

低客戶端緩衝空間及小頻寬需求的熱門影片廣播法

游象甫^a, 楊宏昌^b, 簡聚毅^a, 曾黎明^b

^a 國立台北教育大學資訊科學系

^b 國立中央大學資訊工程學系

E-Mail: yu@tea.ntue.edu.tw, cyht@dslab.csie.ncu.edu.tw

摘要

資料廣播技術所需頻寬與請求到達的速率無關, 因此適合用於傳送熱門影片。其中一種廣播技術被稱為定期廣播法 (Periodical Broadcasting), 將熱門影片分割成多個片段 (segment), 然後這些片段同時在不同的資料頻道上重覆播放。一旦使用者想要觀看這個影片, 即從這些頻道下載影片的片段收看。定期廣播法中的 Greedy Disk-conserving Broadcasting (GDB) 允許使用者可以較小頻寬下載影片, 與其他類似的方法比較, 如 Skyscraper Broadcasting (SkB) 及 Client-Centric Approach (CCA), GDB 的使用者等待時間較少。本文進一步改善 GDB 讓其使用者所需的緩衝空間 (buffering spaces) 變小, 稱為 Reverse GDB (RGDB), 與 GDB 相比, RGDB 使用者的等待時間及頻寬相同, 在大多數的情況下, RGDB 的緩衝空間需求比 GDB 少 35% 到 50%。

關鍵字: 定期廣播法, 緩衝空間需求, 隨選視訊

Abstract

Data broadcasting is independent of arrivals of requests, and thus it is suitable to transmit popular videos that may interest many viewers at a particular period of time. One broadcasting method (called periodic broadcasting) is to divide a popular video into segments, which are then simultaneously broadcast on different data channels. Once clients want to watch the video, they download the segments from these channels. Specially, the greedy disk-conserving broadcasting (GDB) scheme supports a client with a small bandwidth. In comparison with other similar schemes such as the skyscraper broadcasting (SkB) and the client-centric approach (CCA) schemes, the GDB clients have smaller waiting time. Extending GDB, this work designs a reverse GDB (RGDB) scheme to achieve

small buffering spaces as well as low bandwidths at the client. Finally, an analysis shows that RGDB has 33%-50% smaller client buffer requirements than GDB in most situations.

Keywords: Periodic broadcasting, video-on-demand (VOD), buffer, cable TV

1 緒論

因為處理器速度、網路頻寬與磁碟容量的增長, 使得隨選視訊服務 (Video-on-Demand, VoD) 變得可行。根據 [1] 的研究, 少數熱門影片 (約 10 或 20 部) 可以滿足 80% 的使用者需求。因為資料廣播所需頻寬與請求到達的速率無關, 所以非常適合傳送熱門影片。定期廣播法 (Periodical Broadcasting) [2] 是將影片分成許多片段 (segment), 利用不同資料頻道同時週期性的廣播, 其中一個頻道會即時傳送第一個片段, 而其他頻道則傳送剩下的片段。當使用者想看影片時, 會等待從第一個片段開始下載觀賞。一旦使用者開始收看影片時, 他們的 set-top boxes (STB) 或電腦仍然會從頻道下載並緩衝資料片段讓他們能夠連續播放影片片段。

許多定期廣播法研究使用者的等待時間。Pyramid Broadcasting (PB) [3] 將影片分成多個大小以幾何增加的片段達到小的等待時間。Fast Broadcasting (FB) [4][5] 改變影片片段分割與排列得到比 PB 方法更短的等待時間。為了達到近似最小等待時間, Recursive Frequency-Splitting (RFS) [6] 廣播法以能夠維持影片持續播放的頻率循環地廣播每一個片段。Bar-Noy 與 Ladner [7] 讓片段如何在頻道播放成為視窗排程問題, 而且提出與 RFS 相同的解法。[8] 的研究目標在降低 RFS 的計算複雜度。許多研究也探討理論上的等待時間, Harmonic Broadcasting (HB) [9] 先將影片分成相同大小的片段, 然後根據調和級數, 每一個片段再分成更小的子片段。Yang, Juhn 與 Tseng [10] 指

出 HB 能在固定頻寬下達成最小等待時間。Cautious Harmonic Broadcasting (CHB) [11], Quasi Harmonic Broadcasting (QHB) [11] 與 PolyHarmonic Broadcasting (PHB) [12] 則保證資料可準時遞送。Harmonic-series 方法的等待時間小於 Non-harmonic 方法, 但是因為需要配置眾多頻道 [6][13] 使得它們複雜而不可行。

許多文獻也專注於其他的研究議題。廣播 Variable-Bit-Rate (VBR) 影片上的研究包含 [14][15][16][17]。[18][19][20][21] 則依據影片受歡迎程度討論動態伺服器頻道的配置。下面的方法研究如何節省客戶端頻寬與緩衝空間。Skyscraper Broadcasting (SkB) [22] 允許使用者下載影片資料僅使用兩個頻道的頻寬。Client Centric Approach (CCA) [23] 也讓使用者經由少數頻道下載影片資料。Greedy Disk-conserving Broadcasting (GDB) [24] 則可提供伺服器廣播頻道、使用者頻寬及緩衝空間的折衷方案。與 SkB 及 CCA 比較, GDB 有較小的等待時間。BroadCatch [25] 則允許使用者選擇頻寬範圍去下載影片, 而代價是較長的等待時間。基於 FB [4], Reverse Fast Broadcasting (RFB) [26] 於每個頻道上按片段的編號由大到小反覆播放, 並且讓使用者盡可能晚點去接收片段。利用這些改變, RFB 的等待時間與 FB 相同, 但只需暫存 25% 的影片大小, 正好是 FB 需求的一半。

RFB 緩衝需求的上限是 $\lfloor 2^{k-1}/2 \rfloor / (2^k - 1)$, 其中 k 是伺服器頻道數量。

本研究的目標是設計一個客戶端低頻寬及小緩衝空間需求的廣播法。藉由與 RFB 相似的策略我們提出 Reverse GDB (RGDB), 達成使用者端低緩衝空間及頻寬消耗的目標。與 GDB 比較, RGDB

有相同的等待時間，而在大多數情況下 RGDB 至少節省 35% 的緩衝空間。

本文其餘部分如下述。第 2 節介紹 RGDB, 第 3 節分析等待時間及緩衝空間需求, 最後是簡短的結論。

2 Reverse Greedy Disk-conserving Broadcasting (RGDB)

本節首先回顧 GDB，再來介紹 RGDB。

2.1 GDB-j 簡介

本文中 k 代表伺服器頻道數量。GDB [24] 將影片分成 k 個不同大小的片段，以 $S_1, S_2, \dots, S_k$ 表示。假設使用者只有 j ($j > 3$) 個頻道的頻寬，對片段 S_i 而言，它的長度是根據方程式

$$f_j(i) = \begin{cases} 2^{i-1}, & \text{if } i \leq j \\ \left(\sum_{p=i-j+1}^{i-1} f_j(p) \right) / f_j(i-j+1) \times f_j(i-j+1), & \text{if } i > j \end{cases} \quad (1)$$

以 $j=4$ 為例，片段長度值的序列是 1, 2, 4, 8, 14, 24, 40, 70, 120, 200, 350, 600 等等。

如圖 1 所示，伺服器在頻道 C_i 上定期廣播片段 S_i 。圖中使用者已下載的片段以灰色表示。當使用者想要看影片時，會從第一個頻道開始下載第一個片段，同時最多只會下載 j 個未收到的片段。GDB 最大的等待時間等於第 1 個片段的

長度(即 $L / \sum_{i=1}^k f_j(i)$), 使用者所需下載頻寬為

j 個頻道, 最大的緩衝空間需求為 $f_j(k)-1$ 個

第 1 個片段長度 [24]。

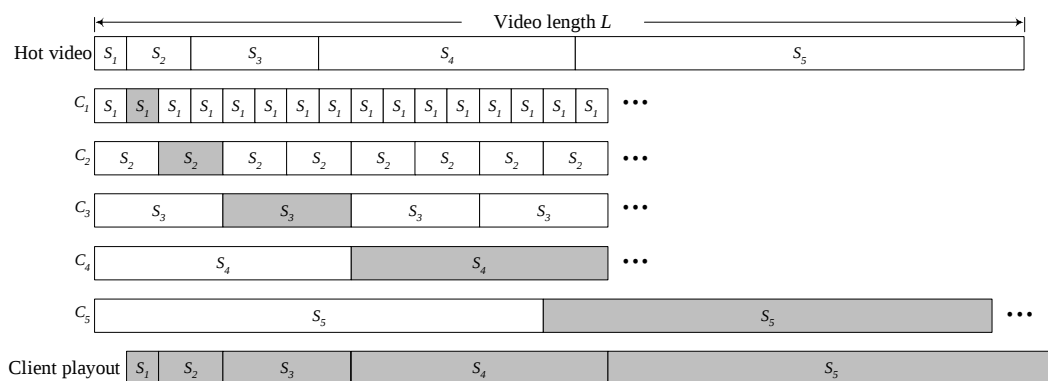


圖 1. GDB 下載片段的描述, 其中 $k=5$ 且 $j=4$

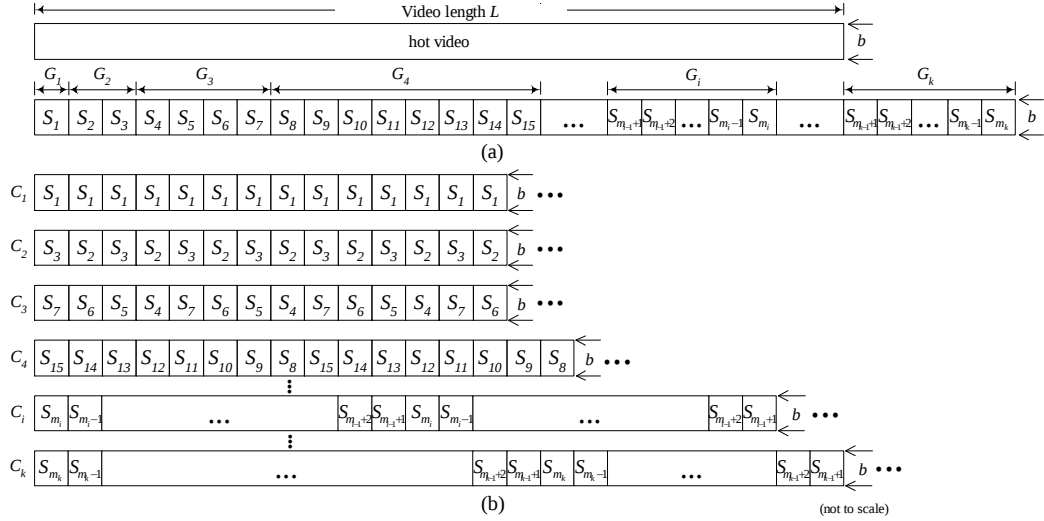


圖 2. RGDB 的頻道配置

2.2 RGDB-j

在 RGDB 伺服器端播放影片時需遵守下述步驟:

1. 將影片分成相同大小的 N 個片段, 以序列 $S_1, S_2, \dots, S_N$ 表示, 其中

$$N = \sum_{i=1}^k f_j(i), \quad f_j(i) \text{ 依據方程式 (1)}$$

而來。注意: GDB 的片段大小是變動而 RGDB 的大小是固定的, 這是兩個方法主要的不同處之一。以 L 代表影片長度, 因此 RGDB 中片段的大小是 L/N , 本文也假設 1 個時間單位等於這個長度。另外每一個頻道的資料傳輸率也假設等於影片播放率 b 。

2. 為了簡化符號的表示方式, 讓 $f_j(i) = n_i$

且 $\sum_{z=1}^i f_j(z) = m_i$ 。如圖 2-(a)所示, 片段

$S_{m_{i-1}+1}$ 到 S_{m_i} 組成群組 G_i 。因此, 群

組 G_i 的片段數量等於 n_i , 例如, 對群組 G_5 而言, $f_4(5) = n_5 = 14$ 且包含片段 S_{16} 到 S_{29} 。(注意: GDB 合併這些片段成為一個單一的片段 S_i , 請參考圖 1)。圖 2-(b)顯示頻道 C_i 由大到小反覆廣播群組 G_i 的片段。這也是 GDB 與 RGDB 另外一個不一樣的地方。

RGDB 假設使用者端有足夠的緩衝空間儲存下載的影片片段。使用者利用與 RFB [26] 相似步驟播放影片。

1. 圖 3 顯示在 $k=5, j=4$ 及 $N=29$ 的情況下, 使用者如何下載影片片段。圖

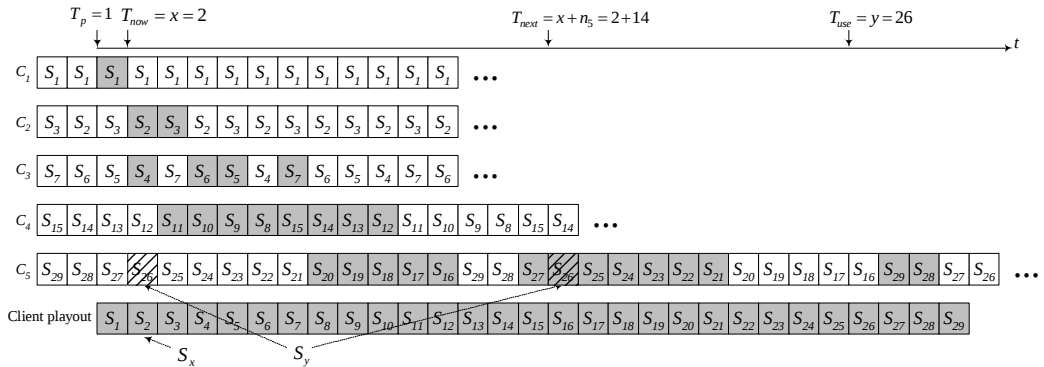


圖 3. RGDB-4 下載片段的描述

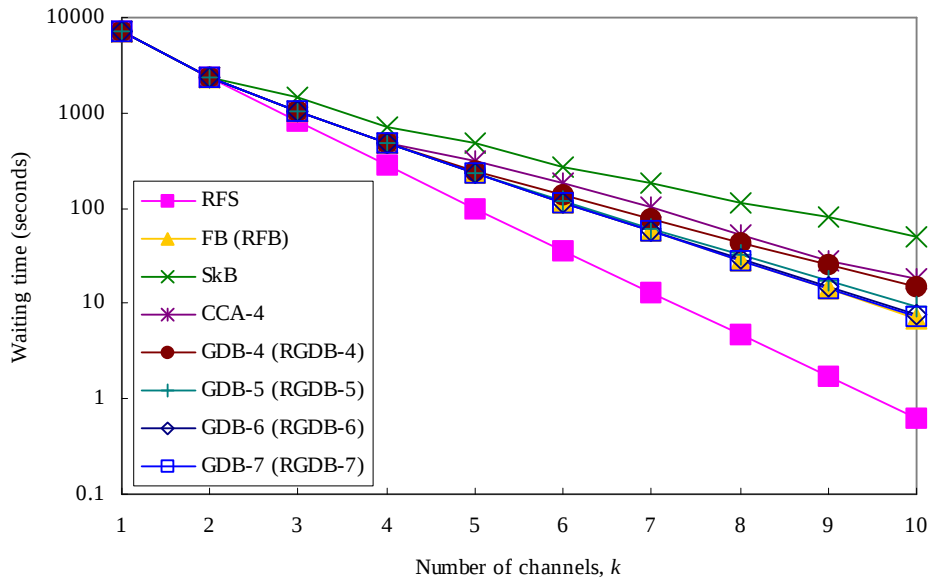


圖 4. 不同頻道時最大的等待時間($L=120$ 分鐘)

中使用者已下載的片段以灰色表示, T_p 代表使用者開始收看影片的時間, 並且作為時間軸的開始(即: 第一個時間單位)。假設使用者在時間 T_{now} 時, 第一次在頻道 C_i 看到片段 S_y , 並且在時間 T_{next} 第二次看到片段 S_y (在圖中, $i=5$ 且 $y=26$)。也假設使用者在時間 T_{now} 與 T_{use} 時播放片段 S_x 與 S_y 。明顯地, 如果 $T_{next} \leq T_{use}$, 使用者不需要在時間 T_{now} 下載片段 S_y , 而且不會中斷播放。將 $T_{use} = y$ 時間單位, $T_{now} = x$ 時間單位與 $T_{next} = T_{now} + n_i$ 代入 $T_{next} \leq T_{use}$, 我們得到 $x + n_i \leq y$ 。(2)

若上述不等式為真, 則使用者不需收下片段 S_y , 否則必須進行下載動作。這概念是伺服器每隔 n_i 個時間單位會廣播片段 S_y 一次, 因此如果片段 S_y 出現的

時間早於其播放時間 n_i 個時間單位, 則在這段期間, 使用者不會播放片段 S_y , 所以可以等待其下次出現。例如, 圖 3 中, 當使用者第一次在頻道 C_5 看到片段 S_{26} 時 (即: T_{now} , 圖中頻道 C_5 的片段 S_{26} 只被塗成斜線), 使用者檢查不等式 (2) 成立, $2 + 14 \leq 26$, 所以不讀取這個片段。當使用者在第 16 個時間單位 (即: T_{next}) 看到下一個片段 S_{26} 時, 其有斜線且顏色是灰色, 不等式 (2) 不成立, $16 + 14 > 26$, 使用者必須下載片段。

2. 在時間 T_p 時, 使用者以 $S_1, S_2, \dots, S_N$ 次序播放影片。
3. 當所有片段都收到後, 使用者停止從網路讀取資料。

3 效能分析與比較

當使用者正好錯過影片片段 S_1 時, 會出現最大等待時間 δ , 其等於片段 S_1 的存取時間, 因此與 GDB [4] 一樣。對 RGDB 而言,

$$\delta = L/N = L / \sum_{i=1}^k f_j(i) \text{。根據先前的研究}$$

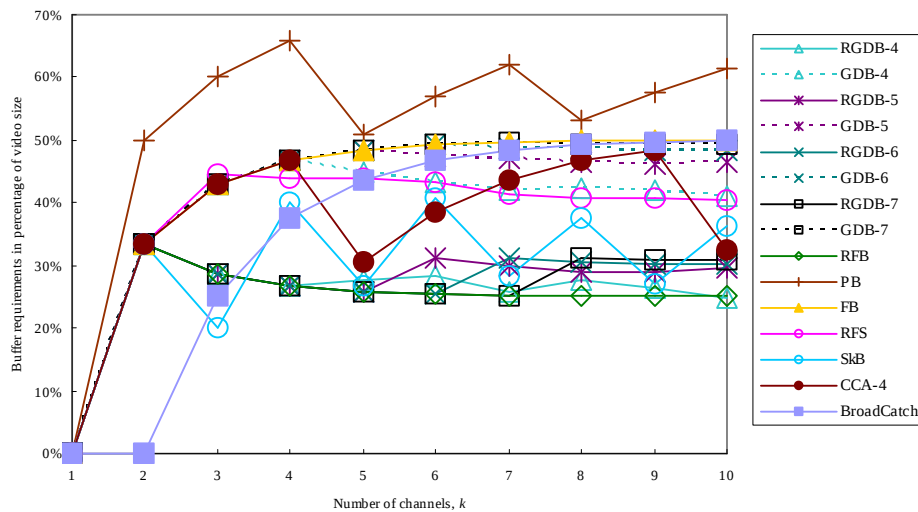


圖 5. 需要的緩衝空間比較

[3][4][6][22][24][25][26], 可以得到伺服器頻寬與等待時間的關係, 如圖 4 所示。GDB 與 RGDB 在允許小使用者頻寬的廣播法中(即: SkB, CCA, GDB 與 RGDB)有最小的等待時間。接著分析使用者緩衝空間的需求, 利用過去分析的結果 [3][4][6][22][25][26], 本文計算在不同伺服器頻寬下不同廣播法所需的緩衝空間(以影片大小的百分比表示), 如圖 5 所示。明顯地, RGDB 在節省緩衝空間的表現上優於 GDB。此圖也顯示在大多數情況下, RGDB 有相對於其他方法而言較小的緩衝空間需求。

4 結論

利用廣播法在網際網路上播放影片已經相當普遍。本文擴充 GDB, 設計出 RGDB, 具有低使用者頻寬及緩衝空間的優點。經由效能分析發現, RGDB 的緩衝空間需求明顯小於 GDB。進一步與 GDB、CCA、BroadCatch、PB、FB、RFS 比較, 也顯示 RGDB 可達到較低的緩衝空間需求。

參考文獻

- [1] Asit Dan, Dinkar Sitaram, Perwez Shahabuddin, "Dynamic batching policies for an on-demand video server," *Multimedia Systems*, vol. 4, no. 3, pp. 112-121, June 1996.
- [2] D. Saporilla, K. Ross, M. Reisslein, "Periodic broadcasting with VBR encoded video," *IEEE INFOCOM 1999*, pp. 464-471, 1999.
- [3] S. Viswanathan and T. Imielinski, "Metropolitan area video-on-demand service using pyramid broadcasting," *Multimedia Systems*, vol. 4, pp. 197-208, 1996.
- [4] L.-S. Juhn and L.-M. Tseng, "Fast data broadcasting and receiving scheme for popular video services," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 44, no. 1, pp. 100-105, March 1998.
- [5] L.-S. Juhn, and L.-M. Tseng, "Adaptive fast data broadcasting scheme for video-on-demand services," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 44, no. 2, pp. 182-185, June 1998.
- [6] Yu-Chee Tseng, Ming-Hour Yang, and Chi-He Chang, "A recursive frequency-splitting scheme for broadcasting hot videos in VOD service," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 50, no. 8, pp. 1348-1355, August 2002.
- [7] Amotz Bar-Noy, and Richard E. Ladner, "Windows Scheduling Problems for Broadcast Systems," *SIAM Journal on Computing*, vol. 32, no. 4, pp. 1091-1113, 2003.
- [8] J.-P. Sheu, H.-L. Wang, C.-H. Chang, and Y.-C. Tseng, "A Fast Video-on-Demand Broadcasting Scheme for Popular Videos," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 50, no. 2, pp. 120-125, June 2004.
- [9] L.-S. Juhn and L.-M. Tseng, "Harmonic broadcasting for video-on-demand service," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 43, no. 3, pp. 268-271, September 1997.
- [10] Z.-Y. Yang, L.-S. Juhn, and L.-M. Tseng, "On Optimal Broadcasting Scheme for Popular Video Service," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 45, no. 3, pp. 318-322, September 1999.
- [11] J.-F. Paris, S. W. Carter, and D.D. E. Long, "Efficient broadcasting protocols for video on demand," in *Proceedings of the 6th*

- International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems*, Montreal, Canada, pp. 127-132, July 1998.
- [12] J.-F. Paris, S. W. Carter and D. D. E. Long, "A Low Bandwidth Broadcasting Protocol for Video on Demand," in *Proceedings of the 7th International Conference on Computer Communications and Networks (IC3N'98)*, Lafayette, LA, pp. 690-697, October 1998.
- [13] J.-F. Paris, "A simple low-bandwidth broadcasting protocol for video-on-demand," in *Proceedings of International Conference on Computer Communications and Networks*, pp. 118-123, 1999.
- [14] Hsiang-Fu Yu, Hung-Chang Yang, Yi-Ming Chen, Li-Ming Tseng, and Chen-Yi Kuo, "Smooth Fast Broadcasting (SFB) for Compressed Videos," *Lecture Notes in Computer Science*, 2957, pp. 272-283, Jan. 2004.
- [15] Boris Nikolaus, Jorg Ott, Carsten Bormann, and Ute Bormann, "Generalized Greedy Broadcasting for Efficient Media-on-Demand Transmissions," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 51, no. 3, pp. 354-359, 2005.
- [16] Hsiang-Fu Yu, Hung-Chang Yang, Li-Ming Tseng, and Yi-Ming Chen, "Simple VBR Staircase Broadcasting (SVSB)," *Computer Communications*, vol. 28, no. 17, pp. 1903-1909, Oct. 2005.
- [17] Hsiang-Fu Yu, Hung-Chang Yang, Pin-Han Ho, Li-Ming Tseng, and Yi-Ming Chen, "A Smooth Broadcasting Scheme for VBR-encoded Hot Videos," *Computer Communications*, vol. 29, no. 15, pp. 2904-2916, 5 September 2006.
- [18] Yu-Chee Tseng, Ming-Hour Yang, Chi-Ming Hsieh, Wen-Hwa Liao, and Jang-Ping Sheu, "Data broadcasting and seamless channel transition for highly demanded videos," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 49, no. 5, pp. 863-874, May 2001.
- [19] Yang Guo, Lixin Gao, Don Towsley, and Subhabrata Sen, "Smooth Workload Adaptive Broadcast," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 6, no. 2, pp. 387-395, April 2004.
- [20] Y.-C. Tseng, Y.-C. Chueh, and J.-P. Sheu, "Seamless Channel Transition for the Staircase Video Broadcasting Scheme," *IEEE Transactions on Networking*, vol. 12, no. 3, pp. 559-571, June 2004.
- [21] Wei-De Chien, Yuan-Shiang Yeh, and Jia-Shung Wang, "Practical Channel Transition for Near-VOD Services," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 51, no. 3, pp. 360-365, 2005.
- [22] K.A. Hua and S. Sheu, "Skyscraper broadcasting: A new broadcasting scheme for metropolitan video-on-demand systems," *ACM SIGCOMM*, Sept. 1997.
- [23] Y. Cai, A. Hua and S. Sheu, "Leverage client bandwidth to improve service latency of distributed multimedia applications," *Journal of Applied Systems Studies*, 2(3), 2001.
- [24] Lixin Gao, Jim Kurose, and Don Towsley, "Efficient schemes for broadcasting popular videos," *Multimedia Systems*, vol. 8, pp. 284-294, 2002.
- [25] Mounir A. Tantaoui, Kien A. Hua, Tai T. Do, "BroadCatch: A Periodic Broadcast Technique for Heterogeneous Video-on-Demand," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 50, no. 3, pp. 289-301, 2004.
- [26] Hsiang-Fu Yu, Hung-Chang Yang, and Li-Ming Tseng, "Reverse Fast Broadcasting (RFB) for Video-on-Demand Applications," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 53, no. 1, pp. 103-111, March 2007.