{\text{總傳送位元數}_j}{\text{每小時傳送位元數}} \quad (7)$$

由於本模擬主要目的在比較各種擇徑方法之存活時間，故忽略傳輸閒置時間及回應控制訊號時間。若傳送一位元須耗時 $0.5 \mu s$ ，則每小時可傳送 7.2×10^9 位元，依上式可算出節點 j 之電池壽命。比較路徑中各節點之存活時間取最小值為路徑之存活時間。圖6至圖8顯示節點數為50、75與100的無線隨意網路中，對於不同拓樸大小，四種繞徑演算法所得到路徑存活時間的模擬結果。

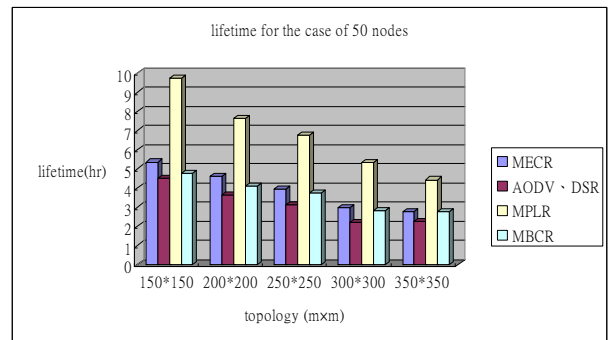


圖 6 節點數 50 的路徑存活時間

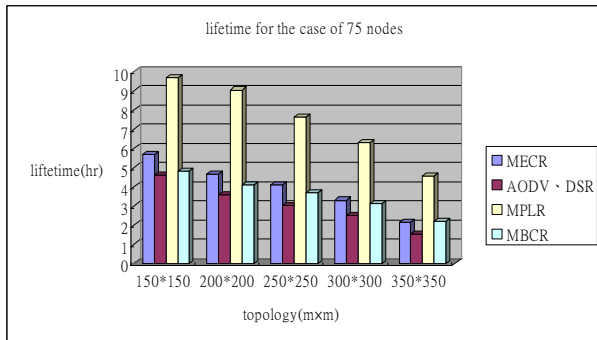


圖 7 節點數 75 的路徑存活時間

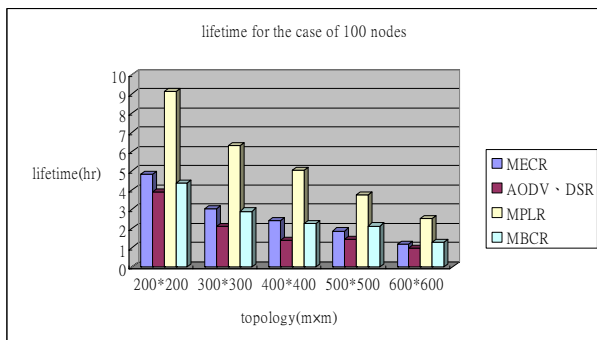


圖 8 節點數 100 的路徑存活時間

由圖8可知，MPLR方法比其他的方法求出的路徑之存活時間都長，因為MPLR方法擇徑的依據為節點間的距離及節點之剩餘電量，所以可以選擇到節點剩餘電量較大且能量花費較少的節點作為轉送節點，所以不僅可以降低能量花費也可以增長路徑之存活時間。由圖中還可看出，存活時間和拓樸範圍的大小有關，拓樸範圍越大其所需要傳輸的距離也越遠，節點的功率消耗也較大，所以路徑之存活時間會隨拓樸範圍增大而縮短。另外對於同樣的拓樸大小，若以MPLR方法擇徑，則節點越多的網路，其平均存活時間時間也越長，其原因為同樣拓樸大小，節點越多則有較多的機會選擇到節點剩餘電量較多之節點來做為中繼節點，而增加路徑的存活時間。

5. 結論

在本論文中提出的 Maximum Path Lifetime Routing (MPLR)法，其擇徑的依據不但考慮節點之間距離因素以減少能量的消

耗，還進一步考慮節點之剩餘電量對能量消耗的影響，不僅能減少能量消耗，還可以延長路徑的存活時間，而增加網路傳輸的穩定性。根據模擬結果得知，我們所提出的方法的確能減少電量消耗及延長路徑的存活時間。

參考文獻

- [1] 王煌城與王宇歆，“RFID 應用於交通管理之研究,” 2006 海峽兩岸智慧型運輸系統學術研討會, pp. 346-353, 2006。
- [2] S. Gold, “A PSPICE macromodel for lithium-ion batteries,” *Twelfth Annual Battery Conference on Applications and Advances*, pp. 215-222, 1997.
- [3] D. B. Johnson and D. A. Maltz, “Dynamic source routing in ad hoc wireless networks,” *Mobile Computing*, T. Imielinski and H. Korth, eds., Kluwer, pp. 153-181, 1996.
- [4] M. Lee and X. Jing, “Energy-efficient Routing Protocols in Wireless Ad hoc Networks,” *EE Research Project Report* 57970, 2001.
- [5] C. E. Perkins and E. M. Royer, “Ad-hoc on-demand distance vector routing,” *Proc. 2nd IEEE Workshop on Mobile Com. Sys. and Apps.*, pp. 90-100, 1999.
- [6] L. Romdhani and C. Bonnet, “Energy consumption speed-based routing for mobile ad hoc networks,” *Proceedings 24th International Conference on Distributed Computing Systems*, pp.729-734, 2004.
- [7] I. H. Shin and C. W. Lee, “Enhance power-aware for mobile ad hoc networks,” *Springer-Verlag Berlin Heidelberg, LNCS* 3738, pp. 285-296, 2005.
- [8] S. Singh and M. Woo, “Power-aware routing in mobile ad hoc networks,” *Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*, pp. 181-190, 1998.
- [9] C. K. Toh, “A novel distributed routing protocol to support ad-hoc mobile computing,” *Proc. IEEE 15th Annual Int'l Phoenix Conf. Com. and Commun.*, pp. 480-486, 1996.

[10] C. K. Toh, "Maximum battery life routing to support ubiquitous mobile computing in wireless ad-hoc networks," *IEEE*

Communications Magazine, vol. 39, no. 6, pp. 138-147, 200