

國立交通大學

電機學院通訊與網路科技產業研發
碩士班

碩士論文

在非排程自動省電模式中調整工作站的喚
醒時間



Adaptive wake-up times in IEEE 802.11e
U-APSD

研究生：陳濬杰

指導教授：李程輝 教授

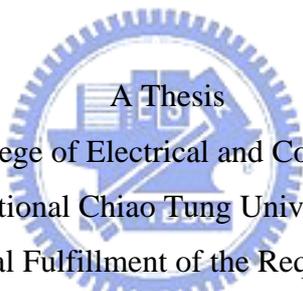
中華民國九十六年七月

在非排程自動省電模式中以分散示方式喚醒
Adaptive wake-up times in IEEE 802.11e U-APSD

研究生：陳濬杰
指導教授：李程輝

Student: Jiun-jie Chen
Advisor: Pro. Tsern-Huei Lee

國立交通大學
電機學院通訊與網路科技產業研發碩士班
碩士論文



A Thesis
Submitted to College of Electrical and Computer Engineering
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master
in

Industrial Technology R & D Master Program on
Communication Engineering

July 2007

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年七月

在非排程省電自動傳輸模式下調整工作站的喚醒時間

學生：陳濬杰

指導教授：李程輝 教授

國立交通大學電機學院產業研發碩士班

中文摘要

隨著無線區域網路的普及，各種不同的應用也隨之出現，舊有的 IEEE 802.11 無法無線多媒體對於品質服務 (QoS) 的需求，因此提出 IEEE 802.11e，對原有的 MAC 進行增修，滿足了即時服務的要求，也針對原先舊有的 IEEE 802.11 省電機制提出改善，分別於 Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) 與 Hybrid Controlled Channel Access (HCCA) 中提供非排程省電自動傳送模式 (U-APSD)，及排程省電自動傳送模式 (S-APSD) 兩種省電機制。

在舊有的 IEEE 802.11 省電模式，接收 Beacon 訊框，察看是否有資料需要接收時，當要傳送或接收資訊時，先要傳送 PS-Poll 通知 Accesses Point (AP) 才能開始，但 Beacon 的間隔約為 100 ms，並不適合需 QoS 資料的應用，IEEE 802.11e 的省電機制改進了此項缺點，使得 QoS 的需求在省電模式下一樣可以滿足外，也強化了省電效能，對擁有無線網路功能並採用非排程省電自動傳送模式的行動裝置，如手機與個人行動助理，能獲得更長的使用時間。

在非排程省電自動模式傳送中，由於沒有排程的緣故，當系統服務多個工作站時，容易有 overhearding 或碰撞的情形發生，本篇論文針對非排程自動省電模式，提供一個調整喚醒時間機制，藉由調整每個工作站的喚醒時間，減少工作站傳輸資料時所需的清醒(awake)的時間，並避免之後可能發生碰撞的機會，對於擁擠的系統，或是喚醒時間接近的工作站，提供更好的省電效能與通道的使用效率。

Adapt wake-up time in IEEE 802.11e UAPSD

Student: Jiun-jie Chen

Advisor: Pro. Tsern-Huei Lee

Industrial Technology R & D Master Program of
Electrical and Computer Engineering College
National Chiao Tung University

Abstract

For the population of WLAN, there are several kind of different services are applied in WLAN. The legacy IEEE 802.11 is lack of supporting QoS service for wireless multimedia communication. So IEEE 802.11e, which modifies MAC protocol and new power save mode called Automatic Power-Save Delivery (APSD), is proposed for QoS service. There are two kind of APSD in 802.11e which are Scheduled APSD (S-APSD) used in Hybrid Controlled Channel Access (HCCA) and Unscheduled APSD (U-APSD) used in Enhanced Distributed Channel Access (EDCA).

In legacy 802.11 power save mode, STA should wake up periodically to listen Beacon frame to know if there are frames to receive. When STA want to transmit or receive frames, it should send PS-Poll to AP first. For QoS data, it is too long to wait for a Beacon interval which is about 100 ms. In APSD, AP will tell the 'Service Start Time' and 'Service Interval' to the STA. STA can know when to wake up according to these information and don't list to Beacon frame anymore. For mobile devices like phones and personal digital assistants (PDAs), APSD can make mobile devices has longer lifetime.

In U-APSD, there is no scheduling for wake up time so more collisions and overhearing happen when system is congestion. We propose a scheme by delaying wake-up time of STAs to reduce overhearing and the collision probability. This can provide better power efficiency and enhance channel efficiency when STA number is larger and wake-up times of STAs are close.

誌謝

首先要感謝的是我的父親陳榮輝與母親徐秀玉他們兩位的體諒與支持，當我還在為工作與學業的選擇煩惱不已時，全力支持我選擇學業，讓我在求學時間沒有任何負擔與後顧之憂，也感謝我的姊姊與弟弟的關心與照顧，讓我可以順利完成學業，。

感謝我的指導教授 — 李程輝老師對我的指導，因為老師的指導，讓我學習到做研究應有的方法與態度，強化了思考的邏輯與概念，讓我能學習到研究的精髓，並在研究過程中得到寶貴的經驗。

還要感謝實驗室給予我幫助的同學與學長，黃郁文、謝景榮、曾德功，當我在研究時遇到瓶頸與困難時，給予我熱忱的指教與分享，讓我可以突破困難，踏實的完成研究，也感謝跟我一起入學的產學專班同學們，在這兩年跟我共同成長，讓我的生活既豐富又有趣，渡過這一段學習的歲月。

謹將此論文獻於所有愛我與我愛的人

目 錄

中文摘要	-----	i		
English Abstract	-----	ii		
誌謝	-----	iii		
目錄	-----	iv		
表目錄	-----	vi		
圖目錄	-----	vii		
第一章	緒論	-----	1	
第二章	相關背景	-----	3	
	2.1	802.11 的傳輸媒介存取控制	-----	3
	2.1.1	CSMA	-----	3
	2.1.2	訊框間隔	-----	3
	2.1.3	二元指數倒退機制	-----	4
	2.1.4	CSMA/CA	-----	4
	2.2	基礎架構下的省電模式	-----	6
	2.2.1	點對點傳送之省電模式運作	-----	6
	2.2.2	廣播及群播傳送之省電模式	-----	8
	2.3	IEEE 802.11e	-----	10
	2.3.1	EDCA	-----	10
	2.3.2	非排程省電自動傳送模式	-----	12
	2.3.3	如何提供 QoS 的功能	-----	14
第三章	工作站的喚醒時刻排程	-----	15	
第四章	在非排程省電自動省電模式下調整工作站的喚醒時			

間	-----	17
4.1 研究動機	-----	17
4.2 研究目的	-----	18
4.3 流程設計	-----	18
4.4 時間調整	-----	19
4.5 對 MAC 的影響與代價	-----	21
4.5.1 系統飽和前	-----	21
4.5.2 系統飽和時	-----	21
第五章 模擬結果	-----	23
5.1 省電效能	-----	24
5.2 碰撞次數與傳輸流量	-----	26
第六章 結論	-----	29
參考文獻	-----	30

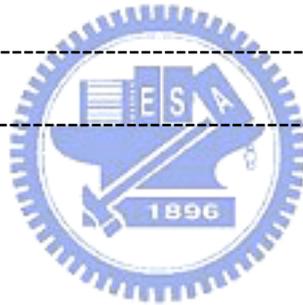


表 目 錄

表 2.1	使用者優先順序與存取類別對應表 -----	10
表 2.2	EDCA 工作站的預設參數值 -----	12
表 2.3	EDCA 擷取點的預設參數值 -----	12
表 5.1	802.11b 使用參數 -----	23



圖 目 錄

圖 2.1	工作站 Back-off 範例 (1) -----	5
圖 2.2	工作站 Back-off 範例 (2) -----	6
圖 2.3	PS-Poll 的運作流程 -----	7
圖 2.4	暫存訊框擷取程序 -----	7
圖 2.5	DTIM 時的廣播與群播傳送運作 -----	9
圖 2.6	EDCA 的通道競爭方式 -----	11
圖 2.7	U-APSD 運作模式 -----	13
圖 2.8	工作站在 EOSP=1 與 MoreData=1 時的運作狀態 ---	14
圖 3.1	聽取信標訊框時的傳輸情況 -----	15
圖 3.2	發送觸發訊框時的傳輸情況 -----	16
圖 4.1	發生 Overhearing 時的調整方法 -----	20
圖 4.2	發生碰撞時的調整方法 -----	20
圖 5.1	工作站數量對 iLBC code 電源節省效率的影響 -----	24
圖 5.2	工作站數量對 MPEG-4 電源節省效率的影響 -----	25
圖 5.3	工作站數量對 ftp 電源節省效率的影響 -----	25
圖 5.4	工作站數量對碰撞次數的影響 -----	26
圖 5.5	工作站數量對系統的傳輸量的影響 -----	27
圖 5.6	工作站數量對 ftp 傳輸量的影響 -----	28

第一章 緒論

IEEE 801.11 [1] 由於有便宜的價格與傳輸速度高的特性，加上佈置方便、使用便立，使的無線區域網路在現在變的非常普遍。目前無線區域網路使用於網際網路的存取，而現今的網路應用已經從原先單純的文字資料傳送，轉變為文字資料傳送與即時服務的應用如 VoIP 與 ”視訊會議”，而即時應用服務對於時間延遲與頻寬要求相當的敏感，爲了滿足這些要求，能夠提供服務品質保證 (QoS)的 802.11e 被發展出來，IEEE 802.11e [2] 提供了 Hybrid Coordination function (HCF) 來提供 QoS，分別爲通道免競爭模式的 HCF Controlled Channel Access (HCCA) 與 通道競爭模式的 Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) 兩種存取模式。



提到電池的使用效率，802.11 的特性是分享式的通道存取，所以工作站必須要一直花費時間在監聽通道狀況，判斷通道目前的狀況，如此一來，使用 802.11 的行動通訊裝置將會從電池消耗大量的能量，使的待機時間只有幾個小時，明顯較手機的待機時間要短很多，所以需要延長行動裝置的待機時間，符合使用者的習慣與要求。

在基礎架構 (Infrastructure mode) 的省電模式下，工作站在舊有的 802.11 省電模式裡，必須要定時醒來監聽從擷取點 (Access Point, AP) 發出的信標 (Beacon) 來得知是否有訊框暫存在擷取點中，沒有就返回睡眠模式，有則發送 PS-Poll 通知擷取點，準備接收資料，但是信標區間 (Beacon interval) 的長度約爲 100 ~ 200 ms 之間，無法滿足即時服務所需要的時間延遲要求，而且工作站需要先發送

PS-Poll，才可以傳送或接收訊框，造成頻寬的浪費，因此802.11e提出非排程省電自動傳送模式(U-APSD)與排程省電自動傳送模式(S-APSD)來完成即時通訊所需的兩項要求。

由於現有的行動裝置多數都使用EDCA與U-APSD，這些可以在Wi-Fi Alliance [3]上見到，所以我們的研究發向專注在U-APSD上。在中控型的電源管理的研究，有因為信標區間，導致傳統的802.11無法提供QoS的服務，所以[4]不去監聽訊框，改從收到的訊框數量，調整喚醒週期，達到QoS的目的，[5]則較802.11e APSD與傳統802.11的省電模式的效能以及實體層速度的不同(802.11b/g)對於省電效能的影響，另外在VoIP為開關(On-Off)的傳輸狀況，因此[6]在U-APSD時，根據接收下來的訊框大小來調整的觸發區間(Trigger interval)，得到較好的省電效率。



以上研究多藉由修改睡眠時間的機制，保障QoS、降低標頭來達到較高的省電效能，但是U-APSD乃是基於EDCA競爭通道存取的方式，當工作站甦醒時仍舊需要和其他工作站一起競爭通道的使用權，所以工作站的睡眠時間與系統內工作站的數目或相鄰工作站之間的喚醒間隔有關，舊有的802.11省電模式因受信標訊框與DTIM的限制，所以overhearing的問題相當嚴重，在U-APSD中，工作站雖然可以隨時甦醒傳送資料，不過也沒辦法對於清醒時間的長短有所保證，所以本篇論文主要的目的，乃是以原先的U-APSD為基礎，在QoS可以保障的情況下，提供工作站清醒時間的保障，降低overhearing與碰撞的發生，提高省電效率與通道的使用效率。

第二章 相關背景

2.1 802.11 的傳輸媒介存取控制

IEEE 802.11 的 MAC 層是一個採取通道競爭的機制，被稱為分散式協調功能 (Distributed Coordination Function, DCF)，主要分為以下四個部份，分別為 CSMA、訊框間隔(Inter Frame Space)、倒退機制(backoff)與 CSMA/CA 的避免碰撞機制。

2.1.1 CSMA

其運作步驟如下：

- 當工作站資料要傳送，先偵測傳輸媒介是否處於空閒的狀態，如果傳輸媒介處於空閒的狀態，則工作站馬上可以傳送資料。
- 如果傳輸媒介處於忙碌的狀態，則工作站需要等到傳輸媒介處於空閒的狀態時，才能進行資料的傳送。

上述的機制可能發生兩個工作站同時傳送資料，造成碰撞的發生，當碰撞發生後，使用二位元指數倒退機制來加以改進。

2.1.2 訊框間隔

為了保證訊框運作期間不會被其他訊框插入而中斷，工作站在發現傳輸媒介變成空閒之後，不會立即將資料傳出，而是必須先等待一段時間間隔，這一小段時間間隔被稱為訊框間隔(Inter-Frame Space, IFA)。由於必須協調媒介存

取，IFS 定義了三種不同型態的訊框(控制、管理與資料三種型態)，根據優先順序分爲以下四種不同大小的訊框間隔：

- (1) SIFS： 用來處理需要立即回應的訊框如 RTS、CTS、ACK 等等
- (2) PIFS： 在近 PCF 免競爭式傳輸功能時，工作站傳送資料訊框前所必須等待的時間。
- (3) DIFS： 在進行 DCF 競爭式傳輸功能時，工作站傳送資料訊框前所必須等待的時間。
- (4) EIFS： 工作站在進行傳送訊框時所需等待的時間。

上述訊框的時間大小爲 $SIFS < PIFS < DIFS < EIFS$ 。

2.1.3 二元指數倒退機制



在 CSMA 中提到，當不同的工作站在等到傳輸媒介爲空閒時，就會將資料傳送出去，在 IFS 中則對不同的優先權定義要等待的時間，但擁有相同優先權的資料流時，在同時傳送出去後便會發生碰撞，所以解決的方式就是在等了一段 DIFS 的訊框間隔時間後，再等一段亂數決定的時間後才將訊框傳送出去，其亂數決定的時間演算法被稱爲 Back-off Algorithm。因爲每個工作站所產生的後退時間相同的機率很小，所以訊框發生碰撞的機會就會大大的降低。

Back-off Algorithm 是先從 $[1, W]$ 的範圍內取一個整數的亂數值， W 被稱爲競爭視窗(Contention Window)，而後退時間 = 亂數值 \times 時槽時間，而競爭視窗 W 的大小，會隨著該工作站發生碰撞次數的增加而增加，可以將競爭視窗表示爲 $W = (CW_{min} + 1) \times 2^{N-1}$ ， N 表示第 N 次發生碰撞，而競爭視窗最多只能增加到 CW_{max} ，即爲 1023，以後若繼續發生碰撞，就一值維持在這個值，直到傳送成功或是重傳技數器到達設定值，競爭視窗才會被重設。

2.1.4 CSMA/CA

CSMA/CA 為縱合前三者的機制而成，其運作步驟如下：

- 當工作站有資料要傳送時，先偵測傳輸媒介是否空閒，當發現傳輸媒介空閒，且空閒時間大於 DIFS，則工作站在等待 DIFS 的時間後，立刻傳送資料。
- 當傳輸媒介忙碌時
 - (1) 工作站必須等到傳輸媒介由忙碌變空閒時，再等 DIFS 的時間，然後工作站進入到數計時，依照二元指數倒退機制等待一段後退時間，等會退時間倒數結束後再開始傳送。
 - (2) 如果發生碰撞，則工作立即中止傳送，檢查重傳次數是否已用盡，若沒有則執行上述(1)的步驟，若重傳次數已用盡，則停止傳送，報告 MAC 使用者傳送失敗。

圖 2.1 是沒有發生碰撞的問題，工作站 2、3、4 的後退時間分別為 $160\ \mu s$ 、 $60\ \mu s$ 及 $100\ \mu s$ 。

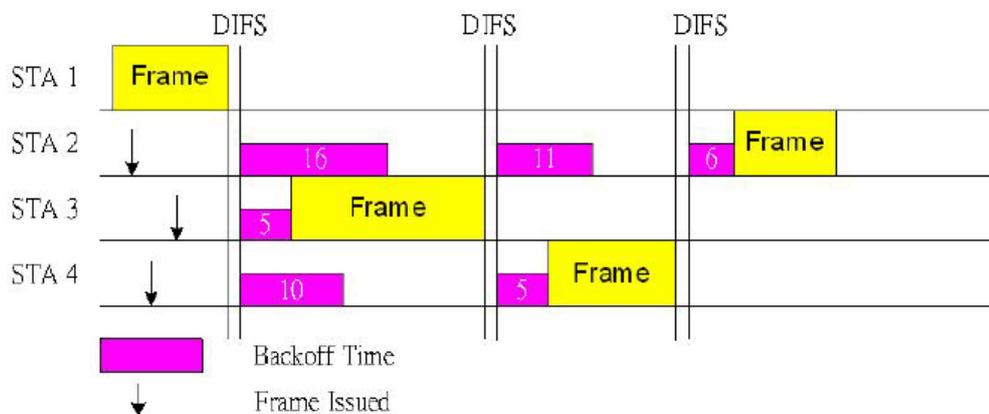


圖 2.1 工作站 Back-off 範例 (1)

圖 2.2 為發生碰撞的例子，工作站 2、4 發生碰撞，由於工作站沒有收到 ACK 訊息時，所以進入重送模式，並且在下一個競爭視窗中重新產生另一個隨機後退時間。

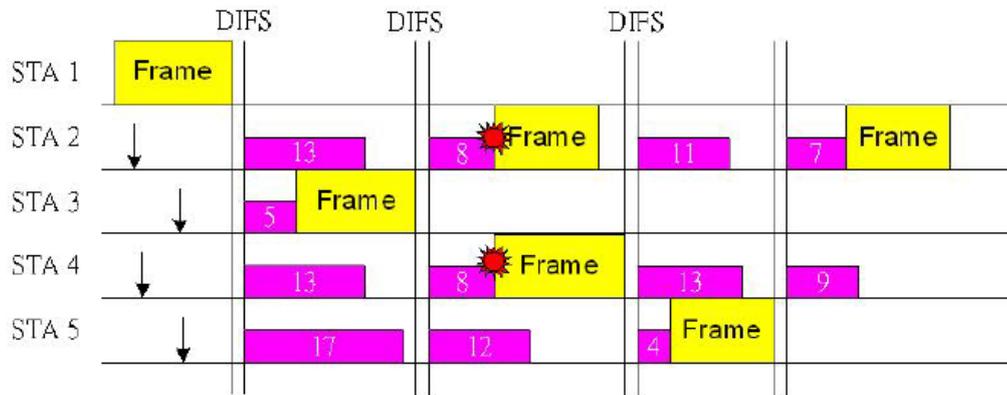


圖 2.2 工作站 Back-off 範例 (2)

2.2 基礎架構下的省電模式



一般的工作站在省電模式下有下列四種狀態：休眠、傳送、接收以及監聽，工作站處於這四種狀態的消耗模式不同，其耗電情況在休眠狀態時約為 60 mW，傳送、接收與監聽則分別為 1400mW、950 mW 與 805 mW，很清楚的，如果讓網路卡處於休眠狀態，可以節省不少電源的消耗。

2.2.1 點對點傳送之省電模式運作

所謂省電模式是指當工作站沒有資料傳送時，就通知擷取點他要進入休眠狀態，此時工作站送出一個 Null Data 的訊框，將控制欄中的電源管理位元設為 1，擷取點收到後會回應 ACK，確認工作站進入休眠狀態，並暫存要給該工作站的資料，如果有擷取點有暫存資料要傳送給工作站，會在工作站的 AID 所對應的位元，在信標訊框的 TIM 欄位上做註記，工作站只要檢驗 TIM 上對應的位元即可。

擷取點在省電模式時，除了需要暫存工作站的資料，還要並要通知工作站是否有暫存資料，所以一般而言，工作站在做連結程序前，會設定聆聽區間(Listen Interval)，告訴擷取點工作站進入休眠狀態後，每隔幾個信標區間的時間會醒來聽信標訊框，因此擷取點至少要幫工作站暫存聆聽區間所需的時間。當工作站查追查信標訊框的 TIM 欄位時，如果發現擷取點在上面做註記時，表示有暫存資料存放在擷取點上，工作站便會發出 PS-Poll 訊框給擷取點，擷取點便會回暫存資料給工作站，工作站收到之後會回 ACK 給擷取點，其運作過程如圖 2.3.

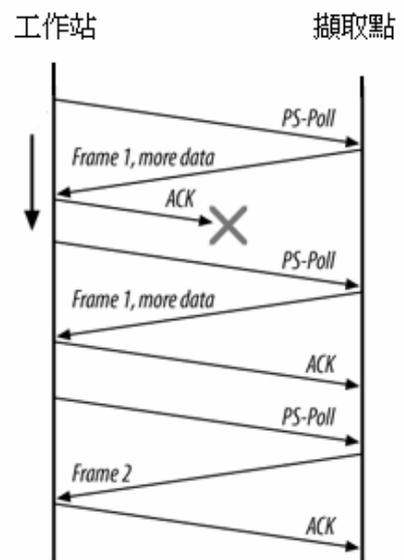


圖 2.3 PS-Poll 的運作流程

每一個工作 PS-Poll 可向擷取點取回一個訊框的資料，如果擷取點尚有資料要給工作站，則在訊框中的“尚有資料位元”的欄位設 1，工作站便會知道還有暫存資料要收，此時工作站可再發送 PS-Poll 訊框取回另一筆資料。

從圖 2.4 可以瞭解 PS-mode 的整個運作流程

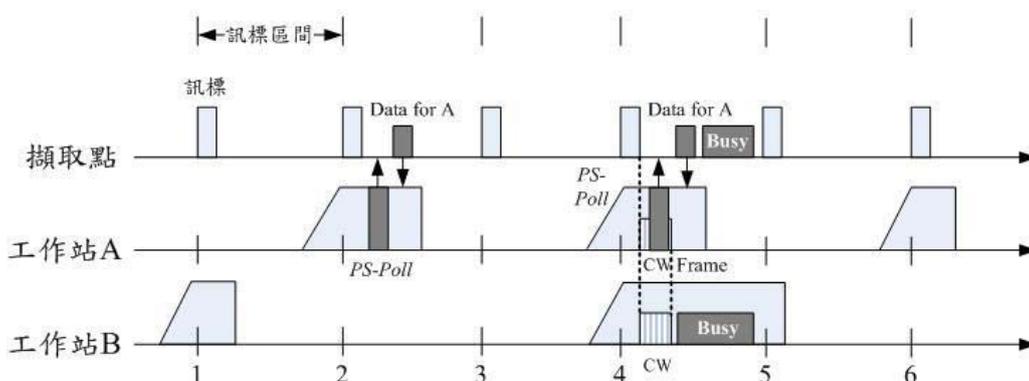


圖 2.4 暫存訊框擷取程序

從上圖可知工作站 A 的聆聽時間為 2，工作站 B 為 3，當兩個工作站都進入休眠模式時，假設工作站 B 在第 1 個信標區間醒來監聽信標訊框的 TIM，由於沒有資料要給工作站 B，所以又進入睡眠模式，直到又過 3 個信標區間時間時，才會再度醒來。工作站 A 在第 2 個信標區間醒來，發現對應的 TIM 位元有被註記，於是工作站 A 發送 PS-Poll 給擷取點，取回暫存的資料訊框，當資料傳送完畢後，又進入休眠狀態。第 3 個信標區間時，兩者都在休眠，並在第 4 個信標區間時同時醒來，此時兩者發現相對應的 TIM 位元有被註記，於是根據 CSMA/CA 機制競爭發送 PS-Poll 去取回資料，假設工作站 A 先搶到發送 PS-Poll 去取回資料，工作站 B 便一直醒著，直到第 5 個信標區間前段，聽到信標訊框並發現對應的 TIM 已無註記，此時工作站又可進入休眠狀態。



2.2.2 廣播及群播傳送之省電模式

在訊框不是只給單一工作站，而是指名給所有工作站或是一群工作站，其目的地的位址，為單一的群組位域或廣播位址，因此再擷取點若有廣播訊框或群播訊框，會暫存這些訊框在 AID 邊為 0 的暫存區上，也就是在 TIM 的欄位中，將對應 AID 編號為 0 的位元，即 TIM 欄位的第 1 個位元設定為 1。

因為廣播或群播都是傳送給一群工作站，所以在休眠的工作站一定要在特定的時間清醒，監聽是否有廣播或群播要給他，因此在每一個基本服務組內，設有一被稱為傳送 TIM(DTIM)週期。DTIM 週期為數個信標區間，類似聆聽週期，如圖 2.5 所示，1 個 DTIM 週期為 3 個信標訊框，在 DTIM 區間起頭時，擷取點傳送的信標訊框被稱為 DTIM 信標訊框，如果有廣播或群播訊框暫存時，

擷取點會在 DTIM 信標之後，將訊框依序傳出，因此工作站必須在 DTIM 信標時醒來，監聽 DTIM 的第 1 位元是否有被設定，若有責工作站等著接收廣播或群播的訊框，若沒有被設定，則工作站可以繼續進入休眠狀態，若是一個工作站聽到一個一般的信標訊框，可以從信標的欄位為取 DTIM 的週期為何，以及還經過多少個 TIM 後，就是 DTIM 的信標訊框。

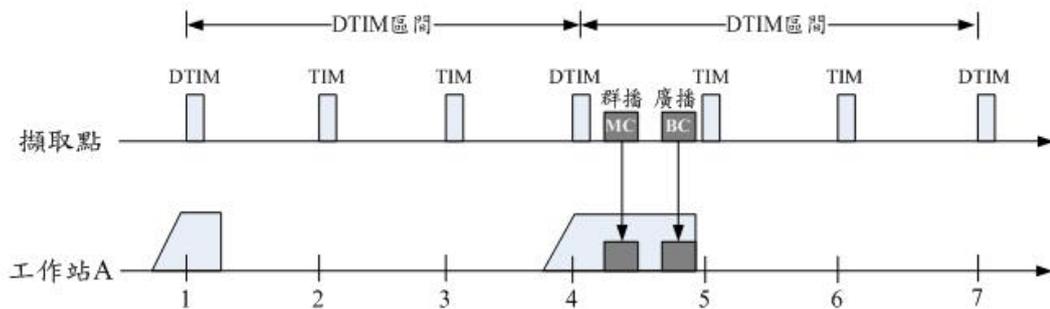


圖 2.5 DTIM 時的廣播與群播傳送運作

從圖 2.5 中，工作站在第 1 個信標訊框醒來，從 DTIM 的信標中，獲知 TIM 第 1 個位元沒被註記，所以再度進入休眠狀態，並從信標中得知 DTIM 週期為 3，所以會在第 4 個信標時間的時候，醒來聽 DTIM 訊框，當發覺有廣播或群播的訊框要傳送時，擷取點依照 DCF 的存取方式，將廣播或群播依序傳送出來。

另一個問題是聆聽區間，要是工作站 A 的聆聽區間與 DTIM 區間相同時，則可以把聆聽區間與 DTIM 區間對齊，如此在工作站醒來時，可以同時聽 DTIM 的欄位，看看是否有廣播或群播的訊框以及是否有暫存資料需要接收。由於擷取點會先處理廣播或群播訊框，所以工作站發出的 PS-Poll 可能得不到回應，此外為了省電的緣故，有可能將網卡設定為忽略 DTIM 訊框，即在休眠狀態下就不接收廣播或群播的訊框。

2.3 IEEE 802.11e

2.3.1 EDCA

EDCA 可是為對 802.11 DCF 競爭型通道存取方式的加強版，其競爭通道方式在媒介開始空閒一段訊框間隔(IFS)時間後，再倒數一段隨機後退時間 (Random Backoff Time)，當隨機後退時間倒數完之後，則可以開始訊框傳送。

EDCA 與 DCF 的最到差別在於：

- (1) 通道的競爭者由工作站轉變為「存取類別」(Access Category, AC)，如表 2.1 所示，也就是相當於已分類過的資料流為個體來競爭通道傳輸全，如此一來較具即時性且優先權高的資料流，可以較優先取得傳輸權。
- (2) 經過競爭後，取得傳輸權的工作站等同於取得一個「傳輸機會」(Transmission Opportunity, TXOP)，一個傳送機會代表了一段可以佔有無線媒介以進行傳輸的時間，取得傳輸權的工作站可以在這段時間內，可以連續傳送多個或一個訊框。



優先權	存取類別(AC)	命名
1	AC_BK	Background
2	AC_BK	Background
0	AC_BE	Best Effort
3	AC_BE	Best Effort
4	AC_V	Video
5	AC_VI	Video
6	AC_VO	Voice
7	AC_VO	Voice

表 2.1 使用者優先順序與存取類別對應表

在 EDCA 模式下，由於通道競爭者是 4 個存取類別，而且為了要讓優先權高的存取類別能較有機會搶到通道傳輸權，因此新增了 Arbitration IFS (AIFS)，

每個存取類別就有專屬的訊框間隔時間值以及隨機後退時間的 CW_{min} 與 CW_{max} 參數，而對不同的存取類別，分別用 $AIFS[AC]$ 以及 $CW_{min}[AC]$ 與 $CW_{max}[AC]$ 代表。如圖 2.6 所示，以 AC0 與 AC3 兩種不同的 AC 為例， $CW[0]$ 與 $CW[3]$ 表示目前 CW 的大小。 $AIFS[AC]$ 的值是以下列公式得到：

$$AIFS[AC] = AIFSN[AC] \times \text{時槽時間} + SIFS$$

$AIFSN[AC]$ 的值必須要大於或等於 1

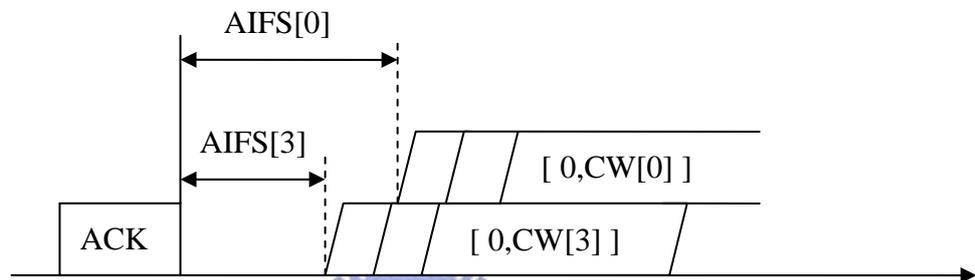


圖 2.6 EDCA 的通道競爭方式

$AIFSN[AC]$ 的設計意義：

(1) 工作站所使用的 $AIFSN$ 值必須要大於或等於 2

這意味著最小的 $AIFS$ 值等於 $DIFS$ ，以 EDCA 傳送模式的訊框，與原先 DCF 模式傳送的訊框，其取得通道傳輸的優先權是一樣的，而當 $AIFSN$ 值大於 2 的存取類別還說，其優先權要比 DCF 來的低，除此之外，高優先權的存取類別有較短的競爭視窗即較小的 $CW_{min}[AC]$ 與 $CW_{max}[AC]$ 值。表 2.2 是 802.11e 所規範的 EDCA 工作站預設參數值，我們可以明顯看到 AC_{BE} 與 AC_{BK} 這兩種存取類別的 $AIFSN$ 都大於 2， AC_{VI} 與 AC_{VO} 的值等於 2，不過 CW_{min} 與 CW_{max} 的值較舊有的 802.11 小。

(2) 擷取點所使用的 $AIFSN$ 值必須要大於或等於 2

這意味著擷取點跟其他的工作站相比，有絕對的優勢來取得通道的傳輸權，表 2.3 列出 802.11e 所規範的 EDCA 工作站預設參數值，其中 AC_{VI} 與

AC_VO 的值等於 1，這對於提升影音資料的品質有很大的助益。

除了上述以存取類別來競爭通道外，802.11 尚在每個存取類別訊框的傳送上，加了 Admission Control 的關卡，這可將每個存取類別設定為需要或不需要允入控制，若想要被設為”需要允入控制”的存取類別資料流，需要先向擷取點註冊該資料流的 TSPEC，完成允入控制的程序；如果在完成允入控制的程序前，便傳送該存取類型的訊框時，則該訊框則被認為優先等即較低，且不需允入控制的存取類別來做該訊框的後續處理。

AC	CW _{min}	CW _{max}	AIFSN
AC_BK	a CW _{min}	a CW _{max}	7
AC_BE	aCW _{min}	a CW _{max}	3
AC_VO	(aCW _{min} +1)/2 -1	a CW _{min}	2
AC_VI	(aCW _{min} +1)/4 -1	(aCW _{min} +1)/2 -1	2

表 2.2 EDCA 工作站的預設參數值

AC	CW _{min}	CW _{max}	AIFSN
AC_BK	a CW _{min}	CW _{max}	7
AC_BE	aCW _{min}	4*(a CW _{min} +1) -1a	3
AC_VO	(aCW _{min} +1)/2 -1	a CW _{min}	1
AC_VI	(aCW _{min} +1)/4 -1	(aCW _{min} +1)/2 -1	1

表 2.3 EDCA 擷取點的預設參數值

2.3.2 非排程省電自動傳送模式

U-APSD 的資料傳送乃是使用 EDCA 的機制，其基本想法為使用某段被稱為服務週期 (Service Period, SP) 的區間，讓擷取點將暫存的訊框，在這段時間內傳送到工作站。工作站必須在 Association 階段或是另外以 ADDTS 機制，宣

告某存取類別(Access Category)將採取 U-APSD 模式來傳送，並指定某些存取類別為「允許觸發」(Trigger-Enabled)類別，其作用類似 802.11 省電模式下的 PS-Poll 訊框，是讓擷取點必須等到收到該工作站允許觸發類別的一個訊框，才能開始把暫存在擷取點的資料傳送給該工作站，另外並非全部的訊框都要被擷取點暫存，工作站也必須指定某些存取類別為「允許傳遞」(delivery-enabled)類別，其作用是只暫存允許傳遞的訊框，提供資料暫存的彈性。

如圖 2.7 所示，當擷取點收到工作站發送觸發訊框(Trigger frame)時，U-APSD 的服務週期才算開始，當有允許觸發的資料要上傳時，可以把當資料當成觸發訊框上傳，沒有時則送 null-data 的訊框。802.11e 允許工作站可以指定服務週期的最大值，其範圍為 2、4、6 個或所有的暫存的訊框，以限制擷取點一次的傳送給工作站的訊框數量，在服務週期要結束時，擷取點會在 QoS 控制欄位裡把 EOSP 設定為 1，提醒工作站服務週期將要結束，可以重新回到休眠模式，但是如果在服務週期要結束時，還有暫存訊框需要傳送，擷取點就在 MAC 的 header 裡的控制訊框，MoreData 的欄位設定為 1，來通知工作站讓有訊框待傳，此時工作站要再發送觸發訊框，重新開始另一個服務週期，下載暫存的訊框，如圖 2.8 所示。

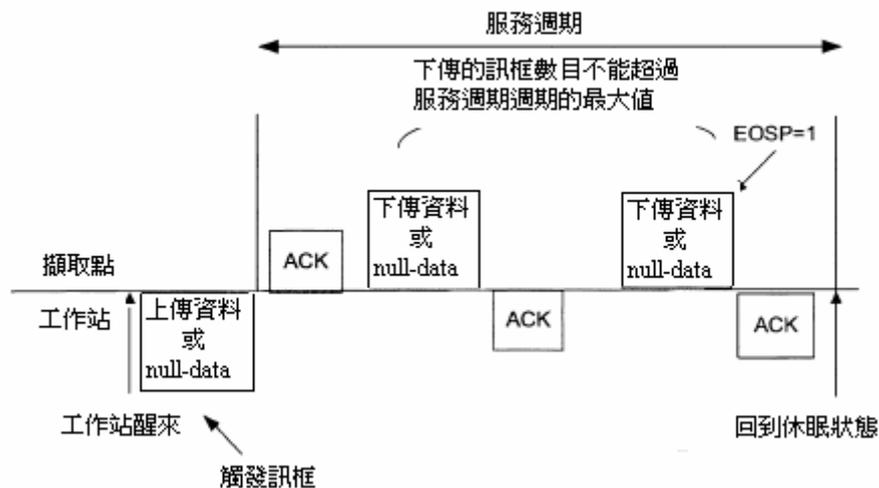


圖 2.7 U-APSD 運作模式

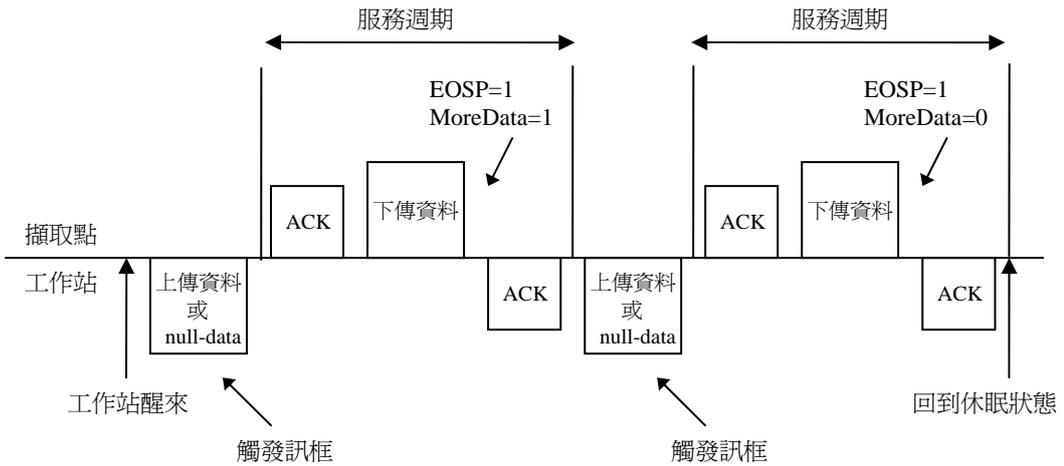


圖 2.8 工作站在 EOSP=1 與 More Data=1 時的運作狀態

2.3.3 如何提供 QoS 的功能

IEEE 802.11e 是爲了提供 QoS 而提出來的，所以 U-APSD 也必須能夠提供 QoS 的功能，U-APSD 是由工作站發出觸發訊框後再開始接收暫存訊框，不再像舊有的 802.11 省電模式一樣，需要受限於擷取點的信標訊框，所以對於需要 QoS 的服務而言，只要知道該服務的傳送週期，工作站就可以週期性的發送觸發訊框，將暫存於擷取點的下載下來，達到 QoS 的功能。

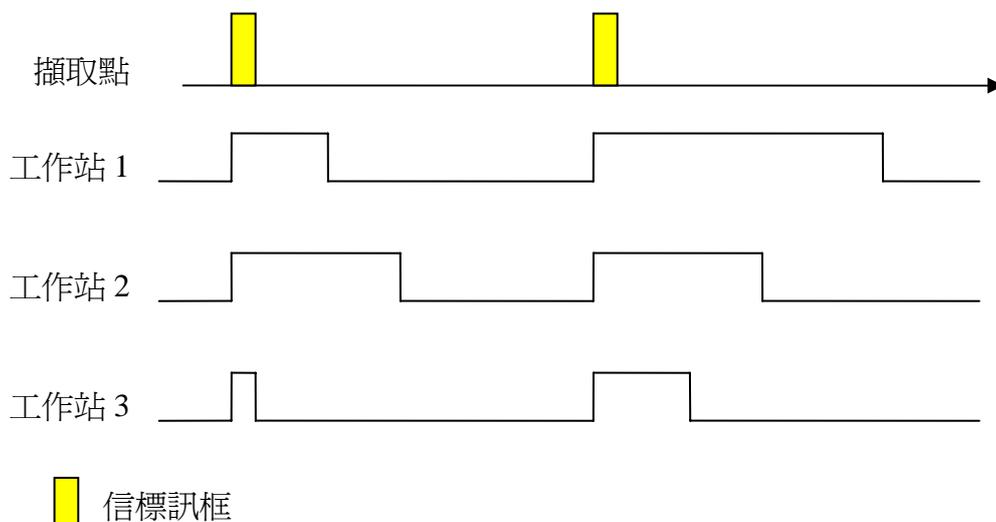
第三章

工作站的喚醒時刻排程

在 802.11e U-APSD 中，工作站可以指定部分或全部的存取類別使用 U-APSD，當只有部分存取類別使用-U-APSD 時，工作站無法透過擷取點所發送的信標訊框來得知被暫存訊框的狀態，只能以發送觸發訊框的方式，從接收到的下載訊框來判斷是否有暫存的訊框，以下討論在這兩種方式下傳輸訊框時，overhearing 是如何產生的。

1. 聽取信標訊框

如圖 3.1 所示，在第 1 個信標訊框發送時時，工作站 1、2 得知有暫存訊框需要接收，在第 2 個信標訊框發送時，全部的工作站都有暫存訊框需要接收。從圖中可以發現，當要接收訊框的工作站越多時，越晚搶到通道使用權的工作站，需要等的時間越多。



2. 發送觸發訊框

為避免訊框遺失，在此種模式下也必須週期性的醒來，醒來的週期可以依照不同的服務而改變，因此適合傳送週期小於信標區間的服務。為了方便分析，我們先假設系統內的工作站服務週期與傳輸時間都相同，其結果與圖 3.1 相似，兩者不用的地方，只在於 overhearing 時間的長短。在第 1 種情況下，由於同時醒來，所以越晚搶到通道使用權的工作站，需要等待的時間越長，而在不聽取信標訊框的狀態下，由於可以自行決定何時甦醒，所以可以避免多個工作站同時甦醒，需要等待的時間可以較短，要是工作站的喚醒時間間隔夠大時，醒來後通道可能就處於閒置狀態，可以立即接收訊框，如圖 3.2 所示。

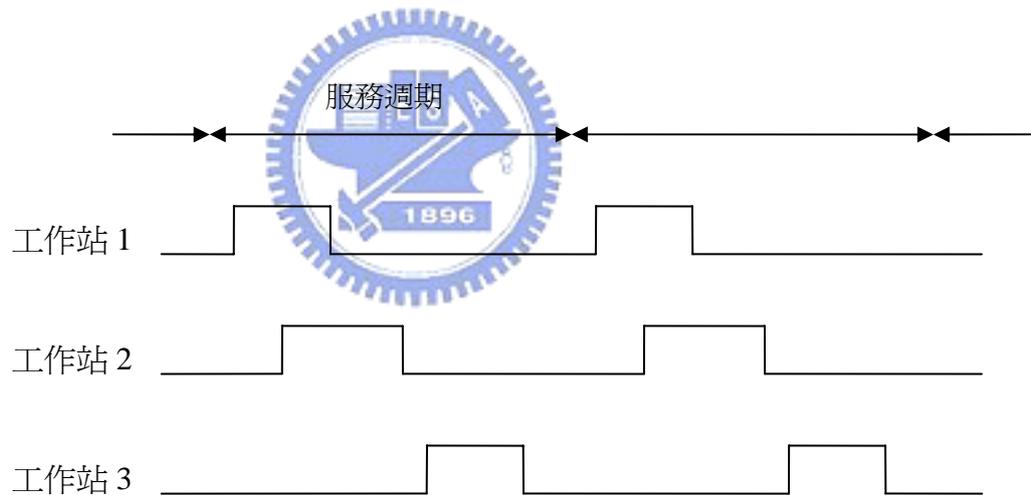


圖 3.2 發送觸發訊框時的傳輸情況

第四章

在非排程省電自動傳輸模式中以分散示方式喚醒

4.1 研究動機

近年來，由於大量的研究專注在無線區域網路的 QoS 上，使得無線區域網路具有支援即時服務的能力，如影音多媒體資訊，也因為這股風潮，使得越來越多的行動裝置也附加上 Wi-Fi 的功能，而在行動裝置使用 Wi-Fi 功能首先要考量的便是電池使用時間的問題。IEEE 802.11e 的 APSD 的功能是讓工作站在進入省電模式下，在不需定期接收 Beacon 訊框以及發送 PS-Poll 訊框，依舊能準時接收必須定時傳到的資料流，從而達成 QoS 的要求增加電源的節省效率。目前市面上具有 802.11e 功能的無線產品，多數皆採用 EDCA 與 U-APSD 而不是 HCCA 與 S-APSD，這些例子可在 Wi-Fi Alliance[3] 上見到，所以我們的研究方向便放在 U-APSD 上，符合多數使用 802.11e 的產品。

在 U-APSD 的研究中，為了增長睡眠時間、避免發送不必要的觸發訊框，會根據下載訊框的內容，動態調整觸發訊框的發送週期[6]，不過由於使用 U-APSD 的工作站其喚醒時間沒有經過排程的緣故，如此一來雖然可以減少在 S-APSD 中的同步問題與 MAC 的 overhead，增加系統的容量，但是也由於是隨機存取、沒有排程的緣故，工作站在醒來後，要在 EDCA 的機制跟其他的工作站競爭通道的使用權，無可避免的會與其他的工作站的發生碰撞或是產生 overhearing 的現象，從而增加了傳輸的時間與功率的消耗，特別當系統需要服

務較多數量的工作站，或是工作站彼此之間的喚醒時間相近時，overhearing 與碰撞的現象就會增多，這是使用在競爭模式下無法迴避的情況。

4.2 研究目的

要降低上述的問題的發生次數，最好的方式便是建立排程機制，所以本篇論文，在 U-APSD 原先的架構下，由工作站依據通道的傳輸狀況，自行延後喚醒時間，猶如是經過排程一般，使工作站在甦醒後就可立即傳送資料，達到降低 overhearing 所造成的電源消耗、避免碰撞的發生（調整喚醒時間後），從而增加省電效率與通道傳輸量，而當系統內工作站數量過多超過系統所能提供的數量時，便停止該機制，回到標準的 U-APSD 機制。



4.3 設計流程

目標：

當工作站醒來時，通道即為 **idle** 狀態，工作站可以立刻開始倒數 **back-off** 的時間，在資料傳輸結束前，不會有其他的工作站在這段時間醒來，避免碰撞或是 overhearing 的情形發生。

調整喚醒時間：

從第 3 章的時間排程中，我們可以知道 U-APSD 可能會遇到的問題，所以錯開喚醒時間，避免在同一個活動時段(active period)時醒來是最好的方式，所以我們提出的方法就是當 overhearing 或碰撞發生時，在保持原先該服務

的週期下，調整該延後工作站下一次的喚醒時間，完成一開始設計的目標，其作法如下所述：

- 當工作站在沒有發生 **overhearing** 或碰撞時，下次的喚醒時間為本次的喚醒時間 (T_{wake}) 加上該服務的週期。
- 當工作站發生 **overhearing** 時，前一個工作站傳輸結束的時間即該工作站醒著的最後時間，我們將這時間設定為 $T_{pre_awake_end}$ ，則工作站下次的喚醒時間為 $T_{pre_awake_end}$ 加上該服務的週期。
- 當發生碰撞後，若沒有 **overhearing** 發生，則下次的喚醒時間，為碰撞結束的開始加上該服務的週期，反之，則依上述的第二種方式計算。

4.4 時間調整



爲了解釋方便，假設圖 4.1 與 4.2 中的工作站擁有相同的週期與傳輸時間。

- **Overhearing** 發生時

從圖 4.1 可以看到，STA 1 在 t_2 時結束資料傳送回到休眠模式，而 STA 2 則在 t_1 時醒來，所以 STA 2 需要等到時間為 t_2 時，才可以開始傳送訊框，如果要避免 **overhearing** 的發生，STA 2 應該要在時間為 t_2 的時候醒來，所以 STA 2 下次的喚醒時間就變成 $t_2 + T$ 。

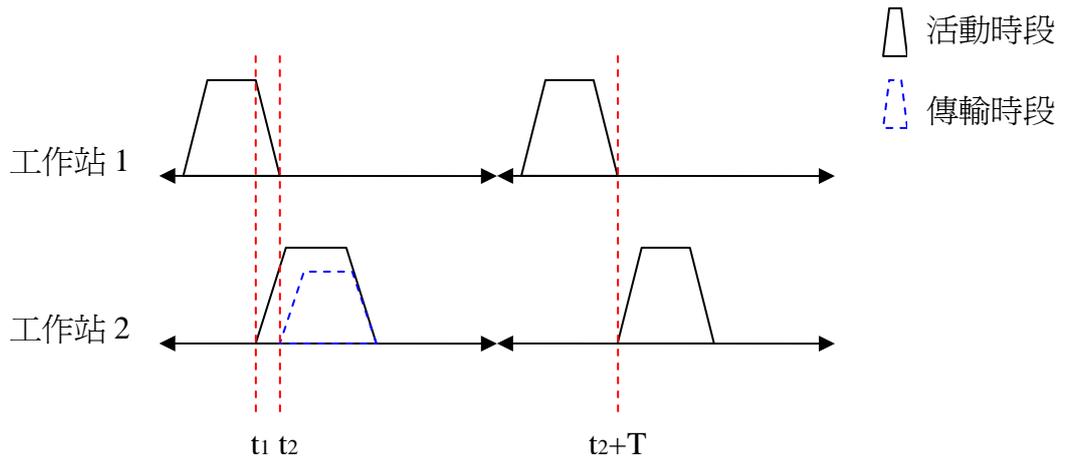


圖 4.1 發生 Overhearing 時的調整方法

● 碰撞發生時

在圖 4.2 中，假設 STA 1 與 STA 2 在傳送訊框時發生碰撞，並在時間為 t_1 時碰撞結束，STA 3 在 t_0 醒來，並且在碰撞結束後最先開始傳送訊框，而 STA 2 與 STA 1 則分別在時間為 t_2 、 t_3 這兩個區間時傳送訊框，根據上述時間調整的方式，STA 3 需要延後 $t_0 - t_1$ 的時間以避免 overhearing，STA 1 與 STA 2 分別在 t_3 與 t_2 才開始傳送訊框，所以 3 個工作站下次的喚醒時間分別為 t_3+T 、 t_2+T 、 t_1+T 。

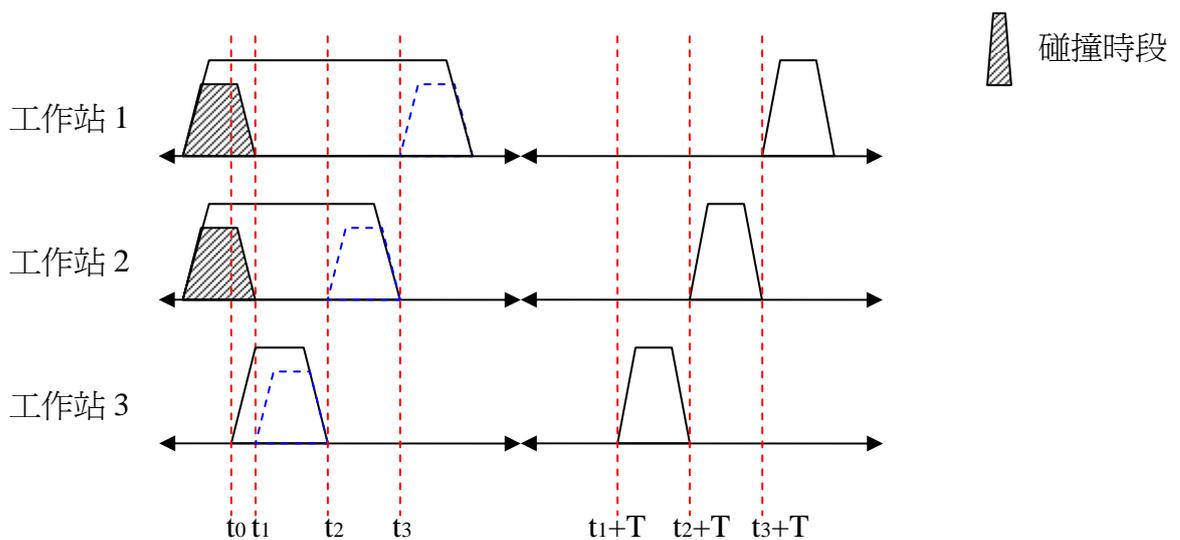


圖 4.2 發生碰撞時的調整方法

4.5 對 MAC 與影響與代價

本篇論文是以延遲喚醒時間的方法，錯開彼此的甦醒時間，達到避免 overhearing 的發生與節省電源目的，因為我們提出的方法是將喚醒時間向後延遲，所以會對訊框的暫存時間、MAC 的延遲與 Jitter 的大小產生影響。

4.5.1 系統飽和前

在調整喚醒時間後，由於 back-off 值是隨機的亂數，工作站還是可能會遇到 Overhearing，喚醒時間也因此需要些微的調整，不過會由於 back-off 有最大值，工作站的喚醒時間在經過幾次調整後，最後會穩定下來，符合我們原先設計的要求，即使是因碰撞而產生的調整，也會因為調整過後，達到穩定的狀況，在這種情況下，MAC 延遲雖然變大，但時間的延遲依舊可以保持住，所以對服務本身沒有太大的影響；另外在每次調整時間後，jitter 與訊框的暫存時間都會產生變動，不過由於喚醒時間最後會穩定下來，所以這些變化也都會穩定下來。另外由於工作站抓的時間為訊框的 interarrival time，而非訊框傳送的確切時間，所以在調整喚醒時間後，有可能在一個服務區間內收到 2 個訊框，當這種情況發生時，以後訊框暫存在 AP 的時間反而會因此縮短。

4.5.2 系統飽時

當系統飽和時，工作站數量大於系統的負荷，系統無法在該服務的週期內，將所有的工作站全都服務完畢，若按照原先的週期醒來，工作站一定會發生 overhearing，也需要一直調整工作站的喚醒時間，進而造成 MAC 延遲的持續增加，訊框的遺失率也會而受到影響，以上的情況對時間延遲敏感的服務是無法接受的，所以我們要判斷系統是否已經飽和，其判斷方法如下：

- 設定參數 T_{delay} ：因調整喚醒時間而造成的時間延遲值的總和
- 當 T_{delay} 的累積值超過該服務的週期時，系統即為飽和

當系統飽和時，此時調整喚醒時間已經沒有意義，所以停止使用本演算法，回到原先 802.11e U-APSD，但之前曾經提過，在調整喚醒時間後，overhearing 的產生原因，除了系統飽和外還有 back-off 值的大小，所以 T_{delay} 的值必須要把因為 back-off 所產生的時間延遲給排除在外，當 $T_{overhearing} < T_{data}$ ($T_{data} = T_{frame} + \text{avg}(T_{back-off}) + T_{aifs}$)，便不計算到 MAC 的延遲上，而延遲的門檻之所以會設為一個訊框的傳輸時間，主要為當使用者的數量超過系統所能提供的數量時，工作站醒來時至少要多等一個訊框(一個工作站)的傳輸時間才有機會發送觸發訊框，由此可知，當使用者數量越多時，工作站每次的調整時間也越大，也就越快回到標準 U-APSD。至於對時間延遲不敏感的服務來說，主要在意的是封包的遺失率與傳輸速度，所以不需要如此嚴格的條件，可以修改 T_{delay} 的 threshold 值，達到較好的省電效率。

第五章 模擬結果

本次模擬的實體層為802.11b，實體層速率為11 Mbps，表5.1為本次模擬所用之參數，voice、video 的 RTP/UDP/IP header需要 $29.1 \mu s$ ，U-APSD 的null data 需要 $142 \mu s$ 。

802.11b 實體層			
Slot time	$20 \mu s$	DIFS	$50 \mu s$
SIFS	$10 \mu s$	PLCP + Preamble	$192 \mu s$
ACK	$10.2 \mu s$	MAC header+ FCS	$24.7 \mu s$

表5.1 802.11b使用參數

本次模擬的服務類型如下：

- Voice：iLBC Code，速率為13.3 kbps，週期為 30 ms。
- Streaming：資料為MPEG-4的 trace file，檔案為 **Star Trek : First Contact**[7]，目標速率(target rate)為 68 kbps，週期為 40 ms。
- Background：使用 ftp檔案傳輸，目標速率(target rate)為 150 kbps，週期為 100 ms。

在模擬中，所有工作站的第一次的甦醒時間都落在 0 ~ 40 ms 的範圍內。

5.1 省電效能

圖5.1到5.3顯示每個工作站平均的清醒時間與週期的比例，當工作站較的數目少時，U-APSD 的清醒時間變長但變化較小，隨著數量的增加，同一個時段醒來的數目越來越多，需要等待的時間也就越長；反觀我們提出的方法，由於事先排程過，讓工作站甦醒時可以達到我們預設的目的，所以即使數量一直增加，清醒的比例也幾乎保持在一個定值，而當傳輸的工作站數目過大，超出系統所能提供時，便會停止調整喚醒時間，回到原先的U-APSD模式，清醒比例也就因此而增加，不過因為先前排程的緣故，所以同一時段醒來的數量較U-APSD少，需要的清醒時間在相對之下也因次較少。

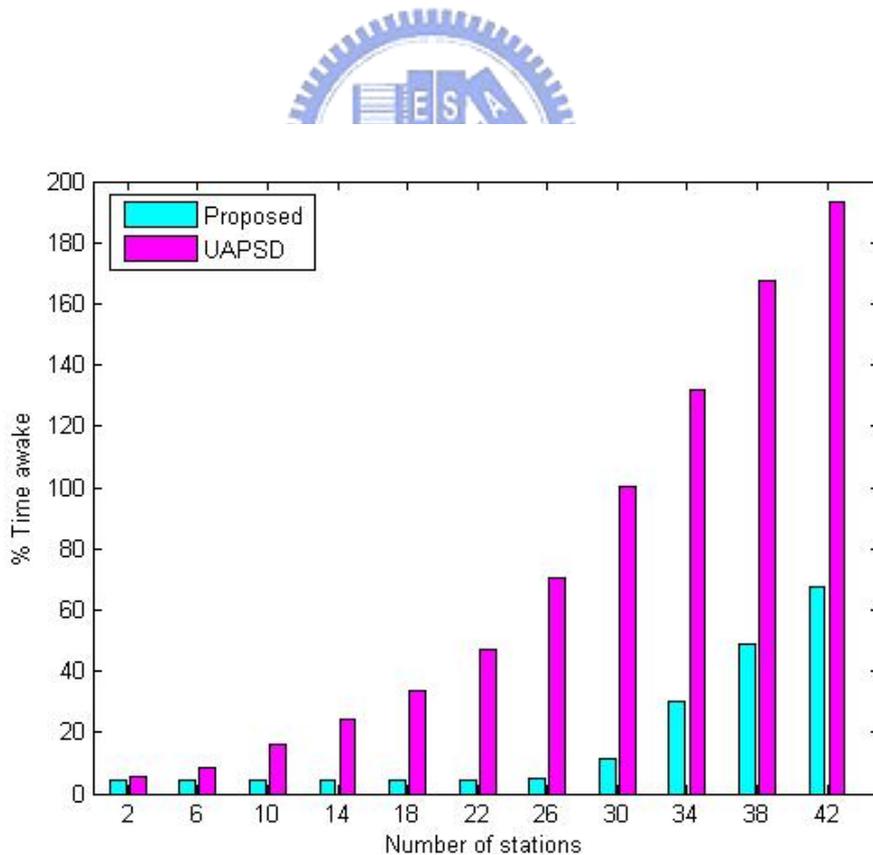


圖5.1 工作站數量對 iLBC code 電源節省效率的影響

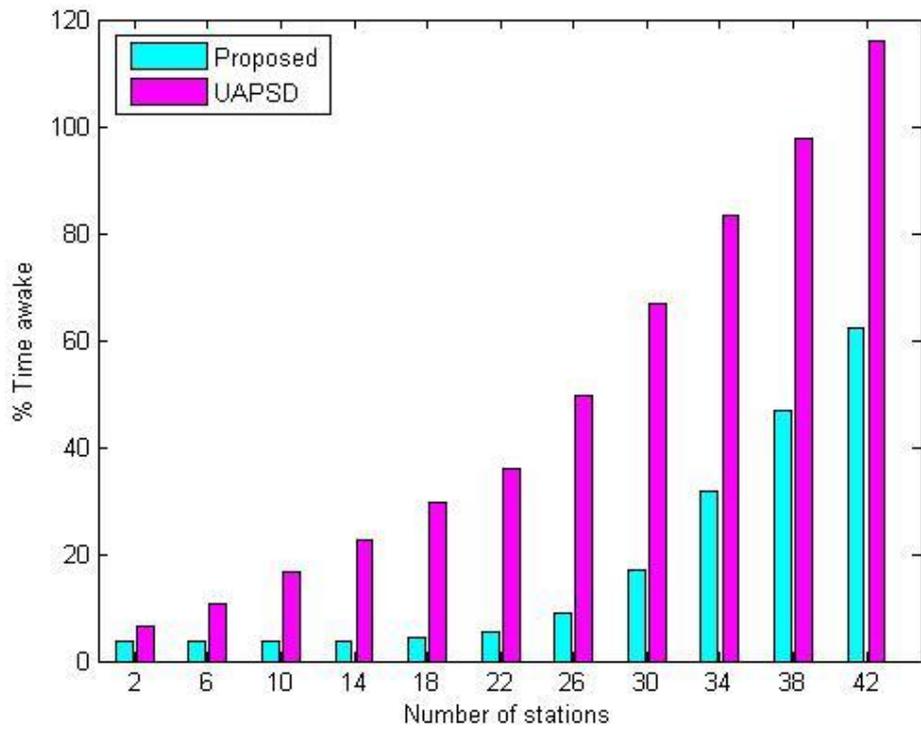


圖5.2 工作站數量對 MPEG-4 電源節省效率的影響

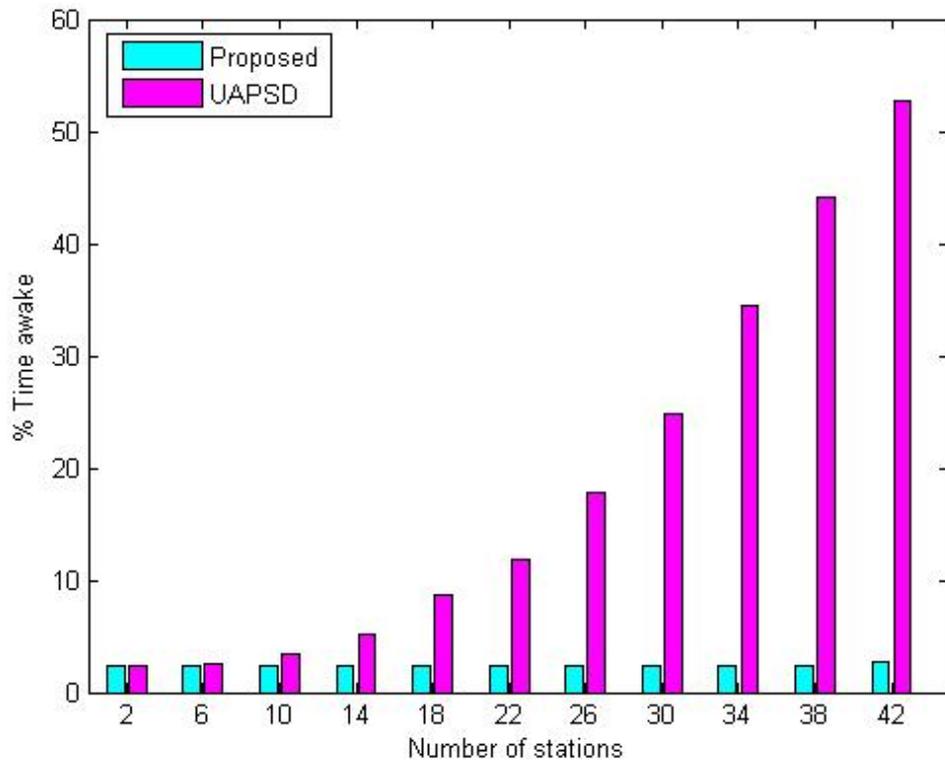


圖5.3 工作站數量對 ftp 電源節省效率的影響

5.2 碰撞次數與傳輸流量

在系統內，碰撞次數發生的越多，資料的傳輸量就會因此減少，而從圖5.4可看到，在同一種類型的服務下，U-APSD的碰撞數目會隨著工作站數量的增加而逐漸增加，而使用我們提出的方法後，由於工作站的喚醒時間被錯開，因此幾乎沒有發生碰撞，實際的碰撞次數為0或1，而圖5.4的結果，也可以從直接在圖5.5中得到驗證。

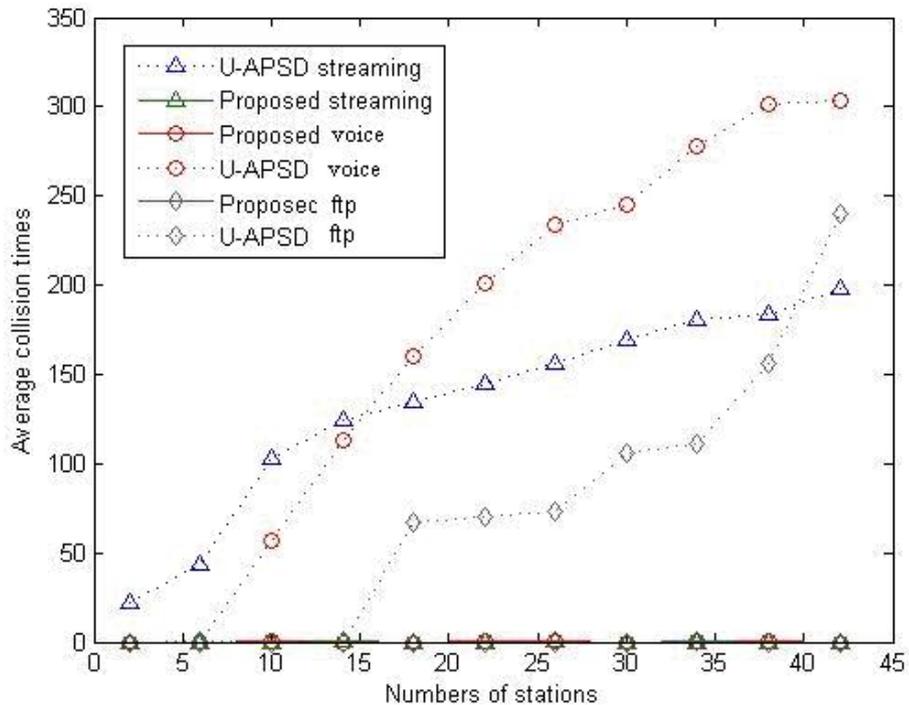


圖5.4 工作站數量對碰撞次數的影響

從圖5.4中可以得知，當碰撞數會隨著工作站的數量而逐漸增加，圖5.5也驗證的這結果，當工作站比增多時，U-APSD 資料量的傳輸會因為碰撞的發生，讓流量略小於我們提出的方法，而當工作站數目逐漸達到系統的飽和量時，因為工作站的數量增多，使的碰撞次數快速上上升，導致資料的傳輸量在接近系統飽和前，傳輸的總量便逐漸小於我們提出的方法，而達到系統飽和

後，又逐漸往開始往下降；而我們提出的方法，從模擬的數據得知碰撞次數近似於0，所以當系統達到飽和後，除了工作站 overhearing 的時間變長，仍舊能夠保持相當的資料傳輸量，資料的傳輸的總量比較不會因為工作站數量的增加，而導致快速的下降，由於在系統飽和後，我們重新使用標準的U-APSD機制，所以在工作站數量繼續增加後，傳輸總量還是會因為發生碰撞的次數而下降。

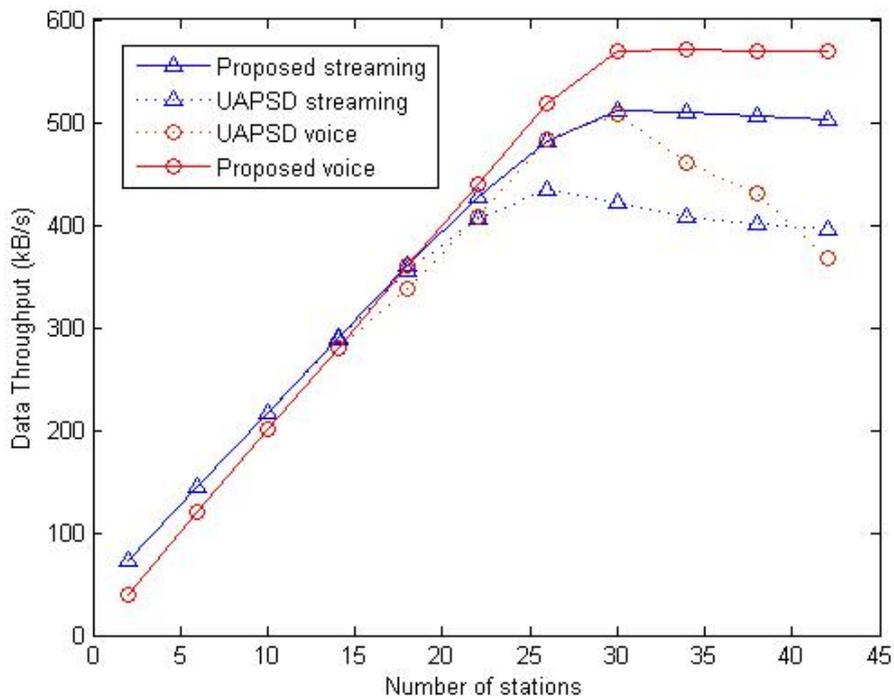


圖5.5 工作站數量對系統的傳輸量的影響

圖5.6為 ftp 服務的資料流量，因為 payload較長，降低了overhead 所佔的比例，所以資料的傳輸量明顯要比其他兩種服務要大的多，也因此我們將ftp與其他兩者服務分開顯示，此外由於該服務週期約為另外兩種服務的2.5 ~ 3倍，但傳輸時間只增加1/3左右，因此要使得ftp的服務可容納更多的使用者，進入飽和所需的工作站數量，也要比其他兩種服務大的多，不過我們依舊可以從圖中

得到和前兩種服務相同的結論。

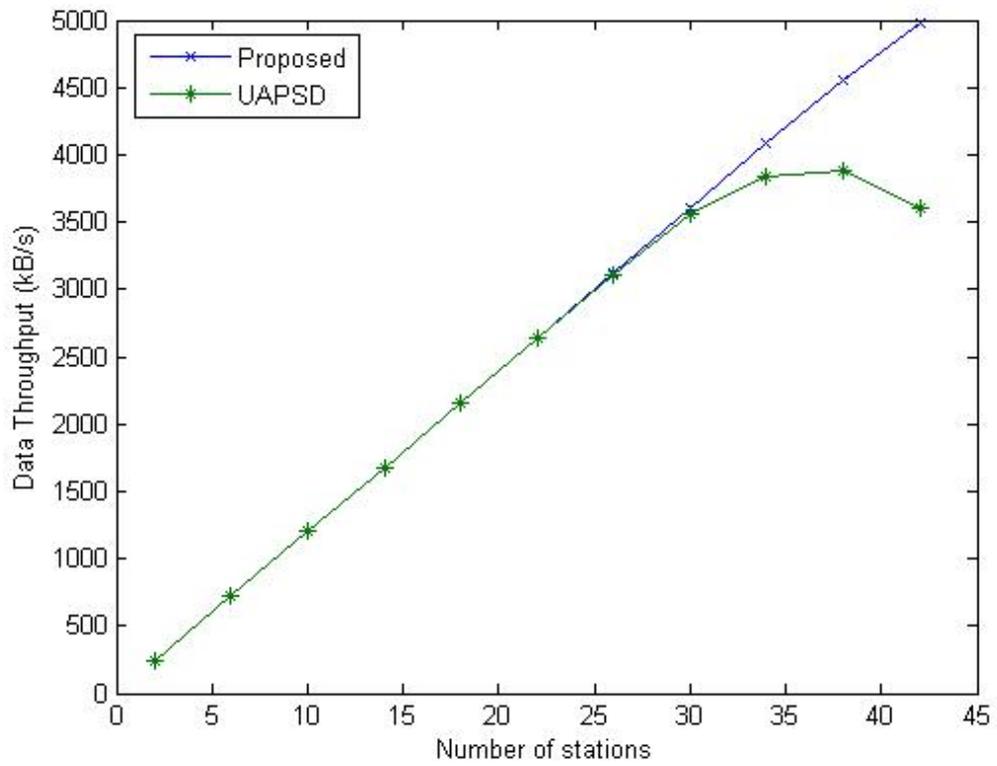


圖5.6 工作站數量對ftp 傳輸量的影響

第六章 結論

IEEE 802.11e 的 U-APSD省電模式使用EDCA來傳送資料，所以不可避免的會跟其他的工作站發生碰撞，或是有overhearing的產生，從模擬的結果可以得知，我們所提出的方法，使得工作站的清醒時間保持在一個固定比例，明顯的降低overhearing，尤其是在系統擁擠時更能看出其效果，另外我們提出的方法，從模擬結果得到碰撞發生的次數為 0或1，除了使通道的效率變高，資料的傳輸量也提高外，也較U-APSD提供更多的使用者，此外當系統飽和時，依舊能夠提供較U-APSD高且穩定的資料傳輸量，不會因為工作站數目的增加的緣故，而快速降低資料的傳輸總量。



此外我們也在 4.5 節談過調整喚醒時間所需要付出的代價，也就是訊框的等待時間、MAC 延遲的增加與 Jitter的變化，從模擬結果看來，只要系統還未達到飽和，如同我們設想的一樣，對於工作站所使用的服務不會造成太大的影響，對於要求即時服務的工作站而言是相當有用的，而當使用的服務對於時間延遲沒甚麼要求時，即使系統達到飽和時，我們也可以犧牲掉部分的傳送效率，來達到較高的省電效率。

参 考 文 献

- [1] “Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications,” IEEE Std. 802.11 -1999 (Reaff 2003).
- [2] “Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Medium access control (MAC) quality of service (QoS) enhancements,” IEEE Std. 802.11e -2005, Nov. 2005.
- [3] “Wi-Fi Alliance,” <http://www.wi-fi.com>.
- [4] X.P´erez-Costa and D.Camps-Mur, “APSM: Bounding the Downlink Delay for 802.11 Power Save Mode,” in *Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC)*, May 2005.
- [5] XP´rez-Costa , D.Camps-Mur, and Albert Vidal, “On distributed power saving mechanisms of wireless LANs 802.11e U-APSD vs 802.11 power save mode “, *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, Feb 2007
- [6]Takeuchi S, Sezaki K, Yasuda Y, “Quick data-retrieving for U-APSD in IEEE 802.11e WLAN networks“, *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics Communications and Computer Sciences*, July 2006
- [7] “Trace Files,” <http://www.tkn.tu-berlin.de/research/trace/ltvt.html>