P2P 스트리밍을 위한 블록 선택 전략

김홍준* · 손세일** · 이광석***

Block Selection Strategy for P2P Streaming

Heung-jun kim* · Sei-il Son** · Kwang-Seok Lee***

이 논문은 2007년 진주산업대학교 기성회 학술 연구비 지원에 의해 작성 되었습니다.

요 약

P2P 기술은 효율적으로 파일을 배포하기 위해 많이 사용되고 있으며, 스트리밍 전송에서도 그 사용이 증가하고 있다. P2P 스트리밍은 시작-지연, 확장성, 실시간 재생에 대한 요구가 있지만, 어떤 요소들이 이 문제들에 영향을 주는지에 대한 연구가 부족하다. 본 논문에서는 메쉬-기반 P2P 시스템에서 다운로드와 동시에 콘텐츠를 재생하는 프로그레시브 다운로드에서 버퍼링에 대한 모델을 제시한다. P2P 스트리밍에서 사용되는 블록 선택 전략들 중 PDF(Playback Deadline First), Rarest를 분석하고, 이들을 이용한 혼합 선택을 제안한다. 제안된 혼합 선택은 앞으로 재생할 블록들과 피어가 이들을 수신 또는 미 수신 상태인지에 따라 동적으로 서로 다른 블록 선택 전략을 실행한다. 그 결과 단일 피어 관점에서 스트리밍 재생에 대한 QoS를 향상시키는 동시에, 오버레이 네트워크의 블록 분포를 개선한다.

ABSTRACT

The P2P technology has been widely used to distribute files efficiently, and its use in streaming is rapidly increasing. P2P streaming has issues about startup-delay, scalability, and real-time playback, however, what affects these factors has not been researched sufficiently. This paper suggests a buffering model for progressive download within mesh-based P2P system, which corresponds to downloading and playing the content at the same time. It is used to analyze PDF(Playback Deadline First), Rarest algorithms which are block-selection strategies of P2P streaming and proposes a mixed selection of them. The mixed block selection strategy dynamically performs different strategies based on whether the blocks to be played are received or not. In consequence, it enhances the QoS of streaming in a single peer point of view, as well as improving block distributions in an overlay network.

키워드

P2P , streaming , block-selection strategies

* 진주산업대학교 컴퓨터공학부 부교수
** (주)시디네트웍스 책임연구원 (교신저자 : 손세일)
*** 진주산업대학교 전자공학과 교수

접수일자 2008. 11. 14

Ⅰ. 서 론

UCC, IPTV 등의 이용이 확산됨에 따라 비디오 스트리밍이 인터넷 이용에 있어 차지하는 비중은 확대되고 있다. 비디오 스트리밍(video streaming)은 텍스트, 인스턴스 메시지, VoIP 등과 비교하여 많은 네트워크 대역폭과 저장 공간을 요구하기 때문에 콘텐츠 제공자는 서비스를 위해 많은 비용을 지출한다. P2P 기술은 콘텐츠 제공자들이 최종 사용자들에게 비용 대비 효율적으로 비디오 스트리밍 서비스를 제공할 수 있도록 도와주며, 일반적인 클라이언트-서버 구조보다 뛰어난 확장성을 제공한다[1-3].

P2P 기술은 BitTorrent[4], eMule[5]와같이 파일 다운로드에 많이 사용되어 왔으며, 이에 적합한 알고리즘들이 개발되어왔다. 가장 대표적이고 학문적으로 많은 연구가 이루어진 P2P 시스템은 BitTorrent이다. 한편으로 P2P기술을 이용한 VoD 스트리밍(이하 스트리밍)[6-9]과 라이브 스트리밍[10-13]에 대한 연구도 지속적으로 진행되고 있다. P2P 스트리밍은 피어들이 연결되어 오버레이 네트워크를 구성하고, 이들 사이의 데이터 전송 방식에 따라 트리(tree)-기반과 메쉬(mesh)-기반으로 분류할 수 있다[11]. 트리-기반에서 데이터는 루트(root)로부터 리프(leaf)로 전송된다. 메쉬-기반 P2P 시스템은 오버레이 네트워크 구조를 강제하지 않으면서, 피어(peer)들 사이의 블록 데이터 교환이 자유롭게 이루어지기 때문에 효율적이다. 또한 메쉬-기반 시스템은 프로토콜(protocol)에 의한 오버헤드(overhead)가 적기 때문에 설계가 쉬우며, 잦은 피어들의 참여와 탈퇴에도 안정적이다[14]. 메쉬-기반 P2P 시스템은 파일 전송에 많이 이용되어 효율성이 입증되었지만[14-15], 스트리밍에서도 우수한 효율성을 보일 수 있는지에 대해서는 아직도 많은 연구가 필요하다.

VoD를 위한 P2P 스트리밍에서 사용자는 임의의 시점에 비디오 콘텐츠의 재생을 시작하고, 재생 위치를 임의로 조정할 수 있도록 지원하는 동시에 시작-지연을 줄여야 한다. 사용자들이 임의의 시점에 서로 다른 부분을 재생한다는 사실은 P2P 스트리밍 프로토콜을 개발하는데 상당한 영향을 준다. 사용자들 사이에 콘텐츠 재생 위치가 다르기 때문에 피어들 사이의 데이터 공유를 어렵게 하고, 블록 데이터 다운로드를 위한 블록 선택 알고리즘을 복잡하게 만든다. 프로그레시브 다운로드(progressive download)를 위해 블록 데이터가 순차적으로 요청될 때, 사용자가 재생 위치를 변경하면 새로운 블록 데이터 요청을 처리할 수 있는 인접 피어를 검색하고, 블록 데이터를 수신까지의 지연 시간을 최소화해야 한다.

본 논문의 목적은 P2P 스트리밍을 위한분석 모델을 제시하고, 이를 이용하여 기존의 블록 선택 전략들을 분석한 후, 새로운 블록 선택 전략을 제안하는 것이다. 본 논문에서 피어는 동일한 하드웨어와 운영체제를 가지며, 독립적으로 동작하고, 피어들 사이의 네트워크에서 업로드(up load)와 다운로드 대역폭이 동일한 것을 가정한다. 분석 모델은 피어가 스트리밍을 재생하기 위해 고려해야 할 변수들에 대한 이해를 돕니다. 이를 위해2장에서는 P2P 스트리밍에 관한 기존 연구들을 살펴보고,3장에서는 본 논문에서 사용할 모델에게 대해 기술한다. 4장에서는 모델을 이용하여 블록선택 전략들의 특징을 살펴보고, 이들의 장점을 혼합한 블록 선택 전략을 제안한다. 5장에서는 결론 및 향후 과제를 서술한다.

Ⅱ. 관련연구

P2P 스트리밍에 대한 많은 연구들[6-13]이 진행되었으며, 이들 중 CoolStreaming[10], SplitStream[7]과 BiTos[16]에 대해 살펴본다.

CoolStreaming은 프로토타입이 실제 구현되어, 실제 인터넷 상에서 동접 피어의 수가 수천에 이르는 대규모로 실 서비스를 제공하면서, 성능 평가를 통해 연구자들의 제안을 증명하였다.

CoolStreaming은 데이터-지향(data-driven)의 메쉬-기반 오버레이 네트워크(overlay network)를 구성한다. 여기서 모든 피어들은 주기적으로 블록 데이터의 존재 유무에 대한 정보를 교환하고, 미 수신 블록을 인접 피어에게 요청하여 다운로드 받는다. CoolSteaming은 멤버쉽 관리자, 파트너쉽 관리자, 스케줄러와 같은 세 가지 주요 모듈을 기반으로 한다. 멤버 쉽 관리자는 콘텐츠를 공유하는 피어들을 관리하고, 파트너 쉽 관리자는 피어와 인접 피어 사이의 연결을 관리하고, 스케줄러는 어떤 블록을 요청할지를 결정한다.

CoolSteaming에서 피어 관리는 BitTorrent와 유사하지만, 서브-스트림을 이용한다는 점이 다르다. Cool

Streaming의 문제점은 초기 피어의 진입과 버퍼링(buffering)에 있다. 오버레이 네트워크에 신규 가입한 피어가 비디오 콘텐츠를 재생하기까지의 초기 지연은 수십 초에 이른다.

SplitStream은 전송할 데이터를 n개로 나누고, 이것을 스트라이프(stripe)라 부른다. SplitStream는 각 스트라이프의 전송을 위해, 고유의 멀티캐스트 트리를 구성한다. 예를 들어, 비디오 콘텐츠가 10개의 스트라이프로 분할되었다면, 피어들은 이 비디오 콘텐츠를 전송하기 위해 10개의 멀티캐스트 트리를 구성한다. SplitStream에서 피어는 반드시 피어 식별자를 가지며, 피어 식별자가 0으로 시작하는 피어들은 멀티캐스트 트리의 첫 번째 레벨에 위치한다. 그리고 피어 식별자의 두 번째 자리에 따라 두 번째 레벨에서의 위치가 결정된다. 따라서 피어들은 자신의 피어 식별자 프리픽스(prefix)에 따라 하나의 스트라이프에 속한다. 멀티캐스트 트리는 다수의 서브 트리로 나누어지는데 트리의 루트를 프라임 스트라이프(prime stripe)라 부른다. 프라임 스트라이프는 트리의 내부 노드로서 데이터를 송신할 수 있지만 트리의 맨 끝에 위치한 단말 노드는 데이터를 수신만하고 송신할 수는 없다. 따라서 SplitStream의 단점은 단말 노드에 위치한 많은 수의 피어들이 송신자 역할을 못하기 때문에 P2P 시스템의 전체적 서비스 능력이 낮다는 것이다.

또 다른 P2P 스트리밍에 관한 연구는 BiTos이다. BiTos는 BitTorrent를 기반으로 한다. BiTos에서 블록 버퍼는 높은 우선순위를 갖는 블록들과 낮은 우선순위를 갖는 블록들로 구분된다. 재생될 시간이 가까울수록 미수신 블록의 우선순위는 높아진다. 피어는 확률 p로 높은 우선순위의 블록을 다운로드하고, 확률 1-p로 낮은 우선순위의 블록을 다운로드 한다. 버퍼의 각 부분을 위해, BiTos는 여전히 최소 빈도 우선 전략을 이용한다. 이것은 비록 중요한 차이가 있지만 우리가 연구한 혼합 전략과 유사하다.

Ⅲ. 모델링

3.1 P2P 시스템 환경

이 절에서는 본 논문에서 가정하는 P2P 스트리밍환경과 시스템 구성에 대해 기술한다. 임의의 시점에 어떤 비디오 콘텐츠를 재생하기를 원하는 다수의 사용자들이 존재하며, 이들은 서로 다른 부분을 재생할 수 있고, 각 사용자는 재생 중 재생 위치를 변경할 수 있다. 비디오 콘텐츠는 초기 배포를 위해 서버에 존재하고, 피어는 서버 또는 다른 피어들로부터 데이터를 수신한다. 동일한 콘텐츠에 관심을 갖는 피어들은 비구조적인 메쉬 기반의 오버레이 네트워크를 형성하며, 피어가 하나의 콘텐츠를 재생하는 동안에도 인접 피어들의 동적 변경에 따라 오버레이 네트워크의 구성은 여러 번 변경될 수 있다.

(그림 1)과 같이 피어는 콘텐츠를 공유하는 오버레이 네트워크에 참여하기 위해서, 먼저 중앙의 트랙커(tracker)에 접속한다. 트랙커는 현재 동작 중인 피어들을 관리하고, 또한 공유 가능한 콘텐츠가 무엇인지를 관리한다. 피어가 트랙커에게 재생을 원하는 콘텐츠를 제공할 수 있는 인접 피어가 누구인지를 질의하면, 트랙커는 이를 서비스할 수 있는 피어들의 부분 집합을 응답한다. 피어는 트랙커가 알려준 피어들에 접속하여, 데이터 공유를 시작하면서 오버레이 네트워크가 형성된다.

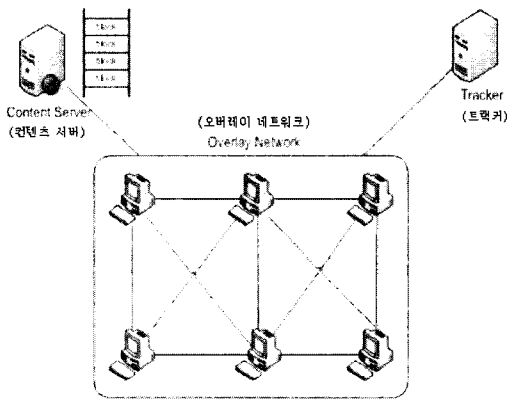

그림 1. 메쉬-기반 P2P 시스템 구조
fig. 1. mesh-based P2P system architecture

비디오 콘텐츠 파일은 동일한 크기를 갖는 다수의 블록들로 분할되어, 콘텐츠 서버와 피어, 피어와 인접 피어들 사이에 데이터 교환의 단위로써 사용된다. P2P 시스템은 비디오 콘텐츠에 사용된 코덱을 인식할 수 없기 때문에 데이터 손상이나 전송오류 등으로부터 데이터를 복원할 수 없으며, 이와 관련된 내용은 본 논문에서 다루지 않는다.

3.2 분석 모델

본 절에서는 P2P 스트리밍을 위한 모델을 제시하기 위해 시스템의 전체적 동작 방식에 대해 기술한다. 먼저 표기법과 가정은 다음과 같다. 인터넷 상에 비디오 콘텐츠를 스트리밍 하는 서버가 한 대 존재하고, m개의피어들이 동일한 비디오 콘텐츠를 재생하기를 원한다. 비디오 콘텐츠는 n개의블록으로 분할되고, 각 블록은 1부터 n까지의 시작하는 블록 인덱스를 갖는다. 스트리밍 재생을 위해 소비되는 시간은 다수의 슬롯(slot)들로 나누고, 서버는 시간 슬롯 t에 임의의 피어를 선택하여, 블록 t를 전송한다. 피어는 네트워크로부터 수신한 n개의블록을 저장할 수 있는 버퍼 B를 가진다. B(n)은 곧 재생할 블록을 저장하고 있으며, B(1)은 가장 최근 다운로드 한 블록 저장한다. 예를 들어, 서버가 블록 t(시간 t)를 배포하고 있고, 만약 $t \geq n-1$ 이라면, 블록 $t-n+1$ 이 현재 피어가 재생하고 있는 블록이다. 재생이 완료된 블록은 버퍼 B에서 삭제되고, 나머지 블록들은 1만큼 이동한다.

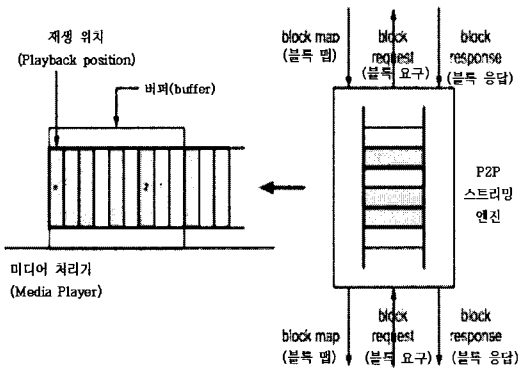

그림 2. P2P 스트리밍에서 버퍼와 블록 데이터의 흐름
fig. 2. stream of buffer and block data in the P2P streaming

(그림 2)와 같이 피어는 비디오 콘텐츠를 다운로드하기 위해 동일한 콘텐츠를 공유하는 인접 피어들에게 이들이 저장하고 있는 블록이 무엇인지를 블록 맵(block map)을 통해 파악한다. 피어는 다음 타임 슬롯에 재생할 블록이 미 수신 상태이면, 이를 저장하고 있는 인접 피어에게 블록 전송을 요청한다. 다운로드한 블록은 버퍼의 적정 위치에 저장되어 재생된다. 버퍼의 운영은 TCP의 슬라이딩 윈도우와 유사하게 저장된 블록들을 재생하면서 이동한다. 버퍼는 초기에 모두 비어있기 때문에 P2P 스트리밍 프로토콜에 서버나 인접 피어들에 의해 채워진다. 버퍼를 채우는 목적은 전송 지연이나 전송 오류가 발생하더라도 연속적인 비디오 재생을 가능하게 위해서이다.

P2P 스트리밍을 위해 다음과 같은 확률 모델을 이용한다. $p(k,i,t)$는 시간 t에 피어 k의 버퍼 B(i)에 알맞은 블록이존재할 확률이다. $p(k,i)$ 버퍼 상태 확률(occupancy probability)이면, t가 충분히 클 때, $p(k,i,t)=p(k,i)$인 경우를 안정 상태(steady state)라 한다. 그리고 오직 서버만이 블록을 피어들에게 배포하는 경우, 버퍼 상태 분포는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$p(k,1)=p(1)=\frac{1}{m}\ \forall k \qquad \text{(식 1)}$$

$$p(k,i+1)=p(i+1)=p(i) \qquad \text{(식 2)}$$
$$i=1,2,...,n-1\ \forall k$$

(식 1)은 임의의 피어 k가 서버에 의해 선택될 확률을 나타내며, (식 2)는 피어 k가 서버로 부터 블록 인덱스가 i+1인 블록 데이터를 성공적으로 다운로드 할 확률이다. 재생 성능은 (식 1)에 의해 m > 1인 경우 매우 낮을 것이다. 이 같이 간단한 분석을 통해서도 서버만으로 스트리밍 서비스를 제공 한다면, 확장성 측면에서 문제가 발생한다는 것을 알 수 있다. 만약 P2P 기술을 이용하여 피어들 사이의 비디오 콘텐츠를 공유하면, 재생 성능과 확장성을 동시에 향상시킬 수 있다.

본 논문에서 피어가 콘텐츠를 서버나 인접 피어들에게 요청은 풀(pull) 방식이고, 다운로드 와 동시에 콘텐츠를 재생하는 프로그래시브 다운로드(progressive download) 방식을 이용한다. 따라서 피어는 각 타임 슬롯 별로 인접 피어들에게 미 수신 블록을 요청하여 블록 데이터를 다운로드 하는 동시에 비디오 콘텐츠를 재생한다. 이를 모델링 하면 다음과 같다.

피어는 하나의 타임 슬롯에서 하나의 인접 피어를 선택하여 미 수신 블록을 요청하며, 인접 피어의 업로드 대역폭은 요청된 블록을 타임 슬롯 내에 송신할 만큼 충분히 크다. 만약 임의로 인접 피어를 선택한다면, 전체 피어 수가 m이고, 인접 피어의 수 k($k \geq 0$) 일 때,어떤 인접 피어가 선택될 확률 c(k)은 다음과 같다.

$$c(k)=\binom{m-1}{k}\left(\frac{1}{m-1}\right)^{k}\left(1-\frac{1}{m-1}\right)^{m-1-k} \quad (식\ 3)$$

본 논문에서 모든 피어들은 다운로드하기 위해 인접 피어를 선택하고, 모든 피어들은 동일한 블록 선택 전략을 사용하는 것을 전제로 한다. 만약 선택한 인접 피어에 원하는 블록이 없다면, 요청한 피어는 타임 슬롯 내에서 다운로드 할 기회를 잃게 된다. 따라서 안정 상태의 모든 피어들은 동일한 버퍼 상태 확률 $p(i)$를 가진다.

본 논문에서 인접 피어의 선택은 임의(random) 선택 전략을 따른다. 이전 연구 결과 [17]에 따르면, 인접 피어 선택 전략은 피어들의 업로드 대역폭이 다른 경우 중요하며, 전체 P2P 시스템의 성능과 피어들의 공헌에 대한 인센티브(incentive)와 밀접한 관계가 있다[18-19]. 본 논문에서는 모든 피어들의 업로드와 다운로드 대역폭이 동일하다고 가정하기 때문에 인접 피어 선택 전략에 따른 피어들 사이의 성능 차이는 없다.

피어는 다운로드를 요청할 블록을 선택하고, 인접피어를 선택한다. 블록 선택 전략은 확률 분포 $q(q \geq 0)$로 나타낼 수 있으며, 이것은 버퍼 B(i)를 채우기 위해 필요한 블록을 요청할 확률이다. 따라서 $p(1)=\left(\frac{1}{m}\right)$ 이면, (식 2)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$p(i+1)=p(i)+q(i) \quad i=1,...,n-1 \qquad (식\ 4)$$

만약 미 수신 블록이 존재한다면, 피어가 B(i)를 채우기 위해 블록을 요청할 확률은 0 보다 크기 때문에, $i>0$인 경우, $q(i)$는 0보다 크다. 따라서 $p(i)$는 i의 증가함수이기 때문에 인접 피어들을 협력을 통해 재생 성능을 향상 시킬 수 있다.

P2P 스트리밍은 어떤 피어 K 가 필요한 블록을 인접 피어 h 에게 요청하면, 피어 h 가 요청된 블록을 가지고 있는 경우 이를 송신하는 일련의 사건(event)들의 반복이다. 이 같은 사건은 다음과 같은 함수들로 표현할 수 있다. E(k, i)는 피어 k의 버퍼 B(i) 가 비워져 있을 사건을 나타내고, H(h, i)는 피어 h의 B(i)는 채워져 있을 사건이다. 그리고 S(h, k, i)는 블록 선택 전략을 사용할 때, E(k, i)와 H(h, i)를 모두 만족하는 블록을 선택하는 사건이다. 따라서 $q(i)$는 다음과 같은 확률을 가진다.

$$q(i)=\Pr[E(k,i)\cap H(h,i)\cap S(h,k,i)] \qquad (식\ 5)$$

(식5)를 다음과 같은 조건부 확률로 표현할 수 있다.

$$q(i)=\Pr[E(k,i)]\times\Pr[H(h,i)|E(k,i)] \qquad (식\ 6)$$
$$\times\ \Pr[S(h,k,i)|H(h,i)\cap E(k,i)]$$

(식 6)은 다음과 같은 가정들을 통해서간단히 정리할 수 있다. 첫째, 모든 피어들은 독립적이라면, (식 2)와 같이 동일한 위치의 버퍼 상태 확률 $p(i)$에 대해 모든 피어들은 동일한 값을 갖는다.

그러므로 $\Pr[E(k,i)]=1-p(i)$ 가 된다. 둘째, 콘텐츠를 공유하는 피어들이 충분히 존재해서 어떤 피어의 상태가 다른 피어의 상태에 영향을 주지 않는다. 따라서 $\Pr[H(h,i)|E(k,i)]\approx\Pr[H(h,i)]=P(i)$이다. 셋째, 블록 선택 전략에 따라 다르지만, 요청할 블록의 선택은 독립적이기 때문에 블록 선택 함수

$$s(i)=\Pr[S(h,k,i)|E(k,i)\cap H(h,i)]$$
$$=\Pr[S(h,k,i)]$$

이다. 그러므로 (식 6)은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$q(i)\approx(1-p(i))\cdot p(i)\cdot S(i) \qquad (식7)$$

그리고 (식 7)을 이용하여 (식 4)를 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$p(i+1)=p(i)+(1-p(i))\cdot p(i)\cdot s(i)\leq 1$$
(식 8)

Ⅳ. 블록 선택 전략

앞 장에서 블록 선택 방법을 모델링하고 분석하기 위한 간단한 확률 모델을 제시했다. 이 장에서는 이 모델을 기초로 PDF(Playback Deadline First), Rarest와 같은 블록 선택 전략들을 분석한다. PDF 블록 선택 전략은일반적인 스트리밍 시스템에서 이용하고 있는 것으로 가장 가까운 시간에 재생할 블록부터 먼저 요청한다. 예를 들어, 버퍼 B가 $B=B(n),B(n-1),...,B(1)$ 일 때, 버퍼

B(n)은 곧 재생할 블록이다. 만약 B(n)과 B(n-1)이 이미 다운로드 되어있고, B(n-2)가 미 수신 상태라면, PDF는 B(n-2)를 선택한다.

Rarest는 P2P 파일 공유 프로토콜인 BitTorrent와 P2P 스트리밍 프로토콜인 CoolStreaming에서 사용하고 있다. Rarest는 오버레이네트워크 상에서 콘텐츠를 구성하는 블록들의 복사본의 수가 가장 적은 블록부터 먼저 선택한다. 피어 k에서 Rarest를 이용하여 블록을 선택한다면, i가 $1 \le i \le n-1$ 일 때, (식 4)에 의해 $p(i+1) \ge p(i)$이고, $B(i+1) \ge B(i)$가 된다.따라서 피어 k에서 B(1)과 B(2)가 미수신 상태일 때, B(2)의 복사본 수가 B(1)의 복사본 수보다 작다면, B(2)를 먼저 요청한다.

직관적으로 스트리밍 재생의 시작-지연 측면에서 PDF는 Rarest보다 우수하지만, 피어 수가 많을 때, 오버레이 네트워크 상의 블록 분포 측면에서는 Rarest가 보다 우수하다. 본 논문에서는 각 블록 선택 전략을 모델링하고, 이들의 성능을 분석하고 비교한다. 그리고 시작지연과 블록 분포 두 가지 측면 모두를 고려한 새로운 블록 선택 전략을 제안한다.

4.1 PDF(Playback Deadline First) 전략

이 전략은 재생 시간이 가장 가까운 미 수신 버퍼부터 블록 데이터를 요청한다. 피어들의 수가 m이고, 버퍼의 크기 n, 버퍼의 위치를 i, j로 나타낼 때, p(i)는 버퍼 위치 i에서의 버퍼 상태 확률이다. PDF의 블록 선택 함수 s(i)는 다음과 같다.

$$s(i) = \left(1-\frac{1}{m}\right)\prod_{j=i+1}^{i=n-1}(p(j) + (1-p(j))^2) \quad \text{(식 9)}$$

(식 9)는 서버가 블록 데이터를 송신하기위해 임의의 피어를 선택하고, 블록 선택 함수가 B(i)보다 재생할 시점이 가까운 버퍼 위치 j를 선택하지 않을 확률을 나타낸다. PDF에 따르면 $j \ge i$ 일 때, 버퍼 B(j)는 반드시 블록 데이터를 가지고 있기 때문에 3.2절에서 정의한 함수를 이용하여 $(E(k,j) \bullet H(h,j))^c$ 와 같이 표현할 수 있다. 따라서 이 사건의 확률은 다음과 같다.

$$Pr[(E(k,j) \cdot H(h,j))^c] = p(k,j) + (1-p(k,j)) \cdot (1-p(h,j)) \quad \text{(식 10)}$$

(식 10)은 피어 k가 이미 B(j)의 블록 데이터를 수신한 확률과 피어가 k가 B(j)에 대한 블록 데이터가 없어서 인접 피어 h에게 블록을 요청했지만 인접 피어 h도 요청한 블록을 가지고 있지 않을 확률의 합을 나타낸다.

PDF를 이용한다면, 오버레이 네트워크에서 전역적으로 버퍼 B(i)에 데이터가 있을 확률 H(i)는 $H(i+1) \ge H(i), 1 \le i \le n-1$ 이다. 즉, 콘텐츠 앞부분의 블록들의 복사본의 수가 뒷부분의 복사본의 수보다 많다. 동일한 콘텐츠를 재생하는 피어들의 재생 위치는 재생 시작 시점에 따라 다르기 때문에, 먼저 재생을 시작한 피어일수록 원하는 블록을 인접 피어들로부터 보다는 서버로부터 가져오게 된다.

4.2 Rarest 전략

Rarest전략은 피어 k와 인접 피어들 사이의 공유된 콘텐츠를 구성하는 블록들의 복사본의 수를 세어서, 그 수가 가장 작은 블록부터 데이터를 요청한다. (식 4)에 의해 p(i)는 증가함수이기 때문에 임의의 블록 i를 모든 피어들이 가지고 있지 않아서, 서버로부터 다운로드 한 마지막블록 i의 복사본의 수가 가장 적다. 버퍼 B(1)이 서버에게 가장 최근에 다운로드를 요청하고, B(2)가 그 다음이라면, Rarest의 선택 함수 s(i)는 다음과 같다.

$$s(i) = \left(1-\frac{1}{m}\right)\prod_{j=1}^{j=i-1}\left(p(j) + (1-p(j))\right)(1-p(j)) \quad \text{(식 11)}$$

Rarest를 이용하면, 서버로부터 재생할 콘텐츠의 모든 블록들이 한 번에 오버레이 네트워크에 전달되면, 피어 수가 충분한 오버레이 네트워크에서 버퍼 B(i)에 대해 데이터가 존재할 확률 H(i)는 모든 블록 i에 대해 동일하다. 따라서 피어는 재생 시간에 상관없이 인접 피어들로부터 원하는 블록을 다운로드 받을 수 있다

4.3 혼합전략

Rarest 전략은 파일을 효율적으로 전송하지만, 사용자가 콘텐츠를 재생하기 위해서는 파일의 전송이 완료되기까지 대기해야만 한다. Rarest 전략의 설계 목적은 블록들을 네트워크 상에 균일하게 배포하여 전송 효율을 높이는 것이다. 블록들의 요청 순서가 비순차적이기 때문에 블록들을 순서적으로 접근해야하는 스트리밍 콘텐츠 재생에는 적합하지 않다[3, 8]. 따라서 P2P 스트

리밍을 위한 블록 선택 전략은 블록을 순서적으로 접근하는 동시에 블록들을 네트워크 상에 고르게 배포할 수 있어야 한다.

PDF전략과 Rarest 전략은 서로 다른 측면에서 장점을 갖는다. PDF는 곧 재생할 블록부터 요청하기 때문에 비디오 콘텐츠를 끊임없이 재생 할 수 있도록 돕는다. Rarest는 블록의 복사본의 수를 오버레이 네트워크 상에서 동일하게 유지하기 때문에 서버로의 요청을 감소시킨다. 이 절에서는 이 둘의 장점을 융합한 블록 선택 전략을 제안한다. 제안된 버퍼 B를 B1 과 B2 의 두 부분으로 나누어서, 재생 시점이 가까운 버퍼 B1 은 PDF 전략을 이용하여, 미 수신 블록을 요청하고, 재생 시점으로부터 상대적으로 멀리 떨어져있는 버퍼 B2 는 Rarest 전략을 선택하여 미 수신 블록을 요청한다. 예를 들어, 버퍼의 크기가 n이고, B1과B2의 경계점을 l이라 하면, B1= { B(n), B(n-1)…, B(l) } 이고, B2 = { B(l-1),…, B(1) }이다. 따라서 B(l)부터 B(n) 사이의 버퍼는 PDF를 이용하여 블록을 요청하고, B(1)부터 B(l-1)사이의 버퍼는 Rarest를 이용하여 블록을 요청한다. 만약 경계점 l = 1이면, 혼합 전략은 PDF와 같고, 경계점이 l = n + 1이면, Rarest와 동일하다.

따라서 혼합 전략의 블록 선택 함수 s(i)는 (식 9)와 (식 11)을 이용하여 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$s(i)=\begin{cases}\left(1-\frac{1}{m}\right)\prod_{j=i+1}^{i+n-1}\left(p(j)+(1-p(j))^2\right) & , i \geq l \\ \left(1-\frac{1}{m}\right)\prod_{j=1}^{i+n-1}\left(p(j)+(1-p(j))\right)(1-p(j)) & , i < l\end{cases}$$

(식 12)

4.4 P2P 스트리밍 성능 변수

본 절에서 P2P 스트리밍의 성능에 영향을 주는 변수들에 대해 살펴본다. 앞서 기술한 블록 선택 전략들은 버퍼 크기에 영향을 받는다. 버퍼에 저장될 블록들은 서버나 인접 피어들로부터 다운로드 받는다. 버퍼에는 재생할 블록들이 저장되어 있으며, 연속재생을 보장하기 위해서는 일정 수만큼의 버퍼를 미리 채워 두어야 한다. 따라서 P2P 스트리밍 성능의 영향을 주는 변수들은 버퍼 크기, 인접 피어들의 수가 되고, 성능 지표는 시작-지연과 연속 재생 율이 된다.

r(k,i)가 임의의 피어 k가 블록 i를 가지고 있을 확률이라면, 오버레이 네트워크 상에서 블록 i가 존재할 확률 r(i)는 다음과 같다.

$$r(i) = 1 - \prod_{k=1}^{m} r(k,i) \qquad \text{(식 13)}$$

r(i)는 오버레이 네트워크를 구성하는 피어 수 m이 클수록 증가한다. 오버레이 네트워크 상에 원하는 블록을 소유한 피어들이 충분하다면, 서버의 도움 없이 스트리밍 서비스가 가능하다.

p(i)가 버퍼 B(i)에 필요한 블록 데이터가 있을 확률이라면 d = 1-p(n)은 그 반대가 된다 .스트리밍 시스템에서 연속적인 데이터 재생을 위해서는 d를 최소화하여 0으로 만들어야 한다. 이를 위해 새롭게 재생을 시작한 피어는 버퍼 크기 n 만큼의 블록 데이터를 수신한 후, 재생을 시작한다.

블록 요청 순서를 비교하기 위해 <블록 식별자, 요청 순서>의 쌍을 기준으로 데이터를 정리하면, Rarest 전략은 블록 식별자와 블록 요청 순서와는 상관 관계가 존재하지 않는다. PDF 전략은 블록 식별자와 블록 요청 순서가 강한 상관 관계를 갖으며, 혼합 전략은 Rarest 보다는 강하지만, PDF 보다는 약한 상관 관계를 갖는다.

V. 결 론

본 논문에서는 P2P 스트리밍 시스템을 설계하기 위한 모델을 제시하였다. 이 모델을 통해 P2P 스트리밍 설계 시 고려해야 할 요소들과 이들 사이의 관계에 대한 이해를 제공하였다.

본 논문은 메시-기반의 풀(pull) 방식P2P 스트리밍 시스템을 기반으로 한다. 피어는 비디오 콘텐츠를 재생하기 위해 버퍼를 가지며, 버퍼는 콘텐츠가 재생함에 따라 이동하게 된다. 버퍼에 필요한 블록이 없는 경우, P2P 스트리밍 시스템은 서버나 인접 피어로부터 블록 데이터를 요청하여 이를 채운다. 블록 선택 전략은 버퍼를 채우기 위해 어떤 블록을 요청할지를 결정하며, 이것은 단일 피어 관점에서 연속 재생, 시작 지연 등의 성능과 관계가 있다. 그리고 오버레이 네트워크 관점에서는 블록의 존재 확률과 관계가 있다.

본 논문에서는 버퍼에 필요한 블록 데이터의 존재와 그에 따른 블록 선택 전략을 확률 모델로 표현하고, 이를 이용하여 PDF와 Rarest 블록 선택 전략을 분석하였다.

그리고 이들의 장점을 혼합한 블록 선택 전략을 제안하였다. 제안된 블록 선택은 버퍼를 두 부분으로 분할하여, 재생할 시점이 가까운 버퍼는 PDF로 블록을 선택하여 다운로드하고, 재생 시점이 먼 버퍼는 Rarest를 이용하여 블록을 선택한다. 이를 통해 피어에서의 연속적인콘텐츠 재생을 보장하는 동시에 오버레이 네트워크 상에서 각 위치의 블록들의 수를 동일하게 하여 서버로의 블록 요청을 감소시킨다. 그 결과 P2P 스트리밍 시스템은 보다 높은 확장성을 갖게 된다.

향후 연구과제는 제안된 블록 선택 알고리즘을 적용한 P2P 스트리밍 시스템을 설계하고 구축하는 것이다. P2P 스트리밍 시스템을 구축하기 위해서는 UCC와 같은 다양한 콘텐츠를 다수의 피어들에게 효율적으로 분산 저장하기 위한 저장 장치 모듈과 피어들 사이의 데이터 교환 비율을 높이기 위해 NAT를 지원하는 네트워크 모듈에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] Gao Wen, Huo Longshe, Fu Qiang, Recent Advances in Peer-to-Peer Media Streaming Systems, China Communications, October 2006

[2] J. Liu, S. G. Rao, B. Li, and H. Zhang, Opportunities and challenges of peer-to-peer internet video broadcast, In Proc. of IEEE, Special Issue on Recent Advances in Distributed Multimedia Communications, 2007.

[3] S. Annapureddy, C. Gkantsidis, P. Rodriguez. Providing video-on-demand using peer-to-peer networks, IPTV Workshop, Edinburgh, Scotland, May 2006.

[4] http://www.bittorrent.com

[5] http://www.emule-project.net

[6] A. A. Hamra, E. W. Biersack, G. Urvoy-Keller, A pull-based approach for a vod service in p2p networks, IEEE HSNMC, Toulouse, France, July 2004.

[7] M. Castro, P. Druschel, A-M. Kermarrec, A. Nandi, A. Rowstron, A. Singh, SplitStream: High-bandwidth multicast in a cooperative environment, SOSP'03, Lake Bolton, New York, October 2003.

[8] C. Dana, D. Li, D. Harrison, C. N. Chuah, BASS: BitTorrent assisted streaming system for video-on-demand, Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP), 2005.

[9] R. Kumar, Y. Liu, K. W. Ross, Stochastic fluid theory for p2p streaming systems, In Proc. of IEEE INFOCOM'07, May 2007.

[10] X. Zhang, J. Liu, B. Li, and T.-S. P. Yum, DONet/CoolStreaming: A Data-driven Overlay Network for Peer-to-Peer Live Media Streaming, In Proc. of IEEE INFOCOM'05, March 2005.

[11] http://www.pplive.com

[12] http://www.anysee.net

[13] http://www.sopcast.com

[14] Z. Ge, D. Figueiredo, S. Jaiswal, J. Kurose, D. Towsley, Modeling Peer-Peer File Sharing Systems, In Proc. of IEEE INFOCOM'03, April 2003.

[15] D. Kostic, A. Rodriguez, J. Albrecht, A. Vahdat, Bullet:high bandwidth data dissemination using an overlay mesh, In Proc. of 19th ACM symposium on Operating systems principles (SOSP), Bolton Landing, NY, USA, October 2003.

[16] A. Vlavianos, M. Iliofotou, M. Faloutsos, Bitos: Enhancing bittorrent for supporting streaming applications, In Proc. of IEEE INFOCOM'06.

[17] M. Hefeeda, A. Habib, B. Botv, D. Xu, B. Bhargava, PROMISE: Peer-to-peer media streaming using CollectCast, In Proc. of ACM Multimedia'03, Berkeley, CA, USA, November 2003.

[18] X. Yang, G. de Veciana, Service capacity in peer-to-peer networks, In Proc. of IEEE INFOCOM'04 , March 2004.

[19] B. Cohen, Incentives Build Robustness in BitTorrent, 1'st Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems, May 2003.

저자소개

김흥준(HeungJun Kim,金興俊)

1989년 단국대학교 전자계산학과 졸업(학사)
1993년 단국대학교 대학원 전산통계학과 (석사)
1999년 단국대학교 대학원 전산통계학과 (박사)
1999년~현재 진주산업대학교 컴퓨터공학부 부교수
※관심분야 : 컴퓨터구성, 모바일 네트워킹, P2P, etc.

손세일(Seiil Son)

1993년 유한전문대 전자계산학과
1997년 방송통신대 전자계산학과 (학사)
1999년 단국대학교 전산통계학과 (석사)
2007년 단국대학교 전산통계학과 (박사)
1993년~1996년 상지전산(주) 개발부
2002년~2006년 단국대학교 정보컴퓨터학부 강의전임교수
2007년 2월~현재 (주)씨디네트웍스 연구소 책임연구원
※관심분야 : P2P, 유비쿼터스 컴퓨팅, 크래픽 분석, 데이터베이스, etc.

이광석(Kwang-seok Lee)

1983년 2월 동아대학교 전자공학과 (공학사)
1985년 2월 동아대학교 전자공학과 (공학석사)
1992년 2월 동아대학교 전자공학과(공학박사)
2004년2월~2005년1월 Arizona State Univ. Fellowship
1995년~현재 진주산업대학교 전자공학과 교수
※관심분야 : 음성신호처리 및 인식, 생체 신호처리, 신경회로망, 지능화 기술