

Highly-Demanded 비디오 서비스를 위한 낮은 복잡도의 혼합 멀티캐스트/브로드캐스트 알고리즘

정회원 이 찬*, 종신회원 박 세 웅*

Hybrid Multicast/Broadcast Algorithm for Highly-Demanded Video Services with Low Complexity

Can Li(Chan Lee)* *Regular Member*, Saewoong Bahk* *Lifelong Member*

요 약

광대역 네트워크 기술의 발전함에 따라 점점 더 많은 클라이언트들이 여러 가지 VoD (Video On Demand) 서비스를 사용할 수 있게 되었다. 많은 클라이언트들을 서포트하기 위하여, VoD 전송 방식을 설계할 때 아래의 몇 가지 요소들로 고려하여야 한다. 즉 사용자 대기 시간 (Viewer's Waiting Time), 매 클라이언트에서 요구하는 최대 버퍼 요구량 (Buffer Requirement at Each Client), 비디오 전송에 요구되는 채널 개수(number of channel required for video delivery)와 비디오 분할 복잡도(video segmentation complexity) 등이다. 최근의 여러 가지 VoD 서비스들 중에서 Polyharmonic과 Staircase 전송 방식이 사용자 대기 시간과 매 클라이언트에서 요구하는 최대 버퍼 요구량에서 제링 좋은 성능을 보여주고 있다. 그러나 이런 방식들은 하나의 비디오를 너무 많은 세그먼트들로 나누어야 하는데 이런 방식은 동시에 관리하고 사용하는 태널의 개수가 많아지게 한다. 이런 문제들을 해결하기 위하여 이 논문에서는 시스템 복잡도를 낮추면서 사용자 대기시간과 최대 버퍼 요구량의 성능을 동시에 향상시키기 위한 방법으로 Polyharmonic과 Staircase 모델을 헤드 파트에 적용하고 기존의 VoD 전송 방식들 가운데 가장 간단한 모델인 Staggered을 뒤 파트에 적용하여 Polyharmonic-Staircase-Staggered (PSS) 방식을 제안하고 있다. 이 방식은 간단하고 효율적이다. 수학적분석을 통해 사용자 대기시간은 기존의 Harmonic Broadcasting 방식과 비교했을 때 대역폭을 조금만 더 크게 차지하면 거의 동일한 성능을 나타내고 있고 최대 버퍼 요구량은 비디오 분할 계수의 조절에 의해 Harmonic Broadcasting보다 60% 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다. 제일 중요한 것은 제안된 방식은 제안된 방식은 실제 응용에서 중요한 요소인 비디오 서브세그먼트의 수, 동시에 관리하는 채널의 수, 동시에 사용하는 채널의 수도 크게 감소시켰다는 것이다. 또한 다양한 환경에 따라 비디오 분할 계수를 어떻게 적절히 조정하는지도 서술하고 있다.

Key Words : Highly-Demanded Video broadcasting, waiting time, buffer requirement, simple structure, bandwidth efficiency, IPTV

ABSTRACT

With the deployment of broadband networking technology, many clients are enabled to receive various Video on Demand (VoD) services. To support many clients, the network should be designed by considering the following factors: viewer's waiting time, buffer requirement at each client, number of channel required for video delivery, and video segmentation complexity. Among the currently available VoD service approaches, the

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2010-0027750)

* 서울대학교 INMC(leechan@snu.ac.kr)

논문번호: KICS2010-09-446, 접수일자: 2010년 9월 13일, 최종논문접수일자: 2010년 12월 13일

Polyharmonic and Staircase broadcasting approaches show best performance with respect to each viewer's waiting time and buffer requirement, respectively. However, these approaches have the problem of dividing a video into too many segments, which causes very many channels to be managed and used at a time. To overcome this problem, we propose Polyharmonic-Staircase-Staggered (PSS) broadcasting approach that uses the Polyharmonic and Staircase approaches for the head part transmission and the Staggered approach for the tail part transmission. It is simple and bandwidth efficient. The numerical results demonstrate that our approach shows viewer's waiting time is comparable to that in the Harmonic approach with a slight increase in the bandwidth requirement, and saves the buffer requirement by about 60% compared to the Harmonic broadcasting approach by simply adjusting the video partitioning coefficient factor. More importantly, our approach shows the best performance in terms of the number of segments and the number of channels managed and used simultaneously, which is a critical factor in real operation of VoD services. Lastly, we present how to configure the system adaptively according to the video partitioning coefficient.

I. 서 론

최근 VoD (Video On Demand)가 대역폭의 확대 및 압축 기술의 발전으로 인하여, 다양한 방송환경에 적용되면서, 수요가 전 세계적으로 가파른 속도로 늘어나고 있다. VoD는 디지털 케이블방송 및 IPTV (Internet Protocol TV) 환경에서 영화, 음악, 교육, 게임, 쇼핑 등 다양한 대용량 디지털 멀티미디어 콘텐츠 전달에 유용하게 적용되고 있다. 이러한 다양한 서비스의 활용을 위해서는 사용자 대기 시간과 최대 버퍼 요구량을 감소 시켜야만 한다. 또한 대역폭 관점에서 대용량 멀티미디어 데이터 전송 시 큰 채널 대역폭을 요구하기 때문에 효율적인 대역폭 관리의 필요성도 커지고 있다. 이는 한 사용자가 여러 개 session에서의 동시 고속 통신을 가능하게 하였다. 여기에는 많이 보편화되고 있는 VoD(Video On Demand) 서비스도 포함된다. 최근에는 VoD서비스가 스트리밍뿐만 아니라 IPTV (Internet Protocol TV)도 포함된다.

VoD는 비디오를 전송하는 방식에 따라 분류할 경우 실시간 주문형 비디오 (TVoD True-VoD)^[1] 과 유사 주문형 비디오 (NVoD: Near-VoD)^[2-10] 으로 크게 분류된다. TVoD는 시청자가 원하는 시간에 원하는 프로그램을 선택하여 시청할 수 있는 방식으로 지정된 하나의 채널을 통해서 다양한 멀티미디어 서비스를 시청자에게 제공하는 대화형 서비스이다. TVoD는 대화형 서비스가 가능한 장점이 있지만 시청자가 비디오 서버에서부터 시청자단까지 전송 채널을 점유하기 때문에 서비스의 제공에 많은 대역폭이 필요하고 따라서 많은 비용이 소요된다는 단점이 있다.

반면, NVoD는 대화형 서비스 기능과 시청자의 대기시간을 희생하는 대신, 하나의 비디오 프로그램을 여러 개의 방송채널을 통하여 순차적으로 반복하는

방식이다. NVoD는 하나의 비디오 채널을 이용하여 다수의 시청자들이 동시에 비디오를 시청할 수 있도록 하여 시스템 비용을 획기적으로 줄였다. NVoD가 TVoD에 비해 현저히 적은 채널을 필요로 하지만 많은 시청자들이 요청한 비디오를 즉시 볼 수 없다는 단점이 있다^[11].

본 논문에서는 기존에 제안된 NVoD 방식의 단점인 복잡성을 줄이고 사용하는 채널 대역폭의 효율도 향상시킨 폴리하모닉-스태어케이시-스태거드 (POLYHARMONIC-STAIRCASE-STAGGERED; 이하 PSS) 전송 방식을 제안한다. 이 방식에서는 비디오 데이터를 짧은 선행 부분과 긴 후행 부분으로 크게 2분할하여 나누고 짧은 선행 부분에는 폴리하모닉-스태어케이시 전송 (Polyharmonic-Staircase Broadcasting) 방식을 사용하고 긴 후행 부분은 스태거드 전송 (Staggered Broadcasting) 방식을 사용한다. 이러한 구조는 분할되는 비디오의 세그먼트 수를 줄일 수 있고 동시에 사용하는 채널의 수도 줄이고 관리하는 채널의 수도 감소시켜 간단하고 안정적인 NVoD 방식을 만들어 줄 수 있다. 또한 비디오의 짧은 선행부분에만 비디오 데이터가 분할되어 시청자 대기시간과 필요한 버퍼를 줄여 채널 대역폭 측면에서도 효율을 높일 수 있다.

모의실험에서 시청자의 최대 대기시간과 필요한 버퍼를 기준으로 성능을 비교한 결과 PSS 전송 방식이 기존의 방식에 비해 복잡도와 시청자 버퍼 요구량에서 월등히 우수한 성능을 보였다. 또한 동일한 채널이 주어진 조건에서, 비디오 데이터 분할계수에 따라 시청자 대기시간과 시청자 버퍼 요구량을 조절할 수 있다. 이러한 특성을 활용하여 VoD 시스템이 적용되는 환경과 서비스 제공자의 정책에 맞게 파라미터를 적절하게 조절하여 VoD 시스템을 구성할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안된 방식은 높은 채널 대역폭 효율

을 유지하면서 동시에 간단한 구조로 비디오 서비스의 단절 현상 없이 연속적인 비디오 서비스가 가능하다. 또한 VoD 시스템의 성능을 필요에 따라 조절할 수도 있는 실용적 NVoD 방법이다.

본 논문의 구성은 3장에서는 PSS 방식에 대해서 설명하고 4장은 성능 분석을 위한 해석적 분석을 하였다. 5장에서 모의실험을 통하여 성능을 분석하고 6장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

근래에 NVoD의 성능개선을 위해 많은 연구가 진행되어 왔으며, 이 연구에는 크게 बै치(Batch) 방식과 패치(Patch) 방식으로 구분이 된다. बै치방식은 비디오 데이터를 대역폭과 길이를 기준으로 해서 다양한 방법으로 나누고 이를 서로 다른 채널에 일정한 주기로 브로드캐스트 하는 방법이다. 패치방식은 비디오 데이터를 스테agger드전송(Staggered Broadcasting) 방식으로 일정한 시간 간격을 두고 전송을 하고 비디오 데이터 주기 시간동안 추가의 채널을 덧붙이는 형태로 구성된다. बै치방식은 채널 대역폭 효율이 우수하다는 장점이 있지만 복잡성이 증가하기 때문에 실제 구현에는 많은 제약이 따른다는 단점이 있다. 패치방식은 채널 대역폭 효율은 많이 떨어지지만 구현이 간단하다는 장점이 있다.

본 장에서는 NVoD 방식의 연구인 Staggered Broadcasting, Harmonic Broadcasting, Polyharmonic Broadcasting 그리고 Staircase Broadcasting의 구조와 장, 단점에 대해서 알아본다. 그리고 위의 방식들을 본 논문에서 제안된 방식과 비교하여 성능평가를 한다.

2.1 스테agger드 전송 (Staggered Broadcasting) 방식

스테agger드 전송(Staggered Broadcasting) 방식은 가장 많이 알려져 있으며 비교적 간단한 구조로 만들어진 NVoD 방식이다. 이 방식은 논리 채널에 따라서 정해진 일정시간의 시간차를 두고 각 논리 채널로 동일한 비디오를 전송함으로써 정해진 대기 시간 이후 비디오를 수신 할 수 있기 때문에 VoD 서버의 대역폭 관점에서 효율적인 전송 방식은 아니다. 하지만 클라이언트 단말기 혹은 셋탑박스에 데이터를 저장하지 않고 전체 비디오 수신 시에 단 하나의 채널만을 점유하는 장점이 있다.

2.2 하모닉 전송 (Harmonic Broadcasting) 방식

그림 1의 하모닉 전송(Harmonic Broadcasting) 방식^[1]은 비디오 데이터를 시간 축으로 N 개의 동일한 크기로 분할하고 i 번째로 분할된 비디오 데이터가 i 번째 논리채널에서 i 개의 데이터로 다시 분할되어 반복하여 전송된다. (그림 중의 C 는 채널수를 표시한다.) 이 방식은 비디오 데이터를 동일한 시간 길이로 분할하는 대신 채널 대역폭을 달리 분할한다. 첫 번째 데이터가 사용하는 대역폭을 b 라고 할 때 i 번째 논리채널의 대역폭을 b/i 로 분할한다. 이 방식은 채널 대역폭 측면에서는 가장 효율적인 방식이지만, 비디오 데이터가 많은 개수로 분할이 되고 사용 대역폭도 계속 변하기 때문에 실제 구현하여 사용하기에는 적지 않은 어려움이 있다.

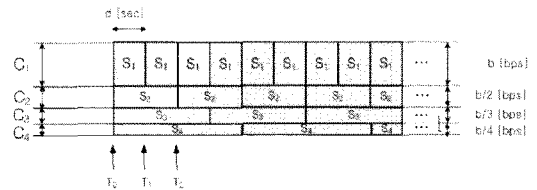


그림 1. Harmonic Broadcasting.

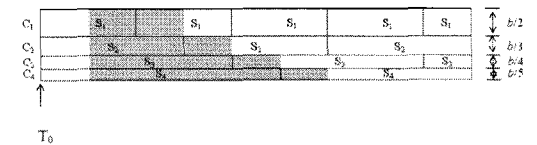


그림 2. Polyharmonic Broadcasting with $c(\text{채널}) = 2$

2.3 폴리하모닉 전송 (Polyharmonic Broadcasting) 방식

폴리하모닉 방식^[19]은 하모닉방식과 비교할 때 다음과 같은 3가지가 다르다.

1. 한 시청자가 비디오를 요청할 때, 세그먼트 S_1 을 신속히 먼저 보내준다. 즉 S_1 을 받는데 딜레이가 없다.
2. 채널 C_1 에 할당된 대역폭은 b/c 이다. (여기서 c 는 양의 정수이다.)
3. 시청자는 S_1 을 받은 뒤 바로 재생할 수 있다. 즉 다른 세그먼트들을 기다리지 않고 비디오를 시청할 수 있는 것이다.

그림 3은 $c(\text{채널})=2$ 이고 채널수가 4일 때의 예이다.

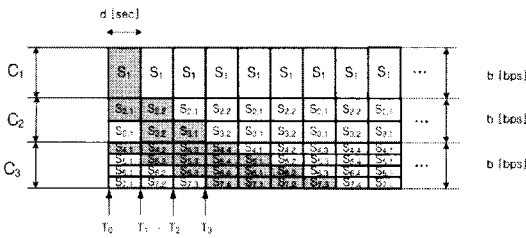


그림 3. Staircase Broadcasting.

2.4 스테어케이싱(계단형) 전송 (Staircase Broadcasting) 방식

계단형 전송 (Staircase Broadcasting) 방식^[6]은 비디오 데이터를 시간 축으로 N 개의 동일한 크기로 분할하고 다수의 논리 채널에 분산하여 전송하는 방법으로 기본적인 전송방법은 패스트 전송 (Fast Broadcasting) 방식과 동일하지만 각 논리채널의 대역폭을 다시 분할하여 전송하는 점에서 차이가 있다. i 번째 논리 채널을 패스트 전송 방식과 같이 첫 번째 비디오 세그먼트부터 2^{i-1} 번째 비디오 세그먼트를 순서대로 되풀이하여 전송한다. 이때 i 번째 논리 채널을 다시 2^{i-1} 개의 부논리채널로 분할하고, 첫 번째 논리채널의 대역폭이 b 이면 i 번째 논리채널의 각 부논리채널의 대역폭은 $b/2^{i-1}$ 이다. 이와 더불어 나누어진 i 번째 논리채널을 통하여 전송되는 비디오 데이터도 2^{i-1} 개로 나누어서 각각의 분할된 부논리채널을 통하여 전송하는 방식이다. 이 방식에서 시청자 대기시간은 패스트 전송 (Fast Broadcasting) 방식과 동일하지만, 셋탑박스의 버퍼크기가 비디오 전체 크기의 25%로 비교적 많이 개선된 방식이다. 하지만 분할되는 비디오 데이터 세그먼트 수가 너무 많고 복잡한 채널 관리가 필요하며, 세그먼트 분할로 인한 비디오 서비스의 단절 현상이 나타날 수 있다. 뿐만 아니라 동시에 사용하는 논리채널 수도 많고 채널 호핑(Hopping)도 빈번하게 발생하여 구현의 어려움이 있다.

이러한 방식은 비디오 데이터의 분할과 시청자 단말기의 저장장치를 이용한 방식이다. 그리고 비디오 데이터의 분할을 이용하여 채널 대역폭의 효율을 높이거나 혹은 가입자의 비디오 시청을 위한 대기시간을 대폭 줄일 수 있으나 시스템의 복잡성을 매우 증가시킨다.

III. 폴리하모닉스스테어케이싱스태거드(PSS) 전송 방식

3.1 폴리하모닉스스테어케이싱스태거드(PSS) 전송 방식의 기본개념

PSS 전송방식은 채널대역폭 활용에서는 효율적이

고 안정적인 방법이지만 복잡한 구조로 구현이 어렵고, 스테거드 전송 방식은 간단한 구조로 구현은 쉽지만 채널대역폭 사용에서 비효율적이다. 따라서 이러한 전송방법들의 장점만 가지고 단점을 해결하기 위하여 폴리하모닉스스테어케이싱스태거드 전송(PSS) 방법을 이 논문에서 제시하였다.

PSS 전송방식은 비디오 서비스를 제공하는데 필요한 전체 채널 대역폭, 채널 수, 셋탑박스의 저장 공간과 같은 서비스 환경을 고려하여, 하나의 비디오 프로그램을 짧은 선행 부분과 긴 후행 부분으로 크게 2분할하여 나누고, 짧은 선행부분에는 PSS 전송방식을 적용하여 전송하고 상대적으로 긴 후행 부분에는 스테거드 전송 방식을 적용하여 전송하는 방식이다. 이때 각 부분은 주기적인 브로드캐스트를 통해서 반복적으로 전송을 하고 스테거드 전송 방식의 반복 주기를 PSS 전송방식의 주기와 일치 하도록 맞추어서 전송을 하게 된다. 이러한 NVoD 전송 구조는 선행부분에 PSS 전송방식을 적용함으로써 채널 대역폭 활용도를 증가 시키고, 후행부분에 스테거드 전송 방식을 적용하여 전송함으로써 구현을 쉽게 할 수 있다.

3.2 서버의 송신 방법

NVoD 서비스를 제공하는 서버에서 비디오의 길이를 D [sec], 채널 대역폭을 b [bps]라고 가정하면, 전체 비디오의 크기 V [bit]는 $D \times b$ 로 표현이 된다. 비디오 전송에 할당된 전체 대역폭의 크기를 B [bps]라고 하면, $B = \beta \times b$ 로 표현할 수 있고 이때 $\beta \geq 2$ 이다. 이 방식은 사용자 셋탑박스의 디스크 공간을 이용하여 precaching을 한다. 즉 상위 10개 비디오의 처음 5초 또는 10초를 클라이언트가 이 비디오에 대해 request를 하기 전에 보내주는 것이다 이렇게 함으로써 클라이언트가 request를 하는 즉시 비디오를 재생하게 할 수 있는 장점을 갖고 있다. 이 precaching 세그먼트를 이 논문에서는 S_0 이라 한다. 서버에서 PSS 전송방식은 아래의 방법에 의하여 비디오 데이터를 전송한다.

PSS 방식으로 전송하기 위해서 전체 대역폭과 채널수를 고려하여 비디오의 길이 D 를 시간 축으로 precaching부분 D_0 , 짧은 비디오 앞부분 D_1 와 긴 비디오 뒷부분 D_2 로 나눈다. D_1 과 D_2 의 길이는 D_1 와 D_2 에 할당되는 채널수에 의해서 결정되고, 연속적인 디스플레이를 위하여 다음 관계식 (1)을 만족해야 한다.

$$D_0 = d, D_1 = (N-1)d, D_2 = h(D_1 + d) = hNd, h \geq 1 \tag{1}$$

여기서 h 는 D_1 와 D_2 를 상대적으로 비교하는 "비디오 분할 계수"이며 정수이고, $d[\text{sec}]$ 는 D_1 에서 동일한 크기로 분할되는 데이터 세그먼트 하나의 길이이다. 그러므로 분할된 짧은 비디오 앞부분 크기 V_0 은 $V_0 = D_0 \times b$, V_1 은 $V_1 = D_1 \times b$ 이고, 긴 뒷부분 크기 V_2 는 $V_2 = D_2 \times b$ 이다. Polyharmonic 방식이 더 많은 채널을 사용하여 사용자 대기시간을 줄이기 위하여 PSS방식에서는 Staircase방식을 D_1 의 마지막 채널에 넣었다. 이렇게 함으로써 사용자 대기시간과 버퍼 수요량을 최소화하는 효과를 창출했다. 사용자 대기시간 d 는 아래의 식 (2)에 의해서 계산할 수 있다.

$$d = \frac{D_1}{N-1} \quad (2)$$

그림 4에서처럼 D_1 의 i 번째 세그먼트 S_i 는 $i \leq \frac{N}{2} - 1$ 일 때는 i 개의 서브세그먼트 $\{S_{i,1}, \dots, S_{i,i+1}\}$ 로, $i \geq \frac{N}{2}$ ($k = \lfloor \log_2 i + 1 \rfloor + \frac{N}{2} - 1$)일 때는 $\{S_{i,1}, \dots, S_{i,k}\}$ 개의 동일한 크기로 나누어진다. S_i 의 i 개의 서브 세그먼트들은 논리 채널 $C_i^{D_1}$ ($i=1, \dots, N-1$)를 통해

broadcast된다. $C_i^{D_1}$ (i 는 정수)는 D_1 의 i 번째 채널을 나타낸다($p=1, 2$). 여기서 $C_1^{D_1}$ 의 대역폭은 $i \leq \frac{N}{2} - 1$ 일 때 $b/(i+1)$ 이고, $i \geq \frac{N}{2}$ 일 때 b/k 이다. 채널 $C_i^{D_1}$ 를 통하여 D_1 의 S_i 가 주기적으로 broadcast된다. $C_j^{D_2}$ ($j=1, \dots, n$)에서는 D_2 가 Staggered 방식을 통하여 n ($n \geq 1$)개의 채널을 통하여 broadcast된다. $C_j^{D_2}$ 의 대역폭은 b 이고 서브세그먼트의 순서는 그림 4에 표시된 것과 같다. 하여 총 소모 대역폭은 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$B = \sum_{i=0}^{\frac{N+1}{2}-1} \frac{b}{i+1} + hb \quad (3)$$

3.3 클라이언트의 수신 방법

만약 클라이언트에 충분한 공간이 있으면 S_0 을 먼저 precaching한다. 만약 request한 비디오가 precaching이 안됐으면 아래의 방법대로 실행한다.

클라이언트는 $C_1^{D_1}$ 부터 $C_{N-1}^{D_1}$ 에서 서브 세그먼트를 동시에 다운로드 한다. D_1 을 다 받으면 $C_i^{D_1}$ ($i=1$

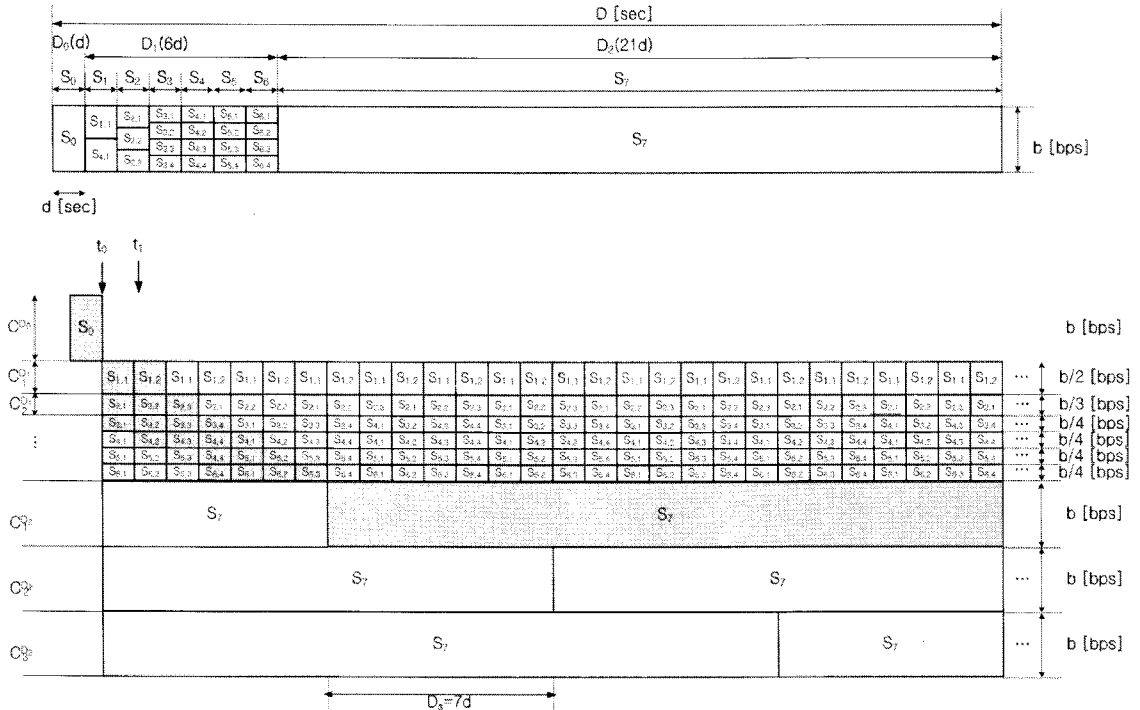


그림 4. PSS 전송방법의 예 ($N=7, h=3$).

, ..., N-1)에서부터 다운로드를 중지한다. 마지막 세그먼트 S_N 은 S_N 시작타임이 처음 나타날 때부터 $C_j^{D_j}$ ($j=1, \dots, n$)을 통하여 다운로드 한다.

그림 4는 $h=3, N=7$ 일 때 PSS 방식의 동작하는 방법을 보여준다. 여기서 전체 비디오 길이 D 는 $h(=3)$ 에 의해 D_0, D_1 과 D_2 로 분할되어 있다. ($D_0 = d, D_2 = 3(D_1 + d)$) D_1 은 동일한 길이의 6개 세그먼트(S_1, \dots, S_6)로 분할되어 있다. D_1 의 i 번째 세그먼트도 동일한 길이로 $i \leq 2$ 일 때 i 개 서브 세그먼트 $\{S_{i,1}, \dots, S_{i,i+1}\}$ 로, $i \geq 3$ 일 때 세그먼트 $\{S_{i,1}, \dots, S_{i,k}\}$ ($k = \lfloor \log_2 i + 1 \rfloor + 2$)로 분할되어 있다

IV. 성능모델링

PSS방식을 성능모델링하기 위해 본 논문에서는 비디오의 길이를 모두 6000초(100분)로 하였고, 비디오 분할계수는 3또는 5로 하여 다른 방식들과 비교하였다. 시청자의 최대 대기시간과 시청자의 최대 버퍼 요구량 그리고 시스템 복잡도를 기준으로 Staircase 전송 방식, Harmonic 전송 방식을 PSS 방식과 비교하였다.

4.1 사용자 대기시간

Precaching한 경우를 제외하면 사용자의 최대 대기시간은 S_0 을 받는 시간과 같다. 하여 수식 (2)와 (3)에 의해 다음과 같이 표시된다.

$$d = \frac{D}{(h+1)(N+1)} \quad (4)$$

따라서 소모하는 전체 대역폭 B 와 사용자의 최대 대기시간의 관계는 다음과 같다.

$$B = \sum_{i=1}^{\frac{N+1}{2}-1} \frac{b}{i+1} + (h+1)b \quad (5)$$

참고논문 [5]와 [7] 그리고 수식 (5)에 의해 모델링을 해본 결과 그림 5에 표시된 것처럼 사용자 대기시간은 성능이 제일 우수한 Harmonic과 비슷하여 Staircase 보다는 많이 우수한 성능을 보였다.

$\beta=9$ 일 때 PSS, Harmonic, Staircase의 사용자의 최대 대기시간은 각각 1.3초, 1.2초, 12초였다. 그리고 β 가 커짐에 따라 점점 더 Harmonic 방식에 근접하는

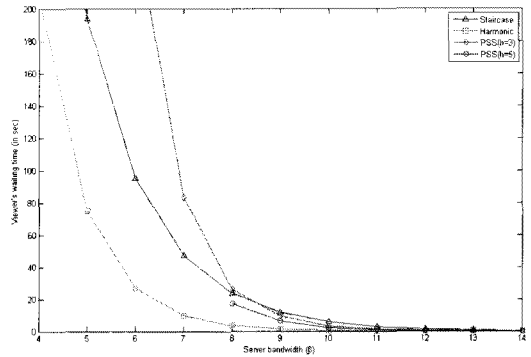


그림 5. PSS방식과 기존 NVoD 방식의 사용자 대기시간 비교 ($h=3, 5$)

추세를 보였다.

4.2 시청자 버퍼 요구량

그림 6으로부터 D_2 의 버퍼증가율은 $t_0 + (N-1)d$ 까지 D_1 의 버퍼증가율보다 크다는 것을 알 수 있다. 그러므로 이 기간에서는 버퍼 요구량이 증가한다. 즉 t_0 부터 $t_0 + (N-1)d$ 까지 기간에서 $2D_1b$ 만큼의 데이터를 받지만 D_1b 만큼의 데이터를 소모한다. 그러므로 시청자 최대 버퍼 요구량은 다음과 같다.

$$Z = D_1b \quad (6)$$

그림 6은 사용자 최대 버퍼 요구량과 비디오 전송에 필요한 대역폭과의 관계를 나타내고 있다.

결과는 $h=3, \beta=8$ 일 때 사용자 최대 버퍼 요구량은 최고성능의 Staircase과 비슷하였고 $h=5$ 일 때 $h=3$ 일 때보다 더 좋은 성능을 보여 Staircase보다 더 좋은 성능을 보였다. $\beta=9$ 일 때 PSS방식은 0.16Db, Harmonic 방식은 0.38Db, Staircase 방식은 0.25D로서 PSS방식

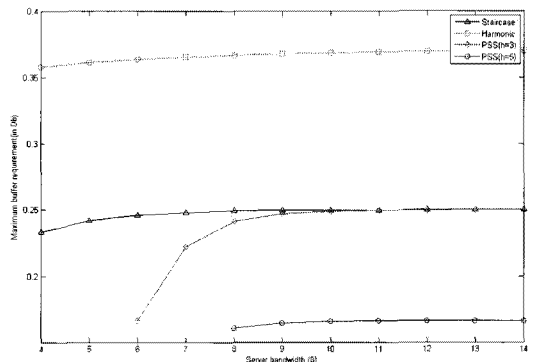


그림 6. PSS방식과 기존 NVoD 방식의 시청자 최대 버퍼 요구량 비교 ($h=3, 5$)

은 Harmonic 방식보다 60%, Staircase 방식보다 35% 더 적다.

4.3 시스템 복잡도

VoD 시스템 구성의 복잡도는 구현을 위해서는 중요한 요소이다. 아무리 성능이 우수한 VoD 구현 방식이라 할지라도 복잡도가 너무 크게 되면 구현이 어렵게 되어 실용성이 떨어지게 되고 VoD 서버와 셋탑박스의 가격 상승의 요인이 되기 때문이다. VoD 시스템 구성에서 VoD 서비스를 위한 비디오 데이터의 서브 세그먼트 수, 동시 관리 채널수, 동시 사용 채널수, 수요대역폭 등이 복잡도를 높이는 중요한 요인들이 된다. 표 1은 PSS 방식과 기존 성능이 우수한 VoD 방식들의 복잡도를 비교해서 나타내었다.

$$N_H \text{는 Harmonic 방식}^{[5]} \text{에서 온 변수로써 } \beta = \sum_{i=1}^{N_H} \frac{1}{i}$$

이다. 표 1은 서브 세그먼트 수 β , 전체 비디오 길이 D , 사용자 대기시간 d 사이의 관계를 잘 나타내주고 있다

표 1의 결과에서 알 수 있듯이 논문에서 제안된 PSS 방식은 비디오 데이터 분할의 수를 획기적으로 줄였고, 긴 비디오 데이터의 뒷부분은 하나의 데이터로 처리 하여 관리 채널수와 동시 사용 채널수도 크게 줄였다. 뿐만 아니라 PSS 방식이 적용되는 짧은 비디오 데이터 앞부분에서만 동시 사용 채널이 발생한다. 결과적으로, 전체적인 시스템 복잡성을 크게 개선하여 간단한 구조로 VoD 서비스를 가능하게 하였다.

4.4 분할 계수 h의 영향

그림 6과 표 1로부터 PSS와 다른 방식들 간의 차이는 분할 계수 h 에 따라 변화한다는 것을 알 수 있다. 하여 이 부분에서는 PSS에서 분할 계수 h , d 와 Z 사

표 2. PSS 방식과 기존 NVoD 방식의 시스템 복잡도 비교의 예($\beta = 5$, $D=100$ min, $d=3.5$ min, $h=3$)

방식	서브 세그먼트 수	관리 채널 수	동시 사용 채널 수
Staircase	349525	2000	512
Harmonic	2001000	2000	2000
PSS	20001	210	101

이의 관계에 대해 분석해보고자 한다. 여기서도 역시 D 는 100분, β 는 5,7,9이고 h 는 1부터 9까지의 값을 취한다.

그림 7가 보여주다시피 β 가 고정되었을 때 h 가 커지면 d 도 커진다. 즉, PSS의 채널수가 더 많을수록 d 가 더 커진다는 뜻이다.

그림 8은 Z 와 h 사이의 관계를 보여준다. 이 그림은 h 가 커짐에 따라 Z 가 작아진다는 것을 보여준다. 이 결과는 더 많은 채널이 PSS 방식 중의 스테이지드 방식에 할당 되었을 때 Z 가 작아진다는 것을 알 수 있다. Z 는 h 가 작을 때 β 가 어떤 값이든지 관계없이 거의 같은 값을 가진다. 즉 더욱 적은 대역폭을 할당할 때 β 에 많이 상관없이 더욱 적은 데이터가 사용자에게 버퍼 링된다.

그림 7과 8로부터 h 가 커짐에 따라 d 는 커지고 Z 는 작아진다는 것을 알 수 있다. 즉 β 가 고정되었을 때 d 와 Z 사이에 tradeoff가 존재한다는 것을 알 수 있다. 이런 특성을 이용하여 주어진 환경에 따라 시스템을 적응적으로 디자인할 수 있다.

그림 9부터 11까지에서는 h , d 그리고 서브세그먼트 수, 동시 관리채널수, 동시 사용채널수 사이의 관계를 보여주었다. h 또는 d 가 증가할 때 복잡도 인수들은 모두 감소한다. 이것은 복잡도 인수와 h (또는 d)사이에 tradeoff가 있다는 것을 알 수 있다. 따라서

표 1. PSS 방식과 기존 NVoD 방식의 시스템 복잡도 비교

방식	서브 세그먼트 수	관리 채널 수	동시 사용 채널 수	수요대역폭 β
Staircase	$\sum_{j=1}^{\lfloor \log_2(\frac{D}{d}+1) \rfloor} (2^{j-1})^2$	$\frac{D}{d}$	$2^{\lfloor \log_2(\frac{D}{d}+1) \rfloor - 1}$	$\lfloor \log_2(\frac{D}{d}+1) \rfloor$
Harmonic	$\frac{D(D+d)}{2d^2}$	$\frac{D}{d}$	$\frac{D}{d}$	$\sum_{i=1}^D \frac{1}{i}$
PSS	$\frac{D[D-(h+1)d]}{4d^2(h+1)^2} + \frac{D}{[2(h+1)d+1]^2}$	$\frac{D}{d(h+1)} + h + 1$	$\frac{D}{2d(h+1)} + 1$	$\frac{D}{2d(h+1)^{-1}} \sum_{i=1} \frac{1}{i+1} + h + 1$

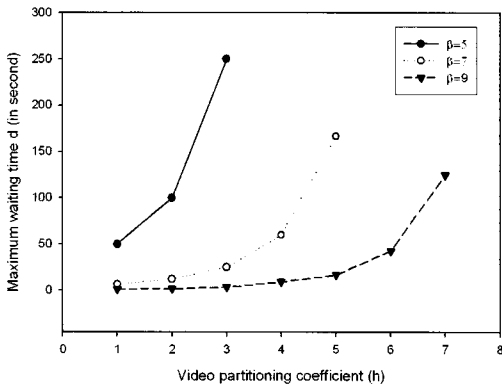


그림 7. $\beta=5$ 일 때 PSS에서 h와 d 사이의 관계.

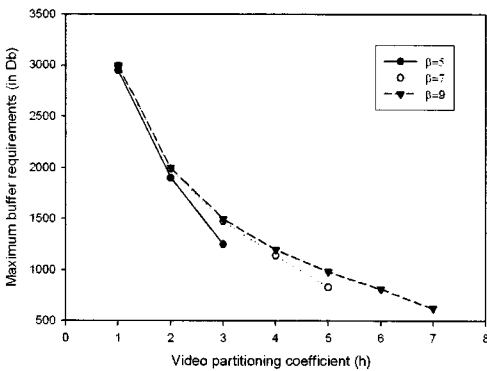


그림 8. $\beta=5,7,9$ 일 때 PSS에서 h와 Z사이의 r관계

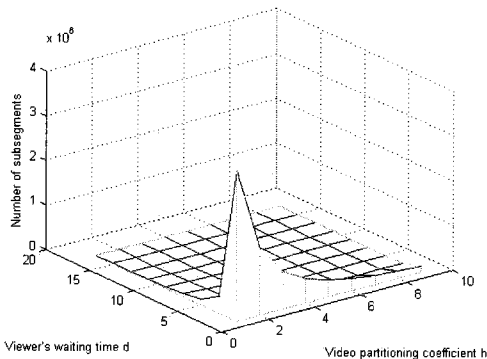


그림 9. $\beta=1-9$ 일 때 PSS에서 h와 d 그리고 서브세그먼트사이의 관계

PSS는 간단한 방법으로 응용될 수 있다.

V. 결론

본 논문은 NVoD 방식들 중에서 사용자 대기시간 효율성이 제일 좋은 Polyharmonic 전송 방식, 버퍼 요구량이 제일 적은 Staircase 전송 방식과 간단한 구조

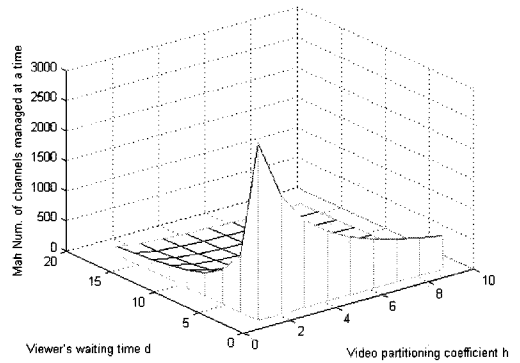


그림 10. $\beta=1-9$ 일 때 PSS에서 h와 d 그리고 동시 관리 채널수사이의 관계

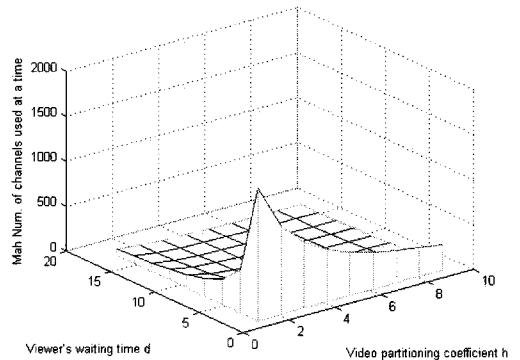


그림 11. $\beta=1-9$ 일 때 PSS에서 h와 d 그리고 동시 사용 채널수사이의 관계

로 적용이 가능한 Staggered 전송 방식의 장점을 상호 결합한 PSS 방식을 제안 하였다.

PSS 방식을 사용하면 최대 시청자 대기시간이 Polyharmonic과 비슷하고, 시청자 버퍼 요구량은 데이터 크기의 25%정도로 우수한 성능을 보였다. 또한 분할 계수 h의 조절에 의해 더 큰 성능향상이 가능하다.

제안된 방식은 우수한 성능과 더불어 기존에 제안된 다양한 NVoD 방식들의 단점인 세그먼트 수, 동시 관리채널수, 동시 사용채널수와 같은 시스템 복잡도를 줄임으로써 기존 제안된 NVoD 방식보다 실용적이고 효율적인 방식이다. 그리고 시청자 수에 의한 성능의 영향이 없기 때문에 대규모의 서비스에도 적용 가능하다. 또한 비디오 분할 계수를 이용하여 비디오를 분할함으로써 시청자 대기시간과 필요한 버퍼량을 조절할 수 가 있었다. 이것은 NVoD 방식이 적용되는 환경에 따라 이들을 조절해서 적용이 가능하게 해준다. 마지막으로 PSS가 하모닉 스테퍼드 방식보다 성능이 우월하다는 것을 증명하였다. 따라서 제안된 방식은 많은 시청자를 지원하는 NVoD 시스템에 적용이 가

능하다. 향후 이러한 연구를 바탕으로 NVoD 방식의 복잡성을 더욱 감소시키면서 우수한 성능을 유지할 수 있는 다양한 NVoD 방식에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Y. C. Tseng, M. H. Yang and C. H. Chang, A recursive frequency-splitting scheme for broadcasting hot videos in VoD service, *IEEE Trans. on Communications*, Vol.50, pp.1348-1355, 2002.
- [2] S. Viswanathan and T. Imielinski, Pyramid Broadcasting for video on demand service, In *IEEE Multimedia Computing and Networking Conference*, Vol.2417. pp.66-77, 1995.
- [3] Kien A. Hua and S. Sheu, Skyscraper Broadcasting a new broadcasting scheme for metropolitan video-on-demand systems, *SIGCOMM 97*, pp.89-100, 1997.
- [4] L. S. Juhn and L. M. Tseng, Fast data broadcasting and receiving scheme for popular video service, *IEEE Trans. on Broadcasting*, Vol.44, pp.100-105, 1998.
- [5] L. S. Juhn and L. M. Tseng, Harmonic broadcasting for video-on-demand service, *IEEE Trans. on Broadcasting*, Vol.43, No.3, pp.268-271, 1997.
- [6] L. S. Juhn and L. M. Tseng, Enhanced harmonic data broadcasting and receiving scheme for popular video service, *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol.44, pp.343-346, 1998.
- [7] L. S. Juhn and L. M. Tseng, Staircase data broadcasting and receiving approach for hot video service, *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol.43, pp.1110-1117, 1997.
- [8] S. Viswanathan and T. Imielinski, Metropolitan area video-on demand service using pyramid broadcasting, *IEEE Multimedia Systems*, Vol.4. pp.197-208, 1996.
- [9] C. C. Aggarwal, J. L. Wolf and P. S. Yu, A permutation-based pyramid broadcasting scheme for video-on-demand system, *Proc. IEEE Int. Conf. Multimedia Computing and Systems*, pp.118-126, 1996.
- [10] H. K. Sul, H. Kim and K. Chon, A hybrid pagoda broadcasting protocol with partial preloading, *Proc. Int. Conf. Multimedia and Expo*, pp.801-804, 2003.
- [11] W. Chien, Y. Yeh and J. Wang, Practical Channel Transition for Near-VoD Services, *IEEE Trans. on Broadcasting*, Vol.51, No.3, pp.360-365, 2005.
- [12] J. Paris, S. Carter and D. Long, A hybrid broadcasting protocol for video on demand, *Proc. 1999 Multimedia Computing and Networking Conference*, pp.317-326, 1999.
- [13] J. Paris, A simple low-bandwidth broadcasting protocol for video-on-demand, *Proc. 8th Int. Conf. Computer Communications and Networks*, pp.118-123, 1999.
- [14] K. Almeroth and M. Ammar, The use of multicast delivery to provide a scalable and interactive video-on-demand service, *IEEE Journal on Selected Area in Communications*, Vol.14, No.5, pp.1110-1122, 1996.
- [15] Z. Y. Yang, L. S. Juhn and L. M. Tseng, On optimal broadcasting scheme for popular video service. *IEEE Trans. on Broadcasting*, Vol.45, pp.318-322, 1999.
- [16] S. Chand and H. Om, Modified Staircase Data Broadcasting Scheme for Popular Videos, *IEEE Trans. on Broadcasting*, Vol.48, No.4, pp.274-280, 2002.
- [17] H. C. Yang, H. F. Yu, L. M. Tseng and Y. M. Chen, An efficient staircase-harmonic scheme for broadcasting popular videos, *Consumer Communications and Networking Conference*, pp.122-127, 2005.
- [18] S. Chan and S. Yeung, Client buffering techniques for scalable video broadcasting over broadband networks with low user delay, *IEEE Trans. on Broadcasting*, vol.48, no.1, pp.19-26. 2002.
- [19] J. Paris, S. Carter and D. Long, A low bandwidth broadcasting protocol for video on demand, *Proc. Int. Conf. on Computer Communications and Networks*, pp.690-697, 1998.
- [20] Azad, S.A. Murshed, M., Dooley and L.S., A

novel batched multicast patching scheme for video broadcasting with low user delay, Proc. 3rd IEEE International Symposium, pp.339-342, 2003.

- [21] Y. C. Tseng, Y. C. Chueh and J. P. Sheu Seamless Channel Transition for the Staircase Video Broadcasting Scheme, IEEE/ACM Trans. on Networking, vol.12, no.3, pp.559-571, 2004.
- [22] H. F. Yu, H. C. Yang, P. H. Ho, Y. M. Chen and L M Tseng A smooth broadcasting scheme for VBR-encoded hot videos, Computer Communications 29, pp.2904 - 2916, 2006

박 세 응 (Saewoong Bahk)

종신회원



1984년 서울대학교 전기공학과
학사

1986년 서울대학교 전기공학과
석사

1991년 University of Pennsyl-
vania 박사

1991년~1996년 AT&T Bell
Lab

1994년~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수
<관심분야> 차세대 무선 네트워크, 네트워크 보안

이 찬 (Can Li)

정회원



2005년 남경공대 전자정보공학
과 학사

2008년 한양대학교 전자통신컴
퓨터공학과 석사

2008년~현재 서울대학교 전기
컴퓨터공학부 박사

<관심분야> 차세대 무선 네트
워크, 모바일 IPTV, 유무선 P2P 스트리밍