

應用封包延遲指示器於差別性服務等候機制之研究

傅振華¹ 楊千慧²

¹國防大學資訊管理學系

²陸軍司令部

論文編號：3602-4

收稿 2015 年 07 月 24 日 → 第一次修訂 2015 年 8 月 28 日 → 同意刊登 2015 年 10 月 08 日

摘要

過去傳統網路因單純及少量的資料傳送就可滿足許多人之需求，而現今卻因科技技術過於蓬勃發展，頻寬資源供不應求，導致網路效能不佳。然而對於服務品質(Quality of Service, QoS)之需求則是愈來愈講究，因此網路頻寬資源的管理及網路資源的充分利用成為服務提供者重視的議題。為充分利用網路資源，應當將網路應用依照其重要性分為不同等級而傳送，進而提升網路效能及降少壅塞之情況。

本研究在差別性服務網路環境下，應用 RED 與視窗量測運作機制的概念，針對網路閘道器提出一個差別性服務等候機制應用封包延遲指示器進行網路流量控制，期望藉由各個網路應用封包傳送優先等級做為閘道器傳輸封包的考量依據，使得具高優先權限的網路應用封包能夠優先獲得進入閘道器等候機制邏輯佇列空間，並能夠優先從佇列空間中傳送至下一個網路節點，使得網路能夠依據三大類型網路應用之特性提供差別性服務。本研究嘗試瞭解以封包傳送延遲為基之差別性服務等候機制運作在不同的網路應用封包長度需求與封包間平均傳送時間差的模擬想定下，可使具較高傳輸優先權限的網路應用獲得較好的封包傳輸效能，而達到差別性服務成效。

關鍵詞：差別性服務等候機制、封包延遲、服務品質、封包允入機制

國防相關應用：國軍網路應用因其特性不同需要不同的服務品質需求，唯有透過差別性的網路傳輸服務機制，方能適當地滿足國軍各類網路應用的需求，本研究提出差別性服務等候機制將可應用於國軍網路差別性服務作業。

A Study on a Differentiated Service Queuing Scheme with a Packet Delay Indicator

Chen-Hua Fu¹ Chian-Huei Yang²

¹ Department of Information Management, National Defense University,
Taiwan, R.O.C.

² Army Command Headquarters, Taiwan, R.O.C.

Abstract

Due to network bandwidth can not fully satisfy all IP applications QoS requirements of IP applications are different, a differentiated service scheme might use to satisfy QoS requirements of different feature IP applications. This study proposes a differentiated-service queueing scheme with packet delay indicators within an internet gateway to handle traffic flows over a network. The proposed queueing scheme bases on packet transmission priorities of IP applications to handle IP packet forwarding process. In the proposed scheme, three logical queueing buffers are used to store arrival IP packets with three different packet transmission priorities; the packet enqueueing module is a RED-alike function to enqueue IP packets into their logical queueing buffer; and the packet dequeueing module is a WRR function to dequeue IP packet from the logical queueing buffer. Moreover, the proposed queueing bases on average packet delay of the same packet transmission priority packets set their corresponding packet admission indicators. A source node will depend on the packet admission indicators to determine whether an application flow can send its IP packets or not.

This study adopts simulation method to understand packet forwarding performance of the proposed queueing scheme. NS2 is used as the simulation platform; the proposed scheme is implemented with C++ and integrated in NS2. After several scenarios simulated, the simulation results show that the proposed queueing scheme can base on packet forwarding priorities to support differentiated packet forwarding services among IP applications. Moreover, with the packet admission indicator operating, packet forwarding performance of IP applications can be enhanced.

Keywords: Differentiated service queueing scheme, Packet delay, QoS, Packet admission measure

Relevance to National Defense: With different features, R.O.C. military network applications have different QoS requirements. A differentiated service scheme is a possible solution to meet their transmission requirements. The proposed differentiated service queueing scheme would support differentiated services among network applications over the R.O.C. military network.

壹、前言

進入網際網路，其網路便利性與應用多元性，使得網路使用者人數持續成長，網路資料流量將不斷地增加，對網路頻寬的需求也愈來愈多，則會遠遠超出服務業者所能提供的網路頻寬。在有限網路頻寬資源下，大量的資料傳輸會造成網路發生壅塞或封包延遲之現象。因此網路需要有效的管理控制機制來處理網路資源管理的問題。網路資源問題依其功能不同來區分四大類，分別為允入控制機制、閘道器等候機制、暫存空間管理機制與流量管理控制機制。閘道器等候機制是避免或預防網路壅塞的重要機制，最重要的目標在於依據網路連線狀況是否壅塞，動態調整分配網路有限的頻寬資源，同時讓資源可以公平分配給等待服務的網路，並預期藉此可提高網路系統使用率及效能。差別性服務等候機制的運作將可適切地解決網際網路頻寬的問題，提供較優質的網路服務品質。因此，差別性服務的等候機制亦為現今產學所積極探討與努力的方向。

在差別性服務網路中，可透過適當的評量模式計算出不同網路應用類型資料傳輸的特性。當許多不同網路應用類型的封包，同時在有限網路頻寬上傳輸資料時，會因頻寬不足而未符合網路的應用需求，使優先權不同的封包必須爭奪有限的頻寬資源，形成網路閘道器等候的狀況。對頻寬服務品質需求(如延遲、時閃及封包遺失)具較高優先權等級的封包，因缺乏網路頻寬分配的管理機制，只能與較低優先權的封包進行競爭，導致整體網路應用效能低落。

在差別性網域中，因網路應用特性不同，封包傳送權限也不同。不同類型網路應用因其封包傳送優先權等級不同，導致傳送效能也不同。本研究將針對網路流量差別性服務的需求，考量網路應用特性的需求，其封包傳送時間延遲亦有所不同，提出應用封包延遲指示器於差別性服務等候機制；所提之機制將依據網路應用的傳輸優先權限，分別賦予不同類型網路應用封包的傳輸延遲時間差，以做為研究所提

差別性服務等候機制運作之基礎，以期能避免造成網路頻寬壅塞，進而提升網路效能。

貳、文獻探討

一、服務品質(Quality of Service, QoS)

網際網路的應用型態多樣化，存在不同的資料傳輸服務品質需求，網際網路必須提供相對的服務品質，才能滿足各種應用的需求。國際電信聯盟(International Telecommunication Union, ITU)是最早建立電信網路數位化標準的組織，目前也負責制定在網際網路上許多通信標準化的作業。ITU 提出多項 QoS 的建議，含括管理、控制與數據三層構面；其中，管理構面包括服務標準協議(Service Level Agreement, SLA)、流量計量和記錄；控制構面聚焦於允入控制、QoS 路由及資源預留等機制；數據構面強調緩衝器管理、避免壅塞、標記分組、佇列管理、流量分類、流量管理及頻寬管理(網路流量控制)。

表 1 QoS 量測指標說明表

應用類型	量測指標與說明
傳輸量	在一定時段內對網路流量(或頻寬)的度量，通常傳輸量越大越好。
延遲	指封包從發送端送出到接收端收到封包的時間間隔。 許多服務，特別是語音、視訊等即時性服務都是高度不能容忍延遲的。因此為了提供高品質語音及視訊會議，網路設備必須能保證低延遲。
時閃	指封包延遲的時間變化。 語音和視訊等即時性服務是極不能容忍延遲的，所有傳送系統都有時閃，只要其落在可接受容忍度之內就不會影響服務品質。
封包丟棄	遭丟棄的封包數一旦超越各應用類型的門檻值，將導致該服務傳輸品質低落。故須量測封包丟棄數，確保其量測結果滿足各類型的服務需求。

透過適當的 QoS 機制的運作可以解決或改善傳輸延遲、延遲時閃、封包丟棄等問題。確保網路穩定性和可靠性。然而 QoS 最大的作用就是在於能夠控制網路頻寬資源的使用，然對於提供差別性服務的網域而言，其 QoS 機制會依據網路應用優先權限的高低，將頻寬優先分配給優先權限高的封包，保證這些封包的穩定性。而下列所提都是 QoS 的重要量測指標：每秒傳輸量(Throughput) (Wang et al., 2006; Kostanic et al., 2009)、延遲(Delay) (Boujemâa, 2009; Kostanic et al., 2009)、時閃(Jitter) (Kostanic et al., 2009) 及封包丟棄 (Drop) (Aaron, 2007)。詳如表 1 QoS 量測指標說明表。

二、差別性服務網路架構

近年來有關如何提升網路服務品質研究成為重要而熱門的課題，為了依照每一資料流的需求特性給予不同的服務品質保證，IETF 組織在 RFC2475 (Carlson et al., 1998) 中提出了差別性服務(Differentiated Services, Diffserv) QoS 機制，也可改善整合性服務架構運作上的缺點。當封包進入邊境路由器時，可簡化核心路由器(Core Routers)的工作，盡量將複雜的允入控制交由頻寬分配代理器(Bandwidth Broker, BB)負責將封包分類，並標上類別碼(Diffserv Code Point, DSCP)，不提供每一個網路連線流量(Per Flow) QoS，而以每一等級網路連線(Per Class)之 QoS 取代。

在差別性服務網路架構環境下，當封包進入核心網路時，核心路由器依照其類別進行相對應服務等級的排程，以提供承諾的服務品質。為一個典型的網際網路架構，當發送端(Source)的 Diffserv 網域要發送封包到目的端(Destination)時，途中到達另一個 Diffserv 網域(Domain)，當要進入入口節點(Ingress)時，封包便被進行分類，進入核心網路後，便依照類別碼給予對應之服務，再從出口節點(Egress)送往目的端。單一跳躍轉送行為(Per-Hop Forwarding Behavior, PHB)係為差別性服務網域核心路由器執行網路應用差別性服務的主要運作方式，它是一種網路轉送資料封包行為的特性描述，為具有相同差別性服務特性

的網路應用資料流封包，在差別性服務網域中都將透過相同的單一跳躍轉送行為進行封包轉送。IETF 差別性服務工作群組(Differentiated Service Working Group)將 IETF 差別性服務機制中的單一跳躍轉送行為依各類型網際網路應用封包傳送所需之服務品質需求，區分為三大類型：促進式轉送(Expedited Forwarding, EF) (Davie et al., 2002)、保證式轉送(Assured Forwarding, AF) (Heinanen et al., 1999) 與盡力式轉送(Best-Effort Forwarding, BE)。這三類的單一跳躍轉送行為特點(Yang, et al., 2001)將分述如下：

(一)促進式轉送：

此一轉送行為是屬於一種資料傳送優先權高的傳輸行為，此一類型單一跳躍轉送行為特點是：封包低遺失(Low Loss)、低延遲(Low Delay)、低時閃(Low Jitter)以及保證頻寬的轉送方式。對於促進式單一跳躍轉送行為，差別性服務網路將會預先配置一定額度的網路資源與頻寬專供其傳輸資料，透過此類轉送行為的封包會以大於或等於已經設定的速率傳送，資料傳輸品質將獲得保障；此類單一跳躍轉送行為對於網路應用而言，在差別性服務網路的入口端點與出口端點路由器之間如同架設一條點對點的虛擬專線，提供高效能的網路封包傳送所需的服務品質，具一定時效急迫性的網路應用流量傳輸適用此一轉送行為。如：聲音在網際網路上的傳輸(Voice Over IP, VoIP)、視訊會議與企業內需要及時處理的重要網路資訊，具有時效性的決策階層資訊或是會議訊息等。

(二)保證式轉送：

此一轉送行為提供不同等級的保證式轉送服務，RFC2597(Heinanen et al., 1999)將保證式單一跳躍轉送行為係分成四個等級，不同傳輸等級的保證式轉送行為將會配置不同的網路頻寬，等級高的資料流量將獲得較多的網路頻寬與較好的傳輸績效，等級低的資料流量則反之；此外，當因網路頻寬不足而需丟棄封包，以確保高優先權限的網路應用能有較佳的封包傳送服務品質時，保證式單一跳躍轉送行為將依據其所細分的不同傳輸等級，採行不同的

封包丟棄優先權設定；通常，封包丟棄優先權之設定與網路應用所獲得的保證式轉送行為傳輸等級的設定相反。故當差別性服務網路壅塞時，具高封包丟棄優先權的網路應用封包將會被優先丟棄。雖然，IETF 差別性服務工作群組只對保證式單一跳躍轉送行為細分四種傳輸等級，使用者可依照實際作業需求細分更多傳輸等級。對差別性服務網域內的核心路由器來說，不同傳輸等級的保證式單一跳躍轉送行

表 2 Diffserv 不同等級跳躍轉送行為特性比較表

單一跳躍轉送行為	傳輸優先權	優先權等級	網路頻寬掠奪行為
促進式轉送 (EF)	高	一種	促進式轉送網路資料流彼此之間不能相互掠奪網路頻寬，但可以掠奪保證式轉送網路資料流及預設值轉送網路資料流的頻寬。
保證式轉送 (AF)	中	數種	保證式轉送網路資料流能依網路資料流傳輸優先權之高低，傳輸優先權高的資料流可以掠奪傳輸優先權低資料流所使用的網路頻寬，而且可掠奪預設值轉送網路資料流所佔用的網路頻寬。
盡力式轉送 (BE)	低	一種	預設值轉送網路資料流無法掠奪促進式轉送網路資料流與保證式轉送網路資料流所佔用的網路頻寬，且預設值轉送網路資料流彼此之間不能相互掠奪網路頻寬。

為意謂著可獲得多少不同的網路轉送資源；透過不同傳輸等級的設定，將可使藉由此一轉送行為可提供一定的傳輸服務品質保證。如：重要客戶訂單、公司重要營運資訊等，能夠在一定的時間範圍內正確地傳送至接收端。

(三)盡力式轉送：

在 IETF 差別性服務機制中，它是屬於一種預設值轉送(Default Forwarding)的網路傳輸模式，它的網路傳輸優先等級最低，當網路還有頻寬時，網路會將此一類型的封包傳送出去，此外，當其他二類型網路資料流頻寬不充足的時候，便成為最先被掠奪的對象，它無法提供網路服務品質的保證。它的資料傳送績效將隨著可供利用網路頻寬的多少而改變，盡力式轉送行為無法提供網路服務品質保證，也就是傳統 IP 網路上所使用的 BE 封包轉送機制。盡力式轉送網路資料流往往為對時效性要求很低的工作，如：網路中不具時效性的批次處理工作、網路資料備份等或是員工私人的網路資訊處理工作等。

表 2 說明 Diffserv 中三種不同轉送網路資料流的運作特性，可以明瞭三種網路資料流的特性後，當資料流進入這個網域的邊緣路由器時，如何選擇滿足其所需要的網路服務品質路徑以建立標籤交換路徑為網路差別性服務機制運作的重要問題。

三、RED(隨機早期偵測)機制

RED 機制是 Floyd, S.與 Jacobson, V. 於 1993 年提出，利用控制閘道器等候機制平均佇列長度，來達到預先避免壅塞的發生。其運作模式說明如下：

當封包抵達閘道器進入等候機制佇列前，先採用加權平均方式計算平均佇列長度，計算公式如下：

$$avg = (1-wq) * avg + wq * q \quad (1)$$

其中，avg 為平均佇列長度，wq 為目前佇列長度加權係數($0 < wq < 1$)，q 則為目前佇列實際長度。算出平均佇列長度後，將與預先設定的最小門檻值 min 與最大門檻值 max 進行比較，決定封包處理方式：

- 當 $avg < min$ 時，允入抵達閘道器的封包。

- 當 $avg > max$ 時，直接丟棄抵達閘道器的封包。
- 當 $min < avg < max$ 時，根據下列算式：

$$Pb = Pd (avg - min) / (max - min) \quad (2)$$

其中 Pd 是預先設定的丟棄機率值， Pb 為目前封包丟棄的計算值，而 RED 決定封包丟棄並不是採 Pb ，而是對 Pb 做修正以做為實際封包丟棄機率 Pa ，計算式為：

$$Pa = Pb / (1 - count * Pb) \quad (3)$$

其中 $count$ 是紀錄上次封包被丟棄後有多少封包進入累積封包的總數；採用 Pa 的用意是希望封包機率的公佈更均勻。

RED 機制整個演算法執行效率的關鍵與 wq 、 min 、 max 、 Pd 等預設參數值的設定息息相關。

參、應用封包延遲指示器於差別性服務等候機制

IETF DiffServ 差別性服務機制將現行網際網路上相關之網路應用依特性與服務品質需求概分為三大類：促進式轉送(EF)、保證式轉送(AF)與盡力式轉送(BE)。本研究亦將效法 IETF DiffServ 差別性服務機制的方式，將網際網路應用封包傳送優先等級區分為三個優先等級：第一優先等級、第二優先等級與第三優先等級，提出一個應用封包延遲指示器於差別性服務等候機制(Packet Delay Indicator Queueing scheme，簡稱為 PDIQ 等候機制)，此一等候機制將依據相關網路應用的服務品質特性及需求與封包傳送優先等級，做為考量閘道器等候機制資料流允入設定與封包轉送之依據；另研究所提等候機制亦考量網路應用資料流傳輸之特性，嘗試在資料發送端利用資料流封包允入指示器機制，發送端將依據該類型資料流封包允入指示器的內容，決定該網路應用資料流是否可以開始傳送封包。而各類型網路應用資料流封包允入指示器的設定，將利用視窗量測法，透過量測各類型網路應用的封包傳輸延遲，計算於所設定視窗時間內各類型網路應用封包轉送的平均延遲時間，然後比

較事先的設定各類型網路應用封包轉送延遲時間，做為各類型網路應用資料流允入機制運作依據；本研究所提出機制其運作模型將可區分為二大構面：網路閘道器差別性服務等候機制與發送端資料流允入器運作模式，如圖 1 所示。

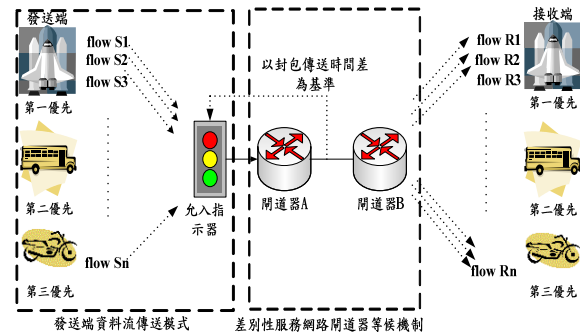


圖 1 本研究等候機制運作模型示意圖

本研究所提應用封包延遲指示器於差別性服務等候機制，以下就所提出之等候機制分成「封包進入佇列模組」、「封包送出佇列模組」與「應用封包延遲指示器進行資料流允入控制模組」三大部份進行說明。

一、封包進入佇列模組(Packet enqueueing module)

「封包進入佇列模組」模式設計構想利用各類型網路應用邏輯佇列運作模式、共享的動態佇列空間配置、RED 機制與差別性封包丟棄之運作，分別將不同類型網路應用封包依其所賦予高低不同的傳輸優先權限，分別進入其所專屬之邏輯佇列或是透過模組中以 RED 機制運算的結果，決定剛進入閘道器之封包是否可以進入該類型網路應用的共享佇列空間或是被丟棄。研究所提出之模式可確保這些網路應用應有封包傳送服務保證，並同時提供各類型網路應用所應獲得最低之封包傳送效能。

研究所提等候機制中的「封包進入佇列模組」其主要功能為網路應用封包抵達時，然後透過「封包進入佇列模組」內的封包進入佇列處理功能，決定該封包是否能夠進入閘道器等候機制佇列空間。「封包進入佇列模組」為確保網路應用均能依其傳輸優先權限，獲得閘道器等候機制提供

應有的最低門檻佇列空間，故利用等候機制所有佇列的一部分做為各類型網路應用的保證佇列空間(Fu et al., 2013)，依據網路應用的傳輸優先權限，分別設定第一優先、第二優先與第三優先網路應用不同長短的保證佇列空間，確保不同類型的網路應用都能有數量多少不一的封包可以進入等候機制佇列空間，等待封包轉送。然扣除各類型網路應用的保證佇列空間外，所剩餘的佇列空間，「封包進入佇列模組」將其做為各類型邏輯共享佇列空間(Fu et al., 2013)，「封包進入佇列模組」將依據當前佇列空間的封包佔用比例與各種網路應用預先設定進入共享佇列空間的機率，做一比較，以決定剛到達閘道器網路應用封包是否可以進入共享佇列空間或是直接被丟棄。透過共享佇列空間運作方式，將可增加「封包進入佇列模組」運用佇列空間的彈性；「封包進入佇列空間」運作模式示意圖如圖 2。

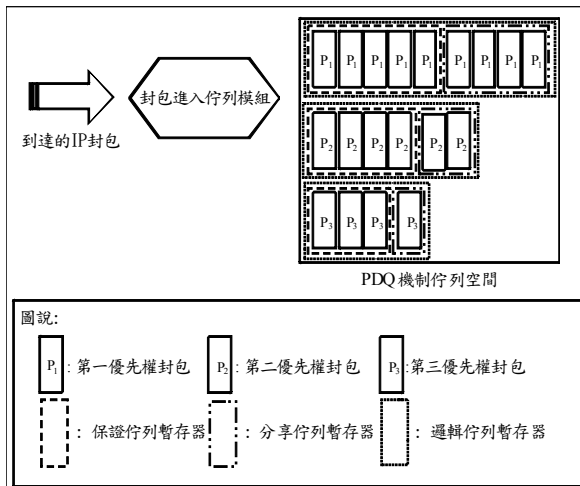


圖 2 「封包進入佇列空間」運作模式示意圖

「封包進入佇列模組」運作模式區分成二個階段，分別是保證佇列空間處理與各類型邏輯共享佇列空間處理。第一階段保證佇列空間處理作業是當整個等候機制佇列空間尚有空間供封包進入且該類型網路應用封包進入佇列空間的數量小於該類型網路應用的保證佇列空間長度，則該類型網路應用封包將無條件進入佇列空間。反之，若整個等候機制佇列空間尚有空間

，但該類型網路應用封包進入佇列空間的數量大於是等於該類型網路應用的保證佇列空間長度，則進入第二階段各類型邏輯佇列的共享佇列空間處理作業，此一階段將應用「封包進入佇列計算函式」決定剛進入閘道器的封包是否能夠進入佇列空間，若無法進入，則該封包將會被丟棄。圖3顯示「封包進入佇列模組」模式運作虛擬碼。

Packet enqueueing module

Parameters initialization for 3-priority packets

```

if (physical queue buffer is available)
{
    if (enqueued packet number in a logical queue
        < guaranteed buffer size)
    {
        To enqueue an arrival IP packet into its
        corresponding logical queue buffer
    } else {
        To invoke the RED-based packet
        enqueueing process with packet
        enqueueing probability calculation
        function and RED-based packet
        enqueueing parameters to determine
        whether an arrival IP packet can be
        enqueued or dropped
        if (the arrival IP packet is allowed to
        enqueue in the sharing queueing
        buffer)
        {
            enqueue an arrival IP packet into its
            corresponding logical queue buffer
        } else {
            To drop an arrival IP packet
        }
    }
} else { //physical queue buffer is full
    To drop an arrival IP packet
}

```

Legends:

3 groups of parameters will be initialized for 3-priority packets and each group of parameters include guaranteed buffer size and RED-based packet enqueueing parameters (min/max packet enqueued limits, packet enqueued probability)

圖 3 「封包進入佇列模組」模式運作虛擬碼

各類型邏輯共享佇列空間配置機制將依據封包的傳送優先等級，預先設定其相關參數將透過「封包進入佇列計算函式」決定該封包是否夠進入共享佇列空間。「封包進入佇列計算函式」則是應用 RED (Floyd et al, 1993)機制加以計算並決定各

類型封包是否夠進入共享佇列空間，因此各類型封包分別有三個設定參數，它們包括：各網路應用最小的佇列空間使用數量、最大的佇列空間使用數量及進入佇列空間的機率；三大類型網路應用封包共計有九個預先設定的參數。一般而言，傳送優先權越高的網路應用封包，相關參數的設定值將越有利於該類封包進入共享佇列空間，以確保該類型網路應用封包傳輸效能，提供其所需封包傳送服務品質，進而達到網路差別性服務效果。

當整個等候機制佇列空間尚有空間，「封包進入共享佇列空間計算函式」將依據當下進入佇列空間封包數量與相關網路應用最小的佇列空間使用數量及最大的佇列空間使用數量，藉以計算出當前佇列空間暫存封包的使用比例，進而依據抵達閘道器封包的類型及其預先設定進入各類型邏輯共享佇列空間的機率，做一比較，當預

先設定進入各類型邏輯共享佇列空間的機率大於或是等於當前佇列空間的封包使用比例，則該封包進入此佇列空間，反之，則將該封包丟棄；「封包進入共享佇列空間計算函式」虛擬碼如圖 4 所示。

二、封包送出佇列模組(Packet dequeuing module)

研究所提PDIQ等候機制中的「封包送出佇列模組」係利用各類型邏輯佇列空間分別儲存進入閘道器的網路應用封包，因此，「封包送出佇列模組」將應用輪送作業模式與差別性服務加權處理之概念，將二者加以整合，建構一種權重式封包輪送(WRR) (Semeria, 2001)的作業模式，傳送封包；此一作業模式將依據各類型網路應用的封包傳輸優先等級，賦予不同網路應用封包輪送權重，封包傳送優先權高的網路應用將被設定較大的封包輪送權重值，使得該類網路應用能夠有較多的機會將其封包轉送至網路下一個節點，進而獲得網路較多的網路頻寬與傳輸之差別性服務。

權重式封包輪送作業模式為「封包送出佇列模組」運作模式的主要核心部份，該作業模式將以封包輪送方式做為其封包傳送之基礎模式，此一封包輪送運作模式係利用「封包送出佇列模組」遞增「封包送出計數器 (packet_dequeuing_counter, PDCR)」變數數值，藉由其持續變化來達成網路應用封包輪流傳送的目的，「封包送出計數器」變數將根據閘道器等候機制所

Packet enqueueing probability calculation function

```

if (physical queue buffer is full)
{
    To drop an arrival IP packet
} else { // physical queue buffer is not full
    if (EPN < E_min_L)
    {
        To enqueue an arrival IP packet
    } else {
        if (EPN <= E_max_L)
        {
            if ((EPN - E_min_L) / (E_max_L - E_min_L) < PEP)
            {
                To enqueue an arrival IP packet
            } else {
                To drop an arrival IP packet
            }
        } else {
            To drop an arrival IP packet
        }
    }
}

```

Legends:

PEP: packet enqueue probability,
EPN: enqueue packet number,
E_min_L: enqueue minimum limit, E_max_L: enqueue maximum limit

圖4 「封包進入共享佇列空間計算函式」模式運作虛擬碼

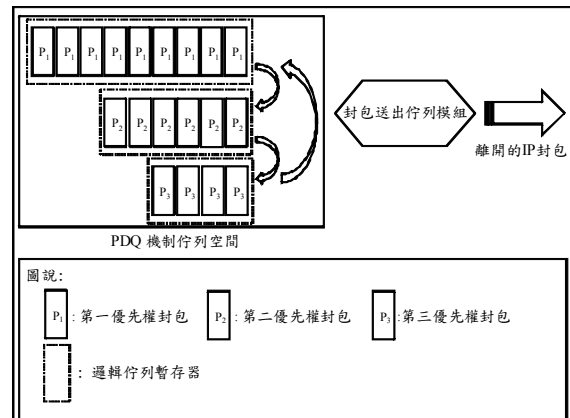


圖5 「封包送出佇列空間」運作模式示意圖

傳送之封包，計算其傳送數量，隨著閘道器等候機制不斷地從其佇列空間送出封包，更新其內容，因此「封包送出計數器」變數數值將隨著之變化，將使得每次封包輪送作業得以選擇不同類型的網路應用封包傳送，而達到各類型網路應用封包輪流傳送的功能，避免具有封包傳送高優先權的網路應用封包佔用大部份網路頻寬資源或是低封包傳送優先權的網路應用無法獲得封包傳送的機會；「封包送出佇列模組」運作模式示意圖，如圖5所示。

此外，權重式封包輪送作業模式亦針對不同封包傳送優先權限，賦予其相對應邏輯佇列空間差別性的權重值(dequeueing_weight, DW)(Fu, 2010)，藉以在不同邏輯佇列空間之間提供權重式封包差別性輪送服務；同時，不同邏輯佇列空間的差別性權重值，亦將做為設定「封包送出循環(packet dequeuing cycle, PDC)」變數數值之依據，進而形成為整個「封包送出佇列模組」權重式封包傳送功能的基礎；「封包送出循環」變數設定如下列表示式所示。

$$PDC = \sum_{p=1}^3 DW_p \quad (4)$$

本研究利用餘數運算，對「封包送出計數器」變數與「封包送出循環」變數進行餘數計算，藉以決定不同邏輯佇列空間內封包輪送順序，並賦予特定邏輯佇列空間一次封包傳送機會(packet_dequeuing_turn, PDT)，一次封包傳送機會運算方列如表示式(5)所示；透過表示式(5)的計算值及事先設定的對應關係將使得在一個完整封包送出循環裡，網路應用封包除了依照「封包送出佇列模組」一定之順序輪流傳送一個封包之外，尚其他的封包輪流傳送機會將提供給具有封包傳輸優先權高的網路應用，使其網路應用封包能夠獲得較多的機會進行封包傳送，這將使得各類型網路應用能依其所賦予的封包傳送優先權限之高低，獲得不同的封包傳送效能。

$$PDT = PDCR \bmod PDC \quad (5)$$

Packet dequeuing module

```
switch (PDCR mod PDC)
{
  case (the 1st priority PDT):
  {
    if (the 1st priority packet logical queue
        buffer is not empty)
    {
      To dequeue a the 1st priority packet
      PDCR++
    } else {
      To switch packet dequeuing turn to
      another priority logical queue
      buffer
    }
  }
  case (the 2nd priority PDT):
  {
    if (the 2nd priority packet logical queue
        buffer is not empty)
    {
      To dequeue a the 2nd priority packet
      PDCR++
    } else {
      To switch packet dequeuing turn to
      another priority logical queue
      buffer
    }
  }
  case (the 3rd priority PDT):
  {
    if (the 3rd priority packet logical queue
        buffer is not empty)
    {
      To dequeue a the 3rd priority packet
      PDCR++
    } else {
      To switch packet dequeuing turn to
      another priority logical queue
      buffer
    }
  }
}
```

圖6 「封包送出佇列模組」運作模式虛擬作模式虛擬碼。

「封包送出佇列模組」藉由權重式封包輪送作業模式將使得具高優先權限之網路應用能有較佳之封包傳輸效能，及避免低優先權限的網路應用因網路壅塞造成全部的等候機制佇列空間被高優先權限之網路應用所佔用，而產生封包一直無法送出的現象。對於「封包送出循環」變數數值之設定，當其數值設定越大，權重式封包輪送作業模式將可藉由多種網路應用封包

輪送權重值設定的組合，產生各種不同的較多封包傳送處理方式，進而能夠為「封包送出佇列模組」產生各種封包運作模式，為閘道器等候機制提供差別性封包傳送服務效能；圖6為「封包送出佇列模組」運作模式虛擬碼。

三、應用封包延遲指示器進行資料流允入控制模組

研究所提機制中的「應用封包延遲指示器進行資料流允入控制模組」運作的概念在於利用「量測視窗」的觀念(Duffield, et al., 2002)，建立允入指示器(indicator)，各類型網路應用封包允入指示器將依據該類型封包傳送延遲做為設定依據，低封包傳送優先等級封包允入指示器。其處理過程共可分為下列幾個步驟，運作示意圖如圖7所示。

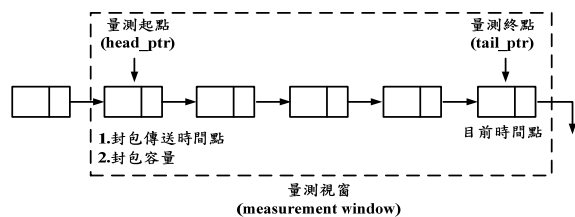


圖7 流量允入控制功能運作示意圖

「應用封包延遲指示器進行資料流允入控制模組」運作各階段作業內容描述如下：

1. 預先設定量測視窗時間長度。
2. 各類封包之量測視窗將隨著具有不同傳送優先權限之各類封包從各邏輯佇列空間轉送出閘道器的時間，不斷地變化各類封包量測視窗的量測時間區域。
3. 假設當各類網路應用資料流當下所轉送封包的時間與前一個該類型封包轉送的時間之間的時間差距超過該類型封包的量測視窗長度，則該類型封包的傳送延遲量數據將歸零，重新計算該類型網路應用封包的平均傳送延遲。
4. 當各類網路應用封包傳送時間落入該類型封包量測視窗時，「流量允入控制功能」將計算該封包與前一

個封包之間的傳送延遲時間，如表示式(6)所示。

$$\text{packet delay} = \text{current packet dequeued time} - \text{previous packet dequeued time} \quad (6)$$

計算後之封包傳送延遲將累總於該類型封包的傳送延遲，並算出該類型封包的平均傳送延遲，如表示式(7)所示。

$$\text{Average packet delay} = \frac{\sum \text{packet delay}}{\text{dequeued packet number}} \quad (7)$$

5. 如果某一類型封包平均傳送延遲小於或是等於事先設定之該類型封包傳送平均延遲，則該類型封包允入器將被設定為允許該類型資料流封包傳送；反之，則該類型封包允入器將被設定為不允許該類型資料流封包傳送。

此外，低優先等級封包允入指示器將受到高優先等級封包允入指示器設定值之影響；如果低優先等級平均傳送延遲小於或是等於事先設定之該類型封包傳送平均延遲，但較高優先等級的封包允入指示器設定值為不允許該類網路應用資料流傳送封包，則此時低封包傳送優先等級封包允入指示器將設定為該類型不允許該類網路應用資料流傳送封包。

6. 不同等級之各類型封包允入指示器設定值將隨著時間的增加，搭配量測視窗時間範圍的位移，時時刻刻獲得該類型封包的平均傳送延遲，並參酌較高優先等級之封包允入指示器設定值，隨時反應網路應用資料流量的傳送情形。

其運作方式為：依據各類型封包不同的轉送服務效能及優先權限，計算各類型封包間於所設定視窗時間內的平均轉送延遲，然後以事先的設定封包間轉送延遲做為設定各類型封包允入指示器的內容；其

後各類型封包資料流於發送端傳送其封包前，將根據該封包允入指示器的內容做為決定該類型資料是否能夠傳送封包之依據。因此，當封包送出閘道器等候機制時，即對該類型資料流所屬封包類型進行辨識，並就量測視窗所量測的時段內，計算該類型封包傳送的平均轉送延遲，如果該類型平均封包延遲時間小於或等於封包允入指示器所設定之平均封包延遲且較高優先等級封包允入指示器均允許該類型封包傳送，則此時該類型封包允入指標將被設定為允許；反之，則該類型封包允入指標將被設定為不允許。

肆、系統模擬與實驗

本研究將運用NS2(The Network Simulator - ns-2網頁)網路模擬器對所提出參、應用封包延遲指示器於差別性服務等候機制進行模擬，並將實驗所得之數據結果做一比較分析，嘗試瞭解所提機制對不同優先權限封包轉送的差別性服務成效及封包允入器機制運作效能。

一、模擬想定

為了模擬本研究所提之等候機制運作的情形，在模擬設計上，本研究以一個簡化的網路環境來模擬網路環境的運作，其中將多條不同類型的網路應用資料流，分別區分為三類具不同優先權限的網路應用，以模擬當有多個同類型網路應用提出連線請求，且在等候提供連線服務時的狀況，其網路拓模如圖8所示。

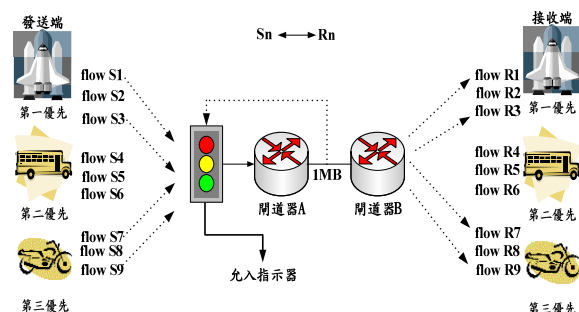


圖8 模擬網路拓模示意圖

本研究為瞭解所提出機制對於不同封包等級的傳輸效能，模擬想定將主幹頻寬設定為1MB，並針對各類型網路應用於一定時間內所傳送封包的平均轉送時間差做

為主要的模擬想定考量依據；因此，模擬想定將網路應用封包區分為三大類型，各類型網路應用分別具備不同的封包傳送優先權限，研究將這些封包傳送優先權限劃分為三個等級：第一優先(F)、第二優先(S)與第三優先(T)，主要參數設定值包括：封包長度、網路應用資料流封包傳送模式與封包允入器機制之運作。

本研究將以可能之網路應用封包傳送狀況做為模擬想定之依據，並根據不同之想定組合分別進行相關之模擬實驗。模擬想定參數組合區分如表3所示，並探討之模擬產出數據為封包遺失率、延遲時間、延遲率及平均傳輸量。

表3 模擬想定參數設定組合

參數構面		設定值				
網路應用類型		第一優先(F)、第二優先(S)、第三優先(T)				
共享佇列空間配置參數設定		保證空間(位元組)	佇列空間最小值(位元組)	佇列空間最大值(位元組)	進入佇列空間機率	
	F	20000	20000	50000	1.0	
	S	10000	10000	42500	0.9	
	T	5000	5000	45000	0.8	
每一網路應用頻寬需求		1.0MB		網路應用總頻寬需求		3.0MB
骨幹網路頻寬			1.0MB			

二、模擬結果分析

本研究嘗試瞭解PDIQ等候機制封包允入指示器之運作效能，故想定將針對差別性等候機制是否具備封包允入指示器進行相關之模擬；本想定將三大類型網路應用封包的應用服務頻寬需求設定為相同之狀況下，皆有多條資訊流分別於不同之時間點提出資料封包傳輸請求，研究所提之PDQ等候機制於各類型網路應用資料流的封包傳輸效能，透過模擬結果之數據分析，藉以證明網路傳送效能是否有達到差別性服務之目的；想定中的各個資料流提出

封包傳送時段亦如表4所列。

表4 資料流封包傳送時段

資料流代碼	傳遞開始時間(秒)	傳遞結束時間(秒)
F 11	0	20
S 21	0	20
T 31	0	20
F 12	0	90
S 22	0	90
T 32	0	90
F 13	10	27
S 23	10	27
T 33	10	27

表5 對照組各類網路應用封包傳送模擬結果

封包類型	到達量(B)	送出量(B)	丟棄量(B)	封包傳送比例(%)	封包丟棄比例(%)
F	7850000	7850000	0	100.00	0.00
S	7850000	2641000	4808000	35.45	64.55
T	7850000	758000	7763000	8.89	91.11

圖說：
B：位元組

對照組各類網路應用封包傳送效能模擬結果如表5所示，模擬結果顯示：當網路閘道器若同時段有大量各類型網路應用封包，差別性服務機制雖可發揮其作用，但是會造成進入的封包數量多，丟棄封包數量也多的狀況。封包傳送優先權限高者，則進入邏輯佇列共享空間的比例較高，封包被傳送的比例相對也較高；封包傳送優先權限低者，則進入邏輯佇列共享空間的比例相對較低，封包被傳送的比例相對也較低。封包被丟棄之比例，也依封包傳送優先權限大小呈現出高優先權限者封包被丟棄的比例較小，低優先權限者封包被丟棄的比例較高。根據模擬結果，可以發現各類型網路應用封包其送出佇列數量及封包被丟棄數量，都以封包傳送優先等級高低為依據。送出佇列數量以第一優先網路應用封包為最高，第二優先網路應用封包為次高，第三優先網路應用封包為最少；封包被丟棄數量以第一優先網路應用封包

為最少，第二優先網路應用封包為次低，第三優先網路應用封包為最高。表示封包傳送優先權限愈高者，則給予相對應之服務需求較為高；反之，則相反。

當對照組中的差別性等候機制加入封包允入指示器後，各類型資料流包傳遞的狀況，將封包傳輸過程繪製如圖9、10、11所示。

由圖9至圖11所顯示各類網路應用資料流的封包傳送起始時間與結束時間，可以發現：發送端藉由閘道器等候機制封包允入指示器之運作，可以有效控制相關資料流於適當的時間點進行封包傳送，避免網路壅塞之情形，進而滿足具高優先權限網路應用的封包傳送服務品質。

資料流代碼	檢查時間	起始時間	傳送時間	停止時間
F 11	---	第 0 秒	20 秒	第 20 秒
F 12	---	第 0 秒	90 秒	第 90 秒
F 13	---	第 10 秒	37 秒	第 47 秒

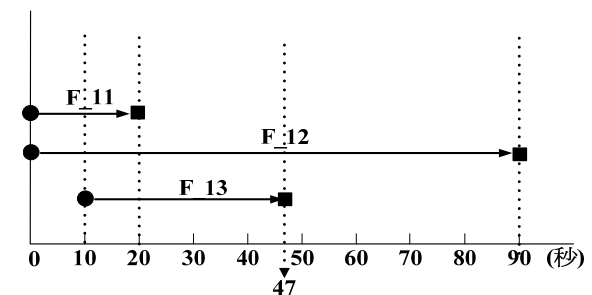
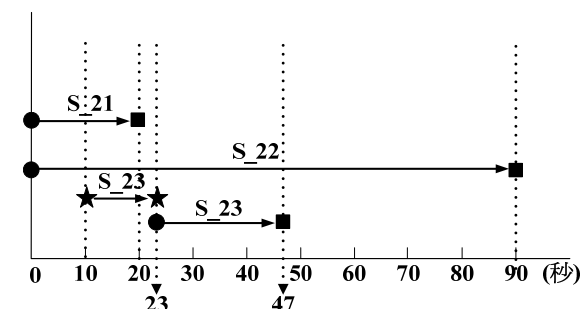
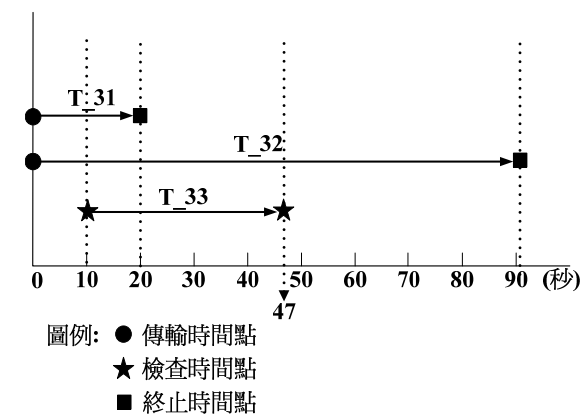


圖9 第一優先應用封包傳遞過程



資料流代碼	檢查時間	起始時間	傳送時間	停止時間
S 21	---	第 0 秒	20 秒	第 20 秒
S 22	---	第 0 秒	90 秒	第 90 秒
S 23	13 秒	第 10 秒	24 秒	第 47 秒

圖10 第二優先應用封包傳遞過程



資料流 代碼	檢查 時間	起始 時間	傳送 時間	停止 時間
T 31	---	第 0 秒	20 秒	第 20 秒
T 32	---	第 0 秒	90 秒	第 90 秒
T 33	37 秒	第 10 秒	---	第 47 秒

圖11 第三優先應用封包傳遞過程

實驗組各類網路應用封包傳送量模擬結果如表6所示，模擬結果顯示：在封包傳送量方面，以第一優先(F)網路應用的封包傳送量最佳且沒有封包丟棄；以第三優先(T)網路應用的傳送量為最差且丟棄的封包量最多。在封包傳遞過程中，各類型網路應用封包有遵循其允入控制設定模組之規則，進行檢查與等候，顯示允入指示器有發揮其功效。另外，可發現實驗組中，各類型網路應用的封包傳送量略優於對照組的封包傳送量，且其封包傳送比率亦稍稍略優於對照組。這是由於封包允入指示器的作用，可有效的依各類型網路應用優先權限在佇列空間作動態分配及計算其傳送封包間平均轉送時間差進行流量控管，當有多個同一類型網路應用提出連線請求，且在等待提供連線服務時，本研究所提出之機制將採行先到先服務(First Come First Service, FCFS)的方式，先提出連線請求之網路應用將可優先獲得連線服務的許可，進行應用服務封包的傳送。也可避免因同時段有多個具高優先權且大量的網路應用封包進入閘道器，而導致網路可用頻寬皆為高優先權網路應用所掠奪。

表6 實驗組各類網路應用封包傳送模擬結果

封包 類型	到達量 (B)	送出量 (B)	丟棄量 (B)	封包 傳送 比例 (%)	封包 丟棄 比例 (%)
F	7854900	7854900	0	100.00	0.00
S	7849000	2642000	4809000	35.46	64.54
T	7849000	758000	7764000	8.90	91.10

圖說：
B：位元組

根據模擬想定提出三類型網路應用區分為第一優先(F)、第二優先(S)及第三優先(T)，九個資料流區分為第一優先F_11、F_12、F_13，第二優先S_21、S_22、S_23，第三優先T_31、T_32、T_33。將這些資料流分別針對服務品質四項量測指標，封包傳送量、封包丟棄率、延遲及時間，比較其有無封包允入指示器運作之傳送效能；其比較分析結果如圖12與圖13所示。

根據QoS四項量測指標之分析結果，從傳送比例及丟棄比例構面看來，有封包允入指示器之運作比無封包允入指示器之運作其封包傳送效能較好。雖其差異性不大，但對整體而言，有封包允入指示器之運作，可依其封包傳送優先權限動態分配其佇列空間，以及計算其傳送封包間平均

無允入器封包總流量傳送比例分配圖

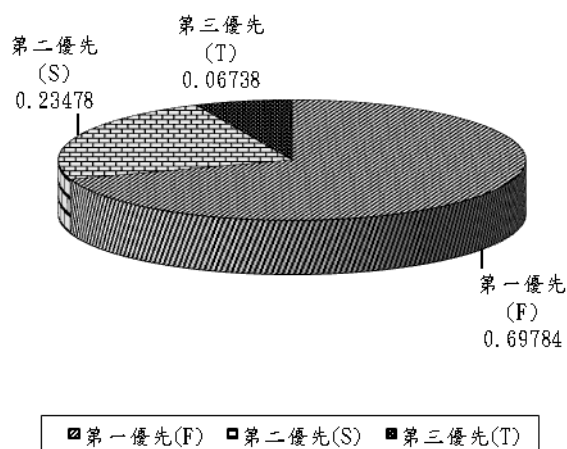


圖 12 封包總流量比例分配圖

有允入器封包總流量傳送比例分配圖

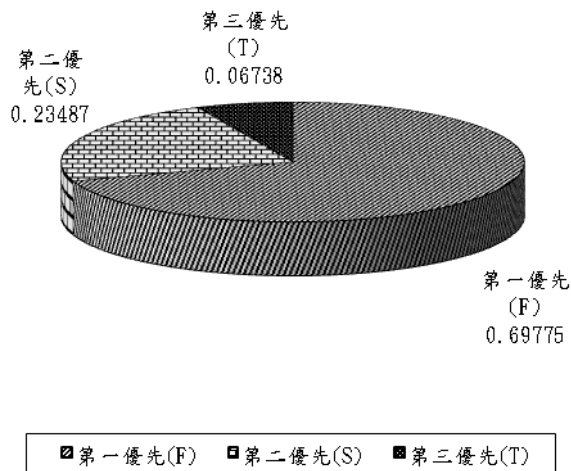


圖 12 封包總流量比例分配圖(續)

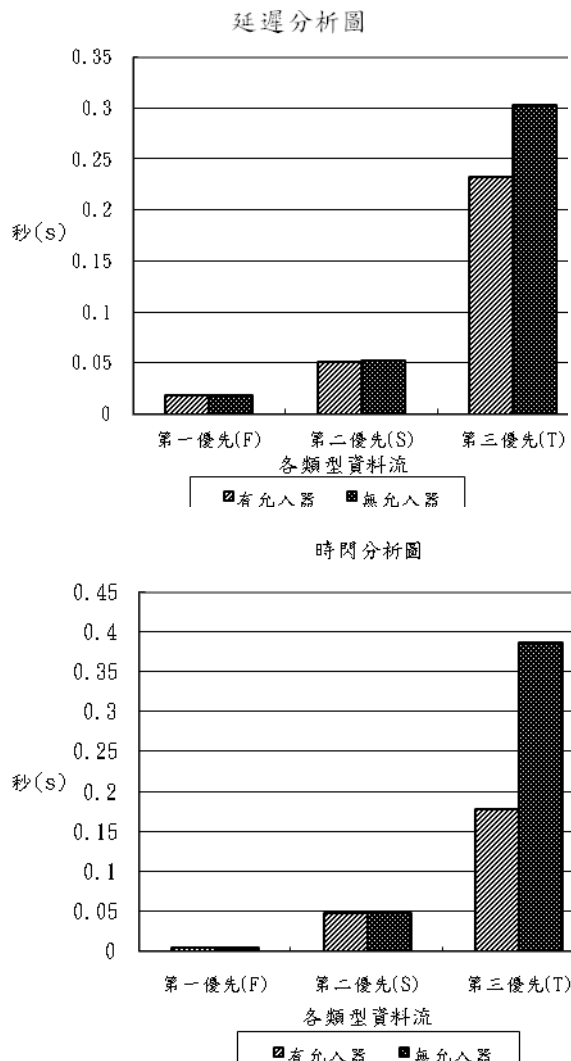


圖 13 平均延遲與平均時閃分析比較圖

時間差之流量控管，進而減少封包傳送之延遲時間及增加封包傳送之穩定性。以平均封包延遲及平均時閃構面之數據結果分析，封包傳送優先權限高者，延遲時間幾乎趨近於零。此現象表示不管是否有無封包允入指示器之運作，對網路系統頻寬管理而言，封包傳送優先權限高者可確保其頻寬需求，並可保證其服務品質。封包傳送優先權限低者，卻因有無封包允入指示器之運作，透過數據分析後，其平均延遲及時閃有所差別性。如圖13所示，有封包允入指示器運作其封包傳送效能會比無封包允入指示器運作還要好。

針對延遲部份，運作於封包允入指示器下所呈現出之直線圖，由此可知封包傳送優先權限確實影響各類型網路應用封包之效能。第一優先等級封包的平均延遲時間小於第二優先等級封包及第三優先等級封包；傳送優先等級較高者其平均時閃也趨於穩定的狀態。更能證明有封包允入指示器之運作，確實能依其傳送優先等級之不同，以達到差別性服務，使其傳送效能更趨於穩定性，可減少網路壅塞之狀況，讓網路頻寬資源能依其各類型網路應用封包之優先等級給予相對應之需求。

檢視上面的模擬數據，可以發現：不論有無封包允入指示器機制運作，研究所提機制能夠依據封包傳送的優先等級提供差別性服務，從封包送出量、封包被丟棄量、封包延遲及封包時閃等四個QoS指標的模擬結果數據，均顯示第一優先等級封包所獲得的服務品質優於第二優先等級及第三優先等級的封包，同時第二優先等級封包所獲得的服務品質優於第三優先等級的封包；此一模擬結果說明研究所提等候機制能夠針對封包傳送的優先等級提供封包轉送差別性服務，讓具高優先等級的封包能夠獲得較佳的封包轉送服務品質。

此外，進一步比較封包允入指示器機制運作效能，可以知曉：當有封包允入指示器機制運作時，具不同傳送優先權限的各類型封包的傳送均能獲得差別性服務。然而，從封包送出量、封包被丟棄量、封包延遲及封包時閃等四個QoS指標，詳細比較各類型封包在有無封包允入指示器機

制運作下的封包傳送效能，可以發現在封包送出量與封包被丟棄量這二個QoS指標效能上，有無封包允入指示器機制的運作三大類型封包均可獲得幾近相同的傳送效能。另比較封包延遲及封包時閃等二個QoS指標效能，可以發現第一優先等級與第二優先等級的封包無論有無封包允入指示器機制的運作，在平均封包延遲及平均封包時閃均可獲得相近的效能，然比較第三優先等級封包的平均封包延遲及平均封包時閃，可以發現存在著明顯的效能差異，在封包允入指示器機制運作下，第三優先等級封包相對地可以獲得較佳的平均封包延遲及平均封包時閃；此一結果顯示，透過封包允入指示器機制的運作，可以提升具低優先等級封包的平均封包延遲及平均封包時閃效能。

伍、結論

本研究針對三大類型網路應用特性與其應有之封包傳送優先權限，藉由差別性服務網路閘道等候機制之運作達到差別性的服務，以滿足各類型差別性服務網路應用封包傳送服務效能；本研究所提出應用封包延遲指示器於差別性服務等候機制將運作於差別性服務網路閘道器中，利用差別性服務網路應用封包傳輸權限之不同，提供差別性的封包傳送服務，以期能滿足多數不同類型網路應用封包傳送所需的服務品質。

研究所提PDIQ等候機制主要可區分成三大部份：「封包進入佇列模組」、「封包送出佇列模組」與「發送端資料流允入控制模組」；其中，「封包進入佇列模組」分別應用專屬佇列與共享佇列的概念建構不同封包類型所需的邏輯佇列，然後整合FCFS與RED等機制，進行三大類型封包進入其所屬邏輯佇列得處理工作，藉以提供封包進入佇列的差別性服務。「封包送出佇列模組」則應用權重式封包輪送作業機制，依據封包傳送等級的高低分別賦予不同的封包送出權重數值，使得具高封包傳送優先權的網路應用能夠獲得較佳的封包送出佇列效能，進而滿足封包送出佇列所需的差別性服務。「發送端資料流允入控制模

組」則是以研究所提等候機制送出三大類型封包延遲為基礎，透過計算量測視窗內三大類型封包延遲，做為設定三大類型資料流允入指示器的依據；當有新增的網路應用資料流欲傳送封包時，發送端將三大類型資料流允入指示器的設定值決定是否允許該網路應用資料流傳送封包，進而在發送端進行控制網路資料流封包傳送，以期能當網路壅塞狀況下，避免因新增網路應用資料流的封包傳送造成網路壅塞狀況得更進一步惡化，以維持正在傳送封包的各類型網路應用資料流所需的封包傳送服務品質。

研究所提PDIQ等候機制經撰寫C++程式整合於NS2網路模擬軟體後，即利用TCL設計模擬想定，執行各項模擬，模擬結果顯示，研究所提之等候機制發揮其功效，當網路壅塞時，具高優先權網路應用資料流可以獲得較好的封包傳輸效能，對各類型網路應用提供差別性的封包傳送服務，依據模擬結果可說明本研究所提應用封包延遲指示器於差別性服務等候機制為解決網路頻寬管理可行方案之一。

參考文獻

- Aaron, J. (2007). *U.S. Patent Application 11/843,954*.
- Boujemâa, H. (2009). Delay analysis of cooperative truncated HARQ with opportunistic relaying. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 58(9), 4795-4804.
- Carlson, M., Weiss, W., Blake, S., Wang, Z., Black, D., & Davies, E. (1998). An architecture for differentiated services. RFC 2475, December.
- Davie, B., Charny, A., Bennet, J. C. R., Benson, K., Le Boudec, J. Y., Courtney, W., ... & Stiliadis, D. (2002). An expedited forwarding PHB (per-hop behavior) (No. RFC 3246).
- Duffield, N. G., Goyal, P., Greenberg, A., Mishra, P., Ramakrishnan, K. K., & Van der Merwe, J. E. (2002). Resource management with hoses: point-to-cloud services for virtual private networks. *Networking, IEEE/ACM Transactions*

- on, 10(5), 679-692.
- Floyd, S., & Jacobson, V. (1993). Random early detection gateways for congestion avoidance. *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, 1(4), 397-413.
- Fu, C. H., & Yen, Y. Y. (2013). A Study on a Differentiated Service Queuing Scheme Based on Transmitted Bytes Within a UMTS Core Network Gateway. *Wireless Personal Communications*, 68(4), 1539-1563.
- Fu, C. H. (2010). A study on differentiated service queuing scheme with an overflow buffer allocation within a UMTS core network. *Wireless personal communications*, 55(3), 325-347.
- Heinanen, J., Baker, F., Weiss, W., & Wroclawski, J. (1999). Assured forwarding PHB group (Vol. 470, pp. 471-472). RFC 2597, june.
- Kostanic, I., Mijatovic, N., & Vest, S. D. (2009). Measurement based QoS comparison of cellular communication networks. In *Communications Quality and Reliability, 2009. CQR 2009. IEEE International Workshop Technical Committee on* (pp. 1-5). IEEE.
- Semeria, C. (2001). Supporting differentiated service classes: queue scheduling disciplines. *Juniper networks*, 11-14.
- Wang, C., Lin, P. C., & Lin, T. (2006). A cross-layer adaptation scheme for improving IEEE 802.11 e QoS by learning. *Neural Networks, IEEE Transactions on*, 17(6), 1661-1665.
- Yang, C., Fu, C. H., & Tu, Y. H. (2001). Enterprise traffic with a differentiated service mechanism. *International Journal of Network Management*, 11(2), 113-128.
- The Network Simulator-ns-2,
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>