

# P2P 스트리밍 서비스를 위한 지연시간 보장 오버레이 네트워크

박 승 철\*

## A Delay-guaranteed Overlay Network for P2P Streaming Service

Seungchul Park\*

### ■ Abstract ■

P2P streaming technology has advantages of scalability and availability comparing to the popular IP multicast. This paper proposes an approach to apply the P2P streaming technology to the delay-sensitive multimedia multicast applications. In order for the P2P streaming to be applied to the delay-sensitive applications, prior construction of delay-guaranteed overlay network is necessarily required. Moreover, the delay-guaranteed overlay network should be able to be kept even when the hand-overs occur owing to the departures of the intermediate P2P peers. This paper proposes a delay-guaranteed overlay network construction method by using the bandwidth and end-to-end delay based admission control and the backup peer based hand-over control mechanism.

Keyword : P2P Streaming, Overlay Network, P2P IPTV, Hand-over

## 1. 서 론

P2P 스트리밍(peer-to-peer streaming)은 멀티미디어 멀티캐스트 응용의 송신자가 자신의 단말기(예 : PC, 스마트폰 등)와 네트워크 대역폭 자원을 사용하여 이웃의 응용 참여자에게 유니캐스트(unicast) 방식으로 멀티미디어 데이터를 전송하고, 이웃의 각 응용 참여자는 수신한 멀티미디어 데이터를 사용함과 동시에 자신의 단말기와 네트워크 대역폭 자원을 사용하여 자신의 이웃의 응용 참여자에게 멀티미디어 데이터를 실시간으로 전송하는 방식이다. P2P 스트리밍은 응용 참여자의 자원(PC, 네트워크 대역폭 등)을 사용하므로 스트리밍 그룹의 크기와 그룹의 수가 증가할수록 가용 자원도 늘어나게 되어 기존의 IP 멀티캐스트가 가지고 있는 확장성(scalability) 문제로부터 해방될 수 있다. 그리고 P2P 스트리밍은 별도의 멀티캐스트 라우터 또는 CDN(Content Distribution Network) 서버의 도입이 필요 없이 유니캐스트 방식의 기존의 인터넷을 사용하므로 적절한 네트워크 대역폭과 단말기 성능을 갖춘 어느 곳의 어떤 사용자에게도 보편적으로 제공될 수 있는 가용성(availability)이 높은 장점이 있다. 따라서 최근 들어 IP 멀티캐스트와 CDN 멀티캐스트 대신 P2P 스트리밍 기반의 멀티미디어 멀티캐스트 응용 개발에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있으나 대부분 단방향의 대단위(large-scale) P2P 스트리밍과 탄력적인(resilient) P2P 스트림 실현에 집중되고 있다[1-3].

본 논문은 기존의 연구들과 달리 P2P 스트리밍 기술을 상호 작용 요구사항이 높은 개인(personal) 또는 소셜(social) IPTV와 비디오 컨퍼런스와 같이 지연시간에 민감한 멀티미디어 멀티캐스트 응용에 적용하기 위한 방안을 제시하는 데 목적이 있다. 소셜 IPTV는 TV 참여자간에 텍스트와 음성 기반의 활발한 상호 동작을 지원함으로써 공중 IPTV(public IPTV)와 차별화되는 반면[4] 비디오 컨퍼런스와 같이 스트리밍 지연시간에 민감한 특징을 가진다. 즉, 소셜 IPTV와 비디오 컨퍼런스의 스트리밍

지연시간이 일정 크기 이상이 될 경우 참여자간 상호 작용을 어렵게 만들어 서비스 품질 저하를 초래할 수밖에 없다. P2P 스트리밍이 지연시간에 민감한 응용을 지원하기 위해서는 P2P 스트리밍에 참여하는 참여자(피어)들 간에 지연시간을 보장하는 오버레이 네트워크(overlay network)를 구축할 수 있어야 한다. 즉, 특정 피어가 P2P 스트리밍에 참여하고자 하는 경우 해당 피어에 대해 응용의 지연시간 요구사항을 보장할 수 있는 지 확인한 후 오버레이 네트워크에 참여시킬 수 있어야 한다. 또한 오버레이 네트워크의 중간 피어가 이탈하여 핸드오버(handover)가 발생하는 경우에도 오버레이 네트워크는 응용의 지연시간 요구사항을 보장할 수 있어야 한다.

본 논문의 제 2장에서는 P2P 스트리밍 관련 기존 연구들을 지연시간 보장 관점에 분석하고 제 3장에서 지연시간 보장을 위한 클러스터 트리 기반의 오버레이 네트워크 모델을 제시한다. 그리고 제 4장에서 제안된 모델에서 지연시간을 보장하기 위한 지연시간 기반의 수락 제어(admission control) 기법에 대해 설명하고, 제 5장에서는 지연시간 보장 오버레이 네트워크를 위한 핸드오버 기법에 대해 설명한다. 제 6장에서는 본 논문이 제시한 지연시간 보장 오버레이 네트워크의 적용가능성에 대해 분석하고 마지막으로 제 7장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

오버레이 네트워크 기반의 P2P 스트리밍 기법은 트리 방식(tree method)과 메쉬 방식(mesh method)으로 구분될 수 있다[5-7]. 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 않아 탄력적인(resilient) 스트리밍 서비스 제공의 장점이 있다. 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 종단간 지연시간(end-to-end delay)과 피어 참여 지연시간(peer join delay)을 필요로 하고 있음을 보여주고 있다[1, 5]. 따라서 메쉬 방식의 P2P 스트리밍 기법들은 본 연구에서 관심을 가지고 있는 지연시간에 민감한 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 응용에 적용하기에 적합하지 않음을 알 수 있다.

트리 방식의 P2P 스트리밍은 참여자 피어들을 트리 구조(tree structure)의 오버레이 네트워크(overlay network)로 적절하게 배치하고 구축된 트리 경로를 따라 스트리밍 데이터를 순서대로 전송한다. 트리 방식의 P2P 스트리밍은 일단 트리 구조의 오버레이 네트워크가 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, [8, 9]의 연구는 다수의 트리 구조를 생성하고 각 트리에 비디오 스트림의 일부를 전송함으로써 하나의 트리에 발생하는 손상이 전체 비디오

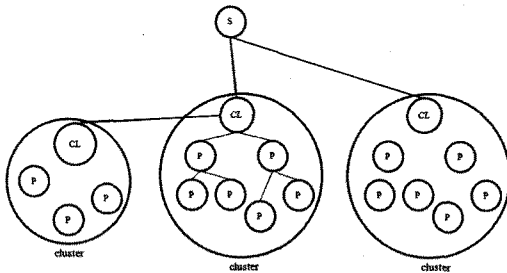
품질에 제한적인 영향만 미치게 만든다. 메쉬 방식에 비해 트리 방식의 P2P 스트리밍 기법이 종단간 지연시간과 스타트업 지연시간(피어 참여 지연시간)이 작기 때문에 지연시간에 민감한 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 응용에 적용되기에 적합하다. 그러나 다양한 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 응용의 스트리밍 서비스의 품질 요구사항에 맞게 스트리밍 트리를 구성하고 스트리밍 서비스 품질을 보장하기 위해 피어에 대한 수락 제어 서비스를 제공하는 등의 지연시간 보장 P2P 스트리밍 기술에 관한 연구는 아직 제대로 이루어지지 않고 있다.

### 3. 클러스터 트리 기반의 오버레이 네트워크 모델

P2P 스트리밍에서 서비스 품질에 크게 영향을 미치는 지연시간은 종단간 지연시간(end-to-end delay)과 스타트업 지연시간(startup delay)이다. 종단간 지연시간은 응용의 스트리밍 데이터가 출발지(source)에서부터 특정 수신 피어인 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. 그리고 스타트업 지연시간은 P2P 스트리밍 참여자가 스트리밍 참여를 요청한 시점부터 스트리밍 서비스가 시작되는 시점까지의 지연시간으로써 P2P 스트리밍 서비스의 품질을 결정하는 또 다른 중요한 요소이다. 본 연구는 종단간 지연시간과 스타트업 지연시간을 보장하는 P2P 스트리밍 서비스를 제공하기 위해 [그림 1]과 같이 클러스터 트리(clustered tree) 기반의 오버레이 네트워크 구조를 제시한다.

본 연구의 클러스터 트리 기반 오버레이 네트워크 모델에서 클러스터는 클러스터 리더(CL-Clu-

ster Leader) 피어에 의해 지역(locality), 커뮤니티(community), 신뢰도(reliability), 부하 분산(load balancing) 등에 따라 독립적으로 관리되는 서브트리(sub-tree)로써, 스트리밍 소스(S-source)와 직접 연결되거나 다른 클러스터 리더를 통해 간접적으로 연결된다. 지연시간 보장 P2P 스트리밍을 위한 오버레이 네트워크에서 몇 개의 클러스터를 어떻게 연결할 것인지는 전적으로 해당 응용에 의존적으로 결정될 문제이다. 예를 들어 참여자 수가 많고 서비스 범위가 넓은 IPTV의 경우 직접 및 간접적으로 연결된 많은 수의 클러스터를 설치할 필요가 있을 것이다. 반면 화상 회의와 같이 참여자의 수가 적은 경우 소스 피어(source peer)에 의해 관리되는 한 개의 클러스터만 설치할 수도 있다.



[그림 1] 클러스터 트리 기반의 오버레이 네트워크

CL은 클러스터 내의 모든 피어에 관한 스트리밍 정보(ID, 종단간 지연시간, 대역폭 상황, 신뢰도 정도 등)를 유지하고 피어에 대한 수락 제어(admission control) 서비스를 수행할 수 있을 정도의 능력을 가진 협조적인 피어(cooperative peer)이다. CL을 어떤 기준으로 어떻게 설정할 것인지도 전적으로 응용에 의존하는 문제이다. 스트리밍 서비스를 처음부터 끝까지 공동으로 수행할 협조적인 피어를 사전에 많이 확보할 수 있는 응용의 경우 소스 피어는 필요한 수의 CL을 미리 배치한 다음 스트리밍 서비스를 개시할 수 있다. 사전 CL 확보가 어려운 응용의 경우 서비스 진행 과정에서 필요한 CL을 협상 등을 통해 점차적으로 확보해 갈 수 있고, CL 확보가 불가능한 응용의 경우는 소스

피어의 능력 범위 내에서만 스트리밍 서비스를 제공할 수밖에 없을 것이다.

P2P 스트리밍 서비스에 참여하고자 하는 피어는 특정 CL을 선택함으로써 P2P 스트리밍 오버레이 네트워크 가입 절차를 개시하게 된다. CL 선택은 응용에 따라 참여 피어가 선택할 수도 있고 소스 피어가 CL을 지정할 수도 있다. 예를 들어 특정 피어 그룹이 CL을 중심으로 클러스터를 형성하는 응용의 경우 참여 피어는 자신이 참여하고자 하는 그룹의 CL을 선택할 것이다. 반면 CL의 성능 등의 문제로 CL 간의 부하 분산이 중요한 응용의 경우 소스 피어가 부하가 균등하게 부과되는 방식으로 참여 피어에 대해 CL을 지정할 수 있다. CL은 자신이 관리하는 클러스터내의 모든 피어의 상태 정보(대역폭, 지연시간 등)를 유지하고 새로운 피어의 가입 요청이 있을 경우 새로운 피어를 연결할 수 있는 대역폭을 가진 피어 중에 현재의 종단간 지연시간이 가장 작은 한 개의 피어 또는 다수의 피어들을 선택한다. 그리고 CL은 선택된 피어에 새로운 참여 피어가 연결되었을 때 지연시간을 보장할 수 있는지를 확인한 후 지연시간을 보장할 수 있으면 선택된 피어에 참여 피어를 연결시키고 그렇지 않은 경우 해당 피어의 참여 요청을 거절한다. 피어의 참여가 거절된 클러스터는 CL을 통해 참여불가 상태를 소스 피어에게 통보하여 추가적인 피어 참여 요청을 예방하고, 피어 이탈 등으로 클러스터내의 상태에 변화가 생기면 다시 참여가능 상태를 소스 피어에게 통보한다. P2P 스트리밍 오버레이 네트워크에 새롭게 참여하는 피어는 참여 불가 상태인 클러스터의 CL 선택을 회피함으로써 참여 요청 거절을 예방할 수 있다.

#### 4. 지연시간 보장 오버레이 네트워크를 위한 수락 제어

RTP(Realtime Transport Protocol)와 같은 멀티미디어 전송 프로토콜에 의해 타임스탬프(timestamp)와 순서번호(sequence number)가 매

겨져 소스 피어 S에서 출발한 스트리밍 데이터를 수신한 수신자 피어 RP(Receiving Peer)는 S에게 스트림 데이터 수신 통보 메시지(*StreamDataRcvd<sup>s</sup>*)를 전달한다. 이 과정에서 S에서 RP까지의 종단간 지연시간  $e2eD_{RP}^S$ 는 다음의 식 (1)과 같이 계산될 수 있다.

$$e2eD_{RP}^S = T_{rt(i)}^S - T_{st(i)}^S - \frac{RTT(i)_{RP}^S}{2} \quad (1)$$

여기서  $T_{st(i)}^S$ 는 i번째 스트리밍 데이터가 S에서 출발한 시간,  $T_{rt(i)}^S$ 는 S가 RP로부터 i번째 스트리밍 데이터 수신 통보 메시지를 수신한 시간, 그리고  $\frac{RTT(i)_{RP}^S}{2}$ 는 S가 RP로부터 i번째 스트리밍 데이터 수신 통보 메시지를 수신하는 데 걸리는 시간이다. 데이터 수신 통보 메시지는 스트리밍 데이터와 다른 경로로 전달될 수 있으므로 RTT(Round Trip Time)의 절반으로 계산되어야 한다. 스트리밍 데이터의 종단간 지연시간은 네트워크의 상태와 스트리밍 피어의 상태에 의해 달라질 수 있다. 따라서 식 (1)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 (2)에 의해 대역폭 요구사항을 만족시키는 피어 중에 종단간 지연시간이 가장 작은 N개의 피어 중의 하나의 피어의 자식 피어(child peer)로 스트리밍 트리에 참여하되 식 (3)의 종단간 지연시간 한계 조건을 충족시켜야 한다. 식 (2)와 식 (3)에서  $Ch\_Peer^{no}$ 는 해당 피어에 연결된 자식 참여자의 수,  $Peer_{bandwidth}^{uplink}$ 는 해당 피어의 상향 대역폭,  $Stream_{bandwidth}$ 는 스트리밍 데이터(예: 비디오 스트림)의 대역폭,  $e2eD_{P(i)}^S$ 는 종단간 지연시간이 가장 작은 N개의 피어 중에 i번째 피어 P(i)의 종단간 지연시간,  $tlinkD_{JP}^{P(i)}$ 는 P(i)와 JP간의 트리

링크 지연시간(tree link delay),  $e2eD^{bound}$ 는 응용의 종단간 지연시간에 대한 한계를 나타낸다.

$$Ch\_Peer^{no} \leq \lfloor \frac{Peer_{bandwidth}^{uplink}}{Stream_{bandwidth}} \rfloor \quad (2)$$

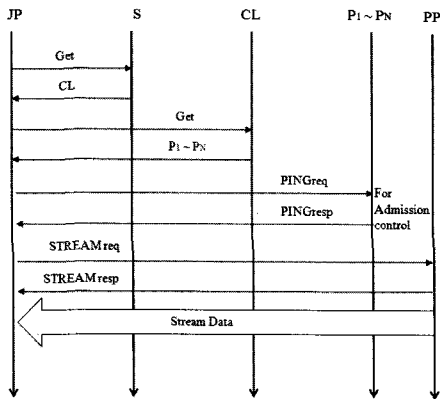
$$e2eD_{P(i)}^S + tlinkD_{JP}^{P(i)} \leq e2eD^{bound} \quad (3)$$

P(i)와 JP 간의 트리링크 지연시간은 P(i)와 JP간의 RTT의 절반(1/2)으로 계산되므로  $tlinkD_{JP}^{P(i)}$ 는  $\frac{RTT_{JP}^{P(i)}}{2}$ 로 계산된다. 식 (2)와 식 (3)을 만족시키는 피어 중에 참여 피어 JP가 연결될 대상 피어는 식 (4)에 의해 종단간 지연시간이 가장 작은 피어 P(i)로 선택된다. 만약 N개의 피어 중에 식 (2)와 식 (3)을 만족시키는 피어가 한 개도 없는 경우 JP의 참여 요청은 거절된다. 식 (4)에서 N을 얼마로 설정할 것인지는 오버레이 네트워크 구조인 트리의 링크 지연시간의 편차에 따라 달라진다. 트리 링크 지연시간의 편차가 큰 경우는 참여 피어 JP가 종단간 지연시간이 작은 피어의 자식 피어로 연결되는 것이 JP의 가장 작은 종단간 지연시간을 보장하기 어려우므로 N은 크게 설정할 필요가 있다. 그러나 N을 너무 크게 설정하면 종단간 지연시간 수락 제어의 오버헤드가 커지는 문제가 발생한다. 트리 링크 지연시간 편차가 작을 경우는 N을 1로 설정할 수 있다.

$$Min\{e2eD_{P(i)}^S + tlinkD_{JP}^{P(i)}\}, 1 \leq i \leq N \quad (4)$$

본 오버레이 네트워크 모델에서 특정 참여 피어 JP의 오버레이 네트워크 연결 절차는 [그림 2]와 같다.

JP는 소스 피어 S를 접근함으로써 JP가 참여할 목표 클러스터의 CL 정보를 획득하고, CL을 접근함으로써 JP가 연결될 대상인 N개의 목표 피어 P(1)~P(N)의 정보를 획득한다. JP는 선택된 P(i) ( $1 \leq i \leq N$ )를 대상으로 지연시간 기반의 수락 제



[그림 2] 피어의 오버레이 네트워크 가입 절차

이 절차를 수행함으로써 연결될 최종 부모 피어 PP (Parent Peer)를 선택한다. 수락 제어 절차는 RTT 정보를 사용하여 진행하고 RTT 정보는 PING 메시지 교환을 통해 계산될 수 있다. 수락 제어가 성공적으로 종료되면 JP는 스트림 요청 메시지(STREAMreq)를 PP에게 전달함으로써 연결 절차를 종료한다. 따라서 본 모델에서 P2P 스트리밍 참여자가 스트리밍 참여를 요청한 시점부터 스트리밍 서비스가 시작되는 시점까지의 대기시간인 스타트업 지연시간은 다음의 식 (5)와 같이 계산된다. 식 (5)의 모든 RTT가 동일한 것으로 가정하면 본 모델의 스타트업 지연시간은 4 RTT로 계산되어 본 오버레이 네트워크 모델은 스타트업 지연시간을 일정 크기 이내로 보장함을 알 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{스타트업 지연시간} &= \text{소스 피어 } S \text{ 접근 시간} \\
 & (RTT_{JP}^S) + \text{목표 } CL \text{ 접근 시간}(RTT_{JP}^{CL}) \\
 & + \text{수락 제어 지연시간}(RTT_{PP}^J) \\
 & + \text{스트림 요청 지연시간}(RTT_{JP}^{PP}) \quad (5)
 \end{aligned}$$

## 5. 지연시간 보장 오버레이 네트워크를 위한 핸드오버 기법

P2P 스트리밍을 위한 트리 구조의 오버레이 네트워크에서 핸드오버(hand-over)는 트리의 중간

노드를 형성하는 피어가 오버레이 네트워크를 이탈할 때 해당 피어의 자식 피어(child peer)들을 다른 피어에 연결시키는 동작을 말한다. 오버레이 네트워크의 중간 노드를 형성하는 피어들은 IP 멀티캐스트 네트워크의 라우터 또는 CDN(Content Distribution Network)의 서버 장치에 비해 P2P 스트리밍 서비스 중에 이탈할 가능성이 높기 때문에 핸드오버에 따른 스트리밍 서비스 중단 발생을 방지하는 것이 매우 중요하다. 그리고 핸드오버가 발생하는 경우에도 P2P 스트리밍을 위한 오버레이 네트워크는 지연시간을 보장할 수 있는 상태로 재구성될 수 있어야 한다. 트리 구조의 오버레이 네트워크에서 핸드오버는 제어형 핸드오버(controlled hand-over)와 비제어형(uncontrolled hand-over)로 구분된다. 제어형 핸드오버는 이탈하는 중간 피어가 이탈하기 전에 관련 피어들(CL, 자식 피어, 백업 피어 등)에게 자신의 이탈 사실을 통보하고 핸드오버 절차가 완료된 후 오버레이 네트워크로부터 이탈할 때 발생한다. 반면 비제어형 핸드오버는 중간 피어가 정상적인 핸드오버 절차를 진행할 시간적인 여유가 없이 갑자기 이탈할 때 발생한다. 제어형 핸드오버의 경우 핸드오버가 완료된 후 실질적인 피어의 이탈이 발생하여 P2P 스트리밍 서비스에 영향을 미치지 않으므로 문제가 되지 않는다. 트리 구조의 오버레이 네트워크에서 비제어형 핸드오버가 발생하는 경우에도 지연시간이 보장되기 위해서는 기본적으로 다음과 같은 요구사항이 충족되어야 한다.

지연시간을 보장하면서 이탈한 피어를 대신할 대체 피어를 반드시 확보할 수 있어야 한다.

최소한 시간 내에 이탈한 피어를 대신할 대체 피어로부터 스트림 데이터를 수신할 수 있어야 한다.

최소한 시간 내에 피어의 이탈 사실을 인지할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 지연시간 보장 오버레이 네트워크를 위해 백업 피어 기반의 핸드오버 모델을 채택하였다. 즉, 본 오버레이 네트워크 모델에서 하나의 피어가 CL을 통해 특정 클러스터에 가입될

때 자신의 부모 피어 PP(Parent Peer)가 이탈할 때 핸드오버될 백업 피어 BPP(Backup Parent Peer)가 지정된다. 백업 피어 BPP는 PP와 마찬가지로 해당 피어를 연결할 수 있는 대역폭을 가지고 있어야 하고, 지연시간에 대한 수락 제어를 통해 지연시간을 보장할 수 있도록 선택됨으로써 백업 피어로의 핸드오버 시에 지연시간을 보장한다. 백업 피어의 선정은 부모 피어에 대한 백업 피어의 선정을 반드시 1:1로 할 필요는 없다. 예를 들어 피어의 이탈이 빈번하지 않아 K개의 피어 중에 2개 이상의 피어가 동시에 이탈할 가능성이 거의 없는 경우에는 K개의 부모 피어가 동일한 백업 피어를 공유하도록 지정함으로써 K:1(K > 1)의 백업비(backup ratio)를 설정할 수 있다. 반대로 백업비를 1:K(K > 1)로 설정함으로써 1개의 피어에 대한 백업 피어를 다수 지정하여 부모 피어와 백업 피어가 동시에 핸드오버 되는 경우를 대비할 수 있다.

본 논문에서 제시하는 백업 피어 기반의 핸드오버 모델은 백업 피어 선정이 기본적으로 대역폭과 지연시간을 보장하도록 이루어지므로 지연시간 보장 오버레이 네트워크의 핸드오버 요구사항 중 1번 요구사항을 기본적으로 충족시킨다. 뿐만 아니라, 이탈할 피어에 대한 백업 피어를 미리 선정해 두기 때문에 피어 이탈 인지 후 백업 피어와 통신하는 데 걸리는 RTT 시간이면 핸드오버 절차를 마칠 수 있기 때문에 2번 요구사항도 충족시킨다. 백업 피어가 미리 선정되어 있지 않은 경우 해당 피어는 부모 피어의 이탈을 인지한 후 CL을 접근하여 대상 피어들에 대한 정보를 획득 한 후(1 RTT 지연시간 소요) 지연시간 보장에 대한 수락 제어 절차를 수행하고(1 RTT 지연시간 소요), 수락 제어가 성공하여 선정된 대체 피어와의 통신을 통해 핸드오버를 실시하게 되므로(1 RTT 지연시간 소요) 최소한 3 RTT의 지연시간이 소요됨을 알 수 있다. 더욱이 이 경우 지연시간을 보장하는 대체 피어를 찾지 못할 수도 있기 때문에 지연시간을 보장하는 핸드오버가 불가능한 상황이 발생할 수

도 있다.

대부분의 트리 구조의 오버레이 네트워크에 대한 기존 연구[10, 11]에서는 부모 피어의 이탈은 부모 피어가 자신이 살아 있음을 통지하기 위해 자식 피어에게 정기적으로 전송하는 메시지(keep-alive message)가 정해진 시간(keep-alive timer) 동안 수신되지 않을 때 인지된다. 즉, 킥얼라이브 타이머가 종료될 때까지 부모 피어로부터 킥얼라이브 메시지를 수신하지 못하면 해당 피어는 부모 피어에 대해 미리 선정되어 있는 백업 피어에게 스트리밍 데이터를 요청함으로써 핸드오버를 실행한다. 따라서 킥얼라이브 타이머 기반의 피어 이탈 인지 방식에서 비제어형 핸드오버 지연시간( $UHD_{keepalive}$ , Uncontrolled Handover Delay for keep-alive approach)은 식 (6)과 같이 계산된다. 비제어형 핸드오버가 발생하는 경우에도 P2P 스트리밍 서비스가 중단되지 않기 위해서는 비제어형 핸드오버 지연시간( $UHD_{keepalive}$ ) 동안 처리될 스트리밍 데이터가 해당 피어에 버퍼링되어 있어야 함을 의미하므로 비제어형 핸드오버 지연시간( $UHD_{keepalive}$ ) 크기의 버퍼링 지연시간이 추가로 필요해진다.

$$UHD_{keepalive} = Keepalive\ Timer + RTT \quad (6)$$

킥 얼라이브 메시지가 교환되는 시간 간격의 크기가 작으면 피어 이탈을 조기에 인지할 수 있는 반면 킥얼라이브 메시지 교환에 따른 트래픽 증가와 처리 부담이 증가하는 문제가 발생한다. 따라서 킥얼라이브 타이머는 적절한 크기로 설정되어야 하고 이는 버퍼링 지연으로 인한 중단된 지연시간 증가를 초래하여 오버레이 네트워크의 중단된 지연시간 보장을 어렵게 만든다. 이런 문제를 해결하기 위해 본 논문은 버퍼 상태(buffer state) 기반의 피어 이탈 조기 인지 방식을 제안한다. 제안된 버퍼 상태 기반의 비제어형 핸드오버 방식에서 피어는 자신의 버퍼에 남아 있는 스트리밍 데이터의 크기가 RTT 동안 처리될 크기보다 작아

지면 미리 선정된 백업 피어에게 스트리밍 데이터를 요청한다. 그리고 RTT 동안 기존 부모 피어로부터 스트리밍 데이터를 수신하면 백업 피어로부터 수신된 스트리밍 데이터를 무시하고 스트리밍 데이터 전송 중단을 요청하고 그렇지 않으면 백업 피어로의 핸드오버를 실시하고, 기존 부모 피어가 이탈하지 않은 경우를 대비하여 스트리밍 데이터 중단을 요청한다. 버퍼 상태 방식의 비제어형 핸드오버가 동작하기 위해서는 RTT 동안의 버퍼링 지연시간만 추가로 필요하므로 기존의 킵얼라이브 방식의 비제어형 핸드오버에 비해 지연시간 보장을 훨씬 용이하게 함을 알 수 있다.

$$UHD_{bufferstate} = RTT \quad (7)$$

## 6. 분석

본 논문에서 제시한 지연시간 보장 P2P 스트리밍을 위한 오버레이 네트워크는 중단간 지연시간과 대역폭을 보장할 수 있을 경우에만 참여자를 수락하도록 설계되어 있으므로 응용의 지연시간 요구사항에 따라 스트리밍 트리 참여자 수가 제한될 수밖에 없다. 본 장에서는 제안된 P2P 스트리밍 기법이 소셜 IPTV, 비디오 컨퍼런스 등 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 응용의 서비스 지원 규모를 충족할 수 있을 정도로 충분한 피어 수용 능력이 있는 지를 분석한다. 스트리밍 트리에서 하나의 피어 노드에 연결될 수 있는 자식 피어의 수의 평균( $Ch\_Peer_{average}^{no}$ )은 상향 대역폭의 평균과 스트리밍 데이터의 대역폭을 통해 계산할 수 있다. 그리고 스트리밍 트리의 최대 깊이(트리 링크의 개수)  $H$ 은 중단간 지연시간 한계( $e2eD^{bound}$ ), 비제어형 핸드오버 지연시간( $UHD_{bufferstate} = RTT$ ), 그리고 스트리밍 트리에서 부모 피어 노드와 자식 피어 노드를 연결하는 트리 링크의 평균 지연시간( $tlinkD_{average}$ )을 알면 식 (8)과 같이 계산할 수 있다.

$$H = \left\lfloor \frac{e2eD^{bound} - UHD_{bufferstate}}{tlinkD_{average}} \right\rfloor \quad (8)$$

본 모델의 스트리밍 트리의 중간 노드를 형성하는 피어 중에 백업에 필요한 피어의 대역폭은 자식 피어 연결에 사용할 수 없다. 따라서 백업을 위해 예약된 대역폭에 연결될 수 있는 자식 피어의 개수는 스트리밍 트리의 전체 피어의 개수에서 제외되어야 한다. 스트리밍 트리의 깊이를  $H$ , 중간 노드 피어에 대한 백업비를  $K : 1$ , 그리고 평균 자식 피어의 수를  $Ch\_Peer_{average}^{no}$ 라 할 때 스트리밍 트리의 각 레벨에 배치될 수 있는 피어의 수는 다음과 같이 계산된다.

$$L_0 = 1,$$

$$L_1 = Ch\_Peer_{average}^{no},$$

$$L_2 = (L_1 - \left\lfloor \frac{L_1}{K+1} \right\rfloor) \times Ch\_Peer_{average}^{no},$$

$$L_3 = (L_2 - \left\lfloor \frac{L_2}{K+1} \right\rfloor) \times Ch\_Peer_{average}^{no},$$

⋮

$$L_H = (L_{H-1} - \left\lfloor \frac{L_{H-1}}{K+1} \right\rfloor) \times Ch\_Peer_{average}^{no}$$

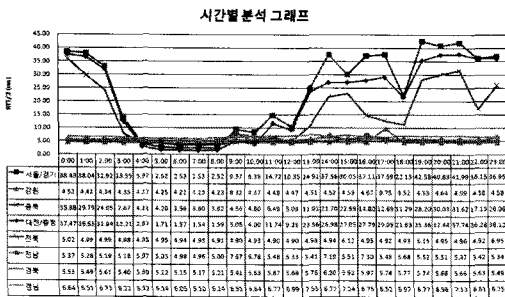
따라서 본 연구의 지연시간 보장 오버레이 네트워크에 참여할 수 있는 총 참여자 수는 식 (9)와 같이 계산될 수 있다.

$$\begin{aligned} TotalNumberofPeers &= 1 + Ch\_Peer_{average}^{no} \\ &+ \sum_{i=1}^{H-1} (L_i - \left\lfloor \frac{L_i}{K+1} \right\rfloor) \times Ch\_Peer_{average}^{no} \quad (9) \end{aligned}$$

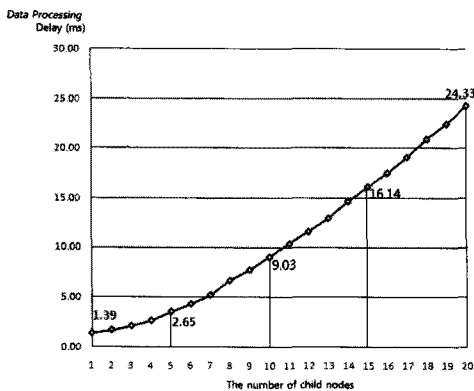
피어의 평균 상향 대역폭은 모든 참여 피어의 상향 대역폭의 평균값으로 구할 수 있고, 스트리밍 데이터의 대역폭은 코덱 유형에 따라 주어지며, 백업비는 응용의 요구사항에 따라 관리자에 의해 선정되는 값이다. 트리 링크 지연시간은 트리 링



크의 네트워크 지연시간과 트리 링크의 스트리밍 지연시간의 합으로 계산된다. 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 웹 서버 컴퓨터를 대상으로 시간대별로 측정한 RTT의 평균값을 계산하여 우리는 우리나라 내에서 트리 링크의 평균 지연시간은 [그림 3]과 같이 45ms를 넘지 않음을 알 수 있었다.



[그림 3] 노드별 네트워크 지연시간(평균)



[그림 4] 피어의 스트리밍 지연시간(예)

그리고 본 연구에서는 하나의 피어에서 스트리

밍 데이터를 처리하는 데 걸리는 시간을 예측하기 위해 20개의 자식 노드에 대한 스트리밍 서비스를 실시하여 [그림 4]과 같은 그래프를 구할 수 있었다.

이 결과를 바탕으로 평균 상향 대역폭이 2.1Mbps, 비디오 대역폭이 300Kbps인 경우를 예를 들면 평균 자식 노드의 수는 7이 되고 이 경우 피어 스트리밍 시간이 5ms, 평균 네트워크 지연시간의 최대값이 45ms이므로 평균 트리 링크 지연시간의 최대값을 50ms로 예측할 수 있다. 응용의 종단간 지연시간 한계 요구사항을 400ms로 가정하고 백업비를 2:1로 가정할 경우 스트리밍 트리에 참여할 수 있는 최대 피어의 개수는 식 (8)과 식 (9)에 의해 11,649개가 된다. 여기서 RTT는 스트리밍 피어에 대해 측정하는 것으로 고려하여 90ms 대신 100ms로 계산한다. 만약 비디오 컨퍼런스와 같이 실시간성 요구사항이 높은 응용을 위해 종단간 지연시간 한계를 300ms로 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 종단간 지연시간 한계를 600ms로 설정하면 수용 가능한 최대 피어의 개수는 5,000,000 이상이 되어 본 연구의 지연시간 보장 오버레이 네트워크 모델이 응용에 따른 충분한 확장성을 보이고 있음을 알 수 있다.

## 7. 결론

본 논문은 소셜 IPTV, 비디오 컨퍼런스 등 지연시간에 민감한 멀티미디어 멀티캐스트 서비스를 확장성과 가용성이 뛰어난 P2P 스트리밍 기법으로 구현하기 위해 지연시간 보장 오버레이 네트워크 구축 방안에 대해 소개하였다. 본 논문에서 제시한 기법은 트리 구조의 오버레이 네트워크에서 지연시간 증가의 큰 원인을 제공하는 비제어형 핸드오버가 발생하는 경우에도 지연시간을 보장할 수 있도록 설계함으로써 안정적인 지연시간 보장

P2P 스트리밍 서비스를 제공한다. 또한 논 논문은 제안된 지연시간 보장 오버레이 네트워크 모델이 충분한 확장성을 가지고 있음을 보임으로써 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 서비스들에 실제로 적용될 수 있음을 보였다. 본 연구의 결과는 지연시간에 민감한 실시간 멀티미디어 멀티캐스트 서비스를 별도의 인프라스트럭처 구축 없이 기존 인터넷 환경에서 쉽게 구현할 수 있게 함으로써 미래 IT 서비스의 핵심으로 부각되고 있는 소셜 및 개인 IPTV 등의 확대 보급에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

## 참 고 문 헌

- [1] Sentinelli, A. et al., "Will IPTV Ride the Peer-to-Peer Stream", *IEEE Communications Magazine*, 2007.
- [2] Liu, J., 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).
- [3] Zhang, Y. et al., "Problem Statement of P2P Streaming Protocol(PPSP)," Internet-draft-zhang-ppsp-problem-statement-05, 2009.
- [4] [http://en.wikipedia.org/wiki/Social\\_television](http://en.wikipedia.org/wiki/Social_television), 2010.
- [5] Peltotalo, J. et al., "Peer-to-Peer Streaming Technology Survey", 7th Int'l Conference on Networking, Cancun, Mexico, 2008.
- [6] Hei, X., Yong Liu, and Keith W. Ross, "IP TV over P2P Streaming Networks : The Mesh-Pull Approach", *IEEE Communications Magazine*, 2008.
- [7] Li, B. and Hao Yin, "Peer-to-Peer Live Video Streaming on the Internet : Issues, Existing Approaches, and Challenges", *IEEE Communications Magazine*, 2007.
- [8] D. Mol, J., 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).
- [9] Venkatarman, V., 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.
- [10] Jinfeng, Z., N. Jianwei, H. Rui, H. Jianping, "P2P-Leveraged Mobile Live Streaming", 21st Int'l Conf. on Advanced Inform, ation Networking and Applications Workshops, Ontario, Canada, 2007.
- [11] Peltotalo, J. et al., "RTSP-based Mobile Peer-to-Peer Streaming System", *Int'l Journal of Digital Multicast Broadcasting*, Vol.2010 (2010).

## ◆ 저 자 소개 ◆

**박 승 철 (scpark@kut.ac.kr)**

서울대학교 계산통계학과에서 학사, KAIST 전산학과에서 석사, 그리고 서울대학교 컴퓨터공학부에서 박사학위를 취득하고 현재 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 부교수로 재직 중이다. 현재 브로드밴드 네트워크, P2P 스트리밍, 네트워크 보안 등을 연구 중이며, 관심분야는 멀티미디어 통신, 네트워크 보안, 미래인터넷 등이다.