

# 網際網路通訊協定交換閘道之設計與實作

## The Design and Implementation of IP Switch Gateway

黃能富,張拓,陳懷恩,趙士銘

Nen-Fu Huang, Tao Chang, Whai-En Chen, Shi-Ming Zhao

國立清華大學資訊工程學系

Department of Computer Science, National Tsing Hua University

電子郵件: nfhuang@cs.nthu.edu.tw

### 摘要

目前有一新興的網路交換技術稱之為 IP Switching：完全揚棄了 ATM 網路連接導向的特性；將 IP 和快速的 ATM 硬體加以整合，保留了 IP 不用預先建立連線的特性。IP Switching 能將屬於同一條 IP 資料流 (IP Flow) 的封包都直接由 ATM 交換機上的硬體交換出去，不必再經由第三層的 IP 軟體作繞路。如此結合了 IP 的簡單、可擴充性、穩健性和 ATM 的速度、高網路頻寬。本篇論文實際設計並製作 IP Switch 之通訊閘及相關通訊軟體。

關鍵字：IP Switching, ATM, IP 資料流。

There is a new and developing switching technology, which is called IP Switching. It completely discards the connection-oriented nature of ATM and integrates fast ATM hardware with IP, preserving the connectionless nature of IP. IP Switching enables other packets on the same flow to be directly switched by the ATM hardware rather than the IP forwarded by IP Routing Protocol. Thus, this approach combines the simplicity, scalability, and robustness of IP with the speed and high networking bandwidth of ATM. This paper proposes the way to design and implement the IP Switch Gateway as well as related protocols.

Keywords: IP Switching, ATM, and IP Flow.

### 第一章 導論

首先，雖然交換技術已能提供遠高於傳統路由器所能提供的總和頻寬，但是目前卻只能透過橋接器，用區域網路仿效的技術與 ATM 網路相連。不但在區域網路仿效上的伺服器容易成為資料傳送的瓶頸，影響網路傳送效能；而且因為廣播與未知伺服器 (BUS) 的廣播特性使得由區域網路仿效所成的網路不具備擴充性 (Scalability)。此外，雖然已經有人提出了很多方法嘗試讓 IP 能在 ATM 的交換網路上作 IP 的繞路，如 Classical IP over ATM (IETF RFC 1483[9] & RFC 1577[10])、Multiprotocol over ATM (ATM Forum) 等等，但這些技術不但未臻成熟且相當複雜。因為 ATM 網路是連線導向，而現存

的網路通訊協定卻絕大多數是不用事先建立連線的，所以這些方法在嘗試整合以上兩者之間的不一致時，往往要耗費大量的成本與複雜的程式。

目前的研究顯示：在適切的設計下，IP 對於即時和多媒體應用程式的支援程度並不亞於 ATM[6][7]。目前的焦點多在於將 IP 群播的能力應用在多媒體和視訊會議的應用程式上[8]；此外，將架構在無連線導向模式下運作的 IP，加上以軟性狀態來管理網路交通流量的軟體設計，可以建構出更為穩固且更具彈性的整合型服務網路。

在本篇文章中，我們將探討 IP 交換技術 (IP Switching) 以及分析 IP Switching 的軟體架構，並設計出一套 Flow Classification 的演算法，然後據此建構出一個 IP Switching 的網路實驗平台。

### 第二章 IP Switching 技術探討

#### 2-1 標籤化的 IP 資料流 (Flow Labeled IP)

我們的目標是在高速的交換機硬體平台上植入 IP：採用標準的 ATM 硬體平台，但將原本架在上面 ATM Forum 的控制軟體完全替換掉 (不要 MPOA，也不要 Signaling Q.2931)，以便能讓交換機以無連線導向的方式運作；其結果將會是一個擁有交換機硬體的路由器，能夠將繞路資訊當成快取儲存在交換機硬體上，這就是 IP Switch。圖 1 顯示了 IP Switch 的 ATM 組態。

#### 2-2 IP Switch 的建構

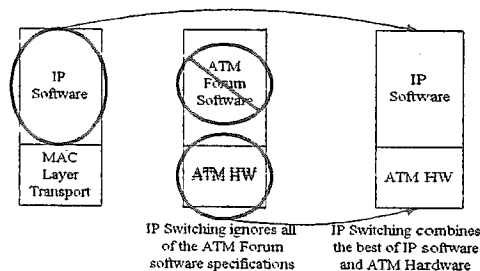


圖 1: IP Switch—ATM 上的組態：  
結合了 IP 最好的特色與 ATM 硬體交換的速度。

IP Switch 所採用的 ATM 交換機硬體平台如

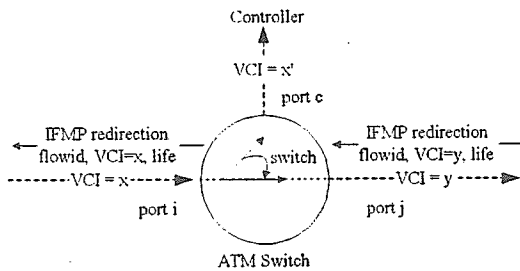


圖 2: 交換式資料流的建立

圖 1 所示，但是，將硬體平台上在 AAL-5 以上所執行的控制軟體完全移除，這包括了連線建立通訊協定、繞路協定、區域網路仿效伺服器 and 所有的網址解釋伺服器；而以標準的 IP 路由器軟體取而代之。至於 IP Switch 所需要定義的新軟體有：

- ① 一個將 IP 資料流和 ATM 的虛擬通道 (Virtual Channels) 連結在一起的 IP 資料流管理協定 (IP Flow Management Protocol, RFC 1953, 簡稱 IFMP[2])。
- ② 一個能對 IP 資料流分類，決定哪些資料流應該要直接由硬體交換的資料流分類程式 (Flow Classifier)。
- ③ 一個能控制 ATM 交換機硬體的驅動程式：能夠遵照 ATM 控制處理器的命令填寫 ATM 交換機內輸入埠的硬體交換表以建立或中斷 ATM 硬體的虛擬通道。在此為一般化交換機管理協定 (General Switch Management Protocol, RFC 1987, 簡稱 GSMP[4])。

當系統剛啟動時，在控制處理器上執行的 IP 繞路軟體會與其所有相鄰的 IP Switch 主機上的 IP 繞路軟體建立一條預設 (default) 的 ATM 虛擬通道。這條建立的預設通道被用來當作一段一段轉送 IP 封包的無連線通道 (Hop-by-hop connectionless forwarding)，其角色如傳統的 IP 路由器，只是這時經過的是 ATM 網路預設的虛擬通道。此時 IP Switch 已能在網路的第三層 - IP Layer - 轉送 IP 封包；但是如果充分利用交換硬體的硬體速度，我們必須能夠讓某些 IP 資料流自另外的 ATM 虛擬通道傳送。也就是指定新的 VPI/VCI 給要作硬體交換的 IP 資料流。

### 2-3 資料流的分類(Flow Classification)

IP 資料流的分類是依據 IP/TCP/UDP 標頭的某些欄位，像服務類別、通訊協定、來源位址、目的地位址、來源埠號、目的地埠號等等。如果有兩個封包所擁有的上述的標頭欄位都完全一樣的話，那麼這兩個封包就是屬於同一條 IP 資料流。我們可以依照標頭欄位組成的不同而定義出各種不同形態的資料流，而這些資料流間應該要做某種程度的排序，這樣才能讓同時符合多種資料流型態的資料流可以決定哪一個最適合自己的歸類。

### 2-4 資料流管理通訊協定 (IFMP)

如果控制處理器決定要把某個資料流做硬體交換，那它就會從接收這條資料流封包的輸入埠(圖 2: port i)中選出一個新的標籤(圖 2: Label x)；也就是指定新的接收的 VPI/VCI。如圖 2 所示。

在此我們假設所有的虛擬通道都是單向，所以每一段順著資料流傳送方向的 ATM 標籤 (VPI/VCI range) 是由其下游的接收端節點的資料流輸入埠所管理。同時控制處理器 (圖 2: Controller) 也會在它自己與交換機相連的控制埠 (圖 2: port c) 選出一個新的標籤 (Label x')；然後控制器會藉由控制 ATM 交換機的驅動程式，把輸入埠 port i 的 label x 對應到控制埠 port c 的 label x'。

在將交換機輸入埠 port i 的轉換表對應完成後，控制器就送一個 IFMP 的轉向訊息 (Redirection Message) 給其資料流上游的節點 (也就是圖 2 中與 port i 相連的 hop)。這個 IFMP 轉向訊息帶有 label x、資料流識別碼和一個轉向的持續時間 (lifetime)。這個轉向訊息要求其上游的 IP Switch 主機將以後標頭欄位與這個 IFMP 轉向訊息中所帶的 Flow ID 完全相同的封包，都自這個轉向訊息中所指定的 ATM Channel 傳送過來。至於轉向訊息中所帶的持續時間則是指定這條轉向的 Virtual Channel x 所持續的時間；除非這條資料流的上游節點在這段持續時間指定的時間內又再收到 IFMP 轉向訊息，重新設定新的持續時間，而將它的狀態更新，否則一旦持續時間所指定的時限一過，這條資料流就應該不再自 Virtual Channel x 傳送封包，而該回復到之前從預設的通道上傳送封包，而上游節點此時也應該更新這條資料流與 Virtual Channel x 的關係。

在送出 IFMP 轉向訊息後，這條資料流的封包將會自 port c 的 VC x' 送至交換機的控制埠；此時所收到的封包仍然必須經過 AAL-5 做重組然後交給 IP Forwarding 的軟體做轉送的動作，但是這個過程不用再呼叫路由器的軟體而做加快控制器轉送封包的動作。

交換真正的好處會在當這條資料流的下游節點也執行同樣的轉向演算法時顯現出來：當這個路由器從 port j 接到從與其相鄰的下游接點所傳送的 IFMP 轉向訊息，要求將這條資料流改向到 Virtual Channel y (圖 2: port j, Label y) 時，這個路由器就可以讓這條資料流以後要傳送的封包在 ATM 硬體內直接交換出去；路由器是藉著控制 ATM 交換機硬體的驅動程式將 (port i, Label x) 的 Virtual Connection 直接對應到 (port j, Label y)；至此後，這條資料流所屬的封包都將直接從輸入埠的 Virtual Channel x 直接交換到輸出埠的 Virtual Channel y 去。

IP 封包在預設的送出通道上傳送時的封裝方式是 AAL-5 上標準的 LLC/SNAP 封裝方式[9]；而在轉向的 Virtual Channel 中傳送的 IP 資料流封包，

其標頭中所有拿來當作辨識資料流的欄位都被在轉向的虛擬通道傳送端的 IP Switch 控制器給移除之後，剩下的封包標頭和封包資料再經 AAL-5 的封裝，才從轉向的 VC 傳送給其下游節點[3]。

### 2-5 一般化交換機管理協定 ( GSMP )

GSMP 是 IP Switch 控制器對 ATM 交換機作管理的通訊協定，其目的是希望能讓 IP Switch 控制器，控制所有有 GSMP 驅動程式的 ATM 交換機硬體平台，此為一種主從架構、詢答式的協定；由控制器向交換機發出指令，ATM 交換機只在動作完成或失敗後，向控制器報告結果。GSMP 具備的功能如下：

- 對 ATM 交換機要求建立連線或釋放該條連線
- 對一個群播增加新節點或刪除既存的節點
- 管理交換機的通訊埠
- 要求獲得交換機參數設定的資訊，以及獲得交換機對各虛擬通道資料流量的統計資訊，為控制器提供是否 IP 資料流仍有封包在轉向的虛擬通道中傳送的判斷依據。

GSMP 所有的訊息皆加上 AAL-5 LLC/SNAP 的封包標頭以後，以 AAL-5 的細胞 (cell) 傳輸，其封包格式如圖3所示。

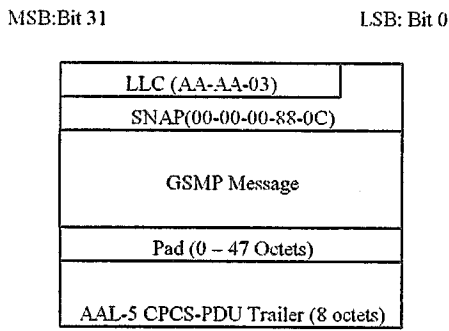


圖 3: GSMP 訊息封裝方式

### 2-6 IP Switch 運作流程

ATM IP Switch 控制器的基本操作如下 ( 參考下圖 4 至圖 7 ) :

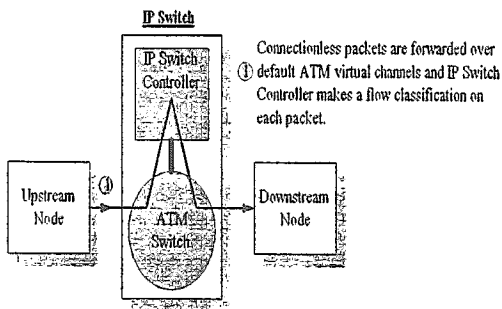


圖 4: IP switch default operation.

- (1) IP Switch 控制器在與上游節點 ( Up-stream Node ) 連接的 Default 虛擬通道上收到來自上游節點送來的 Connectionless IP 封包，並將其 Forward 至連接到上游節點的 Default 虛擬通道上後(如圖 4)。在對 IP 封包作 Forwarding 時，IP Switch 控制器也會對每一個收到的 IP 封包進行資料流分類。

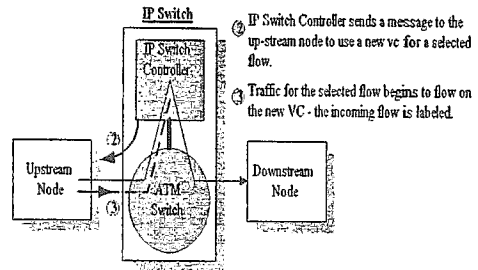


圖 5: IP switch 控制器 labels a selected flow.

- (2) 若 IP Switch 控制器決定對一特定的資料流進行轉向，則 IP Switch 控制器會藉由 IFMP 送一個轉向訊息給上游節點，通知上游節點以後用新的 VC 來傳送將來同屬此一被 IP Switch 控制器所選定 (Labeled) 的 IP 資料流的封包。上游節點在收到此 IFMP 轉向訊息後將此已被標籤過的 IP 資料流自新的 VPI/VCI 將此標籤過的 IP 資料流送出(如圖 5)。

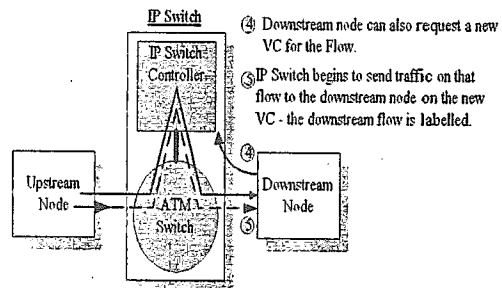


圖6: 下游節點也標籤這條資料流。

- (3) 下游節點也要求(藉由 IFMP)此 IP Switch 控制器由新的 VC 傳送剛才被選定的 IP 資料流(如圖 6)。
- (4) 當 IP Switch 控制器發現其上下游的節點都已轉向此 Labeled IP Flow，則此 IP Switch 控制器會藉由 GSMP 更改其所控制 ATM Switch 內的交換表 ( Switching Table )，使得此 Redirected Labeled IP Flow 直接由輸入埠交換至輸出埠。之後此 IP 資料流後續的封包可以根據交換機內交換表的對應關係直接將 Cell 送至輸出埠，同時也換上新的 VPI/VCI。此時已完成“Cut-

through” Switching—直接自 ATM 交換機 Switch 出去，不需要再經過原本 IP Switch 控制器的 IP 繞路軟體及控制流程(如圖 7)。

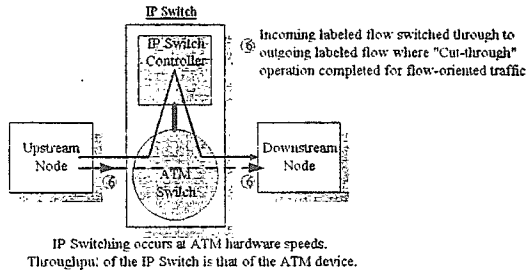


圖 7: Cut-through switching 完成：網路資料以 ATM 硬體的速度交換。

### 第三章 IP Switching Gateway 之設計

#### 3-1 IP Switching 實驗網路平台

本實驗平台的建構是將 ATM 交換機與 IP Switch 通訊協定通訊閘連接成 ATM 骨幹網路，而 ATM 交換機再以 OC-3 與一台工作站相連，此台工作站在於扮演 IP Switch 控制器的角色。IP Switch 通訊閘則負責將乙太網路鍊結上此 ATM IP Switch 網路，相對於 ATM Backbone 而言，IP Switch 通訊閘在 IP Switch 網路中扮演的是 IP Switch Host 的角色。如下圖 8 所示。

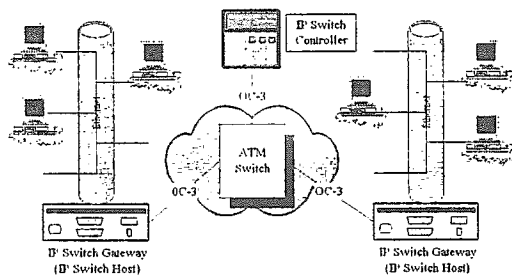


圖 8: IP Switching 網路拓模架構。

#### 3-2 IP Switch 網路的通訊協定架構

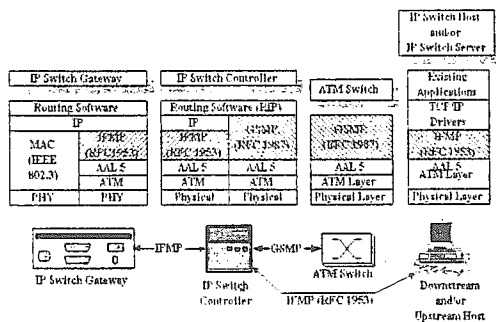


圖 9: IP Switching 網路通訊協定架構

在這實驗網路上，我們將原本的 ATM Software 完全拿掉，例如 Q.2931 Signaling、LAN Emulation Software (LANE Server/Client) 和 Classical IP over ATM，如圖 9 所示。在此平台上的所有 Nodes 都不需要原本在 ATM 網路上的 Control Software，但凡是和直接連上此 IP Switch 網路平台的主機都必須安裝

IFMP[2] (IP Flow Management Protocol, RFC 1953)，使下游節點可以送出 IFMP 轉向訊息給上游節點，要求上游節點對某些正在傳送的 IP 資料流自新建立的 Virtual Connections 傳送後續的封包，進行 IP 資料流的轉向。

對建立點對點的 ATM 連線而直接連上 IP Switch 網路的 IP Switch Host 或 IP Switch Server 而言，它只需要安裝 IFMP 的通訊協定驅動程式，能與和其建立預設的送出通道的 IP Switch 控制器，交換控制訊息即可；但是對需要控制 ATM 交換機的 IP Switch 控制器而言，其 AAL 5 上不但要有 IFMP 以便與其上下游節點交換 IFMP 的訊息，也同時必須要安裝 GSMP[4] 以便讓 IP Switch 控制器能在需要時控制 ATM 交換機；例如在 IP Switch 控制器決定對某些 IP 資料流作直接交換時，它會用 GSMP 控制 ATM 交換機，為上游節點和下游節點建立新的 Virtual Connection 以便進行直接交換。至於當作乙太網路和 ATM 網路間溝通橋樑的 IP Switch 通訊閘，其通訊協定架構除了與 ATM 端交換訊息的 IFMP 外，自然也需要有能在乙太網路上收送訊框的 MAC 通訊協定—IEEE 802.3。

#### 3-3 Flow Classification

我們作資料流分類的目的在於讓網路上傳輸量大 (如 FTP) 或傳送時間較長 (如 Telnet) 的 IP 資料流能直接在 ATM 硬體做 Layer-2 (Cells in ATM Layer) 的 Cut-through Switching，至於傳輸量小 (如 SMTP)、傳送時間短 (如 DNS Query) 的 IP 資料流就仍然經由 IP Switch 控制器作 Layer-3 (Packets in IP layer)、Store-and-forward 的 Routing 處理。所以我們可以藉由觀察 IP/TCP/UDP 表頭中的欄位，如註冊過的網路服務種類、通訊協定、封包來源和目的地等，來對 IP 層的資料流作分類。在 IP Switch 控制器中，對 IP 資料流分類，決定未來被歸類為同種類的資料流的後續封包是否要直接交換出去，或者仍然經由 IP Switch 控制器作 Layer-3 (Packets in IP layer)、Store-and-forward 的 Routing 處理。

目前本實驗平台上的 IP Switch 定義了兩種形態的資料流：第一類是以收送端的埠號做分類的資料流—Port-pair Flow Type (flow type 2)，第二類則是以收送端的位址來作分類的資料流型態—Host-pair Flow Type (flow type 1)。Host-pair 資料流型態是指由具有相同的發送端與接收端 IP 位址的封包所組成的資料流；而 Port-pair 資料流型態則是除了符合 Host-pair 資料流的型態外，其封包來源地

的 IP 位址與目的地 IP 位址上的 TCP/UDP 的 Socket 埠號也相同的資料流。Port-pair 資料流型態的定義是爲了提供能夠區分在相同的一對通訊的主機裡傳送的資料流的服務品質 (QoS) 的能力。

表 1 列出哪些在網路上傳送的封包應該要被歸類爲資料流，以及一般不是屬於資料流的網路資料流。

表 1: Long-lived and short-lived 資料流

FLOW-ORIENTED TRAFFIC	SHORT-LIVED TRAFFIC
File transfer protocol (FTP) data	Domain Name Service (DNS) query
Telnet data	Simple Mail Transfer Protocol (SMTP) data
HyperText Transmission Protocol (HTTP) data	Simple Network Management Protocol (SNMP) queries
Web image downloads	Point-of-presence (POP)
Multimedia audio/video	Network Timing Protocol (NTP)

若再以網路服務協定細分以 Well-known Port Number 來決定哪些資料流該轉向的資料流分類演算法，我們稱之爲 *Port/Service-based Flow Classifier*。

但是若想直接以 Well-known TCP Port Number 來做資料流的分類會有實際操作上的困難：因爲上列的 TCP Port Number 可能都是 Server 開的 Passive Socket，用來等候來自 Client 端的 TCP 連線；等到一旦 Client 和 Server 建立 TCP 的連線後，它們之間真正用來傳送資料流的 TCP Socket Port Number 都不會是上述的 Socket 埠號，譬如說：Web 伺服器上 HTTP Daemon 的埠號是 80，Client 端會先連上 Web 伺服器的 socket port 80，然後 Web 伺服器會產生另一個子行程，開一個新的 Socket 和 Client 端建立連線，然後這個新的子行程就以這個新指定的 Socket 和 Client 端做 HTTP 文件的下載；而 Server HTTP daemon 所在的 port 80 在 Fork 出一個新的子行程後，就繼續回到等候 Client 端連線的模式。此外，這種分類法則— *Port/Service-based Flow Classifier* —並不具備一般性的通則：一旦有新的網路服務埠號加入，就必需修改其資料流分類對照查詢表。

只看 IP 封包標頭中 Protocol 的欄位來決定是否爲 IP 資料流建立新的 ATM 連線，我們稱之爲 *Protocol-based Flow Classifier*。比如說，只要 Protocol 等於 TCP (值是 0x06) 是 Stream-oriented 的 TCP 資料流，我們就將其轉向。這種演算法— *Protocol-based Flow Classifier* —相當簡單而且就目前網路上的傳輸環境看來，其效率必然比前一個 *Port/Service-based Flow Classifier* 來的好。但我們可以預期 *Protocol-based Flow Classifier* 既然是無選擇性地爲所有的 TCP streams 建立 Redirected Layer-2 path，必然會比 *Port/Service-based Flow Classifier* 耗用更多的 ATM VPI/VCI Labels

space，也可能浪費更多的系統資源。

圖 10 表示爲一個簡單的 Long Lived Flow Classification Algorithm 之流程：我們以資料流在單位時間— T 秒—內所傳送的封包數— P packets—來決定哪些資料流應該進行交換，我們稱之爲 *P-packet/T-second Timer-based Flow Classifier*。我們甚至可以動態調整 P/T 的值以符合網路環境的需求；像在網路負載尖峰期，因爲大量的新資料流不斷湧進，我們也許該把 P/T 的值設爲 10-packet/20-sec；但若網路負載很輕的話，我們可以將 P/T 值設爲 10-packet/60-sec。必需注意的是，在 *P-packet/T-second Timer-based Flow Classifier* 中，若 P/T 的門檻值給的越低，它會需要越多的 VPI/VCI 標籤來越過門檻值，且會耗用更多的系統資源，使得後來更需要建立轉向連線的 IP 資料流面對無標籤可用的窘境。

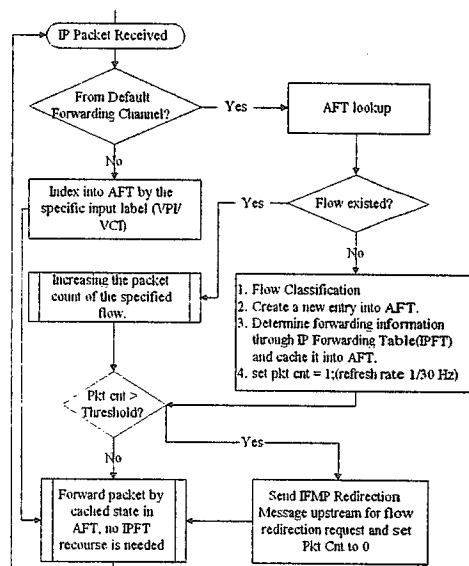


圖 10: P/T Timer-based Flow Classifier.

剛開始時封包會自送出通道 (VPI/VCI=0/15) 中收進來，然後 IP Switch 會先搜尋 Active Flow Table (AFT)，看看目前收到的封包是否屬於之前已歸類過的資料流。如果找不到符合的資料流，那麼 IP Switch 就會對這個封包進行資料流的分類，並將其分類後的新資料流相關資訊記錄起來，然後送往上層 IP Routing 的軟體，以 IP Forwarding Table (IPFT) 上記錄的 Routing Information，把封包以傳統的方法，將封包繼續傳送出去，與此同時，這條資料流封包的傳送決定也會被儲存在 AFT 裡。這條資料流之後自送出通道傳送過來的封包就可利用 AFT 直接將封包轉送到下游節點去，縮短封包的處理時間。另外，AFT 也會記錄這條資料流到目前爲止累計的傳輸封包數 (Packet Count)，若是 Packet Count 超過了一個門檻值，那 IP Switch 就會送出一個 IFMP 轉向訊息給這條資料流的上游節點，要求上游將這條資料

流後續的封包自轉向的虛擬通道傳送。

目前在實驗平台上的系統定時檢視更新狀態的週期為 30 秒，採用的是 *P-packet/T-second Timer based Flow Classifier*，而轉向門檻的 P/T 值則定為 10/60；預先建立的送出通道為 VPI/VCI = 0/15。

### 3-4 IP Switch 之建構

我們在實驗平台上建置了兩套系統：一個是 IP Switch 通訊閘，一個是 IP Switch 控制器；這兩套系統都架構在工研院電通所發展的 Ethernet-to-ATM Switching Hub (簡稱 EAS Hub 系統)上。EAS 本來是當作 Ethernet-to-ATM 的 LAN Emulation Bridge，我們將原本的區域仿效軟體自 EAS 移除，只留下系統中呼叫網路卡驅動程式收送封包和建立 ATM 虛擬通道的 API；此外，並大幅修改或替換掉其他的驅動程式，以符合我們的需求。

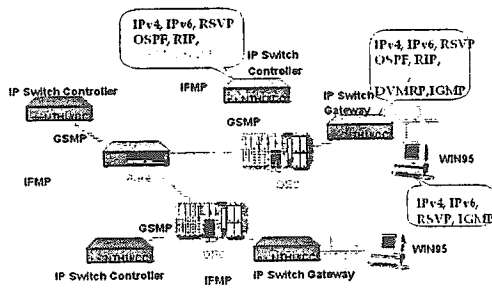


圖 11: IP Switch 網路實驗測試平台

## 第四章 結論

IP Switch 在此架構上執行的是純粹 IP，而 IP 的繞路是各個散佈在網路上的路由器自己依據當時所處的網路狀態所做出的分散式的、獨立的決定。而交換技術雖提供了遠高於路由器的總和頻寬，目前卻只提供了橋接的方法；其他各式各樣希望能讓 IP 在 ATM 交換技術下作 Routing 的方法不但複雜且仍未發展成熟。而 IP Switch 整合了無連線導向 (Connectionless) 的 IP 和 ATM 交換技術的硬體，讓屬於同一條資料流的 IP 封包能直接用硬體交換出去而不必再靠上層的 IP 軟體繞路；因此 IP Switching 的技術結合了 IP 的簡單和可靠性以及 ATM 的速度與頻寬。

在本論文中，我們採用 *P-packet/T-second Timer-based Flow Classifier* 當作資料流分類的演算法：由資料流在單位時間 T 內所傳送的封包數 P 來決定哪些資料流應該進行交換，並實作完成 IP Switch 通訊閘，可以讓乙太網路直接將 IP 封包傳送至 IP Switch 的網路上，不再需要 LAN Emulation 的

軟體，即刻連上 ATM 網路。提供了最佳的網路鏈結方案。

### 參考文獻

- [1] P. Newman, T.Lyon and G.Minshall, " Flow Labelled IP: A Connectionless Approach to ATM " *IEEE INFOCOM'96*, April 1996, pp. 1251-1260.
- [2] P. Newman et al., "IP Flow Management Protocol Specification for IPv4," IETF RFC 1953, May 1996.
- [3] P. Newman et al., "Transmission of Flow Labelled IPv4 on ATM Data Links," IETF RFC 1954, May 1996.
- [4] P. Newman et al., "Ipsilon's General Switch Management Protocol Specification," IETF RFC 1987, Aug, 1996.
- [5] Peter Newman, Greg Minshall, Tom Lyon, and Larry Huston, "IP Switching and Gigabit Routers," *IEEE Communications Magazine*, Jan. 1997(Revised).
- [6] Peter Newman, Tom Lyon, and Greg Minshall, "Flow Labelled IP: Connectionless ATM Under IP," Ipsilon Networks Inc., <<http://www.ipsilon.com>>, April 1996.
- [7] D.D. Clark, S. Shenker, and L. Zhang, "Supporting Real-time Applications in An Integrated Services Packet Network," *Proc. ACM SIGCOMM, Comp. Commun. Review* 22(4), Sep. 1992, 14-26.
- [8] R. Braden, D. Clark, and S. Shenker, "Integrated Services in The Internet Architecture: An Overview," IETF RFC 1633, Jul, 1994.
- [9] R. Handel, M. N. Huber, and S. Schroder, *ATM Networks: Concepts, Protocols, Applications*, Addison, Reading, 1994.
- [10] J. Heinanen, "Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5," RFC 1483, Telecom Finland, Jul 1993.