

國立交通大學

電信工程研究所

碩士論文

802.11e 多速率多媒體傳輸下
的公平性應對機制

Fairness Mechanism for Multi-rate Multi-media
Communication in 802.11e



研究生：丁奕廷

指導教授：張文鐘 博士

中華民國 一百零一 年 九 月

802.11e 多速率多媒體傳輸下的公平性應對機制

Fairness Mechanism for Multi-rate Multi-media Communication in 802.11e

研究生：丁奕廷

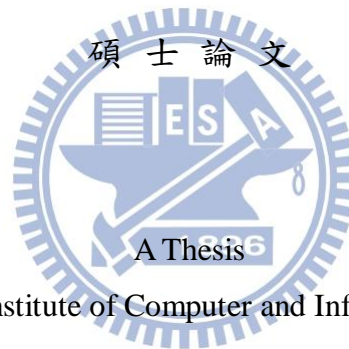
Student：Yi-Ting Ting

指導教授：張文鐘

Advisor：Dr. Wen-Thong Chang

國立交通大學

電信工程研究所



Submitted to Institute of Computer and Information Science

College of Electrical Engineering and Computer Science

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Computer and Information Science

September 2012

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一百零一年九月

802.11e 多速率多媒體傳輸下的公平性應對機制

研究生：丁奕廷

指導教授：張文鐘 博士

國立交通大學

電信工程研究所

IEEE 802.11e 為針對無線媒體存取層所制定的延伸標準，因應不同的傳輸需求而做出的分級與保障機制。但是它只考慮單一速率的網路環境，當存在著不同速率的傳輸裝置時，在高優先權通道存取種類之下，由於 802.11e 只達成各速率使用者間的時間公平性，這會無法有效地保障低速率使用者的 QoS 需求；反觀，在低優先權通道存取種類中，由於 802.11e 提供給各速率使用者相同的通道存取機會，在低速率使用者傳送長訊框的情形之下，將會霸佔過長的通道時間，除了壓縮高速率使用者的傳送權利之外，也會進而影響整體系統的吞吐量。

因此，本篇文章將針對以下兩個目的，提出了新的改進機制：1.減少低速 non-QoS 資料佔用時間過長 2.加強低速使用者 QoS 保證。新的改進機制會給予各速率的 QoS 使用者公平的傳輸量來達到相同的 QoS 保證；面對 non-QoS 使用者則給予公平的傳輸時間來增加整體系統的吞吐量，達成同時兼顧系統效能及服務品質的目標。

中文摘要

關鍵字：多媒體傳輸、傳輸服務品質、802.11e、多速率共存、無線區域網路。

Fairness Mechanism For Multi-rate Multi-media Communication In 802.11e

Student: Yi-Ting, Ting

Advisor: Dr. Wen-Thong Chang

Institute of Communications Engineering,

National Chiao Tung University

Hsinchu, Taiwan

Abstract

The IEEE 802.11e Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) provides a class-based differentiated quality of service (QoS) to IEEE 802.11 WLANs. But since EDCA mechanism only takes single-rate network environment into account, when it equipped in the multi-rate network it can't function well. That's because the 802.11e standard provide time fairness among the high priority access category which may influence the QoS performance of the low speed users. And among the low priority access category, 802.11e provides same probability of channel access to all users. That means when the users are transmitting large frame, the low-rate users will occupy more channel slots than the high-rate users do. This characteristic not only causes the compression to the channel transmission time of the high-rate users but also affect the total system throughput of the network.

Regarding of the defect above, we propose a new fairness mechanism for two purposes:

1. Reducing the transmission time of the low speed non-QoS users to enhance the total throughput.
2. Providing same bandwidth guarantee to all QoS requirement stream regardless of the user's transmission rate.

Finally, we simulate the improvement between new fairness mechanism and original EDCA function.

Key Words: Multi-media 、 Quality of Service 、 802.11e 、 Multi-rate 、 Wireless LAN

誌謝

時光荏苒，碩士生涯至此也算圓滿結束，對於我的指導教授張文鐘博士，心鐘只有滿滿的感謝，老師對於研究的專業知識是我遭遇困難及瓶頸時最好的良藥，在研究的過程當中給我們做了最好的榜樣。

對於能成為 821 實驗室的一員滿懷感謝，實驗室的學長同學們都是我碩士生涯當中很重要的夥伴，博班學長家豪，98 級學長舒評、維哲、耀駿以及信妤；以及 99 級的同学詩倩、至中以及任恆。謝謝大家兩年來的陪伴，讓我擁有精彩的研究時光，希望未來能夠時常相聚。

最後也是最重要的，要感謝我的家人，父母讓我生活無虞，能夠專心致力於研究生生活，並且在我低潮時，給於我鼓勵以及支持；女朋友梅菁陪伴我渡過研究所生活的中每個高低起伏，讓我可以順利通過每一個難關；當然還要感謝交大土地公的保佑，讓我可以 在交大六年當中都過得很平順。謝謝所有幫助過我的人，沒有你們就沒有現在的我，真的非常感謝。



誌於 2012 秋 新竹 丁奕廷

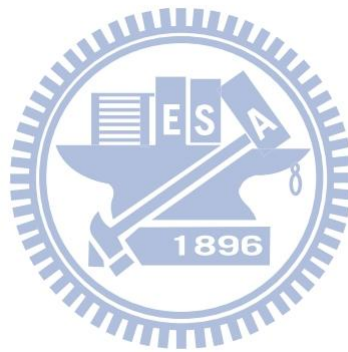
目錄

中文摘要	I
ABSTRACT	II
誌謝	III
目錄	IV
表目錄	VI
圖目錄	VII
第 1 章 緒論	1
1.1 研究動機與方向	1
1.2 章節概要	3
第 2 章 IEEE802.11 基礎架構	4
2.1 IEEE 802.11 訊框格式	5
2.1.1 Frame Control 訊框控制欄位	5
2.1.2 Duration/ID	7
2.1.3 Address 欄位	7
2.1.4 Sequence Control 欄位	8
2.2 分散式協調功能	8
2.2.1 RTS/CTS 握手機制	11
2.3 IEEE 802.11e EDCA 機制簡介	13
2.4 DiffServ 與 IEEE 802.11e 的 QoS 架構	18
2.4.1 DiffServ 機制	18

2.4.2	IEEE 802.11e-DiffServ 的交互關係.....	19
2.4.3	WMM 驗證實驗.....	20
第 3 章	多速率無線網路效能剖析.....	25
3.1	多速率共存下的 802.11 無線網路.....	26
3.1.1	多速率共存模擬實驗.....	30
3.2	多速率網路下的時間公平機制.....	31
3.2.1	Maximum Transfer Units(MTU) Size with Rate Adaption	31
3.2.2	MTU 時間公平機制實驗	32
3.3	Contention Window Size with Rate Adaption.....	33
3.3.1	動態調整 CW 值機制實驗.....	36
3.4	Packet Bursting	38
第 4 章	802.11E 多速率公平性調整機制.....	39
4.1	EDCA 下的多速率無線網路.....	39
4.2	新多速率公平調整機制.....	41
第 5 章	實驗模擬與結果分析.....	43
5.1	模擬環境設定.....	43
5.1.1	網路架構與參數設定.....	43
5.2	模擬環境設計.....	45
5.3	實驗結果與分析.....	46
5.3.1	實驗 I: QoS 效能模擬.....	46
5.3.2	實驗 II: 系統吞吐量模擬	51
第 6 章	結論與未來展望.....	54
	參考文獻.....	55

表目錄

表 2-1	訊框傳輸種類與 Address 欄位之對應關係.....	7
表 2-2	802.1D User Priority 與 802.11e AC 對照表	14
表 2-3	EDCA 預設參數表	17
表 2-4	QoS Mapping between DiffServ PHBs and EDCA ACs	20
表 2-5	WMM 與 IEEE 802.11e 功能對照表	20
表 2-6	WMM 實驗效能數據表.....	23
表 3-1	工作站速率與通道使用率間關係對照表.....	28
表 5-1	模擬參數設定表	44



圖目錄

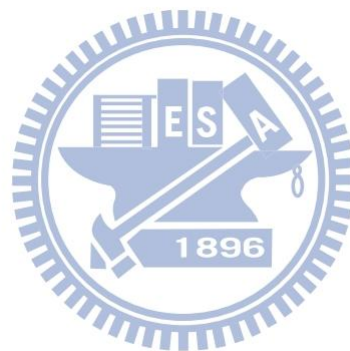
圖 2-1	IEEE 802.11 架構圖	4
圖 2-2	IEEE 802.11 訊框格式	5
圖 2-3	訊框控制欄位格式	6
圖 2-4	Sequence Control 欄位	8
圖 2-5	DCF 傳輸示意圖	10
圖 2-6	RTS/CTS 傳輸示意圖	12
圖 2-7	隱藏節點示意圖	13
圖 2-8	IEEE 802.11e MAC 層架構.....	14
圖 2-9	EDCA TXOP 傳輸示意圖	16
圖 2-10	EDCA 分級佇列示意圖	17
圖 2-11	點對點 QoS 網路架構	19
圖 2-12	WMM 驗證實驗圖(Throughput With WMM Function)	22
圖 2-13	WMM 驗證實驗圖(Throughput Without WMM Function)	22
圖 2-14	WMM 驗證實驗圖(Jitter With WMM Function)	23
圖 3-1	多速率共存下傳輸時間分配不均示意圖	29
圖 3-2	多速率共存下的吞吐量公平性	30
圖 3-3	MTU 調整機制示意圖	32
圖 3-4	MTU 時間公平機制模擬圖	33
圖 3-5	動態 CW 值調整機制示意圖	36
圖 3-6	動態 CW 值調整機制模擬圖	37
圖 4-1	多速率環境下 EDCA 各 AC 間的平衡性示意圖	39
圖 4-2	EDCA 下多速率 AC_VI 共存模擬圖	40
圖 4-3	新公平應對機制下各 AC 間的平衡性示意圖	42
圖 5-1	模擬架構示意圖	43
圖 5-2	多速率語音串流在 EDCA 下的延遲時間	46
圖 5-3	多速率語音串流在新公平機制(動態 MTU 調整方式)下的延遲時間	47
圖 5-4	多速率語音串流在新公平機制(動態 CW 值調整方式)下的延遲時間	47
圖 5-5	多速率 AC_BE 串流在 EDCA 下的吞吐量	48
圖 5-6	多速率 AC_BE 串流在新公平機制(動態 MTU 調整方式)下的吞吐量	49

圖 5-7 多速率 AC_BE 串流在新公平機制(動態 CW 值調整方式)下的吞吐量49

圖 5-8 高速 BE 使用者增加下的系統吞吐量51

圖 5-9 2MbpsBE 使用者增加下的系統吞吐量52

圖 5-10 2MbpsBE 使用者增加下的系統吞吐量(包含標頭檔).....53



第1章 緒論

1.1 研究動機與方向

由於無線網路技術的進步，為了提供無線使用者更高的移動性及便利性，區域網路逐漸朝向無線通訊的趨勢發展，WLAN 提供使用者在小涵蓋範圍內進行高傳輸效率的無線區域網路，無線網路通常會在範圍內連結多個無線裝置，這些裝置透過無線區域網路互相傳遞訊息，並透過無線基地台，與外部網路做連結，而時至今日，WLAN 已經成為無線通訊界的熱門商品。

IEEE 802.11[1]為當今最被廣泛使用的無線區域網路標準。IEEE 802.11MAC 層使用分散式協調功能(Distributed Coordination Function)以及集中式協調功能(Point Coordination Function)。DCF 是基於讓無線環境當中的多個使用者可以共同使用通道的機制，使用了載波感測多重存取及衝撞避免(CSMA/CA)的存取技術，各個工作站在傳送資料之前都必須先經過一段隨機倒退時間才能開始進行訊息的傳送，而偵測到通道處於忙碌狀態的其他使用者，就會等待下次通道空閒時在繼續隨機倒退的過程，在無線環境當中，使用 CSMA/CA 的方法可以有效地降低使用者間訊息碰撞的情形。另外，為了因應無線通訊環境改變快速的特性，IEEE 802.11的物理層會依據當下無線通道狀況好壞，動態調整對應的傳輸速度，以維持一定的傳輸品質，這也造就了單一無線區域網路中多速率資料流共存的情況產生。

然而 IEEE 802.11 並沒有提供不同資料流間的 QoS 支援，為了因應需要高傳輸服務品質保證的多媒體應用快速成長，IEEE 802.11e[2]這個支援應用分級以及頻寬保證的延伸方案接著被提出，他被設計來提供即時性的串流(如 VOIP 或是視訊會議等等)在無線區域網路中的傳輸保障。在基於 802.11 的基礎上，他提出了一個新的 MAC 層存取機制:混合式協調功能(HCF)，HCF 包含了兩種通道存取法則，增強型分散式通道存取功能(EDCA)以及混合型控制通道存取功能(HCCA)。EDCA 將資料分成四種不同的通道存取種類(Access Category)，不同通道存取種類之間使用不同的通道競爭參數，高優先權的通道存取種類會比低優先權的通道存取種類擁有更高的機會得到資料傳送的權力並取能夠使用較長的一段時間來傳送更多的訊框，簡而言之，EDCA 提供了高品質需求的應用較佳通道競爭參數，在開放式的通道競爭方式之下達到資料分級的效果。

儘管 EDCA 提供了 IEEE 802.11 一個適當的 QoS 解決方案，但是當把無線多速率共存環

境納入考量之下，EDCA 的效能會受到多速率使用者共存所造成的使用者通道佔用時間分配不均的影響，由於慢速使用者會佔用過長的通道時間，相對壓縮到快速使用者的傳送權力，在一段觀察時間之下，各速率的使用者的傳送速率會趨近於吞吐量平衡，在這個狀況之下，會破壞高速使用者的速率體驗，即便使用者擁有良好的通道品質，也會因為區域內的其他慢速使用者，吞吐量趨近於低速使用者的速率水平，在[3]中對於這個現象做了進一步的分析並將之稱為無線網路的多速率效能異常(Performance Anomaly)。

針對通道使用時間分配不均的問題，有很多不同的解決方案相繼被提出，在[4]到[8]中分別利用了不同的方法來解決低速使用者佔用過長時間的問題，例如降低低速使用者的傳輸效率或是減少低速使用者得到通道使用權的機會，目的是為了降低了低速使用者的通道使用時間，讓各種速率的工作站之間能夠達到傳輸時間上的公平性，在這個情形之下各個工作站間的吞吐量會與當下所使用的傳送速率成正比。然而以上的方法，雖然消除了效能異常的問題，然而不可避免卻對低速使用者的傳輸效能造成了打壓，在傳輸品質遭受壓縮的情況下，低速使用者並沒有辦法有效保障即時性應用所需的服務品質要求。然而在[9]當中，將 EDCA 的 QoS 在多速率環境下進行系統設計，提出了利用動態調整 TXOP 的方法，給低速使用者長的免競爭傳輸時間，高速使用者較短的傳輸時間，讓無線網路中的所有使用者在傳送同一種通道存取種類時，達到傳輸質量的平衡，這個方法的使用讓所有的通道存取種類都必須承受效能異常的狀況，失去高速的使用者的傳輸優勢。在[10]當中，更進一步的提出混合型的機制，低優先權的三個通道存取種類採用依傳送速率決定通道存取機率的高低，取得時間上的公平性，降低效能異常的影響，而對於最高優先權的語音資料，會根據當下串流所需的頻寬給予對應的傳輸時間，然而在資料的傳輸過程中對封包進行頻寬計算這將會大大地提升系統的複雜性，且並不符合 EDCA 為了使用者間的泛用性而選擇採用差異性 QoS 架構的概念。

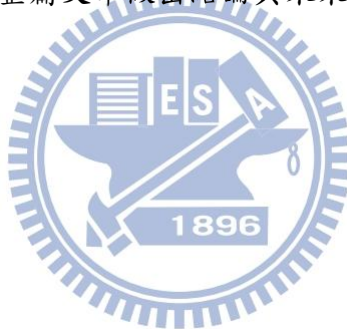
因此，我們整合了先前的研究之後，希望能在維持原本 802.11 系統概念之下，同時兼顧系統效能以及即時資料所需的傳輸服務品質 QoS，而提出了新的公平應對機制，它能夠針對的不同系統負載或傳輸需求，利用調整 802.11 通道競爭參數來達到需求的傳輸效果，使用簡單的方式就能夠對整體多速率多媒體傳輸系統帶來效能增益以及高度的泛用性。

1.2 章節概要

接下的章節分段如下:第二章會分成兩個部份,首先是對 IEEE 802.11 基礎架構做出介紹,包含了 MAC 層的訊框格式以及分散式協調功能的介紹。第二部分則是針對 IEEE 802.11e 的 QoS 架構介紹,包含了 EDCA 功能中新的通道競爭模式以及當無線區域網路中的 EDCA 架構與有線廣域網路的 DiffServ 架構的連結下,QoS 機制的維持與轉換,最後也將會實驗方式來做實際的驗證。

進入章節三之後會切入 IEEE 802.11 下多速率使用者共存狀況下的數學分析,之後也會對先前研究中對於多速率網路下時間分配不均的解決方案,做出分析與模擬驗證。爾後,在章節四中會為分析在 EDCA 之下因為多速率使用者共存狀況下所帶來的問題,並因應問題提出新的公平應對機制達成的效益。之後在章節五當中會利用網路模擬工具 NS-2[13]來實際驗證新公平機制對 EDCA 系統帶來的效能改進,以佐證論述。

然而,最後的章節六會為整篇文章做出結論與未來期許的研究方向。



第2章 IEEE802.11 基礎架構

IEEE 802.11 為最廣為熟知的無線區域網路存取標準，適用於在短距離範圍內，且擁有高傳輸效率的區域網路，他提供了區域網路的使用者更好的移動性及便利性，然而目前 802.11 標準只會對應到 OSI 網路模型當中的實體層(Physical Layer)以及資料鏈結層(Data Link Layer)，關係如圖 2-1 所示：

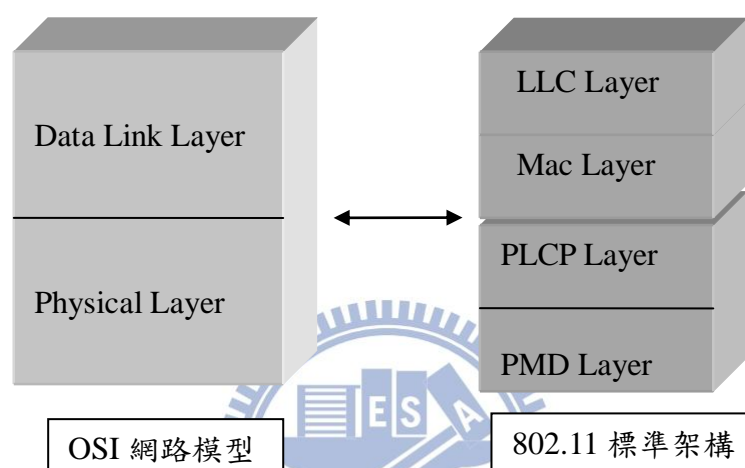


圖 2-1 IEEE 802.11 架構圖

IEEE 802.11 主要目的為制定一套適合在無線區域網路環境下作業的通訊協定，主要的工作為打造適用的 MAC 層和實體層架構。因此 IEEE 802.11 的標準主要分成兩個部份，第一是制定出適用於所有無線網路系統的 MAC 標準，第二部份則是和傳輸媒介相關的 PHY 層規格。IEEE 802.11 所支援各種不同的傳輸訊號頻寬，例如，915MHz 頻寬、2.4GHz 和 5.0GHz 頻寬以及紅外線頻寬等，都有不同的 PHY 規格。此外功率的管理及省電模式的服務等也包括在 IEEE 802.11 的標準範圍內。而由於本篇論文的討論及架構將著重在 IEEE 802.11 的 MAC 層通訊協定上，所以後續章節也會對這個範圍做進一步的探討。

IEEE 802.11 無線區域網路的主要特性如下：

1. 多重傳輸速率:IEEE 802.11 允許讓區域網路內的使用者操作在不同傳輸速率來進行資料的交換。
2. 訊框格式必須為 IEEE 802.11 訊框。
3. 傳輸媒介為無線電。

4. 基本通訊協定為 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)
5. 提供認證 (Authentication) 及資料保密 (Privacy) 功能。由於無線電是一種開放性的介質，任何人都可以很容易的干擾或竊聽。認證是確任對方的身分，免得在不知情的狀況下洩漏重要的資訊。保密是利用加密 (Encryption) 及解密 (Decryption) 的技術來保護傳送的資料，使得竊聽者即使竊聽到資料也無法得知其內容。

2.1 IEEE 802.11 訊框格式

IEEE 802.11 的 MAC 層訊框格式如圖 2-2 所示，包含：

1. 訊框標頭 (Header)：30 位元組，此部份主要包括了控制資訊 (control information)，位址 (addressing)，順序號碼 (sequencing number)，持續時間 (duration) 等欄位。
2. 資料：訊息內容，依訊框種類 (frame type) 的不同會有不同的長度，控制訊框以及管理訊框這個欄位長度通常為 0。
3. 錯誤檢查碼：4 位元組，訊框的檢查碼，採用 CRC 更正碼。



圖 2-2 IEEE 802.11 訊框格式

2.1.1 Frame Control 訊框控制欄位

Protocol Version：用來區分不同的 802.11 版本。

Type and Subtype：訊框型態，分成資料訊框，控制訊框，管理訊框三種。每一種型態再利用 Subtype 做進一步的區分成若干種不同用途。

- (1) 資料訊框：傳遞各站點間所需交換的訊息。
- (2) 控制訊框：用於站點間進行頻道的控制或是通道狀態的維護，如 RTS/CTS，ACK，電

源管理等等。

(3)管理訊框:用於無線網路中兩個無線設備在建立、中斷連線的過程，或是與無線 AP 進行驗證程序時所使用，如 Beacon，Probe Request，Associate Request。

To DS 欄位：此值為 1 時表示此 Data 訊框（包括廣播或群播訊框）要傳送給分散式系統(DS)，由於在無線區域網路中，無線存取點(Access Point)為連接基本服務集合(Basic Service Set，BSS)與分散式系統(DS)，故當這欄位為 1 時，可將此訊框視為傳送到無線 AP 的訊框資料。

From DS 欄位: 此值為 1 表示此 Data 訊框（包括廣播或群播訊框）是由分散式系統(DS)傳送下來，無線網路中可解讀為由 AP 傳輸下來的訊框資料。

More Fragments：此值設為 1 表示傳送端尚有其他片段(Fragments)待傳送。

Retry：此值設為 1 表示此訊框為重送之訊框。接收端可依此訊息來分辨是否為重複的訊框。

Power Management：此值設為 1 表示送出此訊框之設備接下來要進入省電狀態

More Data：此欄位為 AP 用來通知處於省電模式之工作站說 AP 目前有 MSDUs 欲傳送給該工作站。在 Data 訊框上其值為 1 表示至少還有一個 MSDU 待轉送。若為其他種類的訊框，則其值應為 0。

WEP：此欄位設為 1 表示訊框中所攜帶的資料已經過 WEP 演算法處理過。

Order：此欄位設為 1 表示此 Data 訊框經由嚴格依序服務等級 (Strictly-Ordered service class) 來傳送。

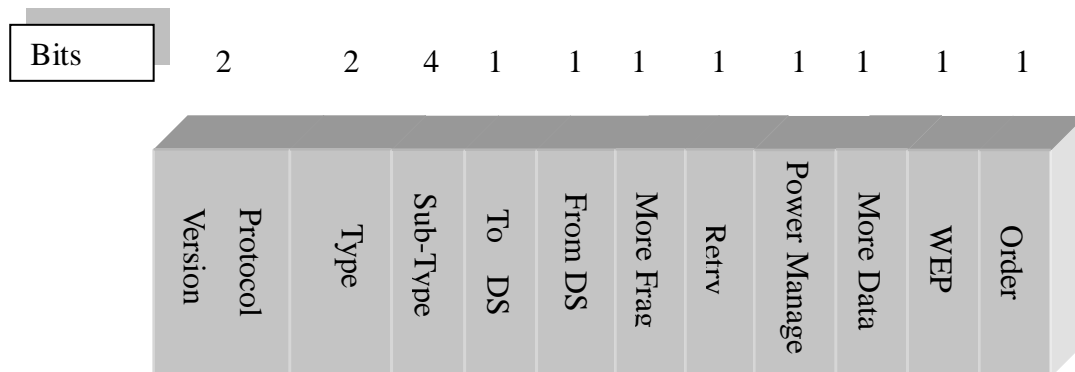


圖 2-3 訊框控制欄位格式

2.1.2 Duration/ID

Duration 訊框欄位代表這個傳送端使用者將要佔用的通道時間，由於無線電波開放介質的特性，在其他不為接受端的使用者，也可以利用這個欄位來輔助偵測通道處於忙碌狀態下的持續時間，以避免資料碰撞。

2.1.3 Address 欄位

MAC 訊框格式中共有四個位址欄位。這些欄位用來記錄 BSSID (Basic Service Set Identifier), 起始站點位址 (Source Address, SA), 目的地站點位址(Destination Address, DA), 傳送站點位址(Transmitter Address, TA), 及接收站點位址(Receiver Address, RA)。

其中目的地站點位址(DA) 可以是單一或群播的位址。是該訊框的最終目的地。起始工作站位址 (SA) 是最初產生此訊框工作站的位址。傳送工作站位址(TA) 是指最近一個在無線媒介上傳送此訊框的工作站位址。接收工作站位址(RA) 則是指在無線媒介上接收此訊框的工作站位址。

	To DS	From DS	Address1	Address2	Address3	Address4
RTS	0	0	RA	TA	X	X
CTS	0	0	RA(對應到 RTS 中的 TA)	X	X	X
ACK	0	0	RA	X	X	X
給 AP	1	0	DA	BSSID	SA	X
來自 AP	0	1	BSSID	SA	DA	X
區域內站點互傳	0	0	DA	SA	BSSID	X
WDS 橋接器	1	1	RA	TA	DA	SA

表 2-1 訊框傳輸種類與 Address 欄位之對應關係

每一個位址長度都必須是符合 IEEE 802 標準之 48 位元。有些訊框並不需要用到所有的 Address 欄位，如表 2-1 所示。然而每個 BSS 都有一個具唯一性的辨識碼 (BSSID, 長度為 48 位元)，對於 Infrastructure Mode 的 BSS, 此辨識碼為無線存取點(AP) 的位址。對於 Ad-Hoc Mode 的 BSS, 此辨識碼最左邊兩個位元為 01, 而剩下的 46 位元則會以亂數的方式產生。

各站點在決定要不要接收一個資料訊框時是依據 Address 1 的內容來做判斷的。如果 Address 1 的內容與自己的位址相同即可接收。如果 Address 1 的內容是一個群體位址，則需要再進一步的檢查 BSSID，以確定該廣播或群播訊框是來自於本身所屬的 BSS。

2.1.4 Sequence Control 欄位

順序控制欄位包含兩個次欄位：順序號碼(Sequence Number) 及片段號碼 (Segment Number), 如圖 2-4 所示。其中 Sequence Number 為該訊框攜帶之 MSDU 編號。各個 MSDU 都有一個對應的編號, 其值從 0 開始, 最大值為 4095, 然後可以重複使用, 由同一個 MSDU 切割出來的片段都必須使用相同的 MSDU 編號。

片段號碼則是指該片段在原來 MSDU 所切割出來的片段順序。第一個片段 (或沒有切割的 MSDU) 其值為 0。以後則依序加 1, 最大值為 15, 然後也可以輪流重複使用。

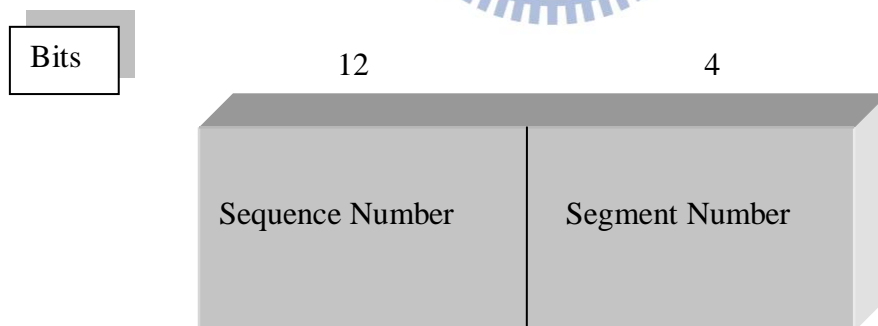


圖 2-4 Sequence Control 欄位

2.2 分散式協調功能

在 IEEE 802.11[1]中提供了兩個基本的 MAC 層機制:分散式協調功能(Distributed Coordination Function, DCF)以及集中式協調功能(Point Coordination Function, PCF)。所

謂的「協調式功能」(Coordination Function) 是指一個可以協調並且分配多個使用者之間的通道存取權利的機制。IEEE 802.11 則以分散式協調功能當作最基本的通道存取方法，分散式協調功能採用了載波感測多重存取及衝撞避免的技術(carrier-sense multiple access/collision avoidance, CSMA/CA)做為基礎。然而集中式協調功能則是利用無線 AP 做中央控制，以輪詢的方式安排區域內使用者傳送訊框的時間以及順序，皆由 AP 來進行排程，不需要進行通道競爭的過程。然而在無線區域網路中，所有的工作站都必須具備分散式協調功能，而集中式協調功能則是一個可選擇支援與否的選項。本篇論文中以分散式協調功能為基準做延伸，集中式協調功能則不在討論範疇當中。

分散式協調採用 CSMA/CA 的技術，它可以支援多個站點同時使用一個通道，並且避免使用隨機倒退的方式來減少訊息碰撞的問題。每個站點要傳送資料之前會在實體層對當前通道的無線電波區段做偵測，來判定目前通道是否正在被使用，假如通道空閒，則可以進入下一個傳送程序，相反的，當偵測到通道狀態為忙碌時，就必須等到下次通道空閒時才能進行傳送程序，然而假如在有兩個以上的站點同時進行資料的傳送，就會產生訊框碰撞的情形。

而 MAC 層會另外採用虛擬載波偵測技術(Virtual Carrier Sensing)，來輔助實際通道的偵測，在資料發送出去時，在訊框標頭檔的 Duration/Id 欄位會紀錄站點傳輸所需要使用的時間，在無線網路傳輸範圍中的其他站點，在接收到訊框傳送目的位址不為自己的時，就會依照 Duration 欄位值的大小，來改變相對應的網路配置向量(Network Allocation Vector)，利用網路配置向量(NAV)來記錄目前通道還需要多少的時間才會重新回到空閒的狀態，在時間尚未歸零之前，該使用者都會將通道視為忙碌狀態，不需要再另做通道狀態的偵測。

IEEE 802.11 規定在傳送訊框前必須額外等待一段間隔時間，依據傳送訊框的類型，決定訊框間隔(Inter Frame Space)的長短，以區分訊框間不同類型的優先權，使用越短的訊框間隔，會確保有絕對優先的通道使用權，訊框間隔分類如下：

- 1.短訊框間隔(SIFS)--使用在立即需回應的動作的控制訊框(Control Frame)如 ACK，RTS/CTS 等等。
- 2.集中式訊框間隔(PIFS)--在集中式協調當中使用，長度略大於短訊框間隔。
- 3.分散式訊框間隔(DIFS)--分散式協調當中使用，工作站要傳送資料訊框(Data Frame)之前必須先等待通道閒置一個分散式訊框間隔後，才可以進入傳送程序。
- 4.延長訊框間隔(EIFS)—用於工作站進行資料重送時，訊框必須等待的時間。

使用不同訊框間隔的機制可以保障在通道閒置時，擁有需要立即回應需要的訊框，在等待較短的短訊框間隔時間之後，即可以直接傳送，以確保絕對優先的傳送順序。

而在通道空閒之後，所有的工作站需要再等待一段訊框間隔時間(DIFS)，當發現這段期間內通道皆為空閒狀態時，還會再進入一個隨機倒退過程，以避免同時有多個站點要傳輸資料時會造成資料碰撞的情形產生，而隨機倒退過程所需等待的時間為各站點從 0 到 CW 間隨機取得的整數，CW 值由 802.11 預設的 Contention Window Size 所決定，隨機倒退整數代表傳送前需要等待的時槽數目，隨著通道空閒時槽數增加，隨機整數將會逐漸減少，當倒退計時器減少到零之後，工作站才可以真正開始進行資料的傳送，CSMA/CA 使用隨機倒退的方式，可以有效降低工作站間的碰撞情形，整體分散式協調架構示意如圖 2-5 所示：

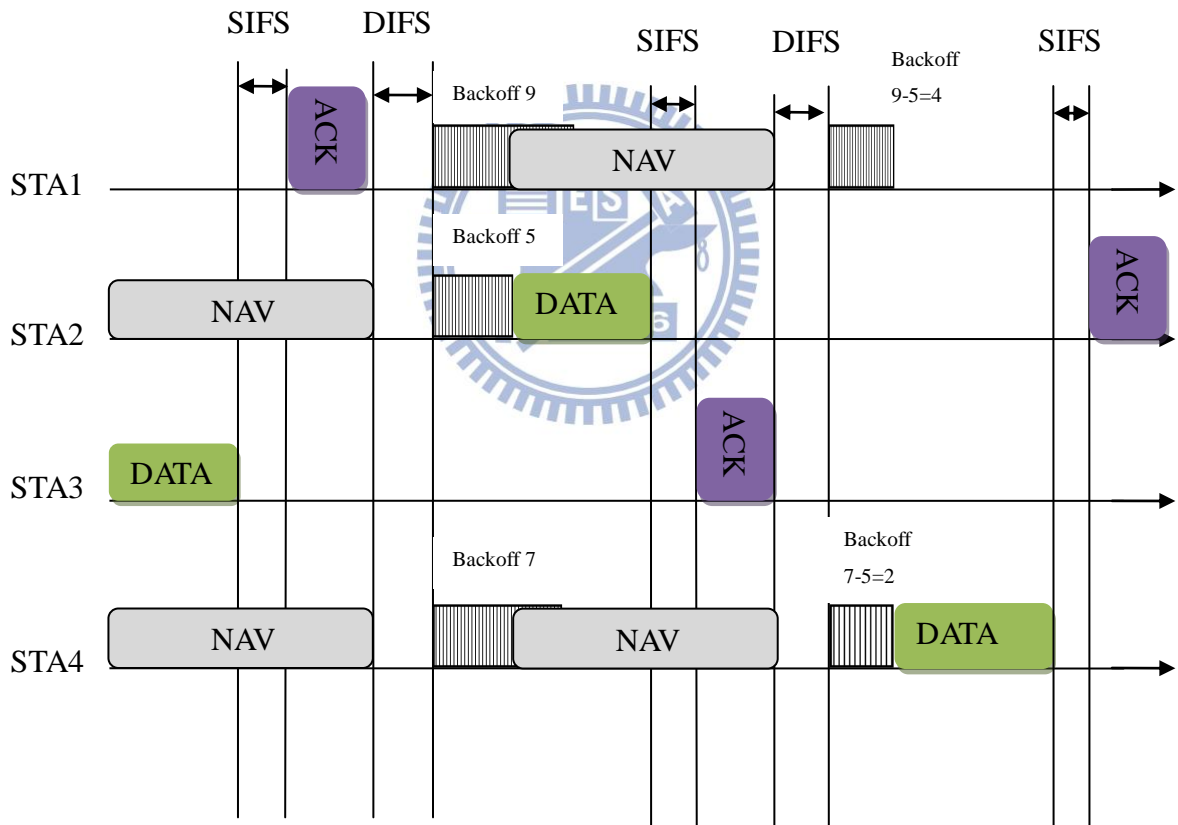


圖 2-5 DCF 傳輸示意圖

從圖 2-5 可以看出，假如工作站在隨機倒退過程中，發現已經有別的站點先開始傳送資料，工作站必須先冷卻住目前的倒退時間計時器，等待下次通道空閒一個分散式訊框間隔後再繼續進行計時器的倒數，不需要重新啟動隨機倒退時間，可以減少等待的時間。

分散式協調功能為 Contention Window Size，CW 值定義了最大值 CWmax 和最小值 CWmin，在最初的傳送過程當中，CW 值為預設最小的 Window Size 值 CWmin，假設在隨機倒退過程中資料傳送產生碰撞，站點必須加倍 CW 值，加倍公式如(1)，然而假如碰撞的情形持續產生，CW 的值就會持續加倍，直到 CW 值到達原本設定的最大值 CWmax 即不會再增加，直到當個訊框傳送成功之後才能再將 CW 值回復成預設值 CWmin，這個演算法稱為隨機二位元倒退機制。

$$CW[\text{now}] = CW[\text{Min}] * 2^N - 1 \quad N \text{ 為第幾次重傳} \quad (1)$$

然而，上述的重傳次數 N 並非沒有限制，在考慮到有限的頻寬分配狀況下，IEEE 802.11 定義了訊框重新傳送機制，他將重傳機制以次數差異分成了長重傳上限機制(Long Retry Limits)與短重傳上限機制(Short Retry Limits)兩種，而兩者間的判定方式是當要傳送訊框的長度大於 RTS 門檻值時，工作站就會選擇使用長重傳上限機制，反之，則使用短重傳上限機制；重傳機制是依據訊框的大小來做為重傳重要性高低的判定。

2.2.1 RTS/CTS 握手機制

在無線網路中，除了資料碰撞不易偵測之外，實體層在使用載波偵測技術時也容易誤判傳輸媒介是否忙碌。IEEE 802.11 解決前者的方法如下：在傳送端要傳送訊框前，先送出一個「要求傳送」控制訊框(RTS-Request to Send)，而接收端在收到這個控制訊框時則在經過一個 SIFS 訊框間隔後立刻回送「允許傳送」控制訊框(CTS-Clear to Send)。只有當傳送端正確的收到接收端所回覆的 CTS 時，傳送端才能送出訊框。同時其他工作站看到這個送給傳送端的 CTS 之後，也就立刻暫時停止嘗試傳送訊框的程序，因此傳送端傳送的訊框與其他工作站訊框發生衝撞的可能性就會大大的降低，傳送機制如圖 2-6。這是因為 RTS 訊框標頭檔訊框控制欄位當中 Duration 參數當中，記錄了接下來的傳送所需要的持續時間值是預估其自己站點在傳送完畢至接收端站點回傳的 ACK 封包被接收到為止，所有聽到此 RTS 訊框的工作站必需將其 NAV 設為此值。而接收端回送的 CTS 訊框中也會再標頭檔當中標記 Duration 值，其內容等於其本身傳送完畢至下一筆傳送訊框收到回覆訊框為止的預估時間。然而如同上述介紹的，其他站點收到這個 Duration 值之後會更新自己的 NAV 值，當其 NAV 非零時，此工作站不能以 DCF 的方式開始競爭，也不能進行訊框傳送。

然而 RTS/CTS 機制並不是一個必選的選項，由於使用 RTS/CTS 的使用勢必會帶來一些頻寬上的浪費，根據 IEEE 802.11 所定義，當只有站點要傳送的訊框大小大於 RTS 門檻值時，才會啟動 RTS/CTS 的握手機制進行傳送。

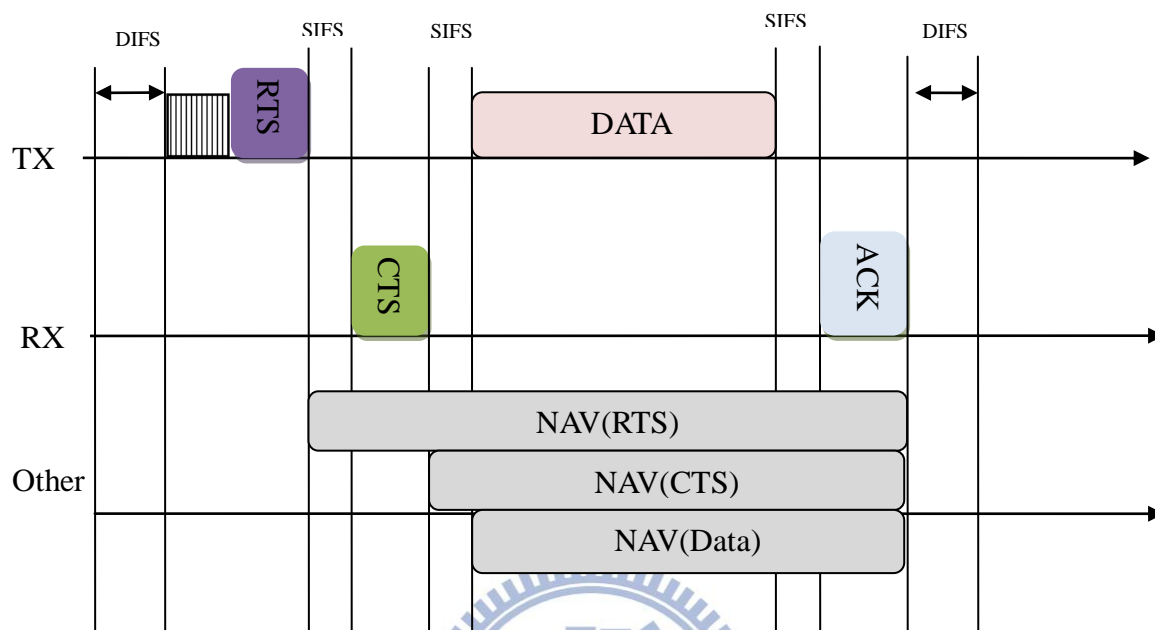


圖 2-6 RTS/CTS 傳輸示意圖

此外使用 RTS/CTS 可以順利的解決無線網路中隱藏節點的問題，隱藏節點原因來自於範圍內多個互相無線區域網路交互覆蓋，站點與站點沒辦法有效地更新 NAV 值，導致資料碰撞的情形產生，如圖 2-7 所示，站點 a 與站點 b 分別位在站點 c 的左邊與右邊，他們的傳輸範圍在 c 的所在位置互相重疊，但彼此之間並不知道對方的存在，可能會發生在 a 站點在傳送資料給站點 c 時，由於 b 站點沒有辦法接收到封包更新 NAV 值，他會認為通道為空閒狀態，並且嘗試傳送資料，此時傳送出的資料無論接收端是不是 c，都會對 c 站點造成干擾，影響接收情況，這個情形被稱為隱藏節點問題。

然而在使用 RTS/CTS 傳送機制情況下，當站點 a 傳送 RTS 訊框時，RTS 訊框夾帶的 Duration 欄位，會讓所有在站點 a 傳輸範圍內的使用者更新 NAV 時，然而站點 c 在收到 RTS 之後，會回送出 CTS 訊框，發出的 CTS 夾帶的 Duration 值能夠更新站點 c 傳輸範圍內的站點的 NAV，當然也讓 b 站點成功更新 NAV 值，也就不會在 NAV 設置時間內嘗試傳送封包，如此一來，就可以有效地減少範圍內互相覆蓋的無線區域網路各站點產生碰撞的機會，也可以順利解決隱藏節點的問題。

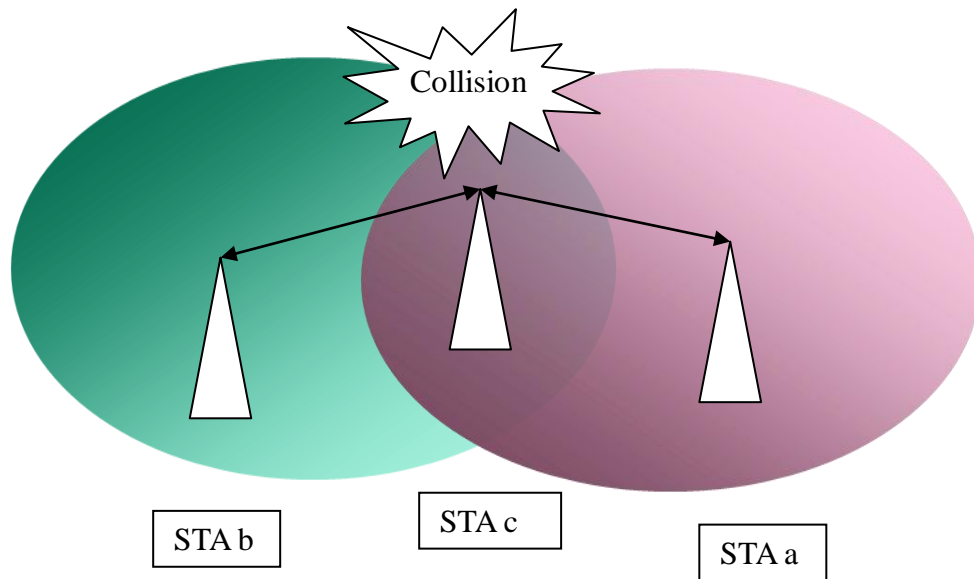


圖 2-7 隱藏節點示意圖

2.3 IEEE 802.11e EDCA 機制簡介

由於在分散式協調功能下，所有的使用者不論應用層的资料種類皆使用相同的通道競爭參數，一視同仁的特性並沒有辦法有效反映不同傳輸應用間的服務品質需求，然而在實際網路架構當中，不同訊務(Traffic)之間對於頻寬或是點對點之間延遲量皆有不同的效能要求。在為了因應需要高傳輸服務品質保證的多媒體應用快速成長下，IEEE 802.11e[2]這個支援應用分級以及頻寬保證的延伸方案對應而生，他被設計來提供即時性資料串流(如 VOIP 或是視訊會議等等)在無線區域網路中的傳輸保障。

在基於 802.11 的基礎上，IEEE802.11e 提出了一個新的 MAC 層存取機制:混合式協調功能(Hybrid Coordination Function)，然而混和式協調功能依舊延續了 IEEE 802.11 擁有開放式競爭和中央控制免競爭功能兩種通道存取方案的特性:將之延伸為增強型分散式通道存取功能(Enhances Distributed Coordination Access Function，EDCAF)以及混合型控制通道存取功能(Hybrid Controlled Channel Access Function)。EDCA 延續 DCF 提供了各個使用者之間的開放式通道競爭環境，然而 HCCA 則是由混合式協調者(Hybrid Coordinator)以輪詢的方式協調各使用者之間的傳輸時間分配，無線網路中的 HC 角色通常由 AP 擔任。所有支援 IEEE 802.11e 標準的使用者被稱之為 QSTA，架構式無線網路中的 AP 則被稱之為 QAP。

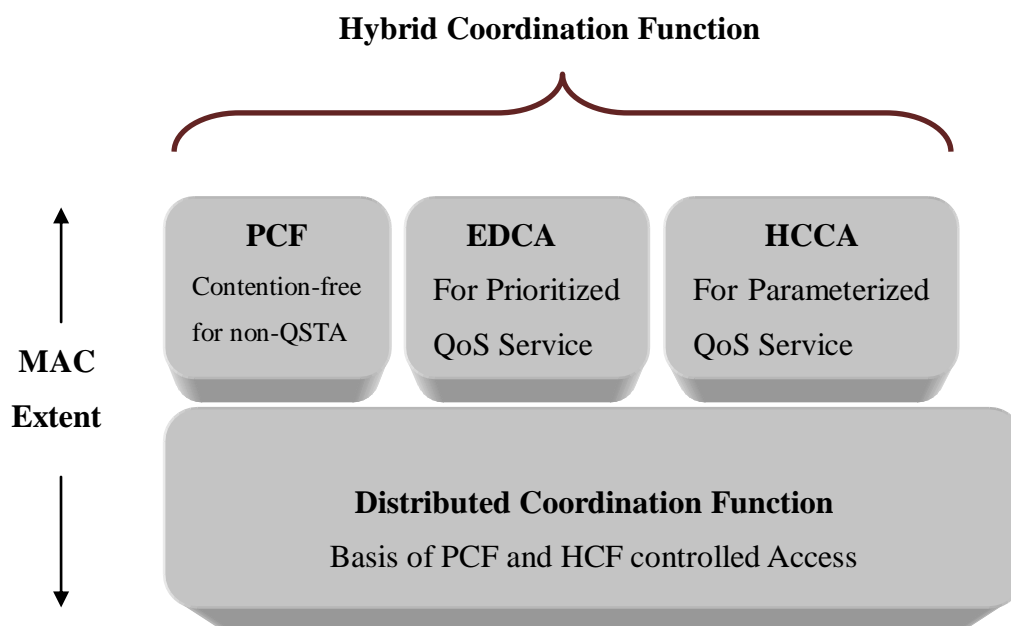


圖 2-8 IEEE 802.11e MAC 層架構

IEEE 802.11e 支援八種程度的優先權順序，定義延續 IEEE 802.1D 的使用者優先順序，IEEE 802.11e 將八種優先權對應到無線 MAC 層中的四種通道存取種類，以實作資料分級的功能，四種存取種類的優先權由高到低排列分別是 Voice、Video、Best Effort、Background。

表 2-2 802.1D User Priority 與 802.11e AC 對照表

Priority	User Priority (Same As 802.1D User Priority)	802.1D Designation	Access Category	Designation (Informative)
Lowest ↓ Highest	1	BK	AC_BK	Background
	2	--	AC_BK	Background
	0	BE	AC_BE	Best Effort
	3	EE	AC_BE	Best Effort
	4	CL	AC_VI	Video
	5	VI	AC_VI	Video
	6	VO	AC_VO	Voice
	7	NC	AC_VO	Voice

IEEE 802.11e EDCA 功能給予不同優先權的通道存取種類獨立的競爭參數：

Contention Window Size(CW)以及仲裁訊框間隔時間(AIFS)。如同上述討論，不同於隨機倒退時間，訊框間隔時間採用固定常數來確保不同類型訊框傳送優先順序，然而 EDCA 進一步改進了原先分散式協調機制中傳送資料訊框時一律等待固定長度 DIFS 間隔的做法，改以仲裁訊框間隔(AIFS)取而代之，不同的通道存取種類會對應到不同大小的訊框間隔常數(AIFSN)，不同的 AIFSN 常數會決定不同時間長短的 AIFS 來達到差異性服務的效果，越高優先權的通道存取種類擁有越短的 AIFS 間隔時間，確保高優先權的種類能夠較低優先權的通道存取種類更快進入二位元隨機倒退程序，仲裁訊框間隔 AIFS 計算方式如下：

$$\text{AIFS}[AC] = \text{AIFSN} * \text{aSlotTime} + \text{SIFS} \quad (2)$$

$$\text{DIFS} = 2 * \text{aSlotTime} + \text{SIFS} \quad (3)$$

從上式可以觀察到 EDCA 依舊維持了 SIFS 為最短訊框間隔時間的特性，確保使用 SIFS 的控制訊框在無線網路傳輸當中擁有最高的競爭優先權。然而 EDCA 除了使用不同長度的仲裁訊框間隔時間來區分通道存取種類的競爭優先權之外，在各通道種類進入隨機倒退程序之後，會給予不同的 Contention Window Size CW 值，進一步區別出不同種類資料間的通道存取機會，CW 值的分級設定包括最小競爭窗口 CWmin 以及最大競爭窗口 CWmax；同樣地，高優先權的通道存取種類擁有較小的 CW 值，由於 CW 值為隨機倒退過程所需等待時槽數的樣本空間，越小的 CW 值也就代表了越低的等待時槽數，能夠有效地提升高優先種類的通道存取機會。然而除了使用較小的 CWmin 確保使用者在每次傳送擁有較高的存取機會之外，針對高優先權的通道存取也會採用較小的 CWmax 值，目的是當通道處於擁擠狀態，導致碰撞情形產生頻繁，使用者在每次的資料重傳過程中，必須加倍當下的 CW 值直到 CWmax 值，在這個情況下限制高優先權的通道存取種類的 CWmax 值，可以使得即便在通道擁擠的狀態之下，高優先權的通道存取種類仍舊擁有相對高的存取機會來進行資料重傳的動作。

除此之外，IEEE 802.11e 還另外為了因應影音串流的傳輸特性而定義一個名為 TXOP (Transmission Opportunity) 的傳輸參數，TXOP 為一時間單位的變數，有別於 DCF 功能當中每次使用者得到通道使用權皆只能傳送一個訊框，TXOP 改以時間做為每次傳輸的規範單位，對於得到傳輸使用權的通道存取種類可以在規定的 TXOP 上限時間 (TXOP Limit)內，將通道時間視為免競爭周期，有權力連續使用通道傳送多個訊框，不需要重新進入競爭的程序，僅在訊框與訊框之間採用 SIFS 的訊框間隔，等待接收端回傳 ACK 訊框。TXOP 以規定通道的使用時間上限來取代以訊框數量當作一次傳輸單位的存取特性下，可以讓高優先權的使用者能保證一定的通道傳輸量，因應假如使用者單

一封包內容較小或大小不一的情況，以語音資料為例，語音串流的單一封包大小通常只有數十到一百多 bytes 的情況下，與正常狀況下的資料封包 1500bytes 相比，在只傳送一個訊框的情況下，語言串流的通道使用時間大約只有其他使用者的十分之一，除了有可能沒辦法達到語音串流的頻寬要求之外，也會使得傳送訊框前因通道競爭過程所引起的通道空閒時間浪費對比實際資料傳送時間比例加大，影響了整體網路的傳輸效率。

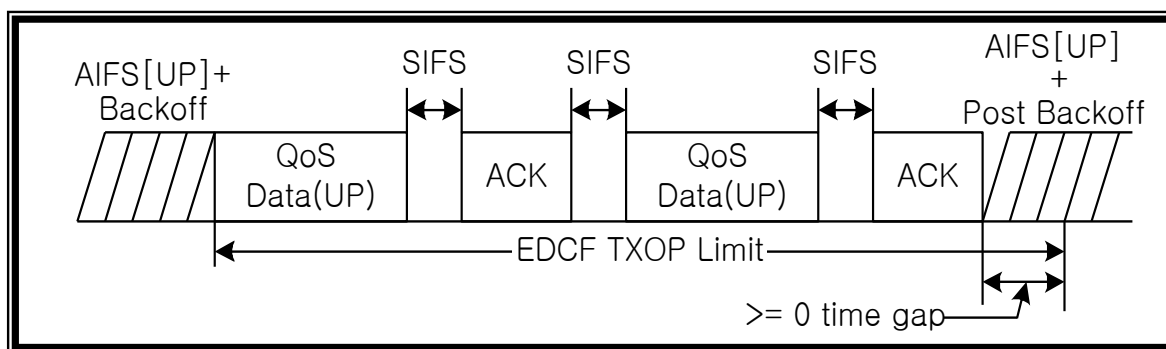


圖 2-9 EDCA TXOP 傳輸示意圖

然而 EDCA 也針對不同類型的通道存取種類訂定了對應的 TXOP Limit，擁有最大 TXOP Limit 的通道存取種類為 AC_VI 而非擁有最高優先權的種類 AC_VO，這是由於 AC_VI 為針對影像串流所制定的通道存取種類，影像串流相較於語音串流有較高的頻寬需求，因而給予較大的傳輸時間上限 TXOP，以利於影像串流在得到通道使用權時能及時送出多個影像訊框；然而雖然語言串流傳輸速率較小，但由於高延遲敏感性的特性，必須在固定周期時間內送出封包，故 EDCA 給予 AC_VO 種類最高的通道存取機會，有利於 AC_VO 的延遲特性要求。另外，在實際 IEEE 802.11e 的網路當中，AC_BE 以及 AC_BG 通道存取種類的 TXOP Limit 通常被預設為 0，這代表了 AC_BE 以及 AC_BG 存取種類在每次得到通道使用權時，依舊維持分散式協調功能中至多只能傳送一個訊框的特性。

TXOP 是對每個通道存取種類而言，並不是針對單一工作站，雖然單一工作站在 TXOP Limit 內對通道有控制權，但是在同一工作站的其他通道存取種類即使有封包要傳送也不能使用目前擁有通道使用權的通道存取種類的 TXOP 剩餘時間，也就是說在得到通道使用權的傳輸種類在沒辦法使用完完整的 TXOP Limit 時，必須要將通道使用權釋放出來，不能分享給同工作站中的其他通道存取種類，其他種類的資料必須等待通道使用權被釋放出來之後，重新與其他工作站的其他通道存取種類進行通道競爭。也就是說在 EDCA 功能當中，基礎競爭單位為一個通道存取種類，在單一個 QSTA 裡，就會有

四種不同的通道競爭用戶，各自進行著獨立的通道競爭程序。

表 2-3 EDCA 預設參數表

ACs	AIFSN	CWmin	CWmax	TXOP	
				DSSS	OFDM
AC_BG	7	31	1023	0	0
AC_BE	3	31	1023	0	0
AC_VI	2	15	31	6.016ms	3.008ms
AC_VO	2	7	15	3.008ms	1.504ms

延續以上討論可以將支援 EDCA 工作站視為每個工作站內部都採用四種不同傳輸佇列的形式來實現四種不同的通道存取種類，各個佇列之間被賦予不同優先權的通道競爭參數，所以即便同一使用者，也因存在多個傳輸應用種類的緣故，兩種類之間必須互相競爭通道的使用權，然而若發生單一站點中有兩個以上的佇列在同一時間發動傳送，則稱為虛擬碰撞，面對這個問題的處理上，QSTA 會選擇優先讓高優先權的存取種類獲得傳輸資料的機會。

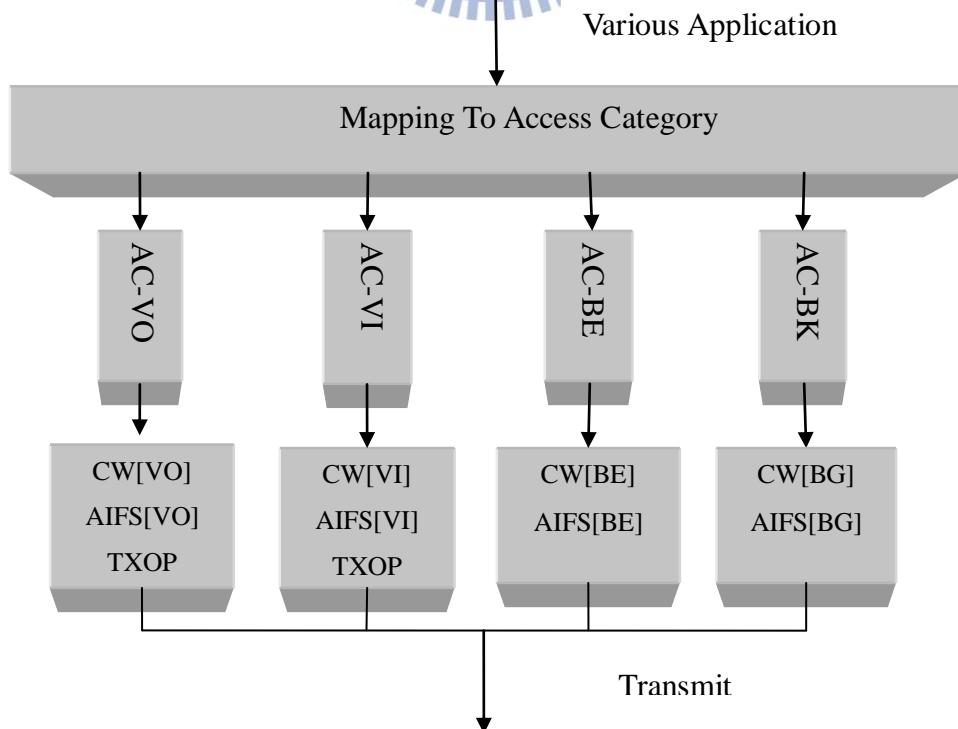


圖 2-10 EDCA 分級佇列示意圖

2.4 DiffServ 與 IEEE 802.11e 的 QoS 架構

2.4.1 DiffServ 機制

DiffServ 為一架構於 IP 層上提供資料流分級的 QoS 機制，根據不同的需求對進入網路中的資料流進行分類、計算、標記與整合。

DiffServ 將具有相似 QoS 需求的訊務整合在一起，對同一類型的資料提供一致性的服務與相對的服務品質保證。每一類型的資料會被標記一個特定的 DSCP 值(DiffServ codepoint) 來區分其等級，在實際網路中，DSCP 值會被存放在 IP 封包的標頭檔 DS 欄位當中，支援 DiffServ 的網路節點會根據 DSCP 值代表的類型，找尋相對應的逐跳轉發行為(Per-Hop Behavior, PHB)在網域上進行封包轉發。這樣的方法並沒有辦法對每個串流做出絕對的 QoS 保證，但由於不必對個別訊務提供 QoS 保證以及管理，其複雜度將大幅降低。

一個 DiffServ 的網域是由許多提供 DiffServ 服務，且具有相同 Per-Hop Behavior 的節點所組成，這些節點分為邊界路由器和內部路由器兩種。內部路由器為網路內部節點，不直接相連外界網路，而由邊界路由器與其他外部網路做連結。

DiffServ 架構下網路管理功能：

1.分類 Classifying:

依據來源和目的地的 IP 位址、應用程式與 port number、或是網路協定等 來區分進入網域的訊務。

2.監控 Policing:

量測 Metering: 測量單一訊務串流(Traffic Stream)的傳輸速率與 burst size 等參數，量測過後的數據可以提供做為 Traffic Stream 的標記與整形的參考指標。

整形 Shaping: 控制同一個 Traffic Stream 的封包傳送速率與數量，以符合傳送前所訂定的訊輸規範。

丟棄 Dropping: 根據上述結果，決定是否將封包丟棄來減低網路負荷的機制。

DiffServ 定義下基礎 PHB:

1.Expedited Forwarding (EF):這是最高等級的服務行為，必須提供 Traffic Stream 足夠的資源以降低任何網路壅塞時可能的延遲，適用支援 VoIP 等對延遲時間極度敏感的服務。

2.Assured Forwarding (AF):此等級服務提供較 EF 為寬鬆的 QoS 保證，系統並不提供十足的資源以獲得絕對的 QoS 保證。當系統壅塞時，路由器得以視網路情況選擇捨棄封包或是降低服務品質，然而，DiffServ 更進一步依照資調的 Delay 敏感度高低將 AF 細分成四個等級 AF1 到 AF4，在各別針對四個 AF 等級以丟棄優先順序分成 low、medium、high 三個等級，在 DiffServ 架構下，AF 總共有 12 種不同的轉發行為。

3.Best Effort (BE):幾乎不提供任何 QoS 保證，是用於支援沒有特別 QoS 需求之服務(例如：email 或 ftp) 或是來自沒有 DiffServ 網域之 traffic stream。

2.4.2 IEEE 802.11e-DiffServ 的交互關係

綜觀整體網路拓譜，在端點與端點間都必須提供使用者適當的 QoS 保證機制，才能夠滿足多媒體使用者的頻寬需求，然而在實際無線網路的架構當中，無線使用者的資料傳輸通常必須跨越無線區域網路、有線乙太網路以及有線廣域網路環境多個網路，接下來將來探討要如在這無線區域網路在連結有線廣域網路的架構下，端點對端點間 QoS 機制的維持與轉換。

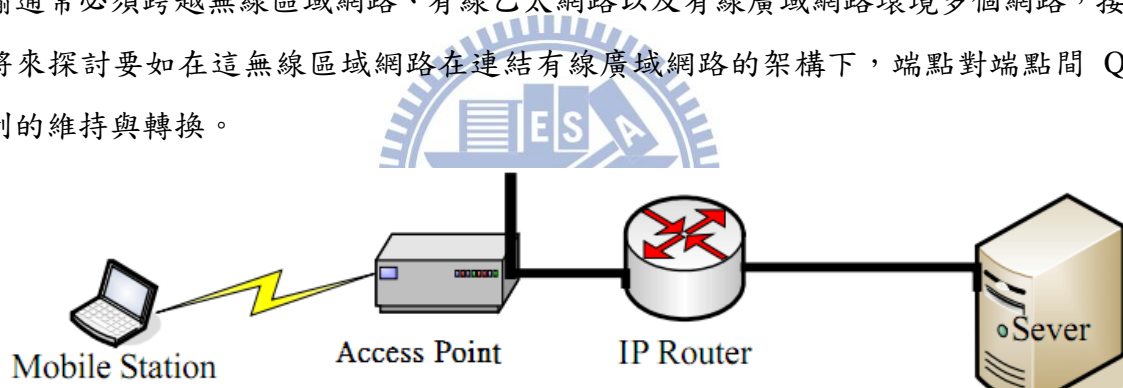


圖 2-11 點對點 QoS 網路架構

根據圖 2-11，將上圖的點對點架構分做兩個部分，首先針對無線區域網路方面，在支援 IEEE 802.11e 的 QSTA 和 QAP 之間使用 EDCA 的服務分級機制，然而在有線 IP 網路的部分當中使用 DiffServ 的 QoS 架構。在這個架構下，QSTA 須同時具備 DiffServ 與 EDCA 架構，上行的資料將先在 IP 層先針對不同 traffic flow 使用 DiffServ 機制計算出對應的 DSCP 值標註在 IP 檔頭當中，在將 IP 封包封裝成 802.11 的 MAC 層訊框格式，然根據不同的 DSCP 分配適當的通道優先權存取佇列，以 CSMA/CA 的方式進行傳送，然而接收到訊框的 QAP，會從 IEEE 802.11 訊框中讀取出 IP 訊框在依據 DSCP 值所對應的 PHB 並將 IP 封包轉發至有線 IP 網路當中。同樣地，對於經由有線廣域網路傳送到無線 QSTA 的下行資料也會在 QAP 端經過相同的轉換程序，來完成點對點的服務品質傳輸架構，EDCA 與 DiffServ 間轉換的方式如表 2-4:

表 2-4 QoS Mapping between DiffServ PHBs and EDCA ACs

Traffic Class	DiffServ PHB	DSCP Value	EDCA AC
Voice	EF	48~63	AC_VO
Video	AF12	32~47	AC_VI
Best Effort	AF22	24~31, 0~7	AC_BE
Back Ground	BE	8~23	AC_BK

2.4.3 WMM 驗證實驗

Wi-Fi 聯盟 (Wi-Fi Alliance) 基於 IEEE 802.11e 的標準制定了針對無線多媒體傳輸的 WMM(Wi-Fi Multi-Media)認證計畫，確保通過認證無線設備彼此間的相容性，然而 WMM 並沒有納入 IEEE 802.11e 中的每項提案，表 2-5 為 WMM 與 IEEE 802.11e 之間的支援對照表：

表 2-5 WMM 與 IEEE 802.11e 功能對照表

<i>IEEE 802.11e Features</i>	<i>WMM & WMM Power Save</i>
EDCA	YES
HCCA	X
Traffic Spec (ADDTTS/DELTS)	YES
Scheduled APSD	X
Unscheduled APSD	YES
Block Ack.	X
Direct Link Setup	X

然而接下來我們會利用實驗室的無線網路環境架構，來實驗的方式驗證擁有 WMM 功能的無線設備是否帶來的 QoS 效益。我們將實驗用的無線網路架設在校園內實驗室當中，以模擬實際辦公室的無線網路狀態，實驗所使用的無線 AP 與無線站點都為支援 IEEE 802.11n 的無線傳輸設備，並且將所有無線設備的發射頻率設定 2.4G 的 ISM 頻帶上，然而將無線 AP 與所有無線使用者都架設在 2 公尺的距離範圍內，讓各無線設備擁有良好的傳輸速度，接下來在每個無線設備安裝 IxChariot 軟體，IxChariot 為一套

專門計算網路效能的測試軟體，適用於各種區域網路的通訊協定類型，也可以被用來模擬真實網路型態的系統效能，是目前 Wi-Fi 聯盟指定用來測試 IEEE 802.11a/b/g/n 效能的軟體。它提供多種不同的網路傳輸應用範本，使用者可以在不同的節點間利用傳輸應用範本產生對應的訊務串流並可以隨著傳輸需求更改傳輸參數，同時 Ixchariot 也支援圖形化界面，可以即時畫出傳輸流量圖。

我們首先在無線環境中架設四個 802.11n 的工作站，在無線網路中產生四條 UDP 串流，給予各個串流不同的 DSCP 值以及不同的傳輸速率，來對應到 WMM 下的通道存取種類，設定如下：

- 1.DSCP=000000(AC_BE)，Data Rate: Unlimited；
- 2.DSCP=100000(AC_VI)，Data Rate:35Mbps；
- 3.DSCP=110000(AC_VO)，Data Rate:10Mbps

分別觀察當無線網路 AP 的 WMM 功能開啟與關閉時，系統吞吐量(throughput)、延遲變異量(Jitter)以及封包丟棄率(Packet Loss Rate)等傳輸質量參數的變化，除了可以達成驗證 DiffServ 架構與 WMM 機制的 QoS 連結機制之外，也可以進一步觀察 WMM 機制下各優先權存取種類的頻寬使用情形。

圖 2-13 與圖 2-12 分別為 WMM 開啟與關閉的狀況下，各種 DSCP 值串流間的流量關係圖。褐色線為 DSCP 轉換後代表 AC_BE 的串流，綠線代表 AC_VI 串流，紫色線代表 AC_VO 串流。傳送的前 10 秒，網路只存在 AC_BE stream，然後在 10 秒後 AC_VI Stream 開始加入傳送，接著在 20 秒時再加入了優先權等級最高的 AC_VO stream，實驗過程中逐漸加入高優先權的串流，觀察頻寬的分配情況。

在傳送的前 10 秒，網路中只加入 AC_BE 的 stream，可以發現 AC_BE stream 一開始就佔據了所有頻寬，然而在 10 秒過後 AC_VI Stream 開始加入傳送，從時間軸 10 秒到 20 秒之間，可以發覺 WMM 功能開啟與否的明顯差別，由於參數設定 AC_VI Stream 要佔用 35Mbps 的頻寬，WMM 功能開啟下的 AC_VI Stream 加入之後馬上降低了 AC_BE stream 的傳輸量，而 AC_VI stream 的傳輸量也能維持在 35Mbps 上下；相對於圖 2-13 當中，在加入 AC_VI stream 後，AC_VI Stream 的傳輸量大約只有在 25Mbps 上下，在 10 秒到 20 秒的區間之內，發覺 AC_BE 與 AC_VI Stream 都由於通道擁擠的情況下，降低了大約 10Mbps 的傳輸使用頻寬。

接著我們觀察在時間軸 20 秒過後，由於加入了優先權等級最高的 AC_VO stream，在 WMM 功能作用下，由於高優先權轉發行為的原因，AC_VO 的頻寬穩定維持在

10Mbps，而由於 AC_VO 的加入更進一步地壓縮了 AC_BE stream 的頻寬使用量，反觀同時間的 AC_VI Stream 佔用頻寬並沒有因為 AC_VO Stream 的加入而受到明顯影響，依舊能夠穩定維持所需傳輸頻寬。相對於圖 2-13，在 WMM 未開啟的狀況下，不同 DSCP 值設定的串流之間並沒有辦法在無線網路傳輸當中維持有效的依優先權高低來分配頻寬，對所有的串流皆一視同仁，沒有辦法有效地維持 DiffServ 架構下的傳輸品質。

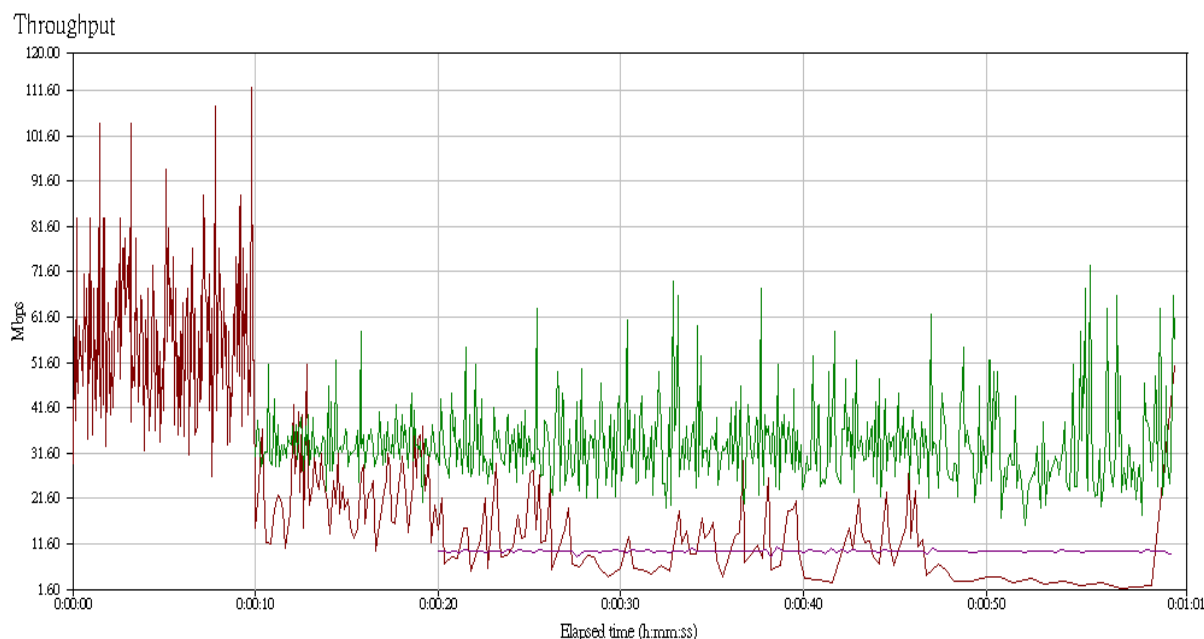


圖 2-12 WMM 驗證實驗圖(Throughput With WMM Function)

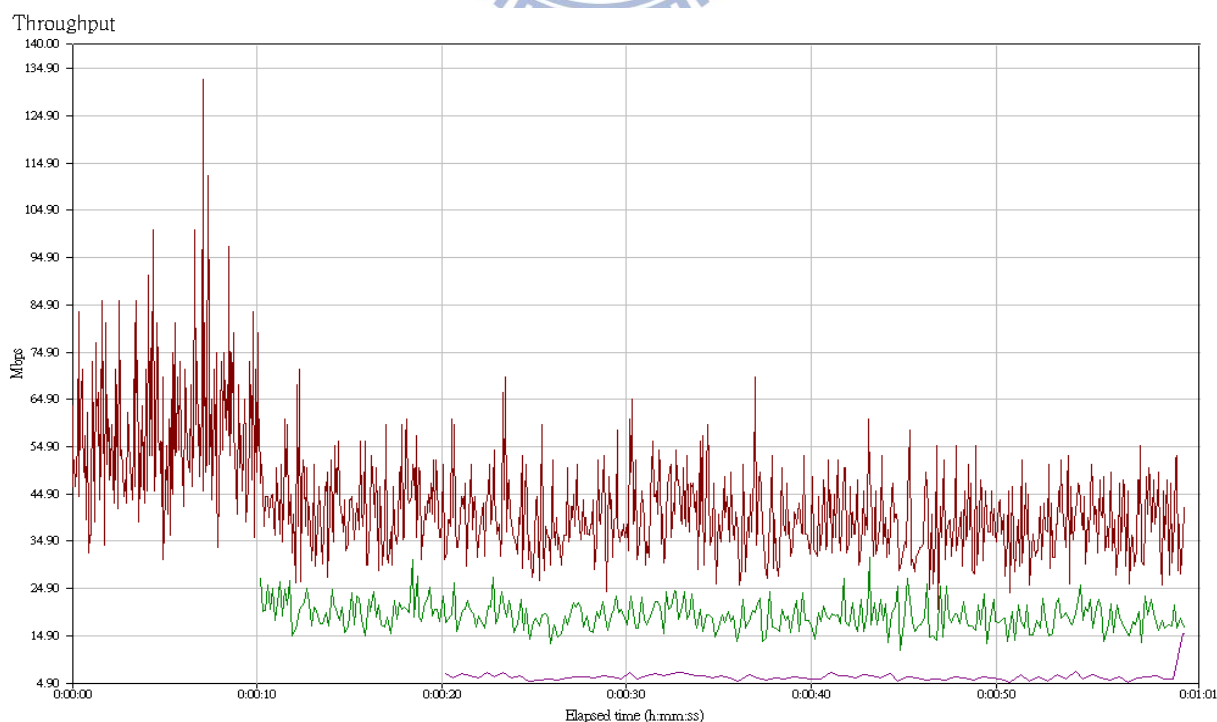


圖 2-13 WMM 驗證實驗圖(Throughput Without WMM Function)

接下來，會進行其他進階傳輸參數數據的分析，如 Jitter，封包遺失率及 Throughput 變異量等等：

表 2-6 WMM 實驗效能數據表

		DSCP=000000 (AC_BE)	DSCP=100000 (AC_VI)	DSCP=110000 (AC_VO)
With WMM	Throughput (Average)	17.662Mbps	32.316Mbps	9.946Mbps
	Throughput 95%信賴區間	2.337Mbps	0.634Mbps	0.061Mbps
	Packet Loss Rate	73.219%	6.965%	0.239%
Without WMM	Throughput (Average)	41.884Mbps	18.881Mbps	6.106Mbps
	Throughput 95%信賴區間	0.687Mbps	0.337Mbps	0.156Mbps
	Packet Loss Rate	37%	45%	38%

RFC 1889 Jitter

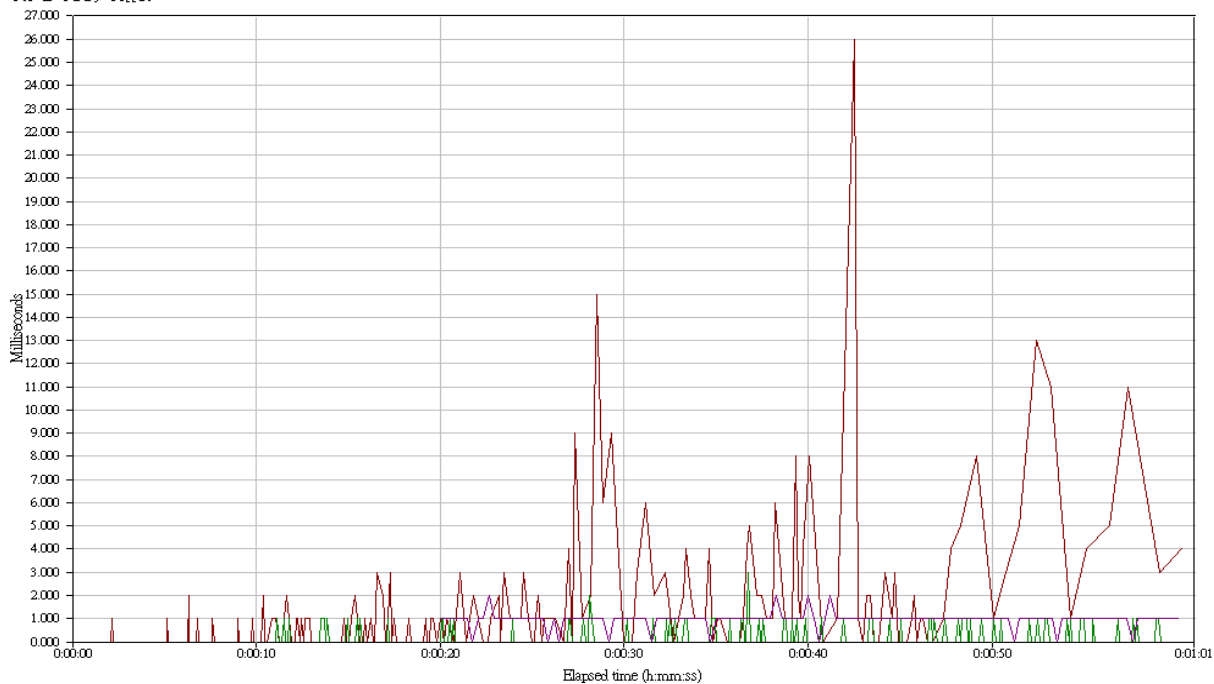


圖 2-14 WMM 驗證實驗圖(Jitter With WMM Function)

從表 2-6 與圖 2-14 當中，可以進一步地驗證了對 WMM 流量圖做出的觀察結果，除了 AC_BE 的資料流被分配到最少的傳輸機會之外，也可以觀察到 AC_VO 在吞吐量的變異情況上，擁有比 AC_VI 串流更穩定的流量表現，在實驗過程當中，速率的變化度相對 AC_VI 來的較小，推測這是來自於 AC_VO 的高通道使用機會，能夠穩定地在時間內將封包送出。另外因為所有實驗都假設在通道飽和的狀態之下，我們可以從 Packet Loss Rate 欄位可以明顯區別出 WMM 運作下系統優先權佇列的效果，在 WMM 運作的情況下，擁有越高優先權的種類，封包被丟棄的機率也是最低，而隨著優先權逐漸下降，封包丟棄率也隨之上升，同樣的狀況對比 WMM 功能關閉的狀況下，發覺三種不同 DSCP 值的 QoS 串流之間，彼此並沒有傳輸優先權的差別，在通道擁擠的狀態下，封包被丟棄的機率沒有明顯的差異。

從上述的實驗結果，成功驗證了圖 2-11 點對點 QoS 網路架構的交互關係，證明了 DiffServ 所提供的 IP 層 QoS 架構以及 WMM 支援的 EDCA MAC 層 QoS 架構兩個機制順利連結，並且能夠在傳輸過程中相互轉換對應的資料分級制度，完整了無線區域網路與有線廣域網路的連結下，傳輸服務品質概念的維持。



第3章 多速率無線網路效能剖析

無線環境當中，在 Infrastructure 的模式操作下，會以無線基地台當作訊號的發送中繼站，在這個情況下，AP 必須因應使用者在不同的距離或是障礙物的干擾的狀況下，基於各使用者間的通道狀態訊息(Channel State Information, CSI)，調整最適當的傳輸速率。基於 IEEE 802.11 標準的無線網路，當前主要有兩種獲取 CSI 的方法：對通道狀態訊息直接測量的方法和基於統計訊息的方法。

對通道道訊息直接測量的方法是直接測量通道的某一信息，如訊雜比(SNR)、接收訊號強度(RSS)、或者位元錯誤率(BER)等等，根據當下的通道狀況，更改使用者的傳輸速率，這個方式能夠快速地反應通道狀態。

而基於統計訊息的方法是統計在某一段時間內的發送訊框的傳輸結果，如錯誤率、ACK 成功接收次數、吞吐量等等，作為判斷無線通道狀態質量的依據。與直接測量通道訊息的方式相比，這種方法的顯著優勢在於簡單方便，可以直接通過編寫驅動程序來實現，因而目前很多無線設備廠商都選擇採用這種方式來實現傳輸速率的自適應性，如 ARF 協議會統計成功接收的 ACK 訊框的數目來判斷通道狀況。若傳送方連續兩次沒有成功接收到接收端回傳確認的 ACK 訊框時，通道就會被判定質量變差，進而改採用較低的傳送速率；然而若傳送方連續 10 次成功地接收到 ACK 訊框，則認定通道質量提高，因而嘗試提高訊框傳輸速率。使用該方法的侷限性在於假定始終以固定值 10 作為成功的判定值，並不能很好地反應即時變化快速的通道狀況。因此對於快速改變的通道，需要較低的成功判定值，而對於緩慢改變的信道，需要較高的成功判定值。ARF3-10 協議對 ARF 協議進行了改進，設定了兩個成功判第值 3 和 10，通道快速改變時採用值 3，緩慢改變時採用值 10，用以因應各種不同的無線通訊環境。

基於上述的自適應速率調整方式，造就了在單一無線基地台的傳輸範圍內，多種速率使用者共存的情形產生，然而在無線多速率環境之下，高低速工作站之間必須共用無線通道，在這個情況下，高速使用者會因會低速使用者的佔用通道時間過長的緣故而影響了傳輸效能，這個情況被稱之為無線效能異常，在接下來章節中將會從 MAC 層傳輸吞吐量的角度以數學分析及實驗模擬的方式來切入分析多速率使用者共存下對於整體系統效能產生的影響。

3.1 多速率共存下的 802.11 無線網路

我們首先假設在單一 AP 的區域無線網路當中有 N 個工作站在進行通道的競爭，然而其中 m 個工作站當下的傳送速率預設為 r ，而剩餘的 $N-m$ 個工作則以站傳送速率 R 來進行資料的傳送，然而無線中的基本傳送速率設為 b 。在 $R > r$ 的情況下，我們將傳送速率 R 的工作站視為高速工作站，傳送速率 r 的工作站視為低速工作站來，並且假定所有使用者不論速率都傳送相同的訊框大小： F_{data} bytes，將不同速率工作站得到一次通道傳輸機會時，所需佔用的通道傳輸時間分別(4)(5)表示：

$$\text{Transmission time(Fast Station)} = T_f = \frac{F_{data}}{R} + T_{sifs} + \frac{F_{ack}}{b} \quad (4)$$

$$\text{Transmission time(Slow Station)} = T_s = \frac{F_{data}}{r} + T_{sifs} + \frac{F_{ack}}{b} \quad (5)$$

(4)(5)當中的 $\frac{F_{data}}{R}$ 與 $\frac{F_{data}}{r}$ 分別代表高低速工作站實際傳送資料所需耗費的時間，而 T_{sifs} 則代表在資料傳送結束之後所需等待一個短訊框間隔時間過後才會接收到回傳的ACK，而由於工作站在回傳Ack封包時會使用網路中的最低基本速率 b 來進行傳送，所以不論高低速工作站的時間消耗值一致皆為 $\frac{F_{ack}}{b}$ ，而上述的 T_f 定義為高速使用者在傳送速率 R 時每次得到通道存取機會時完成一個訊框傳送程序所需要佔用通道時間， T_s 則定義為慢速使用者在每次得到通道存取機會時完成一個訊框傳送程序所需要佔用通道時間，然而在 $R > r$ 的前提之下，我們可以直接得到 $T_s > T_f$ 的關係。

接下來我們進一步分析高低速率使用者間在整體傳輸系統下的通道使用率 U_f 及 U_s ，由於CSMA/CA的通道存取方法，提供所有無線網路範圍內工作站通道存取的公平性，在經過一段足夠長的通道觀察時間之後，可以將網路當中的所有工作站通道存取機率視為相等；另外，我們會假定系統中的各速率工作站在每個單位時槽內都有資料需要進行傳送，也就是在每次通道空閒時都會有 N 個工作站來進行通道的競爭；在這兩點前提之下，可以將高速率站點以及低速率站點的通道使用率分別用(6)(7)表示：

$$U_f = \frac{F_{data}/R}{(N-m)T_f + mT_s + P_{colli} * E[T_{colli}] * N + N * T_{difs}} \quad (6)$$

$$U_s = \frac{F_{data}/r}{(N-m)T_f + mT_s + P_{colli} * E[T_{colli}] * N + N * T_{difs}} \quad (7)$$

(6)(7)當中的 Pcolli 為系統在通道空間時在 N 個工作站當中有兩個以上的工作站同時啟動傳送而產生資料碰撞的機率，然而 E[Tcolli]則代表站點在通道碰撞產生的前提下平均所需耗費的時間，由於在無線網路傳輸環境之下，當傳送資料發生碰撞時，工作站並沒有辦法即時發現訊框產生碰撞，依舊會傳送完完整的資料訊框，直到沒有收到接收端回傳的 ACK 封包時，才會將這次的傳送視為傳送失敗，為了方便分析，我們在這裡假設通道為 error-free，將傳送失敗的原因主要來自於工站間的碰撞。根據上述的討論可以發現，即便在訊框碰撞的情形之下，站點依舊需要耗費的一整個訊框的傳送時間，因此當訊框傳輸時間長短因使用者速率不同而產生改變時會造成碰撞平均消耗時間 E[Tcolli]也將隨之改變。

$$E[Tcolli] = T_s * \frac{\sum_{p=2}^m \sum_{k=1}^p C_{m-k}^{(n-m)} * C_k^{(m)}}{\sum_{p=2}^n C_p^{(n)}} + T_f * \left(\frac{\sum_{p=2}^n C_p^{(n-m)}}{\sum_{p=2}^n C_p^{(n)}} \right) + Tdifs \quad (8)$$

在(8)當中，我們分別計算在碰撞發生的前提之下，同時發動傳送的多個使用者當中包含一個以上慢速使用者的機率，以及所有碰撞使用者皆為快速使用者的機率；首先考慮有包含慢速使用者的碰撞情形，由於傳輸時間 $T_s > T_f$ 的關係，整體因碰撞所耗費的時間只需考慮 T_s ，然而在最左邊第一項再將 T_s 乘上在確定有碰撞產生的情況之下，且碰撞原因是源自有一個以上的低速使用者參與的機率： $\frac{\sum_{p=2}^m \sum_{k=1}^p C_{m-k}^{(n-m)} * C_k^{(m)}}{\sum_{p=2}^n C_p^{(n)}}$ ，然而(8)中的第二項則是計算當訊框碰撞的原因皆來自於高速的使用者時，所耗費的碰撞時間時短為 T_f ，在將 T_f 乘上碰撞皆來自於高速使用這的機率 $\frac{\sum_{p=2}^n C_p^{(n-m)}}{\sum_{p=2}^n C_p^{(n)}}$ 。從(8)式當中可以看出隨著無線網路當中的慢速使用者逐漸增加，所需耗費的平均碰撞時間也會隨之增加，然而不可避免的傳輸失敗時間加長勢必對系統傳輸量，即便在碰撞機率 Pcolli 沒有增加的情況之下，然而系統當中的各速率使用者也因為網路中使用者傳輸速率降低，而造成碰撞消耗時間的加長。

接著在表 3-1，我們將會以實際數值代入計算碰撞平均消耗時間 E[Tcolli]，與(6)(7)當中的高低速使用者的通道使用率 U_f 及 U_s ；首先我們先假設所需使用的傳輸參數：快速站點傳送速率為 10Mbps，低速使用者傳送速率為 2Mbps，訊框長度 Fdata 為 1000 bytes， T_{sifs} 為 10us， F_{ack} 為 20 bytes，基本傳輸速率 b 為 1Mbps，傳輸碰撞機率 Pcolli 為 0.1， T_{difs} 設為 20us；直接將數字代入計算，分析當無線範圍中共存十個使用者的固定變因下改變高低速使用者間數目時，觀察通道使用率的變化情形。

表 3-1 工作站速率與通道使用率間關係對照表

Number of Fast STA	Number of Slow STA	Total User	E[Tcolli]	Uf	Us
10	0	10	2.03ms	6.86%	X
9	1	10	2.35ms	5.23%	26.17%
8	2	10	2.67ms	4.22%	21.10%
7	3	10	2.99ms	3.53%	17.65%
6	4	10	3.31ms	3.04%	15.21%
5	5	10	3.63ms	2.67%	13.34%
4	6	10	3.95ms	2.47%	12.34%
3	7	10	4.27ms	2.14%	10.70%
2	8	10	4.59ms	1.95%	9.75%
1	9	10	4.91ms	1.79%	8.95%
0	10	10	5.23ms	X	8.33%

(6)(7)當中的通道使用比例，Uf 及 Us 是假設在 N 個通道使用者競爭通道的情況之下，在長時間的觀察下來每個使用者存取通道的機會皆為相等，在一段時間內的傳送次數也可以視為相等，所以單一使用者在得到兩次通道傳送機會間的平均等待時間為其它 N-1 個使用者的資料傳輸時間在加上 N 次傳送過程中必須經過的碰撞時間期望值，在這個情況下，因為慢速使用者傳送訊框的時間較長，除了造成碰撞平均時間加長之外，也會造成高速使用者必須經過的傳送等待時間增加。這個現象可以進一步的從表 3-1 中再次驗證，可以從表 3-1 工作站速率與通道使用率間關係對照表中推斷出慢速使用者的通道使用比例較高是來自於對高速使用者的通道使用時間比例的打壓，在高速使用者在總使用者數目比例增加時，低速使用者的佔用時間比例會也隨之增加。另外，我們可以觀察到高低速使用者的通道使用比例的比值，會與高低速使用者的傳輸速率比值成反比；如表 3-1 高速使用者比低速使用者的傳輸速率比值為 5 倍，然而高速使用者與低速使用者的通道使用比例就會接近 1/5，證明了當無線網路內高低速傳輸速率的站點共存的情

況下，低速工作站必須使用較長的通道時間來彌補低傳輸速率下的傳輸量劣勢。

接下來，在計算出各速率工作站間的通道使用率之後，可以進一步著手計算各速率使用者實際的吞吐量，由於通道使用率代表不同使用者在兩次傳送時間間隔內所需的等待時間與實際資料傳送時間的比例，將這個比例乘上傳送速率後我們可以直接計算出整體系統的吞吐量，我們將高速及低速站點的傳輸吞吐量分開計算如(9)(10):

$$Thput. fast = U_f * \frac{F_{data}}{F_{data}/R} = \frac{F_{data}}{(N-1)T_f + T_s + P_{colli} * T_{colli} * N + N * E[T_{bc}]} \quad (9)$$

$$Thput. slow = U_s * \frac{F_{data}}{F_{data}/r} = \frac{F_{data}}{(N-1)T_f + T_s + P_{colli} * T_{colli} * N + N * E[T_{bc}]} \quad (10)$$

從(9)(10)中可以推導結果發現，在高低速使用者並存的環境之下，高低速使用者的整體傳輸量會趨近於相等，原因來自於通道時間的分配不均，而在不同速率使用者之間達成**傳輸量的平衡性**。造成儘管擁有良好傳輸品質的高速使用者也會因範圍中低速使用者的加入而造成傳輸量的限制，造成無線網路範圍中的高速使用者通道使用時間比例過低，這是由於各使用者間傳輸機率相同的狀況下，即便低速使用者的傳輸速率為高速站點的十分之一，但是低速站點佔用通道的時間卻會是高速站點的十倍，這將會大大地影響高速使用者的傳輸效能，然而時間分配不均的影響情況也會隨著低速站點的數量增加而隨之加劇。

High Speed STA

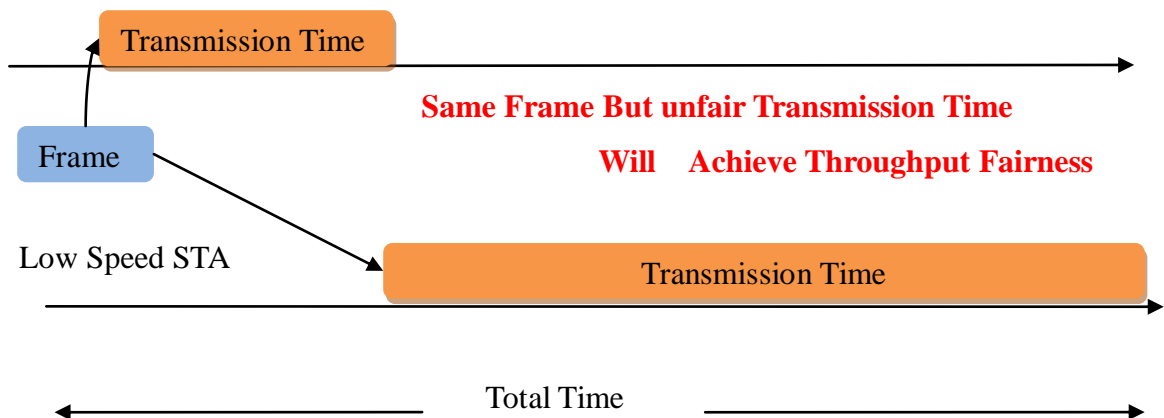


圖 3-1 多速率共存下傳輸時間分配不均示意圖

3.1.1 多速率共存模擬實驗

從(9)(10)的結果可以得知在多速率使用者共存的狀況下，各速率使用者將會趨近於吞吐量的平衡，並且平衡會趨近於低速使用者的傳輸水平，在數學推導之後，我們打算實際利用網路模擬軟體 NS-2 來佐證推導的結果，實驗環境設定如下：

首先我們在無線網路當中產生兩個工作站，我們使用 802.11b 的實體層標準做為模擬基礎，兩條串流一開始的傳輸速率皆設為 802.11b 所支援的最高傳輸速率 11Mbps，並設定兩個使用者分別傳送 2Mbps 的 UDP 資料給 AP，接下來其中一個使用者(圖 3-2 紅線)在 10 秒會將速度降到 1Mbps，在 20 秒時再將速度改變到 2Mbps，在 30 秒時會再將速度提升到 5.5Mbps，最後在 40 秒時結束傳送，而另一使用者(圖 3-2 藍線)在模擬的過程當中始終維持 11Mbps 的傳輸速率，在這個狀況下觀察無線網路中共存站點的速率改變，對其餘站點的影響。

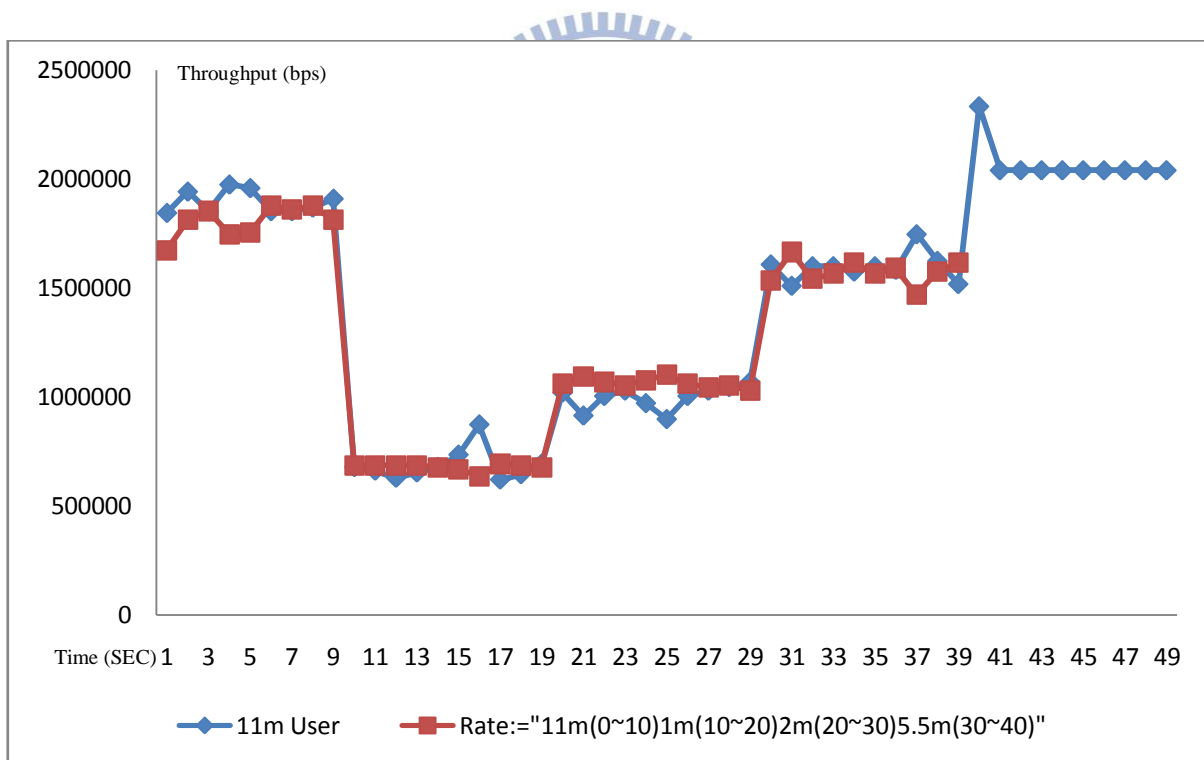


圖 3-2 多速率共存下的吞吐量公平性

經由圖 3-2 成功佐證推導，從圖 3-2 可以明顯觀察出當紅線使用者的傳輸速率改變時，將會造成高速使用者的吞吐量也會跟著影響，然而高速使用者的吞吐量影響程度是會下降到紅線使用者的速率等級，結果如同(9)(10)的推導結果，證明了在多速率無線設備共存的狀況下，各速率使用者間會達到傳輸量平衡的現象。

3.2 多速率網路下的時間公平機制

延續上述討論，發覺多速率共存下所造成的傳輸量平衡源自於時間分配的不公平性，為了消除時間分配的不公性，必須依照速率比例來降低低速使用者的通道存取時間，以達到符合傳輸速率分級的系統吞吐量，對於這個議題有很多相關研究的解決方案陸續被提出，在經由統整過後我們將之整理成以下幾種的方式：

3.2.1 Maximum Transfer Units(MTU) Size with Rate Adaption

如同上述所探討的，多速率無線網路效能異常的情形來自於當高低速站點在傳送相同訊框大小下時低速站點佔用過長的通道存取時間。在這個情況下，假設我們依速率比例來修改工作站所使用的最大傳輸單元(MTU)的大小，就可以限制各速率站點間的通道使用時間，避免過長的使用情形產生，達成時間上的公平性。MTU 調整法則計算方式如下：

$$MTU(New) = \frac{R_{now}}{R_{max}} * MTU(Default) \quad (11)$$

上述假設傳送端工作站的傳送速率為 R_{now} ，而當前無線區域網路中預設的最高速傳輸速率為 R_{max} ，依照速率比值來修改每次傳送前最大傳輸單元的限制，可以限制不同速率的站點的通道使用時間近乎相等。

接下來，我們將使用動態速率 MTU 調整法則的方法重新計算出高低速使用者的通道使用時間比例與總體吞吐量後，結果如(12)(13)：

$$Transmission\ time(Fast\ Station) = T_f = \frac{F_{data} * R / R_{max}}{R} + T_{sifs} + \frac{F_{ack}}{b} \quad (12)$$

$$Transmission\ time(Slow\ Station) = T_s = \frac{F_{data} * r / R_{max}}{r} + T_{sifs} + \frac{F_{ack}}{b} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} Thput.\ fast &= U_f * \frac{F_{data}}{F_{data}/R} = \frac{\frac{F_{data}}{R_{max}}}{(N - m)T_f + m T_s + P_{colli} * E[T_{colli}] * N + N * E[T_{bc}]} * \frac{F_{data}}{R} \\ &= \frac{\frac{R}{R_{max}} * F_{data}}{(N - m)T_f + m T_s + P_{colli} * E[T_{colli}] * N + N * E[T_{bc}]} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Thput. slow} &= U_f * \frac{F_{\text{data}}}{F_{\text{data}}/r} = \frac{\frac{F_{\text{data}}}{R_{\text{max}}}}{(N - m)T_f + m T_s + P_{\text{colli}} * E[T_{\text{colli}}] * N + N * T_{\text{difs}}} * \frac{F_{\text{data}}}{r} \\
 &= \frac{\frac{r}{R_{\text{max}}} * F_{\text{data}}}{(N - m)T_f + m T_s + P_{\text{colli}} * E[T_{\text{colli}}] * N + N * T_{\text{difs}}} \quad (15)
 \end{aligned}$$

$$\frac{\text{Thput. slow}}{\text{Thput. fast}} = \frac{r}{R} \quad (16)$$

根據(12)(13)，在依速率調整訊框比例之後會使得高低速使用者的傳送時間 T_s 與 T_f 相等，在將 T_s 與 T_f 代入計算通道使用時間比例，從(14)(15)在 MTU 調整法則之下可以發現各速率的通道使用比例會相等，使用者間會達到時間上的平衡，然而當各速率站點使用相同的通道傳輸時間比例時，最後站點間的系統吞吐量比值會與傳輸速率成正比，符合傳輸速率越快的使用者，系統吞吐量越大的效果。

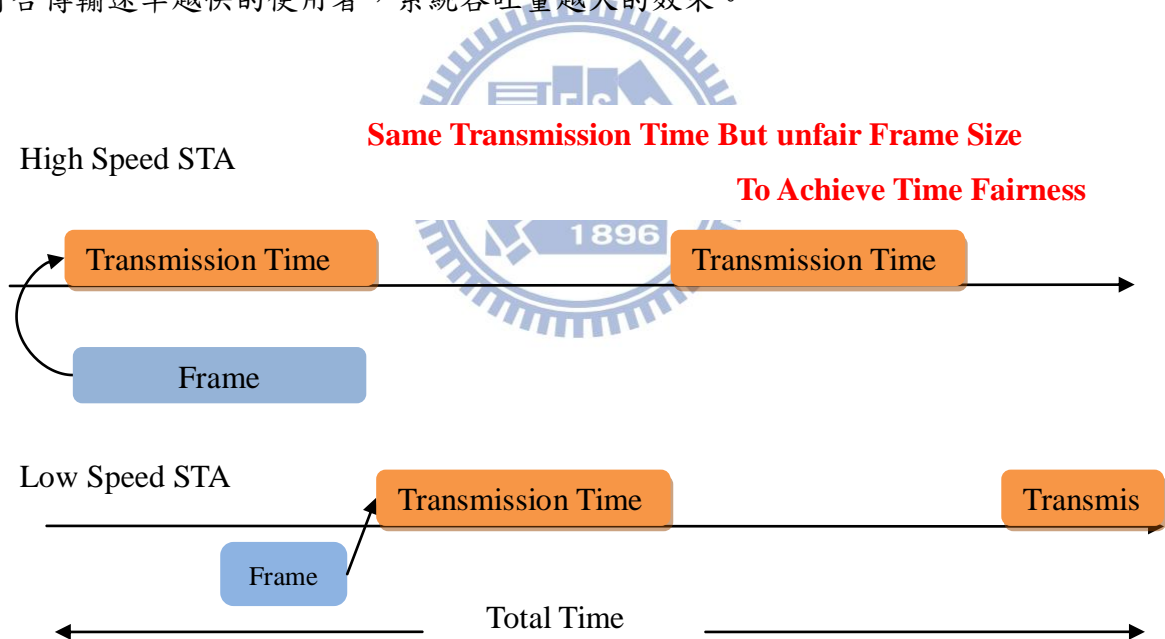


圖 3-3 MTU 調整機制示意圖

3.2.2 MTU 時間公平機制實驗

接下來，我們將會使用模擬方式來驗證在使用 MTU 法則會給予各速率使用者間正比的傳輸量，實驗配置如同圖 3-2，一開始無線網路中加入兩個 11Mbps 的 802.11b 使用者，隨著時間每經過 10 秒，其中一個工作站將會以 11M->1M->2M->5.5M 的方式

來變化傳輸速率，模擬目的為觀察當系統從單速率進入多速率環境產生時，高低速使用者間吞吐量的相互關係。

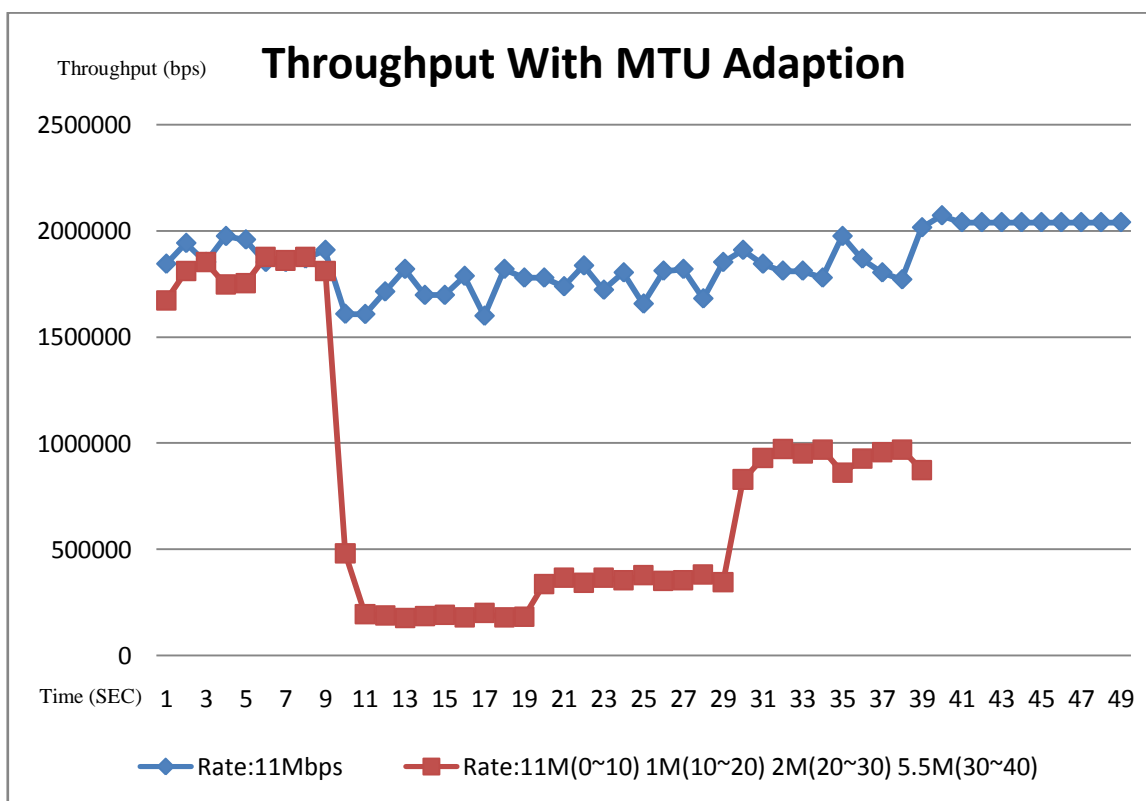


圖 3-4 MTU 時間公平機制模擬圖

從圖 3-4 可以看出，在使用 MTU 機制之下，即便紅線使用者速率隨著時間變化，雖然對高速的藍線資料帶來些許影響，但不再有因時間分配不均所產生的吞吐量平衡的情形產生，推測影響的原因來自於在無線網路中每次進行 CSMA/CA 通道存取時都必須有固定通道空閒時間的消耗，然而當調降低速使用者的封包時，低速使用者的 OverHead 比例也大幅增加，進而造成系統的整體吞吐量的下降，也間接影響到高速使用者的傳輸效率，使得高速使用者的吞吐量並沒有辦法維持在需求的 2Mbps。然而當我們將圖 3-4 與圖 3-2 進行比較之後可以更清楚的發現，即便低速使用者操作在相同的傳輸速率時，然而整體的傳輸量會比未調整前的多速率共存架構下降許多，我們可以將之解釋為在 MTU 時間公平調整機制的操作下，雖然能夠發揮高速使用者的最大傳輸效率，然而同時付出的代價則是對低速使用者的傳輸效率做出打壓。

3.3 Contention Window Size with Rate Adaption

為了解決時間分配的問題，MTU 調整法則以減少低速使用者的傳送時間來達成目的，

然而根據上述的實驗結果可以發現，當調降傳送所使用的訊框大小時，會因為過大比例的標頭檔浪費，造成系統最大傳輸效能的下降。為了因應這個情況，另一種達到時間平衡的方式被提出，以控制低速使用者通道存取的機率來取代了調降傳輸訊框時間的方法，這個概念，這個方式將不會改變低速使用者的傳輸時間，在每次得到通道存取之後，都可以傳輸完整的訊框大小，不需要對訊框做出分割動作，也就不會造成額外的標頭檔浪費，但是相對的低速站點的通道存取機會將會依速率比例調降，相較於高速使用者有較少的傳送次數來達到時間平衡的效果。

然而在分散式協調功能的架構當中，站點的通道存取機會與所使用 Contention Window Size 相關。因此假如我們依照無線區域網路中各工作站間的速率比值來決定使用者在訊框傳送資料前所需要使用的隨機倒退 Window Size 大小，就可以利用通道存取機會來達到站點間的通道時間配置：

$$CW(\text{New}) = \frac{R_{\max}}{R_{\text{now}}} * CW(\text{Min}) \quad (17)$$

由於隨機倒退時間的取樣，會在 0 到 Contention Window Size 之間，採用均勻取樣機計算出的隨機整數來代表傳送所需前置等待的時槽個數，所以當傳送所使用的 Contention Window Size 依據速率高低而增加一定倍數時，站點實際所需等待的平均時槽數 $E[\text{Nbc}]$ 隨之增加對應的倍數，

$$E[\text{Nbc}] = \frac{CW(\text{New})}{2} = \frac{CW(\text{Min}) * R_{\max}}{2 * R_{\text{now}}} \quad (18)$$

因此當假設高速工作站與低速工作站之間的速率差為五倍時，在 Contention Window Size Adaption 的方法下，低速使用者要使用起始設定五倍的 CW 值來進行隨機倒退過程，而如同式(18)，低速使用者平均隨機倒退時間也將會是高速使用者的五倍，在一段足夠長的觀察時間之下，可以視為平均高速使用者經過五次傳送的隨機倒退時間之後，低速使用者才能將一次的隨機倒退計時器做歸零。也就是說在短時間的觀察下，低速率使用者依舊佔用了較長的通道傳輸時間來完成訊框的傳送，但是把觀察時間拉長後，高低速使用者的傳輸次數比值將會與速率成正比，高低速使用者間會漸漸趨向於通道時間平衡性。

接下來，我們將 Contention Window Size Adaption 的方法，帶入計算各速率使用者

間的通道使用比率與吞吐量的計算:

$$U_f = \frac{\frac{R}{r} * \frac{F_{data}}{R}}{\frac{R}{r}(N-m)T_f + m T_s + P_{colli} * E[T_{colli}] * [\frac{R}{r}(N-m) + m] + E[T_{bc}] * [\frac{R}{r}(N-m) + m]} \quad (19)$$

$$U_s = \frac{\frac{F_{data}}{r}}{\frac{R}{r}(N-m)T_f + m T_s + P_{colli} * E[T_{colli}] * [\frac{R}{r}(N-m) + m] + E[T_{bc}] * [\frac{R}{r}(N-m) + m]} \quad (20)$$

由於動態 CW 值調整方法，並不會對慢速使用者的通道使用時間造成影響，因此 T_s 與 T_f 的計算結果如同(4)(5)。然而因為低速率的使用者的通道存取機率降低，使得平均下來低速使用者在兩次成功過程中間，高速使用者平均傳送了 $\frac{R}{r}$ 次，如(19)(20)所示，我們將計算通道使用比例的觀察時間設定為慢速使用者的兩次成功傳送的間隔時間，期間將會經過 $\frac{R}{r}(N-m)$ 次的高速使用者傳送時間 T_f ， m 次慢速使用者傳送，在這段觀察時間當中，可以計算出高低速使用者的通道使用率會相等，有效地達成時間平衡的目的，讓使用者可以依據站點傳輸速率達成對應比例的系統吞吐量。

$$\begin{aligned} Thput. fast &= U_f * \frac{F_{data}}{F_{data}/R} \\ &= \frac{\frac{R}{r} * \frac{F_{data}}{R}}{\frac{R}{r}(N-m)T_f + m T_s + P_{colli} * E[T_{colli}] * [\frac{R}{r}(N-m) + m] + E[T_{bc}] * [\frac{R}{r}(N-m) + m]} * \frac{F_{data}}{R} \\ &= \frac{F_{data} * \frac{R}{r}}{\frac{R}{r}(N-m)T_f + m T_s + P_{colli} * E[T_{colli}] * [\frac{R}{r}(N-m) + m] + E[T_{bc}] * [\frac{R}{r}(N-m) + m]} \quad (21) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Thput. slow &= U_s * \frac{F_{data}}{F_{data}/R} \\ &= \frac{\frac{F_{data}}{r}}{\frac{R}{r}(N-m)T_f + m T_s + P_{colli} * E[T_{colli}] * [\frac{R}{r}(N-m) + m] + E[T_{bc}] * [\frac{R}{r}(N-m) + m]} * \frac{F_{data}}{r} \\ &= \frac{F_{data}}{\frac{R}{r}(N-m)T_f + m T_s + P_{colli} * E[T_{colli}] * [\frac{R}{r}(N-m) + m] + E[T_{bc}] * [\frac{R}{r}(N-m) + m]} \quad (22) \end{aligned}$$

$$\frac{Thput. slow}{Thput. fast} = \frac{r}{R} \quad (23)$$

從(19)到(23)的推導過程中得到結果，驗證了動態競爭窗口調整法則也是可以有效地在各速率使用者之間達到通道使用時間的平衡，在時間平衡的基礎上，各速率站點間的吞吐量結果也會達到與傳輸速率成正比關係。

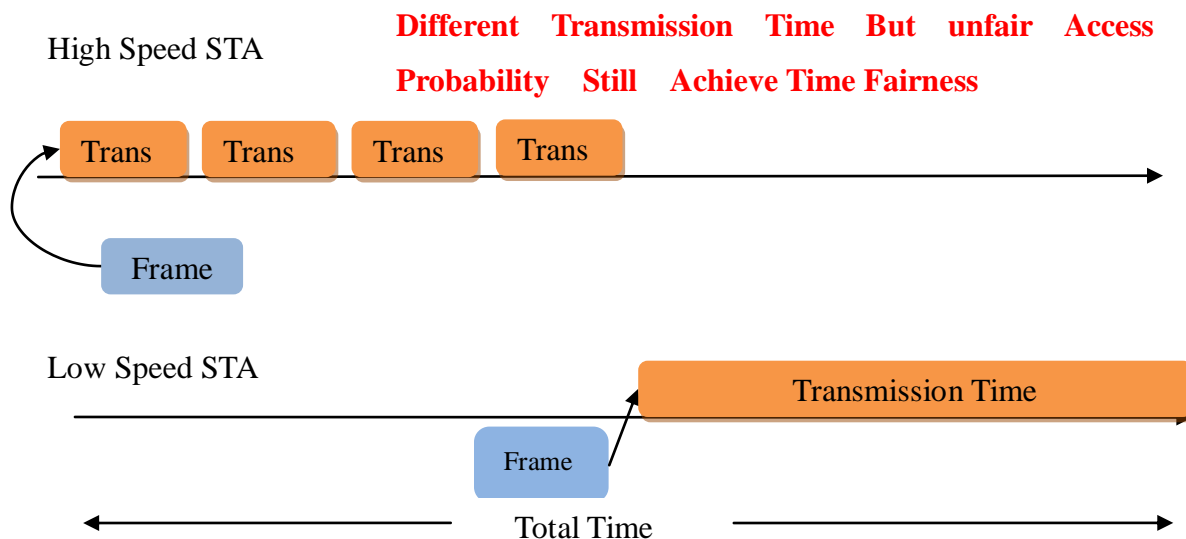


圖 3-5 動態 CW 值調整機制示意圖

由於動態 CW 值調整的方式給予不同速率站點不同的通道存取機率，這個情況也可以被視為對不同速率的使用者，做出優先權的分級，給予高速優先權的使用者優先的通道存取機會，同時則延後且減少了低速使用者的傳送時間。然而在這個依傳輸速率而進行分級的機制之下，雖然不會有如同 MTU 調整方式當中因為小訊框使用而帶來的標頭檔浪費，但是相對地使用過大的 Contention Window Size 依舊會帶來一些傳輸上的缺陷。因為 Contention Window Size 在 802.11 的架構當中同時也代表通道的擁擠程度，以 802.11b 物理層傳輸速率為例，802.11b 所支援的傳輸速率有 1m,2m,5.5m,11m 四種，在這個情況下， $\frac{R_{max}}{R_{now}}$ 這個關係式的最大值將會是 11，也就是說在這個使用這個方法，傳輸速率為 1Mbps 站點的 Initial Contention Window Size 的預設值將改為 341 個 Slot Times，這會使得當系統只擁有低密集度的傳輸流量，或是在大多數的站點都操作在低速率的狀態之下，使用 Contention Window Adaption 的方法，勢必會有過多的無謂通道閒置浪費在二位元隨機倒退的過程當中。

3.3.1 動態調整 CW 值機制實驗

接下來，我們將會使用模擬方式來驗證在使用動態 CW 法則下高低速率使用者間的

傳輸量關係，實驗配置如同圖 3-2，一開始無線網路中加入兩個 11Mbps 的 802.11b 使用者，隨著時間每經過 10 秒，其中的紅線工作站將會以 11M->1M->2M->5.5M 的方式來變化傳輸速率，模擬目的為觀察當系統從單速率進入多速率環境產生時，高低速使用者間吞吐量的相互關係。

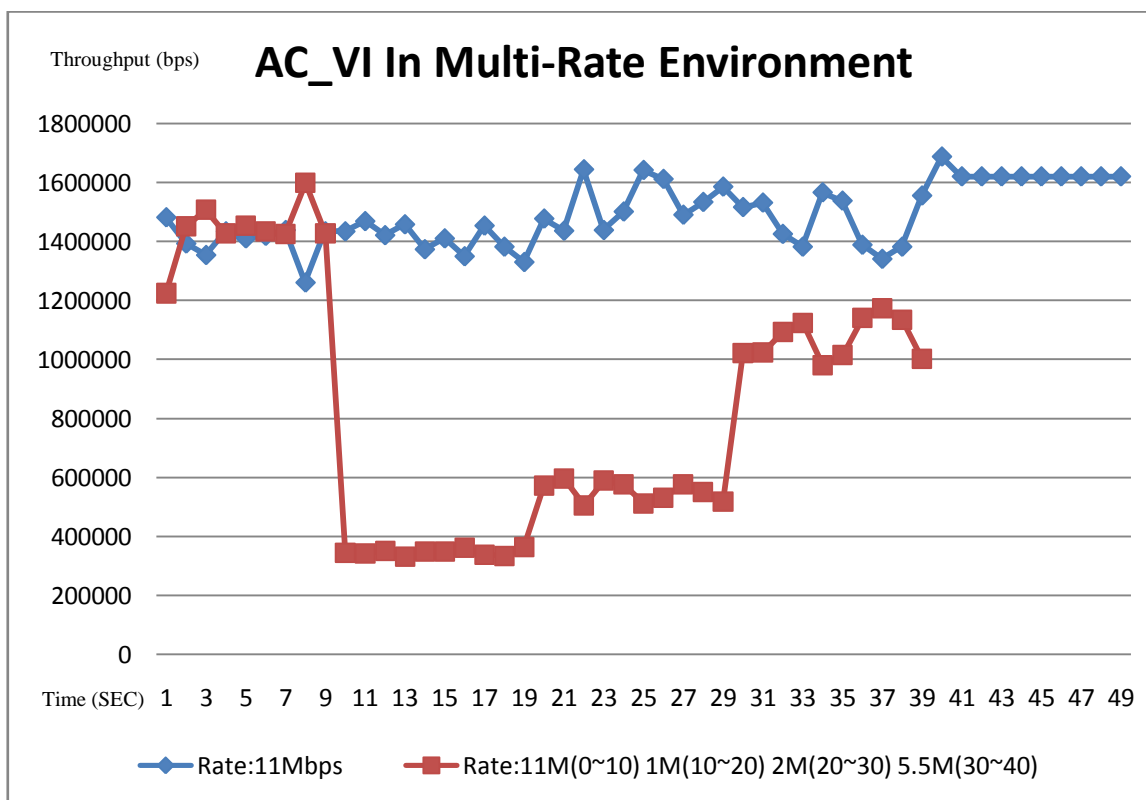


圖 3-6 動態 CW 值調整機制模擬圖

將圖 3-6 與圖 3-4 的兩種公平機制做比較，可以發現由於動態 CW 值調整方式不會對低速使用者造成更多的標頭檔浪費，整體系統總合傳輸吞吐量就不會受到額外影響，經由兩圖可以明顯比較出，當低速站點加入系統時，MTU 調整機制的浪費過多的傳輸資源在標頭檔的時間浪費當中，當系統隨著越多低速率工作站點加入時，也會越早進入系統的飽和狀態，因而降低了高速使用者的系統吞吐量，在圖 3-4 的 10 秒到 40 秒期間，高速使用者雖然因為低速使用者的速率上升，也稍稍提升了吞吐量，但卻依舊沒有辦法達到預設的傳輸量 2Mbps；

相較於動態 CW 值調整方法，在低速站點加入的 10 秒到 40 秒期間，高速幾乎完全取得通道競爭的優勢，擁有絕對優先權的結果使得高速使用者的吞吐量在整個模擬過程中都能夠穩定地達到需求的傳輸速率，並不會受到其他低速使用者的傳輸速率改變而跟著影響。反觀低速使用者，即便在相同的傳輸環境下也能夠比起動態 MTU 調整機制擁

有更好的傳輸吞吐量，無線低速使用者是操作在 1Mbps, 2Mbps 或是 5.5Mbps 之下，CW 值調整機制都相對擁有更好的系統吞吐量。分析其效能增益除了來自於避免了 MTU 機制下的系統 OverHead 之外，還因為 CW 值調整機制中的低速使用者選用較大 CW 值，能夠減小工作站間資料碰撞機會，同樣也帶來效能提升。

3.4 Packet Bursting

Packet Bursting 同樣地為了達到各速率站點間的時間公平性而提出，有別於前面兩種方式，Packet Bursting 以讓高速使用者連續傳送多個封包的作法來彌補高速使用者的時間不足，假設高低速使用者的速率比例為 5 倍，在這個情況下，高速使用者可以使用免競爭傳輸的方式連續傳送五個訊框，來達到與低速使用者的時間公平性。

這個方法理論上的確可以成功提升高速率站點的佔用的時間，但假如以實際的系統設計考量，假如要在 802.11 的分散式系統達成免競爭連續訊框傳送的效果，必須要在各工作站之間加入 802.11e 的 TXOP 概念，各站點必須依照本身傳送速率與系統支援的基本速率 b 做比較，得到所給予的連續傳送訊框的數目之後，在加上傳送多個訊框所需包含的 ACK 訊框傳送時間以及 Tsifs 間隔時間，才能計算出最終的 TXOP 值：

$$TXOP(New) = \frac{R_{now}}{b} * \frac{MTU(Default)}{R_{now}} + \left(\frac{R_{now}}{R_{min}} - 1 \right) * Tsifs + \frac{R_{now}}{R_{min}} * \frac{Fack}{b} \quad (24)$$

然而這個方法的使用必須更改原本 802.11 的架構，必須在各使用者之間都加入 802.11e 中的 TXOP 機制才得已完成，即便在 802.11e 的架構中，AC_BE 與 AC_BG 這兩種通道存取種類的 TXOP 功能都被關閉。因此無論在哪一種架構下，這個方式都必須對原本的 802.11 架構做出修改，在基於整體架構的共通性考量，我們選擇不採用 Packet Bursting 的方式來做為時間公平的調整機制。

第4章 802.11e 多速率公平性調整機制

4.1 EDCA 下的多速率無線網路

接下來，我們進一步分析 EDCA 功能在多速率無線網路環境下，各種通道存取種類間的平衡性，首先，我們先觀察低優先權等級的 AC_BE 與 AC_BG 資料，在這兩種低優先權的通道存取種類中，EDCA 的 TXOP 功能將被關閉，EDCA 標準中將這個種類的 TXOP Limit 預設為零。在這個狀況下低優先權通道存取種類的資料傳送單位依舊如同分散式協調功能中限制為一個訊框，因此各速率工作站間的通道使用時間仍舊會與當下站點傳輸速率相關。因此在 EDCA 機制的運作之下，各速率工作站在傳送 AC_BE 以及 AC_BG 兩種通道存取種類時，會因為通道時間的分配不均而達到各速率使用者傳輸量平衡。

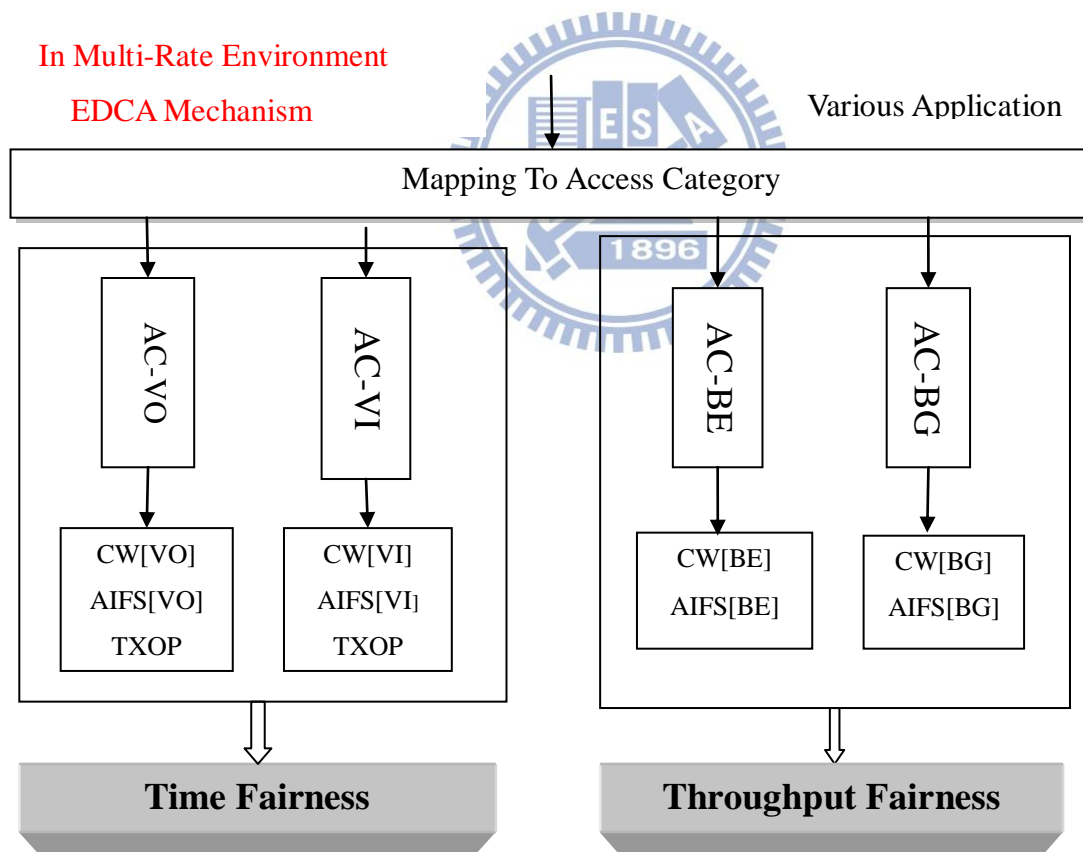


圖 4-1 多速率環境下 EDCA 各 AC 間的平衡性示意圖

然而當 EDCA 系統操作的通道存取種類為 AC_VI 與 AC_VO 時，由於 802.11e 對這

兩種通道存取種類引進了免競爭傳輸時間 TXOP 的機制，屬於 AC_VI 與 AC_VO 佇列的資料流，在得到一次通道傳送機會時，會在 TXOP Limit 上限內，有權力連續傳送多筆訊框。在這個情況下，各速率使用者在傳送 AC_VI 與 AC_VO 的資料時，通道的使用單位將從訊框數目改變為時間長短，且由於系統預設的 TXOP Limit 僅與通道的存取種類有關，不論速率的站點都被規定最高上限的使用時間。因此當不同速率站點在 EDCA 機制的運作下，高通道存取種類 AC_VI 與 AC_VO 佇列將會達到**傳輸時間上的平衡**。

儘管在 EDCA 機制之下，TXOP 制定目的是為了保障所有高即時性資料的傳輸頻寬，讓高優先權使用者在單一次的通道存取時間內，能夠盡可能地送完所有的在佇列等待的訊框，但是由於給予不同速率工作站之間固定的 TXOP 數值，這會造成多速率使用者之間頻寬保證分配不均的情況產生。

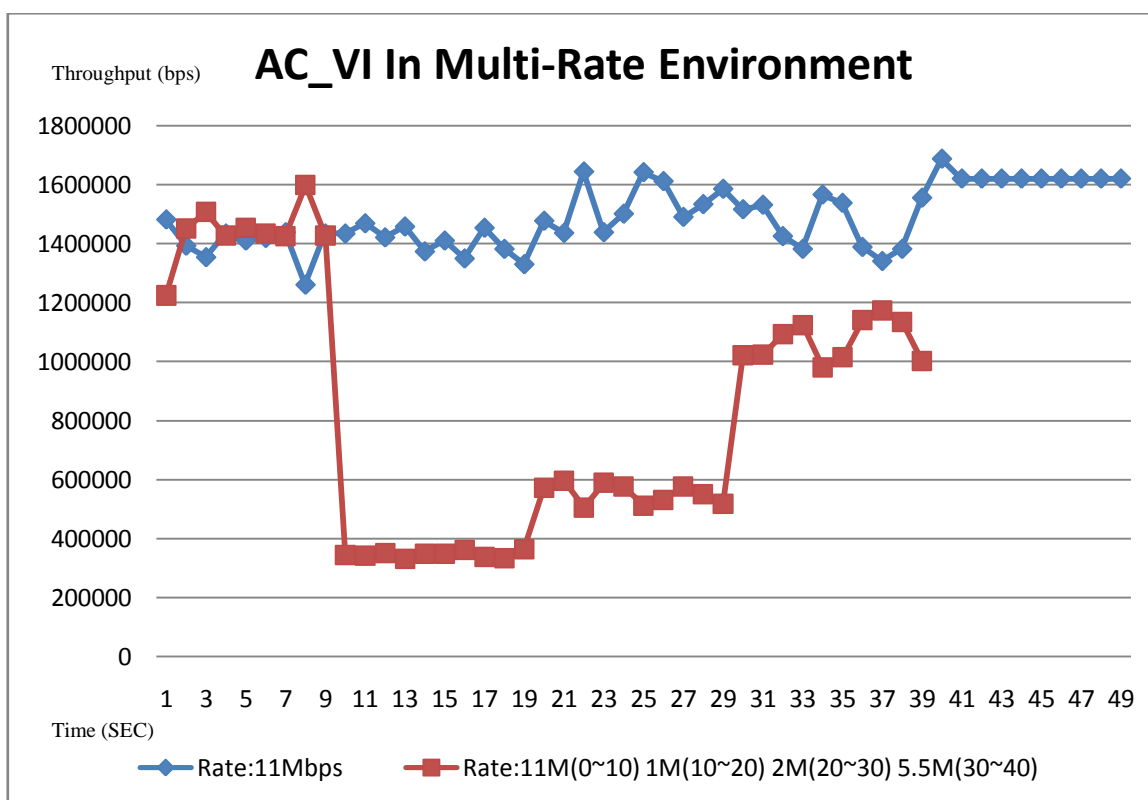


圖 4-2 EDCA 下多速率 AC_VI 共存模擬圖

接下來我們打算以模擬的方式來驗證 EDCA 下 AC_VI 類型的時間公平特性，模擬環境設定如下：在傳送的前 10 秒在無線網路中加入兩個 11Mbps 的 AC_VI 使用者，為了仿真影片串流，使用者每次傳輸的封包大小為一隨機變數，最大值為 500bytes，以避免低速率使用者在傳送單一封包時即超越 TXOP 上限，而影片串流的平均傳輸速率則設為 1.5mbps。在模擬實驗過程中，隨著時間軸每經過 10 秒，其中的紅線工作站將會以

11M->1M->2M->5.5M 的方式來變化傳輸速率，最後在 40 秒處結束傳送。目的為觀察當系統從單速率進入多速率環境產生時，高低速使用者間吞吐量的交互關係。實驗模擬目的為觀察當系統從單速率串流環境進入多速率共存環境產生時，高低速 AC_VI 工作站間吞吐量的交互關係。

從圖 4-2 看出，當以 EDCA 機制傳送影像串流時，各速率使用者之間並不會因為其他站點的傳輸速率產生變化而造成影響，高速使用者依舊能維持該有的傳輸品質，但另一方面來說，隨著速率的下降，影片串流的傳輸量就不能有效地維持，證明在 EDCA 的高通道存取種類在 TXOP Limit 的作用下，各速率站點間將由於時間公平性的效應，而引起傳輸量的不平衡現象。

4.2 新多速率公平調整機制

接下來將從另一個角度切入，對於在第三章當中所提到的三個多速率時間公平機制，我們也可以將它視為對高速和低速的站點做出優先權的分級機制，在多速率共存的狀況下，無論是降低低速使用者的傳輸效率或是降低低速使用者的通道傳輸機會，無疑是將擁有較快傳送速度的站點當作高優先權的傳送工作站，在這種依傳輸速率的分級制度操作下，必須對低速使用者需求的傳輸資料頻寬做出壓縮，才能達成系統傳輸量的最大化；反觀 EDCA 卻是依照資料間的不同傳輸需求來當作通道優先權的分級準則，以使用者間的傳輸服務品質做為主要的考量。然而由於無線網路傳輸頻寬上的限制，在不能同時兼顧兩種不同需要的情況下，我們必須依照實際的傳輸狀況來做兩者間的取捨，因此為了找到適用於無線多速率多媒體傳輸共存的環境，我們將會從 QoS 與系統效能的雙重考量下對 EDCA 系統做出進一步的調整。

首先我們先將四種通道存取分種兩類:AC_BE 及 AC_BG 定義為 non-QoS 通道存取種類，而將 AC_VI 和 AC_VO 歸類為 QoS 導向的通道存取種類，在兩種分類下，我們目標是打算將多速率站點間的多媒體傳輸資料，訂定各進一步的分級制度，首先針對 QoS 導向的資料 AC_VO 與 AC_VI，我們給予各速率的工作站間不同的傳輸時間長短，用時間上的分配來完成各速率工作站間擁有近似的頻寬保證，可以改善 EDCA 機制下低速率工作站傳輸時間受制於固定 TXOP 上限的問題。然而對於 non-QoS 導向的通道存取種類 AC_BE 與 AC_BG，我們打算以時間公平性的機制來限制低速率使用者的通道傳輸時間，在這個機制的運作下，我們對於 AC_BE 與 AC_BG 則進一步依照速率作出通道

使用優先權的分級，以保有高速使用者的傳輸優勢，改善 EDCA 機制下低速率使用者對高速率使用者的吞吐量影響，以最大化系統的傳輸效能。

然而為了這個完成新公平機制的概念，在以不改變原有 EDCA 架構的前提下，我們打算對於 non-QoS 導向的資料，分別選用 3.2.1 的動態 MTU 調整以及 3.3 的動態 CW 值調整兩種時間公平機制來達成各速率站點間的時間公平性。在針對 QoS 導向的通道存取種類 AC_VI 與 AC_VO 我們選擇採用動態速率 TXOP 調整的法則(25)，來完成各速率站點間的傳輸量公平性

$$\text{TXOP Limit(New)} = \frac{R_{\max}}{R_{\text{now}}} * \text{TXOP Limit(default)} \quad (25)$$

動態速率 TXOP 調整法則的概念是希望能以各工作站間的傳輸速率比例來讓各速率站點能使用不同大小的 TXOP Limit，運用這個方式，給於低速率站點更長的通道傳輸時間，希望即便是不同的速率站點在得到通道存取機會時都能夠連續傳送相同的訊框數目，以一致化高低速使用者在傳輸即時資料時傳輸品質。

In Multi-Rate Environment

New Fairness Mechanism

Various Applications

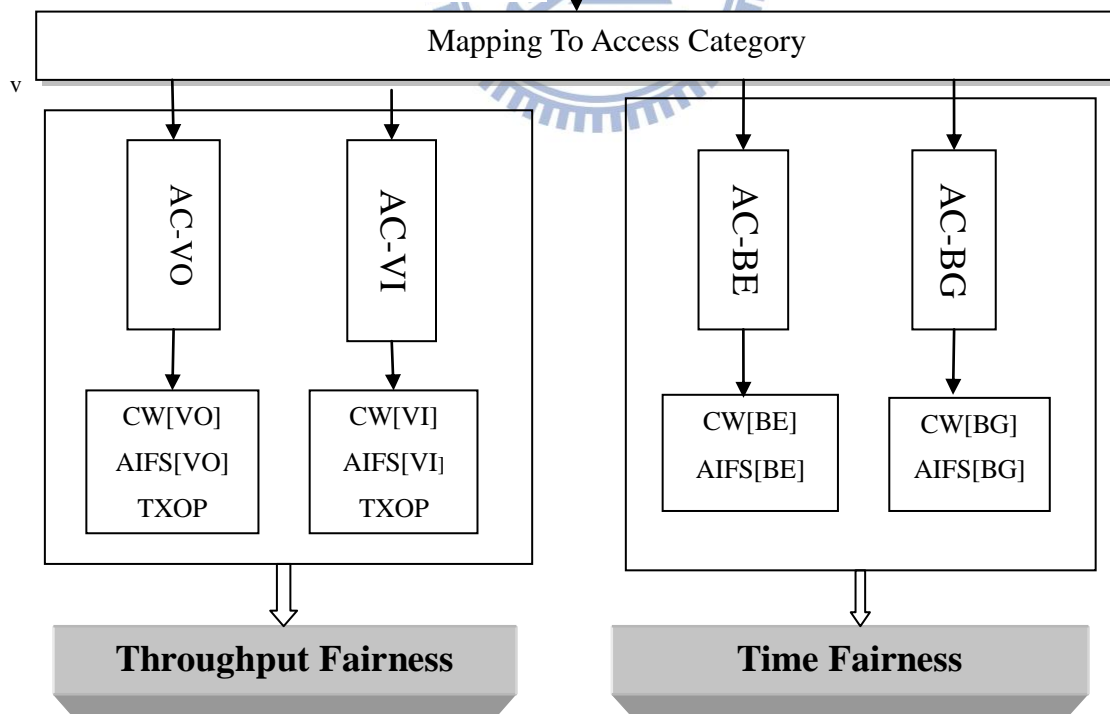


圖 4-3 新公平應對機制下各 AC 間的平衡性示意圖

第5章 實驗模擬與結果分析

5.1 模擬環境設定

在這個章節當中，我們使用了網路模擬工具 NS-2 來進行多速率多媒體無線網路的模擬實驗，模擬的無線標準採用的是 IEEE 802.11b 實體層傳輸標準，IEEE 802.11b 使用 DSSS 做為無線實驗層的調變方式，他支援範圍內的無線使用者四種不同的實體層傳輸速率(1Mb/s、2Mb/s、5.5Mb/s 以及 11Mb/s)。另外在模擬的無線區域範圍中的所有無線網路者都加裝由 TKN 撰寫的 NS-2 802.11e EDCF 模組[14]，讓所有模擬的無線工作站都具備有 EDCA 的通道存取架構，然而此模組所使用的四個優先權佇列參數設定如同表 2-3。

5.1.1 網路架構與參數設定

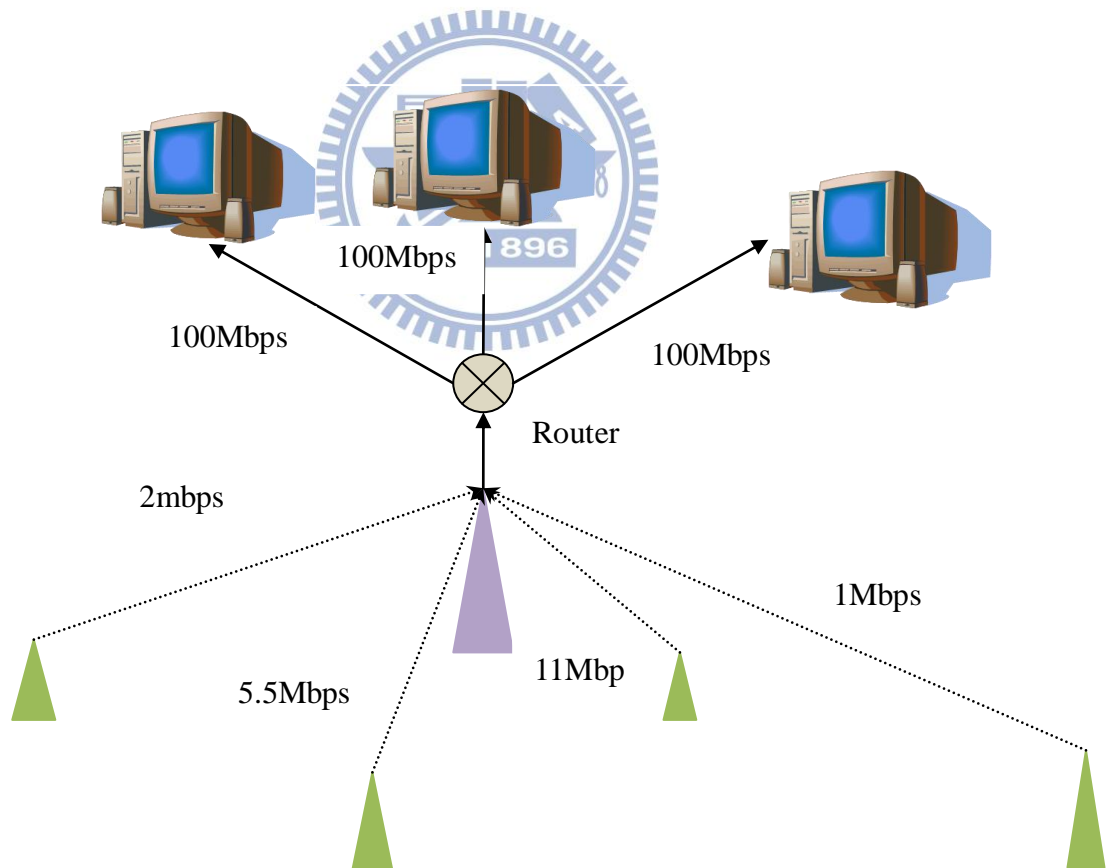


圖 5-1 模擬架構示意圖

圖 5-1 為配合多速率多媒體傳輸模擬實驗所設計的網路架構，圖中的虛線代表無線傳輸的連結，傳輸媒介為無線電環境，各無線設備之間將會使用四種不同傳輸速率來進行資料傳輸，而無線工作站也會依據當下應用層資料的優先權指派來轉換成四種 EDCA 通道存取種類的串流。然而由於實驗目的為觀察無線使用者之間資料傳輸的狀況，因此我們設定所有資料流方向皆為上行傳送，各個多媒體串流的傳送端只能是綠色的無線工作站，而接收端則為有線連結的工作站點，傳送中途必須要經過無線接取點 AP 以及有線路由器的轉發，如圖 5-1 所示，為了控制模擬變因，我們將網路拓撲中所有有線連結的傳輸速率都設定為 100Mbps，目的是在相較無線傳輸速率足夠大的情況下，我們可以忽略有線轉送所帶來的端點延遲。

另外在 NS-2 模擬當中，必須對無線網路中的無線工作站設定對應的 802.11 無線傳輸參數設定，設定如表 5-1，包含實體層標頭檔大小以及 2.1 節當中 MAC 層標頭檔大小，並將標頭檔傳輸速率設定為 1Mbps；然而由於實驗過程當中，有時會對傳送所使用訊框大小進行訊框，在這個情況下，為了控制 RTS/CTS 機制帶來的變因，我們將選擇不使用 RTS/CTS 的握手機制，因此將 RTS 極限值設為 3000bytes。

表 5-1 模擬參數設定表

Slot Time	20us
Sifs Time	10us
Preamble Length	144bits
PLCP Header Length	48bits
PLCP Data Rate	1Mbps
RTS Threshold	3000bytes
Short Retry Limit	7
Long Retry Limit	7
Queue Length	50
MAC Header Length	240bits
Basic Rate	1Mbps

5.2 模擬環境設計

我們將實驗設計成兩個部分，第一部分會先針對 EDCA 機制與新公平應對機制的服務品質做模擬比較，第二部分則是以兩個機制下的整體系統吞吐量來作為觀察目標。在實驗當中，我們選擇使用 AC_VO 以及 AC_BE 這兩種通道存取種類來代表 QoS 導向資料與 non-QoS 導向的資料。我們將語音串流的平均速率設定為 64kbps 封包間隔時間固定的串流，語音封包大小我們預設為 160bytes，也就是每經過 20ms 的間隔時間就會送出一個 160bytes 的語音封包內容在加上 20bytes 的 UDP 標頭檔。而在傳送 AC_BE 的佇列當中，使用平均速率 256kbps，而封包大小 1000bytes 再加上 20bytes 的 UDP 標頭檔，然而封包間隔時間為 exponential 分佈的資料流。

實驗 I：我們先在無線範圍內加入 11Mbps、5.5Mbps、2Mbps、1Mbps 四種速率的語音串流各一個以及 11Mbps、5.5Mbps、2Mbps、1Mbps 四種速率的 Best Effort 串流各一個，也就是說在系統起初網路內就存在有八條不同速率與類型的串流做為基礎架構，而且我們將以最初架構中的四條語言串流作為實驗過程中的觀察指標。

接下來，我們在無線網路範圍中陸續增加 11Mbps 的語音串流使用者數目，由於隨著 11Mbps 的語音串流使用者增加時，整體系統會逐漸進入飽和狀態，在這個狀態下逐步觀察系統在使用新公平應對機制與 EDCA 機制下四種速率的 Voice 串流各自的 End-To-End Delay 變化，以當作傳輸服務品質的判斷指標。另外，在使用新公平機制時，除了在高優先權佇列採用動態速率 TXOP 調整機制，在低優先權的佇列也會分別搭配**動態訊框調整**以及**動態 CW 值調整**兩種作法來交互比較。

實驗 II：在實驗 II 當中我們延續實驗 I 的基礎架構，先在無線範圍內放進四種速率的語音串流各一以及四種速率的 Best Effort 串流各一。

接下來，我們會分別以兩種不同的方式來增加網路內的負載:1. **11Mbps Best Effort User**，2. **2Mbps Best Effort User**，分別觀察在網路內的高低速低優先權使用者逐漸增加的情況下，整體系統吞吐量所遭受的影響。在這個實驗當中，我們計算系統吞吐量的方式是將系統中的所有資料流，無論語音串流或是資料串流，只要成功被接收端所接收的訊框都加總進行平均吞吐量的計算。同樣地我們會分別對新公平應對機制與 EDCA 機制做觀察，也會在新公平應對機制被使用時，在低優先權的佇列也會分別搭配**動態訊框調整**以及**動態 CW 值調整**兩種作法來交互比較。

5.3 實驗結果與分析

5.3.1 實驗 I: QoS 效能模擬

首先，先針對在多速率環境下當語音串流使用者逐漸增加時，對於最初系統中存在的四種速率 Voice Flow 使用者的端點延遲量做比較：

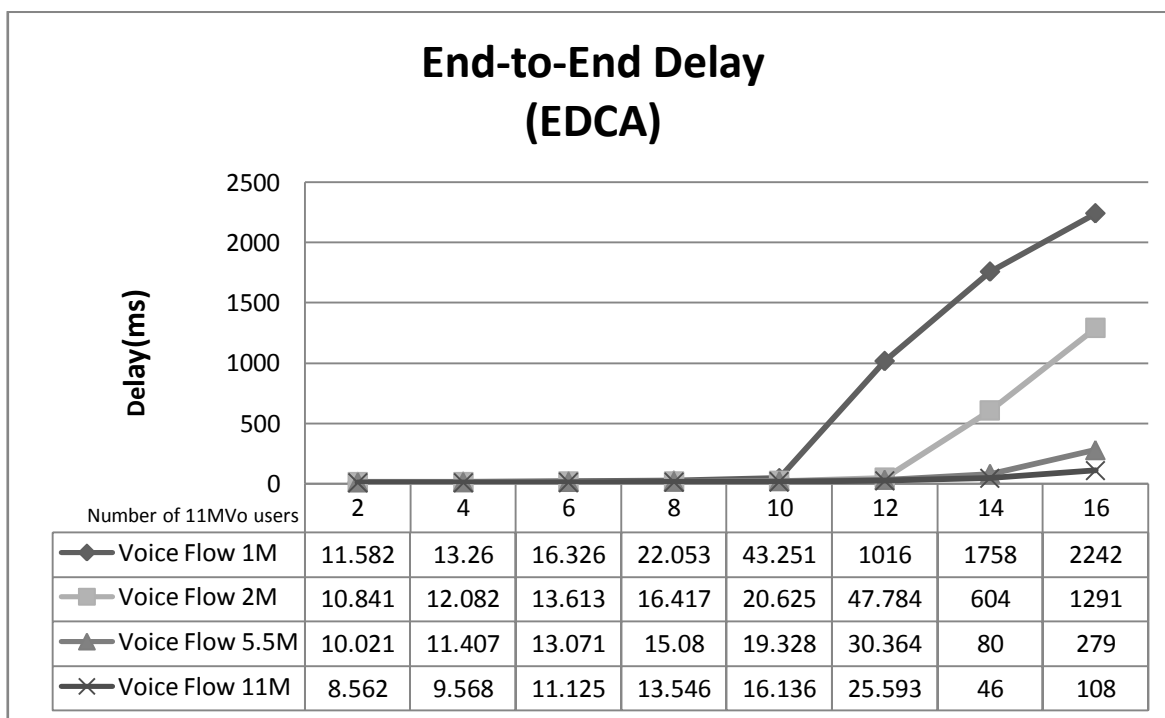


圖 5-2 多速率語音串流在 EDCA 下的延遲時間

如圖 5-2 所示，在 X 座標軸的左半部，各速率使用者在系統預設的 TXOP 上限之內都可以順利傳輸完佇列中的封包，然而隨著系統中的語音串流競爭者逐漸增加，低速率使用者的延遲量也開始急遽上升，假如我們以通常語言串流的建議延遲量 150ms 當作標準來審視，當系統在額外加入 12 個語音串流使用時，1Mbps 的語音串流使用者開始大幅超越建議延遲量標準，接下來依據速率從低到高的趨勢，隨著使用者逐漸增加而逐步超過 150ms。在模擬的最終能維持 150ms 延遲量需求的只剩下 11Mbps 的語音使用者。從圖 5-2 的模擬結果，成功驗證在 EDCA 機制的操作下，並不能給予各速率高優先權通道存取種類公平的頻寬保證效益；接下來，會在同個模擬劇本下，呈現新公平應對機制的模擬結果。

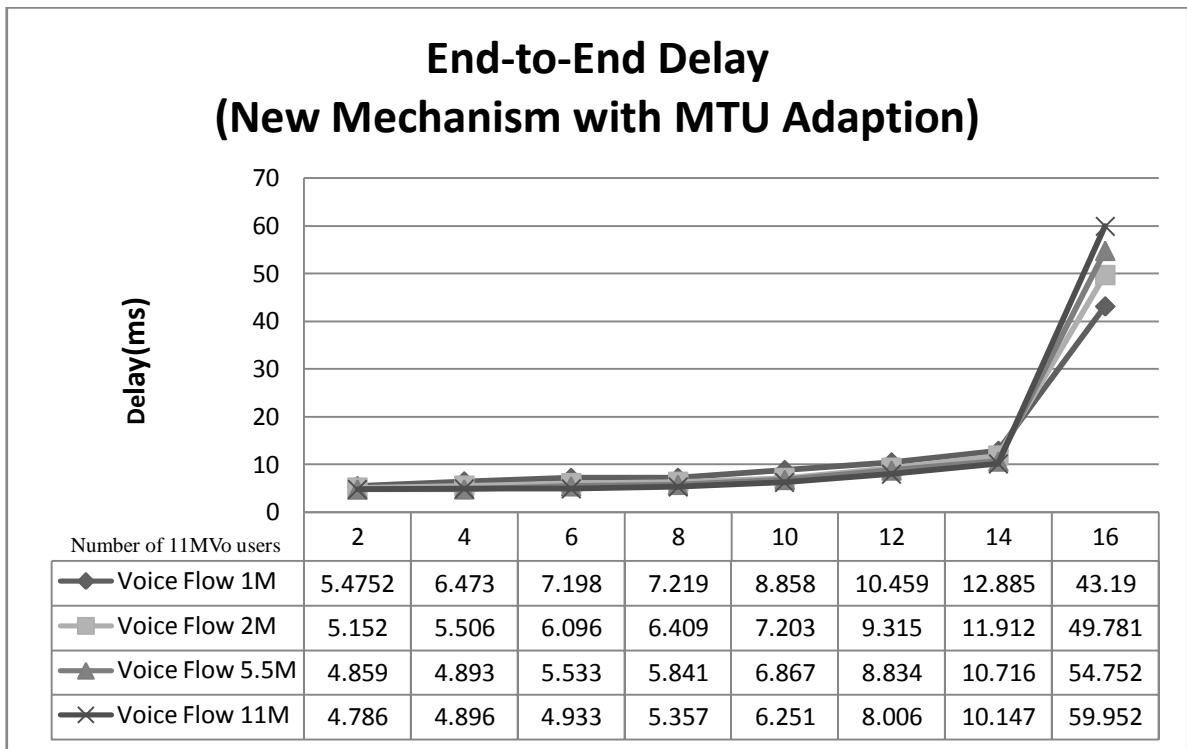


圖 5-3 多速率語音串流在新公平機制(動態 MTU 調整方式)下的延遲時間

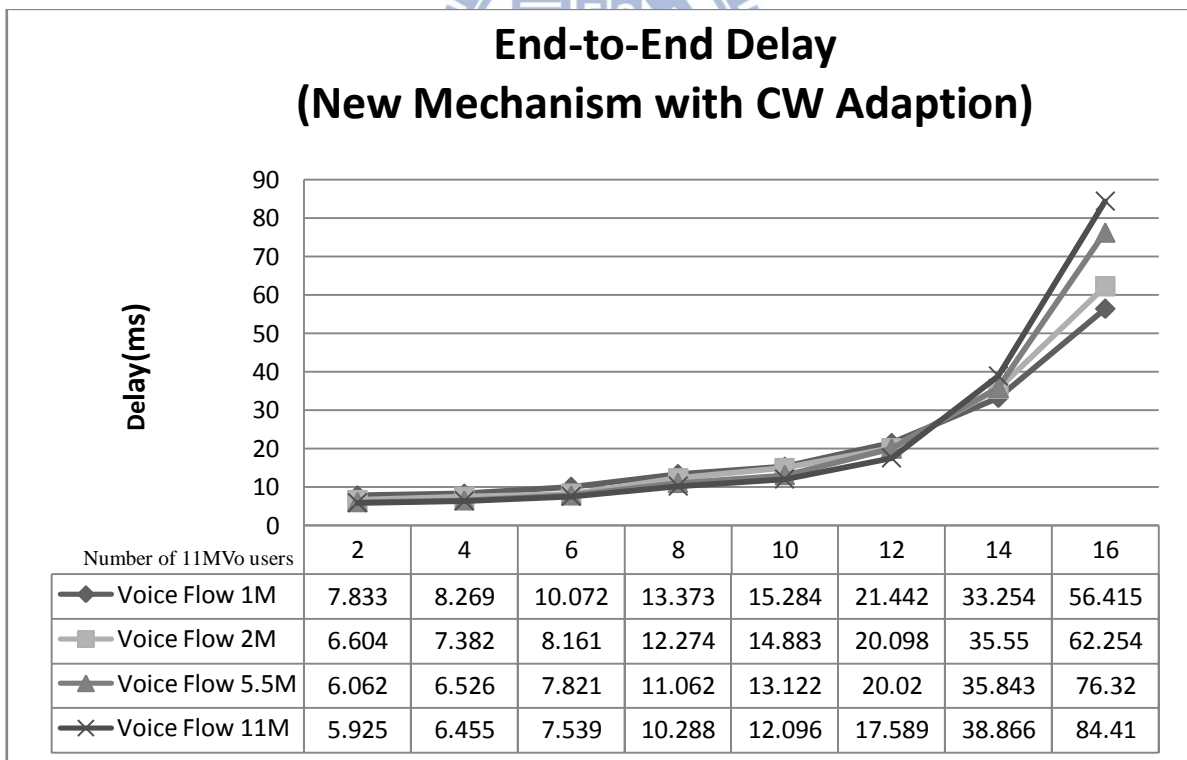


圖 5-4 多速率語音串流在新公平機制(動態 CW 值調整方式)下的延遲時間

將圖 5-3 與圖 5-4 模擬結果與 EDCA 機制做比較之後，可以明顯發現即便在不同的網路負載下，新公平機制下四種速率的語音使用者都能夠擁有相近的延遲量，這來自

於動態 TXOP 調整機制對於所有速率使用者一致性的服務品質保證。由於給予低速使用者更長的 TXOP Limit，能夠使得傳輸速率慢的使用者有更長傳輸時間來傳送完 QoS 佇列當中的等待封包，讓不同速率的 QoS 串流，都被賦予相同等級的傳輸質量。

另外，由圖 5-3 與圖 5-4 中同樣可以發現即便在相同網路負載之下，兩種新公平機制語音串流的平均延遲量也優於 EDCA 功能。在整個實驗過程當中各種速率的語音串流，都沒有超越語音的建議延遲量 150ms，推測增益來自於在 non-QoS 種類採用了時間公平機制的緣故，避免了低速率使用者傳輸 AC_BE 串流時佔據過長的通道時間，對高優先權的傳輸串流更好的服務品質，從圖中結果可以驗證，新公平機制的使用除了成功保證各速率高優先權通道存取種類的傳輸品質之外對，也能夠對整體系統效能帶來助益。

圖 5-5、圖 5-6、圖 5-7 當中我們進一步來觀察在 QoS 效能模擬當中，隨著系統中 11M 語音串流的使用者數目逐漸增加時，會對原本架構網路中存在的 11M、5.5M、2M 以及 1Mbps 的 Best Effort 串流吞吐量的影響趨勢。

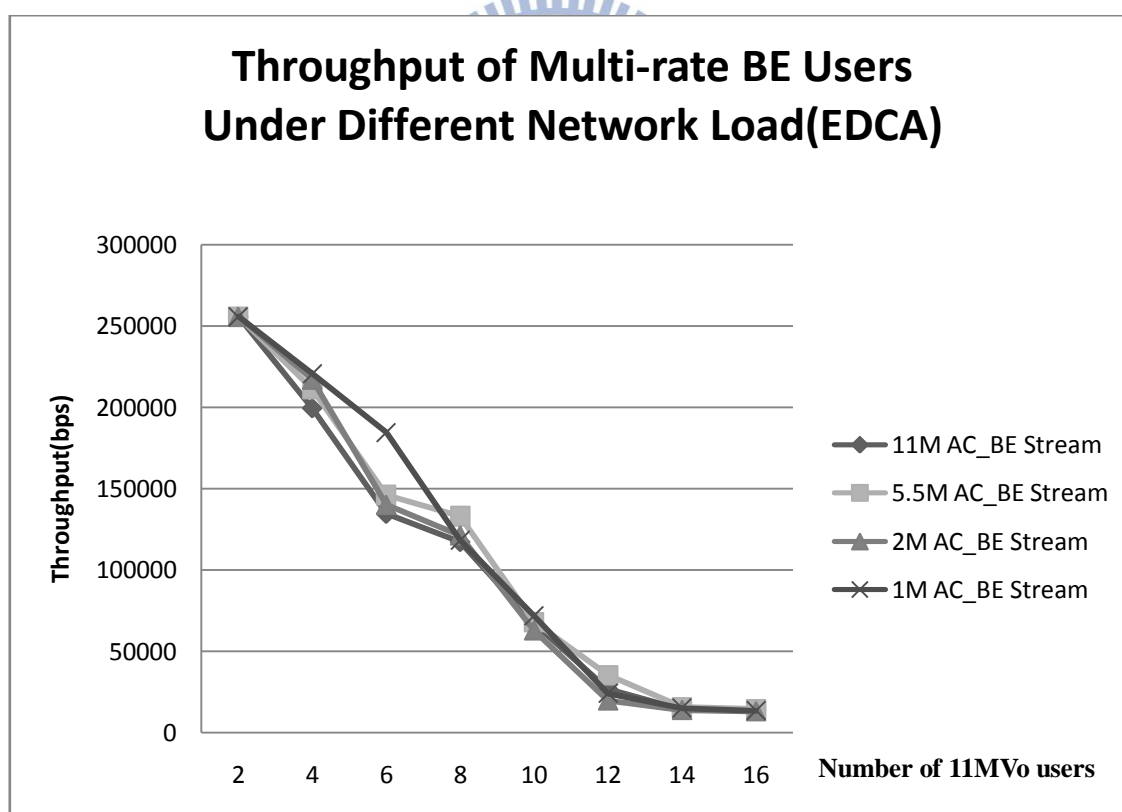


圖 5-5 多速率 AC_BE 串流在 EDCA 下的吞吐量

從圖 5-5 結果可以看出 EDCA 系統隨著範圍內的語音串流使用者增加，四種速率的 AC_BE 使用者會同時下降吞吐量並且達成吞吐量的平衡。

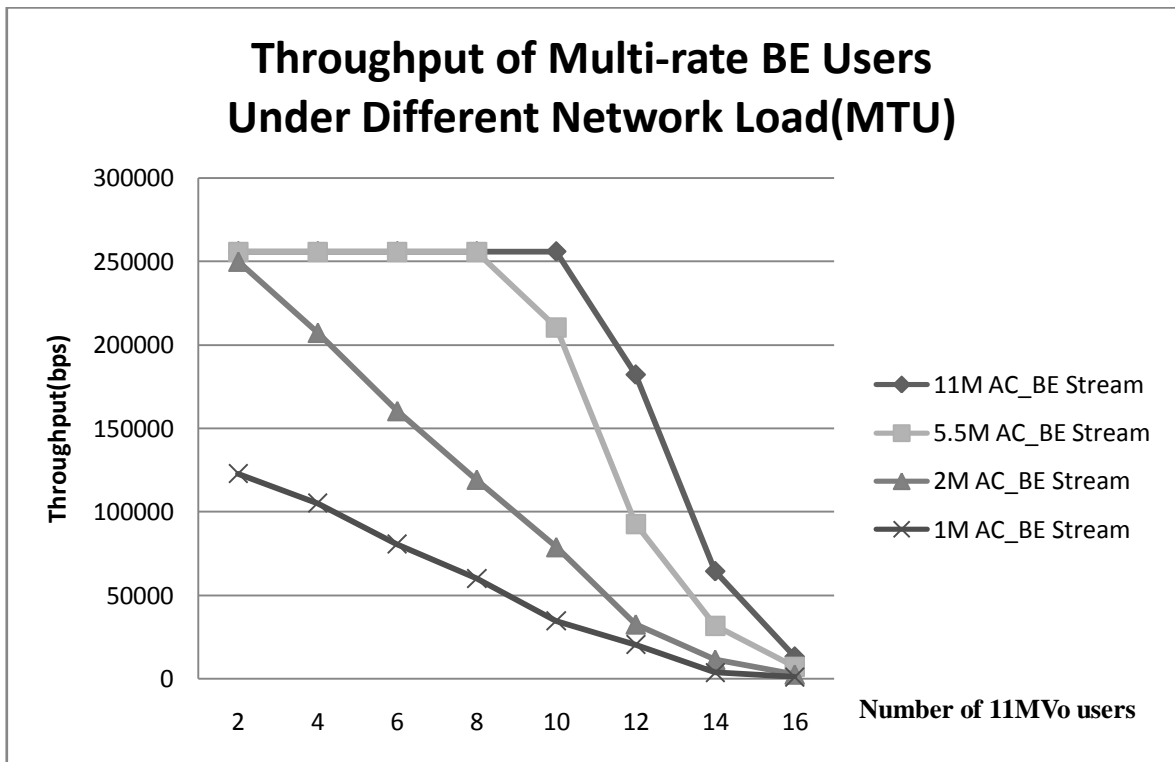


圖 5-6 多速率 AC_BE 串流在新公平機制(動態 MTU 調整方式)下的吞吐量

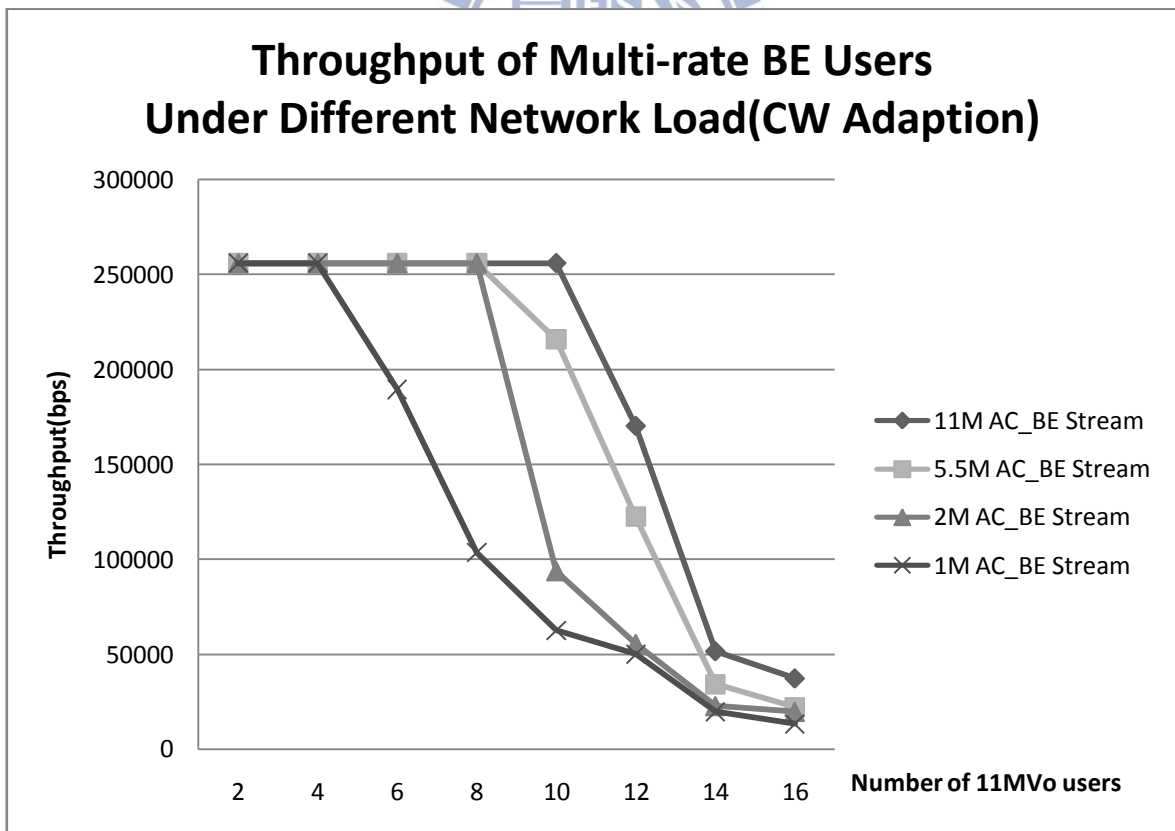


圖 5-7 多速率 AC_BE 串流在新公平機制(動態 CW 值調整方式)下的吞吐量

而從圖 5-6 以及圖 5-7 當中，可以看出新公平機制在操作時，在系統負載上升的

情況下，會先降低低速率使用者的傳輸頻寬，讓高速率的 AC_BE 使用者優先傳送，因此當語音串流數目逐漸增加，AC_BE 通道存取種類分配到的通道時間逐漸下降的情況下，新公平機制相較於 EDCA 系統提升了整體的傳輸效能。雖然效能增益來自於對於低速率低優先權種類資料的效能打壓，但也從模擬結果證明，這個打壓不但能夠對於高速率 AC_BE 串流做出傳輸量的增益，也同時可以對高優先權的 AC_VO 串流的 QoS 做出延遲量改善，因此我們認為這是能夠針對實際需求而作出的效能交易。

接下來我們將要進一步比較動態 CW 值調整與動態 MTU 調整兩種方式間的效能優劣。發現當新公平機制搭配動態 MTU 調整方式相較於搭配動態 CW 值調整機制帶來的增益較為明顯，動態 MTU 調整方式在系統額外加入 12 個語音串流使用者以前的平均延遲量都在 10ms 以內，然而動態 CW 值調整機制在系統額外加入 8 個語音使用者時延遲量即超越 10ms。為了分析 MTU 效能優勢的原因，我們將各速率串流的每個訊框延遲量做更細部地檢視發現原因來自於當搭配動態 CW 值調整機制時，某些語音封包的延遲量會突然急遽增加，推測原因來自於儘管來搭配動態 CW 值調整機制降低了低速 AC_BE 使用者的通道存取機會，但是低速 AC_BE 使用者通道佔用時間過長的情形依舊，會造成當下網路內的其他使用者語音佇列中的封包延遲量急遽增加；反觀搭配動態 MTU 調整機制時，即便在傳輸低速率的 AC_BE 串流，通道的使用時間已經被 MTU 所控制，並不會造成額外的延遲量上升，兩者相較之下，搭配動態 MTU 調整法則對於高優先權通道存取種類服務品質的維持上有些許的優勢。

最後在新公平應對機制的模擬圖當中會發現，當額外增加的語音串流數目達到 14 個以上時，高低速率的使用者間會產生延遲量的交叉，高速率使用者的延遲量將會超越低速率使用者，推測這是由於通道在高負載狀態下，佇列中等待的封包量上升，因此各速率語音使用者在每次得到通道的傳輸機會時，所需要傳送的訊框數目上升，接收端回傳 ACK 訊框的數目當然也會隨之上升。但是由於傳送 ACK 訊框所使用的傳輸速率為最低基本速率，因此各速率站點間的傳輸時間皆為定值，這會造成高速率使用者因 ACK 訊框量增加所帶來的 TXOP 時間消耗比例上升，因此隨著系統負載逐漸上升，高低速語言使用者的延遲差異性會慢慢顯現。

5.3.2 實驗 II: 系統吞吐量模擬

接著針對在多速率環境下高速的 11Mbps Best Effort 使用者逐漸增加時,觀察 EDCA 系統與新公平應對機制下的整體吞吐量上升程度做出比較:

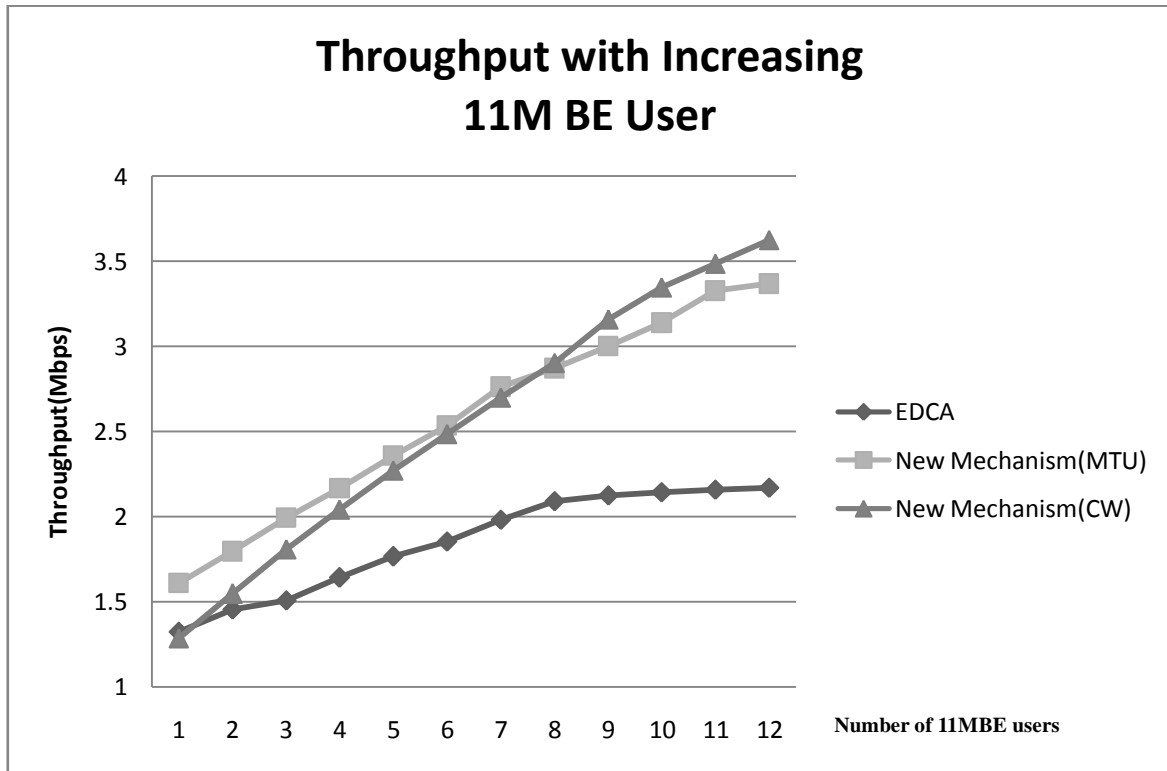


圖 5-8 高速 BE 使用者增加下的系統吞吐量

如圖 5-8 所示,橫軸為額外增加的 11Mbps AC_BE 使用者的數目,縱軸為整體系統吞吐量的總和,可以明顯地比較出當 EDCA 機制在通道時間分配不均的因素下,即便無線網路當中逐漸加入 11Mbps 的高速使用者,也沒有辦法順利地分配到足夠的通道傳輸時間,因此造成整體傳輸增加趨勢緩慢,系統上 2.2Mbps 附近就進入了飽和狀態,即便再加入更多的高速串流,系統吞吐量也沒有辦法有效地上升;然而反觀新公平應對機制,無論所搭配的方式為何,都可以明顯發現,隨著系統中高速的使用者數量增加,系統的整體吞吐量都能夠穩定上升,最後搭配動態 MTU 調整法則的新公平調整機制大約在系統吞吐量達到 3.4Mbps 時進入飽和區域,搭配動態 CW 值調整機制則是能夠將系統的最大傳輸量提升到 3.6Mbps 左右,比較過後,成功驗證了使用新公平機制對整體系統傳輸效能所帶來的增益。

然而當我們細部觀察當系統分別搭配動態 MTU 調整機制和與動態 CW 值調整機制

時可以發現，在圖中橫軸為額外增加 8 個 11Mbps AC_BE 使用者時產生系統吞吐量的交叉點。這能夠驗證了章節三的討論結果，當系統負載較低時，動態 CW 值調整機制中的低速使用者必須等待過長的隨機倒退時間，這將會造成無謂的通道空閒時間，降低通道的使用效率，但低負載期間，過度壓縮了低速使用者的傳輸效能；然而隨著系統負載逐漸上升，低速使用者因為較大的 CW 值而帶來了助益，在同時存在多個使用者同時競爭通道的情況下，相較於動態 MTU 調整法則，反而能夠有效地降低使用者間的碰撞機率，因此隨著負載的上升，動態 CW 值調整機制的吞吐量增益也將逐漸顯現。

接著針對在多速率環境下低速的 Best Effort 使用者逐漸增加時，對於整體吞系統吐量變化的程度做分析比較：

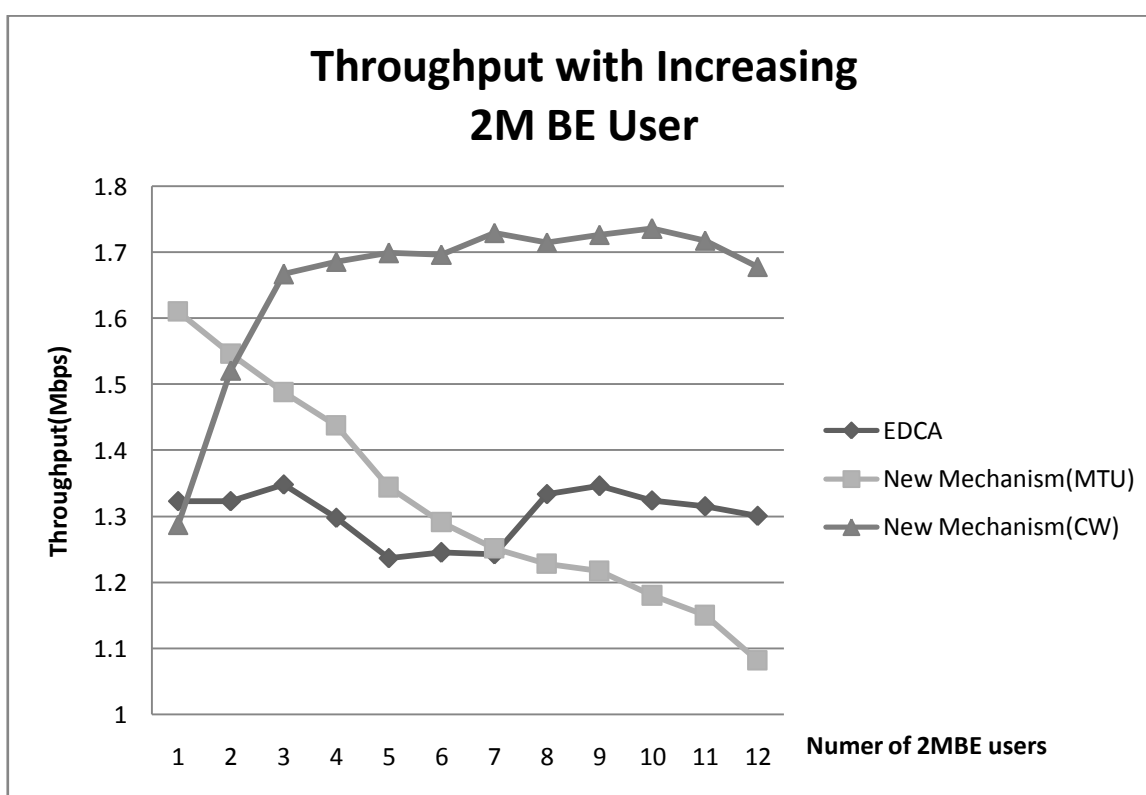


圖 5-9 2MbpsBE 使用者增加下的系統吞吐量

如圖 5-9 所示，當無線範圍中的 2Mbps AC_BE 使用者逐漸增加的情況下，EDCA 機制並沒有辦法有效地增加系統吞吐量，整體的吞吐量會呈現凹字型的趨勢，在模擬最終系統吞吐量會固定在 1.3Mbps 附近，這是由於一開始當系統內的低速使用者加入時，會分割高速使用者的通道傳輸時間，進一步降低了整體系統的傳輸效率，因此在圖 5-9 的左半部反而會先造成整體吞吐量的下降；爾後隨著使用者數量增加，系統的負載也逐漸上升，整體的吞吐量開始緩慢回升，模擬最後就會慢慢地趨近飽和狀態。

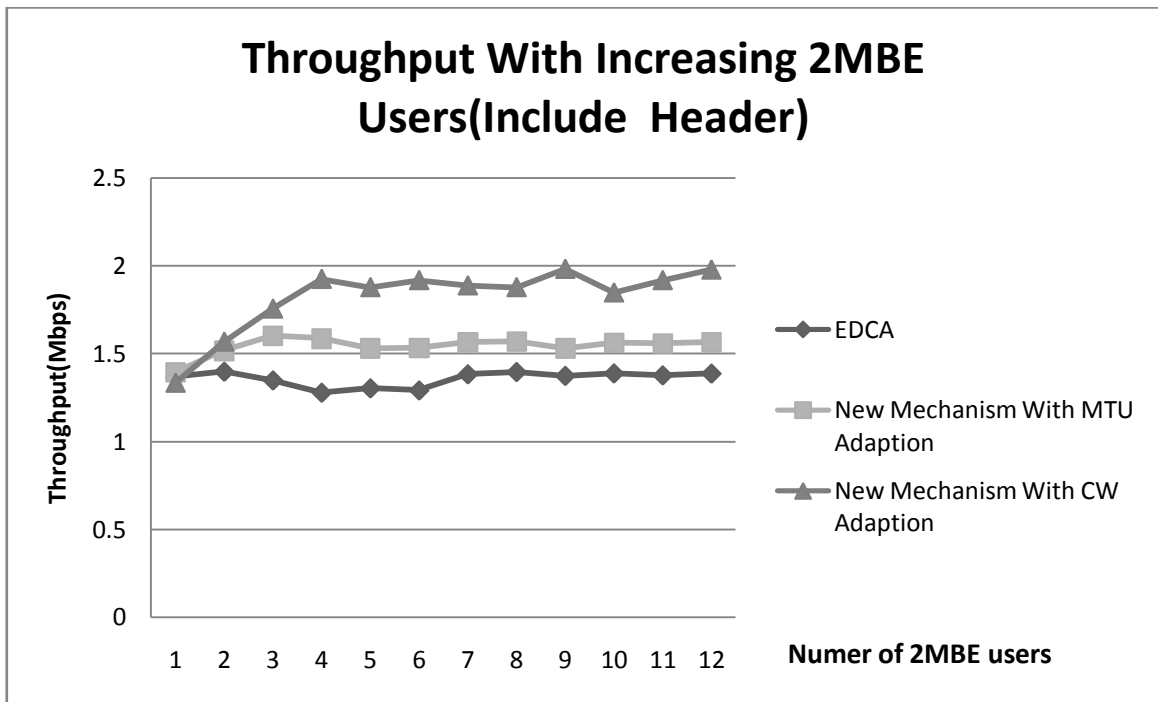


圖 5-10 2MbpsBE 使用者增加下的系統吞吐量(包含標頭檔)

另外搭配圖 5-9 以及圖 5-10 的結果可以明顯地看出新公平機制在搭配動態 MTU 調整法則所帶來的缺點，由於動態 MTU 調整法則限制了低速使用者的訊框上限，然而傳輸越多數量的小訊框將會帶來更低靡的傳輸效率。因此可以觀察出隨著系統中的 2Mbps AC_BE 使用者數目逐漸增加，即便從圖 5-10 中可以看出實際資料的傳送量並有太大的差異，但是有效的資料傳輸量卻逐漸下降，MTU 法則會將頻寬浪費在傳送標頭檔的缺點也更加明顯，造成整體吞吐量地持續下降，在三個方法當中會擁有最差的傳輸效能表現。反觀在搭配動態 CW 值調整機制時，系統的整體傳輸效率並不會受到影響。反而在高系統負載的狀況下，受惠於 CW 值加大，訊框碰撞情況因此減少。在這個情況下，搭配動態 CW 值調整機制依舊能夠帶來整體吞吐量的助益。

綜合以上的實驗結果，證明了無論從各速率使用者間的服務品質或是整體系統傳輸效能的角度切入，新公平應對機制都能夠對原本的 EDCA 功能帶來效能改進。

第6章 結論與未來展望

在本篇文章當中，我們將無線多速率共存下的 EDCA 系統簡化成在吞吐量平衡與時間平衡間做抉擇，在分析兩種平衡現象所帶來的效應之後，同時針對實際的傳輸需求與系統效能而提出了新公平性應對機制。

本篇文章在面對多速率共存的問題之上，有別於先前的研究，並不完全追求系統效能的最大化，因為當為了達到系統最大化的目的時，並不能有效的兼顧低速率使用者的服務品質。基於這個動機，我們著手針對不同傳輸種類的急迫性而調整對應的傳輸參數，希望在兼顧傳輸效能與服務品質的概念下找出適當的平衡點，因此提出了新的公平機制來做出改善。它改變了原本無線多速率共存下 EDCA 的平衡特性，無論從傳輸量或是服務品質的觀點切入都為系統帶來了一定程度的改進，雖然增益來自於對低速使用者低優先權種類傳輸量的犧牲，但這是針對實際需求所不可避免的效能交易。另外，本文也對兩種效能異常調整方式做了比較，發現當系統負載較低時，動態 MTU 調整法則表現較佳，然而隨著負載上升 CW 調整法則優勢逐漸顯現，做為新公平機制的兩種搭配法則，可以依據當下所適用的情況做替換選擇，以最大化效能需求。

最後，期許未來能夠延續研究並將此機制套用在更複雜的無線網路架構做進一步地分析與設計。

參考文獻

- [1] IEEE Std. 802.11-1999,Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications, Reference number ISO/IEC8802-11:1999(E),IEEE Std 802.11,1999 edition.
- [2] IEEE Std 802.11e-2005,Part 11:Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications Amendment 8:Medium Access Control (MAC) Quality of Service(QoS) Enhancements, November 2005.
- [3] M. Heusse , F. Rousseau , G. Berger-Sabbatel , and A. Duda ”Performance anomaly of 802.11b”,Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Communication(INFOCOM),April 2003,pp.836-843
- [4] Yoo. S. , Choi , J, Hwang. J. ,Yoo , C., ”Eliminating the Performance anomaly of 802.11b,” LNCS,3421:pp1055-1062,2005
- [5] Murad Abusubaih.”On Performance Anomaly in 802.11 Wireless LANS: Problem and Solution Approaches” Proceeding of 2010 Fourth International Conference on Next Generation Mobile Application ,Service and Technologies”2010,pp208-212
- [6] Yumei Liu, Bo Lv, Yan Li “A New Mac Mechanism to Resolve 802.11b Performance Anomaly” Proceeding of 2010 2nd International Conference on Signal Processing Systems,2010,pp.v3-134 - v3-138
- [7] Hyogon Kim ; Sangki Yun ; Inhye Kang ; Saewoong Bahk ,”Resolving 802.11 Performance Anomalies through QoS Differentiation.” IEEE Communication Letters, Vol. 9, Issue 7,July 2005,pp655-657
- [8] D. Perez , J.L. Valenzuela “Perceptual evaluation and enhancement of Voip over IEEE 802.11e” Vehicular Technology Conference, 2007 .VTC2007- spring .IEEE 65th, April 2007, pp3140-3144
- [9] Eunkyung Kim , Young-Joo Suh.“A Rate Adaptive Transmission Opportunity for Fairness over IEEE 802.11e Wireless LANs” This full text paper was peer reviewed at the direction of IEEE Communications Society subject matter experts for publication in the ICC 2007 Proceedings, 2007,pp4523-4528
- [10] Hao-Ming Liang , Naveen K Chilamkurti , Sherali Zeadally ,Chih-Heng Ke. “ QoS Support over IEEE 802.11e in Multirate Networks” The International Symposium on Wireless and Pervasive Computing (ISWPC2009), Feb. 11-13, 2009, Melbourne, Australia.
- [11] N. m .Shafiul Kabir Chowdhury , Md. Shahriar Hussain , Farruk Ahmed. “Finding

Performance Bottleneck of the IEEE 802.11e EDCA Mechanism on Single Access Point(AP) Based WLAN Systems” 6th International Conference on Electrical and Computer Engineering ICECE 2010,18-20 December, Dhaka ,Bangladesh ,2010,pp666-669,

[12] Elmangosh, A.A.; Ashibani , M.A;Shatwan, F.B “The Interworking between EDCA 802.11e and DiffServ” Performance, Computing,and Communication Conference,2007. IPCCC 2007. pp.545-550

[13] S. McCanne and S. Floyd

”Network Simulator 2”,URL:<http://www.isi.edu/nsnam/ns>

[14] Sven Wietholter, Christian Hoene,

”An IEEE 802.11e EDCF and Contention Free Simulation Model for ns-5”
URL:http://www.tkn.tu-berlin.de/research/802.11e_ns2/

[15] Bilal Rauf, M.Faisal Amjad, Kabeer Ahmed, “Performance Evaluation of IEEE 802.11 DCF in Comparison with IEEE 802.11e EDCA” Internet Technology and Secured Transaction,2009.ICITST. pp1-6

[16] Kashibuchi, k. Nemoto ,Y; Kato, N. “Mitigating Performance Anomaly of TFRC In Multi-Rate IEEE 802.11 Wireless LANs” Global telecommunications Conference, 2009.pp :1-6

