

Passive Probing Routing Protocol in Wireless Ad-Hoc Network

林俊宏

國立中山大學資訊工程系
lin@cse.nsysu.edu.tw

林慶豐

國立中山大學資訊工程系
fong@wamis2.cse.nsysu.edu.tw

摘要

無線網路靠著極不穩定的訊號在空氣的媒介中傳送，這表示雖然在目前的這一秒，他能成功的傳送資料，但誰也無法保證在下一秒它仍然能成功的傳送。在現有的 Ad-Hoc On-Demand Routing Algorithm 對於路徑的維護上，只有在 Path Broken 之後，才會啟動 Route Discovery 來完成路徑重建的工作。在這段過程中，node upstream of break 必需沿著原來的路徑回傳 path break 的訊息通知給 Source node。Source node 才開始重新建立或修補路徑。這不僅造成資料傳輸上嚴重的延遲；Route Discovery 所產生的 Flooding Packet 還會加重 network 的負擔[7]。

在本論文中，我們嚐試在 Source Routing 的 Routing Protocol: AODV(ad-hoc on demand distance vector routing protocol) [8] 中加入 probing routing redirection/discovery 的機制。在經由 AODV[8]所建立的路徑上，因為 Route Break 的事實發生而必需回傳 RERR (route error) packet 通知 source node。在這之前，我們透過 overheard node 來防止 route break 的發生。並同時可視 path 上 node 移動的情形，選取更合適的 devices，有效的來縮減 hop counts 以完成接下來的傳輸工作。。

關鍵詞：ad-hoc network、routing、redirection、probing ARQ、AODV

一、Introduction

(一) Wireless Routing 的種類

在一般 Wireless Ad-Hoc 環境中已提出的 routing protocol 可分成兩大類：Proactive 及 Reactive routing protocol。

在 Proactive Routing Protocol 中，每一個 mobile device 都會在固定的時間間

隔發送自己路徑相關資訊。每一個 mobile device 將依據蒐集進來的資訊，去改變自己的 routing table。Distance-Vector Protocol[9]就屬於這一類。經由資訊的交換可以讓每個欲傳送出去的封包，藉由查表立即得知到達目的地的路徑。然而，這種協定藉由週期性的廣播訊息來得知 network topology 的資訊。這無形之中佔用了網路上的頻寬並損耗了 mobile device 本身的電源。但是如果降低廣播所造成大量頻寬的消耗，就要拉長每次廣播的間隔時間；這又將會造成 routing table 不能正確反應網路拓樸的變化。

另一類的 Reactive Routing Protocol，他只有在 device 想傳送封包的時候，才會啟動開始尋找目的地的路徑。DSR(Dynamic Source Routing)[5]、AODV(Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing)[8]等就屬於這一種。這類協定的最大好處，就是不用定期的廣播自己的資訊。用在一般 traffic 的頻寬之使用量，因而大量減少。然而某一個 mobile node 欲傳送封包時，未必能從 routing table 找到路徑。他必需藉由 RREQ-RREP Dialog 資訊的交換來建立路徑，所以造成平均延遲時間較長。

(二) AODV 的發展

目前在 wireless 上 routing protocol 的發展已到了相當完整的階段。尤其是在 AODV(Ad-Hoc On-Demand Distance-Vector Protocol)。AODV 持續的發展至今至少有八年的歷史，並陸續的展開實體的測試[16](使用 IEEE 802.11b Orinoco PCcards)。在實做上，AODV 是 purely on demand。在平常時的時候，每一個 device 並不會去維護自己在 network 上相關資訊。Base on As-Need，Route Discovery 只有在必要的時候才會去執行，這大量降低了在 network 上的經常花費。在[4]中提

出：AODV is loop free at all time, even while repairing broken links。基本上 AODV 使用下列的 route discovery process 來完成：

1. 當有 device 想建立路徑與 destination 傳送資訊時，他利用 broadcasts 的方式發出 RREQ message。
2. 在此路徑上的 device (包涵 destination node) 可利用 RREP message, 將取得的路徑資訊回傳給 source node。
3. 路徑上的資訊，由在路徑上的每一個 nodes 共同維護。
4. 經由 RREQ 和 RREP messages 資訊的傳送，可以讓周圍的 device 在自己的 routing table 記錄其他路徑通過的資訊。
5. sequence number 的利用，可去除過時的路徑資訊。
6. 過時的路徑資訊會自動在系統中刪除。

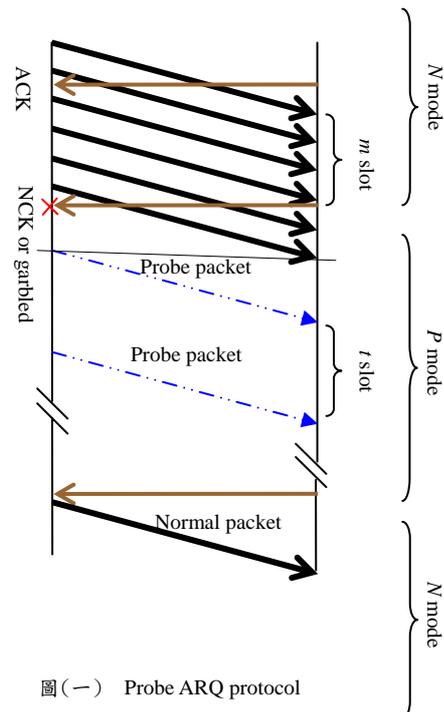
(三) Probing ARQ protocol

在[12][13]中，作者在考量 Rayleigh fading channel 和 Gilbert channel 模型下，經由 Markov analysis 及 recursive technique，分析在有限能源的裝置與傳輸上的效能之間取得一個平衡點。經由實驗結果了解到『減少每一次傳輸所使用的電力有利於增加傳送 packet 的次數』。這結果將使得在每一個 slot 上的 throughput 明顯的提升。並提出了一套在 single hop 下 wireless network 中，有效節省能源的方案(如圖(一)所示)。在連續的時間點上，一般網路的狀態『上一次 packet 傳送失敗將會具有這一次、下一次...連續失敗的情形發生』。作者利用了 Probe Mode 和 Normal Mode 的切換，使得封包的衝撞不至連續的發生。Probe ARQ protocol[2, 6, 14, 15]根據下列的規則來運作：

- 在 N mode(Normal Mode)下，Receiver 在每收到 m slot 由 Sender 所傳送的 packets

之後回應 ACK。

- Sender 在收到 Receiver 回應的 NAK 或 garbled feedback 後，Sender 會由 N mode 轉換到 P mode (Probe Mode)。
- 在 P mode 的狀態下，Sender 在每隔 t slot 傳送 probe packet。
- 只要 Sender 接收到 Receiver 的 ACK 後，立即回覆到 N mode。



圖(一) Probe ARQ protocol

二、Passive Probing Routing Protocol

(一) Bottleneck of Routing Protocol in Ad-Hoc Network System

然而，在現階段我們該如何再去提高 wireless routing 上的穩定性及 performance 呢？在無線網路上，路徑的斷裂不外乎由下列兩種原因所造成：

1. 路徑上的某 device 移開其所連結之上或下一個 hop node 的最大傳輸範圍。
2. link 上某一 device 所處位置附近的

干擾太大。

在這兩個問題上，都是因為某個 device 無法 Forwarding Data Packet 至下一個 device 所造成。在 Pure AODV 的實作中，Source-Destination pair 利用 RREQ、RREP Messages 的交換來建立路徑連線。在路徑發生中斷的事實確定後，先由靠近 Source Node 的 device 回傳 Route Error Message 給 Source Node；再由 Source Node 以同樣的方式（RREQ、RREP message 的交換）來重新建立路徑。雖然透過這樣的 message 交換，可以快速並建立可能的最短路徑，但 RREQ Packet 是由 Source Node 使用 Broadcast 的方式來尋找 Destination。Source 到 destination 不管之間的路徑有多長，這將花費相當大的網路頻寬成本（尤其是在移動性相當高的網路環境中）。為了避免（減少）這花費，AODV 透過 **Expanding Ring Search** 的技術來完成。利用 TTL(Time To Live)慢慢的加大搜尋的範圍，不至讓 RREQ 的擴散一下太大，以限制 Broadcast Packet 的範圍。但這種做法若能在 TTL 的值遞減為 0 之前，找到 Destination Node。確實是有效控制 Traffic Flows 的一種方法。但若不能在第一次就完成 Route Discovery 的工作，則將更增長了 **Route Search** 所花費的時間。並使得 **Route Search** 所產生的 Traffic Flows，呈倍數的成長。

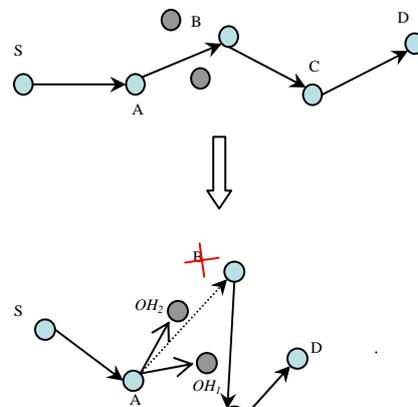
(二) Probing Routing Protocol

先前學者對於路徑維護的研究，通常是採用被動的方式。亦即當 device 接收不到訊息而發生 timeout，才開始執行路徑維護（重建）的工作。其缺點將可歸納如下：

1. 重新建立路徑所造成的時間延遲。
2. 提高 packets 碰撞的產生。
3. paging 及 flooding 所產生的風暴。

由上一小節，我們可以知道在高度移動的網路環境中。我們必需提供一個有效的機制來排除因路徑中斷所必需花費的代價。在 1.3 節所提到的 Probe ARQ[12][13]中，提供了我們減少不必要封包的傳輸，以降低每個 device 電源的損耗、同時也降低了 packet 在傳送時發生 collision 的機率。我們將利用 probe ARQ 的優點，配合上 overheard node 主動回覆必要的資訊給 broken node of upstream，在路徑斷裂的事實發生以前，銜接原路徑上傳輸的工作。在下一節中，我們將以一個實例來說明我們協定的運作大綱。

(三) Example of Out Probing Routing Protocol



圖(二)、example of Passive Probing Protocol

在無線網路傳輸的環境中，每一個 device 都有很高的自主性；他可以自由的移動或甚至 power off。因為我們無法要求通過路徑上的每一個 device 都不能移動，所以我們考慮在 route $R_{S \rightarrow D}$ 圖(二)上的傳輸。此時 device B 移開了 device A

的傳輸範圍。在這個時候，為了讓資料能夠繼續的傳送，以目前可解決的方案中，我們可以由 device A 來調整自己 adaptive rate[3][4]或選擇其他的device來完成forwarding的動作。在此時，cost是時間。Device A必需要有能力知道目前 packet的傳送是由於沒有得到 device B 回應的ACK，並經過多次資訊的交換及 SNR值的調整才能完成傳輸的動作（或甚至無法完成）。或是經由device A主動的去選擇其他的device，來完成封包傳送。

在我們的研究中，為了降低route discovery所產生的delay time。我們選擇由overhear的node主動的來完成路徑銜接的工作。整個message、data packet傳送的過程如下圖（三）所示。當device A 傳送Packet給device B，在預期的時間沒有收到 device B 回應的ACK（或聽到 device B 將packet forward給device C）。此時device A會進入Probe Mode，並在每 t 個slot之後利用probe packet來試探可否繼續通訊。此時overhear device(OH_1 、 OH_2)因為聽到來自Sender and Receiver{ $A \rightarrow B$ }的Probe Packet,所以他們就會試著去比對自己overhear table中的device ID和 route $R_{S \rightarrow D}$ 中在 device B 之後的device ID，並利用不同的權重（route $R_{S \rightarrow D}$ 中越靠近destination D的權重越高）來計算自己的back-off time（此時 OH_1 能夠聽到 route $R_{S \rightarrow D}$ 的 device id比 OH_2 更接近 destination D,所以他的back-off time小於 OH_2 ）。當 device A 送出第二次probe packet時，若device B沒有回應ACK，則分別在自己計算的back-off time之後回ACK給device A，表示自己可以幫助完成forward的工作。（ OH_1 因為所計算出來的back-off time小於 OH_2 ，故 OH_2 聽到 OH_1 回

ACK給A且路徑優於自己，所以他就不會再回ACK給 device A。）當device A收到 OH_1 回應的ACK後，決定將路徑改向並回傳資訊通知Source Node路徑變更情形。

Path S to D

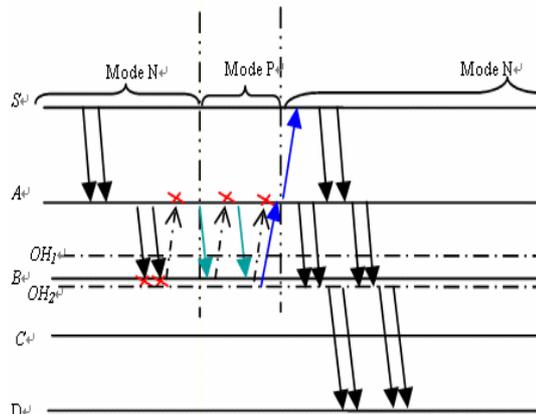
route $R_{S \rightarrow D}$	B	C	D
OH_1	A	B	

Overhear table of OH_1

Path S to D

route $R_{S \rightarrow D}$	B	C	D
OH_2	A	C	D

Overhear table of OH_2



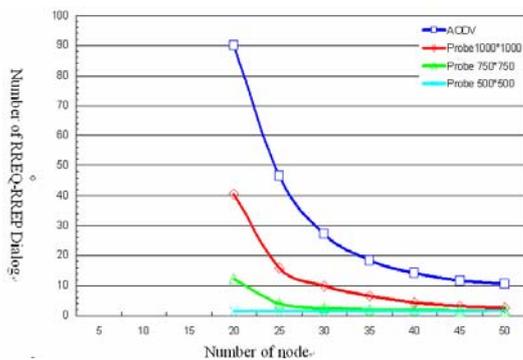
圖三、Passive Probing Protocol

三、模擬結果及分析：

藉由overheard node主動的提供路徑資訊，來確保不必要的路徑中斷發生。我們在 1000×1000 meters² 的模擬環境中以 pure AODV routing protocol為對照組，分別對 20、25、30、35、40、45、50 個devices等七種不用密度的場合下，以 10,000 次的模擬結果來觀察 source-destination pair 在傳輸 100 個 packets時傳輸斷線所發生的比率。在模擬的環境下，每個 devices 的移動是建構在 random waypoint模型中。在 pure AODV 傳輸協定在 20 個nodes環境下，nodes彼此間因為隨機移動的關係，產生相當高route break的比率。但，這並不代表 sender 附近無法找到代傳者來 forward資料。在我們的probe route redirection protocol中，雖然也有相當高的route break發生，但足足減少了 pure AODV 兩到三倍以上的

route break rate。這表示在我們 Probing Routing Protocol 大量避免了不必要之 route break 的發生。Route break 的發生不僅會造成 transmission delay，更使得網路上充斥著大量 flooding packets 而導致更高的 collision 發生。

另外，為了突顯在高密度的網路環境下，在我們的 Probing Routing Protocol 能保證路徑幾乎不會造成 route break 的現象。我們在下圖中，同時為 20、25、30、35、40、45、50 個 node 的環境下提供 750*750 meters²、500*500 meters² 的兩種 room size 來觀察 route break 的發生次數。



圖(四)、Number of RREQ-RREP Dialogs/Number of Node

在上圖(四)中，我們可以看到當我們把 simulation room size 縮小到 500*500 meter² 時，傳送 100 個 packet 所產生 route break 的情形，路徑發生中斷的次數將趨近於 1。這表示扣除掉第一次建立路徑所使用的 route discovery 之 RREQ-RREP Dialog 外。平均在三次 100 個封包的傳遞中，以我們 Probing Routing Protocol 的實作方式，只會產生一次的 route break。

在 AODV 中，當 Route break 之事實確定後，由靠近 source node 的 device 回傳 Route Error (RERR) message 來通知 source node。source node 視是否持續需要此路徑，而重新採用 Route Discovery Procedure 來建立。假設一條路徑其 hop count 為 k (hop)；AODV 重建 Route 所花的時間最小成本為：

$$r + (I+1) + 2 * (I-1)$$

其中

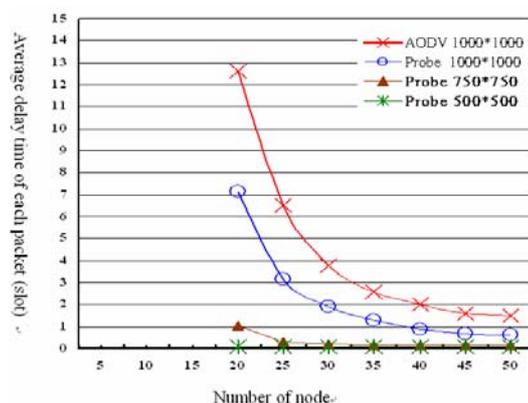
r ：中斷後重送同一 packet 所使用的次

數；

i ：在第 i 個 hop 發生中斷；

I ：重建後路徑長度 (RREQ→, RREP← 所以 $(I-1)*2$)

而在我們 Probing Routing Protocol 中。當 sender 傳送第二次 probe packet 給 receiver 而 receiver 沒有回應時，overheard node 就可馬上回覆 Sender 所送出的 packet。故我們總共花了 3 個 slot 的 delay times。在下圖(五)中，我們以另外一種形式來展示、觀察在我們所提出的 Probing Routing Protocol 其對傳輸上所能提供的改善。在如上圖(四)同樣的模擬環境中，因為在我們的 Probing Routing Protocol 減少了一半以上 route break 所發生的機率。所以在我們預期中，希望對於平均每一個封包傳送所造成的 delay 也能夠降低一半以上。但由下圖(五)中發現在 Average 的 packet transmission delay 我們只提供了 75.98% 的改進。這是因為減少那一半的 route break rate，我們運用 probe/redirection 的方式解決所花費的時間。



圖(五)、Average delay time of each packet(slot)/Number of Node

四、Discussing

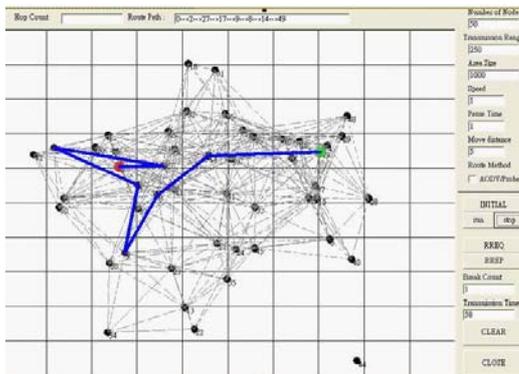
(一) Why shortest path

一般來說，不管有線網路、無線網路，我們都希望在 source-destination pair

中找到最短的路。尤其是在無線網路中，這特別的重要。因為在 wireless 的環境下，device 通常使用有限的電量來完成傳輸的工作。路徑中若能減少一個 hop 的轉送，就能提高一份整體網路的 lifetime、並同時可降低錯綜複雜的 packet 傳遞所產生的 collision。

(二) Improvement our routing protocol (Active Probing)

由於我們 route maintenance 的方式，是採用向後修正的方式。所以對路徑的最佳化，僅止於中斷的 node 到 destination。在這種方式下有可能出現如下圖(六)那樣無效率的路徑(在 pure AODV 之下，只要沒有 route broken 產生時，在高度移在的環境下一樣會發生這種情形)。



圖(六)、Non-optimal route

在我們 Probing Routing Protocol 中，若將觸發 routing maintenance 的時間由 overheard node 接收到 probe ARQ packet 才起動更改為隨時都在維護。這樣的話，我們就能確保由我們所維護出來的路徑，在每一個時間點上都能保持 shortest path。

(三) Problem

然而，為了完成 shortest path，

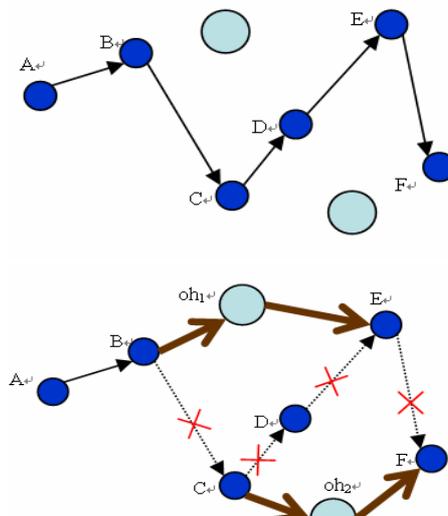
視乎不是這麼簡單能夠達成。這種做法將會衍生出兩個問題：

1. Communication Overhead :

原來 overheard node 只有在聽取 probe ARQ 時，才啟動 active 的路徑資訊回覆；但現在必需隨時提供資訊給 active route 上的 node。不僅增加了非 Active route 上的 node 的負擔，同時過多的資訊回覆必造成 collision 的增加。

2. Unpredictable Conditions Route Breakage :

在同一條路徑上周圍的 overheard node，若都將有利於這路徑的資訊回傳給 active route 上的 node。此時，由於每個 overheard node 傳回的只是分散式決定的局部性最佳化路徑。我們必需計算出對於此 route 整體來說，是最佳的路徑才能做 redirection 的動作。不然的話可能造成 source-destination pair 是不連通的。如下圖(七)所示：



圖(七)、Problem of Active Probing Protocol

我們考慮原路徑 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$ ；此時node oh_1 因為可以聽到node B 傳送給node C 的封包和node E 傳送給node F 的封包，所以將此資訊傳回給node B 。node B 對routing table 得知 $B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$ 必需通過 3 個 hops，若經由 $oh_1: B \rightarrow oh_1 \rightarrow E$ 只需兩個 hops。所以在此時 B 會選擇將下一個封包改傳送至 oh_1 ，並通知node C 、 D 、 E 路徑已改向。但若在此同時，同理node C 也決定將packet 改經由 oh_2 傳送至node F 。則由於 $B \rightarrow C$ 、 $E \rightarrow F$ 的 link 同時被刪除，固形成兩條獨立的路徑 $A \rightarrow B \rightarrow oh_1 \rightarrow E$ 、 $C \rightarrow oh_2 \rightarrow F$ 。

五、結論後序工作

有別於先前 routing maintenance 的方法，在我們的 Probing Routing Protocol 中，我們提供的是 active route maintenance 的策略。其主要的目的是為了要大量減少不必要的 route broken 發生。一但 route broken 的事實發生，採用 pure AODV routing protocol 的方式必需經由 broken node of upstream 將 route error 的 message 回傳給 source node，由 source node 視是否維持此一路徑而定，重新利用 RREQ-RREP Dialog 來重建路徑。這樣一來不但大量增加資料傳送的總時間，RREQ packet 使用 broadcast 的方式運做更會提高網路上 collision 的發生。而使用我們 Probing Routing Protocol 的方式，我們利用 overheard node 主動協助發送 probe ARQ 的 node，在 route broken 的事實發生以前，讓發生中斷靠近 source node 方向的 node 有足夠的資訊選取最佳的 overheard node 來完成銜接傳輸的工作。

我們將 4.3 節所提出的兩個議題留到以後的發展上。並希望我們能建立一條隨時能保持 shortest path 的路徑，且 routing

maintenance 所花費的成本是最小的。

五、參考文獻

- [1] E.M. Belding-Royer, "Report on the AODV Interop.", UCSB Tech Report 2002-18, June 2002.
- [2] Y.J. Cho and C.K. Un, "Performance analysis of ARQ error controls under Markovian block error pattern.", IEEE Trans. Commun., vol. COM-42, pp. 2051-2061, Feb.-Apr. 1994.
- [3] M. Eyugoglu, C. Forney, P. Dong, and G. Long, "Advanced modulation techniques for v.fast.", In Eur. Trans. Telecommun., volume 4, pages 243-256. May-June 1993.
- [4] G. Holland, N. Vaidya, and P. Bahl, "A Rate-Adaptive MAC Protocol For Multi-Hop Wireless Networks.", In Proceedings of Mobicom 2001, Rome, Italy, 2001.
- [5] D.B. Johnson, and D. A. Maltz, "Dynamic Source Routing.", Mobile Computing, 1996.
- [6] D.L. Lu and J.F. Chang, "Performance of ARQ protocols in nonindependent channel errors.", IEEE Trans. Commun., vol. COM-41, pp. 721-730, May 1993.
- [7] S. -Y. Ni, Y. -C. Tseng, Y. -S. Chen, "The broadcast storm problem in a Mobile Ad Hoc network.", Proceedings of the Mobicom'99, (1999), 151-162.
- [8] C.E. Perkins, E.M. Belding-Royer, and S. Das, "Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing.", IETF Internet draft, draft-ietf-manet-aodv-12.txt, November 2002 (Work in Progress).
- [9] C.E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly dynamic destination sequenced distance vector routing (DSDV) for mobile computers." Proceedings of ACM SIGCOMM'94, (1994), 234-244.
- [10] C.E. Perkins and E.M. Royer, "Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing.", Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, New Orleans, LA, February 1999, pp. 90-100.
- [11] H.S.Wang, "On verifying the first-order Markovian assumption for a Rayleigh fading channel model.", in Proc. ICUPC'94, pp. 160-164, San Diego, CA, Sep. 1994.
- [12] M. Zorzi, R.R. Rao, "Energy constrained error control for wireless channels.", in Proc. IEEE GLOBECOM'96, London (UK), Nov.

1996.

- [13] M. Zorzi, R.R. Rao, "Error Control and Energy Consumption in Communications for Nomadic Computing.", *IEEE Trans. Computers* (special issue on Mobile Computing), vol. 46, pp. 279-289, Mar. 1997.
- [14] M. Zorzi, R.R. Rao, "Throughput analysis of ARQ Go-Back-N protocol in Markov channels with unreliable feedback.", in *Proc. IEEE ICC'95*, pp. 1232-37, Jun. 1995.
- [15] M. Zorzi, R.R. Rao, "Throughput analysis of ARQ Selective-Repeat protocol with time diversity in Markov channels.", in *Proc. IEEE GLOBECOM'95*, pp. 1673-67, Nov. 1995.