

低客戶端緩衝空間與頻寬之隨選視訊廣播法

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

資料廣播方法與請求到達的速率無關, 因此適合用來傳送熱門影片。定期廣播法 (Periodical Broadcasting) 將熱門影片分成許多片段, 並且同時在不同資料頻道廣播這些片段。一旦使用者想要看影片, 就從這些頻道下載影片片段。Skyscraper Broadcasting (SkB) 支援客戶端只有小頻寬的情況, 使用者只需要 2 個頻道的頻寬接收影片片段。本文擴充 SkB 提出 Reverse SkB (RSkB), 與 SkB 相比, 使用者所需頻寬與等待時間相同。分析顯示在大多數情況下, RSKB 的使用者緩衝空間需求比 SkB 少 25% 至 37%。與過去的研究相比, RSKB 有較低的使用者緩衝空間。

關鍵字: 定期廣播、隨選視訊、緩衝空間、有線電視

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 skyscraper broadcasting (SkB) scheme supports a client with a small bandwidth. An SkB client simply requires two-channel bandwidths to receive video segments. Extending SkB, this work designs a reverse SkB (RSkB) scheme to achieve small buffering spaces as well as low bandwidths at the client. We further mathematically prove that RSKB still guarantees on-time video delivery. Finally, an analysis shows that RSKB has 25%-37% smaller client buffer requirements than SkB in most situations. Extensive

simulation has been conducted on RSKB by comparing a number of past studies, and the results indicate that RSKB yields lower client buffer demand.

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

1 緒論

因為寬頻網路技術的進步以及處理器速度與磁碟容量的增長, 隨選視訊(VOD)服務變得可行。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。由於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] 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, 最大的等待時間因此等於第一個片段的長度。當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依序播放影片片段。

許多定期廣播法研究如何降低使用者的等待時間。Pyramid Broadcasting (PB) [3] 廣播法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] 廣播法改變影片片段分割與排列得到比 PB 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廣播每一個片段。Bar-Noy 與 Ladner [7] 將片段如何在頻道播放化為視窗排程問題。[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] 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，但是因為需要配置許多頻道 [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。Greedy Disk-conserving Broadcasting (GDB) [23] 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。BroadCatch [24] 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) [25] 於每個頻道上按片段的編號由大到小反覆播放，並且讓使用者儘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 SkB 相似的策略，

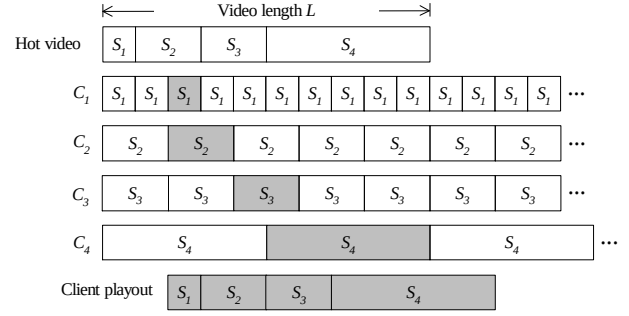


圖 1. SkB 如何下載片段的描述，其中 $k = 4$

我們提出 Reverse SkB (RSkB) 廣播法，達成使用者端低緩衝空間及頻寬消耗的目標。同時進一步證明 RSkB 仍然保證準時遞送影片。除此，分析顯示在 $k > 3$ 的情況下，RSkB 的使用者緩衝空間需求至少比 SkB 少 25%。與過去的研究相比(包括: GDB、BroadCatch、PB、FB、RFB、RFS)，RSkB 也有較低的使用者緩衝空間。

本文其餘部分如下。第 2 節介紹 RSkB 方法，第 3 節分析緩衝空間需求，最後是簡短的結論。

2 Reverse Skyscraper Broadcasting (RSkB)

本文首先回顧 SkB，再來介紹 RSkB，最後提出可行性的證明。

2.1 SkB 簡介

本文中 k 代表伺服器頻道數量。SkB [22] 將影片分成 k 個不同大小的片段，以 S_1 ，

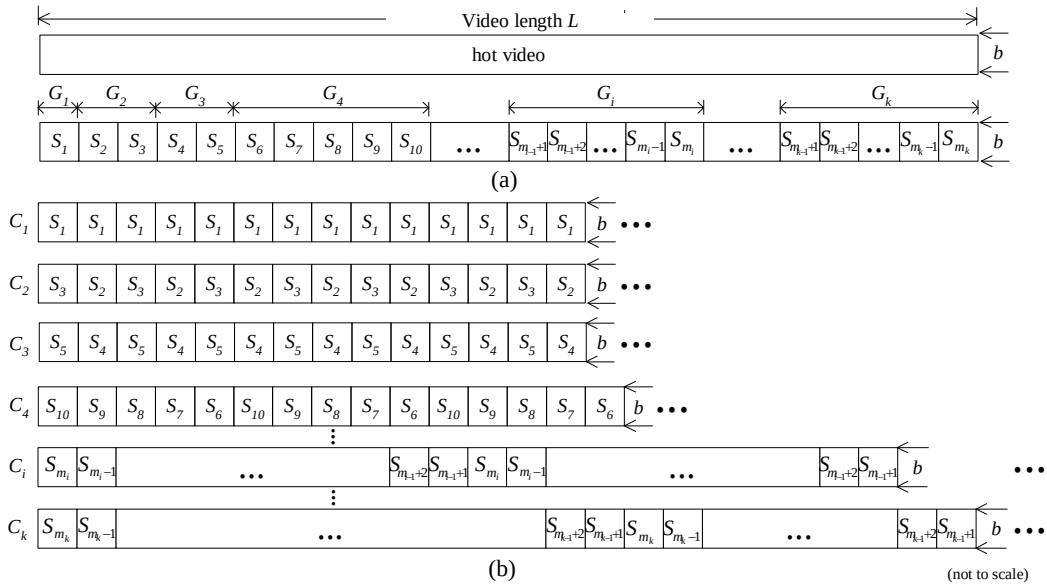


圖 2. RSkB 的頻道配置

$S_2 \dots, S_k$ 表示。對片段 S_i 而言，它的長度是根據方程式

$$f(i) = \begin{cases} 1, & i=1 \\ 2, & i=2,3 \\ 2f(i-1)+1, & i \bmod 4=0 \\ f(i-1), & i \bmod 4=1 \\ 2f(i-1)+2, & i \bmod 4=2 \\ f(i-1), & i \bmod 4=3 \end{cases} \quad (1)。$$

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 2 個未收到的片段。SkB 最大的等待時間等於第 1 個片段的長度(即

$L / \sum_{i=1}^k f(i)$)。使用者只需要 2 個頻道的頻寬去下

載影片片段。最大緩衝空間需求為 $f(k)-1$ 個第一個影片片段長度。

2.2 RSkB

RSkB 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

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

來。SkB 的片段大小是變動，而 RSkB 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 RSkB 中片段的長度是 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 $f(i) = n_i$

且 $\sum_{z=1}^i f(z) = m_i$ 。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_4 而言， $n_4=5$ 且包含片段 S_6 到 S_{10} 。(注意: SkB 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 由大到小定期廣播群組 G_i 的片段。這是 SkB 與 RSkB 另外一個不一樣的地方。

假設 RSkB 的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 [25] 相似步驟播放影片。

1. 圖 3 顯示在 $k=5$ 及 $N=15$ 的情況下，使用者如何下載影片片段。圖中使用者已

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 $y=11$)。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

$T_{next} \leq T_{use}$ ，使用者在時間 T_{now} 可以延

遲下載片段 S_y ，直到它下次在時間

T_{next} 出現為止，而且不會中斷播放。將 $T_{use} = y^{\text{th}}$ 時間單位， $T_{now} = x^{\text{th}}$ 時間單位與 $T_{next} = T_{now} + n_i$ 代入 $T_{next} \leq T_{use}$ ，我們得到

$$x + n_i \leq y \quad (2)。$$

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

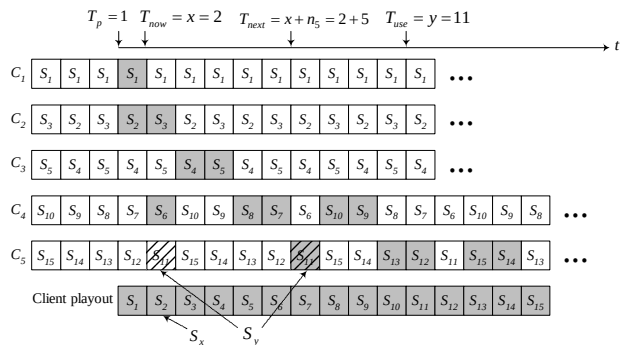


圖 3. RSkB 如何下載片段的描述

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，當使用者第一次在第 2 個時間單位(即: T_{now})在頻道 C_5 看到片段 S_{11} 時(圖中頻道 C_5 的片段 S_{11} 只被塗成斜線)，使用者檢查不等式 (2) 成立， $2+5 \leq 11$ ，所以不讀取這個片段。當使用者在第 7 個時間單位(即: T_{next})看到下一個片段 S_{11} 時，其有斜線且顏色是灰色，不等式 (2) 不成立， $7+5 > 11$ ，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。

2.3 可行性證明

本小節證明 RSkB 仍然維持使用者可以連續播放影片。Yang 與 Tseng 的研究 [6][10] 指出影片伺服器必須在每 j 個時間單位至少廣播片段 S_j 一次以維持在客戶端資料能準時遞送。RSkB 伺服器每 n_i 個時間單位在頻道 C_i 廣播片段 S_j 。為了顯示能夠連續播放，本文需要證明 $n_i \leq j$ 。

定理 1. 假設片段 S_j 在頻道 C_i 上廣播。對於 RSkB, $n_i \leq j$ 。

證明: 對於 RSkB, $m_{i-1} + 1 \leq j \leq m_i$ 。因此本文將證明 $n_i \leq m_{i-1} + 1 \leq j$ ，所以 $n_i \leq j$ 。

當 $i=1, 2, 3$ 時， $n_1 = m_1 = j = 1$ ，

表 1: SkB 及 RSkB 所需緩衝空間的比較 (單位是暫存影片大小的百分比)

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SkB (%)	0	33.3	20	40	26.7	40.7	28.2	37.5	27	36.2
RSkB (%)	0	33.3	20	30	20	25.9	17.9	23.4	16.9	22.7
Reduction rate (%)	0	0	0	25	25	36.3	36.3	37.5	37.5	37.3

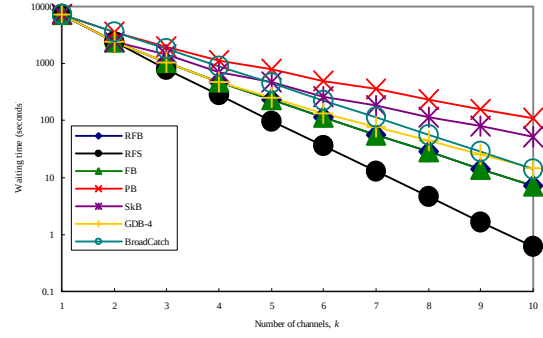


圖 4. 使用者在不同頻道數上最大的等待時間 ($L=120$ 分鐘)

$$n_2 = 2 \leq m_1 + 1 = 2 \leq j \quad \text{且}$$

$$n_3 = 2 \leq m_2 + 1 = 3 \leq j, \text{ 因此定理成立。}$$

當 $i \bmod 4 = 0$ 時:

$$\begin{aligned} & n_i - (m_{i-1} + 1) \\ &= 2n_{i-1} + 1 - m_{i-1} - 1, \text{ from equation (1)} \\ &= n_{i-1} - m_{i-2} \\ &= n_{i-2} - m_{i-2}, \text{ from equation (1)} \\ &\leq 0 \end{aligned}$$

當 $i \bmod 4 = 1, 3$ 時:

$$\begin{aligned} & n_i - (m_{i-1} + 1) \\ &= n_{i-1} - m_{i-1} - 1, \text{ from equation (1)} \\ &\leq 0 \end{aligned}$$

當 $i \bmod 4 = 2$ 時:

$$\begin{aligned} & n_i - (m_{i-1} + 1) \\ &= 2n_{i-1} + 2 - m_{i-1} - 1, \text{ from equation (1)} \\ &= n_{i-1} + 1 - m_{i-2} \\ &= n_{i-2} + 1 - m_{i-2}, \text{ from equation (1)} \\ &\leq 0 \end{aligned}$$

因此, $n_i \leq m_{i-1} + 1 \leq j$ 。

RSkB 可以在客戶端連續播放影片。

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 ，其等於從頻道 C_1 存取片段

S_1 的時間。因此, RSkB 與 SkB [4] 一樣,

$$\delta = L/N = L / \sum_{i=1}^k f(i)。$$

如圖 4 所示, 根據先前的研究 [3][4][6][22][23][24][25], 可以得到伺服器頻道數目與等待時間的關係。為了在客戶端達到只需 2 個頻道的頻寬, RSkB 犧牲小的等待時間。

接著分析使用者緩衝空間的需求。表 1 顯示, 在節省緩衝空間上, RSkB 明顯優於 SkB。在 $k > 3$ 情況下, 最大可以降低緩衝空間 25% 以上。例如, 7 個頻道, SkB 使用者緩衝 28.2% 的影片大小, 然而, RSkB 只有緩衝 17.9%。降低了 36.3%。RSkB 非常適合作為有限容量客戶端裝置的影片系統, 如 PDAs, mobile phones, 與 STBs。利用過去分析的結果 [3][4][6][22][23][24][25], 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。此圖也顯示在大多數情況下, RSkB 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 SkB, 設計出 RSkB, 具有低使用者頻寬及緩衝空間的優點。我們證明 RSkB 能準時遞送影片。經由效能分析發現, RSkB 的緩衝空間需求明顯小於 SkB。進一步與 GDB、BroadCatch、PB、FB、RFB、RFS 比較, 也顯示 RSkB 可達到較低的緩衝空間需求。

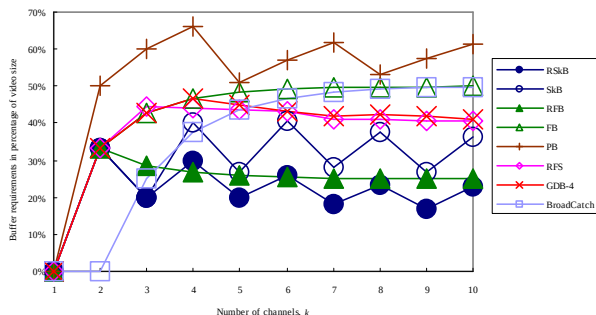


圖 5. 需要的緩衝空間比較

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] Lixin Gao, Jim Kurose, and Don Towsley, “Efficient schemes for broadcasting popular videos, ” *Multimedia Systems*, vol. 8, pp. 284-294, 2002.
- [24] 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.
- [25] Hsiang-Fu Yu, Hung-Chang Yang, and Li-Ming Tseng, “Reverse Fast Broadcasting (RFB) for Video-on-Demand Applications, ” to appear in *IEEE Transactions on Broadcasting*, March 2007.