

以分散式 Tracker 為基礎之 P2P 傳輸區域化機制

李昭賢¹ 童曉儒² 林佳彥²¹ 國立台北科技大學電子工程系² 國立屏東科技大學資訊管理系

Correspondence: strong@mail.npust.edu.tw

摘要

同儕式(Peer-to-Peer, P2P)網路服務架構在建構時並未考量 Peer 間實體網路位置之相對關係,故在分享資源時會造成橫跨不同 ISP 網域的資料交換,產生所謂的 Inter-ISP Traffic。因此,本研究提出一個 P2P 傳輸區域化機制(P2P Traffic Localization Mechanism),利用分散式 Tracker (Distributed Tracker),優先尋找相同 ISP 網域的 Peer 作為資料分享對象,以減少 Inter-ISP Traffic,一旦相同 ISP 網域內並無可分享之資料,則可透過本研究設計之三個 Hashing Function 找出分散於不同 ISP 網域且實體網路位置最接近的 Peer 作為資料分享對象,維持資料分享之特性。經模擬實驗證實本研究設計之機制,不論在靜態網路與動態網路環境中,皆可有效降低 Inter-ISP Traffic。

關鍵詞: 同儕式網路(P2P Network)、重疊網路(Overlay Network)、Inter-ISP Traffic、流量區域化(Traffic Localization)、Distributed Tracker

1. 前言

近年快速成長且使用廣泛的傳輸架構莫過同儕式網路架構(Peer-to-Peer, 簡稱 P2P)[1][2]。在 P2P 網路中每一個 Peer 可因擁有共同興趣或資源,進而形成一個虛構的群組,採取互助方式分享彼此網路頻寬、儲存空間與運算能力,互相連結之結果將構成一個重疊網路(Overlay Network),換言之,在應用層(Application Layer)上形成一個不同於底層實體網路之網路拓模(Topology)。

由於底層實體網路是由不同 Internet Service Provider (ISP)業者提供各網域的網路服務,不同 ISP 之間的網路頻寬有限且費用昂貴,而目前 P2P 網路組成不考慮實體網路位置之特性,將造成大量且快速產生 Inter-ISP Traffic,已成為各 ISP 業者極為頭痛之問題[1][3],故不少 ISP 業者皆開始阻擋 P2P 網路服務之流量,以確保其他網路服務之傳輸品質。如圖 1 所示,在重疊網路(Overlay Network)中 Peer 2 與 Peer 3 是鄰近的兩個 Peer,但是在實體網路中 Peer 2 隸屬於 ISP A 網域、Peer 3 則隸屬於 ISP B 網域,兩個不同網域的 Peer 進行資料傳輸會導致 P2P 網路系統產生 Inter-ISP Traffic。

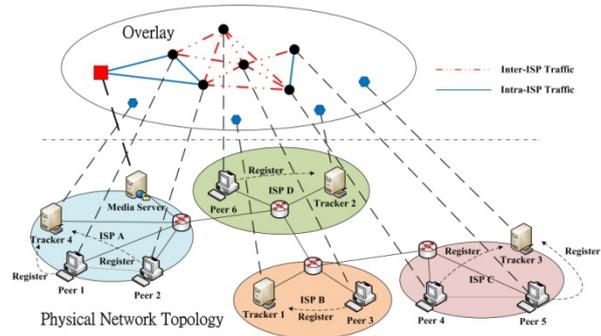


圖 1 實體網路拓模與 Overlay Network 拓模

本研究為達成減少 P2P 網路中 Inter-ISP Traffic 之目的,以傳統 BT 檔案分享服務與 PPSP[4]多媒體串流服務之 P2P 架構為基礎,提出一個 Tracker Layer 的 Protocol,讓 Tracker 能彼此交換所擁有的 Routing Information,提供 Peer 查詢網路中哪些 Peer 擁有想要的資料,並制定三個 Hashing Function 用來找出這些 Peer 實體網路位置距離最接近的 Peer 作為資料交換的對象,達到實體網路位置以及重疊網路(Overlay Network)彼此能相互契合之結果,更能對 Peer 進行分群管理。

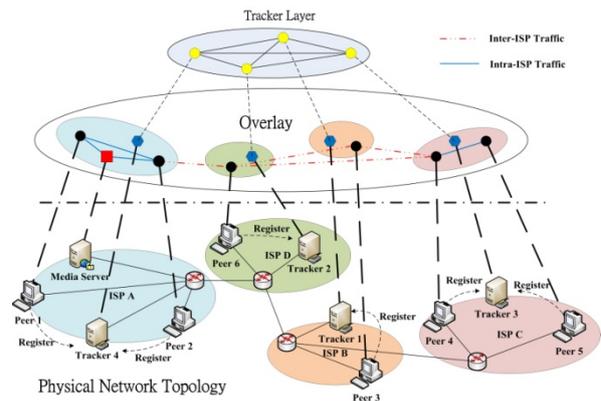


圖 2 考量實體網路拓模的區域化傳輸架構圖

如圖 2 所示,假設 ISP A 網域中 Peer 1 擁有 Peer 2 所需之資料片段,則優先選擇 Peer 1 作為連線之目標,藉此減少 Inter-ISP Traffic;若 Peer 1 無 Peer 2 所需之資料片段,則向實體網路距離 Peer 2 最近且擁有所需的資料之 Peer 6 進行資料交換,藉此將 Inter-ISP Traffic 影響範圍縮減至最少。

2. 文獻探討

為達成降低 Inter-ISP Traffic，並提供高效率的查詢(Query)機制，以提升整體的資料分享效率。本章節將針對目前不同 P2P 網路架構中所採用的(1)資料查詢解決方法(Data Query Approach)與(2) Inter-ISP Traffic 改善方法逐一探討。

2.1 資料查詢解決方法

目前 P2P 網路的架構主要分為(1)非結構化(Unstructured)與(2)結構化(Structured)兩種，分別有其代表性的查詢演算法。以下分別針對結構化 P2P 網路與非結構化 P2P 網路中所採用的資料查詢(Data Query)演算法進行探討。

2.1.1 非結構化 P2P 網路查詢演算法

非結構化 P2P 查詢演算法其主要的優點在於資料可保持完全分散式存在，典型的演算法有洪流法(Flooding)[5]、Gossip[6]兩種。Flooding 的優點是資料可保持完全分散式存在，缺點是會有資料重複接收與在相同傳送區域中資料會發生訊息重複傳送的情況，導致頻寬浪費且會產生碰撞(Congestion)。另一方面，Gossip 則採用隨機(Random)尋找數個相連之 Peer 作為傳遞查詢資訊的對象，因此可以降低訊息重複接收與重複傳送的情況，收到查詢資訊的 Peer 再以隨機(Random)的方式尋找數個相連之 Peer 把查詢資訊傳遞出去，直到找到為止，而找到的資訊會延著查詢路徑回傳。其優點是當網路中某些 Peer 失效時，資料仍可透過其他路徑找到，缺點是無法準確地定位搜尋目標的所在。

2.1.2 結構化 P2P 網路查詢演算法

結構化 P2P 網路查詢演算法具有高查詢效率之特性[7]，其中以 Distributed Hash Table (DHT)為基礎的相關研究最多，典型的演算法如 Chord[8]、Pastry[9]等，其中 Pastry 為一種將 Peer 彼此之間實體網路位置納入 P2P 網路組成條件之 DHT 搜尋演算法，採用 Prefix-based Routing Protocol 為查詢演算法之核心，組成之重疊網路架構也是環狀(Ring)，每個 Peer 各自儲存一份路由表，由(1) Leaf Set、(2) Routing Table 以及(3) Neighborhood Set 三個部分所組成。當一個 Peer 要索取特定資源時，會先比對 Leaf Set 中任何一筆項目，若有相同者就直接連結該 Peer；假設比對後 Leaf Set 沒有相同的項目，則查詢 Routing Table 中 Prefix 相同位數最多的項目，並對此項目發出查詢訊息。而 Neighborhood Set 不使用在查詢上，而是用在當 Leaf Set 或 Routing Table 之中有 Peer 失效時，提供替代的節點，因此 Neighborhood Set 主要的用途是可改善查詢效能。

2.2 Inter-ISP Traffic 改善方法

過去 P2P 技術不考慮 Peer 之間位於底層實體網路之位置遠近，容易造成大量的 Inter-ISP

Traffic。近年來，學者們多著重研究如何讓 P2P 技術能夠有智慧地選取分享資源的對象，避免 Inter-ISP Traffic。

Simplicio 等人針對 BitTorrent 環境提出了一種階層式目錄伺服器架構(Hierarchical Trackers)來解決傳統 P2P 網路缺乏區域性知覺(Locality Awareness)能力[10]，進而資源運用效率不佳的問題。然而，此方法並無針對 Tracker 的選取方式做明確的定義，因此在選取 Tracker 的過程中，可能會選到不同 ISP 底下的 Tracker，而造成 Inter-ISP Traffic 增加，除此之外，此方法中 Tracker 形成一 Tree-based 架構，只要 Root Tracker 發生故障，整個查詢功用便宣告失效。

IETF 於 2009 年所提出的 P2P Streaming 規範[4]，文件中提出了將 Tracker 與 Peer 做區隔，在 Tracker 與 Tracker 之間透過 Tracker Protocol 通訊，Peer 與 Peer 之間的通訊則透過 Peer Protocol 負責管理，所有 Tracker 組成一個 Tracker Overlay 架構。但文件之中僅提出定義與概念，並未提供實際之解決方案。

有部分學者進行了 PPSP 相似的網路架構相關研究，Chiang [11]等人根據 Mobile P2P 提出 HA Tracker 機制，平常網路中只有一個 Tracker 提供服務，其它的 Tracker 則處於待命狀態，當前運作的 Tracker 會提供一份當前網路 Peer 的資料給其他待命中的 Tracker，一旦目前提供服務的 Tracker 失效時，其他備用的 Tracker 會立刻啟動並繼續提供服務，此機制增加 Mobile P2P 網路中資源分享的效率，但平常仍只有單一 Tracker 提供服務，其他的 Tracker 只提供備份之功能。

另外，有人提出 Multi-Tracker 的概念[12]，將 Tracker 數量增加到數台，每個 torrent 負責記錄這些 Tracker 的 URL，並儲存在一份 Tracker List 中，同一份 Tracker List 中的 Tracker 會彼此交換資訊。假設 Peer 向某一 Tracker 索取特定 Swarm 時，若該 Tracker 無法提供此 Swarm，則 Peer 會向 torrent 中其他的 Tracker 索取，直到找到為止，但是 Tracker 之間並不會共享其擁有之索引資訊。

亦有學者提出 P4P 協議[13]，在網域中設立一個 iTracker，根據 P2P 網路中資料分享的統計數據來找出冷門的資源，並複製一份儲存到 iTracker 中，以提升 P2P 網路的資源分享效率。此方法的優點在於可提升整體 P2P 分享服務的品質，缺點是 iTracker 必須耗費大量的暫存資源，並且 iTracker 初期擁有的資源較少，必須隨著時間的增加才能改善傳輸效率。一旦區域內 iTracker 缺乏 Peer 所要的資源，仍要依靠最上層的 appTracker 提供資源，如此一來便存在著 Centralized Structure 容易形成 Bottleneck 的缺點。

2.3 小結

過去研究顯示，資料查詢方除了 Pastry 之外，其他方法大多都不具有區域感知的特性，容易產生重

疊網路與實體網路位置不對應之問題；針對 Inter-ISP Traffic 的問題，目前已有相關研究從 Tracker 層面進行改進，分別提出 Multiple Trackers 之解決方案，但 Tracker 之間不會彼此分享各自擁有的資訊，資料搜尋範圍容易受到限制。

為了讓資料查詢具有高效率之特點，並且使 P2P 網路組成與實體網路拓撲能相互契合，本研究參考 Pastry 演算法，並提出分散式 Tracker (Distributed Tracker)之概念，制定一個具備區域感知特性的 Tracker Layer Protocol，讓各 Tracker 能彼此分享擁有之資訊，擴大資料搜尋範圍，降低整體網路的 Inter-ISP Traffic。

3. 系統設計

在 Peer 所組成之重疊網路中，每一 Peer 皆具有唯一識別碼，稱為 Peer ID。除此之外，本研究同時建構由分散式 Tracker (Distributed Tracker)所組成的重疊網路，故不同於以往 P2P 重疊網路中僅存在單一集中式 Tracker (Centralized Tracker)，在本研究中每一 Tracker 亦需要唯一辨識碼，定義為 Tracker ID。此外為考量底層網路拓撲情形，在本研究中每一 Peer 與 Tracker 的唯一識別碼(即 Peer ID 與 Tracker ID)將採取相同格式，皆以 IP Address 作為唯一識別碼，以確保唯一性。關於如何解決 Peer 或 Tracker 位於 NAT 網路之問題，則超出本研究討論之範圍。

本研究將應用 Tracker 端達成兩大目標：(1)串連 Tracker，以擴大服務範圍、(2)有效減少 Inter-ISP Traffic，因此，本研究應用 DHT 結構連接 Tracker 形成重疊網路，此一機制稱為 Closest-First Distributed Tracker (CFD-Tracker)，參考圖 3，本研究將所有 Tracker 區分成兩類：(1) Swarm Tracker (2) Connection Tracker，其功能分述如下：

■ Swarm Tracker

負責保存某一 Swarm 分享狀態的 Tracker。不論 Swarm 如何散佈於 P2P 重疊網路中，每一 Swarm 在本研究架構中將透過 DHT 結構決定出唯一之 Swarm Tracker，主要負責記錄該 Swarm 之分布與共享狀態。如圖 3 所示，Tracker_Two 就負責 Swarm_b 之分布與共享狀態。

■ Connection Tracker

負責記錄與管理網域內 Peer 的狀態，包含：Peer 的連線位址(IP Address 與 Port Number)、可分享之 Swarm 片段資訊...等。在本研究提出之系統架構中，Connection Tracker 負責之網域等同於其所在之 ISP 網域，故 Connection Tracker 僅允許其負責網域內的 Peer 連線，若屬於不同網域(即不同 ISP)的 Peer 登入要求連線，則 Connection Tracker 會主動透過 DHT 結構查詢距離該 Peer 最接近之 Connection Tracker，最後讓該 Peer 連線至最適當之 Connection Tracker。如圖 3 所示，Peer A 加入

時，根據 Peer A 之連線位置決定 Tracker_Two 為 Peer A 之 Connection Tracker。

雖然本研究將 Tracker 角色分成 Swarm Tracker 與 Connection Tracker，但不限制單一 Tracker 僅能為 Swarm Tracker 或 Connection Tracker。

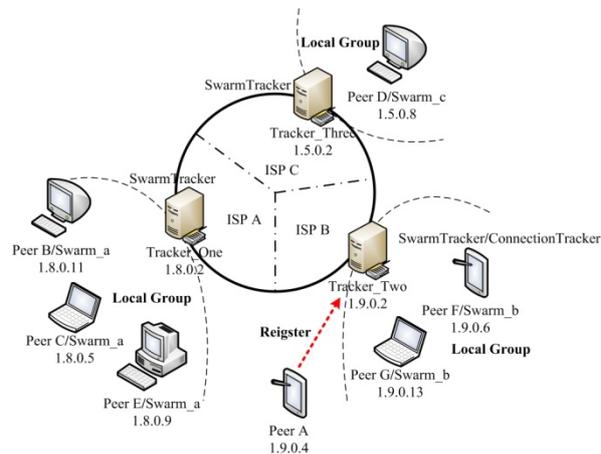


圖 3 系統架構圖

CFD-Tracker 參考 Pastry 演算法，每一 Tracker 皆會保存一部分之 Routing Table，負責記錄與自身互相連結的 Tracker 資訊，原先 Pastry 演算法中的 Neighborhood Set 以及 Leaf Set，本研究則不考慮。因此，假設今天一 Requested Peer 欲向 Tracker ID 為 13701506 之 Tracker 查詢 Swarm ID 為 Video_Two 之影片資料，則可根據 Longest Prefix Matching 之原則找出 Tracker ID 為 17367042 之 Tracker 為實際網路距離最近且負責管理 Video_Two 影片資料之 Swarm Tracker，故 Requested Peer 會取得此 Swarm Tracker 之 Peer List，並與 Peer List 中所有 Peer 進行資料交換。

本研究中定義了三個 Hashing Function，分別在不同情況下，負責計算 Tracker ID 比對之結果，整體運作流程如圖 7 所示，三個 Hashing Function 的說明如下：

■ Hash₁()

根據輸入之 IP Address 檢索出實體網路距離最鄰近的 Tracker，之後欲加入 P2P 網路之 Peer 都採用相同的方式找出適合的 Connection Tracker，如此一來相同網域下的 Peer 都會與同一 Tracker 註冊，達到分群管理之目的。

■ Hash₂()

Connection Tracker 若無法提供 Peer 查詢之 Swarm 相關服務時，則必須透過跨網域搜尋以找到此 Swarm 相關的資料，故本研究以 SHA-1 演算法為基礎設計了 Hash₂()，根據輸入的 Swarm ID 檢索出負責的 Swarm Tracker。

■ Hash₃()

此 Hashing Function 可分成 Two-level，首先執行 Hash₂() 找出負責之 Swarm Tracker，再由發出請求之 Peer 向 Swarm Tracker 取得其 Peer 列表(Peer List)；其次，類似 Hash₁()，在前一次 Hash₂() 取得之 Swarm Tracker 列表中檢索最接近指定 IP Address 的 Closest Tracker，此 Tracker 即為距離鄰近且具有指定 Swarm 資源的 Swarm Tracker。

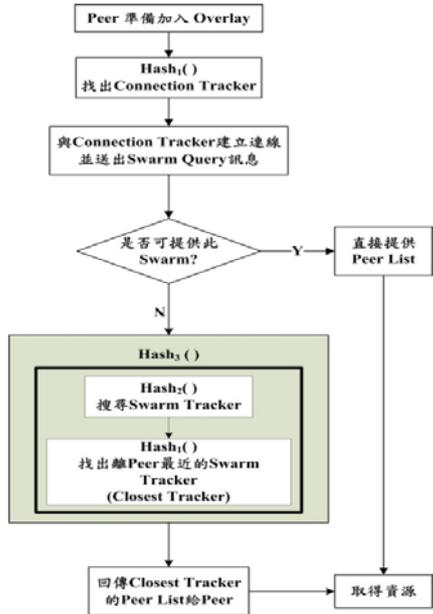


圖 4 三個 Hash Function 關係流程圖

當某一 Peer 希望加入 P2P 重疊網路以取得所需資源時，則可以透過 Peer Connection 流程連線至 P2P 重疊網路。圖 5 為本研究提出之 Peer Connection 運作流程。詳細步驟分述如下：

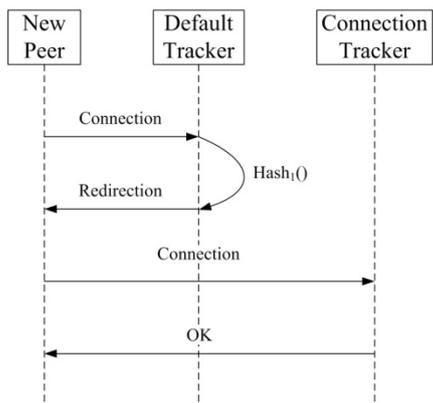


圖 5 Operation Procedure of Peer Connection

- (1) 假設 Peer 是第一次加入，傳送 Connection 訊息至預設之 Tracker。
- (2) 預設 Tracker 收到 Connection 訊息後，比對 Peer ID 與其負責之網域 Prefix 是否相符，若符合則可直接回覆 OK 訊息，代表已連線成功；若不

符合，則預設 Tracker 將透過 Hash₁() 找出最接近之 Tracker。

- (3) 一旦透過 DHT 結構確認最接近之 Tracker，則預設 Tracker 將回覆 Redirection 訊息，該訊息將指定 Peer 應該連線之 Connection Tracker。
- (4) 當 Peer 收到從預設 Tracker 傳送之 Redirection 訊息後，將依照訊息指定，重新傳送 Connection 訊息至指定之 Connection Tracker。
- (5) 如同步驟(2)一般，Connection Tracker 收到 Connection 訊息後，比對 Peer ID 與其負責之網域 Prefix 是否相符，由於是透過 Hash₁() 決定之結果，故 Connection Tracker 將回覆 OK 訊息，以確認該 Peer 連線成功。

當某一 Peer 欲離開 P2P 重疊網路，且不再希望取得或提供資料時，則可透過 Peer Disconnection 流程切斷與 P2P 重疊網路之連線。圖 6 為本研究提出之 Peer Disconnection 運作流程。詳細步驟分述如下：

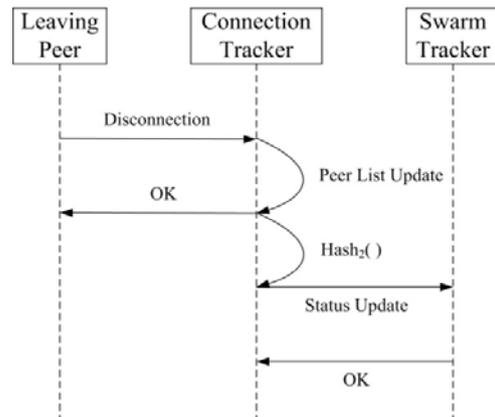


圖 6 Operation Procedure of Peer Disconnection

- (1) 欲離開 P2P 重疊網路的 Peer 向 Connection Tracker 送出 Disconnection 訊息。
- (2) Connection Tracker 收到 Disconnection 訊息後，會刪除此 Peer 的相關狀態，並且更新其 Peer 列表。
- (3) 狀態更新後，Connection Tracker 回覆 OK 訊息給 Peer，此時 Peer 即可自由離開。
- (4) 原本由該 Peer 分享之資源，若於區域群組內並無其他 Peer 可供分享，則 Connection Tracker 必須向對應之 Swarm Tracker 更新狀態，以避免未來檢索錯誤。在找到 Swarm Tracker 之後，向 Swarm Tracker 發出 Status Update 訊息。
- (5) 狀態更新後，Swarm Tracker 回應 OK 訊息給 Connection Tracker。

4. 模擬實驗

本研究以 OverSim [14]作為網路模擬實驗環境，並採用其延伸套件 Denacast [15]，模擬聯網電視(IPTV)服務。在本模擬實驗環境中，最多有 400 位左右的 Peer 可透過網路觀看一部 Video。模擬環境是由(1) Backbone Router 與(2) Access Router 所組成。本模擬環境假設一個 Access Router 即為一個 ISP 業者的服務範圍，故本實驗環境以 Access Router 為單位劃分成數個不同的 ISP 網域，Tracker 散佈於不同網域中，負責提供索引資訊協助 Peer 找尋 Swarm 所在。實驗環境中有一台 Media-Server，負責儲存並提供 Video。

本實驗以 Denacast 為基礎，修改並增加提案之 CFD Tracker 機制，並修改原本 Denacast 使其支援 Multi-Tracker 作為本次實驗的對照組，觀察這兩種機制分別在(1)靜態網路與(2)動態網路兩種環境中，對整體多媒體串流服務的傳送與分享效能所帶的影響。

4.1 靜態網路實驗

在靜態網路環境中，所有用戶隨時保持 online 的狀態，不會發生 Peer 進出 P2P 重疊網路頻繁之擾動(Churn)現象，在 700s 的模擬時間中，藉由調變 Total Peer Number、Tracker Number 兩個參數的值，觀察網路中用戶增加時系統的效能變化。靜態網路環境參數設定表 1 所示：

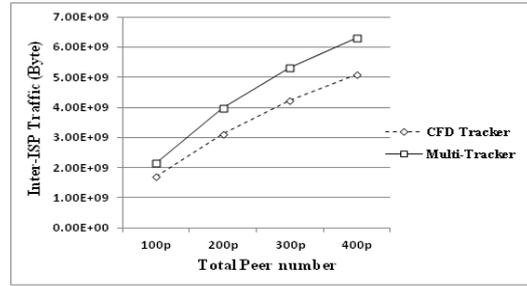
表 1、靜態網路實驗參數設定

| 參數名稱 | 靜態網路參數值 |
|------------------------|--------------------|
| Total Peer Number | 100, 200, 300, 400 |
| Access Router Number | 20 |
| Tracker Number | 3~9 |
| Simulation Time Period | 700s |

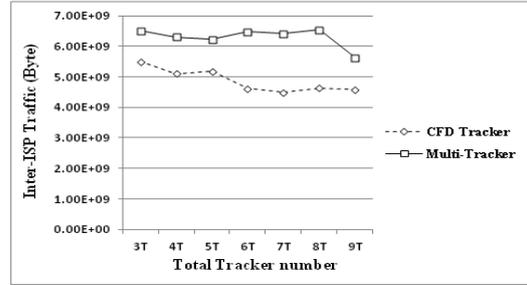
將 P2P 重疊網路中 Peer 的總數由 100 個逐漸增加到 400 個，以及將 Tracker 的總數由 3 台逐漸增加到 9 台，觀察參與影片分享的 Peer 總數、Tracker 總數逐漸上升時，Inter-ISP Traffic 的變化。從圖 7 的實驗結果可以發現，在靜態網路環境中，相較於 Multi-Tracker，CFD Tracker 能有效降低整體的 Inter-ISP Traffic。

4.2 動態網路實驗

在動態網路環境下，假設 Peer 在離線之前會先通知(Graceful Leave)，在 P2P 網路中發生 Churn 的機率視為一隨機事件，因此可用一些分配模型來解釋 Churn 的分布狀態，常見的模型有 Weibull Distribution(WD)、Pareto Distribution(PD)兩種[16]，在總模擬時間 600s 中，分析這兩種不同的 Churn Model 之 Inter-ISP Traffic 的變化，動態網路環境參數設定表 4-2 所示：



(a)Peer總數上升時Inter-ISP Traffic之變化



(b)Tracker總數上升時Inter-ISP Traffic之變化

圖 7 (a)調變 Peer 總數之 Inter-ISP Traffic 變化，(b)調變 Tracker 總數之 Inter-ISP Traffic 變化

表 2、動態網路實驗參數設定

| 參數名稱 | 動態網路參數值 |
|-----------------------|-------------------------|
| Total Peer Number | 400 |
| Access Router Number | 20 |
| Tracker Number | 4 |
| CDN-Server | 1 |
| Simulation Time | 600s |
| Lifetime of WD and PD | 200, 300, 400, 500, 600 |
| Deadtme of PD | 200, 300, 400, 500, 600 |
| k of WD | 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 |
| α of PD | 1.5, 2, 2.5, 3 |

4.2.1 Weibull Distribution (WD)

有部分學者認為，Churn 事件的分佈會隨著 Peer 在 P2P 重疊網路中平均存活時間的增加，而呈現 Weibull Distribution(WD)模式[16]，其機率分配函數 P.D.F.與 $E(X)$ 如下所示：

$$f(x; \lambda, k) = f(x) \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$E_w(x) = \lambda \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (2)$$

Γ 為 Gamma 函數，公式(2)可轉化為：

$$T_w = \lambda (-\ln U)^k \quad (3)$$

U 為一個服從均勻分配 uniform(0,1)的一個隨機變數，其值介於 0~1 之間。藉由調變公式(3)中的 k 值，分析當發生 Churn 頻率逐漸下降的情況下，P2P 系統的效能變化。從圖 8 的實驗結果看出，Multi-Tracker 明顯在 Inter-ISP Traffic 上高於 CFD

Tracker。

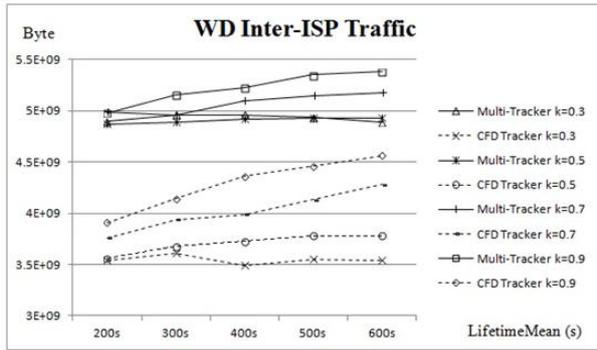


圖 8 WD Model Inter-ISP Traffic 變化

4.2.2 Pareto Distribution (PD)

有另一派學者則認為，隨著 Peer 在 P2P 重疊網路中平均存活時間的增加，Churn 的事件分佈會服從另一種機率分配模型，稱為 Pareto Distribution(PD)[16]，其 P.D.F. 與 $E(X)$ 如下所示：

$$f(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{\alpha\beta^\alpha}{x^{\alpha+1}}, & x \geq \beta \\ 0, & x < \beta \end{cases} \quad (4)$$

$$E_p(X) = \frac{\alpha\beta}{\alpha-1} \quad (5)$$

公式(5)可轉化為：

$$T_p = \frac{\beta}{U^{1/\alpha}} \quad (6)$$

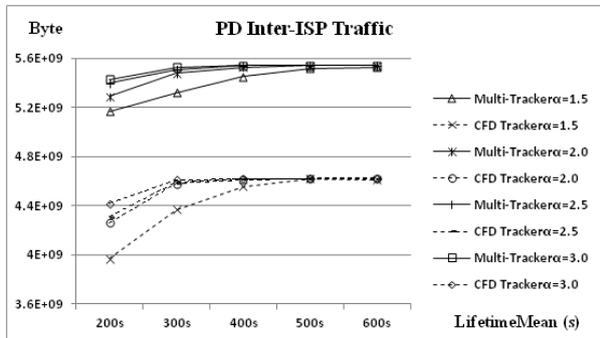


圖 9 PD Model Inter-ISP Traffic 變化

藉由調變公式(6)中的 α 值，分析在發生 Churn 的頻率逐漸降低的情況下，P2P 系統的效能變化。實驗結果如圖 9，當 Peer 平均存活時間上升時，代表 Churn 的發生頻率逐漸降低，Inter-ISP Traffic 會逐漸趨於穩定，此時可以看出 CFD Tracker 仍可有效降低整體的 Inter-ISP Traffic。

5. 結論

本研究根據 PPSP 與 BT 應用服務架構提出的 Distributed Tracker 概念，並設計 CFD Tracker 機制，其中結合三個 Hashing Functions，協助每個 Peer 找出實際距離最接近的 Peer 以取得所需之資源片段，以降低 Inter-ISP Traffic。依據網路模擬結果顯

示，不論在靜態或動態網路環境中，本研究所提出之 CFD Tracker，皆能有效降低 Inter-ISP Traffic，因此 CFD Tracker 對 ISP 業者來說，可將原本消耗龐大網路頻寬之 P2P 分享服務轉換成 ISP-Friendly 之機制，提升 ISP 業者對於提供 P2P 分享服務之意願。

6. 謝誌

本論文由國家科學委員會個人型計畫(計畫編號：NSC 101-2221-E-027-147-)之部分研究成果，感謝國家科學委員會之研究補助。

參考文獻

- [1] V Aggarwal, A Feldmann, and C. Scheideler, "Can ISPs and P2P users cooperate for improved performance?" ACM Special Interest Group on Data Communication (SIGCOMM) Computer Communication Review, vol. 37, no. 3, pp. 29-40, 2007.
- [2] W.-P. Ken Yiu, Xing Jin, and S.-H. Gary Chan, "Challenges and Approaches in Large-Scale P2P Media Streaming," IEEE MultiMedia, April-June 2007.
- [3] Picconi, F, "ISP-friend or foe? Making P2P live streaming ISP-aware," IEEE International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), June 2009.
- [4] Xiao L, Bryan D, Gu Y, Tai X, "A PPSP Tracker Usage for Reload" (draft-xiao-ppsp-reload -distributed-tracker-01), February 2011.
- [5] Q. Lv, P.Can, E.Cohen K.Li and S.Shenker, "Search and Replication in Unstructured Peer-to-Peer Networks," Proceeding of the 16th ACM International Conference on Super computing(ICS '02), pp.84-95, New York, USA, June 2002.
- [6] P. Eugster, R. Guerraoui, A.-M. Kermarrec, and L. Massoulié, "From epidemics to distributed computing," to appear in IEEE Computer Magazine, pp.60-67, 2004.
- [7] Juho Heikki Pekka Seppänen, "Prospects of Peer-to-Peer SIP for Mobile Operators," Master Thesis, Helsinki University of Technology, Finland, 2007.
- [8] I. Stoica, R. Morris, D. Karger, M. Kaashoek, and H Balakrishnan, "Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for internet applications," in Proceedings of ACM Special Interest Group on Data Communication (SIGCOMM) , San Diego, CA, pp. 149-160, Aug. 2001.
- [9] A. I. T. Rowstron and P. Druschel, "Pastry: Scalable, decentralized object location, and routing for large-scale peer-to-peer systems," in Proceedings of the 18th IFIP/ACM International Conference on Distributed System Platforms (Middleware 2001), (Heidelberg, Germany), Nov. 2001.
- [10] Simplicio, M., Goya, W., Carvalho, T., Souza, V., "An architecture for P2P locality in managed networks using hierarchical trackers," IEEE Conference on Network and Service Management (CNSM), Oct. 2010.
- [11] Tsun-Chieh Chiang, Yi-Fan Chien, Wei-Kuan Shih, Chih-Lin Hu, "Imprving Mobile Peer-to-Peer Streaming Service with BitTorrent-like Redundant Tracker", IEEE Mobile Data Management (MDM), May. 2009.
- [12] "Multitracker description", <http://archive.is/nxVZ>
- [13] H. Xie, Y. R. Yang, A Krishnamurthy, Y Liu, and A Silberschatz "P4P: Provider Portal for Applications." Proc. ACM Special Interest Group on Data Communication (SIGCOMM), pp. 351-362, Aug. 2008.
- [14] Oversim. <http://www.oversim.org>
- [15] Denacast. <http://denacast.org/>
- [16] Zhonghong Ou, Erkki Harjula, Mika Ylianttila, "Effects of different churn models on the performance of structured peer-to-peer networks," Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, IEEE 20th International Symposium, Sept. 2009.