

區域網路的演變與趨勢

魏煥雲、林盈達

國立交通大學資訊科學研究所
新竹市大學路1001號
gis87517@cis.nctu.edu.tw
ydlin@cis.nctu.edu.tw

摘要

現今Internet使用者上網的方式，不外乎透過撥接（Dial Up）或是透過區域網路（LAN）來連上廣域網路（WAN）。Internet盛行，使得上網人數激增，再加上即時（Real time）多媒體的網路程式蔚為風潮，更讓LAN上及之間的網路流量暴增。在科技日新月異的進步下，雖然各種解決方案紛紛推出，但是簡單的乙太網路（Ethernet）仍然透過「頻寬提升」（Bandwidth Enhancement）、運用「交換技術」（Switching Technology）、提供「服務品質」（Quality of Service）而存活了下來，甚至將ATM、FDDI等高速網路技術阻隔於LAN市場以外。這篇文章將探究區域網路技術演進的歷程，與未來發展的走向。

1. 區域網路的沿革

從近20年網路發展的過程來看，IEEE 802.3不但打敗了其他IEEE 802 的LAN標準，也把先進的FDDI、ATM高速網路技術阻隔於區域網路之外。這可歸功於Ethernet運作方式簡單、容易管理、價錢低廉。底下概述其運作之優劣與競爭者：

運用CSMA/CD[1]：

多人利用基頻（baseband）方式在同條線上傳輸，需要有碰撞避免與解析的方法。使用1-persistent CSMA/CD雖然簡單，但若超過某些臨界點時，大家碰撞(collision)的次數會暴增使網路輸出非常低，這是因為很多時間都發生在碰撞上了。

子網路概念 (Subnet)

上述問題的元兇是因為大家要搶；同一時間只能有一機器佔用此傳輸線，所以連接到同一條線上（或連到同一台hub）的機器形成一個collision domain（亦形成一個broadcast domain），通常稱此為subnet。但後面我們會討論到Subnet在LAN的演進逐漸失去自己的特性。

演進過程中的競爭者

在競爭的對手中（見表一），雖然各標準大部分都提供些許服務品質（QoS - Quality of Service），但因為價錢、管理複雜或是上層協定未提供相對的QoS功能等因素，最後都在LAN上被淘汰了。事實上，EtherSwitch也已經開始提供per-port的QoS了，也就是IEEE 802.1p [13]中所訂立的Priority queuing。此外，尚有新的SBM（Sunbet Bandwidth Manager）協定，用來對應RSVP的per-flow guaranteed QoS，也為Ethernet帶來生機。

Competitors	Description
IEEE 802.4	Token Bus Standard 可定義每個station的Priority，以提供per-port QoS，並可提供isochronous、synchronous、asynchronous的連線方式。
IEEE 802.5	Token Ring Standard 可定義每個station的Priority，以提供per-port QoS。
IEEE 802.9	ISLAN(Integrated Service LAN) ISLAN可以讓voice和data同時在同一個線材上傳送。
IEEE 802.12	VG-AnyLAN Demand Priority LAN提供per-port或per-flow的QoS
ATM	Asynchronous Transfer Mode 可提供高速又完整的per-connection QoS，但是較貴、複雜。
FDDI	Fiber Distributed Data Interface 與Token Ring類似。但可提供與Token Bus類似的isochronous、asynchronous、asynchronous的連線。通常用來連接LAN的backbone。

（表一）乙太網路的競爭對手

LAN速度需要提升是必然的，除汰換成高頻寬的設備外，採用Layer 2 switch來杜絕collision也已蔚為風行。LAN換成高速之後，連接LAN的骨幹（Backbone）網路自然成為瓶頸；採用Switching技術的Layer 3 switch或更高速的Router將是必然的趨勢。另外，面對多媒體資料流（如Video Conferencing，Voice over IP），per-flow QoS變得很重要；雖然在商業上的走向與上述的兩個方法（提高頻寬、採用交換技術）有所爭議，但是QoS是絕不可避免的需求。因此底下將就這三點（頻寬提升、交換技術、服務品質）來解析LAN發展的趨勢。

2. 頻寬提升(Bandwidth Enhancement)

自1985 IEEE 發表802.3 Ethernet standard後，陸續也出現了Fast Ethernet(IEEE 802.3u [15])與Gigabit Ethernet (IEEE 802.3z [16])。這些標準爲了要相容，除了訊框 (frame) 的格式要一樣外，最重要的是要讓在上層的軟體可以跟以前一樣工作。

從表二來看，這幾種標準的frame格式都一樣，所以frame在其中遊走並不需要有轉換的動作。但是同一線材下，頻寬提升時傳輸距離勢必須縮短，否則迅速被送出去的封包相對於很長的網路線來說，將顯得十分短小，造成網路許多空間空閒（無法達到pipeline的充分利用），或造成太多碰撞，因爲此時CSMA/CD以無效地退化成ALOHA了。

		Ethernet	Fast Ethernet	Gigabit Ethernet
規格名稱		10BASE T/2/5	100BASE T	1000BASE X
傳輸速度		10Mbps	100Mbps	1000Mbps
訊框格式		802.3		
訊框長度		64 ~ 1518 bytes		
傳 輸 距 離	Shielded Copper	500 公尺	100公尺	25公尺
	Cat 5 UTP	100公尺	100公尺	100公尺
	多模光纖	-	2公里	500公尺
	單模光纖	-	20公里	3公里

(表二) Ethernet、Fast Ethernet、Gigabit Ethernet比較表

Gigabit-Ethernet是自ATM以來，一個剛推出就有大批廠商加入其制訂組織(GEA, Gigabit Ethernet Alliance)的一個標準，可見其未來的發展性非常大。而與ATM的競爭會在文章末作一比較。

3. 交換技術(Switching Technology)

傳統橋接器 (Bridge) 的功能可以隔離不同工作群組的traffic，減少碰撞機會，這工作已逐漸由Layer 2 switch取代。但是廣播的封包依然必須穿越bridge或Layer 2 switch，而且太多的話便會形成廣播風暴(Internet Protocol中的ARP、Win95中的NetBEUI多利用廣播封包)。Layer 2 switch大量裝設後此風暴趁機坐大，因此出現虛擬區域網路(VLAN或Virtual LAN)的需求，可將經常有資料往來的機器設爲同一個群組(例如同一部門，但是不同大樓的電

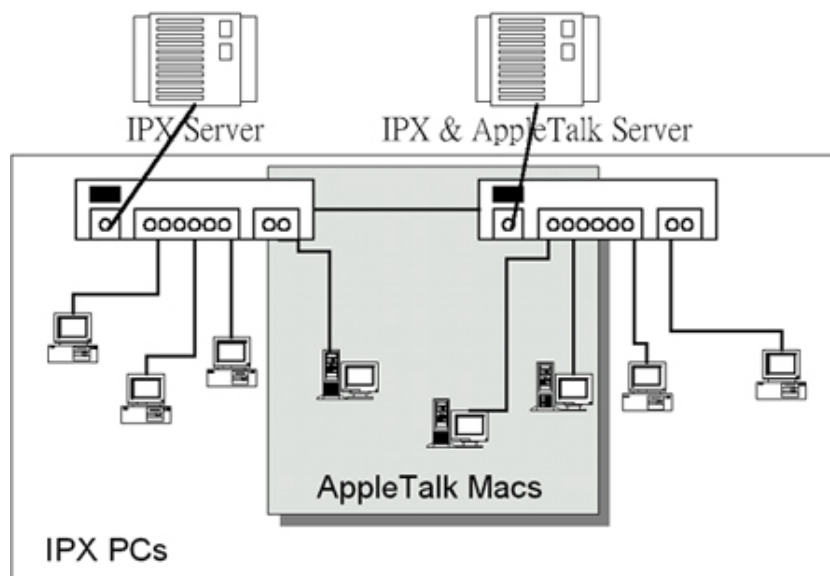
腦)，並形成一廣播區域，以減少廣播封包對不相干區域的影響。另外出現了layer 3 switch的產品，以增快Router在處理LAN間資料所花的時間；甚至最近已有layer 4 switch的產品出現，更進階地針對應用程式資料流來做Switching。這些進步的技術能被推出，源自於switching硬體進步的關係。因此底下就layer 2 switch、VLAN、layer 3 switch、layer 4 switch的特殊功能與switching硬體演進，逐一說明：

3.1 Layer 2 Switching

Layer 2 switch利用學習每一switch port的MAC address，提供每一switch port獨立的傳輸線路，就可以在unicast、multicast時建立port對port的虛擬電路，不會影響到其他節點的運作，這必須靠內部快速且具buffer的switching fabric交換封包於各個port。但是switch並沒有辦法過濾廣播（broadcast）封包，造成很多利用broadcast的protocol封包充斥網路。在這種架構下我們可以看到，subnet已經失去了一半的特性（port之間已不形成一collision domain，但仍是broadcast domain）。這時候VLAN適時的出現，分割廣播空間（broadcast domain）、過濾廣播封包，解決了大部分的問題。

3.2 VLAN（Virtual LAN, IEEE 802.1Q[14]）

虛擬區域網路是一個非常實用的的構想。VLAN利用802.1Q VLAN tags，來作為封包交換與轉送的依據。以圖一為例，兩個VLAN已被定義下來，以避免在Mac電腦上的AppleTalk廣播與PC上的IPX廣播互相干擾。



（圖一）虛擬區域網路示意圖

3.3 Layer 3 Switching

由於LAN的速度提升，骨幹網路更加成為瓶頸。Layer 2 switch大量使用後，Router更成為瓶頸中的瓶頸。Router最花時間的地方就屬Table Lookup了，業界在改進這個問題時，多採用Switching的技術，但使用的角度有所不同，底下分兩種方向探討：

3.3.1 Layer 3 Switch (Switching Router)

這是一種利用ASIC技術的高速Router。他和原來router運作方式一樣，但是大部分原來用軟體來做的，如IP Table Lookup等，改成用硬體ASIC來處理，速度比原來快了十倍，價錢卻只要原來的十分之一（大量生產下）。而且不必增加新的protocol。而subnet的概念在此變得更加模糊（port之間既不是collision domain，也不是broadcast domains了）。

3.3.2 Cut-Through Switch (Route Once Switch Many)

傳統routing方式，路徑上的Router對「每一個」封包都要查一次routing table，顯得拙劣。新的方式讓 IP flow僅需在第一個封包route的時候查一次（route once），往後此flow的封包只需要forward到先前的port即可（switch many）；當然這種作法會需要一個timer，用以記錄先前port的資訊要儲存多久。然而，在這些新設備間必須有新的protocol加入，不同廠商各自推出解決辦法，而新制訂的MPLS將有助於標準化。經過歸納後可分為兩類方案，在此個舉一例以茲說明：

Flow-based方案

flow-based是針對每個IP session的資料流來做switching。舉Ipsilon公司推出的IP switch[2,3]來說，其利用偵測資料流（session、flow）並建起ATM Virtual Circuit的方法，將資料流導入ATM中，以加快對資料的吞吐量。但須以新的協定向上游switch通知要將某一IP flow導入使用某一VCI，才能在此switch以switching方式通過。

Topology-based方案

topology-based是針對所有往某個destination的全部資料流做switching。舉Cisco公司推出Tag Switch[4]來說，其作法同ATM的VCI，將每一封包貼上標籤，以利每一站switch，針對所有往同一目的位址的所有flow進行switching繞路。

3.4 Layer 4 Switching

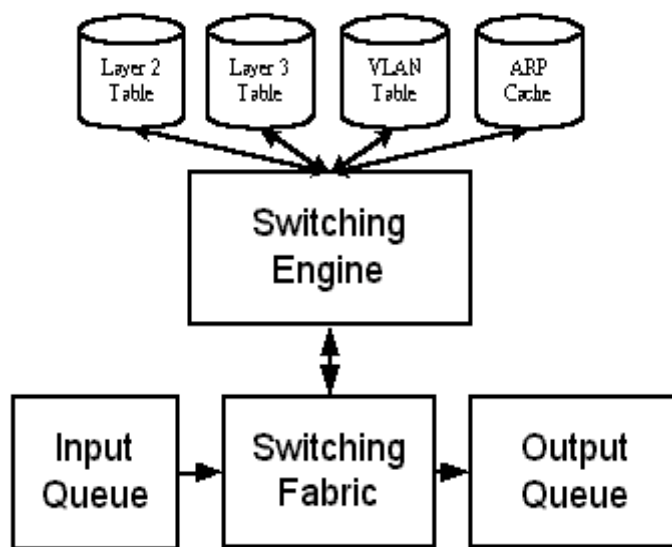
在TCP/IP環境中的傳輸層（Transport Layer）有許多眾所皆知的service及埠號，例如HTTP port為80、telnet port為23等；也就是說，有這些埠號配上IP位址，就可以找到某台機器上執行的某個程式。Layer 4 switch，顧名思義就是可以用ASIC硬體分析Packet至Transport Layer的TCP或UDP埠號。所以與layer 2、3的switch比較的話，layer 2、3的switch利用對MAC address、VLAN tag、IP subnet等的判斷，可做到per-port或per-destination的switching；而layer 4 switch更可以做到per-flow的switching，保障關鍵性、即時性application的服務品質。

Layer 4 switch還可以帶給我們什麼好處呢？由於其可以針對每個flow做處理，便可以發展一些特殊功能，虛擬伺服器（Virtual Server）便是其中之一。多個IP不同、功能卻相同的Server連接到switch後，藉由對外註冊一個Virtual Server的IP address，在使用者連線過來時layer 4 switch會按照各Server的負載（load），決定讓不同的flow連線到不同的Server，這是layer 3 switch無法辦到的。這樣的作法，不但在投資新設備後可以保留原先的投資，更可以增進可靠度。其他特殊功能如當防火牆（firewall）、更好的網管，甚至還有廠商推出用硬體來偵測網頁內Content Type的switch以分別不同的網頁內容的傳輸品質。

3.5 Switching硬體技術的演進

企業團體為保持相容性或節省費用，舖好的線路與網路卡不常會去汰換，因此提升速

度的焦點就放在集線的交換器（switch）上了。交換器的組成單元不外乎幾個部分（圖二），底下就針對交換引擎（Switching Engine）、排程方式（Queuing Discipline）、交換核心（Switching Fabric）、轉送技術（Forwarding Technology）探究交換器硬體演進的歷程：



（圖二）交換器組成單元

3.5.1 交換引擎（Switching Engine）

交換引擎是交換器內部的主角，主要功能是判斷input port進來的封包要由哪一個output port出去。前後共有四代引擎使交換器速度提升：

第一代 - RISC/CISC

第一代的交換引擎是以一般General Purpose的微處理器，雖然享受軟體的彈性，但卻犧牲了價錢。構造及運作方式和普通電腦相近：在記憶體中建好tree狀的結構來儲存IP table，在依IP封包的Destination IP address一個bit一個bit沿著tree找到「最長符合」（longest prefix match）。這樣的方法不快，尤其當CPU在做其他事情時會明顯變慢。

第二代 - ASIC [8]

第二代交換引擎ASIC主要是Switching的程式（資料的過濾及轉送所依據的條件判斷）做成一顆矽晶片，經過最佳化處理，可獲得很好的效能。在大量生產下，價錢甚至只有第一代的十分之一；但是在新的protocol紛紛推出之下，ASIC無從升級反而讓產品的壽命不長。

第三代 - RISC/CISC + ASIC

當考慮到硬體速度與軟體彈性，過渡性的RISC/CISC + ASIC就出現了。其作法是將進來的封包由ASIC的判斷條件做檢查，如果超出此ASIC的處理範圍就丟到RISC/CISC以軟體來處理。

第四代 - DSP soft-switching [8]

由於DSP可以完全以軟體來更新功能，並遵循SIMD（Single Instruction Multiple Data）模式設計，比傳統Von Neuman模式的效率更好，是目前最先進的技術。

3.5.2 排程方式 (Queuing Discipline)

FIFO Queue (圖三a)

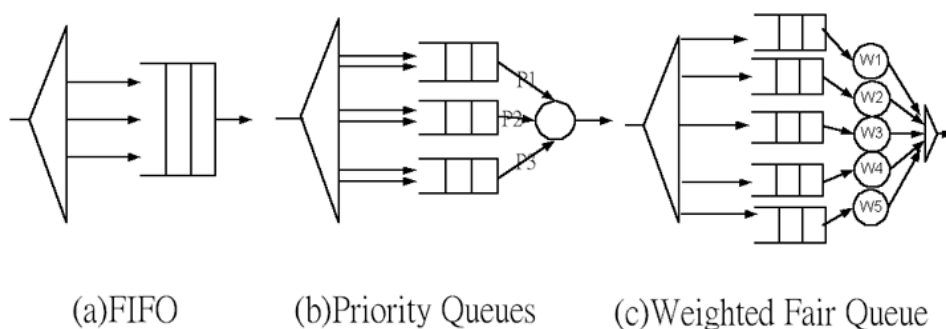
傳統的Router皆採用此法，既公平又簡單；但碰上了當紅的多媒體flow，尤其在網路traffic量很大的時候，品質常會難以接受。

Priority Queues (圖三b)

網路管理者可以設定一些封包欄位，用來分別封包的priority（如IP address或TCP 埠號等）。封包進來時按照priority放入不同priority的queue。priority高的queue會先被處理，直到佇列空了，才去處理priority低的queue。這種方式可能會造成priority低的queue累積了一大堆的封包，發生「飢餓 (Starvation)」的狀況。

Per-Flow Queues (例如WFQ) (圖三c)

針對以上的問題，WFQ根據頻寬需求給每個佇列一個加權值 (Weight) 並以round-robin方式處理各queue。Weight大的queue在每一round中，系統會給予較多的時間，以提供較好的QoS。這樣做也改進Weight低的queue容易發生「飢餓」的缺點。



(圖三) 佇列的排程方式

3.5.3 交換核心 (Switching Fabric)

傳統的Switch在CPU尋得output port後，再來就是將封包放入Switching Fabric送出到對應的port，現在典型的有兩種：

Crossbar

在此架構中，可分為input-queued與output-queued兩類，且input-queued被視為較具延展性 (Scalability)。每個input port藉由控制Crossbar內部的接點來與output port建立實體的連接。這樣既簡單又可擴展整體的效能（可以平行處理），缺點是會造成HOL blocking（可以送出去的封包被排在前面的封包擋住了）。

Shared Memory

所有輸入port的封包都會佇列在shared memory中的queue中，當output port有空閒時就從佇列取出封包送出。此法雖然簡單快速，可惜因一讀一寫shared memory需要的內部頻寬，為所有port頻寬的兩倍之多，造成成本較高的困擾。

3.5.4 轉送技術 (Forwarding Technology)

Store-and-forward

此法先將收到的封包全數讀到緩衝區以後，經過一些處理分析，才從輸出port送出。雖然可提供資料的正確性，不致使壞封包充斥整個網路，但是處理分析所造成的延遲，使得效能上有所缺陷。

Cut-Through

此法在Switching Engine得知封包要往那個port送後，直接送出，以減少delay。Cut-Through switch提供逼近線路（wired-line）的速度，硬體配備也較簡單，效能非常好；缺點是如果有壞的封包，將沒有辦法偵測。因此現在有所謂智慧型的集線器(Intelligent Switching Hub)，traffic量不大時使用store-and-forward，traffic量大時就改成cut-through以因應現況。

4. 服務品質(Quality of Service)

自從Internet流行後，網路資料的流向已不符合80-20原則（80%本地，20%外地），甚至幾乎是相反了；尤其在多媒體程式大量使用下，通訊品質早已不穩定。好的解決辦法除了加快各種處理的速度以外，就是提供per-flow的「服務品質」(Quality of Service, QoS)。而為了能讓現今一些audio、video資料能在packet switching的Internet上，選擇不同程度的QoS來傳送Data，Internet還需具備的是：

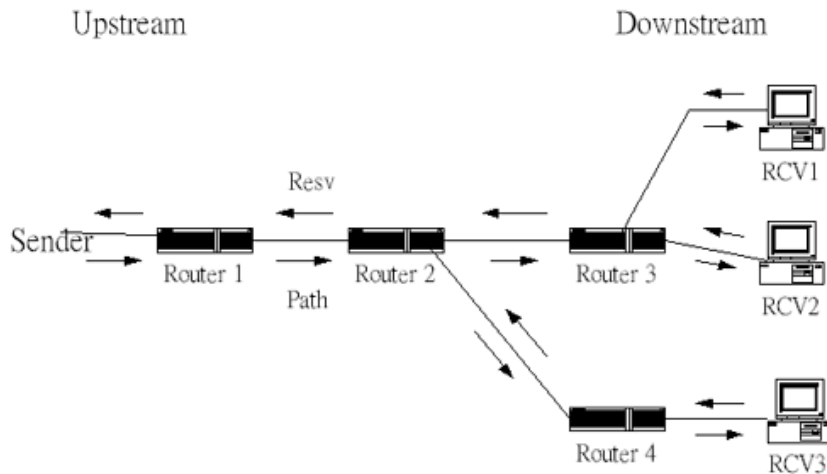
- 一、網路節點必須懂得一些機制來控制QoS的flow。
- 二、一套可以建立QoS連線（從sender到receiver的QoS）的protocol。

這兩方面是可以並行發展而互相合作的。在第一項方面，IETF定義了Integrated Services[5,7,10]，到目前為止描述了兩種QoS服務：Guaranteed Service 與Controlled Load Service。在第二項方面，數種實作的方法，如ST-II、ST-II+、RSVP等，RSVP已成為IETF標準且最受廠商支援。RSVP只負責傳送QoS參數，而網路節點決定如何提供這些服務。另外，IETF也正在訂立另一套以priority為主的Differential Services相關標準

底下我們先探討 RSVP如何用於提供layer 3節點QoS，再探討subnet上的QoS。

4.1 Layer 3 per-flow QoS - RSVP

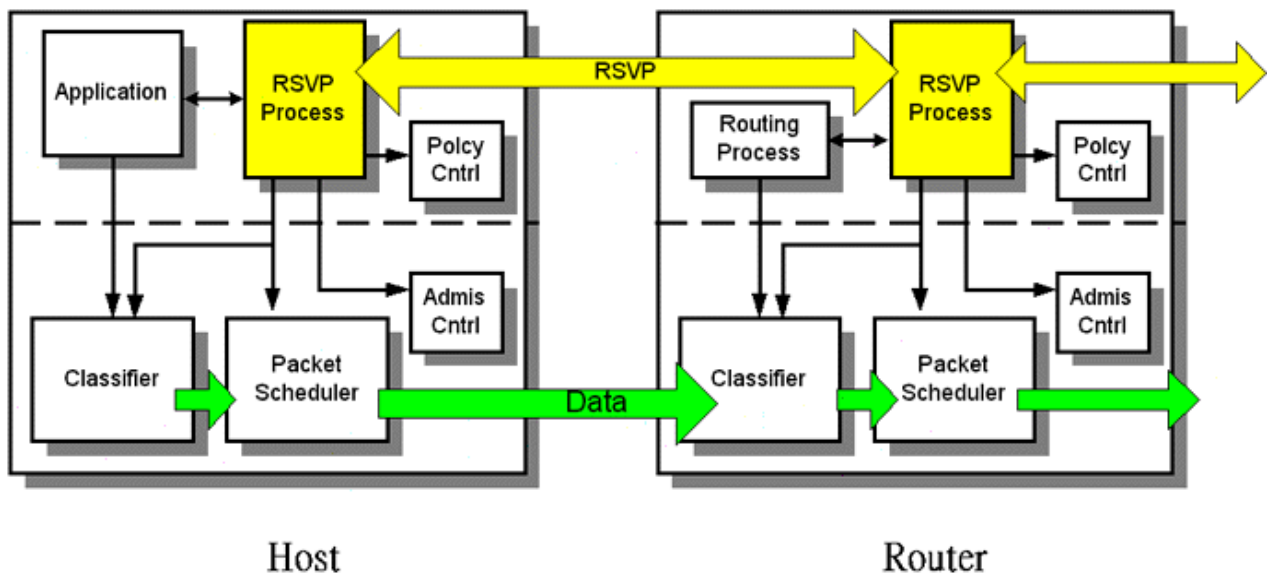
RSVP是一個Internet Control Protocol，像ICMP、IGMP一樣，是從事signaling的工作，並不攜帶data packets。他是由sender發出PATH到receiver並一路上收集網路資訊，並在在此flow路徑上每一站啓始此flow的狀態機（state machine），而由receiver來啓始資源保留(resource reservation)的工作。所以有人稱RSVP為"switch state establishment protocol" [11]。由於使用connectionless 的IP protocol推行非常成功，RSVP採用soft-state的方式來建立一個connectionless的session。RSVP的Soft-state方式是以每隔一段時間網路節點會送出訊息（PATH或RESV等訊息）來更新或維繫（refresh）Router內此flow的狀態機，如果資源保留的路徑上某節點沒收到定時的訊息而time out，路由器就清除此flow的狀態。從巨觀來看，RSVP運作方式如圖四：



(圖四) RSVP訊息流向

送端發出PATH訊息一站一站的送至收端，收端以收到的資訊決定要哪種QoS的Service（譬如說狀況很好就要求Guaranteed Service的QoS），並發出RESV訊息回去啓始資源預留，一站一站直到送端爲止；如路由器發現有屬於同一flow的數個RESV訊息，路由器會做智慧型合併。

而從微觀來看，RSVP運作方式如圖五[6]：



(圖五) RSVP運作方式

如圖五，虛線以下是link layer dependent的機制，QoS Service Models（Guaranteed Service或 Controlled Load Service）就是靠虛線以下這些component（可稱traffic control）來達到。當router收到RESV時，先以Policy Control來認證使用者權限，並以Admission Control來確認目前尚有的資源夠不夠。兩者皆被認可後，RSVP Process將RESV訊息中的參數設定給Classifier，

以決定哪些封包屬於哪種QoS等級；並將參數設定給Packet Scheduler使其與link layer driver 溝通，讓下層layer實際去做資源分配。

4.2 Subnet per-flow QoS - SBM[12]

光在layer 3 上提供QoS並不能完整地解決問題，因為還必須仰賴LAN上有對應的QoS 機制。IETF因此草擬了一個為IEEE 802系列設計的signaling protocol來跟RSVP訊息相對應。

傳統匯流排式的Ethernet利用CSMA/CD讓多個host利用同一條線傳輸，幾乎沒有辦法提供任何QoS，因為一個host完全無法預料送時會不會發生碰撞；而在switched LAN中事情就比較簡單，至少不會有其他port的host來搶資源。一個host上不同App要透過QoS使用網路資源時只需透過driver協調即可解決。所以在switched LAN上配合SBM就得以完全實現資源預留；在shared LAN上SBM僅能限制各flow最大的傳輸量，並不能完全保證不會被其他flow干擾到。

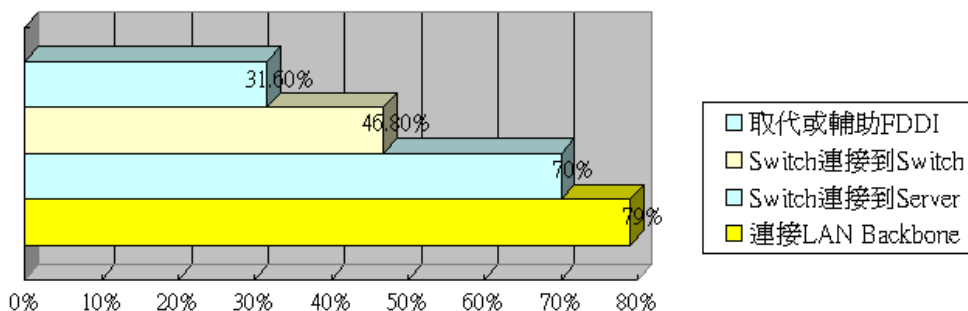
在SBM協定的運作方式中，DSBM是在一個LAN上被指派(Designated)為SBM的機器，可能是一台電腦，也可能是做在switching hub裡。一開始由DSBM初始化，檢查尚有多少比率的資源尚未使用，並會開始廣播DSBM存在的消息。而後DSBM的client (Subnet上的Host) 初始化時，收到DSBM存在的消息並得知其位址。每當Sender送出PATH訊息時，先將目的位址改成DSBM的位址而送出，DSBM收到以後經過一些處理(例如更新PATH內物件、在DSBM建立此SESSION的PATH state、將DSBM的位址填入PATH內)，再將更新的PATH訊息forward到Router；而Receiver送回的RESV訊息，在按照RESV內物件內容回到sender的DSBM後，實際去預留了資源。

5. 另一場競爭

各標準在激戰之下，勝者主宰市場，敗者成為歷史，但也有和平共處、劃地自限的情況。底下探討最富爭議性的競爭，以透視未來的趨勢：

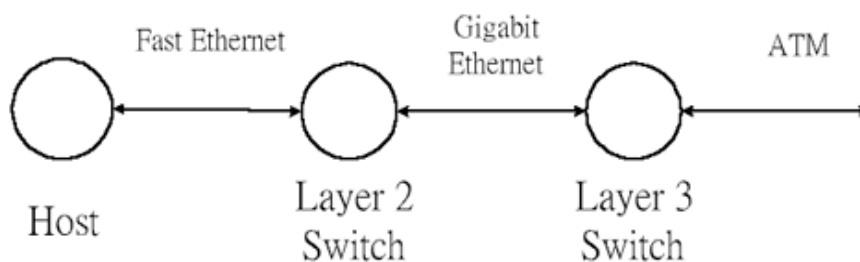
5.1 Gigabit-Ethernet V.S. ATM [9]

目前在所有前述的發展方向之中，往增加頻寬方向發展的廠商最多。這些廠家抱持的理由多是「頻寬夠多了QoS便不那麼重要」、「應用程式可依據網路現況調整流量」等。Gigabit-Ethernet坐大甚至威脅到ATM的生存空間。這一場競爭目前的狀況是是：各據一方。



(圖六) 3Com對專家們在運用Gigabit Ethernet方式作的調查

根據圖六所示，有79%的專家說他們會拿Gigabit Ethernet來連接LAN backbone，而有70%的專家說他們會拿來連結Switch和Server。而ATM呢？在LAN中switched Gigabit-Ethernet伴隨著priority queuing (IEEE 802.1p [13]) 或許可以與ATM的QoS、穩定性相比，但就per-flow QoS而言就相形見拙了。所以，各技術雄霸一方，將形成圖七中群雄割據的局面：



(圖七) 群雄割據圖

5.2 per-flow QoS (IP V.S. ATM)

為了整合高速的ATM與網際網路的IP，廠商在IP與ATM互通的技術發展可分為四種：「單純IP網路環境」、「IP軟體，ATM硬體」、「IP與ATM軟體，ATM硬體」和「單純ATM網路環境」。其中第四種在網際網路已幾乎不存在；第一種就是目前一些廠商開發的frame-based IP switching router，利用ASIC技術將原來Router的速度倍增；這二種方式則是拿掉了ATM的Signaling協定Q.2931，在ATM交換器另一個處理器上跑IP與RSVP，為cell-based的switching router，如Ipsilon的IP switch。第三種方式是最複雜的了。其保留了ATM的Q.2931並加上LANE (LAN Emulation) 與MPOA (Multi-Protocol Over ATM)，使ATM具備原來沒有的廣播、subnet概念，現有的協定如ARP、IP才可以照常運作。但是由於透過多層的協定堆疊，效果並不理想；加上價錢不斐，目前使用率尚未普及。

6. 結語

區域網路是電腦存取本地資源、接收外地資訊的重要媒介。乙太網路在透過「頻寬提升」、使用「交換技術」、提供「服務品質」轉型後，維持住在區域網路的地位。然而在這場LAN標準競爭中我們不難發現，功能強的標準不見得可以在市場上生存。在各方不願放棄原有投資的心態下，能提供最平順網路升級方案的往往是最大贏家。乙太網路用KISS (Keep It Simple, Stupid) 打贏了這場區域網路「心理戰」，受益的是誰？這是值得我們深

思的問題。然而在Internet激起的LAN標準大戰之下，緊抓著舊有技術的的升級方案，更讓我們對人類解決問題的方法嘆為觀止。人類造就的這一門藝術，就讓我們繼續靜靜地欣賞吧。

參考文獻

- [1] Kleinrock , Tobagi *Random Access Techniques for Data Transmission over Packet-Switched Radio Channels*", Proc. Nat. Computer Conf., pp.187-201, 1975
- [2] P. Newman, W. Edwards, R. Hinden, E. Hoffman, F. Ching Liaw, T. Lyon & G. Minshall. R.Yavatkar, D.Hoffman, Y.Bernet, F.Baker, M.Speer, "*Ipsilon Flow Management Protocol Specification for IPv4 Version 1.0.* ", RFC 1953, May 1996
- [3] P. Newman, W. Edwards, R. Hinden, E. Hoffman, F. Ching Liaw, T. Lyon & G. Minshall., "*Transmission of Flow Labelled IPv4 on ATM Data Links Ipsilon Version 1.0.*", RFC 1954, May 1996
- [4] Y. Rekhter, B. Davie, D. Katz, E. Rosen, G. Swallow., "*Cisco Systems' Tag Switching Architecture Overview.* ", RFC 2105, February 1997
- [5] R.Braden, D.Clark, S.Shenker, "*Integrated Service in the Internet Architecture: An Overview*", RFC 1633, June 1994
- [6] R.Burden, L.Zhang, S.Berson, S.Herzog, S.Jamin, "*Resource Reservation Protocol (RSVP) - Version 1 Functional Specification*", RFC 2205, September 1997
- [7] J.Wroclawski, "*The Use of RSVP with IETF Integrated Services*", RFC 2210, September 1997
- [8] Sixto Ortiz Jr., "*Hardware Based Networking Widens the Pipes*", Computer magazine (volume 31),May 1998
- [9] David Clark, "*Are ATM, Gigabit Ethernet Ready for Prime Time ?*", Computer magazine (volume 31),May 1998
- [10] Paul P. White, "*RSVP and Integrated Services in the Internet: A Tutorial*", IEEE Communication Magazine, May 1997
- [11] Lixia Zhang, Stephan Deering, Deborah Estrin, Scott Shenker, Daniel Zappala, "*RSVP: A New Resource ReSerVation Protocol*", IEEE Network Magazine, September 1993
- [12] R. Yavatkar, D. Hoffman, Y.Bernet, F. Baker, M. Speer, "*SBM (Subnet Bandwidth Manager): A Protocol for RSVP-based Admission Control over IEEE 802-style networks* ", INTERNET-DRAFT draft-ietf-issll-is802-sbm-06.txt, March 1998
- [13] IEEE 802 Working Group, "*Standard for Local and Metropolitan Area*

Networks--Supplement to Media Access Control (MAC) Bridges: Traffic Class Expediting and Dynamic Multicast Filtering.", IEEE 802.1p, now incorporated in IEEE Std 802.1D-1998

[14] IEEE 802 Working Group, "*Standard for Virtual Bridged Local Area Networks*", IEEE 802.1Q, 1997

[15] IEEE 802 Working Group, "*Supplement to ISO/IEC 8802-3:1993, Local and Metropolitan Area Networks: Media Access Control (MAC) Parameters, Physical Layer, Medium Attachment Units, and Repeater for 100 Mb/s Operation, Type 100BASE-T*", IEEE 802.1u, 1995

[16] IEEE 802 Working Group, "*Supplement to 8802-3--Physical Layers, Repeater, and Management Parameters for 1000 Mb/s Operation*", IEEE 802.1z, 1998