

## P2P 라이브 스트리밍 시스템을 위한 적응적 버퍼링 기법

김태영\*, 김은삼\*\*

### 요약

본 논문에서는 P2P 라이브 스트리밍 시스템에서 각 재생 구간에 속한 피어들의 버퍼링 데이터 중복 정도에 따라 버퍼링 구간의 길이를 적응적으로 조절하여 성능을 향상시키는 버퍼링 기법을 제안한다. 이를 위해 피어들의 재생 시점에 따라 피어들을 그룹핑한 후 해당 그룹에 속한 피어 수에 따라 그룹 내 피어들의 버퍼링 구간의 길이를 결정한다. 즉, 해당 그룹 내에서 이웃 피어들과의 중복해서 버퍼링되는 데이터가 많은 경우에는 버퍼링 구간의 길이를 감소시키는 반면 중복되는 버퍼링 데이터가 상대적으로 적은 경우에는 각 피어의 버퍼링 구간의 길이를 증가시킨다. 마지막으로 시뮬레이션 실험을 통해 본 논문에서 제안하는 버퍼링 기법이 기존의 메시 기반의 P2P 시스템에서 사용되는 고정 크기 버퍼링 기법에 비해 성능을 크게 향상시킨다는 것을 보인다.

키워드 : IPTV 시스템, P2P 라이브 스트리밍, 적응적 버퍼링, VCR 연산

## An Adaptive Buffering Scheme for P2P Live Streaming Systems

Taeyoung Kim\*, Eunsam Kim\*\*

### Abstract

In this paper, we propose a buffering scheme to improve the performance by adaptively adjusting the length of the buffering period according to the degree of data duplication among peers that belong to each specific playback period in P2P live streaming systems. To do so, we first assign all the peers into many groups depending on their playback time positions. We then determine the length of their buffering periods according to the number of peers belonging to each group. That is, we increase the length of the buffering periods when much buffered data are duplicated among peers within a group while we decrease it when few buffered data are duplicated. By simulation experiments, we show that our proposed buffering scheme can improve the performance significantly compared to the fixed length buffering scheme that have been employed in the existing mesh-based P2P systems.

Keywords : IPTV System, P2P Live Streaming, Adaptive Buffering, VCR Operations

### 1. 서론

최근 네트워크의 광역화와 디지털 기술의 발

진으로 IP 네트워크 기반으로 멀티미디어 서비스를 제공하는 IPTV 서비스가 등장하였다. 인터넷 환경에서 IPTV 서비스 규모가 커지고 VOD와 같은 개인화된 서비스가 일반화되면 현재의 CDN(Content Distribution Network) 기반의 구조는 추가적인 높은 설치비용으로 인해 확장성에 한계가 발생할 수 있다. 따라서 이에 대한 대안으로 확장성이 높고 낮은 설치비용으로 구현할 수 있는 P2P 기반의 IPTV 시스템이 주목받고 있다[1]. 현재 대부분의 P2P 스트리밍 시스템이 사용하고 있는 메시 기반의 구조는 클라이언트-서버 방식과 달리 각 피어가 자신이 저장하고 있는 데이터를 다른 피어와 서로 공유함으로써

※ 교신저자(Corresponding Author): Eunsam Kim  
접수일:2012년 11월 06일, 수정일:2012년 12월 06일  
완료일:2012년 12월 17일  
\* 홍익대학교 컴퓨터공학과  
\*\* 홍익대학교 컴퓨터공학과  
Tel: +82-2-320-3011, Fax: +82-2-332-1653  
email: eskim@hongik.ac.kr

■ 이 논문은 2012학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음.

써 필요한 데이터를 확보한다[2,3,4,5]. 즉, 각 피어는 자신의 데이터 저장 상태를 청크(chunk) 단위로 나타내는 버퍼맵(buffermap) 정보를 다른 피어들과 서로 교환하여 필요한 데이터가 어느 피어에 저장되어 있는지 파악한다.

기존의 VOD 서비스 중심의 P2P 스트리밍 시스템에서는 성능 향상을 위해 캐싱(caching)과 프리패칭(prefetching)과 같은 버퍼링 기법에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다[6,7,8,9]. P2P VOD 시스템에서는 각 피어가 보유하기 원하는 비디오 파일들을 자신의 저장 장치에 저장한 후에 그 비디오들을 다른 피어들과 공유함으로써 VOD 서비스를 제공할 수 있게 된다. 즉, 각 피어는 해당 비디오를 이미 저장하고 있는 다른 피어들을 이웃피어로 선정한다. 이웃 피어들이 해당 비디오 파일 전체를 이미 저장하고 있기 때문에 재생에 필요한 데이터를 미리 요청만 하면 원하는 양의 데이터를 쉽게 확보할 수 있다. 정상 속도 재생뿐만 아니라 빨리 감기, 되감기 등의 VCR 기능이 수행되어 재생 속도가 변경되더라도 필요한 데이터를 미리 예측할 수 있기 때문에 버퍼링을 쉽고 효과적으로 수행할 수 있다.

반면 실시간 방송 데이터를 전송하는 P2P 라이브 스트리밍 시스템은 실시간 방송을 시청하는 것을 목적으로 하기 때문에 실시간 방송 시점 전후의 원활한 재생을 위한 최소한의 데이터만을 메인 메모리에 버퍼링한다. 따라서 피어들이 데이터를 공유하기 위해서는 짧은 버퍼링 구간들이 서로 최대한 중복되는 것이 필요하다. 하지만 P2P 시스템의 특성상 채널을 전환한 시점에 따라 각 피어들의 서버와의 재생 시간 차(lag time)가 각 피어의 버퍼링 구간보다 클 수 있기 때문에 피어들이 모두 라이브 시점을 재생하고 있더라도 버퍼링 구간이 다를 수 있다. 더구나 VCR 기능을 지원하게 되면 피어들의 재생 위치가 더욱 분산되게 된다. 또한 피어들은 일반적으로 라이브 시점에 재생 위치가 집중되는 경향이 있기 때문에[10] 라이브 방송 시점에서 멀어질수록 피어들의 수가 급격히 감소하여 버퍼링 구간들이 서로 중복될 가능성이 줄어들게 된다. 이와 같이 피어들이 제한된 짧은 구간에 대해서만 버퍼링을 수행하고 피어들의 버퍼링 구간도 분산되는 P2P 라이브 스트리밍 서비스의 특성으로

인해 기존의 VOD 시스템을 위한 버퍼링 기법을 그대로 적용하는 것이 불가능하다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 P2P 라이브 스트리밍 서비스의 특성을 고려하여 각 재생 시점에 있는 피어들의 버퍼링 구간의 데이터 중복 정도에 따라 버퍼맵 크기를 적응적으로 조절하여 성능을 향상시키는 버퍼링 기법을 제안한다. 이를 위해 피어들의 재생 시점에 따라 피어들을 그룹핑한 후 해당 그룹에 속한 피어 수에 따라 그룹 내 피어의 버퍼맵 크기를 적응적으로 조절한다. 즉, 해당 그룹에 속한 피어 수가 최대 임계 피어 수 이상일 경우 이웃 피어들과 중복해서 버퍼링되는 데이터가 많기 때문에 버퍼맵의 크기를 감소시킨다. 반면 해당 그룹에 속한 피어 수가 최소 임계 피어 수 이하일 경우 공유할 수 있는 데이터의 양이 상대적으로 적기 때문에 버퍼맵의 크기를 확장시켜서 각 피어의 버퍼링 구간을 늘린다.

마지막으로 시뮬레이션 실험을 통해 본 논문에서 제안하는 구간 적응적 버퍼링 기법이 기존의 메시 기반의 P2P 시스템에서 사용되는 고정 크기 버퍼링 기법에 비해 성능을 크게 향상시킨다는 것을 보인다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 P2P 스트리밍 시스템에서 버퍼링 기법에 관련된 기존 연구들을 기술한다. 3장에서는 기존의 고정 크기 버퍼링 기법의 문제점과 논문에서 제안하는 구간 적응적 버퍼링 기법에 대해 설명한다. 4장에서는 본 논문에서 제안하는 구간 적응적 버퍼링 기법과 기존 고정 크기 버퍼링 기법과의 성능 차이를 실험을 통해 분석한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 서술한다.

## 2. 관련 연구

P2P 스트리밍에 대한 연구에서는 초기에 트리 기반의 구조가 제안되었지만 각 피어가 서비스에 가입하거나 탈퇴할 때마다 트리를 새롭게 구성해야 하는 오버헤드가 크고 피어가 트리의 루트 노드에서 멀어질수록 지연시간이 증가되는 문제가 발생하였다[11,12,13]. 이러한 문제를 해결하기 위해 CoolStreaming[2], AnySee[3], PPLive[4], ContinueStreaming[5] 등과 같은 메

시 기반의 구조가 등장하였다. 메시 기반의 P2P 스트리밍 시스템에서는 트리와 같은 특정 구조를 구성할 필요 없이 단지 각 피어가 버퍼맵을 이웃 피어들과 교환함으로써 자신에게 필요한 데이터를 파악하여 전송받을 수 있다.

VOD 중심의 P2P 스트리밍 시스템에서는 성능 향상을 위해 여러 버퍼링 기법들이 제안되었다. P2VOD[6]에서는 VOD 멀티캐스트 트리에서 피어의 가입이나 탈퇴 시 지연 시간을 줄이기 위해 메시 기반의 버퍼맵 구조를 이용하여 협업 캐싱 기법을 제안하였다. POPCA[7]는 멀티미디어 콘텐츠를 세그먼트로 나누어서 세그먼트의 인기도와 공급의 불일치를 감소시키고 세그먼트가 저장된 피어들의 거리를 최소화하는 기법을 제안하였다. 또한 요청 순서로 캐싱할 데이터를 결정하는 기존의 FIFO 협업 캐싱과 달리 주변 피어에게 자주 전송한 비디오 패킷 위주로 캐싱을 수행하는 Video-Popularity Based Caching[8] 기법도 제안되었다. 프록시 서버에서와 같이 피어가 이전에 시청한 패킷을 보유하고 있다가 다른 피어에게 제공하는 DUFCA[9] 기법도 제안되었다. 하지만 이 기법들은 모두 VOD 중심의 P2P 스트리밍 시스템을 기반으로 동작한다. 즉, 피어들이 비디오 파일 전체를 재생 시작 이전에 이미 저장하고 있기 때문에 필요한 데이터를 미리 예측하여 프리페칭하는 방식으로 수행된다.

한편 P2P 라이브 스트리밍 시스템에서의 연구는 주로 초기 재생 지연 시간을 줄이거나 재생 연속성을 증가시키기 위해 효과적인 오버레이 구조를 개발하는데 집중되어 왔다. 더구나 P2P 라이브 스트리밍 구조에서 VCR 기능을 지원하는 연구도 현재까지 거의 진행되지 않았기 때문에 각 피어의 재생 시점에 따른 버퍼링 기법에 대한 연구도 진행되지 않았다. 본 논문에서는 P2P 라이브 스트리밍 서비스의 특성을 고려하여 각 구간에서 재생 중인 피어들의 버퍼링 상태에 따른 버퍼맵 크기를 조절하여 성능을 향상시키는 새로운 버퍼링 기법을 제안한다.

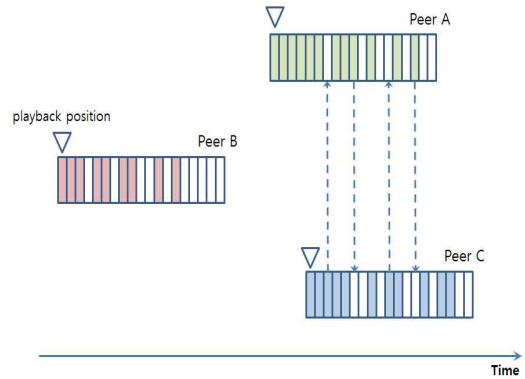
### 3. 구간 적응적 버퍼링 기법

본 장에서는 기존 메시 기반 P2P 스트리밍 시

스템에서 사용한 고정 크기 버퍼링 기법의 문제점에 대해 기술한 후 이러한 문제점을 극복할 수 있는 본 논문에서 제안하는 구간 적응적 버퍼링 기법에 대해 자세히 설명한다.

#### 3.1 기존 고정 크기 버퍼링 기법의 문제점

(그림 1) 기존 고정 크기 버퍼링 기법의 문제점



(Figure 1) Problem of the conventional fixed size buffering scheme

기존의 메시 기반의 P2P 스트리밍 구조에서는 피어들이 주기적으로 버퍼맵을 서로 교환한다. 각 피어는 이웃 피어들로부터 전송받은 버퍼맵을 통해 자신이 필요한 비디오 청크를 어느 피어가 저장하고 있는지 파악하여 그 피어에게 해당 청크에 대한 전송을 요청한다. 이때 (Figure 1)에서의 '피어 B'와 같이 자신이 버퍼링 해야 할 구간이 다른 피어들이 현재 버퍼링하고 있는 구간과 전혀 중복되지 않는다면 이웃 피어로부터 현재 재생에 필요한 데이터를 전송받을 수 없게 된다. 이런 경우에는 트래커 서버가 재생 시점이 다른 새로운 이웃 피어들을 선정하여 해당 피어에게 알린다. 해당 피어는 새로운 이웃 피어들로부터 데이터를 전송받기 위해 현재 재생 시점으로부터 일정 구간을 건너뛴으로써 다른 피어들과 버퍼링 구간을 동기화하게 된다.

기존의 메시 기반의 P2P 스트리밍 구조에서는 각 피어의 버퍼맵 크기가 고정되어 있다. 따라서 피어들 간의 서버와의 재생 시간 차이가

커지거나 VCR 연산 지원으로 인해 피어들의 재생 시점이 분산되는 정도가 커질수록 피어들의 버퍼링 구간이 중복되는 정도가 더욱 감소하게 된다. 이것은 동기화를 위해 재생 구간을 건너뛰는 경우를 빈번하게 발생시켜서 P2P 스트리밍 성능을 전체적으로 저하시키게 된다.

### 3.2 구간 적응적 버퍼링 기법

본 논문에서는 P2P 라이브 스트리밍 시스템에서 각 재생 시점에 있는 피어들의 버퍼링 구간의 데이터 중복 정도에 상태에 따라 버퍼맵 크기를 적응적으로 조절하는 버퍼링 기법을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 P2P 라이브 스트리밍 시스템에서는 트래커 서버가 접속한 피어들의 재생 시점 정보를 이용하여 재생 구간을 일정한 간격으로 나눈 후 각 구간에 속한 피어들을 그룹핑한다. 각 피어는 시청을 위해 접속하거나 VCR 기능을 통해 재생 시점이 변경되어 특정 그룹에 새롭게 속하게 되는 경우에 트래커 서버에게 새로운 이웃 피어들을 선정해 줄 것을 요청한다. 이때 트래커 서버는 요청한 피어가 속한 그룹 내의 피어들을 우선적으로 선정하지만 해당 그룹 내에서 청크를 전송할 수 있는 피어의 수가 충분하지 않다면 재생 시점을 기준으로 인접한 다른 그룹에서 이웃 피어들을 선정할 수 있다. 이러한 그룹핑 구조를 바탕으로 해당 그룹에 속한 피어 수에 따라 그룹 내 피어들의 버퍼맵 크기를 적응적으로 조절한다. 이를 위해 트래커 서버는 각 그룹 내의 피어 수와 최대 혹은 최소 임계 피어 수와의 차이 값을 주기적으로 검사한다.

이때 특정 그룹에 속한 피어 수가 최소 임계 피어 수보다 적다면 이 재생 구간에서 피어들이 서로 공유할 수 있는 데이터의 양이 상대적으로 적다는 것을 의미한다. 따라서 이 그룹 내 현재 피어 수에 따라 피어들의 버퍼맵 크기를 확장시켜서 각 피어의 버퍼링 구간을 늘인다. 즉, (1)에서와 같이 해당 그룹 내 최소 임계 피어 수 ( $Th_{min}$ )와 그룹 내 현재 피어 수( $N_{pg}$ )의 차이만큼의 임의의 피어들을 버퍼맵을 확장시킬 피어들로 선정한다.

$$\begin{cases} Th_{min} - N_{pg} & \text{if } Th_{min} > N_{pg} \\ N_{pg} - Th_{max} & \text{if } Th_{max} < N_{pg} \end{cases} \dots (1)$$

또한 (1)에서 구한 해당 그룹 내 최소 임계 피어 수와 그룹 내 현재 피어 수의 차이에 비례하여 확장시킬 버퍼맵 크기를 결정하기 위해 (2)에서와 같이 최대 버퍼맵 크기( $B_{max}$ )와 최소 버퍼맵 크기( $B_{init}$ ) 차이 값이 (1)에서 구한 값에 비례하도록 곱해서 최소 버퍼맵 크기( $B_{init}$ )를 합산한다.

$$\begin{cases} B_{init} + (B_{max} - B_{init}) * (1 - \frac{N_{pg}}{Th_{min}}) \\ B_{init} - (B_{init} - B_{min}) * (\frac{N_{pg}}{Th_{max}} - 1) \end{cases} \dots (2)$$

한편 특정 그룹에 속한 피어의 수가 최대 임계 피어 수보다 크다면 이 재생 구간에서는 피어들이 중복해서 버퍼링되는 데이터가 많다는 것을 의미하므로 버퍼맵 크기를 감소시킨다. 즉, (1)에서와 같이 그룹 내 현재 피어 수( $N_{pg}$ )와 해당 그룹 내 최대 임계 피어 수( $Th_{max}$ )의 차이만큼의 피어들을 임의로 선정하여 그들의 버퍼맵 크기를 감소시킨다. 또한 (1)에서 구한 차이 값에 비례하여 감소시킬 버퍼맵 크기를 결정하기 위해 (2)에서와 같이 최소 버퍼맵 크기( $B_{init}$ )와 최대 버퍼맵 크기( $B_{min}$ ) 차이 값을 (1)에서 구한 값에 비례하도록 곱해서 최소 버퍼맵 크기( $B_{init}$ )에서 이 값을 감산한다.

이와 같이 본 논문에서 제안하는 구간 적응적 버퍼링 기법은 기존의 고정 크기 버퍼링 기법과 달리 피어들의 재생 시점이 넓게 분산되는 환경에서도 버퍼맵 크기를 적절히 조절하여 피어들의 버퍼링 구간이 일정한 수준의 중복을 유지하도록 한다. 따라서 재생 구간을 건너뛰어야 하는 동기화하는 경우를 최소화함으로써 전체적으로 P2P 스트리밍 성능을 향상시킬 수 있다.

<표 1> 실험 파라미터

Parameter	Value
Number of participating peers	1200/800/400
Bandwidth between an edge router and a peer	100Mbps
Bandwidth between backbone networks	10Gbps
Number of peers directly connected to the media server	20
Maximum number of neighbor peers	6
Video playback rate	720Kbps
Chunk size	30KB
Initial size of buffermap ( $B_{init}$ )	256 chunks
Maximum size of buffermap ( $B_{max}$ )	512 chunks
Minimum size of buffermap ( $B_{min}$ )	128 chunks
Minimum threshold number of peers within a group ( $Th_{min}$ )	3
Maximum threshold number of peers within a group ( $Th_{max}$ )	10
Simulation running time	6000sec

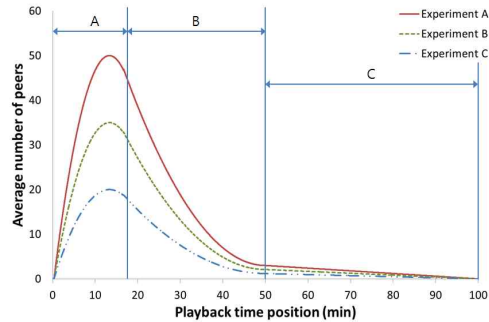
<Table 1> Experimental parameters

### 4. 성능 평가

본 논문에서는 퀄넷(QualNet)을 사용하여 메시구조 기반의 P2P 라이브 스트리밍 구조에 대한 시뮬레이션을 6000초 동안 수행하였다. 먼저 본 논문에서 제안하는 구간 적응적 버퍼링 기법에서 피어 수에 따른 성능을 보이기 위해 피어 수를 1200개(실험 A), 800개(실험 B), 400개(실험 C)로 나누어 수행하였다. 일반 피어와 라우터 사이의 대역폭은 100Mbps로 설정하였고 백본 네트워크는 10Gbps로 설정하였다. 서버가 직접 푸시 방식으로 데이터를 전송하는 최대 일반 피어 수는 20개로 설정했고 각 일반 피어가 연결하는 최대 이웃 피어 수는 6개로 설정했다. 각 피어는 가입과 탈퇴를 반복하는 동적 환경을 구성하였다. 또한 각 비디오의 재생율은 720Kbps, 청크 크기는 30KB로 가정하였다.  $B_{init}$ ,  $B_{min}$ ,  $B_{max}$ 는 각각 청크 256개, 128개, 512개이며  $Th_{min}$ 와  $Th_{max}$  값은 각각 3개과 10개로 설정하였다. 고정 크기 버퍼링 기법에서는 버퍼맵 크기가 최초 버퍼맵 크기( $B_{init}$ )로 고정되는 반면 구

간 적응적 버퍼링 기법에서는 최소 버퍼맵 크기( $B_{min}$ )와 최대 버퍼맵 크기( $B_{max}$ ) 사이에서 버퍼맵 크기가 적응적으로 변경될 수 있다. 자세한 실험 파라미터는 <Table 1>에 제시되어 있다.

(그림 2) 재생 시점과 평균 피어 수



(Figure 2) Playback time position and the average number of peers

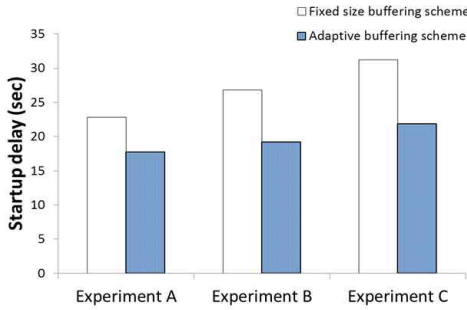
한편 일반적으로 타임시프트 TV에서 피어들의 재생 시점이 라이브 방송 시점에 집중되는 경향[10]을 반영하기 위해 (Figure 2)의 그래프와 같이 세 가지 구간으로 구분하여 피어 수를 배분하였다. 즉, 전체 6000초를 기준으로 라이브 방송 시점으로부터 1000초 이내의 구간(A 구간), 1000초부터 3000초까지의 구간(B 구간), 3000초부터 6000초까지의 구간(C 구간)에 각각 평균적으로 전체 피어의 50%, 40%, 10%를 배치하였다.

이와 같은 실험 환경에서 본 논문에서 제안하는 구간 적응적 버퍼링 기법과 기존의 고정 크기 버퍼링 기법의 성능을 초기 재생 지연 시간과 평균 지터 비율을 통해 비교 분석한다. 여기서 초기 재생 지연 시간(startup delay of playback)은 피어가 비디오 시청을 요청한 시점부터 실제 재생이 시작되는 시점까지의 지연 시간을 의미하며 지터 비율(jitter ratio)은 이웃 피어들에게 요청한 전체 청크들 중에서 재생을 위한 마감 시점까지 도착하지 못한 청크들의 비율을 의미한다.

#### 4.1 실험 결과

##### 4.1.1 초기 재생 지연 시간

(그림 3) 피어 수에 따른 초기 재생 지연 시간 비교



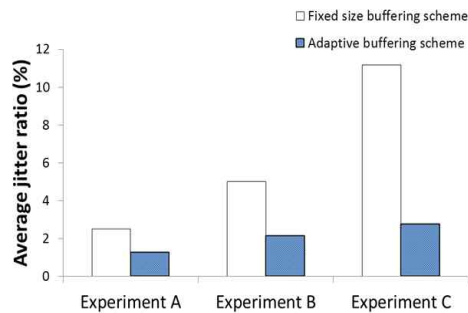
(Figure 3) Comparison of startup delay according to the number of peers

(Figure 3)은 시뮬레이션에 참가한 피어 수를 1200개(실험 A), 800개(실험 B), 400개(실험 C)로 감소시킬 때 본 논문에서 제안한 구간 적응적 버퍼링 기법과 기존의 고정 크기 버퍼링 기법의 초기 재생 지연 시간을 나타낸 것이다. 세 실험 환경 모두에서 본 논문에서 제안한 구간 적응적 버퍼링 기법의 초기 재생 지연 시간이 고정 크기 버퍼링 기법에 비해 더 짧다는 것을 알 수 있다. 즉, 구간 적응적 버퍼링 기법이 고정 크기 버퍼링 기법에 비해 실험 A, B, C에서 각각 5.08, 7.59, 9.35초 짧은 초기 재생 지연 시간을 보였다. 특히, 참가한 피어 수가 가장 적은 실험 C에서는 고정 크기 버퍼링 기법은 31.28초의 초기 재생 지연 시간을 보인 반면 구간 적응적 버퍼링 기법의 초기 재생 지연 시간은 21.92초로서 29.91%의 성능 향상을 보였다. 이것은 본 논문에서 제안한 구간 적응적 버퍼링 기법에서 특정 시점에 재생 중인 피어 수에 따라 해당 피어들의 버퍼맵 크기를 확장시킴으로써 피어들 간의 중복된 버퍼링 데이터의 양을 증가시킬 수 있었기 때문이다. 따라서 초기 재생에 필요한 데이터를 상대적으로 짧은 시간 내에 확보할 수 있는 것이다. 반면 기존 고정 크기 버퍼링 기법에서는 버퍼맵 크기가 고정되어 있기 때문에 특정 재생 구간에서 재생 중인 피어 수가 적더라도 피어들 간에 버퍼링된 데이터의 중복 정도를 높일 수 있는 방법이 없다. 단지 다른 피어들이 필요한 데이터를 확보하여 전송해 줄 때까지 기다려야 하므로 초기 재생을 위해서 상대적으로 긴 시간이 필요하다.

또한 (Figure 3)에서 보듯이 참가한 피어 수가 감소함에 따라 두 기법 모두 초기 재생 지연 시간이 길어진다는 것을 알 수 있다. 참가한 피어 수가 적어지면 각 재생 구간에서 시청하는 피어 수가 감소하여 연결 가능한 이웃 피어 수가 줄어들게 되어 초기 재생에 필요한 데이터를 확보하는데 더 많은 시간이 필요하다. 참가한 피어 수가 적어질 때 고정 크기 버퍼링 기법에서는 초기 재생 지연 시간이 실험 A에 비해 실험 C에서 26.89%가 길어졌지만 구간 적응적 버퍼링 기법은 단지 18.88%만 길어졌다. 즉, 구간 적응적 버퍼링 기법은 실험 A의 17.78초에서 실험 C의 21.92초로 단지 4.14초가 증가하였지만 반면 고정 크기 버퍼링 기법에서는 22.87초에서 31.28초로 8.41초만큼이나 길어졌다. 이 결과를 통해 본 논문에서 제안한 구간 적응적 버퍼링 기법은 피어 수가 감소하더라도 그 만큼 각 피어의 버퍼맵 크기를 확장시킴으로써 참가 수가 적은 환경에서도 효율적으로 동작한다는 것을 알 수 있다.

4.1.2 평균 지터 비율

(Figure 4) 피어 수에 따른 평균 지터 비율 비교



(Figure 4) Comparison of average jitter ratio according to the number of peers

(Figure 4)는 참가한 전체 피어 수를 감소시킬 때 구간 적응적 버퍼링 기법과 기존의 고정 크기 버퍼링 기법의 평균 지터 비율을 나타낸 것이다. 모든 실험 환경에서 구간 적응적 버퍼링 기법이 고정 크기 버퍼링 기법에 비해 평균 지터 비율이 낮다는 것을 알 수 있다. 구간 적응적 버퍼링 기법은 고정 크기 버퍼링 기법에 비해 실험 A, B, C에서 각각 1.28, 2.89, 8.43% 낮은

평균 지터 비율을 보였다. 특히 실험 C에서는 구간 적응적 버퍼링 기법의 평균 지터 비율이 고정 크기 버퍼링 기법의 평균 지터 비율에 비해 75.45% 성능 향상을 보였다. 이러한 성능 향상의 이유는 구간 적응적 버퍼링 기법에서 확장된 버퍼맵을 통해 각 피어가 더 많은 데이터를 버퍼링할 수 있기 때문에 서로 중복된 데이터가 발생할 가능성이 높아졌기 때문이다. 따라서 마감 시간 내에 도착하는 청크의 비율도 높아지게 되는 것이다.

(Figure 4)에서 참가한 피어 수가 감소함에 따라 두 기법 모두 평균 지터 비율이 급격히 높아지는 것도 알 수 있다. 참가한 피어 수가 적어짐에 따라 각 피어가 필요한 데이터를 마감 시간 내에 전송받을 가능성이 줄어들기 때문에 평균 지터 비율이 높아지는 것이다. 하지만 구간 적응적 버퍼링 기법은 실험 A에 비해 실험 C에서 1.50%의 평균 지터 비율이 높아진 반면 고정 크기 버퍼링 기법에서는 8.65%만큼이나 높아졌다. 이것은 버퍼맵 크기를 고정하는 기존 시스템에서는 실험 C와 같은 적은 수의 피어가 참가하는 경우에는 필요한 데이터를 확보하는데 어려움이 크다는 것을 보여준다. 동시에 본 논문에서 제안한 구간 적응적 버퍼링 기법이 이러한 환경에서도 각 재생 구간의 피어 수에 따라 버퍼맵 크기를 적응적으로 조절함으로써 성능을 크게 향상시킨다는 것을 보여준다.

## 5. 결론

본 논문에서는 피어들이 짧고 분산된 구간에 대해서 버퍼링을 수행하는 P2P 라이브 스트리밍 서비스의 특성을 고려하여 각 재생 시점에 속한 피어들의 버퍼링 데이터 중복 정도에 따라 버퍼맵 크기를 적응적으로 조절하는 기법을 제안하였다. 이를 위해 피어들의 재생 시점에 따라 피어들을 그룹핑한 후 해당 그룹에 속한 피어 수가 최대 임계 피어 수 이상이거나 최소 임계 피어 수 이하일 경우 버퍼맵의 크기를 조절하였다. 또한 실험을 통해 본 논문에서 제안하는 구간 적응적 버퍼링 기법이 기존의 고정 크기 버퍼링 기법에 비해 초기 재생 지연 시간과 평균 지터 비율에서 우수한 성능을 나타낸다는 것을 보였

다.

본 논문의 연구 성과를 바탕으로 성능을 더욱 향상시키기 위해 향후에는 각 피어의 지역성을 반영한 그룹핑을 수행하는 연구를 진행할 계획이다.

## References

- [1] A. Sentinelli, G. Marfia, M. Gerla, L. Kleinrock, and S. Tewari, "Will IPTV Ride the Peer-to-Peer Stream?", *Communications Magazine, IEEE*, Vol. 45, No. 6, pp.86-92, 2007.
- [2] X. Zhang, J. Liu, B. Li, and T. P. Yum, "CoolStreaming/DONet: a Data-driven Overlay Network for Peer-to-Peer Live Media Streaming," *Proc. IEEE INFOCOM*, pp.2102-2111, 2005.
- [3] X. Liao, H. Jin, Y. Liu, L. M. Ni, and D. Deng, "AnySee: Scalable Live Streaming Service based on Inter-Overlay Optimization," *Proc. IEEE INFOCOM*, pp.1663-1674, 2006.
- [4] X. Hei, C. Liang, J. Liang, Y. Liu and K. Ross, "A Measurement Study of a Large-Scale P2P IPTV System," *IEEE Multimedia*, Vol. 9, No. 8, pp.1672-1687, 2007.
- [5] Z. Li, J. Cao, and G. Chen, "ContinuStreaming: Achieving High Playback Continuity of Gossip-based P2P Streaming," *Proc. IEEE IPDPS*, pp.1-12, 2008.
- [6] T. Do, K. Hua and M.Tantaoui, "P2VoD: Providing Fault Tolerant Video-on-Demand Streaming in Peer-to-Peer Environment," *Proc. IEEE Conf. on Communications (ICC)*, pp.1467-1472, 2004.
- [7] T. Ho-Shing, S. Gary Chan and L. Haochao, "Optimize Segment Caching for Peer-to-Peer On-demand streaming," *Proc. IEEE ICME*, pp.810-813, 2009.
- [8] T. Fujimoto, R. Endo, K. Matsumoto and H. Shigeno, "Video-Popularity-based Caching Scheme for P2P Video-on-Demand Streaming," *Proc. IEEE AINA*, pp.748-755, 2011.
- [9] G. Pan-hong, Y. Yang and L. Xin-you, "A P2P streaming service architecture with distributed caching," *Journal OF Zhejiang University - Science A*, Vol. 8, No. 4, pp.605-614, 2007.
- [10] T. Wauters, W. Van de Meerssche, F. De Turck, Bart Dhoedt, P. Demeester, T. Van Caenegem and E. Six, "Co-operative Proxy Caching Algorithms for Time-Shifted IPTV Services," *Proc. Euromicro S*

EAA, pp.379-386, 2006.

- [11] D. Tran, K. Hua, and T. Do, "ZIGZAG: An Efficient Peer-to-Peer Scheme for Media Streaming," Proc. IEEE INFOCOM, pp.1283-1292, 2003.
- [12] M. Castro, P. Druschel, A. Kermarrec, A. Nandi, A. Rowstron, and A. Singh, "SplitStream: High-Bandwidth Multicast in Cooperative Environments," Proc. ACM SOSP, pp.298-313, 2003.
- [13] A. Mondal, Y. Lifu, and M. Kitsuregawa. "P2PR-Tree: an R-Tree-based Spatial Index for Peer-to-Peer Environments," Proc. EDBT Workshops, pp.516-525, 2004.



### 김 대 영

2007년~2011년 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 학사  
2011년~현재 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 석사 과정

관심분야 : P2P 비디오 스트리밍 시스템, IPTV 시스템 등



### 김 은 삼

1994년 : 서울대학교 컴퓨터공학과 학사  
1996년 : 서울대학교 컴퓨터공학과 석사  
2006년 : Univ. of Florida 컴퓨터공학과 박사

1996년~2002년: LG전자 선임연구원  
2006년~2007년: LG전자 책임연구원  
2007년~현재: 홍익대학교 컴퓨터공학과 조교수  
관심분야 : 분산 멀티미디어 시스템, IPTV 시스템, 컴퓨터 저장시스템 등