

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 ■期中進度報告

以鏈結層模型解法建立一個高效能無線網狀網路：

參數分析，演算法設計，及雛型系統實作

計畫類別：■ 個別型計畫

計畫編號：NSC 97-2221-E-009-055-MY2

執行期間：2008年8月1日至2009年7月31日

計畫主持人：林亭佑 / 國立交通大學 電信工程所

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：■精簡報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

發表之論文一份 (paper accepted by IEEE SECON 2009)

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權，一年二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學 電信工程所

中華民國 98 年 5 月 31 日

## 一、中英文摘要

當今的 IEEE 802.11 a/b/g 在實體層有多種傳輸速率可供使用，而每種傳輸速率都有相對應的SINR門檻值來判別傳送的封包是否能正確地被解讀。我們假設雜訊是常數且傳輸能量固定，可以明顯地得知SINR值主要是受到了周遭干擾所影響。當節點要傳送資料時，選擇合適的傳輸速率來傳送封包，以提升傳輸生產量，此方法即稱之為自適性速率調整機制 (link adaptation mechanism)。傳統上的自適性速率調整機制的方法都是藉由封包是否成功傳送到接收端來做為決定傳輸速率的提升或降低的參考依據。

在IEEE 802.11 DCF機制中，當封包傳送失敗時，提供了指數退回演算法 (binary exponential backoff algorithm)，來解決無線網路中傳送擁塞的問題。當採用傳統的自適性速率調整機制時，可能發生同時降低傳輸速率及使用指數退回演算法的情況，會使得節點要做傳送封包的行為變得過於保守。而且當封包傳送成功時，會發生節點會提升傳輸速率以及將擁塞視窗 (contention window) 設回到最小值，此情況會使得節點傳送封包的行為變得過於積極，因為將傳輸速率 (link rate) 及擁塞視窗 (contention window) 二參數分開來考慮，我們發現了上述的情況將會使得無線網路的系統效能變差。

由前段的敘述中可了解到傳輸速率及擁塞視窗，這兩個參數對於無線環境中系統效能有重要的影響。有別於各別考慮傳輸速率 (link rate) 及擁塞視窗 (contention window) 二參數，我們的目標是將此二個參數一同納入考慮而做調整，在本計畫中，我們提出ARC (多重速率無線網路之整合型參數調整策略)，讓每個節點各自估計無線網路中正在傳送資料的節點數，接著計算出最佳的擁塞視窗參數值；而節點傳送資料時，以此最佳的擁塞視窗參數值 ( $optCW$ ) 作為比較依據，動態適時地調整擁塞視窗大小及傳輸速率，進而達到最大的系統效能，此外ARC還有能聰明地維持傳輸速率的穩定性及避免不必要的速率變動的優點。經由模擬及數學分析也驗證了我們提出的ARC (多重速率無線網路之整合型參數調整策略)

確實有出眾的系統效能表現。

關鍵字：自適性速率調整機制、指數退回演算法、多重速率、擁塞視窗

## *Abstract*

IEEE 802.11 wireless network supports multiple link rates at the physical layer. Each link rate is associated with a certain required Signal-to-Interference-and-Noise Ratio (*SINR*) threshold for successfully decoding received packets. The method of selecting an appropriate link rate for transmitting/retransmitting packets is generally known as the link adaptation mechanism. When traditional link adaptation is applied, both rate reduction and binary backoff represent double penalties for this wireless link. We observe this improper interaction of link rate and backoff mechanism that harms the 802.11 system performance, due to separate consideration of those two parameters.

In this project, rather than independently dealing with the two parameters, we propose to perform link adaptations by firstly considering if a proper backoff window has been reached. Specifically, if the medium congestion level  $I$  can be reduced by imposing a larger backoff window on transmissions, then there may be no need to decrease the link rate, given *SINR* can be sustained. Conversely, if there is extra interference that may be tolerated in  $I$ , a smaller backoff window can be used to encourage more transmission activities while keeping the required *SINR*. In particular, a joint Adaptation of link Rate and backoff Contention window, abbreviated as ARC, is devised. Our ARC protocol first estimates the optimal contention window (*optCW*) based on Cali's approximation methods. On transmission successes (failures), the current contention window size  $cw_p$  should be compared with *optCW*. If  $cw_p > optCW$  ( $cw_p < optCW$ ), then  $cw_p$  is decreased (increased) to perform more aggressive (conservative) transmission attempts while leaving the link rate  $R$  unchanged. Otherwise,  $R$  is upgraded (reduced) to the next higher (lower) rate. One nice property of ARC is the ability to intelligently maintain link stability, avoiding unnecessary rate

fluctuations.

**Keyword:** Link adaptation, contention resolution, ARF, BEB, IEEE 802.11, multi-rate

## 二、計畫緣由與研究目的

在當今的 IEEE 802.11 規範中，藉由不同的調變及編碼技術，在實體層有多種傳輸速率可供使用，若封包的傳送使用較高的傳輸速率會使傳送時間縮短，而可能會達到比較高的效能，但使用較高的傳輸速率傳送時，所要求的SINR比值相對而言也比較高，接收端才能正確解讀封包。

自適性速率調整機制一般而言可分為二類：開放式和封閉式。開放式自適性速率調整機制是以ACK封包是否成功傳送做為參考依據；封閉式自適性速率調整機制是需要接收端回傳訊息來做為傳送端設定傳輸速率的參考依據。相較而言，封閉式自適性速率調整機制要額外付出傳送控制封包的代價，但可能會有比較好的傳輸速率預估。

我們提出了開放式自適性速率調整機制，我們稱為ARC (多重速率無線網路之整合型參數調整策略)，用於 IEEE 802.11 多重速率無線網路中，我們藉由參考文獻[4]的方法估計了適當的擁塞視窗值 ( $optCW$ )，經由目前的擁塞視窗值 ( $cw_p$ ) 與適當的擁塞視窗值 ( $optCW$ ) 做比較，來做為調整傳輸速率的參考依據。若  $cw_p > optCW$  ( $cw_p < optCW$ )，則  $cw_p$  值會減少或(增加)而傳輸速率是不變的。否則就是讓傳輸速率提升(減少) 一個等級。ARC (多重速率無線網路之整合型參數調整策略) 的優點是能聰明地維持傳輸速率的穩定性及避免不必要的速率變動

## 三、文獻探討

#### A. BEB (指數退回機制)

在節點一開始傳送封包時，擁塞視窗值 ( $CW$ ) 從最小值 ( $CW_{min}$ ) 開始，若傳送失敗，則下次傳送的擁塞視窗值就提升二倍，提升到擁塞視窗值到達最大值 ( $CW_{max}$ ) 即不在上升，若傳送成功，則擁塞視窗值 ( $CW$ ) 又降回到從最小值 ( $Cwmin$ ) 開始。

#### B. ARF (速率自動退回機制)

此機制是當封包傳送失敗的情況連續發生二次時，下次傳送封包的傳輸速率自動下降一個等級，若封包傳送成功連續十次，則下次傳送封包的傳輸速率自動上升一個等級，此機制的缺點就是無法即時反應網路的變化。

#### C. RBAR (接收端速率決策機制)

此機制是節點在傳送封包時，傳送端和接收端經由RTS/CTS控制封包的訊息交換得知接收端的無線環境狀況，而傳送端可選擇一個最適當的傳輸速率傳送封包。

#### D. OAR (機會主義速率決策機制)

是RBAR機制的延伸，當通道環境很好時，可以傳送比多的封包進而提升系統效能。

## 四、研究方法

在多重速率無線網路的環境中，依據不同的傳輸速率，在接收端有不同的SINR比值要求。假設雜訊是常數且傳輸能量固定的前提下，可以明顯地得知SINR值主要是受到了周遭干擾所影響。由先前所述可得知，當採用傳統的自適性速率調整機制時，可能發生同時降低傳輸速率及使用指數退回演算法的情況，會使得節點

要做傳送封包的行為變得過於保守。且當封包傳送成功時，會發生節點會提升傳輸速率及將擁塞視窗 (CW) 設為最小值，此情況會使節點要做傳送封包的行為變得過於積極。而將會使得無線網路的系統效能變差。

故我們提出了 ARC (多重速率無線網路之整合型參數調整策略)，將傳輸速率 (link rate) 及擁塞視窗 (contention window) 二參數一同納入考慮而做調整，藉由估計了適當的擁塞視窗值 ( $optCW$ )，與目前的擁塞視窗值 ( $cw_p$ ) 做比較，來做為調整擁塞視窗或傳輸速率的參考依據。

#### A. $OptCW$ 估計

藉由參考文獻[4]的數學分析模型，可得知經由觀察閒置的時槽及傳送的節點數，可以估計出適當的擁塞視窗值 ( $optCW$ )，估計數值如以下表(a)表所示：

Active Nodes	$p_{opt}$	$optCW$
M=5	0.02486	80
M=10	0.01170	171
M=15	0.00777	257
M=20	0.00579	345
M=25	0.00461	433
M=30	0.00384	522

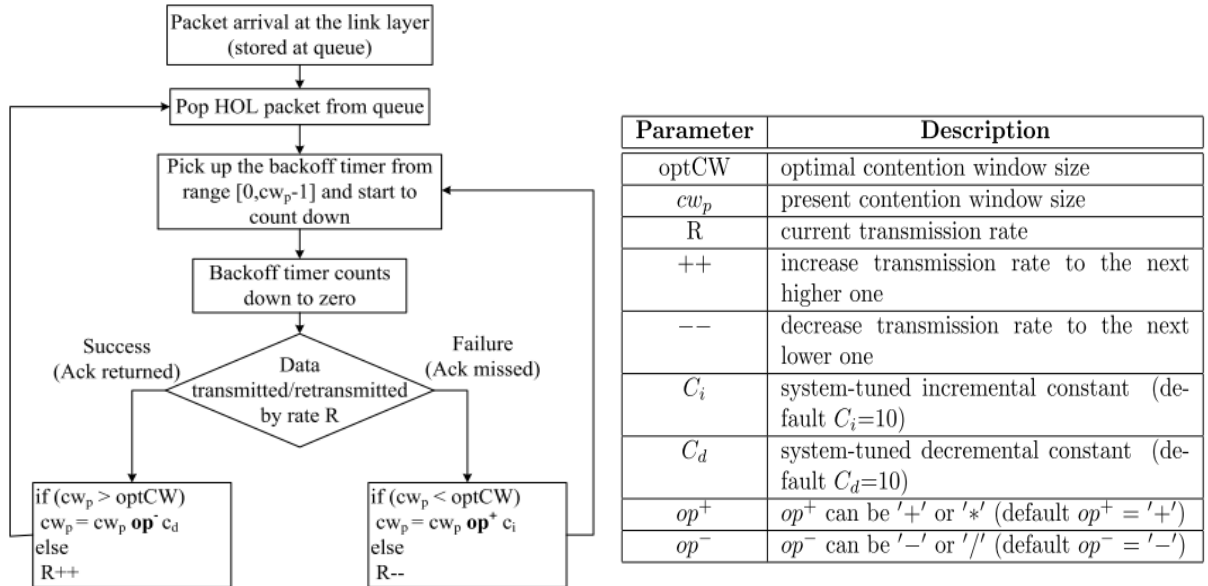
表(a)

#### B. ARC 多重速率無線網路之整合型參數調整策略

在此段中，我們會詳細介紹ARC (多重速率無線網路之整合型參數調整策略) 的機制，我們認為傳輸速率 (link rate) 及擁塞視窗 (contention window) 二參數應一同納入考慮而做調整，ARC (多重速率無線網路之整合型參數調整策略) 首先估計了適當的擁塞視窗值 ( $optCW$ )，在傳送封包後，若傳送成功(失敗)，會將目前的擁塞視窗值 ( $cw_p$ ) 與  $optCW$  值做比較。若  $cw_p > optCW$  ( $cw_p < optCW$ )，則  $cw_p$  值會減少或(增加)而傳輸速率是不變的；否則就是讓傳輸速率提升(減少)一個等級。

由先前的敘述可得知指數退回演算法 (binary exponential backoff algorithm) 在 IEEE 802.11環境下並非完全地表現很好，因為我們提出了常數  $C_i(C_d)$  來更彈性地

調整擁塞視窗。在下面的流程圖中，我們定義將  $op^+(op^-)$  定義為加(減)或乘(除)的操作，我們預設  $C_i = 10$  ( $C_d = 10$ )，流程圖如下：



## 五、模擬結果

我們利用NS-2軟體進行模擬我們所提出的ARC機制在IEEE 802.11b無線環境中的表現，總共有四種傳輸速率：1、2、5.5、11 Mbps，傳送封包大小為1000 bytes，模擬結果會與BEB (以固定傳輸速率2 Mbps傳送)，及其它自適性速率調整機制ARF、RBAR、OAR的模擬結果做比較。

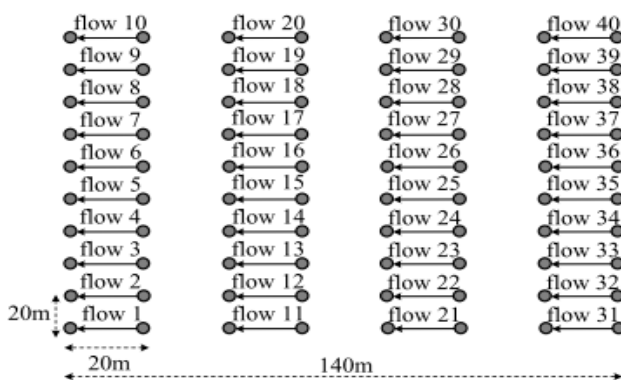
### A. 格子狀拓樸

我們的模擬環境是產生一個格子狀拓樸的 network，如圖(a)所示。所有的節點都假設是靜止不動並且每個節點彼此的水平及垂直距離20公尺。總共模擬5、10、15、20、25、30、35、40共八種flow數，並計算其吞吐量 (throughput) 做比較。比較結果如圖(b)所示，我們的ARC (多重速率無線網路之整合型參數調整策略) 在

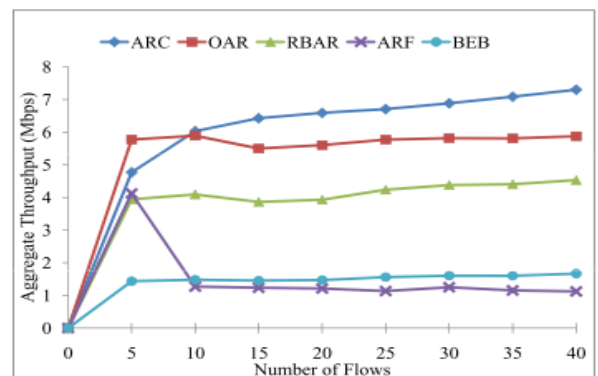
flow數增多 (flow數大於10) 時，的確有優於BEB (以固定傳輸速率2 Mbps傳送) 及其它自適性速率調整機制ARF、RBAR、OAR的吞吐量 (throughput) 表現。

為了更了解各個機制的傳輸速率及擁塞視窗值的參數調整過程，我們以圖(c)及圖(d)來做解說。以40條flow數的拓樸為例，對傳輸速率此參數而言，由圖(c)可以觀察到我們所提出的ARC (多重速率無線網路之整合型參數調整策略) 幾乎都可以維持在最高的傳輸速率11 Mbps來傳送封包，而對OAR及RBAR的機制而言，雖然模擬過程有使用傳輸速率11及5.5 Mbps但是比較高的比例還是使用5.5Mbps的傳輸速率。對於ARF機制而言，因為ARF機制是當連續傳送封包二次失敗就會將傳輸速率下降一個等級，而當連續傳送封包十次成功才會將傳輸速率上升一個等級，因為此特性所以可從圖(c)觀察到ARF機制最常使用的傳輸速率是最低值1 Mbps。

對擁塞視窗值而言，可由圖(d)觀察到，因為ARF、OAR、RBAR都是使用指數退回演算法 (binary exponential backoff)，由圖(d)可觀察到封包在傳送時可選擇的擁塞視窗值並不多，而我們所提出的ARC (多重速率無線網路之整合型參數調整策略) 的擁塞視窗值變化很多，且很常使用在適當的擁塞視窗值 (*optCW*) 附近的擁塞視窗值。

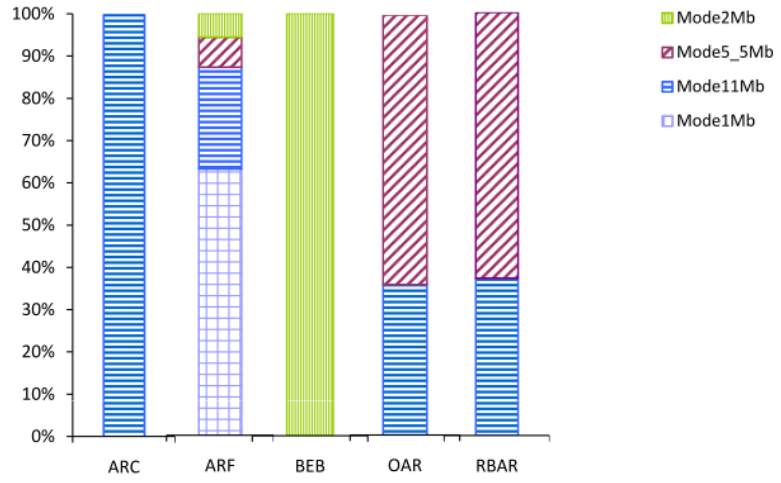


圖(a)

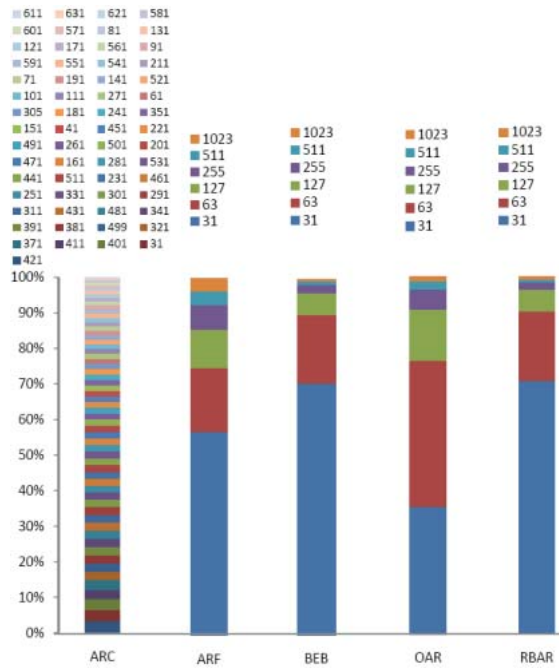


圖(b)





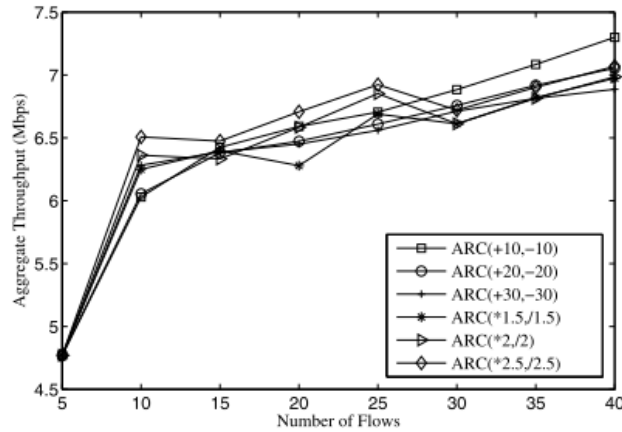
圖(c)



圖(d)

## B. ARC的調整

我們在ARC (多重速率無線網路之整合型參數調整策略) 中，以多種不同的方式來調整擁塞視窗值，如在提升擁塞視窗值和降低擁塞視窗值以六種不同的組合方式做實驗 (+10,-10)、(+20,-20)、(+30,-30)、(\*1.5,/1.5)、(\*2,/2)、(\*2.5,/2.5)。由圖(e)可觀察到，我們所提出的ARC機制自適性 (self-adaptive) 很好，從模擬環境中所得到的吞吐量 (throughput) 可得知不同的擁塞視窗值調整方式的設定，並不會對我們的ARC造成太大的影響。



圖(e)

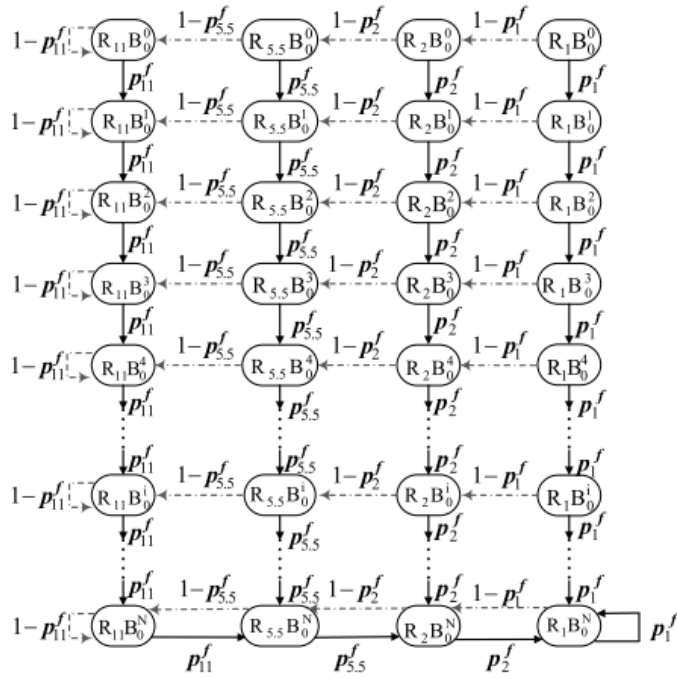
## 六、數學模型確認

由於ARC結合了傳輸速率 (link rate) 及擁塞視窗值 (CW)，所以我們延伸了參考文獻[2]的馬可夫鏈模型而建立了我們的ARC機制馬可夫鏈模型來計算系統的效能。我們在IEEE 802.11b的多重速率無線網路環境下，共有四種傳輸速率：1、2、5.5、11 Mbps，假設環境中共有n個競爭節點。我們定義 $R_i B_0^j$ 表示以i (Mbps)的傳輸速率傳送並在第j個backoff stage狀態且backoff計數器已倒數到0，圖(f)簡略地說明馬可夫鏈模型， $P_i^f$ 表示為傳輸速率為i時，傳送失敗的機率，而在不同的傳輸速率下所對應的SINR比由表(b)可得知。

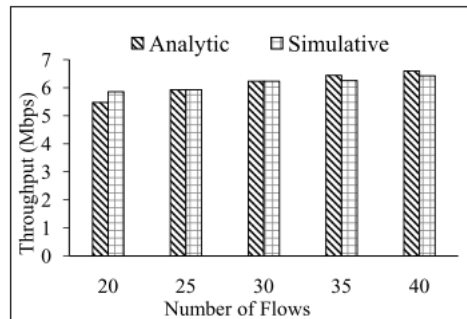
經由馬可夫鏈模型的分析，所得到的分析結果如圖(g)，並與我們的模擬數值做比較，也驗證了我們所提出的ARC (多重速率無線網路之整合型參數調整策略)。

Rate (Mbps)	1	2	5.5	11
SINR (dB)	-2.92	1.59	5.98	6.99

表(b)



圖(f)



圖(g)

## 七、計畫成果與自評

在此研究中，我們提出了ARC (多重速率無線網路之整合型參數調整策略) 在IEEE 802.11多重速率的無線網路環境中，結合了傳輸速率及擁塞視窗二參數一同納入考慮做調整，且ARC為開放式自適性速率調整機制比起封閉式自適性速率調整機制比較沒有多

餘的控制封包傳送的負擔 (overhead)，在模擬的比較下可以發現ARC的確有優於其它自適性速率調整機制的效能表現，且數學分析也驗證了我們所提出的ARC (多重速率無線網路之整合型參數調整策略) 的表現出眾。

## 八、參考文獻

- [1] A. Akella, G. Judd, S. Seshan, and P. Steenkiste. Self-management in Chaotic Wireless Deployments. In Proc. ACM MOBICOM, Aug. 2005.
- [2] G. Bianchi. Performance Analysis of IEEE 802.11 Distributed Coordination Function. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 18(3):535–547, Mar. 2000.
- [3] M. Borgo, A. Zanella, P. Bisaglia, and S. Merlin. Analysis of the Hidden Terminal Effect in Multi-rate IEEE 802.11b Networks. In Proc. WPMC, pages 6–10, 2004.
- [4] F. Cali, M. Conti, and E. Gregori. Dynamic Tuning of the IEEE 802.11 Protocol to Achieve a Theoretical Throughput Limit. IEEE/ACM Transactions on Networking, 8(6):785–799, Dec. 2000.
- [5] C.-C. Chen, H. Luo, E. Seo, N. Vaidya, and X. Wang. Rate-adaptive Framing for Interfered Wireless Networks. In Proc. IEEE INFOCOM, pages 1325–1333, May 2007.
- [6] W. Chu and Y.-C. Tseng. Performance Analysis of IEEE 802.11 DCF in a Multi-rate WLAN. IEICE Transactions on Communications, E90-B(10):2836–2844, Oct. 2007.
- [7] M. Heusse, F. Rousseau, G. Berger-Sabbatel, and A. Duda. Performance Anomaly of 802.11b. In Proc. IEEE INFOCOM, pages 836–843, Mar. 2003.
- [8] G. Holland, N. Vaidya, and P. Bahl. A Rate-adaptive MAC Protocol for Multi-hop Wireless Networks. In Proc. ACM MobiCom, pages 236–251, Jul. 2001.
- [9] G. Judd and P. Steenkiste. Using Emulation to Understand and Improve Wireless Networks and Applications. In Proc. USENIX NSDI, May 2005.
- [10] A. Kamerman and L. Monteban. WaveLAN-II: A High-Performance Wireless LAN for the Unlicensed Band. Bell Labs Technical Journal, 2(2):118–133, 1997.
- [11] S. Khurana, A. Kahol, and A. P. Jayasumana. Effect of Hidden Terminals on the Performance of IEEE 802.11 MAC Protocol. In Proc. IEEE LCN, pages 12–20, Oct. 1998.
- [12] J. Kim, S. Kim, S. Choi, and D. Qiao. CARA: Collision-aware Rate Adaptation for IEEE 802.11 WLANs. In Proc. IEEE INFOCOM, pages 1–11, Apr. 2006.
- [13] Y. Kwon, Y. Fang, and H. Latchman. A Novel MAC Protocol with Fast Collision Resolution

- for Wireless LANs. In Proc. IEEE INFOCOM, pages 853–862, Mar. 2003.
- [14] M. Lacage, M. H. Manshaei, and T. Turetli. IEEE 802.11 Rate Adaptation: A Practical Approach. In Proc. ACM MSWiM, Oct. 2004.
- [15] T.-Y. Lin and J. C. Hou. Interplay of Spatial Reuse and SINR-determined Data Rates on CSMA/CA-based, Multi-hop, Multi-rate Wireless Networks. In Proc. IEEE INFOCOM, pages 803–811, May 2007.
- [16] H. Park and C.-K. Kim. Performance Analysis of Multi-rate IEEE 802.11 WLANs with Channel Error. In Proc. IEEE ICACT, pages 1479–1481, Feb. 2007.
- [17] D. Qiao and S. Choi. Fast-responsive Link Adaptation for IEEE 802.11 WLANs. In Proc. IEEE ICC, pages 3583–3588, May 2005.
- [18] D. Qiao, S. Choi, and K. Shin. Goodput Analysis and Link Adaptation for IEEE 802.11a Wireless LANs. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 1(4):278–292, 2002.
- [19] B. Sadeghi, V. Kanodia, A. Sabharwal, and E. Knightly. Opportunistic Media Access for Multirate Ad Hoc Networks. In Proc. ACM MOBICOM, Sep. 2002.
- [20] G. Sharma, A. Ganesh, and P. Key. Performance Analysis of Contention Based Medium Access Control Protocols. In Proc. IEEE INFOCOM, pages 1–12, Apr. 2006.
- [21] C. Wang, B. Li, and L. Li. A New Collision Resolution Mechanism to Enhance the Performance of IEEE 802.11 DCF. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 53(4):1235–1246, Jul. 2004.
- [22] Y. Xi, B.-S. Kim, J. bo Wei, and Q.-Y. Huang. Adaptive Multirate Auto Rate Fallback Protocol for IEEE 802.11 WLANs. In Proc. IEEE MILCOM, pages 1–7, Oct. 2006.
- [23] S.-R. Ye and Y.-C. Tseng. A Multi-chain Backoff Mechanism for IEEE 802.11 WLANs. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 55(5):1613–1620, Sep. 2006.