

---

# QoS 기반의 P2P 스트리밍 프로토콜

박승철\*

QoS-based P2P Streaming Protocol

Seungchul Park\*

## 요 약

본 논문은 유비쿼터스 인터넷 환경에서 다양한 개인 IPTV 응용 서비스를 제공할 수 있도록 QoS 요구사항을 제어할 수 있는 P2P(Peer-to-Peer) 스트리밍 프로토콜을 제시한다. 본 논문에서 제시된 P2P 스트리밍 프로토콜은 IPTV의 비디오 스트리밍 채널에 대해 짧은 초기 지연시간(startup delay)을 제공하고, 참여자에 대한 종단간 지연시간(end-to-end delay)과 대역폭(bandwidth)을 보장하며, 응용 서비스에 적합한 신뢰 수준(reliability level)을 설정할 수 있게 한다. QoS 기반의 P2P 스트리밍 프로토콜은 P2P 스트리밍의 확장성(scalability), 가용성(availability), 그리고 편재성(ubiquity)의 장점을 살리면서 성능(performance)과 신뢰성(reliability) 측면의 단점을 적절하게 보완함으로써 기존 광대역 인터넷 환경에서 다양한 유형의 실시간 개인 IPTV 채널 구현할 수 있게 한다.

## ABSTRACT

This paper proposes a P2P(Peer-to-Peer) streaming protocol which allows various QoS(Quality of Service) requirements of video streaming to be supported for various personal IPTV applications in ubiquitous Internet environments. The proposed P2P streaming protocol takes fairly short startup delay, guarantees end-to-end delay bound and bandwidth requirements, and supports reliability level of video streaming for an IPTV application. The QoS-based P2P streaming protocol can properly use not only the advantages of scalability, availability, and ubiquity of P2P streaming but also complement its disadvantages of performance and reliability so that various types of personal IPTV applications can be properly implemented in the existing broadband Internet environments.

## 키워드

P2P 스트리밍, QoS, IPTV, 오버레이 멀티캐스트

---

\* 한국기술교육대학교

접수일자 2009. 05. 26  
심사완료일자 2009. 07. 30

## I. 서 론

인터넷가입자 접속망의 광대역화와 개인 멀티미디어 처리 기술의 발전, 그리고 UCC(User Created Content)에 대한 대중의 높은 관심은 멀티미디어 PC를 통해 생성되는 UCC의 실시간 방송을 포함하는 개인 IPTV 서비스(Personal IPTV Service)에 대한 관심을 증대시키고 있다[1,2]. 개인 IPTV는 광대역 인터넷에 연결된 사용자가 자신의 멀티미디어 PC를 사용하여 실시간 방송을 실시하는 시스템이다. 즉, 개인 IPTV는 인터넷 사용자가 TV 채널의 주인이 되어 오락, 교육, 공동작업, 뉴스, 광고 등의 자신의 콘텐츠를 사용하여 관심 있는 사용자들에게 방송할 수 있게 한다. 개인 IPTV 채널의 참여자는 주로 동일 커뮤니티 가입자가 대부분이고, 많은 개인 IPTV 응용들이 참여자간 실시간 대화 서비스와 결합됨으로써 기존 TV 서비스와 차별화된다[3]. 예를 들어 개인 교육(수학, 영어 등) 방송 채널의 경우 참여자들은 방송 내용에 대해 질문하고 토론할 수 있어야 하고, UCC 감상 응용의 경우 친구들이 서로 대화하며 감상할 수 있다.

P2P 스트리밍(Peer-to-Peer Streaming)은 비디오 멀티캐스팅을 위해 별도의 IP 멀티캐스트 망(IP multicast network) 또는 CDN(Content Distribution Network)망을 사용하는 대신 채널 참여자의 PC를 사용하여 이웃 참여자에게 비디오를 유니캐스트 방식으로 전송한다[4]. P2P 스트리밍을 개인 IPTV에 적용할 때 가장 큰 문제점은 성능(지연시간, 처리율)과 안정성이다[5]. P2P 스트리밍은 라우터에 의해 성능이 낮고, 네트워크 대역폭이 작으며, 최적의 경로에 위치하지 않는 불안정한 개인 PC를 경유하는 비디오가 멀티캐스팅되므로 스트리밍의 서비스 품질(QoS - Quality of Service)에 문제가 발생할 수 있다.

채널 참여자간 실시간 대화 서비스의 결합이 요구되는 개인 IPTV 응용에서는 지연시간 등 QoS 결여 문제는 개인 IPTV 채널 서비스에 심각한 문제를 초래할 수 있다. 따라서 개인 IPTV 서비스를 효과적으로 지원하기 위해서는 QoS 기반의 P2P 스트리밍 기법이 반드시 필요하다. 본 논문에서는 비디오 스트리밍의 최기화 지연시간(dtartup delay)을 최소화하고, 종단간 지연시간(end-to-end delay)과 대역폭(bandwidth)을 보장하며, 응용의 요구사항에 따라 비디오 스트리밍의 신뢰 수준

(reliability level)을 적절하게 제어할 수 있는 P2P 스트리밍 프로토콜을 제시한다. 본 논문에서 제시된 QoS 기반의 P2P 스트리밍 프로토콜은 기존 P2P 스트리밍의 확장성(scability), 가용성(availability), 그리고 편재성(ubiquity)의 장점을 살리면서 성능(performance)과 신뢰성(reliability) 측면의 단점을 적절하게 보완함으로써 다양한 유형의 실시간 개인 IPTV 채널을 유비쿼터스 환경에서 구현할 수 있게 한다.

## II. 관련 연구

최근 몇 년 사이에 P2P 비디오 스트리밍에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. P2P 비디오 스트리밍 기법은 트리 방식(tree method)과 메쉬 방식(mesh method)으로 구분될 수 있다[4,6,7]. 트리 방식에서 참여자의 PC들을 트리 구조(tree structure)의 오버레이 망(overlay network)으로 적절하게 배치하고 구축된 트리 경로를 따라 비디오 스트리밍이 전송된다. 메쉬 방식에서는 비디오 스트리밍을 일정 크기의 청크(chunk) 단위로 나눈 다음 임의의 수의 자신의 이웃 PC(Peer PC)들에게 전달하고 이웃 PC는 다시 자신의 이웃 PC들과 비디오 청크(chunk)들을 공유한다. 메쉬 방식은 각 PC가 주기적으로 자신의 비디오 버퍼 맵(buffer map)을 이웃 PC들과 교환함으로써 이웃 PC들의 비디오 청크 보유 정보를 알 수 있게 한다. 메쉬 방식의 각 PC는 다수의 이웃 PC들로부터 원하는 비디오 청크를 획득하여 전체 비디오 스트리밍을 구성할 수 있다.

트리 방식의 P2P 스트리밍은 일단 트리 구조가 만들 어지고 나면 추가적인 정보 교환 없이 비디오 스트리밍을 전송함으로써 효율적인 비디오 전송을 가능하게 하고 따라서 지연시간이 비교적 작은 장점이 있다. 반면 비디오 멀티캐스트에 참여하는 참여자의 수가 동적으로 자주 변화하는 환경에서는 트리 구조가 불안정해져서 성능이 저하되는 문제가 발생한다. 트리 방식의 P2P 스트리밍에 대한 최근의 연구들은 대부분 스트리밍의 안정성을 제고하는데 초점을 맞추고 있다. [8,9]는 다수의 트리 구조를 생성하고 각 트리에 비디오 스트리밍의 일부를 전송함으로써 하나의 트리에 발생하는 손상이 전체 비디오 품질에 제한적인 영향만 미치게 만든다. 메쉬 방식의 P2P 스트리밍은 비디오 스트리밍을 다수의 이웃 PC들

로부터 획득할 수 있게 하므로 일부 PC가 이탈하는 경우에도 문제가 되지 않는다. 반면 메쉬 방식은 이웃 PC들과 비디오 버퍼 맵 정보 교환을 필요로 하고 완전한 비디오 스트리밍 획득에 많은 시간이 소요될 수 있기 때문에 자연시간이 커지는 단점이 있다. 최근의 분석 결과들은 대표적인 메쉬 방식의 P2P 스트리밍 기법인 PPLive, Coolstreaming, SopCast 등이 수십 초 이상의 종단간 지연 시간을 필요로 하고 있음을 보여주고 있다[2,4]. 따라서 비디오 방송과 채널 참여자간 다양한 형태의 대화 서비스(예, 텍스트 채팅, 음성 채팅 등)의 결합에 대한 요구가 높은 개인 IPTV는 자연시간에 민감하므로 메쉬 방식의 P2P 스트리밍은 개인 IPTV에는 적합하지 않음을 알 수 있다.

### III. QoS 기반 P2P 스트리밍 모델

#### 3.1 신뢰적인 스트리밍 트리 구축

본 논문에서 제안하는 P2P 스트리밍 모델에서는 그림 1에서 보는 바와 같이 개인 방송자(PB-Personal Broadcaster)에 의해 생성된 비디오 스트리밍 참여자가 BP(Bootstrap Peer), CP(Cooperative Peer), 그리고 UP(User Peer)로 구분되고, 모든 참여자는 서비스주인 채널에 참여하기 전에 채널 서버에 등록된다. BP는 개인 방송자인 PB의 지역 방송자(local broadcaster) 역할을 수행하는 PB와 매우 밀접한 관계의 참여자이다. PB의 IPTV 채널에 참여하는 사용자는 PB를 통해 BP 리스트와 BP의 상태(해당 BP가 관리하는 영역의 상태)를 확인할 수 있고 적절한 BP를 선택하여 IPTV 채널에 가입한다. PB가 몇 개의 BP를 사용할 것인지는 응용 환경에 따라 달라질 수 있다. 대체로 서비스 범위가 넓고 참여자의 수가 많은 경우 많은 수의 BP가 필요할 것이다. BP는 PB에 의해 채널 서비스 개시 전에 해당 채널에 등록된 참여자 중에서 결정된다. BP는 자신이 관리하는 영역(region)의 모든 참여자의 대역폭 상태를 관리한다.

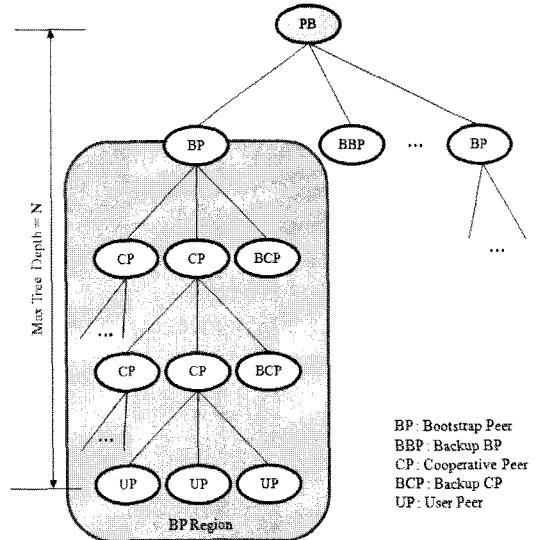


그림 1. QoS 기반 P2P 스트리밍 모델  
Fig. 1 QoS-based P2P streaming model

BP에 의해 관리되는 참여자는 트리의 중간 노드에 해당되는 CP(Cooperative Peer)와 트리의 종단 노드(leaf node)에 해당되는 UP(User Peer)로 나누어진다. CP는 충분한 대역폭을 가지고 다른 참여자에게 기꺼이 스트리밍 서비스를 제공하고자 하는 협조적인 참여자로서 사용자 등록 시에 제안 및 수락 방식으로 PB에 의해 결정된다. UP는 CP로 선택되지 않은 참여자로서 BP내의 CP의 대역폭에 여유가 있는 경우 UP는 트리의 중간 노드 위치에 존재하지 않는다. 만약 BP내의 모든 CP의 대역폭에 여유가 없는 경우 UP는 임시 CP 역할을 수행하게 되고 이후 CP 참여자가 추가되는 경우 신규 CP가 임시 CP의 위치를 대체하게 된다. PB의 특정 BP에 참여하는 참여자가 CP이면 해당 CP는 BP에 의해 관리되는 트리의 CP 중에 대역폭이 충분한 최상위 CP에 추가되고 참여자가 UP이면 대역폭이 충분한 최하위 CP에 추가된다. 이는 PB의 비디오 스트리밍에 협조적인 CP가 트리의 중간 노드에 위치함으로써 안정적인 트리를 구축하기 위함이다. 모든 CP의 대역폭 상태 정보는 해당 BP에 의해 관리된다. 만약 종단간 지연시간의 제약으로 인해 더 이상 UP를 추가할 수 없는 경우 해당 UP의 추가는 거부되고 해당 BP의 상태는 포화 상태가 되어 더 이상 참여자를 추가할 수 없는 상태(unjoinable state)가 된다.

본 모델에서 BP와 CP는 PB의 비디오 스트리밍에 협조할 준비가 되어 있어서 중간에 쉽게 이탈할 가능성은 높지 않다 하더라도 완전히 신뢰적인 참여자로 기대할 수는 없고, 충분한 수의 BP와 CP를 항상 확보하기를 기대하기는 어렵다. 따라서 본 P2P 스트리밍 모델에서는 BP와 CP에 대해 각각 백업 BP인 BBP(Backup BP)와 백업 CP인 BCP(Backup CP)를 설정한다. 특정 피어의 백업 피어는 자신의 자매 피어(sister peer) 중에서 선정되고, 해당 피어가 트리로부터 이탈할 경우 백업 피어가 해당 피어의 역할을 수행하게 된다. 백업 피어는 평상시에 자식 피어를 가지지 않는다.

본 모델에서 P2P 스트리밍의 신뢰도는 백업 BBP와 BCP를 몇 개 설정할 것인지에 따라 결정된다. 예를 들어 신뢰도 요구 사항이 높은 경우 BP(또는 CP)와 BBP(또는 BCP)의 비를 1:1로 설정하고, 신뢰도 요구 사항이 높지 않은 경우는 K:1( $K > 1$ )로 설정할 수 있을 것이다. 만약 PB가 모든 BP를 충분히 신뢰할 수 있으면  $K=0$ 으로 설정함으로써 BBP를 설정할 필요가 없을 것이다. CP와 BCP에 대해서도 유사한 관계가 성립될 수 있다.

백업 피어는 이탈한 BP 또는 CP를 대신 할 피어로서 백업 피어의 채널 참여 과정은 정규 피어의 참여 과정과 동일하다. 다만 백업 피어가 참여하는 경우 백업 대상이 되는 피어들에게 백업 피어의 정보(주소 등)를 통보함으로써 특정 피어가 이탈할 경우 해당 피어에 대한 백업 피어를 알 수 있게 한다. 특정 피어가 이탈하면 해당 피어의 자식 피어들은 부모 피어의 백업 피어에 연결되어 스트리밍 작업을 계속 수행하게 된다. 하나의 백업 피어가 몇 개의 피어를 백업할지는 신뢰도 요구 사항에 의해 결정된다. 예를 들어 백업율(backup ratio)이 3:1이면 한 개의 백업 피어가 3개의 정규 피어를 백업하게 된다. 이 경우 백업 피어의 대역폭은 백업 대상 피어(target peer)의 대역폭 중 가장 큰 대역폭보다 커야하고 만약 그렇지 않은 경우 2개 이상의 백업 피어를 설정함으로써 대역폭 요구 사항을 만족시킬 수 있어야 한다. 이를 위해서는 백업 피어의 대역폭은 식 (1) 관계를 항상 만족시킬 수 있어야 한다. 여기서  $K$ 는 백업율이고  $m$ 은  $K$ 개의 정규 피어에 대한 백업 피어의 개수이다.

$$\sum_{j=1}^m \text{Bandwidth}(\text{backup-peer}_j) \geq \max_i (\text{Bandwidth}(\text{target-peer}_i)), \quad 1 \leq i \leq K \quad (1)$$

### 3.2 참여자 수락 제어

본 논문에서 제시하는 QoS 기반 P2P 스트리밍 모델은 참여자 수락 제어(participant admission control)을 통해 응용이 요구하는 종단간 지연시간(end-to-end delay)과 비디오 대역폭(video bandwidth) QoS 제공을 보장한다.

종단간 지연시간(End-to-end Delay)에 의한 수락 제어 : 종단간 지연시간은 비디오의 출발지(source)인 PB로부터 비디오 사용자인 참여자 피어(BP, CP, 또는 UP)까지 비디오 스트리밍이 전송되는 데 걸리는 시간이다. 개인 IPTV 채널의 응용이 종단간 비디오 전송 지연시간이 일정 한계(종단간 지연시간 한계,  $D^{bound}$ ) 내에 유지되기를 요구하는 경우, P2P 스트리밍에 참여자가 추가될 때마다 지연시간 요구 사항 충족 여부를 검사할 수 있어야 한다.

본 논문에서 제시하는 P2P 스트리밍 프로토콜에서는 스트리밍 트리의 모든 링크의 지연시간(트리 링크 지연시간,  $D^{tlink}$ )이 일정한 것으로 가정함으로써 종단간 지연시간에 대한 예측 시간이 트리 경로상의 링크 수에 의해 계산될 수 있게 한다. 본 모델에서 스트리밍 채널 참여자들은 BP에 의해 지역적으로 클러스터링되므로 트리 링크의 지연시간에 큰 차이가 없는 것으로 간주하더라도 무리가 없는 반면, 종단간 지연시간에 대한 간단한 예측은 참여자 추가에 대한 수락 제어(admission control)를 단순화하여 초기 지연시간(startup delay)을 획기적으로 줄이는 이점이 있다. 본 모델에서 채널 참여자의 종단간 지연시간은 식 (2) 관계를 통해 항상 보장되어야 한다.

$$\text{Peer}_{\text{depth}}^{\text{tree}} \times D^{tlink} \leq D^{bound} \quad (2)$$

여기서  $\text{Peer}_{\text{depth}}^{\text{tree}}$ 는 참여자의 트리 깊이(경로상의 링크 수),  $D^{tlink}$ 는 트리 링크 지연시간,  $D^{bound}$ 는 종

단간 지연시간 한계를 나타낸다. 따라서 특정 참여자가 추가되는 위치의 트리 깊이가 식 (3)의 관계를 만족시킬 수 없으면 해당 참여자의 스트리밍 채널 참여 요청은 거절된다.

$$Peer_{depth}^{tree} \leq \lfloor \frac{D^{bound}}{D^{link}} \rfloor \quad (3)$$

**대역폭(bandwidth)에 의한 수락 제어 :** 본 논문에서 제시하는 P2P 스트리밍 모델에서 각 참여자는 서로 다른 상향 대역폭(uplink bandwidth)과 하향 대역폭(downlink bandwidth)을 가질 수 있다. 하향 대역폭은 비디오 스트림의 수신 능력을 결정하는 요소이고 상향 대역폭은 다른 참여자에 대한 비디오 스트림 전송 능력을 결정하는 요소이다. 본 모델에서 참여자의 대역폭은 해당 참여자가 채널 서버에 등록할 때 일정 크기의 파일을 다운로드하고 업로드 함으로써 측정될 수 있다. 본 모델에서 대역폭은 항상 다음과 같은 관계를 만족시킴으로써 비디오의 대역폭 요구사항을 충족시킬 수 있어야 한다.

$$Peer_{bandwidth}^{downlink} > Video^{bandwidth} \quad (4)$$

$$Peer_{bandwidth}^{uplink} > Video^{bandwidth} \times Node^{no} \quad (5)$$

여기서  $Peer_{bandwidth}^{downlink}$ 는 참여자의 하향 대역폭,  $Video^{bandwidth}$ 는 비디오 스트림의 대역폭,  $Peer_{bandwidth}^{uplink}$ 는 참여자의 상향 대역폭,  $Node^{no}$ 는 참여자의 자식 노드(참여자) 수를 나타낸다. 만약 식 (4)의 관계를 만족시킬 수 없으면 해당 참여자의 참여 요청은 거절된다. 그리고 특정 피어에 연결된 자식 참여자의 수( $Node^{no}$ )가 식 (6)의 관계를 충족시킬 수 있으면 해당 피어에 새로운 참여자를 추가시킬 수 있다.

$$Node^{no} < \lfloor \frac{Peer_{bandwidth}^{uplink}}{Video^{bandwidth}} \rfloor \quad (6)$$

## IV. QoS 기반 P2P 스트리밍 프로토콜

### 4.1 P2P 스트리밍 채널 생성

본 논문의 QoS 기반의 P2P 스트리밍 프로토콜의 스트리밍 채널 생성 절차는 그림 2와 같다. 개인 방송자(personal broadcaster)는 채널 등록 과정을 통해 채널 정보(채널 이름 및 주소, 채널 설명, 채널 스케줄링 정보, BP 정보 등)를 미리 채널 서버(CS-Channel Server)에 등록한다.

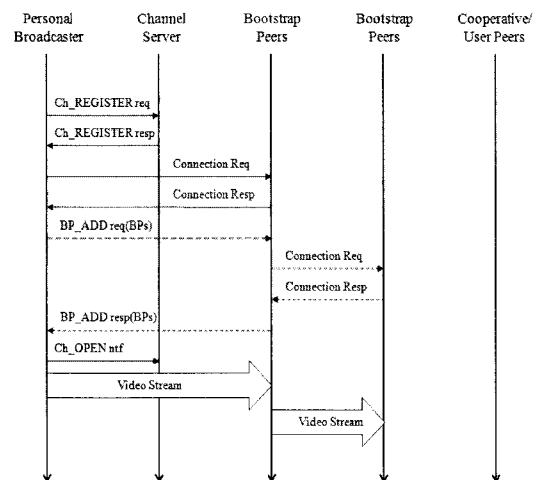


그림 2. P2P 스트리밍 채널 생성 절차  
Fig. 2 P2P streaming channel creation procedure

등록된 채널을 개방(open)하기 위해 BP는 먼저 자신의 지역 방송국 역할을 수행할 BP들을 초기화한다. 자신과 직접 연결될 BP들과는 직접 연결을 설정하고, 간접적으로 연결되어야 할 BP들이 있으면 직접 연결된 BP들에게 BP 추가 요청 메시지(BP\_ADD req)를 전송하여 해당 BP들과 연결을 설정하게 한다. BP들의 초기화가 완료되면 PB는 채널 서버에게 채널 개방을 통지(Ch\_OPEN ntf)하고 BP들에게 비디오 스트림 전송을 개시 한다.

### 4.2 P2P 스트리밍 채널 참여

본 QoS 기반 P2P 스트리밍 프로토콜에서 스트리밍 채널에 대한 가입자의 참여 절차는 그림 3과 같다.

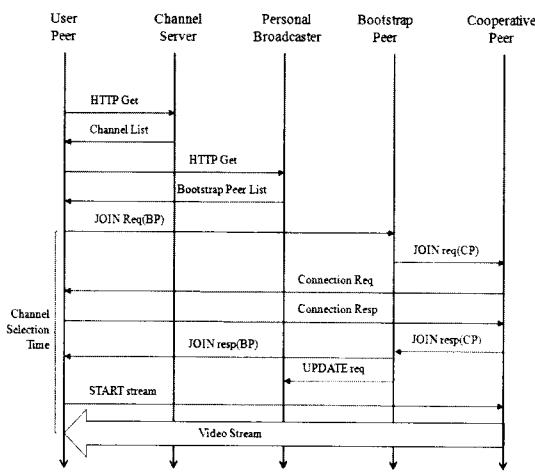


그림 3. P2P 스트리밍 채널 가입 절차  
Fig. 3 Join procedure for a P2P streaming channel

채널 가입자는 채널 서버를 접근함으로써 채널 리스트(channel list) 정보를 획득하고 가입자가 특정 채널을 선택할 경우 해당 채널의 개인 방송자(PB)에 대한 지역 방송자 역할을 수행하는 BP 리스트와 각 BP의 상태(BP status) 정보를 획득한다. BP의 상태 정보는 해당 BP가 관리하고 있는 영역(BP region)이 가입자가 참여할 수 있는 상태에 있는지를 표시한다. BP 영역의 참여 가능 상태는 BP 영역에 속한 CP들(임시 CP 포함)의 상향 대역폭에 여유가 있는지에 의해 결정된다. 즉, BP 영역에 존재하는 어떤 CP(또는 임시 CP)가 가입자(UP 또는 CP)를 트리 깊이(tree depth)와 연계되는 종단간 지연시간 한계(end-to-end delay bound)내에서 수용할 수 있으면 해당 BP는 참여 가능 상태(joinable state)에 있다.

가입자 피어(UP 또는 CP)는 특정 BP를 선택함으로써 해당 채널에 대한 참여 요청(JOIN req) 메시지를 해당 BP에게 송신한다. 자신이 관리하고 있는 CP에 대한 정보를 유지하고 있는 BP는 가입자를 추가할 목표 CP(target CP)를 선정하고 참여 요청 메시지를 목표 CP에게 전달한다. 가입자가 CP일 경우 목표 CP는 BP가 관리하는 CP 중에 대역폭이 충분한 트리의 최상위 CP가 되고, 가입자가 UP일 경우 목표 CP는 대역폭이 충분한 최하위 CP가 된다. 만약 가용한 CP가 없는 경우 가용한 UP가 임시 CP로 선정되고, 임시 CP도 선정할 수 없는 경우는 BP의 상태가 참여 불가능(unjoinable state)가 되어 가입자의 참여 요청은 거절된다.

참여 요청 메시지를 수신한 목표 CP는 가입자 피어와 제어 정보 교환을 위한 TCP 연결을 설정한다. 이 연결은 목표 CP와 가입자 피어(UP 또는 CP)간에 스트리밍이 지속되는 동안 유지되고 연결 종료는 상대방 피어의 이탈을 표시한다. 연결 설정이 완료되면 목표 CP는 참여 응답(JOIN resp) 메시지를 BP에게 보냄으로써 해당 가입자의 참여 과정이 완료되었음을 통보하고, BP는 다시 가입자 피어에게 참여 응답 메시지를 전달함으로써 참여 과정 완료를 통보한다. 이 때 BP에 유지되는 목표 CP의 대역폭 정보가 갱신되고 갱신된 BP의 상태 정보는 PB에게 갱신 요청(UPDATE req) 메시지를 통해 전달된다. 참여 응답 메시지를 수신한 가입자 피어는 스트리밍 개시(START stream) 메시지를 목표 CP에게 전송하고, 목표 CP는 자신의 비디오 스트리밍을 가입자 피어에게 전송한다.

#### 4.3 P2P 스트리밍 채널 이탈

본 P2P 스트리밍 프로토콜에서 스트리밍 채널 참여자 중에 UP(User Peer)가 이탈하는 경우에는 다른 피어들에게 거의 영향을 미치지 않으므로 이탈 절차가 간단하다. 그러나 트리에서 중간 노드에 해당하는 CP가 이탈하는 경우에는 하위의 피어들에게 영향을 미치므로 다소 복잡한 절차를 거쳐 처리된다. 그림 4에서 보는 바와 같이 채널을 이탈하고자 하는 CP(Leaving CP)는 이탈 통지(LEAVE ntf) 메시지를 부모 CP(Parent CP), 백업 CP(BCP), 그리고 자식 피어들(Children Peers)에게 전송함으로써 자신의 이탈을 통지한다. 이탈 통지 메시지를 수신한 자식 피어들은 각각 BCP와 연결을 설정하고 스트리밍 개시(START stream) 메시지를 BCP에게 전송한다.

비디오 스트리밍 전송을 시작한 BCP와 BCP로부터 비디오 스트리밍을 수신한 자식 피어는 각각 이탈 확인(LEAVE cnf) 메시지를 이탈하고자 하는 CP에게 전달함으로써 해당 CP의 이탈을 수용한다. BCP와 자식 피어들로부터 이탈 확인 메시지를 수신한 이탈 CP는 자신의 부모 CP에게 스트리밍 중지(STOP stream) 메시지를 송신하고 스트리밍 중지 메시지를 수신한 부모 CP는 이탈 CP로의 비디오 스트리밍 전송을 중지하고 이탈 확인 메시지를 이탈 CP에게 송신한다. 부모 CP로부터 이탈 확인 메시지를 수신한 이탈 CP는 부모 CP와 연결을 해제함으로써 채널로부터 이탈 절차를 완료한다. 이탈

절차가 완료된 후 부모 CP는 BP에게 이탈 CP에 대한 정보를 포함하는 자신의 상태 정보 변경 내용을 갱신하도록 요청한다.

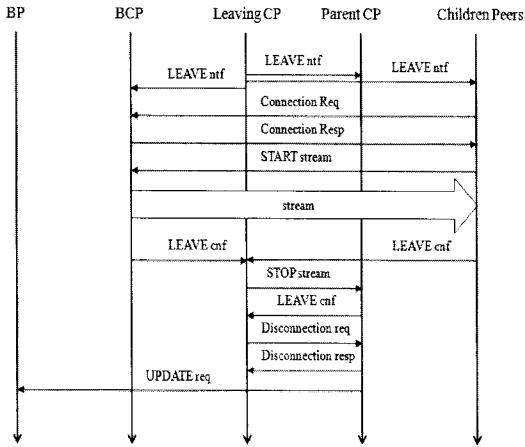


그림 4. P2P 스트리밍 채널 이탈 절차  
Fig. 4 Leave procedure for a P2P streaming channel

CP가 비정상적으로 갑자기 이탈하게 되는 경우의 이탈 절차는 그림 4의 정상적인 이탈 절차와 다소 차이가 있다. CP의 비정상적인 이탈은 자식 피어와의 연결 단절(disconnection)을 통해 인지되고, 부모 CP의 이탈을 감지한 자식 피어는 BCP와의 연결 설정, 스트리밍 전송 개시, BCP와 부모 CP에 의한 상태 정보 갱신 등의 과정을 거쳐 수행된다. 본 모델에서 이탈 CP에 대한 백업 CP 할당은 1회에 한정하여 지원한다. 이는 주로 코뮤니티 가입자를 대상으로 서비스되는 개인 IPTV의 참여자가 어느 정도의 신뢰도로 스트리밍에 참여하는 것을 고려하여 반복적인 백업 CP 지정에 따른 오버헤드를 피하고자 함이다. 만약 BCP가 없는 상태에서 CP가 이탈하는 경우 해당 CP의 자식 피어는 각각 BP에게 참여 요청을 하게 되고 이후의 과정은 신규 피어가 채널에 참여하는 과정과 동일하다.

## V. 프로토콜 분석

본 논문에서 제시하는 QoS 기반 P2P 스트리밍 프로토콜은 종단간 지연시간 한계(end-to-end delay bound),

비디오 대역폭(video bandwidth), 신뢰 수준(reliability level)과 같은 응용의 QoS 요구사항을 적절하게 충족시키도록 설계되었다는 점에서 기존의 P2P 스트리밍 기법들과 차별화된다. 뿐만 아니라 본 논문의 P2P 스트리밍 프로토콜은 가입자가 채널을 선택하여 실제 비디오 스트리밍을 수신하는 데까지 걸리는 시간, 즉 채널 선택 시간(channel selection time) 또는 초기화 지연시간(startup delay)을 최소화할 수 있는 장점을 제공한다. 본 논문에서 제시하는 프로토콜의 채널 선택 시간은 그림 3에서 보는 바와 같이 약 4 RTT(Round Trip Time) 정도가 됨을 알 수 있다. 인터넷의 상황에 따라 RTT가 다초 차이가 있을 수 있지만 대체로 RTT는 200ms 정도를 초과하지 않으므로 채널 선택 시간은 800ms 내외가 되고, 수초 ~ 수십 초의 초기화 지연시간을 필요로 하는 PPLive, Coolstreaming, SopCast 등과 비교할 때 매우 작은 수준임을 알 수 있다.

트리 기반의 P2P 스트리밍에서 전체 시스템의 성능에 크게 영향을 미칠 수 있는 요소는 참여자 이탈에 따른 트리 재구축에 소요되는 시간(tree reconstruction time)과 트리 재구축에 따른 스트리밍 불능구간(streaming gap)의 발생 문제이다. 본 논문의 P2P 스트리밍 프로토콜은 개인 방송자에 의해 협조자로 선정되는 BP와 CP가 트리의 중간 노드를 형성하고 BP와 CP에 대한 백업 피어를 선정함으로써 트리 재구축 가능성 자체를 줄이도록 설계되었다. 그럼에도 불구하고 그림 4와 같이 정상적인 절차를 거쳐 트리가 재구축되는 경우 트리 재구축 시간은 약 5.5 RTT가 소요되는 반면 백업 피어(BBP 또는 BCP)로부터 스트리밍이 개시된 후 이탈 피어로부터 스트리밍이 종료되므로 스트리밍 불능구간은 발생하지 않는다.

만약 BP 또는 CP가 비정상적으로 채널을 이탈하여 트리를 재구성하는 경우의 트리 재구축 시간은 약 4.5 RTT가 소요되고, 이 경우 약 3 RTT의 스트리밍 불능구간이 발생한다. 스트리밍 불능구간은 서비스 품질에 큰 영향을 미치므로 충분한 수의 BP와 CP를 신중하게 선택하여 BP와 CP의 비정상적인 이탈 상황 발생을 최소화할 필요가 있다.

$$\text{Abnormal Tree Reconstruction Time} \quad (7)$$

$$\cong 4.5 \times RTT$$

$$\text{Streaming Gap} \cong 3 \times RTT \quad (8)$$

본 논문의 P2P 스트리밍에서 종단간 지연시간과 대역폭을 제공할 수 있을 때만 참여자를 수락하고 그렇지 않은 경우 해당 참여자는 P2P 스트리밍에 참여할 수 없게 된다. 이는 응용의 QoS 요구 사항에 의해 해당 스트리밍 채널에 대한 참여자 수가 제한됨을 의미한다. 하나의 피어 노드(CP 또는 BP)에 연결될 수 있는 자식 피어의 수의 평균은 상향 대역폭의 평균과 비디오 대역폭을 통해 계산할 수 있으므로 종단간 지연시간 한계에 의해 트리 깊이가 결정되면 참여 가능한 전체 피어의 수를 쉽게 구할 수 있다. 여기서 중간 노드를 형성하는 전체 피어 중에 백업 피어는 자식 피어를 가질 수 없으므로 백업 피어에 연결될 수 있는 자식 피어의 총 개수는 전체 피어의 개수에서 제외되어야 한다. 따라서 본 연구의 QoS 기반 P2P 스트리밍에 참여할 수 있는 참여자 수는 식(9)에 의해 결정된다. 예를 들어 평균 상향 대역폭이 5Mbps, 비디오 대역폭이 500Kbps, 종단간 지연시간 한계가 1000ms, 트리 링크 지연시간이 200ms, 그리고 백업율을 2:1로 가정할 경우 채널 참여자 총수는 식(9)에 의해 50,000명으로 계산된다.

$$\begin{aligned} QoS - participants = & \quad (9) \\ & \left( \left\lfloor \frac{Uplink_{average}^{bandwidth}}{Video^{bandwidth}} \right\rfloor^{(N-1)} - \right. \\ & \left. \left\lfloor \frac{\left\lfloor \frac{Uplink_{average}^{bandwidth}}{Video^{bandwidth}} \right\rfloor^{(N-1)}}{K} \right\rfloor \right) \\ & \times \left\lfloor \frac{Uplink_{average}^{bandwidth}}{Video^{bandwidth}} \right\rfloor \end{aligned}$$

식(9)에서 K는 백업율을 나타내고 N은 트리의 최대 깊이를 나타낸다. N은 식(10)에 의해 계산된다.

$$N = \lfloor \frac{D^{bound}}{D^{tlink}} \rfloor \quad (10)$$

현재 인터넷 접속망은 100Mbps급의 VDSL(Very high-speed DSL), ETTH(Ethernet To The Home), FTTH(Fiber To The Home) 기반으로 급속히 광대역화 되고 있으므로 참여자의 상향 대역폭은 충분히 확보될 수 있고, 압축 기술의 발전으로 비디오 대역폭 요구사항은 점차 낮아지는 추세에 있다. 따라서 본 논문에서 제시하

고 있는 수락 제어에 기초한 QoS 기반의 P2P 스트리밍 기법은 향후 개인 IPTV 채널을 위한 충분한 참여자를 수용할 수 있다.

## VI. 결론

본 논문이 제안하는 QoS 기반의 P2P 스트리밍 프로토콜은 종단간 지연시간 한계(End-to-End Delay Bound), 비디오 대역폭(Video Bandwidth), 신뢰 수준(Reliability Level)과 같은 개인 IPTV 응용의 QoS 요구사항을 적절하게 충족시키도록 설계되었다. 또한 본 논문의 P2P 스트리밍 기법은 짧은 채널 선택 시간(Channel Selection Time)과 트리 재구축 시간(Tree Reconstruction Time)을 보장할 뿐만 아니라, 광대역 가입자 환경에서 개인 IPTV 채널을 위한 충분한 참여자 수용을 지원한다. 본 논문의 QoS 기반의 P2P 스트리밍 프로토콜은 P2P 스트리밍의 확장성(scalability), 가용성(availability), 그리고 편재성(ubiquity)의 장점을 살리면서 성능(performance)과 신뢰성(reliability) 측면의 단점을 적절하게 보완함으로써 기존 광대역 인터넷 환경에서 오락, 개인 교육, 공동 작업, 개인 뉴스 등 다양한 실시간 개인 IPTV 채널을 구현할 수 있게 한다.

## 참고문헌

- [1] Jin Liang, et al., "A Framework for Future Internet-Based TV Broadcasting," IPTV Workshop, Int'l World Wide Web Conference, Edinburgh, UK, May 23, 2006.
- [2] Alexandro Sentinelli, et al., "Will IPTV Ride the Peer-to-Peer Stream," IEEE Communications Magazine, June 2007
- [3] J. Bouwen, K. Vanderlinden, and T. Ataneker, "Communication Meets Entertainment: Community Television," Alcatel Teccommunications Review, 1st Quarter 2005.
- [4] Jami Peltotalo, et al., "Peer-to-Peer Streaming Technology Survey," 7th Int'l Conference on Networking, Cancun, Mexico, 13-18 April 2008.

- [5] 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, Jan. 2008.
- [6] Xiaojun Hei, Yong Liu, and Keith W. Ross, "IPTV over P2P Streaming Networks: The Mesh-Pull Approach," IEEE Communications Magazine, Feb. 2008.
- [7] Bo Li and Hao Yin, "Peer-to-Peer Live Video Streaming on the Internet: Issues, Existing Approaches, and Challenges," IEEE Communications Magazine, June 2007.
- [8] 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, Dec. 2007.
- [9] V. Venkatarman, P. Francis, and J. Calandrino, "Chunkspread: Multi-tree Unstructured Peer-to-Peer Multicast," 5th Int'l Workshop on Peer-to-Peer Systems," Santa Barbara, CA, USA, Feb. 2006.

### 저자소개



박승철(Seungchul Park)

'85.2 : 서울대 계산통계학과 졸  
 '87.2 : KAIST 전산학과 석사  
 '96.8 : 서울대 컴퓨터공학과 박사,  
 ETRI 연구원, 한국IBM,

현대전자 네트워크연구소장, 현대네트웍스(주) 연구  
 소장 역임, 현재 한국기술교육대학교 부교수  
 ※ 관심분야: 광대역통신망, 멀티미디어통신,IPTV