

具 QoS 的無線區域網路之 HCCA MAC 允入控制與資源配置

Optimal Admission Control and Resource Allocation for WLAN HCCA MAC with QoS Guarantee

郭偉齡

國立台北科技大學電資學院碩士專班
s4668817@ntut.edu.tw

柯開維

國立台北科技大學資訊工程系
kww@csie.ntut.edu.tw

摘要

本論文旨在探討多媒體影音資料在無線區域網路上傳遞時所遇到的問題，期盼能夠在滿足服務品質 QoS (Quality of Service)保證的前提之下，找出最佳無限資源配置方案。本論文係根植於 IEEE 802.11e 之 EDCA 媒介存取機制下，將多媒體服務資料型態分類後，再附以不同的優先權的觀念，到免競爭傳輸(CFP)週期下的 HCCA 存取機制下的同步式訊框(Beacon)之資源架構，再利用 MDP 理論建立其數學模型，以求取最佳之允入與無線通道資源配置方案，並經由各項數據分析驗證最佳方案的效能。

關鍵詞：IEEE 802.11e 無線網路、服務品質(QoS)保證、允入控制(Call Admission Control)、馬可爾夫決策過程(MDP)、資源配置

一、緒論

隨著在無線區域網路中多媒體應用的廣泛使用，因此在無線區域網路中支援 QoS 也將變的越來越重要。為了支援即時性(real-time)的多媒體應用並提供 QoS 保證，因而有了 IEEE 802.11e 標準之制定。雖然 IEEE 802.11e 已經制定了具有 QoS 功能的 MAC 層，但是如何把這些機制應用在 QoS 的議題上，並沒有明確的指示。而在這些 QoS 議題的研究中，兩種較為有效的作法：adaptive contention window 和加入 call admission control 則是同時具有挑

戰性及實際效果的提案。

過去已經許多的學者各別針對 Adaptive Contention Window 和 Call Admission Control 這兩個議題提出解決的方法，文獻[10]做了很好的整理。Adaptive Contention Window 的概念為在無線區域網路中，根據不同的網路狀況，調整不同種類 AC(Access Category)的 Contention Windows 範圍。而 Call Admission Control 的目的在於控制 traffic stream 的數量，使得目前存在 traffic stream 的 QoS 不會因為系統負載的增加而有明顯的下降。因為，已經有許多的論文針對 IEEE 802.11e 的改良機制，使得 IEEE 802.11 能更順利的傳輸即時性多媒體資料。而探討的文獻大多分成兩個方向，一個是以工作站本身的參數調校為主，也就是試著改善訊框長度，後退時間演算法，競爭視窗大小等方法來改善傳輸效能。另一個研究方向則是優化佇列的排序為主。

本論文的目標是要設計一個最佳化的允入控制(call admission control)機制並同時解決 QAP 無線資源配置之問題。本研究將以馬爾可夫決策程序(Markov Decision Process,MDP)理論為最佳化模式之根據，再使用線性規劃法(Linear Programming, LP)來求取最佳解。

本論文其他部份之架構如下：第二節說明 IEEE 802.11 和 IEEE 802.11e 之 MAC 層的存取方法之差異性以及相關的技術背景。第三節介紹馬爾可夫決策程序(Markov Decision Process, MDP)理論和線性規劃法的基礎知識介紹。第四節則是系統環境的描述。第五節為本論文使用馬爾可夫決策程序理論來建立 IEEE 802.11e 的允入控制

之系統模型，再以線性規劃法來求取傳輸訊框(frame)配置的最佳解。第六節是數值分析的結果與討論。最後第七節則是對本論文做個總結並指出後續可行之研究。

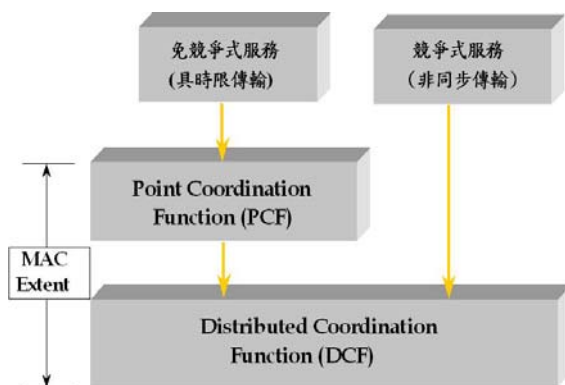
二、背景知識和相關研究

由於多媒體的應用在近年來有爆炸性的成長，如何保證即時性較強的多媒體應用（例如，隨選視訊、線上會議以及 Voice over IP 等）的服務品質問題變成日益突出。所以，IEEE 802.11[3] WLAN 標準需要一種能夠針對無線傳輸通道的特性，在 MAC 層提供網路訊號服務之類型的區分、優先等級的控制、資源分配等的 QoS 控制和保障機制，而對無線網路之 QoS 進行整體規劃。因此，新的 IEEE 802.11 MAC 層協定必須要具備支援服務品質的能力。

IEEE 802.11 Task Group E 進行對加入了服務品質保證之無線區域網路 MAC 層的研究，並把此研究草案命名為 IEEE 802.11e[4]。

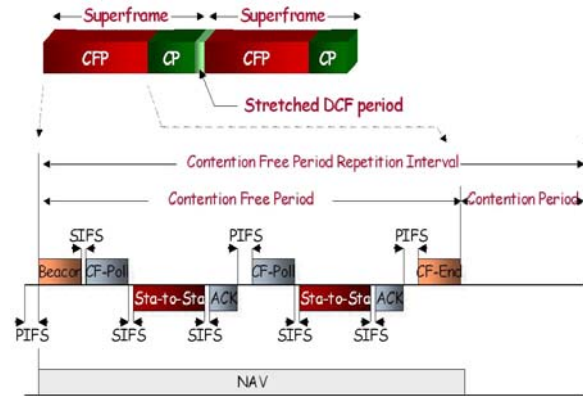
2.1 IEEE 802.11 簡介

在 IEEE 802.11 無線區域網路的媒體存取控制層(MAC Layer)中，提供了兩種不同功能的無線傳輸媒介的存取方式：分散式協調功能(Distribution Coordination Function, DCF)與中樞協調功能(Point Coordination Function, PCF)，兩者分別屬於競爭傳輸(Contention Period, CP)和免競爭傳輸(Contention-Free Period, CFP)，如圖一所示。



圖一 IEEE 802.11 MAC Layer 之架構圖

而這兩個功能將由存取點(Access Point, AP)去協助監督，並且交替進行。亦即，在進行一段時間的競爭傳輸之後，隨即進行一段免競爭傳輸。而這兩個時期交替一次才稱為一個超級訊框(superframe)，如圖二所示。

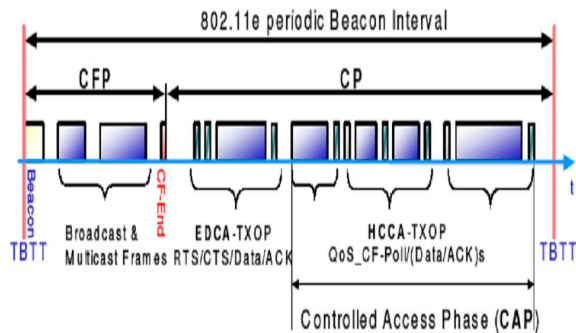


圖二 超級訊框之運作圖

DCF 是標準 CSMA/CD 存取機制的基礎。在傳送資料之前，它會先檢查傳輸媒介是否處於淨空的狀態。為了避免發生碰撞，如果當傳送者要傳送資料的時候發現目前頻道被佔據，則此傳送者會隨機延後一個倒退(back-off)時間。在某些情況下，DCF 也可以使用 Request to Send/Clear to Send(CTS/RTS)的技術來減少碰撞的發生。

PCF 是提供免競爭傳輸服務模式。該模式係經由一個稱為中樞協調單元(point coordinator)的特殊工作站，來確保不必透過競爭即可使用媒介。在 PCF 之中，只有可輪詢(CF-pollable)的工作站才可以向中樞協調單元要求加入輪詢表(polling list)之中。反之，非輪詢(Non CF-pollable)工作站在 PCF 期間之中不可進行傳輸。通常中樞協調單元是使用 round-robin 的方式逐一要求目前在輪詢表之中的工作站進行傳輸。若是工作站在被要求輪詢之後，傳送的訊框發生錯誤，工作站也不可以立即進行重送的程序，必須要等到下一次輪詢或是競爭週期才能重送此訊框。如果可輪詢的工作站傳送訊框的目的地是一個非輪詢工作站，則此非輪詢工作站必須等到 DCF 期間，才可能接收到此傳送訊框。在 PCF

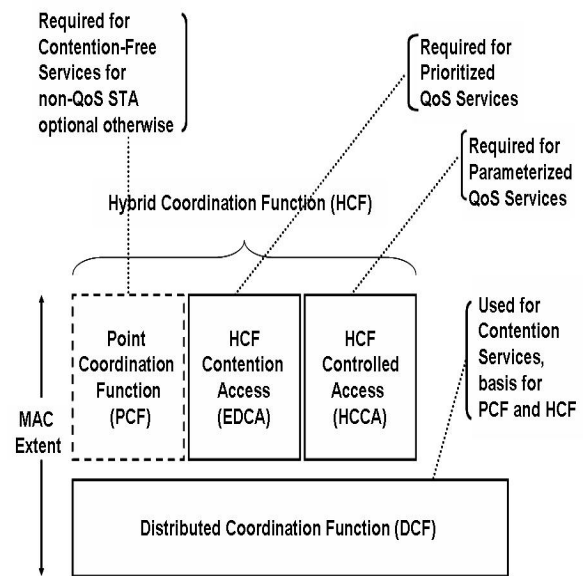
的期間當中，中樞協調單元擁有最高的控制權，所有的工作站皆會等待中樞協調單元的輪詢命令後才會擁有傳送資料的權利，如圖三所示。



圖三 IEEE 802.11 e Beacon Interval 之週期性之運作圖

2.2 IEEE 802.11e 媒介存取機制

IEEE 802.11e 是一個新的無線網路媒介存取的協定，相對於傳統的 IEEE 802.11，IEEE 802.11e 增強了對於即時性資料的服務品質保證。傳統的 IEEE 802.11 雖然有 PCF 的機制，但是 PCF 卻有以下幾個缺點：1. 工作站每被輪詢一次只能傳輸一個訊框；2. 中樞協調單元對於需要高優先權的語音訊框和一般訊框都同等對待，沒有優先權的處理機制；3. 訊框的傳送對於 delay 和 jitter 並沒有設限。因此，IEEE 802.11e 的 MAC 使用 HCF (Hybrid Coordinator Function) 傳輸協定，此協定增強了原有的 802.11 MAC 存取方式，並且支援 Prioritized QoS 及 Parameterized QoS 兩種。802.11 e MAC 的 HCF 也分成了兩種模式，即 EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) 以及 HCCA (HCF Controlled Channel Access)。EDCA 與 DCF 一樣，只能在 CP 期間中使用，然而 HCCA 卻可在 CP 及 CFP 兩期間使用，並透過 HC (Hybrid Coordinator) 控制無線傳輸媒介的存取，如圖四所示。

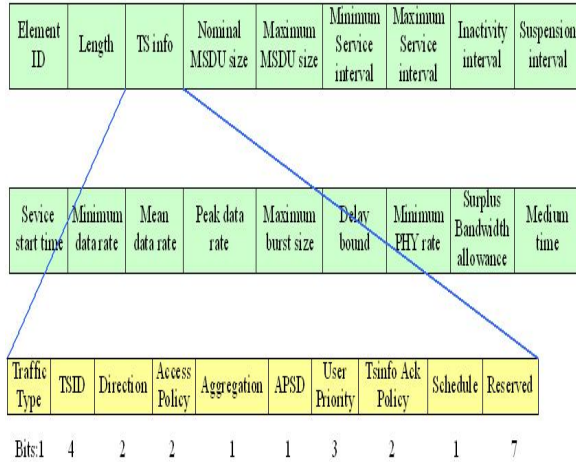


圖四 IEEE 802.11 e MAC Layer 之架構圖

此外，HCF 傳輸協定中定義了一種稱為傳輸機會 (Transmission Opportunity, TXOP) 的時間參數，QSTA (QoS-Station) 可在 TXOP 所限定配給它的時間範圍內傳送多個訊框，解決了以往一次只能傳送一個訊框的問題。TXOP 依照 HCF 中的兩種傳輸模式可分為 EDCA TXOP 及 HCCA TXOP (或 Polled TXOP)。EDCA TXOP 定義於 Beacon 中的 TXOPLimit，並藉由 QAP (QoS Access Point) 廣播宣告；HCCA TXOP 是競爭參數根據每個 QSTA 所送來的 TSPEC (Traffic Specification) 參數需求所計算出，然後利用 CF-Poll 的資料訊框回傳給各個 QSTA。

EDCA 模式改善了原有 DCF 模式中不支援 QoS 的傳輸方式，但仍舊不能充份的提供 QoS 保證及有效的 Traffic 防護機制。因此，類似於 PCF 模式的 HCCA 設計，可滿足 EDCA 模式中 QoS 支援不足的問題，且與 PCF 不同的是，HCCA 模式除了在 CFP 期間內與 PCF 模式共同運作之外，亦可在 CP 期間中執行，執行期間稱為 CAP (Controlled Access Phase)。HCCA 是透過具有 QoS 功能的 HC，並利用 Polling 的方式來分配媒介使用權給各個 QSTA，達到無線傳輸媒介的控管，通常

HC 實現於 QAP 中。在運作前，QSTA 必須先傳送一特別的 QoS 管理訊框需求給 HC，訊框中包含了一個特別的參數，此元件稱為 TSPEC(Traffic Specification)，其格式如圖五所示。



圖五 TSPEC (Traffic Specification) 格式

HC 會對於 QSTA 的需求建立一個虛擬的 TS(Traffic Stream)，然後利用一個簡單的允入控制機制，並參考 TSPEC 中的參數來決定 TS 能否成立，同時建立 HC Poll Schedule，將能成功建立的 TS 加入。運作時，HCCA 同樣是等待一般 PIFS 時間後獲得媒介存取控制權，然後依照 Poll Schedule 順序傳送 CF-Poll 的資料訊框，並分配 HCCA TXOP 給每個 QSTA，輪詢到的 QSTA 就可在 TXOPLimit 所限定的時間範圍內傳送資料。

在 IEEE 802.11e 的規範中對於允入控制這個部分只針對 HCCA 模式，提出一個簡單的範例來說明，其方式簡述如下：在 HCCA 模式中，當 QAP 接收到 QSTA 所傳來的 QoS 需求訊框後，允入控制機制就會參考訊框中所附的 TSPEC 內各項參數來計算出每個 TS 是否能被允許排入 HC Poll Schedule 並等待傳送。其計算步驟如下：

(1) 首先 HC 會選擇出在所有 TS 中，低於或等於 MSI(Maximum Service Interval)，且亦是 beacon interval 最大因數的值。此值為 Schedule SI(Service Interval)。假設 beacon interval 為 100

ms，且 QAP 總共收集到 3 個 QSTAs 之 TSPEC 資訊，當中所要求的 MSI，分別為：80 ms、70 ms、60 ms。則 SI 之值為 50，因為 50 為小於 80、70、60 之 100 的因數中之最大值。

(2) ACU(Admission Control Unit) 計算 QSTAs 在 Schedule SI 期間內某個資料流 i 能傳送多少 MSDUs 的數量 N_i ：

$$N_i = \left\lfloor \frac{SI \times \rho_i}{L_i} \right\rfloor \quad (2.1)$$

其中，

ρ_i : Mean Data Rate

L_i : Nominal MSDU Size

(3) 計算某個資料流 i 的 TXOP 持續時間：

$$TXOP_i = \max\left(\frac{N_i \times L_i}{R_i} + O, \frac{M}{R_i} + O\right) \quad (2.2)$$

其中，

R_i : Minimum Physical Rate

M : Maximum MSDU Size

O : Overhead in Time Unit

(4) 最後透過 ACU(Admission Control Unit) 的計算來控制新進的 TS 能否傳輸：

$$\frac{TXOP_{k+1}}{SI} + \sum_{i=1}^k \frac{TXOP_i}{SI} \leq \frac{T - T_{CP}}{T} \quad (2.3)$$

其中，

k =已存在 TS 的數量

$k+1$ =新進的 TS

T =Beacon Interval

T_{CP} =EDCA Traffic 的時間

針對前面的允入控制機制之計算步驟，有學者提出 PRBAC (Physical Rate Based Admission Control) 允入控制演算法 [7]，利用所謂長期平均(long-term average) 實際速率來作為允入控制參數的改良依據，並且使用瞬間實際速率來分配 TXOP 給個別的站台使用，這樣子會比較接近實際的狀況。另外一方面，這個演算法可以准許比 IEEE 802.11e 草案中規範的方案有更高的允入交通流量(traffic flow)。因為使用了瞬間實體速率來計算 TXOPs，所以，個別站台的效率不會下降太多。此演算法係針對 HCCA 模式的來作為允入控制的

改善。

此外，在 802.11e 草案中並沒有針對 EDCA 模式來規範允入控制機制要如何實施，所以對於這個方面的議題有許多研究發展的空間。基本上，有關於 EDCA 模式的允入控制機制可以分成兩類：以量測參數為基礎的(Measurement-based)和以預設模式為基礎的(Model-based)。以量測參數為基礎的之允入控制機制係以連續不斷地測量網路上傳遞狀況，例如，網路貫通量(throughput)或延遲(delay)[8]；而以預設模式為基礎的之允入控制機制係以預先設定的固定績效判斷準則來評估現在網路的狀況[9]。

本論文所提出的允入控制機制方案是針對 HCCA 模式在免競爭傳輸(CFP)週期下的允入控制機制。雖然，文獻[2]雖然也是針對在 IEEE 802.11 的免競爭傳輸(CFP)期間中允入控制設計，但是，該研究係應用 MDP 來架構免競爭傳輸(CFP)期間中之允入控制模型，並使用策略迭代法(Policy-Iteration Method)來求取最佳解。該研究主要篇幅在探討重點在於策略內容之變更和狀態數目在求取最佳解的過程中的相關性，這和本論文所提出的允入控制機制解決方案的探討方法與重點是截然不同的。

三、馬爾可夫決策程序 (Markov Decision Process, MDP) 理論

本論文為解決在無線區域網路 802.11e 協定中，系統如何分配頻道頻寬之時槽個數資源管理機制，以達到服務品質保證之效果，在本節中我們將介紹於文獻[6]已證明可以求得最佳解的「馬爾可夫決策程序，做為本論文所提出的資源管理機制的數學基礎。

馬爾可夫決策程序就是在動態系統中的每一個狀態可作多種選擇的馬可夫程序。在每一個狀態下做不同的選擇可以獲得不同的回饋，我們稱之為收益(reward)。在某一個狀態下當有事件發時，所做的選擇稱為決策(decision)，系統各個狀態所做

的決策構成的集合稱為策略(policy)。一個可以得到系統最大收益（長時間下每一次狀態轉移的平均收益）的策略則稱為該系統的最佳化策略(optimal policy)。

MDP 為一個具有馬爾可夫特性(Markovian property)的連續時間動態系統。在隨機的時間點下，此動態系統可以觀察並分類出一個有限值的狀態數。馬爾可夫特性的意義就是當現在的狀態作下一個決定之後可以為系統帶來收益，而下一個決定要跳到那一個狀態，只會跟現在的狀態有關，跟之前的狀態與歷史無關。

MDP 理論可以在連續的時間下討論，也可以在離散時間下探討。在這裡我們直接討論連續時間下的 MDP 列式。現在我們假設系統初始在 i 狀態， $\forall i \in \Omega$ (Ω 為所有狀態空間的集合)，設 $V_i(t)$ 為給定策略下在時間 t 時的期望收益。則 $V_i(t)$ 可以寫成下列式子：

$$V_i(t) = g \cdot t + v_i, \forall i \in \Omega, \text{ when } t \text{ is large, } (3.1)$$

其中，

$$g = \lim_{t \rightarrow \infty} \left(\frac{V_i(t)}{t} \right), \forall i, \text{ 長時間下}$$

(long-run)之期望收益，

v_i = 狀態 i 之相對值(relative value)。

g 與 v_i 可由下列的數值決定方程式 (value-determination equation, VDE) 解得：

$$\left(\sum_{\substack{j \neq i \\ j \in \Omega}} \alpha_{ij} \right) v_i = q_i - g + \sum_{\substack{j \neq i \\ j \in \Omega}} \alpha_{ij} v_j, \forall i \in \Omega, (3.2)$$

其中，

α_{ij} = 狀態 i 到狀態 j 之轉移率

(transition rate)，

q_i = 狀態 i 之即時收益率(reward rate)。

若狀態有 N 個，就會有 N 個線性方程式，但在(3.2)式中變數的總數有 $N+1$ 個，為了解決這個種問題，我們通常會令 $v_s = 0$ ， $s \in \Omega$ ，來解出其他的 v_i ， $i \in \Omega \setminus \{s\}$ 與 g 。因為我們是以 $v_s = 0$ 求其他的解，故 v_i 稱之為相對值。另外，我們考慮(3.1)式在狀態 i

與狀態 j 下的值為：

$$V_i(t) = g \cdot t + v_i \quad \text{與} \quad V_j(t) = g \cdot t + v_j \quad (3.3)$$

則 $V_i(t) - V_j(t)$ 的值即為 $v_i - v_j$ 的值，若此值大於零代表由狀態 i 開始而不是狀態 j 的系統長時間的收益差值。反過來若系統將由狀態 j 開始而不是狀態 i ，則收益會變成損失，我們稱之為需付出的成本(cost)。

MDP 有三種求解最佳化的方法，整理表一所示：策略迭代(policy iteration)、數值迭代法(value iteration)及線性規算法(linear programming)。策略迭代演算法一開始先由一個初始策略找出每一個狀態的相關值，再利用這些相關值去找出更好的策略，一直到找出最佳代的策略為止。數值迭代演算法是在時間上解釋狀態的動作與計算狀態的數值，一直到相對誤差(relative error)落在指定區間內為止，而相對誤差是系統現在的增益與最佳化增益的理論差值。線性規算法是將狀態的轉移機率與系統中可允許狀態下動作的條件機率去計算最佳的系統增益，並且可以依據不同需要加入限制條件。

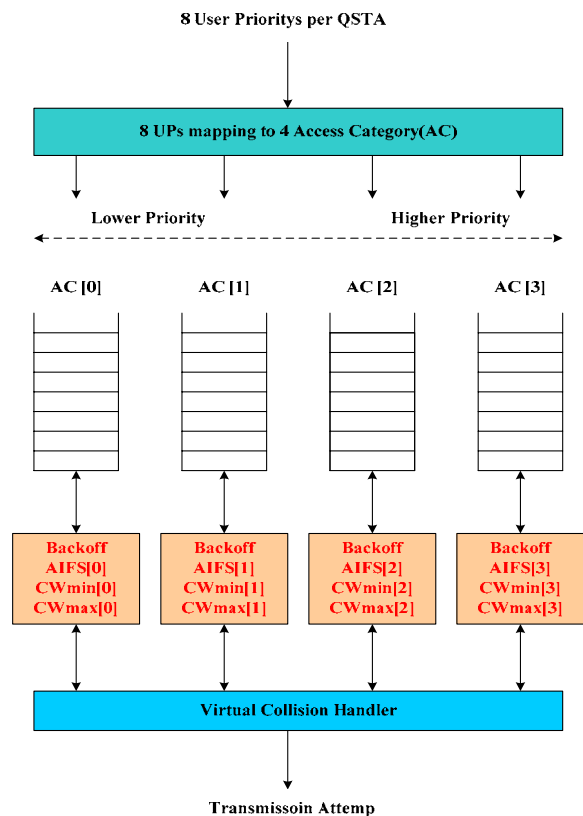
表一 MDP 最佳化解法比較

解法 特性	策略疊 代法	數值疊 代法	線性規 劃法
每次疊 代之 計算負 載	解 $ \Omega $ 個 線性 方程式	疊代與 比較	解 $ \Omega $ 個 線性 方程式
實現複 雜度	中	低	高
收斂速 度	快	中	慢
結果	最佳化	近似最 佳化	最佳化
系統延 展性	否	是	否
外加限 制條件	否	否	是

註： $|\Omega|$ 代表狀態空間中的狀態個數

四、系統描述

在此節中我們將介紹在本論文中所使用到系統之架構，如同前面所提到的摘要內容：系統是在 IEEE 802.11e 之 EDCA 存取機制下，為了達到 QoS 保證所設計的最佳化允入控制方案，而 IEEE 802.11e 之 EDCA 之存取架構扮演著非常重要的地位。IEEE 802.11e 之 EDCA 採用了四種先進先出(First-In First-Out)的佇列(queue)，我們稱他們為 ACs(Access Category)。每一個從上層來的資料封包都伴隨著指定的 User Priority (UP)，而這些資料封包根據他們自己的 User Priority 會進入 UP 所屬的 AC。因此，不一樣型態(例如，background traffic、best effort traffic、voice traffic 和 video traffic)的多媒體資料可以被分配到不同的 AC 中。IEEE 802.11e EDCA 之 AC 示意圖，如圖六所示。



圖六 IEEE 802.11e EDCA 之 ACs 示意圖

每一個 AC 就像在 DCF 傳輸模式中的一個競爭實體，而且擁有自己的競爭參數 ($CW_{\min}[AC]$ 、 $CW_{\max}[AC]$ 、 $AIFS[AC]$ 、 $AIFSN[AC]$ 、 $TXOP_{\min}[AC]$)。而這些競爭參數是由競爭參數所廣播出的 Beacon 訊框得知。

然而，EDCA 存取機制只限於在競爭週期(CP)中來使用，同時，排程／輪詢處理機制只是根據網路的交通流量的現況來作決策，而並沒有以一個長期規劃的角度來制定決策，所以，並不適合用來架構我們所要的系統，所以，我們只採用 EDCA 之 ACs(Access Catagory)的概念，同時附以優先權（優先權順序為：background traffic < best effort traffic < voice traffic < video traffic），且將其應用在免競爭傳輸(CFP)週期的 HCCA 存取模式上。

有關於免競爭傳輸(CFP)週期長度的設定，在 IEEE 的文件裡並沒有去定義或提供任何參考資料可供使用。因為，這個數值的大小是完全可由 HC 根據其內部所維護的輪詢表和輪詢策略來決定的。所以，在本論文中，我們是引用在文獻[11]中出現的數據，將 CFP 週期長度定為 10 ms (aCFPMaxDuration)，而又根據 IEEE 802.11e draft 所規定之一個時間單元(time unit)長度為 1024 μ s(\doteq 1 ms)，所以，在本最佳化允入控制系統中之可分配訊框資源的總數為 10 (10 ms \div 1 ms)；也就是說，將一個免競爭傳輸(CFP)週期的長度區分成 10 個訊框，我們的最佳化允入控制方案就是針對在一個免競爭傳輸(CFP)週期中的 10 個訊框，作為資源分配及最佳化允入控制的依據。

至於，每一類的資料流類型所要使用到時槽的個數，我們原本是參考在文獻[2]中的數據 (2、2、3、6)。但是，這樣一來就在我們的系統中會有兩種資料流類型的參數資料是相同，也就是說，等於只剩下三種資料流類而已，所以，我們將其所使用時槽的個數之設定修改成：1、2、3、6。

五、系統之 MDP 允入控制最佳化塑模

802.11e 改良原始的 DCF 模式，配合使用 QoS 訊框格式，使之具有依網路資料流種類來優先競爭通道存取權的功能，而非原始的平等競爭模式。所以，802.11e 定義了四種資料流類型(traffic type)：Background、Best effort、Voice 和 Video。在本論文中，分別以 $i=1$ 代表 Background、 $i=2$ 代表 Best effort、 $i=3$ 代表 Voice 及 $i=4$ 代表 Video 資料流。

假設某資料流要求提供服務的到達是呈卜松程序(Poisson process)，也假設資料流要求提供服務的持續時間(session time，要求提供服務的產生到服務結束所需的時間)與要求提供服務的到達之間的關係互為獨立的，且呈指數分配(exponential distribution)。令 λ_i 代表第 i 類資料流要求提供服務的速率， $1 \leq i \leq 4$ 。 μ_i 代表第 i 類資料流完成其資料傳輸的速率， $1 \leq i \leq 4$ 。並定義系統所處狀態表示為： $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4)$ ，其中 x_i 代表第 i 類資料流類型(Traffic Type)的個數， $1 \leq i \leq 4$ 。另外，定義 c_i 則代表第 i 類資料流類型所要使用到訊框的個數， $1 \leq i \leq 4$ 。系統的狀態數目會因為及其所使用的訊框的個數而有所不同。

定義 Ω 為系統所有狀態空間的集合，即在此系統下所有可允許的狀態，

$$\Omega = \left\{ \mathbf{x} \mid \sum_{i=1}^4 x_i \cdot c_i = C \text{ and } x_i \geq 0 \text{ for all } 1 \leq i \leq 4 \right\} \quad (5.1)$$

式(5.1)表示在任一個狀態下，所有資料流類型所使用掉訊框個數的總和均不可超過系統所提供的訊框個數總量。狀態的動作空間(Action space \mathbf{A})描述可表示為：

$$\mathbf{A} = \{ a_1, a_2, a_3, a_4 \}, \quad (5.2)$$

其中：

$$a_i = \begin{cases} 0, & \text{表示接受 } i \text{ 類資料流之傳輸要求} \\ 1, & \text{表示拒絕 } i \text{ 類資料流之傳輸要求} \end{cases}$$

同時定義在狀態 \mathbf{x} 的狀態描述向量， \mathbf{A}_x 為

$$\mathbf{A}_x = \{ \mathbf{a} \in \mathbf{A} : a_i = 0 \text{ if } \mathbf{x}_i^+ \notin \Omega \} \quad (5.3)$$

其中 \mathbf{x}_i^+ 代表系統在 \mathbf{x} 狀態下增加一個第 i 類資料流後的新狀態。最後，定義在狀態 \mathbf{x} 會採取 \mathbf{a} 動作的決策變數(decision variable) 為 $u(\mathbf{x}, \mathbf{a})$ ，則在所有狀態下的所有決策要求決定後，此系統的允入控制策略也就決定了。

當狀態為 \mathbf{x} 且選擇了動作 \mathbf{a} 之前會在此狀態停留的平均停留時間(expected sojourn time)為：

$$\tau(\mathbf{x}, \mathbf{a}) = \left[\sum_{i=1}^4 \lambda_i a_i + \sum_{i=1}^4 x_i \mu_i \right]^{-1} \quad (5.4)$$

當狀態為 \mathbf{x} 且選擇了動作 \mathbf{a} 後，系統會轉移到狀態 \mathbf{y} 的機率，以 $P(\mathbf{y} | \mathbf{x}, \mathbf{a})$ 表示：

$$P(\mathbf{y} | \mathbf{x}, \mathbf{a}) = \begin{cases} \lambda_i \tau(\mathbf{x}, \mathbf{a}) & , \text{ if } \sum_{i=1}^k y_i = \sum_{i=1}^k x_i + 1 \\ \sum_{i=1}^k x_i \mu_i & , \text{ if } \sum_{i=1}^k y_i = \sum_{i=1}^k x_i - 1 \\ 0 & , \text{ otherwise} \end{cases} \quad (5.5)$$

另外定義收益率(reward rate)，表示為 $\gamma(\mathbf{x}, \mathbf{a})$ ，意思是系統在狀態為 \mathbf{x} 且選擇了動作 \mathbf{a} 時，每單位時間可以獲得多少收益，這裡我們將之對應到訊框個數的使用率(utilization rate)，所以

$$\gamma(\mathbf{x}, \mathbf{a}) = \sum_{i=1}^4 c_i x_i \quad (5.6)$$

因此，利用 MDP 原理可以建立如下的線性規劃求取最佳策略：

Maximize :

$$U = \sum_{\mathbf{x} \in \Omega} \sum_{\mathbf{a} \in \mathbf{A}_x} \gamma(\mathbf{x}, \mathbf{a}) \tau(\mathbf{x}, \mathbf{a}) u(\mathbf{x}, \mathbf{a}), \forall \mathbf{x} \in \Omega \quad (5.7)$$

Subject to :

$$\sum_{\mathbf{x} \in \Omega} \sum_{\mathbf{a} \in \mathbf{A}_x} \tau(\mathbf{x}, \mathbf{a}) u(\mathbf{x}, \mathbf{a}) = 1 \quad (5.8)$$

$$\sum_{\mathbf{a} \in \mathbf{A}_y} u(\mathbf{y}, \mathbf{a}) = \sum_{\mathbf{x} \in \Omega} \sum_{\mathbf{a} \in \mathbf{A}_x} P(\mathbf{y} | \mathbf{x}, \mathbf{a}) u(\mathbf{x}, \mathbf{a}), \mathbf{y} \in \Omega \quad (5.9)$$

$$u(\mathbf{x}, \mathbf{a}) \geq 0, \mathbf{x} \in \Omega, \mathbf{a} \in \mathbf{A}_x \quad (5.10)$$

(5.7)式為求得系統頻寬之時槽個數資源最高使用率(即求得最大獲益率)之目標函式(objective function)。(5.8)式表示所有分數 $\tau(\mathbf{x}, \mathbf{a}) u(\mathbf{x}, \mathbf{a})$ 的和要為 1。(5.9)式為離散時間馬爾可夫程序的平衡方程式，其代表的意涵在長時間下每單位時間平均由狀態 \mathbf{y} 跳出去的数量要等於在長時間下每單位時間平均跳入狀態 \mathbf{y} 的数量。(5.10)式是針對決策變數所加上的限制條件，我們可將決策變數看成是在狀態 \mathbf{x} ($\mathbf{x} \in \Omega$) 下，會採取動作 \mathbf{a} ($\mathbf{a} \in \mathbf{A}_x$) 這項決策的機率，因此其值會大於或等於零。求得這個線性方程式組的可實現的(feasible)最佳化解集合 $u^*(\mathbf{x}, \mathbf{a})$ ，即代表對於這個系統的最佳化允入控制策略。

六、數值分析與討論

介紹完本論文所使用最佳化允入控制機制的 MDP 之數學模型後，在這一節裡我們將對這個允入控制機制方案進行效能分析與比較。表二為系統相關參數的設定，在實驗參數的設定中，我們定義系統中的正規負載(normalized offered load)為

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^4 \lambda_i c_i}{C} \quad (6.1)$$

表二 系統相關參數的設定值

所需參數	數值
系統頻寬之訊框總數，C	10
$\lambda_1 : \lambda_2 : \lambda_3 : \lambda_4$ λ_1 ，第 1 類資料流要求提供服務的速率 λ_2 ，第 2 類資料流要求提供服務的速率	1:1:3:5

λ_3 ，第 3 類資料流要求提供服務的速率	
λ_4 ，第 4 類資料流要求提供服務的速率	
μ_1 ，代表第 1 類資料流完成其資料傳輸的速率	0.01
μ_2 ，代表第 2 類資料流完成其資料傳輸的速率	0.01
μ_3 ，代表第 3 類資料流完成其資料傳輸的速率	0.03
μ_4 ，代表第 4 類資料流完成其資料傳輸的速率	0.06
c_1 ，代表第 1 類資料流類型所要使用到訊框的個數	1
c_2 ，代表第 2 類資料流類型所要使用到訊框的個數	2
c_3 ，代表第 3 類資料流類型所要使用到訊框的個數	3
c_4 ，代表第 4 類資料流類型所要使用到訊框的個數	6

(1)調整系統負載量：

首先，我們調整系統負載量來比較我們所提出的最佳化允入控制方案的資源配置效率和 Complete-sharing policy (CS)策略 [6]作一比較，觀察系統負載量對頻寬資源的使用率有何影響。CS 策略的頻道使用率計算如下：

$$\frac{\sum_{\mathbf{x} \in \Omega} (\mathbf{x} \cdot \mathbf{c}^T) P(\mathbf{x})}{C} \quad (6.2)$$

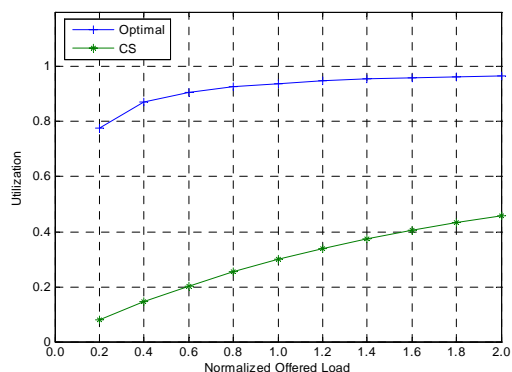
其中，

$$p(x_1, x_2, \dots, x_K) = \prod_{k=1}^K \frac{\rho_k^{x_k}}{x_k!} G^{-1}(A) \quad (6.3)$$

$$G(A) = \sum \left(\frac{\rho_k^{x_k}}{x_k!} \right), \rho_k = \frac{\lambda_k}{\mu_k}. \quad (6.4)$$

在實驗參數的設定上，把負載量從 0.2 一直增加到 2.0。在圖七中，當負載量持續增加時，系統頻寬的使用率也隨之成長，幾乎接近 1，而 CS 策略的系統頻寬的使用率，一樣是隨之持續增加，但是，其最佳

的使用率也只是接近 0.5 而已。因為，我們所提出的最佳化允入控制方案是一個以長期平均利益(long-term average reward)為目標來出發，去配置系統頻寬資源，而 CS 策略則是只要剩餘頻寬大於使用者的需求頻寬，系統就會接受呼叫(call)需求。它容許所有的呼叫需求共享頻寬。雖然 CS 策略容易管理，但它的頻寬有可能會被高到達率的需求所壟斷，而造成不公平性的使用頻寬與較差的網路效能。

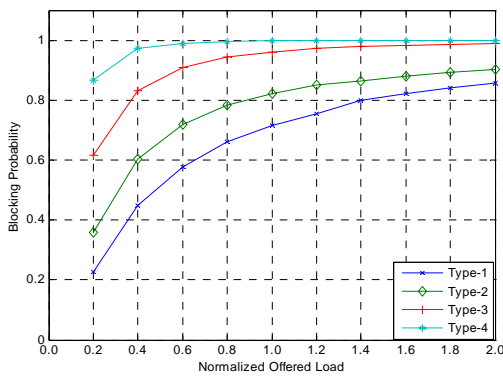


圖七 Utilization 比較圖

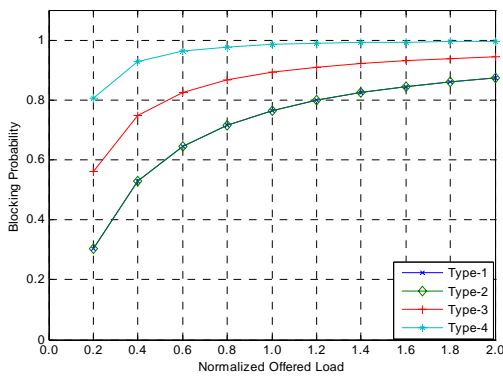
(2)觀察被阻絕機率值：

再來，我們調整系統負載量來比較在系統中所存在的四種服務資料流型態，在負載量從 0.2 一直增加到 2.0 時，各別的被阻絕機率值有何影響。圖八顯示在 MDP 最佳策略及 CS 策略下之系統的被阻絕機率值，當負載量持續增加時，四種服務資料流的阻絕機率值也隨之上升，甚至於優先權最高的第 4 類型資料流的阻絕機率值很快速地接近 1 (負載量增加至 0.8)。這是因為以長期平均利益為角度來思考，並且以頻道使用率之最大化為首要目標，所以，系統中的四種服務資料流的阻絕機率值都會隨著負載量持續增加而上升，這樣一來，把阻絕機率值當作提高系統整體收益的犧牲者。其次，我們也在不變動其資料流要求提供服務的速率 (λ) 和資料流完成其資料傳輸的速率 (μ) 的設定參數值的情形下，改變該資料流類型所要使用到訊框的個數，其實驗的數據結果見圖九和圖十。從圖九 (訊框配置值為：2、2、3、6) 和圖十 (訊框配置值為：1、2、3、5)

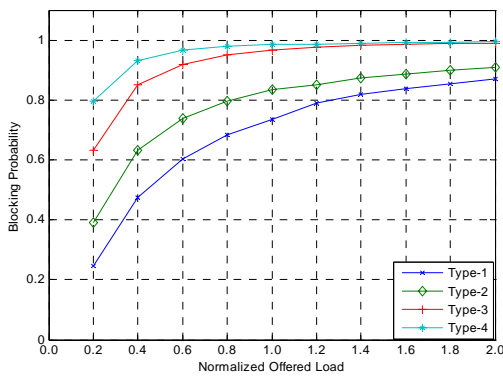
中也可以得到和前面類似的結論。



圖八 四種類型資料流的被阻絕機率值之比較



圖九 四種類型資料流的被阻絕機率值之比較 (改變訊框配置值為：2、2、3、6)

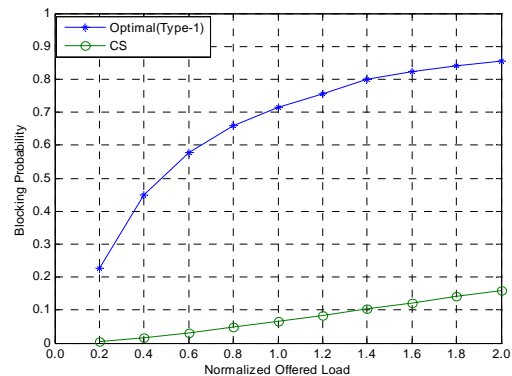


圖十 四種類型資料流的被阻絕機率值之比較 (改變訊框配置值為：1、2、3、5)

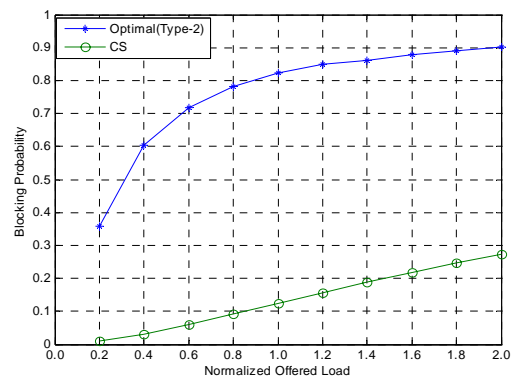
(3)各別服務資料流型態與 CS 策略之比較：

最後，我們針對系統中存在的四種服務資料流型態，調整系統負載量的情況

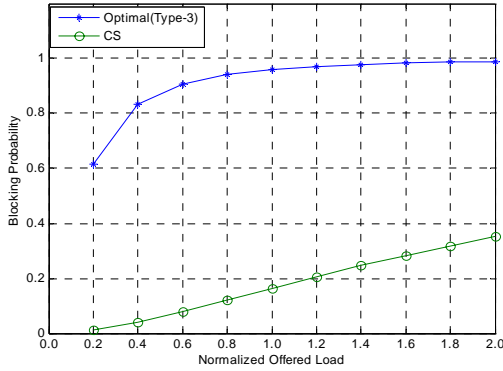
下，各別的與來比較在 CS policy，CS 策略下的被阻絕機率值的變化情形[6]。在圖十一至圖十四中，當負載量持續增加時，第 1 類型、第 2 類型、第 3 類型及第 4 類型的被阻絕機率值是持續上升的。另一方面，雖然 CS 策略的被阻絕機率值也是持續上升的，但是，其被阻絕機率值的上限值卻遠低於前述各個類型資料流的被阻絕機率值。主要的原因是 CS 策略的最佳的頻道使用率也只是接近 0.5 而已，因為，頻道使用率低，被阻絕機率值也跟著不高。換言之，由於本系統係以長期平均利益為目標來思考，雖然，各個類型資料流的被阻絕機率值會呈現持續上升的趨勢。但是，頻道使用率卻能大幅地提昇，這就是被當作提高系統整體收益的犧牲者，所以，被阻絕機率值會呈現持續上升的趨勢。



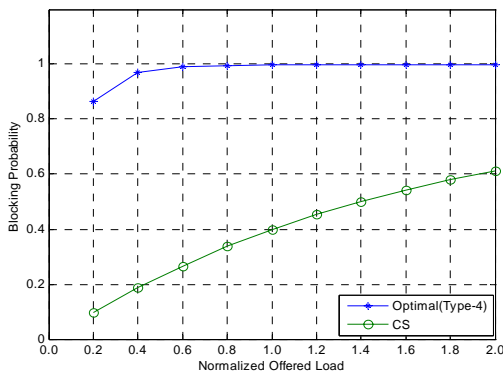
圖十一 第 1 類型(background)資料流之被阻絕機率值與在 CS 策略下的比較



圖十二 第 2 類型(best effort)資料流之被阻絕機率值與在 CS 策略下的比較



圖十三 第 3 類型(voice)資料流與被阻絕機率值與在 CS 策略下的比較



圖十四 第 4 類型(video)資料流之被阻絕機率值與在 CS 策略下的比較

七、結論

本論文提出之最佳之允入控制機制並同時解決資源配置之問題的方法，經過多項數據的分析，證明該允入控制機制是可以達成其功效的。但是，我們也發現了一些問題，就是為了達成最佳的允入控制目的時，會犧牲掉某種優先權資料訊框的媒體存取權利；也就是說，在達成頻道使用率之最大化為目標的時候，系統中各個類型的資料流訊框要求存取媒體的被阻擋的機率會上升。這樣子的情形也是我們所不願意見到的。

所以，針對前述的情形，我們也提出一個解決方法。由於在線性規劃法中是可以依據不同需要加入限制條件，所以，我們可以另外定義一個關於系統是否接受某資料流要求提供服務的參數符號：「 d 」。當系統處於狀態 x 時，若有新的資料流要

求提供服務產生時，並不一定能夠使它順利進入系統，還需視系統所剩餘的時槽個數的資源而定，也因此系統所能挑選的回應動作也會有所不同，若 $a_i=0$ ，則表示系統將阻擋新資料流要求提供服務的進入，此時 $d=0$ ；反之，當 $a_i=1$ ，則表示系統將接受新資料流要求提供服務的進入，此時 $d=1$ (a_i 的定義請參考(5.2)式)。我們定義 P_{B_i} 代表第 i 類資料流要求提供服務被拒絕的機率， $1 \leq i \leq 4$ ，則下式是加入限制條件的作法：

$$\sum_{x \in \Omega} \sum_{a \in A_x} (1-d) \tau(x, a) \mu(x, a) \leq P_{B_i} \quad (7.1)$$

(7.1)式代表為了將第 i 類資料流要求提供服務被拒絕的機率 ($1 \leq i \leq 4$) 限制在 P_{B_i} 值之下所加上的限制條件，其代表的意思是會發生要求提供服務被拒絕的每一個狀態，其穩態機率 (steady state probability) 值的總和要小於或等於我們所設定的上限值。把(7.1)式加入到第五節中 MDP 的數學模型之限制條件中，以達控制某一類資料流訊框要求存取媒體的被阻擋的機率要小於或等於一個上限值。

參考文獻

- [1] 許家豪著，多媒體行動通訊網路具動態配置之可適性資源管理機制及效能分析，碩士論文，國立台北科技大學資訊工程系碩士班，台北，2004。
- [2] 施翔騰著，IEEE 802.11 無線網路免競爭期間允入控制之最佳化，碩士論文，國立台灣大學資訊管理系碩士班，台北，2002。
- [3] IEEE Std.802.11, "Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications," 1999.
- [4] IEEE P802.11e / D6.0, "Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications:

- Medium Access Control(MAC) Quality of Service(QoS) Enhancements,” Nov. 2003.
- [5] Kai-Wei Ke and Chii-Wei Tzeng, “Optmal Resource Allocation for Low-Earth Orbit(LEO Satellite Networks with Multirate Traffics,” IEEE GLOBECOM, GEN-14-6, Nov. 2002. pp.1-5.
- [6] K.W. Ross and D.H.K Tsang, “Optimal Circuit Access Policies in an ISDN Environment: A Markov Decision Approach,” IEEE Trans. On Commun. Sept. 1989, pp.934-939.
- [7] Deyun Gao, Jianfei Cai and Liren Zhang, “Physical Rate Based Admission Control Admission Control for HCCA in IEEE 802.11e WLANs,” Advanced Information Networking and Applications, TAIWAN 2005. 19th International Conference Volume 1, pp. 479-485.
- [8] Y. Xiao and H. Li, “Evaluation of Distributed Admission Control for the IEEE 802.11e EDCA,” IEEE Commun. Mag., vol. 42, no. 9, 2004 , pp. S20-S24.
- [9] D. Pong and T. Moors, “Call Admission Control for IEEE 802.11e Contention Access Mechanism,” Proc. IEEE GLOBECOM’03, vol. 1, San Francisco,CA, Dec. 2003, pp. 174-178.
- [10] Deyun Gao, Jianfei Cai and King Ngi Ngan, “Admission control in IEEE 802.11e wireless LANs,” Network, IEEE Volume 19, Issue 4, July-Aug. 2005. pp.6-13.
- [11] Antonio Grilo and Mario Nunes, “Performance Evaluation of IEEE 802.11e ,” Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2002. The 13th IEEE International Symposium on Volume 1, 15-18 Sept. 2002, pp.511 - 517.