

於 Gigabit 被動光纖網路 IPTV 頻寬估計系統之設計與實作

嚴仕佳⁺ 葉佳昊⁺ 蘇暉凱^{*1} 吳承崧[#] 侯廷昭[#]

國立中正大學通訊工程學系⁺

國立虎尾科技大學電機工程學系^{*}

國立中正大學電信研究中心[#]

hksu@nfu.edu.tw¹

摘要

隨著網路的進步，高品質網路串流應用服務隨之蓬勃發展，而許多應用服務皆以會談 (Session) 為基礎，其特性是在會談通訊建立期間才動態決定所使用的資料通道 (Data Channel)，並且交換會談媒體格式資訊；因此，不僅網路封包已經無法從單純的 IP Address 與 TCP/UDP Port 來決定應用服務種類，而且也無法事先準確地評估應用服務所需的頻寬大小。由於人們對於高速網路的需求，而光纖具有高傳輸速率和高可靠性等優點，Gigabit 被動光纖網路 (Gigabit Passive optical network, GPON) 變成越來越普及的傳輸媒介。然而，現階段 GPON 頻寬分配機制 (例如：Status reporting 和 Non Status reporting) 仍然不能準確預估頻寬的動態變化，因此，本論文於 GPON 網路中加入 ONU (Optical Network Unit) Snooping Agent 和 Analyzer Server 等元件來設計 IPTV 頻寬估計系統，藉此機制提高上行頻寬利用率並保證 IPTV 服務品質。

關鍵詞：Gigabit 被動光纖網路、網路電視、多媒體串流、網路群播。

1. 前言

隨著高速寬頻網路的普及，快速增加人與人通訊的頻率與速度，許多應用服務大多以會談為基礎，從傳統 Client/Server 架構延伸至點對點 (Peer-to-Peer) 或點對多點 (Point-to-Multipoint) 等各種應用。然而，會談應用程式的特性是在會談通訊建立期間才動態決定使用的資料通道，並且動態交換會談媒體格式資訊 (例如：Session Description Protocol, SDP)；因此，網路封包已經無法從單純的 IP Address 與 TCP/UDP Port 決定應用種類 [1][2]，而且也無法事先準確地估計應用服務所需的頻寬大小。

現今盛行的網路串流營運模式大致分為兩種，第一種為不考慮網路品質狀況，因此當網路發生壅塞時會使得影音收看品質變差，例如：P2P 直

播；而另一種方式為 ISP (Internet Service Provider) 業者所提供的多媒體平台 IPTV 服務，如中華電信 MOD (Multimedia on Demand)。ISP 業者依照與用戶簽訂的頻寬大小決定影音串流的品質，並保證此串流在網路傳輸上享有較高優先權，因此有較高的影音串流品質。然而此種方式的服務延展性較低，只有該 ISP 的服務使用者才能收看。本論文所提出的方法能藉由會談分類技術並以 GPON DBA (Dynamic Bandwidth Allocation) 方式確保用戶端的收看品質，並能支援跨 ISP 的 IPTV 影音服務，使得 IPTV 服務範圍更廣。與現今 P2P 直播和 MOD 等營運模式相較之下，本論文提出的會談分類技術更具有支援 QoS (Quality of Service) 品質保證、服務延展性和動態分配會談頻寬等優點。

GPON 以 T-CONT (Traffic Container) 作為頻寬流量調度單位，並將 T-CONT 分為 5 種類型，不同類型的 T-CONT 具有不同的頻寬分配方式，可以滿足不同資料流對於時間延遲、抖動、丟棄封包率等不同的 QoS 需求。在 GPON DBA 中，每個 T-CONT 都有兩種模式，SR (Status Reporting) 和 NSR (Non Status Reporting)。在 SR-DBA 中，ONU 透過上行 GTC Frame 中 DBRu 欄位來回報 Queue Length，OLT 透過此資訊動態產生合適的 BWmap (Bandwidth Map) 來排程上行頻寬分配時間；在 NSR-DBA 模式下，OLT 透過自動檢測流量來識別每個 T-CONT 的壅塞狀態，再根據當前 ONU 頻寬的使用率的值作為該 ONU 目前的頻寬需求。由此可知，GPON 頻寬管理機制即使設計的很完美，亦往往無法依據應用服務需求給予不同優先權排程 (如：Priority Waiting Queue)，或依據應用服務需求給予合適的頻寬保證。

本論文以 GPON 服務品質保證為主題，藉由會談分類技術，在應用服務連線初始化期間透過 Snooping Agent 擷取特定封包，透過 UDP/IP Tunnel 技術送至 Analyzer Server 進行會談資訊分析，藉此估計應用服務所需之頻寬，並且將此資訊透過 OAM 提供給 GPON DBA 進行會談頻寬動態配置，因此當會談連線建立時，GPON DBA 便配置合適的頻寬給予此會談；當會談連線結束後，GPON DBA 便釋放此頻寬配置，並於 GPON Network Management Database 扣除該會談頻寬，藉此方式達到應用服務動態頻寬保證。

¹本研究由科學工業園區管理局贊助，計畫編號 99IA06。

2. 背景

2.1 Gigabit 被動光纖網路

光網路系統依據網路節點的元件特性，大致可分為主動光纖網路 (Active optical network, AON)與被動光纖網路 (Passive optical network, PON)兩種，其中又以 GPON 最為矚目。GPON 具有高傳輸效能、支援多種服務(包含 ATM、Ethernet 和 TDM)與 OAM&P 能力，可說是目前功能較為完善的 PON 技術。由於 GPON 是一種媒體共享架構，因此需要一些 OAM 機制進行網路資源分配與排程，以避免資料傳輸時發生碰撞；GPON 系統支援 Static Time Division Multiple Access(靜態 TDMA)多工存取方式，每個 ONU 由 OLT 分配固定的時槽(Time Slot)進行資料傳送，ONU 必須在被分配的有限時間內，將緩衝區中的資料全速傳送給 OLT。此外，GPON 定義三種控制訊息：OMCI (ONT Management Control Interface)、Embedded OAM 與 PLOAM (Physical Layer OAM)。

GPON DBA 以一個 T-CONT 為分配單位，利用 Embedded OAM 交換上行頻寬分配之排程資訊，OLT 運用這些機制管理與控制上行/下行頻寬資源的分配；GPON 頻寬分配與控制之相關研究可參考[3-8]。因此，理論上 GPON 可以有效管理頻寬資源，並且準確地提供頻寬保證。然而，在高速傳輸環境下，如何動態識別應用服務之頻寬需求，並依據應用服務需求，配合 GPON 流量控制與排程機制，動態地給予合適的頻寬保證，這是 GPON 技術與研究上的一大挑戰。

2.2 IPTV 群播

IPTV 是用寬頻網路作為介質傳送電視訊息的一種系統，IPTV 根據使用網路開放與否分成「開放式」與「封閉式」。開放式 IPTV 是指使用者連上網路後就可以收看影音服務，例如 P2P 和 Web-TV；而封閉式 IPTV 則是使用者需繳費，透過特定的網路頻道才能收看影音服務，MOD 即為一典型例子。目前 IPTV 的傳送方式分為兩種：單點傳播 (Unicast) 和群播 (Multicast)。

單點傳播是目前網路上應用最為廣泛的一種，通訊主要藉由發送端和接收端進行一對一的傳送。因此，當使用者數量成長時，也就帶動連線數的增加。如此一來便會有多重單播的情況發生，如圖 1 所示，不同顏色的線條分別代表不同的連線，而這些連線的影音串流內容皆相同，因此便產生多重單播的問題，進而導致 Router A 發生壅塞形成網路中的瓶頸節點。這樣的情形在傳送語音封包這類應用服務之下將會造成資源的浪費、網路的壅塞與伺服器的負擔。

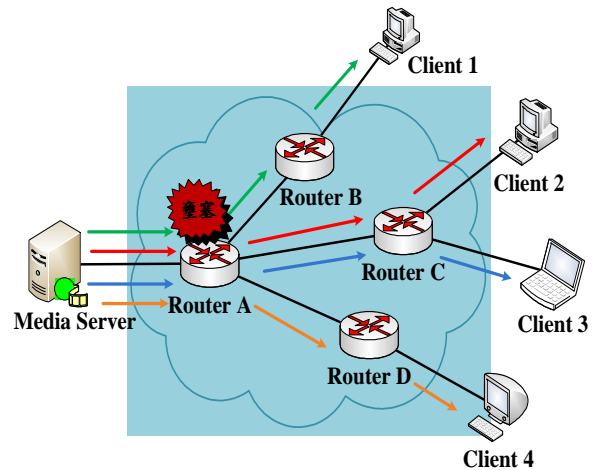


圖 1 以單點傳播方式進行影音傳輸

為了解決多重單播的問題，1998 年 Steve Deering 在他的論文中[9]提出網路層群播 (IP Multicast) 的概念，期望能達到對於單播能力的擴展和降低網路與伺服器的負擔。

當發送端需要傳送多份相同的資料給不同的接收端時，藉由 IP 群播的傳輸方式，發送端不必一次建立許多連線，它只需要送出一次的資料，網路中的路由器就會複製這份資料並轉送到其它路由器或群播群組內的成員，如圖 2 所示。透過群播的方式可以用來傳送一對多的資料，比起多重單播的傳輸方式還要來的有效率，也可以避免重複的資料不斷的在網路上傳遞而浪費頻寬資源。

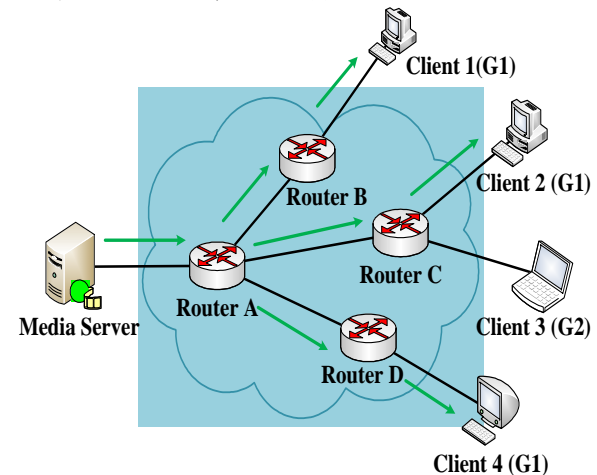


圖 2 以群播方式進行影音傳輸

2.3 IGMP 標準

網際網路群組管理協定 (Internet Group Management Protocol, IGMP) 是群播技術中負責群播群組成員的管理，它主要應用於電腦與鄰接路由器之間的溝通。IGMP 通訊協定負責協助路由器建立並更新一份與每個路由器介面相關的成員列表。在 IGMP 協定中，主要透過加入群組 (Join) 與

離開群組 (Leave)這兩種訊息來記錄群組成員身分的狀態。利用這兩種訊息，群播路由器就能夠記錄一份在某一群播群組上有多少主機成員的表格。當網路上的群播路由器收到群播封包要傳送時，群播路由器會判斷哪些群播封包是要送到哪一個群播群組，並透過先前維護的群播表格來得知在該群播群組裏有哪些主機成員，接著將收到的群播封包送到指定的主機成員。另外，群播路由器也會定期詢問在此區域網路上所屬各個群組的主機成員是否還存活在該群組中，如果發現已經不存在於群組中，則會將此主機由群播表格中移除。

目前 IGMP 發展至第三版，第一版只有成員訊息回報和成員加入訊息；第二版新增成員離開訊息 [10]；第三版新增封包來源過濾功能。

2.4 RTSP 標準

即時資料流通訊協定 (Real Time Streaming Protocol, RTSP) [11] 是一個應用層的通訊協定，用來控制串流的傳輸。它主要目標是為單播及群播提供可靠的播放功能，其資料來源可以是即時或是事先儲存的資料。RTSP 是用來建立和控制單條或多條聲音或影像串流的協定，並不包含串流本身。RTSP 也可以稱作一個網路遠端控制的通訊協定，提供播放、快轉、暫停和倒退等功能。

RTSP 的訊息語法與 HTTP 非常相似，請求格式包含 URL 以及協定版本，之後是標頭與訊息本文。而不同於 HTTP 是以單向請求與回覆就能完成，因為在一個 RTSP 會談過程中，有可能因為 RTSP 的請求而改變串流的傳輸，因此 RTSP 必須為每個 RTSP 會談維持各自的狀態。由於 RTSP 是一種傳輸控制協定，因此在雙方建立通話時，客戶端必需知道串流的細節，而 RTSP 本身並不負責夾帶此類訊息。因此，透過將 SDP 資訊夾帶在 HTTP 或 RTSP 後面的方式，以便讓客戶端知道串流資訊。

通話雙方可以透過 SDP 內容知道建立會談時所需的細部資訊，並藉此資訊進行協商。然而，SDP 並非記錄所有的傳輸與會談的相關資訊，而是只記錄如 IP 位置、媒體類型與格式、編碼方式、串流傳輸協定等資訊。RTSP 的運作流程可參考圖 3：

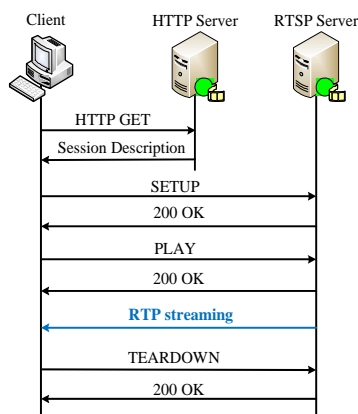


圖 3 RTSP 運作流程

3. 系統架構

本論文於 Gigabit 被動光纖網路 IPTV 頻寬估計系統架構圖如圖 4，底層為現有的 GPON 網路，包含用戶端 ONU 與局端 OLT，兩者之間透過光纖與分光器 (Splitter) 被動元件串接起來，能提供 Gigabit 等級的頻寬給網路終端的使用者；而後端平台部份包含本論文所設計的 Snooping Agent 與 Analyzer Server。會談分類 (Session Classification) 是本系統的核心技術，Snooping Agent 以模組化方式掛載於 ONU 上，利用 ONU Switch Chip 的過濾功能，經由第一道會談分類程序將特定封包 (RTSP 與 IGMP) 過濾出來並複製到上層經由 UDP/IP Tunnel 技術轉送至 Analyzer Server；而 Analyzer Server 再經由第二道過濾程序將特定封包分別依照所屬的類型進行分析程序，藉此分析應用服務控制協定、SDP 以及維護群播群組成員關係等相關資訊，並推算每一會談所需的頻寬大小，推算頻寬方法於下一小節詳細說明。最後 Analyzer Server 將會談所需頻寬大小、Session State Information 與 IGMP Membership Information 等分析結果儲存至 GPON Network Management Database，而這些分析後的數據將作為未來 GPON OAM 與 DBA 機制的重要參考依據。

關於 IPTV 影音服務的頻寬推算方法是利用 RTSP 建立連線過程中，Media Server 回覆使用者 DESCRIBE_OK 訊息中的 SDP 資訊並擷取其中 Codec 和 Bandwidth Information AS 的值，其中 AS 代表該串流的 Audio 頻寬。接著透過分析 SDP 取得的 Codec 種類來查詢事先建立在 GPON Network Management Database 中各類影像的頻寬對照表，而此對照表的制定則是參考藍眼科技公司²針對影音服務所公佈的頻寬參考值。透過上述的頻寬推算方式，便能根據每一會談的服務需求給予適當的頻寬保證。

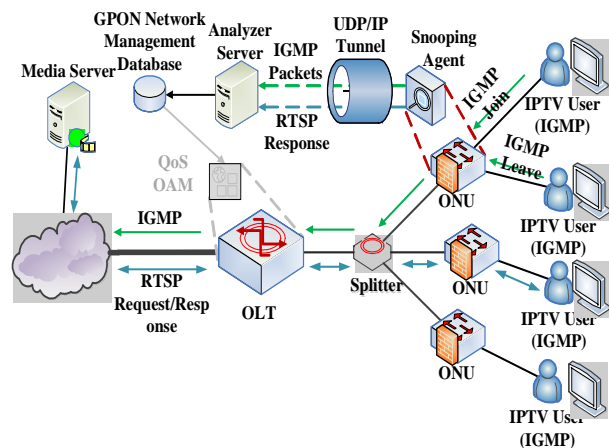


圖 4 IPTV 頻寬估計系統環境圖

² http://www.blueeyes.com.tw/Calculate_Bandwidth2.php

4. 元件設計

4.1 系統資料流程設計

本系統透過 ONU 進行封包監聽的動作，藉此擷取網路中所有關於 RTSP 與 IGMP 的封包，接著透過 Snooping Agent 將擷取到的特定封包經由 UDP/IP Tunnel 的方式送至 Analyzer Server 進行分析，擷取系統所需的特定資訊將其儲存至資料庫中，作為未來 GPON 動態頻寬保證之重要參考數據。圖 5 為本系統資料流程方塊圖，元件功能包括：

1. Snooping Agent：根據特定 Port 與 TCP/UDP 標頭等資訊分類出特定封包；例如：RTSP 封包依據 Port 554；IGMP 封包依據 Protocol Number 為 0x02。
2. Analyzer Server：分析 RTSP 與 IGMP 封包，擷取出所需的特定資訊，並根據此資訊推算會談所需的頻寬大小。
3. GPON Network Management Database：儲存由 Analyzer Server 分析過後的特定資訊與會談所需頻寬大小。

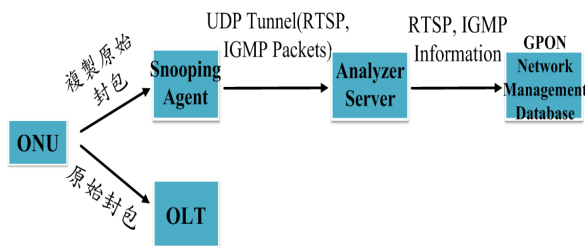


圖 5 系統資料流程方塊圖

系統藉由 Analyzer Server 所擷取的 RTSP 特定資訊如下所述：

1. 發送端資訊：發送端 IP 位址
2. 接收端資訊：接收端 IP 位址
3. SDP 訊息：藉由此訊息可以得知發送端與接收端建立此會談的細部資訊，並藉以進行協商

IGMP 特定資訊如下：

1. 加入群組訊息：主機成員的 IP 位址和欲加入群播群組的 IP 位址
2. 離開群組訊息：主機成員的 IP 位址和欲離開群播群組的 IP 位址

4.2 GPON ONU-Snooping Agent 元件設計

本論文將會談分類以模組化方式設計在 ONU 用戶端，圖 6 為 GPON ONU 功能方塊圖，除了一般 ONU 功能外，還利用 ONU Switch Chip 的過濾功能，額外設計 Snooping Agent 元件，在不影響 ONU 正常訊框交換處理的狀況下，過濾並複製 RTSP 與 IGMP 封包至上層進行 UDP/IP Tunnel

Encapsulation，最後將這些特定封包傳送至 Analyzer Server 進行協定內容分析、會談狀態與群播成員關係管理。

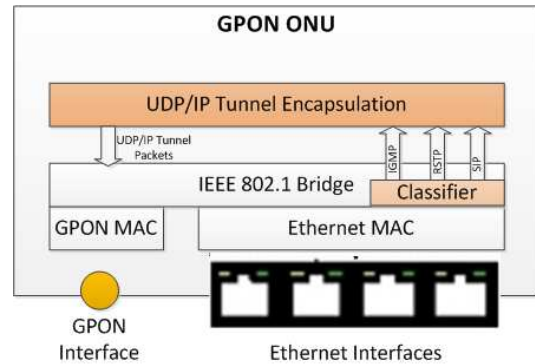


圖 6 GPON ONU 功能方塊圖

4.3 Analyzer Server 元件設計

本論文以嵌入式網路系統開發平台作為 Analyzer Server 並以此進行子系統開發，圖 7 為 Intel® EP80579 嵌入式開發平台硬體架構圖，以 IA-32 CPU 為處理器核心，最高可達 1.2GHz 的處理能力，並且提供三組 10/100/1000 高速乙太網路介面以及 Acceleration Service Unit，提供加、解密加速功能。

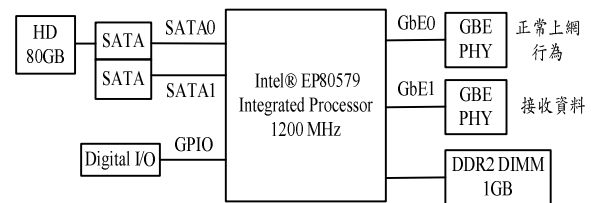


圖 7 Intel® EP80579 硬體架構圖

圖 8 為 Analyzer Server 軟體堆疊圖，在 RTSP Analyzer 部分，本論文以 BPF(Berkeley Packet Filter) 技術接收來自於 ONU Snooping Agent Tunnel 過來的封包，並且使用 gClib、libMySQL Client 與 Linux/filter 等函式庫。其中以 BPF filter 元件來過濾封包，並判斷封包源自於哪個 ONU，作為往後分配頻寬的依據；以 RTSP Parser 元件分析 RTSP 封包內容；以 SDP Parser 元件分析 SDP 資訊；Session Classifier 元件則是用來分辨 RTSP 會談的發起方向為上行或下行；以 Session State Management 元件追蹤每個 RTSP Session 會談狀態；以 Data Collector 將分析後所需的資訊儲存於後端的 MySQL 資料庫。

在 IGMP Analyzer 部分，BPF Filter 與 Data Collector 元件功能皆與 RTSP Session Analyzer 相似；而 IGMP Parser 元件則是分析 IGMP 封包內容；Member State 元件用來維護群播群組成員關係表。

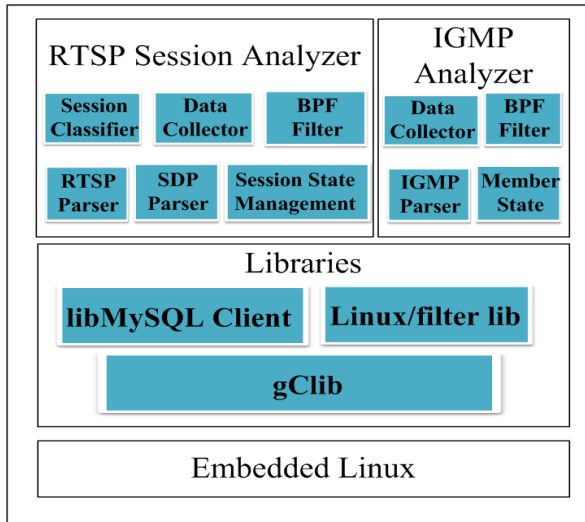


圖 8 Analyzer Server 軟體堆疊圖

5. 成果說明與展示

5.1 IPTV 頻寬估計系統之成果

本論文採用 Intel® EP80579 嵌入式開發平台作為 Analyzer Server 子系統平台，目前已完成前面章節所述之完整功能開發，並且將 Analyzer Server 子系統植入 Intel® EP80579 開發平台進行功能測試，圖 9 為 Analyzer Server 系統平台。



圖 9 Analyzer Server 子系統平台

5.2 IPTV 頻寬估計情境說明

透過圖 10 IPTV 影音傳送流程圖來說明用戶端觀看 IPTV 影音的情境。首先，用戶端會依序送出 RTSP DESCRIBE、SETUP 及 PLAY 等訊息給媒體伺服器(Media Server)，而媒體伺服器會依序回覆 200 OK 訊息給用戶端表示收到 RTSP DESCRIBE、SETUP 及 PLAY 等訊息；接著用戶端送出 IGMP Join 訊息給 Internet 中的鄰接路由器，告知欲加入的群播群組位址；接著媒體伺服器開始傳送 IPTV 影音串流，此時用戶端便能開始觀賞 IPTV 影音服務。當用戶端關閉 IPTV 影音服務時，會送出 RTSP TEARDOWN 訊息給媒體伺服器，而媒體伺服器回覆 200 OK 訊息表示收到此訊息；最後，用戶端送出 IGMP Leave 給鄰接路由器，告知欲離開的群播

群組位址。

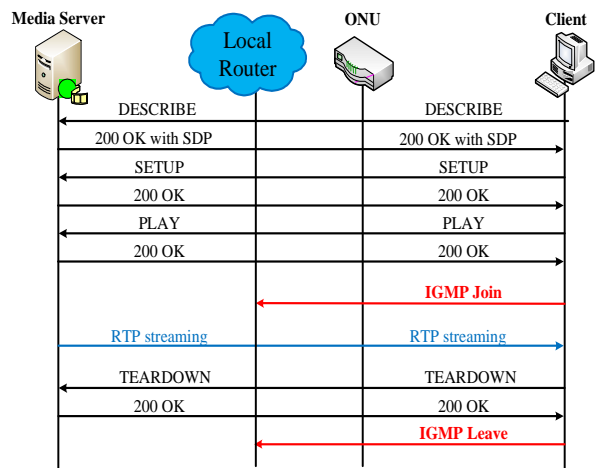


圖 10 IPTV 影音傳送流程圖

5.3 頻寬估計與功能驗證

本論文的 IPTV 頻寬估計系統會藉由網頁來呈現由 Analyzer Server 儲存到資料庫的資訊。由圖 11 可清楚得知目前在此環境下共有三位使用者正在使用 IPTV 服務，其 IP 末碼分別為 173、176 和 179。另外，會依序顯示各個使用者所加入的群播群組位址、IPTV 服務狀態、位於那個 ONU 底下和所需的下行頻寬需求等資訊。在此例中，串流影像皆是用 H.264 來進行影像編碼，經由第 3 章所提的頻寬推算方式，推算所得下行頻寬皆為 2385 kbps。

IPTV(RTSP-Multicast) 頻寬訊息

流水號	ONU_MAC	群組	MediaServer	Client	狀態	上行頻寬(Kbps)	下行頻寬(Kbps)
1	00:15:66:00:03:8c	234.2.3.4	140.123.110.178	140.123.110.173	PLAY	0	2385
2	00:15:66:00:03:8a	234.2.3.4	140.123.110.178	140.123.110.176	PLAY	0	2385
3	00:15:66:00:03:8c	234.2.3.5	140.123.110.178	140.123.110.179	PLAY	0	2385

圖 11 IPTV 影音服務資訊

另外，IPTV 頻寬估計系統會統整 IPTV 影音服務資訊以及 IGMP 成員名單，如圖 12 所示。如此便能清楚知道目前在 GPON 環境下，共存在兩組群播群組位址的串流以及分別位於哪些 ONU 下有多少使用者加入此群播位址接收 IPTV 影音串流，並且以群播群組位址為單位，計算在此 GPON 環境下共需要多少頻寬來保證滿足 IPTV 影音服務。

ONU Multicast 下行頻寬資訊

MulticastGroup	ONU_MAC	下行之頻寬
234.2.3.4	00:15:66:00:03:8c 00:15:66:00:03:8a	2385
234.2.3.5	00:15:66:00:03:8c	2385

圖 12 IPTV 估計頻寬總表

6. 結論

本論文以 GPON 服務品質保證為主題，設計與實作以 IPTV 影音服務為導向的會談動態頻寬估計與分配之機制。本論文完成 IPTV 頻寬估計系統雛形與利用 Intel® EP80579 嵌入式開發平台實現 Analyzer Server 子系統，並且完成系統功能性測試；最後，此 IPTV 頻寬估計結果可以作為應用服務動態頻寬保證之重要參考依據。除此之外，在系統資源有限的情況下，如何進行系統效能最佳化或是系統負載測試，以因應更複雜的網路環境，將會是未來可以繼續研究的方向。

參考文獻

- [1] H-K. Su, C-S. Wu and K.-J. Chen, "Session classification for traffic aggregation," IEEE International Conference on Communications 2004 (ICC 2004), June 23, 2004.
- [2] H. Sengar, D. Wijesekera, H. Wang, S. Jajodia, "VoIP intrusion detection through interacting protocol State Machines," International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN 2006), pp. 393-402, 25-28 June 2006.
- [3] J. Jiang, M.R. Handley and J.M. Senior, "Dynamic bandwidth assignment MAC protocol for differentiated services over GPON," Electronics Letters, vol. 42, no. 11, pp. 653-655, 25 May, 2006.
- [4] C.-H. Chang, P. Kourtessis and J.M. Senior, "GPON service level agreement based dynamic bandwidth assignment protocol," Electronics Letters, vol. 42, no. 20, pp. 1173-1174, 28 September, 2006. R. Nicole, "Title of paper with only first word capitalized," J. Name Stand. Abbrev., in press.
- [5] Y. Liu, G. Zhang and Q. Li, "An improved dynamic bandwidth allocation algorithm for GPON," Symposium on Photonics and Optoelectronics 2009 (SOPO 2009), pp.1-4, 14-16 Aug., 2009. M. Young, The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [6] Y. Liu, G. Zhang and Q. Li, "A bandwidth allocation algorithm for reducing the average delay in GPON," 2010 2nd International Conference on Future Computer and Communication (ICFCC), vol. 1, pp. 600-603, 21-24 May, 2010. M. Young, The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [7] B. Skubic, J. Chen, J. Ahmed, L. Wosinska and B. Mukherjee, "A comparison of dynamic bandwidth allocation for EPON, GPON, and next-generation TDM PON," IEEE Communications Magazine, vol. 47, no. 3, pp. S40-S48, March 2009.
- [8] I. Cale, A. Salihovic and M. Ivekovic, "Gigabit Passive Optical Network - GPON," 2007 29th International Conference on Information Technology Interfaces (ITI 2007), pp. 679-684, 25-28 June, 2007.
- [9] S. E. Deering, "Multicast routing in internetworks and extended LANs," in Symposium proceedings on Communications architectures and protocols Stanford, California, United States: ACM, 1988.
- [10] W. Fenner, "Internet group management protocol, version 2", Network Working Group, RFC2236, IETF, November 1997.
- [11] H. Schulzrinne, U. Columbia, A. Rao and R. Laphier "Real time streaming protocol", Network Working Group, RFC2326, IETF, April 1998.