

# QoS에 민감한 멀티미디어 멀티캐스트 응용을 위한 P2P 스트리밍 기법

## P2P Streaming Method for QoS-sensitive Multimedia Multicast Applications

박승철

한국기술교육대학교 컴퓨터공학부

Seungchul Park(scspark@kut.ac.kr)

### 요약

확장성 문제와 도메인간 상호 동작성 문제 등으로 인해 인터넷에서 IP 멀티캐스트 기능의 지원이 지연되고 있음에 따라 IPTV와 같은 실시간 멀티미디어의 멀티캐스트 응용을 P2P(Peer-to-Peer) 방식으로 지원하는 P2P 스트리밍 기술에 대한 관심이 고조되고 있다. 본 논문은 참여자간 상호 작용이 보다 활발한 개인 IPTV와 비디오 컨퍼런스 등과 같이 QoS(Quality of Service)에 민감한 멀티미디어 멀티캐스트 응용을 위한 P2P 스트리밍 기법을 제시한다. 본 논문에서 제시한 P2P 스트리밍 기법은 응용이 자신의 신뢰성 요구에 부합되도록 백업 피어(Backup Peer)가 배치된 P2P 스트리밍 트리를 구축함으로써 피어 이탈에 따른 재연결 지연(Reconnection Delay)을 축소하여 그에 따른 스트리밍 데이터의 손실을 최소화한다. 그리고 피어의 대역폭 정보와 중단간 지연시간 정보를 분산 방식으로 유지함으로써 참여 피어가 연결될 목표 피어를 신속하게 결정할 수 있게 하여 피어의 참여 지연시간인 스타트업 지연시간(Startup Delay) 획기적으로 줄인다. 또한 본 논문에서 제시한 P2P 스트리밍 기법은 대역폭과 중단간 지연 시간에 따른 피어 수락 제어(Peer Admission Control) 기능을 제공함으로써 멀티캐스트 응용의 중단간 지연 시간 요구사항에 부합되는 스트리밍 서비스를 제공한다.

■ 중심어 : | P2P 스트리밍 | QoS | IPTV |

### Abstract

As the IP multicast function is very slowly deployed in Internet due to its scalability problem and inter-domain interoperability problem, interest in the P2P(Peer-to-Peer) streaming technologies for the realtime multimedia multicast applications such as IPTV is highly growing. This paper proposes a P2P streaming method for the QoS-sensitive multimedia multicast applications such as highly-interactive personal IPTV and video conferences. The proposed P2P streaming method allows an application to construct a reliable streaming tree in which a proper number of backup peers are placed according to its reliability requirement. The reliable streaming tree reduces the reconnection delay, occurred in the case of a normal and/or abnormal peer leave, so as to minimize the loss of streaming data. In the proposed P2P streaming method, the join delay of a peer called startup delay is also substantially reduced because the bandwidth and end-to-end delay information of every peer kept in a distributed way allows the target peer for a joining peer to be able to be quickly determined. Moreover, the proposed method's peer admission control mechanism based on the bandwidth and end-to-end delay enables the delay-bounded streaming services to be provided for its corresponding applications.

■ keyword : | P2P Streaming | QoS | IPTV |

\* 이 논문은 한국기술교육대학교 교육연구진흥비 프로그램의 지원에 의하여 수행되었음.

접수번호 : #100614-003

심사완료일 : 2010년 08월 13일

접수일자 : 2010년 06월 14일

교신저자 : 박승철, e-mail : scspark@kut.ac.kr

## 1. 서론

네트워크의 전송 속도 향상과 PC 등 인터넷 접속 장비의 멀티미디어 처리 기술 발전은 인터넷에서 IPTV, 비디오 컨퍼런스, 원격 교육, 커뮤니티 서비스 등 다양한 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 응용 서비스를 활성화시키고 있으며, 이러한 경향은 무선 LAN(Local Area Network)과 무선 MAN(Metropolitan Area Network) 기반의 스마트폰의 급속한 보급으로 모바일 인터넷 환경으로 확산되고 있다. 인터넷에서 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 응용들은 대부분 ISP(Internet Service Provider)에 의해 제공되는 IP(Internet Protocol) 멀티캐스트 서비스와 특정 서비스 제공자에 의해 구축되는 CDN(Content Delivery Network) 서비스를 사용하여 구현되는 것이 일반적이다. 그러나 현재까지 IP 멀티캐스트와 CDN 멀티캐스트 서비스는 다양한 형태의 멀티미디어 멀티캐스트 응용을 인터넷상에서 보편적으로 지원하는 데에 확장성(scalability) 문제, 도메인간 상호 동작성(Inter-domain Inter-operability) 문제, 가용성(availability) 문제 등 여러 가지 문제들을 안고 있다 [1][2]. 결과적으로 대부분 ISP에 의해 도입된 IP 멀티캐스트 서비스는 자신의 IPTV(ISP IPTV) 등 일부 응용에 적용되어 자신의 가입자에게만 제공될 뿐 보편적인 인터넷 사용자에게 개방되지 못하고 있고, CDN에 의한 멀티캐스트 서비스도 마찬가지로 한계를 가지고 있다.

최근 들어 IP 멀티캐스트와 CDN 멀티캐스트의 대안으로 기존 인터넷상에 적용할 수 있어서 도입이 쉽고 사용자의 PC와 네트워크 대역폭 자원을 사용하기 때문에 확장성 문제로부터 자유로운 P2P(Peer to Peer) 스트리밍 서비스를 사용한 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 응용 구현에 관한 관심이 고조되고 있다[3-5]. P2P 스트리밍은 멀티미디어 멀티캐스트 응용의 송신자가 자신의 PC와 네트워크 대역폭 자원을 사용하여 이웃의 응용 참여자에게 유니캐스트 방식으로 멀티미디어 데이터 전송하고, 이웃의 각 응용 참여자는 수신한 멀티미디어 데이터를 사용함과 동시에 자신의 PC와 네트워크 대역폭 자원을 사용하여 자신의 이웃의 응용 참여자에게 멀티미디어 데이터를 전송하는 방식이다. P2P 스

트리밍 서비스는 응용 참여자의 자원(PC, 네트워크 대역폭 등)을 사용하므로 스트리밍 그룹의 크기와 그룹의 수가 증가할수록 가용 자원도 늘어나게 되어 확장성 문제로부터 해방될 수 있다. 그리고 P2P 스트리밍 서비스는 별도의 멀티캐스트 라우터 또는 CDN 서버의 도입이 필요 없이 유니캐스트 방식의 기존의 인터넷을 사용하므로 적절한 네트워크 대역폭과 PC 성능을 갖춘 어느 곳의 어떤 사용자에게도 보편적으로 제공할 수 있다.

P2P 스트리밍은 IP 라우터나 CDN 서버에 비해 성능과 신뢰성과 안정성이 떨어지는 응용 참여자의 PC와 네트워크 대역폭 자원을 사용하므로 이에 대한 보완이 중요한 과제들로 대두되는 바, 그 동안의 대부분의 P2P 스트리밍에 관한 연구는 이 과제들을 극복하는 데에 초점이 맞추어져 진행되어 왔다. 본 논문은 확장성과 가용성이 높은 P2P 스트리밍 기술을 비디오 컨퍼런스, 원격 교육, 그리고 상호 작용이 많은 개인 IPTV와 같이 QoS(Quality of Service)에 민감한 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 응용들에 적용하는 방안을 제시한다. QoS에 민감한 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 응용들을 P2P 스트리밍 기술을 사용하여 구현하는 경우 응용의 QoS 요구 사항에 맞는 P2P 스트리밍 서비스 제공이 필수적으로 요구된다. 본 논문에서는 QoS에 민감한 멀티미디어 멀티캐스트 응용을 위해 피어 수락 제어(Peer Admission Control) 기반의 P2P 스트리밍 기법 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 P2P 스트리밍 관련 연구를 분석하고 III장에서 P2P 스트리밍의 QoS 요구사항을 제시한다. 그리고 IV장에서 신뢰적인 P2P 스트리밍 트리 구축 방안, V장에서 대역폭을 보장하는 P2P 스트리밍 기법, VI장에서 종단간 지연시간을 보장하는 P2P 스트리밍 기법, VII장에서 스타트업 지연시간을 보장하는 P2P 스트리밍 기법에 대해 설명한다. VIII장에서는 QoS를 지원하는 본 논문의 P2P 스트리밍 기법이 다양한 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 응용을 지원할 수 있는 충분한 확장성 지원하고 있는 지에 대해 구체적으로 분석하고, 마지막으로 IX장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

최근 들어 활발하게 연구가 진행되어온 P2P 스트리밍 기법은 트리 방식(Tree Method)과 메쉬 방식(Mesh Method)으로 구분될 수 있다[6-8]. 메쉬 방식 P2P 스트리밍에서는 스트리밍 데이터를 일정 크기의 청크(chunk) 단위로 나눈 다음 임의의 수의 자신의 이웃 피어들에게 전달하고 이웃 피어는 다시 자신의 이웃 피어들에게 자신이 수신한 청크(chunk)들을 전달한다. 이를 위해 각 피어는 주기적으로 자신의 보유 청크 정보를 나타내는 버퍼 맵(Buffer Map)을 이웃 피어들과 교환함으로써 이웃 피어들과 청크 보유 정보를 공유한다. 메쉬 방식의 각 피어는 다수의 이웃 피어들로부터 원하는 스트리밍 청크를 획득하여 전체 데이터 스트림을 구성할 수 있다. 메쉬 방식의 P2P 스트리밍은 스트리밍 데이터를 다수의 이웃 피어들로부터 획득할 수 있게 하므로 일부 피어가 이탈하는 경우에도 문제가 되지 않는다. 반면 메쉬 방식은 이웃 피어들과 비디오 버퍼 맵 정보 교환을 필요로 하고 그에 따라 완전한 스트림 데이터 획득에 많은 시간이 소요될 수 있기 때문에 지연시간이 커지는 단점이 있다. 최근의 분석 결과들은 대표적인 메쉬 방식의 P2P 스트리밍 기법인 PPLive, Coolstreaming, SopCast 등이 수십 초 이상의 중단간 지연시간(End-to-end Delay)과 피어 참여 지연시간(Peer Join Delay)을 필요로 하고 있음을 보여주고 있다[3][6]. 따라서 메쉬 방식의 P2P 스트리밍 기법들은 본 연구에서 관심을 가지고 있는 QoS에 민감한 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 응용에 적용하기에 적합하지 않음을 알 수 있다.

트리 방식의 P2P 스트리밍은 참여자 피어들을 트리 구조(Tree Structure)의 오버레이 망(Overlay Network)으로 적절하게 배치하고 구축된 트리 경로를 따라 스트리밍 데이터를 순서대로 전송한다. 트리 방식의 P2P 스트리밍은 일단 트리 구조가 만들어지고 나면 추가적인 정보 교환 없이 스트리밍 데이터를 전송함으로써 효율적인 스트리밍을 가능하게 하고, 따라서 지연시간이 작은 장점이 있다. 반면 P2P 스트리밍에 참여하는 참여자의 수가 동적으로 자주 변화하는 환경에서는

트리 구조가 불안정해져서 성능이 저하되는 문제가 발생한다. 트리 방식의 P2P 스트리밍에 대한 최근의 많은 연구들은 스트리밍 트리의 안정성을 제고하는 데 초점을 맞추고 있다. 예를 들어, [9][10]의 연구는 다수의 트리 구조를 생성하고 각 트리에 비디오 스트림의 일부를 전송함으로써 하나의 트리에 발생하는 손상이 전체 비디오 품질에 제한적인 영향만 미치게 만든다. 메쉬 방식에 비해 트리 방식의 P2P 스트리밍 기법이 중단간 지연시간과 스타트업 지연시간(피어 참여 지연시간)이 작기 때문에 QoS에 민감한 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 응용에 적용되기에 적합하다. 그러나 다양한 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 응용의 스트리밍 서비스의 품질 요구사항에 맞게 스트리밍 트리를 구성하고 스트리밍 서비스 품질을 보장하기 위해 피어에 대한 수락 제어 서비스를 제공하는 등의 QoS 기반의 P2P 스트리밍 기술에 관한 연구는 아직 이루어지지 않고 있다. 본 연구는 QoS에 민감한 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 응용을 위해 새로운 트리 방식의 P2P 스트리밍 기법을 제안한다.

## III. P2P 스트리밍의 QoS 요구사항

비디오 컨퍼런스, 원격 교육, 그리고 상호 작용이 많은 개인 IPTV와 같이 QoS에 민감한 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 응용들의 P2P 스트리밍 서비스에 대한 QoS 요구사항은 다음과 같이 정리될 수 있다.

- **신뢰도(reliability)** : P2P 스트리밍은 신뢰성과 안정성이 높지 않은 응용 참여자의 PC와 네트워크 대역폭에 의존하므로 P2P 스트리밍 서비스의 신뢰도를 보장하는 것이 무엇보다 중요하다. P2P 스트리밍 서비스의 신뢰도에 대한 요구수준은 응용의 유형에 따라 달라질 수 있으므로 P2P 스트리밍 서비스는 응용의 신뢰도 요구수준에 맞게 제공될 수 있어야 한다.
- **대역폭(bandwidth)** : P2P 스트리밍은 기본적으로 대역폭에 대한 보장을 요구하는 연속 미디어(Continuous Media)를 처리하므로 P2P 스트리밍에 참여하는 모든 피어는 QoS에 민감한 응용의 대역폭

요구사항을 충족시킬 수 있어야 한다.

- **종단간 지연시간(End-to-End Delay) :** 종단간 지연시간은 응용의 스트리밍 데이터의 출발지(source)에서부터 특정 피어의 목적지(destination)까지 전달되는 데 걸리는 시간이다. 종단간 지연시간이 너무 커질 경우 피어간 스트리밍 시점에 차이가 발생하여 참여자간 상호작용을 어렵게 만들어 해당 응용의 서비스 품질을 저하시키는 요인이 된다. 따라서 P2P 스트리밍의 종단간 지연시간은 응용이 허용할 수 있는 범위 내에서 유지될 수 있어야 한다.
- **스타트업 지연시간(Startup Delay) :** P2P 스트리밍 참여자가 스트리밍 참여를 요청한 시점부터 스트리밍 서비스가 시작되는 시점까지의 지연시간인 스타트업 지연시간은 P2P 스트리밍 서비스의 품질을 결정하는 중요한 요소이다. QoS에 민감한 응용들은 스타트업 지연시간이 수용 가능한 범위 내에서 유지되도록 요구한다.

#### IV. 신뢰적인 P2P 스트리밍

트리 방식의 P2P 스트리밍에서 신뢰도는 스트리밍 참여자에 의해 구축되는 트리형태의 오버레이 네트워크(Overlay Network)의 안정성과 피어 이탈에 따른 트리 재구축시의 스트리밍 데이터 손실 정도에 의해 결정된다. 본 연구는 다음에 설명하는 2 가지 기법을 통해 신뢰적인 트리 방식의 P2P 스트리밍을 실현한다.

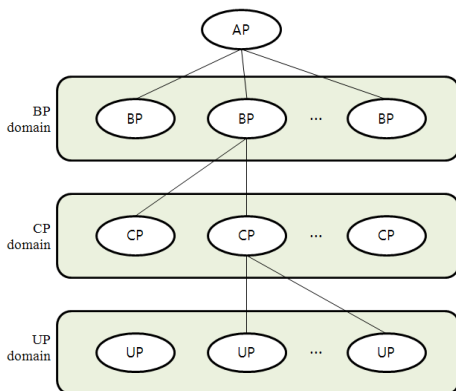


그림 1. 우선순위에 따른 4단계 피어 분류와 배치

- **우선순위에 따른 피어 분류 및 배치 :** 스트리밍에 참여하는 피어들을 [그림 1]과 같이 우선순위가 높은 순서대로 AP(Anchoring Peer), BP(Bootstrap Peer), CP(Cooperative Peer), UP(User Peer)로 나눈다. AP는 스트리밍 트리의 최상위에 위치하고 모든 스트리밍 데이터의 출발지가 된다. AP는 전체 스트리밍 트리의 구축과 유지에 대한 책임을 진다. 개인 IPTV의 경우 AP는 개인 방송국에 해당된다. BP는 AP의 스트리밍 서비스에 참여하는 피어 중에 가장 우선순위가 높은 피어로서 다른 참여 피어들보다 스트리밍 트리의 상위에 배치된다. BP는 AP의 스트리밍 트리의 구축과 유지에 대한 책임의 일부(대역폭과 종단간 지연 시간 등 피어 상태정보 유지, 피어 수락 제어 등)를 분담할 수 있을 정도의 능력과 충성도를 갖춘 피어들로부터 선정된다. BP의 개수와 선정 방식은 응용의 유형과 스트리밍 서비스의 규모에 의해 결정된다. 개인 IPTV에서 BP는 개인 방송을 중계하는 지역 방송국에 해당되고 지역 방송국의 수는 방송 서비스의 범위와 수신 참여자의 수에 의해 다르게 선정될 수 있다.

CP는 스트리밍 트리의 중간 노드에 위치하는 데에 필요한 대역폭과 충성도를 갖춘 피어이다. 적정 수준의 네트워크 대역폭과 성능을 갖춘 피어들은 CP로 선정될 수 있다. UP는 모바일 접속 장비와 같이 인터넷 접속의 안정성이 낮고 대역폭이 작으며 처리 성능이 낮은 피어들이다. UP는 스트리밍 트리의 종단 노드에 위치함으로써 UP가 전체 스트리밍 트리의 신뢰도에 미치는 영향을 최소화 한다. 충분한 크기의 안정적인 스트리밍 트리의 구축은 필요한 충분한 수의 CP를 확보하고 CP의 충성도를 높임으로서 가능하다. CP의 선정과 충성도를 높이기 위한 방안은 응용에 따라 다르게 적용될 있다. 예를 들어 스트리밍 참여 시간, 이탈 빈도 등에 대한 통계 정보를 기반으로 CP와 UP를 구분할 수 있고, CP에 대해서는 P2P 스트리밍 서비스를 통해 얻어지는 유무형의 소득 공유 등의 인센티브 제공을 통해 충성도를 제고할 수 있다. UP로 참여할 수밖에 없는 모바일 피어의 경우 반드시 자신의 PC를 CP로 참여하게 함으로써 충성도 높은 CP를 충분히 확보할 수 있을 것이다. 결론적으로 본 P2P 스트리밍

모델에서 안정적이고 충성도가 높은 피어들이 스트리밍 트리의 중간 노드를 형성함으로써 보다 신뢰도 높은 스트리밍 서비스를 제공할 수 있게 한다.

- **신뢰도 요구 수준에 따른 백업 피어 배치**: 본 연구의 P2P 스트리밍 트리는 중간 노드인 BP와 CP에 대해 백업 피어를 설정함으로써 중간 피어 이탈에 따른 트리 재구축시의 스트리밍 데이터 손실 정도를 최소화한다. 특정 피어(백업 대상 피어)의 백업 피어는 자신의 자매 피어(Sister Peer) 중에서 선정되고, 백업 대상 피어가 트리로부터 이탈할 경우 백업 피어가 해당 피어의 역할을 수행하게 된다. 백업 피어는 평상시에 자신의 자식 피어를 가지는 대신 백업 대상 피어의 자식들과 연결됨으로써 백업 대상 피어가 이탈할 때 즉시 재연결이 가능하도록 한다. [그림 2]는 CP에 대한 백업 피어(BCP - Backup CP)의 연결 형태를 보여준다. 제어 연결의 단절을 통해 CP의 이탈을 감지한 자식 피어들은 기 설정된 제어 연결을 통해 백업 피어(BCP)에게 스트리밍 데이터 전송을 요청하여 CP 대신 BCP부터 스트리밍 데이터를 수신한다.

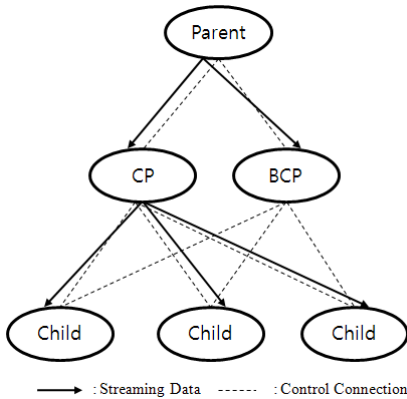
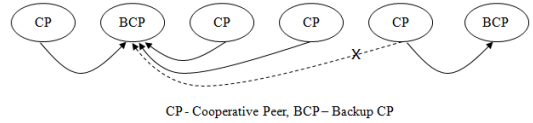


그림 2. CP에 대한 백업 피어(BCP) 설정

본 모델에서 P2P 스트리밍의 신뢰도는 백업 피어를 몇 개 설정할 것인지에 따라 결정된다. 예를 들어 신뢰도 요구 사항이 높은 경우 백업 대상 피어와 백업 피어의 비(백업율)를 1:1로 설정하고, 신뢰도 요구사항이 높지 않은 경우는 K:1(K > 1)로 설정할 수 있을 것이다. 만약 중간 피어들을 충분히 신뢰할 수 있으면 K=0으로

설정함으로써 백업 피어를 설정할 필요가 없을 것이다.



CP - Cooperative Peer, BCP- Backup CP

그림 3. 백업 피어 선정 절차(백업율 3:1의 경우)

백업율이 3:1인 경우를 가정할 때 백업 피어 선정 절차는 [그림 3]과 같다. 부모 피어에 CP가 추가된 후 2번째로 추가되는 자매 CP는 백업 피어로 지정된다. 일단 백업 피어가 추가되면 기존에 추가된 CP에게 백업 피어 정보를 제공함으로써 해당 CP의 백업 피어가 선정된다. 백업율이 3:1이므로 추가된 백업 CP는 다음에 추가되는 3번째와 4번째 CP에 대한 백업 피어로 동시에 선정된다. 5번째로 추가되는 CP의 경우 백업 CP 선정 과정이 다소 복잡해진다. 5번째 CP에 대한 백업 CP는 현재 존재하지 않으므로 일단 기존의 1번째 자매 백업 CP를 자신의 백업 CP로 선정한다. 그 후 새로운 자매 CP가 추가되는 경우 이를 2번째 백업 피어로 지정하고 5번째 CP에 대한 백업 CP는 2번째 백업 CP로 변경된다. 만약 특정 CP에 대한 자매 CP가 없는 경우 해당 CP의 백업 CP는 부모 CP의 백업 CP를 물려받는다.

### V. 대역폭 보장 P2P 스트리밍

본 논문에서 제시하는 P2P 스트리밍 모델에서 각 참여자는 서로 다른 상향 대역폭(Uplink Bandwidth)와 하향 대역폭(Downlink Bandwidth)을 가질 수 있다. 하향 대역폭은 스트리밍 데이터의 수신 능력을 결정하는 요소이고, 상향 대역폭은 다른 참여자 피어에 대한 스트리밍 데이터 전송 능력을 결정하는 요소이다. 본 모델에서 참여자의 대역폭은 해당 참여자가 응용 서비스에 등록할 때 일정 크기의 파일을 다운로드하고 업로드함으로써 측정될 수 있다. 본 모델에서 대역폭은 항상 다음과 같은 관계를 만족시킴으로써 응용의 P2P 스트리밍의 대역폭 요구사항을 충족시킬 수 있다.

$$Peer_{bandwidth}^{downlink} \geq Stream_{bandwidth} \tag{1}$$

$$Peer_{bandwidth}^{uplink} \geq Stream^{bandwidth} \times Ch\_Peer^{no} \quad (2)$$

여기서  $Peer_{bandwidth}^{downlink}$ 는 참여자의 하향 대역폭,  $Stream^{bandwidth}$ 는 스트리밍 데이터(예, 비디오 스트림)의 대역폭,  $Peer_{bandwidth}^{uplink}$ 는 참여자의 상향 대역폭,  $Ch\_Peer^{no}$ 는 참여자의 자식 피어(참여자) 수를 나타낸다. 만약 식 (1)의 관계를 만족시킬 수 없으면 해당 참여자의 참여 요청은 거절된다. 그리고 특정 피어에 연결된 자식 참여자의 수( $Ch\_Peer^{no}$ )가 식 (3)의 관계를 충족시킬 수 있으면 해당 피어에 새로운 참여자를 추가시킬 수 있다.

$$Ch\_Peer^{no} < \lfloor \frac{Peer_{bandwidth}^{uplink}}{Stream^{bandwidth}} \rfloor \quad (3)$$

백업 피어의 대역폭은 백업 대상 피어(Target Peer)의 대역폭 중 가장 큰 대역폭 보다 커야하고 만약 그렇지 않은 경우 2개 이상의 백업 피어를 설정함으로써 대역폭 요구사항을 만족시킬 수 있어야 한다. 이 경우 백업 피어들의 대역폭의 합과 백업 대상 피어(Target Peer)들의 대역폭은 항상 식 (4)의 관계를 만족시킬 수 있어야 한다. 여기서 K는 백업율이고 m은 K개의 백업 대상 피어에 대한 백업 피어의 개수이다.

$$\sum_{j=1}^m Backup - peer_j^{bandwidth} \geq \text{Max}_i (Target - peer_i^{bandwidth}), \quad 1 \leq i \leq K \quad (4)$$

## VI. 종단간 지연시간 보장 P2P 스트리밍

본 연구에서 제안한 P2P 스트리밍에서 모델에서 종단간 지연시간은 스트리밍 데이터가 AP에서 출발하여 특정 수신 피어(RP-Receiving Peer)까지 도착하는 데 걸리는 시간이다. RP는 [그림 1]의 스트리밍 트리의 임의의 BP, CP, 또는 UP가 될 수 있다. 타임스탬프(Timestamp)와 순서번호(Sequence Number)  $i$ 가 매겨져 AP에서 출발한 스트리밍 데이터를 수신한 RP는 AP

에게 스트림 데이터 수신 통보 메시지 ( $StreamDataRcvd^i$ )를 전달한다. 이 과정에서 AP에서 RP까지의 종단간 지연시간  $e2eD_{RP}^{AP}$ 는 다음의 식(5)와 같이 계산될 수 있다.

$$e2eD_{RP}^{AP} = T_{st(i)}^{AP} - T_{rt(i)}^{AP} - \frac{RTT(i)_{RP}^{AP}}{2} \quad (5)$$

여기서  $T_{st(i)}^{AP}$ 는  $i$ 번째 스트리밍 데이터가 AP에서 출발한 시간,  $T_{rt(i)}^{AP}$ 는 AP가 RP로부터  $i$ 번째 스트리밍 데이터 수신 통보 메시지를 수신한 시간, 그리고  $RTT(i)_{RP}^{AP}$ 는  $i$ 번째 스트리밍 데이터 수신 통보 메시지를 수신한 시점에서 AP와 RP 간에 측정된 RTT(Round Trip Delay)이다. 스트리밍 데이터의 종단간 지연시간은 네트워크의 상태와 스트리밍 피어의 상태에 의해 달라질 수 있다. 따라서 식 (5)의 종단간 지연시간은 주기적으로 갱신되어야 할 필요가 있다. 얼마나 자주 갱신되어야 하는지는 종단간 지연시간의 정교함 요구사항에 의해 결정된다.

P2P 스트리밍에 참여하는 피어(JP - Joining Peer)는 식 (3)에 의해 대역폭 요구사항을 만족시키는 CP(또는 BP) 중에 종단간 지연시간이 가장 작은 CP의 자식 피어(Child Peer)로 스트리밍 트리에 참여하되 식 (6)의 종단간 지연시간 한계 조건을 충족시켜야 한다.

$$e2eD_{CP(i)}^{AP} + tlinkD_{JP}^{CP(i)} \leq e2eD^{bound} \quad (6)$$

여기서  $e2eD_{CP(i)}^{AP}$ 는 종단간 지연시간이 가장 작은 CP(i)의 종단간 지연시간,  $tlinkD_{JP}^{CP(i)}$ 는 CP(i)와 JP간의 트리링크 지연시간(Tree Link Delay),  $e2eD^{bound}$ 는 응용의 종단간 지연시간에 대한 한계를 나타낸다. CP(i)와 JP간의 트리링크 지연시간은 CP(i)와 JP간의 RTT의 절반(1/2)으로 계산되므로

$$tlinkD_{JP}^{CP(i)} \text{는 } \frac{RTT_{JP}^{CP(i)}}{2} \text{로 계산된다. 만약 식}$$

(3)를 만족시키는 CP 중에 종단간 지연시간을 만족시키는 CP가 하나도 없는 경우는 참여 피어인 JP가 CP인

경우와 UP인 경우가 다르게 처리된다. 먼저 JP가 UP인 경우는 스트리밍 트리 참여가 거절된다. JP가 CP인 경우는 UP 중에 중단간 지연시간이 가장 작은 UP(j)에 대해 식 (7)의 관계가 만족하는 지 확인한다. 식 (7)의 관계가 만족하면 CP인 JP는 UP(j)의 위치에 설치되고 UP(j)는 JP의 자식 피어로 설치된다. 그렇지 않으면 JP의 스트리밍 트리 참여는 거절된다. 이렇게 함으로써 우선순위가 높은 CP가 항상 UP보다 스트리밍 트리의 상위에 설치되는 것을 보장한다.

$$e2eD_{UP(j)}^{AP} + \frac{RTT_{JP}^{UP(j)}}{2} \leq e2eD^{bound} \quad (7)$$

### VII. 스타트업 지연시간 보장 P2P 스트리밍

본 연구에서 제시하는 P2P 스트리밍 모델에서는 스트리밍에 참여하는 모든 피어의 상태 정보(참여 피어 ID, 중단간 지연시간, 대역폭, 등)를 AP의 지역 중계자 역할을 수행하는 BP에 분산 유지함으로써 참여 피어가 연결될 최적의 목표 피어를 신속하게 결정할 수 있게 한다. [그림 4]는 2 단계 피어 상태 정보 관리 모델을 보여준다.

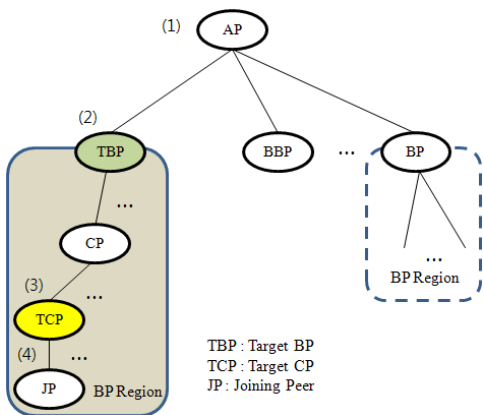


그림 4. 2 단계 피어 상태 정보 관리 모델

스트리밍 트리에서 하나의 BP는 자신의 하위 트리에 연결된 모든 피어의 상태 정보를 유지함으로써 특정 참

여 피어(JP)에 대한 대역폭과 중단간 지연시간을 보장할 목표 피어(TCP)를 선택할 수 있게 한다. BP의 상태 정보는 AP가 유지한다. AP가 몇 개의 BP를 어떤 기준에 의해 선정할 것인지는 응용에 따라 또 AP의 능력에 의해 결정된다. 만약 참여자 수가 적은 응용의 경우는 BP를 설정하지 않을 수도 있고 참여자 수가 많은 경우는 계약 관계 등을 통해 많은 수의 BP를 설정할 수 있다. JP에 대한 BP의 선택은 AP에 의해 이루어지되 그 기준은 응용에 따라 다를 수 있다. 예를 들어 참여자가 지역적으로 넓게 분포된 응용의 경우 참여자의 지역 정보를 바탕으로 BP를 선택할 수 있고, 참여자의 QoS 요구사항이 서로 다른 응용의 경우 QoS 요구사항에 따라 BP를 선택할 수 있다. BP는 AP가 충분히 신뢰할 수 있는 피어중에서 선정되 만약의 경우를 대비하여 백업 피어(BBP)를 설정할 수 있다.

본 모델에서 특정 피어의 P2P 스트리밍 참여 절차는 [그림 5]와 같다. 참여 피어(JP)는 AP를 접근함으로써 JP가 참여할 목표 BP(Target BP - TBP) 정보를 획득하고, TBP를 접근함으로써 JP가 연결될 목표 CP(Target CP - TCP) 정보를 획득한다. JP는 선택된 TCP에게 참여 요청 메시지(JOINreq)를 보냄으로써 TCP에 연결을 요청한다. TCP는 자신의 중단간 지연시간 정보와 JP와의 RTT 정보를 사용하여 JP에 대한 수락 제어 절차를 수행한다. RTT 정보는 PING 메시지 교환을 통해 계산될 수 있다. 수락 제어가 성공적으로 종료되면 TCP는 참여 응답 메시지(JOINresp)를 JP에게 전달함으로써 연결 절차를 종료한다. 연결된 JP는 TCP에게 스트림 요청 메시지(STREAMreq)를 전송함으로써 스트리밍 데이터를 수신한다. 따라서 본 모델에서 P2P 스트리밍 참여자가 스트리밍 참여를 요청한 시점부터 스트리밍 서비스가 시작되는 시점까지의 대기시간인 스타트업 지연시간(Startup Delay)은 다음의 (8)과 같이 계산된다. 인터넷상에서 모든 RTT가 동일한 것으로 가정하면 본 모델의 스타트업 지연시간은 5 RTT로 계산된다. 수락 제어가 성공적으로 완료되면 TCP가 즉시 스트리밍 데이터 전송을 개시하는 등과 같은 방법으로 P2P 스트리밍 참여 절차를 간소화하면 스타트업 지연시간을 4 RTT이하로 낮출 수도 있다.

$$\begin{aligned}
 & \text{스타트업 지연시간 최대값} \\
 & = AP \text{ 접근 시간}(RTT_{JP}^{AP}) \\
 & + \text{목표 BP 접근 시간}(RTT_{JP}^{TBP}) \\
 & + \text{목표 CP 접근 시간}(RTT_{JP}^{TCP}) \\
 & + \text{수락 제어 지연시간}(RTT_{TCP}^{JP}) \\
 & + \text{스트림 요청 지연시간}(RTT_{JP}^{TCP})
 \end{aligned}$$

(8) 간 지연시간 한계( $e2eD^{bound}$ )와 스트리밍 트리에서 부모 피어 노드와 자식 피어 노드를 연결하는 트리 링크(Tree Link)의 평균 지연시간( $tlinkD^{average}$ )를 알면 식 (9)와 같이 계산할 수 있다.

$$N = \lfloor \frac{e2eD^{bound}}{tlinkD^{average}} \rfloor \quad (9)$$

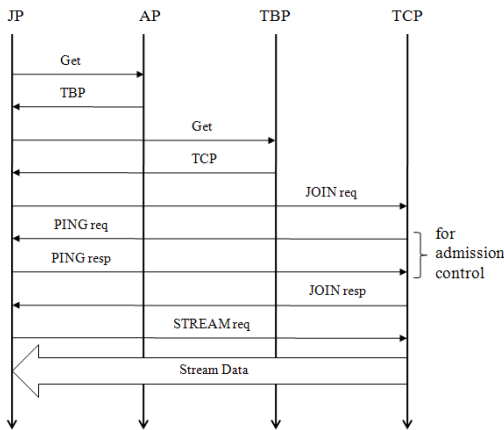


그림 5. 피어의 스트리밍 트리 참여 절차

### VIII. 분석

본 논문에서 제시한 QoS 보장 P2P 스트리밍 기법은 종단간 지연시간과 대역폭을 보장할 수 있을 경우에만 참여자를 수락하도록 설계되어 있으므로 응용의 QoS 요구사항에 따라 스트리밍 트리 참여자 수가 제한될 수밖에 없다. 본 장에서는 제안된 P2P 스트리밍 기법이 개인 IPTV, 비디오 컨퍼런스 등 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 응용의 서비스 지원 규모를 충족할 수 있을 정도로 충분한 피어 수용 능력이 있는지를 분석한다. 스트리밍 트리에서 하나의 피어 노드(CP 또는 BP)에 연결될 수 있는 자식 피어의 수의 평균 ( $Ch\_Peer^{no}_{average}$ )은 상향 대역폭의 평균과 스트리밍 데이터의 대역폭을 통해 계산할 수 있다. 그리고 스트리밍 트리의 최대 깊이(트리 링크의 개수) N은 종단

본 모델의 스트리밍 트리의 중간 노드를 형성하는 피어 중에 백업 피어는 자식 피어를 가질 수 없으므로 백업 피어에 연결될 수 있는 자식 피어의 총 개수는 스트리밍 트리의 전체 피어의 개수에서 제외되어야 한다. 따라서 스트리밍 트리의 깊이를 N, 중간 노드 피어에 대한 백업율을 K, 그리고 평균 자식 피어의 수를  $Ch\_Peer^{no}_{average}$  라 할 때 스트리밍 트리의 각 레벨에 배치될 수 있는 피어의 수는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
 L_0 &= 1, \\
 L_1 &= Ch\_Peer^{no}_{average}, \\
 L_2 &= (L_1 - \lfloor \frac{L_1}{K+1} \rfloor) \times Ch\_Peer^{no}_{average}, \\
 L_3 &= (L_2 - \lfloor \frac{L_2}{K+1} \rfloor) \times Ch\_Peer^{no}_{average}, \\
 & \dots \\
 L_N &= (L_{N-1} - \lfloor \frac{L_{N-1}}{K+1} \rfloor) \times Ch\_Peer^{no}_{average}
 \end{aligned}$$

따라서 본 연구의 QoS 보장 P2P 스트리밍에 참여할 수 있는 총 참여자 수는 식 (10)와 같이 계산될 수 있다.

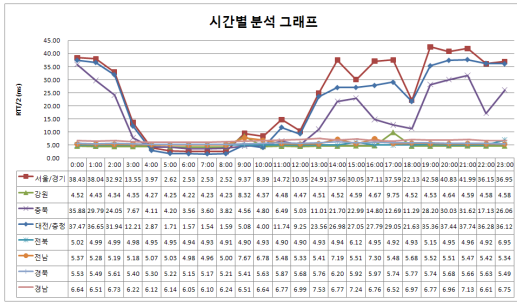
$$\begin{aligned}
 TotalNumberofPeers &= 1 + Ch\_Peer^{no}_{average} \\
 &+ \sum_{i=1}^{N-1} (L_i - \lfloor \frac{L_i}{K+1} \rfloor) \times Ch\_Peer^{no}_{average}
 \end{aligned} \quad (10)$$

피어의 평균 상향 대역폭은 모든 참여 피어의 상향 대역폭의 평균값으로 쉽게 구할 수 있고, 스트리밍 데이터의 대역폭은 코덱 유형에 따라 주어지며, 백업율은 응용의 요구사항에 따라 관리자에 의해 선정되는 값이다. 트리 링크 지연시간은 트리 링크의 네트워크 지연시간과 트리 링크의 스트리밍 지연시간의 합으로 계산



된다. 네트워크 지연시간은 트리 링크를 구성하는 두 피어간에 패킷이 전달되는 데 걸리는 시간이고, 스트리밍 지연시간은 트리 링크의 부모 피어에서 자식 피어에게 전달할 스트리밍 데이터를 처리하는 데 걸리는 시간이다. 트리 링크의 네트워크 지연시간을 예측하기 위하여 2 주간 한국기술교육대학교와 전국의 지역별 특정 대학(서울/경기-서울대, 강원-강원대, 충북-한국교원대, 대전/충청-대전대, 전북-원광대, 전남-전남대, 경북-경북대, 경남-해군사관학교)의 웹서버 컴퓨터를 대상으로 시간대별로 측정된 RTT의 평균값을 계산하여 [표 1]의 결과를 얻을 수 있었다. [표 1]에서 우리는 우리나라 내에서 트리 링크의 평균 지연시간은 45ms를 넘지 않음을 알 수 있다.

표 1. 노드별 네트워크 지연시간(평균)



그리고 본 연구에서는 하나의 피어에서 스트리밍 데이터를 처리하는 데 걸리는 시간을 예측하기 위해 [표 2]와 같은 환경에서 20개의 자식 노드에 대한 스트리밍 서비스를 실시하여 [그림 6]과 같은 그래프를 구할 수 있었다.

표 2. 실험 환경

Video	WebCam	Logitech Quickcam Sphere AF
	Data rate	300 ~ 350 Kbps
	Definition	320 x 240
	Encoding	M-JPEG
PC	O/S	Windows XP SP3.
	Processor	Intel(R) Core(TM)2 CPU 6400 @ 2.13GHz 2.13GHz
	RAM	2GB

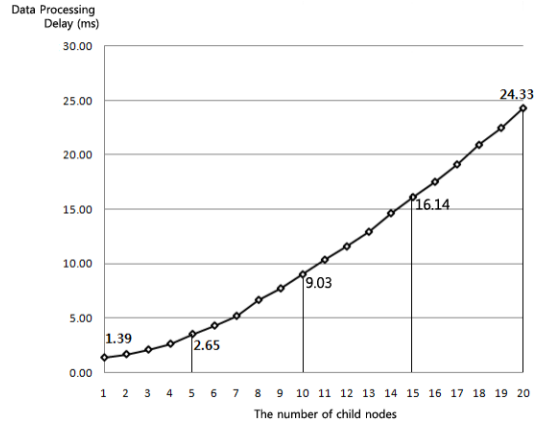


그림 6. 피어의 스트리밍 지연시간(예)

[그림 6]에서 피어 노드의 스트리밍 지연시간은 자식 노드의 수에 비례하여 증가함을 알 수 있다. [표 1]과 [그림 6]의 결과를 종합하면 예를 들어 평균 상향 대역폭이 2.1Mbps, 비디오 대역폭이 300Kbps인 경우 평균 자식 노드의 수는 7이되고 이 경우 피어 스트리밍 시간이 5ms, 평균 네트워크 지연시간의 최대값이 45ms이므로 평균 트리 링크 지연시간의 최대값을 50ms로 예측할 수 있다. 응용의 중단간 지연시간 한계 요구사항을 300ms로 가정하고 백업율을 2로 가정할 경우 스트리밍 트리에 참여할 수 있는 최대 피어의 개수는 식 (9)와 (10)에 의해 11,649개가 된다. 만약 비디오 컨퍼런스와 같이 실시간성 요구사항이 높은 응용을 위해 중단간 지연시간 한계를 200ms로 설정할 경우 최대 피어 개수는 547이 되지만 비디오 컨퍼런스 응용을 위한 충분한 참여자 수를 지원할 수 있음을 알 수 있다. 반면 IPTV와 같이 실시간성 요구사항이 다소 낮은 응용의 경우 중단간 지연시간 한계를 500ms로 설정하면 수용가능한 최대 피어의 개수는 5,000,000이상이 되어 응용에 따른 충분한 확장성을 보이고 있음을 알 수 있다.

현재 인터넷 접속망은 100Mbps 급의 VDSL(Very high-speed DSL), ETTH(Ethernet To The Home), FTTH(Fiber To The Home) 기반으로 급속히 광대역 화되고 있으므로 참여자의 상향 대역폭은 충분히 확보될 수 있고, 압축 기술의 발전으로 비디오 대역폭 요구사항은 점차 낮아지는 추세에 있다. 이 경우 피어의 평

균 자식 피어의 수가 크게 늘어나므로 본 연구에서 제시하는 QoS 보장 P2P 스트리밍 기법의 확장성은 더욱 늘어나게 된다.

## IX. 결론

개인 PC의 성능과 안정성 발전과 인터넷 접속망의 초고속화는 P2P 스트리밍을 통한 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 응용의 구현 가능성을 한층 높여주고 있다. 본 논문은 QoS에 민감한 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 응용들을 P2P 스트리밍 방식으로 구현하기 위해 P2P 스트리밍에서 QoS를 보장하는 방안을 제시하고 확장성 측면의 분석 결과를 구체적으로 제시하였다. 본 논문의 QoS 보장 P2P 스트리밍 모델은 응용의 신뢰도 요구사항에 따라 적절한 수준의 신뢰도가 보장되는 P2P 스트리밍 트리를 구성할 수 있게 하고, 대역폭과 종단간 지연시간에 의한 피어 수락 제어 기능을 통해 응용의 대역폭 요구사항과 종단간 지연시간을 보장하는 스트리밍 트리를 구축할 수 있게 한다. 그리고 스트리밍에 참여하는 모든 피어의 상태 정보를 분산 유지함으로써 참여 피어가 연결될 최적의 목표 피어를 신속하게 결정할 수 있게 하여 스타트업 지연시간을 최소화할 수 있게 한다. 또한 본 논문에서는 확장성 분석을 통해 제안된 QoS 보장 P2P 스트리밍 모델이 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 응용들에 실제로 적용될 수 있는 충분한 확장성을 가지고 있음을 보였다. 본 연구의 결과는 QoS에 민감한 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 응용들을 P2P 스트리밍 기술을 활용하여 기존 인터넷 환경에서 쉽게 구현할 수 있게 함으로써 이들의 확대 보급에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

## 참고 문헌

- [1] J. Liu, S. G. Rao, B. Li, and H. Zhang, "Opportunities and Challenges of Peer-to-Peer Internet Video Broadcast," *Proceedings of The IEEE*, Vol.96, No.1, 2008(1).
- [2] A. Ganjam and H. Zhang, "Internet Multicast Video Delivery," *Proceedings of The IEEE*, Vol.93, No.1, 2005(1).
- [3] A. Sentinelli, "Will IPTV Ride the Peer-to-Peer Stream," *IEEE Communications Magazine*, 2007(6).
- [4] J. Liu, S. G. Rao, B. Li, and H. Zhang, "Opportunities and Challenges of Peer-to-Peer Internet Video Broadcast," *Proceedings of The IEEE*, Vol.96, No.1, 2008(1).
- [5] Y. Zang, "Problem Statement of P2P Streaming Protocol(PPSP)," *Internet-Draft draft-zang-ppsp-problem-statement-05*, Oct. 20, 2009.
- [6] J. Peltotalo, "Peer-to-Peer Streaming Technology Survey," *7th Int'l Conference on Networking*, Cancun, Mexico, 13-18 April, 2008.
- [7] X. Hei, Y. Liu, and Keith W. Ross, "IPTV over P2P Streaming Networks: The Mesh-Pull Approach," *IEEE Communications Magazine*, 2008(2).
- [8] B. Li and H. Yin, "Peer-to-Peer Live Video Streaming on the Internet: Issues, Existing Approaches, and Challenges," *IEEE Communications Magazine*, 2007(6).
- [9] J. D. Mol, D. H. P. Epema, and H. J. Sips, "The Orchard Algorithm: Building Multicast Trees for P2P Video Multicasting Without Free Riding," *IEEE Trans. on Multimedia*, Vol.9, No.8, 2007(12).
- [10] V. Venkatarman, P. Francis, and J. Calandrino, "Chunkyspread: Multi-tree Unstructured Peer-to-Peer Multicast," *5th Int'l Workshop on Peer-to-Peer Systems*, Santa Barbara, CA, USA, 2006(2).

저 자 소 개

박 승 철(Seungchul Park)

정회원



- 1985년 2월 : 서울대 계산통계학과(공학사)
- 1987년 2월 : KAIST 전산학과(공학석사)
- 1996년 8월 : 서울대 컴퓨터공학과(공학박사)
- 1987년 2월 ~ 1992년 2월 : ETRI, 한국IBM연구원
- 1996년 9월 ~ 2003년 9월 : 현대전자 네트워크연구소장, 현대네트웍스 연구소장
- 2004년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 부교수

<관심분야> : 멀티미디어 통신, P2P 기술, IPTV