

# HORNET 存取協定之效能研究

## The Performance Study of CSMA/CA of HORNET

宋相頌 黃文祥

Shiang-Sung Sung and Wen-Shyang Hwang  
國立高雄應用科技大學電機工程學系

Department of Electrical Engineering,  
National Kaohsiung University of Applied Sciences, Kaohsiung, ROC

### 摘要

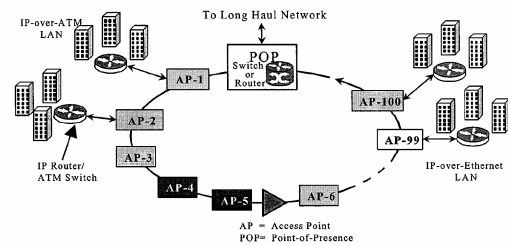
近年來網際網路的頻寬需求以指數性地快速成長且資料流量呈暴增 (Burst) 特性, 這特性對於適合定量傳輸的 SONET 網路而言, 造成頻寬未能充分被利用進而使其效能降低; 因而在都會區域網路 (Metropolitan Area Network, MAN), IP 封包已趨向於直接傳輸在分波多路 (WDM) 的網路上, 以取代傳統的 SONET 傳輸模式。史丹佛大學的光纖通信研究實驗室 (Optical Communications Research Laboratory at Stanford University) 和 Sprint Advanced Technology Laboratories 近年來依這個需求提出了 HORNET (Hybrid Optoelectronic Ring Network) [1-4], 其採用了能避免衝突的載波感測多重存取協定 (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance; CSMA/CA), 然而其相關文獻中的模擬對通道的利用率以固定值為之, 因而有較大的誤差值存在。本文採用一個更接近實際的系統模擬模式, 探討該存取協定的效能表現。

### I. 前言

在都會區域網路中, 要將節點 (Node) 連結到光纖環狀網路上 (Optical ring network), 目前大多採用 SONET 網路來傳輸 IP 封包 (Packet)。這意味著在每個來源端和每個目的地端之間皆需要建立一條固定的連線。但都會區域網路中的資料流量卻是呈現爆炸 (Burst) 特性, 而這也意味著 SONET 網路是沒有效率, 且利用率很低。HORNET 是由史丹佛大學的光纖通信研究實驗室和 Sprint Advanced Technology Laboratories 所發展出來的網路架構, 用來解決都會區域網路上利用 SONET 網路來傳送封包的問題[2]。HORNET 是使用封包交換 (Packet switch) 的機制來傳送資料, 如此可以改善在都會區域網路上流量成爆炸特性的問題。在網路上相較於需要在每個來源端和每個目的地端之間維護一條固定連線的方式 (SONET 網路), HORNET 則使用具有避免衝突的載波感測多重存取機制 (CSMA/CA) 來存取封包[5][6], 且在每一條可用的通道上不需要再一次封裝 (Unframed)。

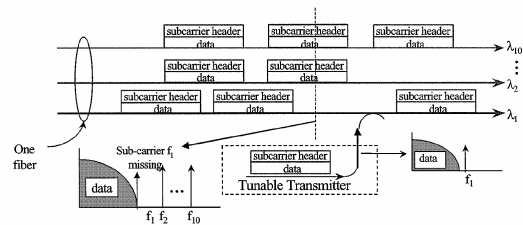
具有避免衝突的載波感測多重存取機制其運

作原理是在封包傳送前先送出一個載波訊號 (Sub-carrier), 這種方式能將網路上的頻寬利用率提高, 如此在傳輸時將更有效率 [1]。圖一是一 HORNET 的網路實體拓撲, 使用於 IP over WDM 的環狀網路上[3]。其中 AP (Access Point) 將區域網路 (Local Area Network, LAN) 或校園網路 (Campus area network) 連接上都會區域網路; 而 POP (Point of Presence) 則將都會區域網路連接到廣域網路上 (Wide Area Network, WAN)。



圖一、HORNET 實體拓撲

圖二顯示了HORNET所使用具有避免衝突的載波感測多重存取機制[3]。AP利用偵測網路上載波訊號的有無, 來判斷通道 (Channel) 上是否有封包。若發現通道上沒有載波訊號的存在, 即表示通道是空間可得的, 就可以將封包傳送到網路上。



圖二、HORNET的MAC協定(CSMA/CA)

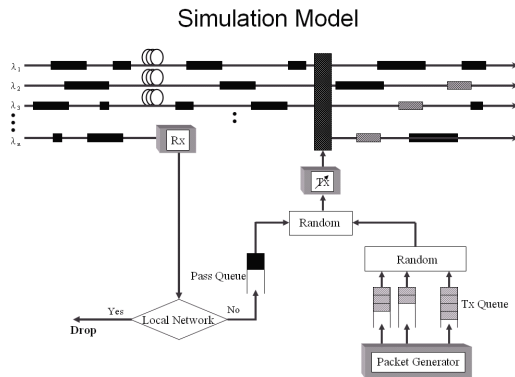
以下為HORNET 網路架構的特點:

- 1) IP over WDM。
- 2) 採用環狀網路拓撲。
- 3) 採用一個可快速調變的傳送器 (DBR-LD)。

- 4) 每個AP只能固定由一個通道擷取 (Drop) 封包 (一個固定式的接收器)。
- 5) 若AP數比通道數還多的話, 則需要多個AP共用一個通道。
- 6) 每個AP能傳送封包到任何一個空的通道上 (利用避免衝突的載波感測多重存取技術來決定)。
- 7) 在可擷取的通道上若有封包到達, 則AP一定要擷取封包, 然後決定封包是要繞送 (route) 到區域網路或再次傳回通道上。

## II. 模擬模式與程序

在 HORNET 的文章中已顯示了模擬的結果, 在這些結果中顯示出 HORNET 的架構有很好的表現 [1][2], 但若仔細觀察可以發現其模擬時的通道利用率 (通道上所有封包的總長度占通道總長度的百分比) 卻是固定的, 該文獻將所有通道上的封包由一個獨立的流量產生器負責, 在 AP 的封包抵達部份則由另一獨立的產生器負責。在這種架構下, 當 AP 在同樣時間內所傳送到通道上的封包量增加時, 並無法在通道上反映出來, 也就是說當 AP 傳送的封包數增加時, 通道上的封包總數並沒增加 (因為其通道利用率為定值)。因而本文提出一個更接近實際的模擬模式(Model), 以探討 HORNET 的實際效能表現。



圖三、模擬模式 (AP)

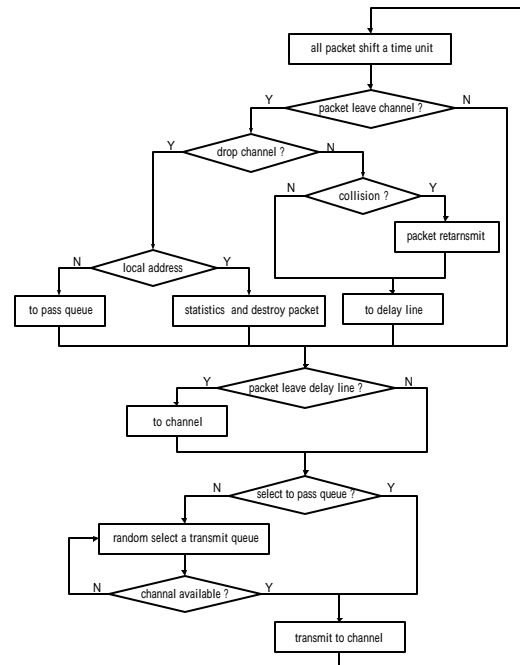
### A. 模擬模式 (Simulation model)

HORNET 的模擬模式顯示在圖三。其中除了可以擷取的通道外, 每一個通道上皆會有一個很短的延遲線路 (delay line), 如此 AP 才會有足夠的時間判斷通道是否為空閒, 並把傳送器調變到適當的通道上以便傳送封包。在可以擷取的通道上則包含了一個固定式的接收器, 固定從某一通道上把到達的封包擷取到 AP 內, 然後判斷此封包的目的地是否為自己。AP 上還需有一個可調變的

傳送器, 可以把轉送佇列 (pass queue) 或傳送佇列 (transmit queue) 內的封包傳送到任一通道上。而封包產生器每經過一不固定的時間後會產生一個新的封包, 此封包會依據其目的地被放到適當的傳送佇列內。而在佇列的選擇上本文採用隨機策略。

### B. 模擬程序

圖四為模擬程序的流程圖, 在本文提出的模擬模式上每一個模擬的封包皆會有一個來源位址、目的地位址、及封包產生的時間。每過一個時間單位, 網路上所有的封包都往前推動一個單位。當封包要離開通道時, 先判斷封包所在的通道是否為可擷取的通道。若是, AP 就必須先將封包從通道上擷取下來, 然後比對它的目的地位址。如果目的地位址就是自己, 那就紀錄這個封包的傳輸時間 (封包產生到目的地接收時的時間差), 然後將它丟棄; 如果擷取的封包, 其目的地位址不是自己, 那就堆疊到轉送佇列中。如果封包所在的通道不是可以擷取的通道, 此時先判斷封包會不會和傳送器所傳送的封包碰撞, 若會, 就停止傳送封包, 並將封包丟回傳送佇列等待重傳, 然後將通道上封包轉移到延遲線路上。若有封包要離開延遲線路, 直接將封包轉移到通道上即可。



圖四、模擬程序流程圖

封包產生時會隨機選擇一個目的地位址 (自己除外), 並堆疊到對應的傳送佇列內 (傳送佇列

的數目等於通道的數目)。由於傳送器只有一個，因此先從轉送佇列和傳送佇列中隨機二選一。若選擇到轉送佇列，就直接將轉送佇列內的封包傳送到通道上即可。若選擇到傳送佇列，需從有封包的傳送佇列中隨機選擇一個，並偵測對應的通道是否可供傳送 (add)。若通道為空的，那就將封包傳送到通道上；若通道不可得，再從其它有封包的傳送佇列中隨機選擇一個來傳送。

### III. 模擬結果

本文採用 CACI SIMSCRIPT II.5 語言來製作這個程式，下表是模擬所使用的相關參數：

AP number	3 or 9 or 15
Channel number	3
Channel rate	OC-192 (10G bps)
Ring length	60 or 180 or 300 km
Average IP packet size	512 bytes
Delay line length	32 ns
AP to AP distance	20 km

表一、模擬參數

圖五是其平均佇列長度的結果。其中橫軸為 Offer load，表示產生器產生封包的時間佔所有時間 (為產生器動作時間及閒置時間之和) 的比例，如下式所示

$$= \frac{\text{average packet length}}{\text{interarrival time} + \text{average packet length}} \times 100\%$$

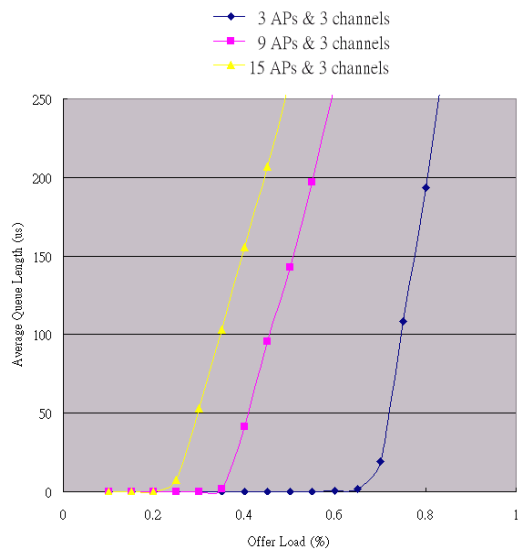
當 inter-arrival time 為 0，表示產生器不間斷的一直產生封包。縱軸表示傳送佇列的平均長度。圖六為平均一個 AP 的輸出量 (throughput) 可以發現當共享同一通道的 AP 數若越多，每一 AP 的輸出量會減少，但所有 AP 的輸出量總合卻會增加。比較兩圖可發現，當通道數等於 AP 數時，網路會有最好的表現，橫軸約為 0.7 時網路開始達到飽和，此時傳送佇列內的封包開始暴增，而飽和時的輸出量約為 7G bps；由於現在的科技越來越進步，一條光纖內的通道數也越來越多，因此一個 AP 配置一個通道將是可行的。

當一個通道上共用的 AP 數增多時，可看出其轉折點皆往前移；每個通道上有 3 個 AP 時轉折點在 0.35 和 0.4 之間，每個通道上有 5 個 AP 時轉折點在 0.25 和 0.3 之間。雖然多個 AP 共用一個通道會使網路提早飽和，但每個通道的整體輸出量卻會增加；一個通道上有 3 個 AP 時，每個 AP 的輸出量可到達 4G bps，而平均每個通道的整體輸出量可高達 12G bps；若一個通道上有 5 個 AP 時，

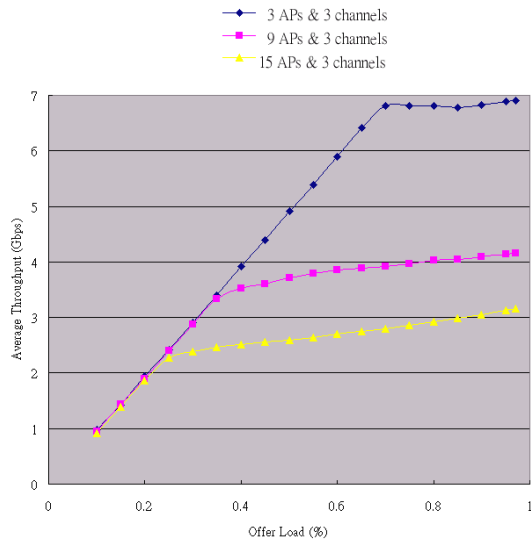
每個 AP 的輸出量可到達 3G bps，而平均每個通道的整體輸出量可高達 15G bps，這兩者皆高於 10G bps。

### IV. 結果與討論

由史丹佛大學光纖通信研究實驗室所提出來的 HORNET 都會區域網路網路，取代了傳統 SONET 傳輸模式，使得具暴增性的 IP 資料流可以直接在分波多路傳輸的網路上傳輸，但由於其使用的模擬模式採固定式的通道利用率，與實際的網路運作有很大的差距，因此本文提出一個更接近實際運作的模擬網路架構。結果顯示在不同的負載 (Offer Load) 下，傳送佇列及輸出量的變化情形。當一個通道上共用的 AP 數增加時頻寬會提早達到飽和，然而整體的輸出量卻會增加。



圖五、傳送佇列的平均長度



圖六、平均輸出量 (AP)

## 參考文獻

- [1] S. M. Gemelos, I. M. White, D. Wonglumsom, K. Shrikhande, T. Ono, and L. G. Kazovsky, "WDM Metropolitan Area Network Based on CSMA/CA Packet Switching," *IEEE Photonics Technology Letters*, November 1999.
- [2] K. Shrikhande, A. Srivatsa, I. M. White, M. S. Rogge, D. Wonglumsom, S. M. Gemelos, L. G. Kazovsky, "CSMA/CA MAC Protocols for IP-HORNET: An IP over WDM Metropolitan Area Ring Network," *GLOBECOM '00. IEEE*, 2000.
- [3] K. V. Shrikhande, I. M. White, D. Wonglumsom, S. M. Gemelos, M. S. Rogge, Y. Fukashiro, M. Avenarius, L. G. Kazovsky, "HORNET: A Packet-over-WDM Multiple Access Metropolitan Area Ring Network," *IEEE Journal*, Oct., 2000.
- [4] I. M. White, K. Shrikhande, M. S. Rogge, S. M. Gemelos, D. Wonglumsom, G. Desa, Y. Fukashiro, and L. G. Kazovsky, "Architecture and Protocols for HORNET: A Novel Packet-over-WDM Multiple-Access MAN," *GLOBECOM '00. IEEE*, 2000.
- [5] C. L. Lu, D. J. M. Sabido IX, P. Poggiolini, R. T. Hofmeister, and L. G. Kazovsky, "CORD—A WDMA optical network: Subcarrier-based signaling and control scheme," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 7, pp.555–557, May 1995.
- [6] S. F. Su and R. Olshansky, "Performance of multiple access WDM networks with subcarrier multiplexed control channels," *J. Lightwave Technol.*, vol. 11, pp. 1028–1033, May/June 1993.