

대역폭 적응형 분산 스트리밍 기법을 이용한 IPTV 서비스용 오버레이 멀티캐스트 네트워크

(Overlay Multicast Network for IPTV Service using Bandwidth Adaptive Distributed Streaming Scheme)

박은용[†] 유정^{**} 한선영^{***} 김진철^{****} 강상욱^{****}
(Eunyong Park) (Liu Jing) (Sunyoung Han) (Chinchol Kim) (Sang-ug Kang)

요약 본 논문에서는 IPTV 표준화 기구인 ITU-T IPTV FG(Focus Group)에서 제안한 IPTV 참조 모델을 기반으로 라이브 IPTV 방송이 고객에게 전달되는 과정을 네트워크 관점에서 분석하여 각 네트워크 특성에 맞는 멀티캐스트 기법을 적용한 혼합형 오버레이 멀티캐스트 네트워크인 ONLIS(Overlay Multicast Network for Live IPTV Service)를 제안한다. IPTV 방송사 네트워크와 네트워크 서비스 제공자의 백본 네트워크에는 안정적인 스트림 분산과 효율적인 트래픽 관리를 위해 전용 서버 기반의 오버레이 멀티캐스트 네트워크를 적용하고, 중단 사용자가 네트워크에 접속하는 구간인 액세스 네트워크 구간은 P2P 방식 오버레이 네트워크를 구성하여 서버 부하 절감효과를 얻을 수 있다.

P2P 기술을 이용하여 라이브 스트림을 전송할 때 해결해야 할 가장 중요한 과제는 전송 지연 단축과 전송 스트림 품질 향상이다. 이 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 P2P 관련 기술을 제시한다. 제안 기술은 서버 기반과 P2P 기반의 혼합형 오버레이 멀티캐스트 네트워크의 장점을 활용한 분산 스트리밍 P2P 트리(DSPT: Distributed Streaming P2P Tree)를 이용한 전송 기법이다. 제안하는 P2P 전송 방식은 전적으로 피어에 스트림 전송을 의존하지 않고 액세스 네트워크의 전용 오버레이 멀티캐스트 전송 장비인 릴레이(Relay)와 협조하는 방식으로, 피어에 장애가 발생하면 즉시 릴레이로부터 스트림 수신을 재개하여 끊김 없는 스트림 서비스를 받을 수 있다. 또한, 하나의 스트림을 여러 서버와 경로를 통해 전송할 수 있는 분산 스트리밍 기법을 적용하여 공급 피어의 전송 대역폭 허용하는 범위 내에서 스트림을 전송하고, 나머지는 로컬 액세스 네트워크의 오버레이 전송 장비로부터 수신하여 P2P 네트워크의 전송 효율성을 향상하였다.

키워드 : IPTV, 오버레이, 멀티캐스트, 스트리밍, P2P, 방송

Abstract This paper introduces ONLIS(Overlay Multicast Network for Live IPTV Service), a novel overlay multicast network optimized to deliver live broadcast IPTV stream. We analyzed IPTV reference model of ITU-T IPTV standardization group in terms of network and stream delivery from the source networks to the customer networks. Based on the analysis, we divide IPTV reference model into 3 networks: source network, core network and access network. ION(Infrastructure-based Overlay Multicast Network) is employed for the source and core networks and PON(P2P-based Overlay

* This work was supported by NIA(National Information Society Agency) of Korea for research on "Development and test a methodology of the network performance measurement of super broadband service". (2009-A015-0023)

[†] 비회원 : 주인내트 개발팀 차장
thatstfun@gmail.com
^{**} 학생회원 : 건국대학교 정보통신 컴퓨터공학과
jing8100@gmail.com
^{***} 중신회원 : 건국대학교 정보통신 컴퓨터공학과 교수
syhan@cclab.konkuk.ac.kr
(Corresponding author)

^{****} 비회원 : 한국정보화진흥원 디지털인프라단 융합서비스부 책임연구원
cckim@nia.or.kr

^{****} 비회원 : 한국정보화진흥원 디지털인프라단 융합서비스부 부장
sukang@nia.or.kr
논문접수 : 2010년 3월 3일
심사완료 : 2010년 10월 12일

Copyright©2010 한국정보과학회: 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제16권 제12호(2010.12)

Multicast Network) is applied to the access networks. ION provides an efficient, reliable and stable stream distribution with very negligible delay while PON provides bandwidth efficient and cost effective streaming with a little tolerable delay.

The most important challenge in live P2P streaming is to reduce end-to-end delay without sacrificing stream quality. Actually, there is always a trade-off between delay & stream quality in conventional live P2P streaming system. To solve this problem, we propose two approaches. Firstly, we propose DSPT(Distributed Streaming P2P Tree) which takes advantage of combinational overlay multicasting. In DSPT, a peer doesn't fully rely on SP(Supplying Peer) to get the live stream, but it cooperates with its local ANR(Access Network Relay) to reduce delay and improve stream quality. When RP detects bandwidth drop in SP, it immediately switches the connection from SP to ANR and continues to receive stream without any packet loss. DSPT uses distributed P2P streaming technique to let the peer share the stream to the extent of its available bandwidth. This means, if RP can't receive the whole stream from SP due to lack of SP's uploading bandwidth, then it receives only partial stream from SP and the rest from the ANR. The proposed distributed P2P streaming improves P2P networking efficiency.

Key words : IPTV, Overlay, Multicast, Streaming, P2P, Broadcast

1. 서론

국내의 대표적인 IPTV 서비스는 메이저 통신 3사에 의해 제공되는 통신 사업자 기반 서비스이다. 이러한 통신 사업자에 의해 제공되는 IPTV 서비스는 서비스 품질 문제 및 실시간 스트림 전송의 기술적 한계를 극복하기 위해 전용 프리미엄 네트워크를 별도로 구축해야 했다. 또한, 프리미엄 네트워크 의존성 때문에 자사의 인터넷 회선 서비스에 가입한 고객만을 대상으로 서비스 하고 있으며, 전용 STB를 이용해야하는 등 다양한 서비스 제한이 있다.

IP 멀티캐스팅은 라이브 IPTV 방송을 전송하기 위한 가장 효율적이며 이상적인 방식이다[1-7]. 네트워크 수준에서 지원하는 데이터 분산 기능은 구성된 네트워크 토폴로지에 최적화된 전송이 가능하여 스트림의 중복 전송을 방지한다. 하지만, IP 멀티캐스팅의 장점이 갖는 혜택을 누리기 위해서는 모든 IPTV 전송 네트워크를 IP 멀티캐스팅이 가능한 네트워크로 대체해야 한다. 실제로 국내 3개 IPTV 사업자들이 천문학적인 금액을 투자하여 IPTV 서비스를 위한 가입자 망 고도화 사업을 벌이고 있다. 결국, 막대한 투자의 필요로 인해 국내 최대 사업자를 제외한 나머지 사업자의 경우, 1차 상용 서비스를 인구 밀도가 높은 수도권 중심을 대상으로 제한하고 있다. 뿐만 아니라, IP 멀티캐스팅은 세션 관리, 보안 문제, 서비스 확장, 채널 확장 등에 걸쳐 해결해야 할 많은 당면 과제들이 있다.

이러한 IP 멀티캐스팅의 문제점들을 해결하기 위한 다양한 대체 기술이 연구되고 있다. IPTV 표준화 추진 단체인 ITU-T의 IPTV FG(Focus Group)[4,5]는 클라이언트/서버 방식 유니캐스팅 기법, P2P(Peer-to-Peer) 기법, 오버레이 멀티캐스팅 기법 등을 IP 멀티캐스팅의

대체 기술로 검토하고 있다. 유니캐스팅 기법은 전통적인 클라이언트/서버 방식으로 클라이언트의 스트림 요청에 대해 서버가 일대일로 전송하는 방식이다. 장점은 기존의 유니캐스트 스트리밍 방식을 그대로 사용할 수 있으며, 안정적인 스트리밍 서비스를 제공할 수 있다. 하지만, 클라이언트 규모와 비례하여 서버와 네트워크 용량 등 서비스 측 규모도 증가된다.

오버레이 멀티캐스팅 방식은 네트워크 계층에 새로운 서비스를 구축하는데 대한 제약을 극복하기 위한 방법으로 널리 이용된다. 네트워크 계층의 지원을 필요로 하는 새로운 기술이 개발될 때 마다 기반 네트워크를 업데이트하는 것은 불가능하다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 응용 계층에 기술을 구현하고, 응용계층간 가상의 서비스 네트워크를 구축함으로써, 실제 물리적 네트워크 토폴로지 위에 구현하는 가상의 네트워크를 오버레이 네트워크라고 한다. 대표적인 오버레이 네트워크로 오버레이 QoS 네트워크와 오버레이 멀티캐스트 네트워크를 들 수 있다.

오버레이 멀티캐스트 네트워크는 IP 멀티캐스트의 대체 기술로, 오버레이 멀티캐스트 노드가 멀티캐스트 라우터 역할을 하여, 데이터의 중복 전송을 최소화하여 네트워크 효율성을 향상시킨다[8-17]. 오버레이 네트워크를 구축하는 방식은 전용 서버를 이용하여 오버레이 멀티캐스트 노드 또는 프록시(Proxy)를 구축하는 방식과 P2P와 같이 사용자 자원을 이용하여 구축하는 방식 그리고 두 방식을 혼합하는 방식이 있다. 전용 서버 방식은 네트워크상의 전략적인 위치에 전용 서버를 배치하여 안정적인 서비스를 제공할 수 있는 반면, 전용 서버를 설치하기 위한 비용적인 부담이 있다. 반면 P2P 방식은 P2P 스트리밍과 동일한 장단점을 가지고 있다. 전용 서버 방식과 P2P 방식을 혼합한 방식은 두 가지 방

식의 장점을 잘 활용한 방식이라고 할 수 있다.

지금까지 P2P 라이브 스트림 전송의 문제점 극복을 위하여 다양한 솔루션이 연구되었고, 일부는 상용화되어 서비스되고 있다. 특히, 올림픽과 같이 큰 스포츠 이벤트는 멀티캐스팅의 효율성을 극대화하여 시험할 수 있는 중요한 기회다. 지난 2008 베이징 올림픽 기간에도 국내외 주요 공중파 방송사에서 P2P를 이용한 라이브 스트리밍 서비스를 제공하였다. 공중파 방송과 P2P 방송의 재생 시간 차를 측정한 결과, P2P 방송이 공중파 방송에 비하여 적게는 20초에서 많게는 60초 가량의 지연이 측정되었다. 이는 사용자 자원을 활용하여 스트림을 전송하기 때문에 지속적으로 안정적인 서비스를 제공할 수 없다는 P2P의 근본적인 문제점을 해결하기 위한 방안으로 지연 시간을 길게 설정한 것으로 추측된다. 만약, 지연 시간을 짧게 설정 하였을 경우, 스트림을 공급해주던 피어(Peer)가 탈퇴 또는 장애 발생으로 인해 스트림을 전송하지 못하는 경우, 새로운 공급 피어를 검색하여 스트림 전송을 재개할 때까지 필요한 시간이 버퍼 시간을 초과할 수 있고, 결국 재 버퍼링이 발생하게 된다. 이 예에서 보았듯이, P2P를 이용한 라이브 스트리밍 방식에서 전송 지연이 발생하는 가장 큰 요소는 공급 피어의 장애 발생으로 인한 장애 발생 감지 시간과, 대체 공급 피어 검색 및 접속하여 스트림이 안정적으로 재개되는데 필요한 시간임을 알 수 있다. 이 두 가지 지연 발생 요소를 해결한다면, 라이브 스트림 전송에 적합한 수준으로 지연 시간을 단축할 수 있다.

본 논문에서는 라이브 IPTV 방송을 전송하기에 최적화된 오버레이 멀티캐스트 네트워크를 구축하기 위해 ITU-T의 IPTV 표준화 추진 그룹에서 정의한 IPTV 서비스 모델을 분석하여 두 종류의 오버레이 멀티캐스트 네트워크 구축 기법을 적용하였다. 라이브 IPTV 방송 송출이 시작되는 콘텐츠 공급자 또는 서비스 공급자 네트워크와 이를 전국에 배포하기 위한 네트워크 공급자의 네트워크에는 전용 서버 방식의 기반 오버레이 네트워크(ION: Infrastructure-based Overlay Multicast Network)를 구축하여 안정적이고 신뢰성 있는 전송을 도모하였다. 고객이 네트워크에 접근할 수 있는 액세스 네트워크 구간은 P2P 방식 오버레이 네트워크(PON: P2P-based Overlay Multicast Network)를 적용하여 네트워크 전송 효율성과 경제성을 추구한 라이브 IPTV 방송 전송을 위한 혼합형 오버레이 멀티캐스트 네트워크(Hybrid Overlay Multicast Network)다.

라이브 IPTV 방송 전송을 위한 혼합형 오버레이 네트워크를 구현하기 위해 제안된 주요 기술로는 P2P 방식의 효율성 및 경제성의 이점을 취하면서도, 전송 지연 단축과 서비스 품질을 확보할 수 P2P 전송 구조(DSPT:

Distributed Streaming P2P Tree)와 피어의 스트림 공급용 상향 대역폭 부족에 따른 무임 승차 문제를 해결하기 위해 분산 P2P 스트리밍 방식을 적용하였다.

이후 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 제안된 기술과 관련된 관련 연구들이 간략히 소개된다. 3장에서는 본 논문의 핵심 구조인 혼합형 오버레이 멀티캐스트 네트워크 구조에 대해 설명하고, 적용된 두 가지의 오버레이 네트워크 구성 및 기본 동작 방식을 소개한다. 4장에서는 전송 지연 단축과 서비스 품질을 확보할 수 있는 대역폭 적응이 가능한 분산 P2P 스트림 전송 구조인 DSPT를 소개한다. 5장은 본 논문에서 소개된 주요 기술들의 성능을 실험 분석하고, 구현 결과를 소개한다. DSPT는 시뮬레이션을 통해 서버 부하 절감 관점에서의 효율성을 분석하였다. 마지막으로 6장에서는 결론을 내린다.

2. 관련 연구

관련 연구에서는 본 논문에서 제안하는 기술들과 관련된 연구들을 간략히 소개한다.

2.1 IPTV

IPTV는 광대역 네트워크를 이용하여 디지털 영상, 양방향 데이터 및 다양한 개인 맞춤형 비스를 제공하는 신개념 기술이다. 초고속 인터넷이라는 통신 수단과 방송의 대표 단말인 TV가 융합되어 만들어낸 통방융합의 새로운 패러다임이다.

IPTV의 표준화 단체인 ITU-T의 IPTV FG(Focus Group)은 IPTV를 텔레비전, 비디오, 오디오, 텍스트, 그래픽, 데이터등과 같은 멀티미디어 서비스를 일정 수준 이상의 QoS, QoE, 보안, 양방향성 및 신뢰성이 제공되는 IP 기반 네트워크를 통해 전달하는 것이라고 정의하였다. 즉, TV 전송에만 그 영역을 국한하지 않고, 다양한 멀티미디어를 전송할 뿐만 아니라, 그와 관련된 네트워크 전송 기술 및 품질 등을 모두 IPTV 기술의 범위에 포함하여 표준화하려는 ITU-T의 의도이다. ITU-T는 IPTV의 신속한 표준화를 위해 IPTV FG를 구성하여 단기간에 집중적으로 표준화를 진행하였으며, SG(Study Group)-13으로 모든 관련 기능 및 문서가 이관되었다[18].

2.2 P2P 라이브 스트리밍 기술

P2P 기술에서 피어는 데이터를 주고 받는 네트워크 상의 구성원들이 동등한 지위를 갖는 수평관계를 갖는다는 것을 나타내기 위한 용어이다. 이는 웹과 같이 인터넷을 대표하는 서비스가 갖는 전통적인 수직관계 구조의 클라이언트/서버 모델과 대응되는 개념이다. 피어간 데이터를 공유하는 P2P 방식에서 피어는 서버와 동시에 클라이언트가 된다. P2P 컴퓨팅은 공동 파일서버에 전적으로 의존하지 않으면서 각 PC 간의 직접적인 리소스

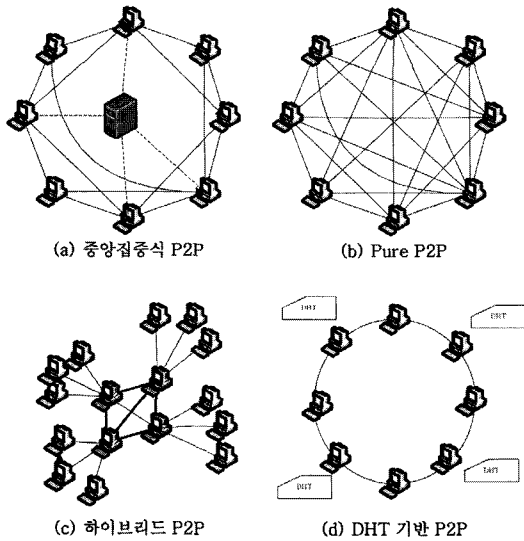


그림 1 P2P 네트워크 구조

교환을 지원하는 응용 및 네트워크 솔루션으로 정의할 수 있다. P2P는 클라이언트/서버 모델에 비해 서버의 부하를 크게 절감할 수 있다는 장점을 가진다[19].

P2P의 가장 중요한 기술적 의미 중에 하나는 자원의 분산과 자율구성에 있다. 클라이언트 서버 모델과 비교하면, 중앙 집중 모델의 분산화, 수동적인 자원 공유에서 능동적인 공유로 그리고 중앙 제어에 의한 참여에서 능동적 동기유발형 참여로 진화하고 있다.

P2P는 정보의 자원의 위치 및 자원을 가진 피어를 검색하는 방식을 기반으로 구분한다. 자원과 피어의 연관성 여부를 기준으로 구조적 P2P와 비구조적 P2P로 구분하며, 비구조적 P2P는 다시 중앙 집중형 P2P, Pure P2P, 하이브리드(Hybrid) P2P로 구분한다. 그림 1은 각 P2P 네트워크의 구조를 보여준다. 최근 분산 해쉬 테이블(DHT: Distributed Hash Table)에 기반한 구조적 P2P 방식이 소개되었다. 이 방식은 분산 인덱싱을 제공하는 DHT를 통해 자원과 피어를 단일 주소 공간으로 매핑하여 저장한다. DHT는 N개의 피어에 대해 최대 $O(\log N)$ 의 검색 회수내에 검색이 가능하기 때문에 규모성이 뛰어나다. DHT는 이미 많은 응용들이 등장하였는데, 마이크로소프트의 실버라이트의 엔진으로 이용되는 Pastry[20]와 그 밖에 Tapestry[21], Chord[22,23], CAN[24], Viceroy[25] 등이 있다.

3. 오버레이 멀티캐스트 네트워크 구조

본 논문에서 제안하는 라이브 IPTV 방송 전송을 위한 오버레이 멀티캐스트 네트워크 구조인 ONLIS(Overlay Multicast Network for Live Broadcast IPTV

Service)를 소개하고, ONLIS를 구성하는 ION과 PON에 대해 설명한다.

라이브 IPTV 방송 전송에 적합한 오버레이 네트워크 구조를 파악하기 위해 IPTV 참조 모델을 네트워크 관점에서 분석하여 각 서비스 도메인의 요구사항 및 특성을 도출하였다. 분석 결과에 따라 도메인에 적합한 두 가지 종류의 오버레이 멀티캐스트 네트워크를 적용하였다. 각각의 오버레이 네트워크의 특징 및 동작 방법을 소개한다.

3.1 IPTV 참조 모델 분석

ITU-T IPTV FG[5]는 IPTV 전송을 위한 참조 모델을 4개의 도메인으로 구분한다. 콘텐츠 제공자(Contents Provider), 서비스 제공자(Service Provider), 네트워크 제공자(Network Provider) 그리고 고객(Customer)이다. 네트워크 관점에서 IPTV 참조 모델의 특징은 다음과 같이 분석할 수 있다(그림 2 참조)[26].

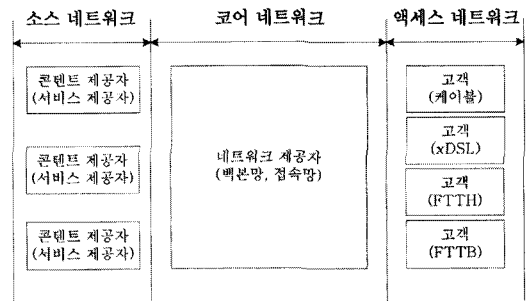


그림 2 네트워크 관점에서 분석한 ITU-T 표준 IPTV 참조 모델 구조

- 소스 네트워크
 - 각 콘텐츠 제공자
 - 지리적으로 분산 위치(방송사)
 - 라이브 IPTV 방송 스트림 송출
 - 네트워크 제공자를 통해 방송 전송
- 코어 네트워크
 - 방송을 전국으로 효율적 배포
 - 스트림의 안정성 있는 전송
 - 스트림의 신뢰성 있는 배포
 - 라이브 IPTV 방송 전송
- 액세스 네트워크
 - POP(국사)까지 전송된 방송 시청
 - 수신 스트림 전환(채널 전환)
 - 주로 하향 대역폭 이용

3.2 제안하는 ONLIS 구조

분석된 IPTV 참조 모델을 바탕으로 다음과 같이 ONLIS를 구성한다. 소스 네트워크와 코어 네트워크는

서버 방식 오버레이 네트워크를 적용하여 안정적이고 신뢰성 있는 라이브 IPTV 스트림을 전송하고, 액세스 네트워크에서는 P2P 방식을 이용하여 네트워크 및 서버 효율성을 확보한다. IPTV 참조 모델에 따른 ONLIS 구성은 다음과 같다(그림 3 참조).

소스 네트워크와 코어 네트워크는 서버 방식 오버레이 네트워크를 적용하여 안정적이고 신뢰성 있는 라이브 IPTV 스트림을 전송하고, 액세스 네트워크에서는 P2P 방식을 이용하여 네트워크 및 서버 효율성을 확보한다. IPTV 참조 모델에 따른 ONLIS 구성은 다음과 같다.

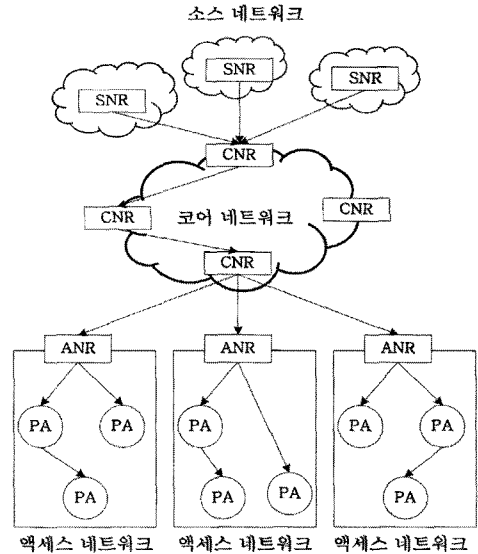
소스 네트워크 릴레이(SNR: Source Network Relay) ONLIS의 가장 최상위 구간으로 오버레이 스트림이 시작된다. 콘텐츠 제공자의 스트림 전송 장비와 직접 연결하여 스트림을 수신하고, 오버레이 네트워크를 통해 전송할 수 있도록 스트림 데이터를 가공한다.

코어 네트워크 릴레이(CNR: Core Network Relay) 네트워크 제공자의 백본(Backbone) 네트워크를 통해 액세스 네트워크까지 IPTV 스트림을 전송하는 역할을 한다. 이 구간에는 다수의 릴레이가 전략적인 위치에 계층적으로 구성되어 스트림의 중복 전송을 방지할 수 있다. 물리적, 지리적 토폴로지 정보를 참조하여 최적의 위치에 릴레이를 설치하여 효율성을 확보할 수 있다.

액세스 네트워크 릴레이(ANR: Access Network Relay) 종단 액세스 네트워크에서 스트림을 전송한다. 역시 릴레이는 전략적인 위치에 설치되며, 담당 구역을 지정하여 해당 구역의 전송을 책임진다.

피어 에이전트(PA: Peer Agent) 액세스 네트워크에서 종단 사용자에게 오버레이 스트림을 전송한다. 자신이 속한 네트워크를 담당하는 액세스 네트워크 릴레이에 접속하여 스트림을 수신하며, 또한 액세스 네트워크 릴레이가 담당하는 구간의 이웃 피어 에이전트와 P2P 방식을 이용하여 스트림을 교환한다.

소스 네트워크 구간과 코어 네트워크 구간은 실시간 IPTV 방송 스트림을 전송하기 위한 중추적 역할을 하는 구간으로서 높은 신뢰성이 요구된다. 그렇기 때문에 P2P 방식에 의존할 수 없으며 서버 방식의 전용 오버레이 전송장비인 릴레이를 이용하여 오버레이 네트워크를 구축하여야 한다. 전용 오버레이 네트워크 전송 장비가 소스 네트워크 구간과 코어 네트워크 구간의 전략적인 위치에 배치되어 오버레이 기반 네트워크(Infrastructure Network)를 구성하며, 본 논문에서는 서버 방식의 기반 오버레이 네트워크 ION(Infrastructure-based Overlay Network)이라고 명명한다. 반면, 액세스 네트워크는 P2P 방식을 이용하여 오버레이 네트워크를 구성하고, PON(P2P-based Overlay Network)이라고 명명한다.



SNR: Source Network Relay
CNR: Core Network Relay
ANR: Access Network Relay
PA: Peer Agent

그림 3 ONLIS 오버레이 네트워크 구성도

4. 분산 스트리밍을 위한 P2P 트리(DSPT)

본 장에서는 P2P 방식 오버레이 네트워크(PON: Peer-to-Peer Overlay Network)에서 라이브 IPTV 방송을 전송하기에 적합한 트리 방식 전송 구조인 분산 스트리밍을 위한 P2P 트리(DSPT: Distributed Streaming P2P Tree)를 제안한다. DSPT는 라이브 스트림 전송을 위해 특화된 P2P 전송 트리로 다음과 같은 특징을 갖는다.

4.1 DSPT의 특징

라이브 분산 스트리밍을 위한 DSPT의 특징을 설명한다.

4.1.1 인스턴트 포워딩(Instant Forwarding)

인터넷에서 데이터 전송경로를 구성하는 중계 장치인 라우터는 저장 후 전달 방식(Store and Forwarding)을 취하며, 이 과정이 가장 큰 지연 요소라고 한다. 계층적 구조를 갖는 P2P 전송 경로에서도 각 계층의 노드가 일단 수신한 데이터를 저장하고, 자신에게 연결된 RP에게 전달하는 저장 후 전달하는 방식이다. 상위 계층에서 지연이 발생하는 경우, 그 지연은 하위 계층에게 전파되며, 상위 계층에서 에러 보정에 소비되는 시간 또한 하위 계층으로 전파된다. 매쉬 방식과 같이 피어의 계층 관계없이 수평적인 관계를 갖는 피어 간 데이터를 전송하는 경우, 수신 피어의 요청에 의해 저장한 데이터를

전송하는 경우, 전송 지연이 발생할 수밖에 없다. DSPT에서는 상위로부터 수신한 데이터를 즉시 하위로 전달하는 즉시 전달 방식 방식을 채택하였다. 즉시 전달 방식은 계층간 전송 지연을 최소화하여 라이브 스트림 전달에 적절하다.

4.1.2 선형 전송 트리

DSPT는 선형 전송 트리 구성 기법을 채택하였다. 선형 전송 트리(LDT: Linear Delivery Tree) 구성 기법이란 라이브 스트림을 전송하는데 있어 짧은 전송 지연과 신속한 장애 대처를 위해 채택된 선형 트리 구성 방식이다. 기존의 P2P 트리 구성 방법은 상향 대역폭이 스트림 대역폭에 비해 작은 피어의 무임 승차(Free-Rider) 문제를 해결하기 위해 상향 대역폭이 허용하는 범위 내에서 스트림을 분할 제공 받고, 이러한 부분 전송 SP의 대역폭을 취합하여 하나의 완성된 스트림을 전송 받기 위해 다수의 SP로부터 전송 경로가 구성되었다. 이러한 방법은 SP의 대역폭을 최대한 활용하기 위한 방법으로 일반적인 P2P 트리 구성에 사용된다.

라이브 스트림 전송을 위한 트리를 구성하는데 있어서 고려해야 할 문제는 다음과 같다. 첫 번째, 전송 트리의 깊이는 제한되어야 한다. 위에서도 언급하였듯이, P2P 트리의 각 계층에서 발생하는 처리 지연과 경로를 거치면서 발생하는 전송 지연이 깊이가 깊어짐에 따라 커지게 되는데, 전송 트리의 리프에 해당하는 노드가 트리의 최상위에 존재하는 노드에 비해 지나치게 큰 전송 지연을 갖는 것을 방지하기 위해 트리의 깊이를 제한해야 한다.

두 번째, 계층 이동 문제를 들 수 있다. 전송 트리에 있어서 보다 상위에 있는 노드는 스트림을 전송 받기 위한 SP로 자신보다 높은 곳에 위치한 노드를 선택하여야 한다. 만약, 자신보다 낮은 노드를 선택한다면, 해당 노드 밑으로 이동하는 것과 같으며, 자신의 하위 노드들의 계층도 그에 따라 낮아진다. 특히, 일부 하위 노드는 깊이 제한에 걸려 트리를 재구성해야 할 수도 있기 때문에 자신보다 낮은 노드를 SP로 선정하는 것은 매우 제한적이다.

세 번째, 스트림의 분산 전송과 위의 두 가지 문제가 모두 혼합되어 발생하는 문제이다. 스트림을 분산 전송하는 경우, 스트림의 일부분이 서로 다른 SP로부터 전송되며, 해당 SP의 트리에서 깊이의 차이로 인해 완성된 스트림은 최 하위 깊이를 갖는 SP의 깊이+1을 갖게 된다. 또한, 루핑(Looping)을 방지하기 위한 장치 적용이 필요한데, 스트림이 아니라 부분 스트림 단위로 루핑 방지 기능이 적용되어야 하기 때문에 이를 위한 관리 오버헤드가 크게 증가한다는 단점이 있다.

마지막으로 트리의 재구성 문제가 있다. P2P 네트워

크의 특징인 피어의 잦은 출입에 의해 전송 트리를 재구성하는 경우가 매우 빈번하다. 이 때 위에서 언급된 문제를 모두 만족하면서 짧은 전송 지연을 갖는 전송 트리의 재구성 문제가 있다. P2P 네트워크의 특징인 피어의 잦은 출입에 의해 전송 트리를 구성하는 것은 매우 어려운 일이다. 뿐만 아니라, 재구성에 소요되는 시간이 짧아야 함은 필수 요건 중의 하나이다.

LDT는 이와 같은 문제점을 해결하여 라이브 스트림 전송에 최적화되면서, P2P 효율성도 뛰어난 방식이다. LDT는 SP와 RP를 1:1 연결을 하는 방식으로 자식 노드의 개수를 1, 부모 노드의 개수도 1로 제한한다. 이처럼 선형으로 연결된 방식은 루핑 문제와 제한된 깊이 내에서 트리를 재구성하기 용이하다. 또한, 최적화된 노드의 개수도 1로 제한한다. 이처럼 선형으로 연결된 방식은 루핑 문제와 제한된 깊이 내에서 트리를 구성하여 전체적인 효율성을 향상시킬 수 있다.

4.2 DSPT 동작방식

DSPT 동작 방식을 설명하기 위해 다음 그림 4과 같은 표현 방식을 사용한다고 가정하자. 그림 4에서 네모로 표시된 것은 해당 P2P 네트워크에 스트림을 전송하는 ANR(Access Network Relay)를 표시하고, 그 안에 숫자는 스트림 전송률을 의미한다.

하나의 스트림을 전송할 때 100이라고 표시하자. 그림의 220은 총220%의 스트림 즉, 2.2개 스트림을 전송한다는 의미이다. 원으로 표시된 것은 피어를 의미하고, 원 안의 숫자는 자신의 상향 대역폭으로 전송 가능한 스트림의 양을 의미한다. 완전한 스트림을 전송할 때 100이라고 위에서 가정했기 때문에, 50은 스트림의 50%만을 전송할 수 있는 대역폭을 가진다는 의미이다.

네모로 표시된 릴레이와 원으로 된 피어들을 잇는 실선은 릴레이와 피어간 전송을 의미한다. 이 연결선에 표시된 숫자는 릴레이로부터 전송 받는 스트림의 양을 의미하며, 그 기준은 위의 다른 예들과 동일하다. 마지막으로 피어와 피어를 연결하는 점선은 피어간 스트림 연결을 의미하며 점선에 표시된 숫자는 위와 같이 피어에

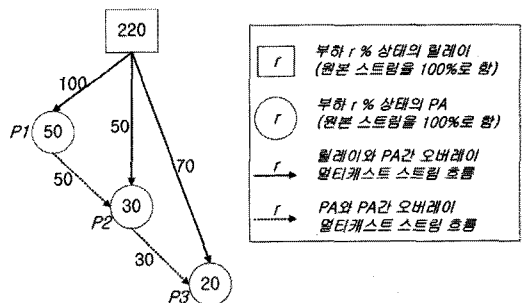


그림 4 DSPT 방식 표현 방식 예

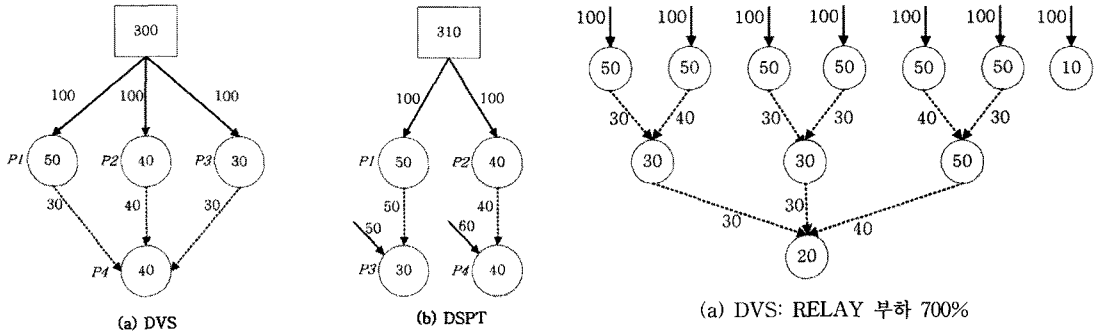


그림 5 DVS과 DSPT 방식 비교

의해 전송되는 스트림의 양을 완전한 스트림의 양100을 기준으로 상대적 수치로 표시하였다. 실선과 점선의 화살표 방향은 스트림의 이동 방향을 의미한다.

그림 5에서 P1은 릴레이로부터 전체 스트림을 전송 받는다. P1의 상향 대역폭은 스트림의 50%를 전송가능하며, P2에게 실제로 50%를 전송한다. P2는 P1에게 50%를 전송 받으며 나머지 50%는 릴레이로부터 보충 받는다. P2는 라이브 스트림의 30%를 전송할 수 있는 상향 대역폭을 가지며, P3에게 30%를 전달하고 있다. P3은 P2에게 30%, 릴레이에게 70%를 전송 받는다. 릴레이는 이렇게 하여 총 220%의 스트림을 전송한다.

4.2.1 트리 구성 방식

DSPT 방식의 선형 연결 구조를 일반적인 피어 협력인 구조와 비교를 하면 다음 그림 6과 같다. 그림에서 동일한 조건의 노드 4개를 이용하여 기존 P2P 연결 방식과 DSPT를 이용하여 구성을 하였다. 대표적인 스트림 분할 전송 기법인 분산 비디오 스트리밍(DVS: Distributed Video Streaming)방식[23]의 경우 스트림을 다중 경로로 분산 전송하여 하나의 피어에게 전송하는 방식으로 트리를 구성할 수 있다. 이 때 릴레이 부하는 총 300%이다. 반면, DSPT 방식은 릴레이에 직접 접속한 피어의 개수는 2개이며, 상위 피어의 가용 대역폭만큼 스트림을 전송 받고 부족한 부분은 릴레이에서 보충 받는다. 이 때 릴레이의 부하는 총 310%이다.

그림 7은 보다 많은 12개 노드를 가지는 구성으로 비교를 한다. 이 예에서도 역시 DVS 방식이 DSPT 방식에 비해 40% 적은 서버 부하를 보여주었다. 하지만, DVS를 통해 구성된 전송 트리는 인위적으로 구성된 트리로 실제 동작 과정에서 그림 5에서의 같이 트리가 균형적으로 형성되지 못한다. 예를 들어, 1계층의 피어들이 하위 피어를 모두 수용할 수 있는 만큼 접속한 다음 2계층을 접속 받고, 3, 4계층을 접속 받는 방식이 아니다. 실제로는 그림 6과 같이 트리가 확장된다.

4.2.2 접속 절차

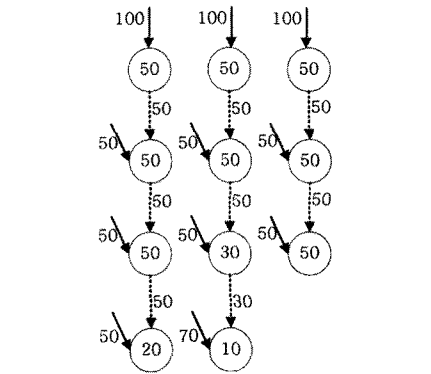
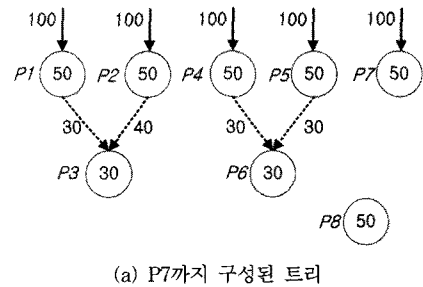
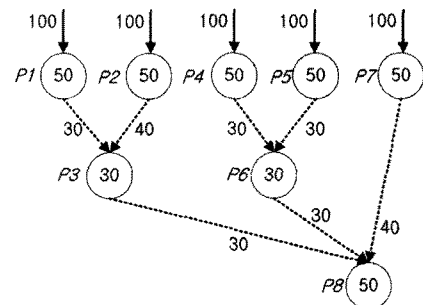


그림 6 DVS과 DSPT 방식 비교(12개 노드)



(a) P7까지 구성된 트리



(b) P8까지 구성된 트리

그림 7 실제 P2P 트리 확장 진행

새로운 피어의 접속 절차에 대해서 설명한다.

4.2.2.1 단순 신규 접속

그림 8은 DSPT에 접속하는 절차를 설명한다. 그림 8(a)에서 새로운 피어 P4는 DSPT 전송 트리에 접속한다. P4는 릴레이를 검색하고 접속을 시도한다. 그림 8(b)에서 릴레이에 직접 접속한 P4는 스트림 전체를 릴레이로부터 수신하기 시작한다. 또한, 접속 가능한 피어를 검색하는 과정을 진행한다. 그림에서는 P3이 선정되었다. 그림 8(c)에서 P4는 P3에 접속한다. P3에 접속하여 P3의 상향 대역폭이 허용하는 스트림을 전송 받는다. 부족한 부분은 릴레이에서 수신한다.

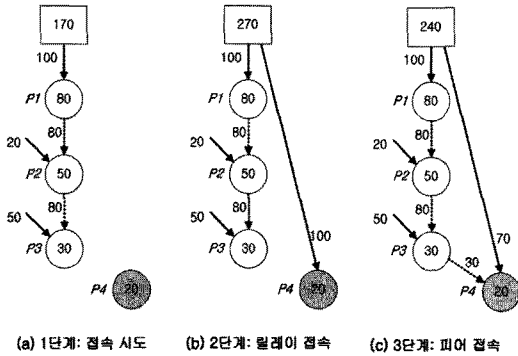


그림 8 DSPT 접속 절차

4.2.2.2 최적화된 신규 접속

위 과정에서는 새로 접속한 P4의 상향 대역폭이 가장 작은 경우를 가정하였다. 하지만, P4의 상향 대역폭이 트리에 있는 기존의 특정 노드 보다 큼에도 불구하고 트리의 리프로 접속한다면 그만큼 유효한 대역폭을 낭비하는 결과를 초래하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 새로 접속한 피어가 트리에서 자신보다 낮은 피어보다 높은 위치에 삽입되어 트리를 최적 상태로 구성할 수 있는 방법을 제안한다.

그림 9는 DSPT의 최적화 구성 방식을 보여준다. 그림에서 새로 접속한 P4의 상향 대역폭은 70이다. 이는 기존의 트리에서 P1 다음으로 큰 대역폭으로 P1과 P2 사이에 위치하는 경우, 리프 노드로 접속하는 것에 비해 DSPT의 효율성을 향상시킬 수 있다. 절차는 다음과 같다. 1단계에서 릴레이에 접속한다. 2단계에서 자신보다 낮은 상향 대역폭을 갖는 피어를 검색한다. P2가 검색되었다. P3도 P4에 비해 낮지만, 그 중 더 높은 계층에 있는 P2를 선택한다.

최적화 트리는 이미 상향 대역폭이 높은 순으로 정렬되어 유지되기 때문에 P2가 가장 적절하다. P4는 P1에게 접속 요청을 하기 스트림 전송 대기 요청을 한다. 또

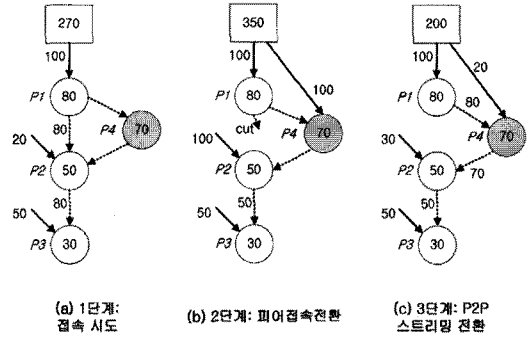


그림 9 DSPT의 최적화 구성 유지 절차

한 P2에게 접속 전환 요청을 하고, 자신의 자식 피어가 될 것을 요청한다. 스트림을 전송할 수 있는 연결은 생성되지 아직까지 기존의 방식으로 전송되고 있다.

모든 준비가 완료되면 3단계에서 P4는 릴레이, P1, P2에게 새로운 전송을 시작할 것을 요청한다. 즉, P1으로부터 80%의 스트림을 전송할 것을 요청하고, 릴레이로부터 20%의 스트림을 전송할 것을 요청한다. P2에게 70%의 스트림을 전송한다. 이 때 P2는 P1과의 스트림을 종료하고 P4로부터 70%의 스트림을 수신하고, 릴레이로부터 30%의 스트림을 수신한다. P1은 P2에게 스트림 전송을 중지하고, P4에게 스트림을 전송한다.

4.2.3 탈퇴 절차

피어가 시청을 종료하거나 채널을 전환하는 경우, 매너 있는 탈퇴 이벤트가 발생한다. 이런 경우, 탈퇴하고자 하는 피어는 상위 피어에게 자신의 탈퇴를 예고하고 접속을 명확히 종료하여 상위 피어에게는 가용 상향 대역폭을 다른 피어에 제공할 수 있으며, 하위 피어는 접속 종료에 대비하여 새로운 피어를 신속히 검색하여 릴레이로부터 전체 스트림을 전송 받는 시간을 줄일 수 있다. 그림 10은 정상적인 탈퇴 절차를 보여준다.

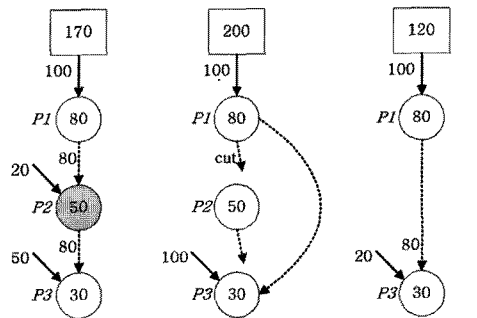


그림 10 DSPT 탈퇴 절차

4.2.4 장애 복구 절차

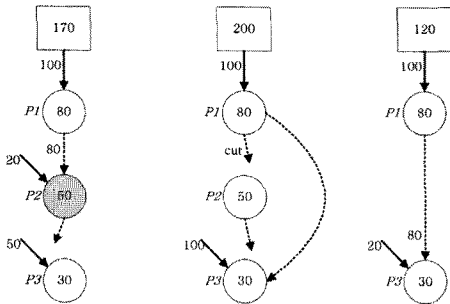
SP와 RP에 장애가 발생하였을 경우를 각각 살펴본다.

4.2.4.1 SP 장애 발생시 장애 처리 절차

DSPT에서 장애 처리(Fail-Over) 절차는 공급 피어의 탈퇴 절차와 유사하다. 단, SP가 자신의 탈퇴를 예고하지 않고 탈퇴를 하기 때문에 RP가 SP의 장애 여부를 판단할 수 있는 방법이 필요하다. 그림 10은 DSPT의 장애 처리 절차를 보여준다. P2에 장애가 발생한 경우, P3은 장애를 감지한다. 장애를 감지한 P3은 스트림 전송을 전적으로 ANR로부터 수신하기 시작하며, 새로운 SP를 검색하기 시작한다. P3은 새로운 SP인 P4를 검색하고 정상적인 접속 절차를 진행한다.

4.2.4.2 RP 장애 발생시 장애 처리 절차

RP에 장애가 발생하였을 경우, 이를 감지한 SP는 해당 연결을 종료하고 자신의 공유 네트워크 자원이 가용 상태임을 알리고, 새로운 RP의 접속을 기다린다. 마찬가지로 그림 10에서 P2에 장애가 발생하면, SP인 P1은 이를 감지하고 연결을 해지한다.



(a) 1단계: P2 장애 발생, (b) 2단계: P3은 P3 장애 인식 ANR로부터 100% 수신 (c) 3단계: P3은 새로운 P4에 접속하여 P2P 스트리밍 전환

그림 11 DSPT 장애 처리 절차

4.2.4.3 장애 판단 방법

장애 발생 여부를 감지하는 방법은 장애 상황에 따라 다르게 적용한다. 여기에서 장애의 범위는 피어가 운영 도중 예고 없이 사라지는 상황으로 한정한다. 피어가 갑자기 사라지는 장애는 네트워크 장애와 시스템 장애 그리고 프로세스 장애로 구분할 수 있다.

네트워크 장애란 네트워크 연결에 문제가 발생하여 연결이 지속되지 못하는 경우를 의미하며, 시스템 장애란 시스템이 정상적이지 않은 방법으로 종료되었을 때를 의미한다. 예를 들면 전원 장애, 시스템 장애, 사용자 강제 종료 등이 있다. 네트워크 또는 시스템 장애가 발생하였을 경우, 스트림 송수신을 하고 있던 상대방에서 장애 발생 시스템의 응답이 오기를 계속 기다려야 하는 문제가 발생한다. 예를 들어, TCP 통신 중 상대방이 네

트워크에서 사라지면 통신 상대방은 ACK(Acknowledgement) 신호가 오기를 특정 시간 동안 대기해야 한다. 이 대기 시간은 정상 상태에 비해 상당히 긴 시간으로, 서비스의 품질에 큰 영향을 줄 수 있다. 이를 방지하기 위해, TCP/IP 프로토콜 타임아웃 시간 보다 짧은 n초 동안 대기한 후 패킷이 하나라도 도착하지 않으면, 상대방의 네트워크 또는 시스템 장애가 발생했다고 판단하고 연결을 종료한다. 이 때 n초는 설정 가능한 값으로, P2P 트리의 깊이, 서비스 네트워크의 특성 등을 고려하여 값을 결정하여 설정할 수 있다.

프로세스 장애는 사용자가 강제로 P2P 프로세스를 종료하는 등의 문제로 정상적인 탈퇴 절차 없이 프로세스가 종료되는 상황을 뜻한다. 프로세스 장애는 네트워크 또는 시스템 장애에 비해 쉽게 장애 상황을 확인할 수 있다. 장애 확인 방법은 연결하고 있던 TCP 연결의 상태를 확인하면 된다. TCP 연결은 연결하고 있던 상대방이 프로세스 종료 등의 방법을 통해 정상적인 TCP 접속 종료 절차를 거치지 않고 연결을 끊어서 통신을 담당하던 프로세스가 더 이상 유효하지 않더라도, 시스템의 커널에서 해당 연결이 더 이상 유효하지 않음을 즉시 응답을 하기 때문이다.

5. 실험 결과 및 평가

본 장에서는 논문에서 제안한 기술들의 성능 분석 및 평가를 실시한다. 라이브 분산 스트리밍을 위한 P2P 트리는 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 분석하였으며, 신속한 대역폭 적응 제어 기법은 리얼 네트워크에서 측정 실험을 통해 분석하였다. 또한, 오버레이 멀티캐스트 네트워크의 구현 결과물을 테스트 망에서 실험 한 결과를 소개한다.

5.1 분산 스트리밍을 위한 P2P 트리 성능 평가

본 논문에서 제시한 문제점은 기존의 P2P 방식이 라이브 스트리밍을 전송하는데 적절하지 않다는 것이었다. 대표적인 문제로 지연 문제이다. 많은 연구들이 P2P 네트워크에서 무임 승차 문제를 해결하고자 노력해왔다. 피어의 공유 참여율을 높여 스트림의 대역폭 보다 낮은 가용 대역폭의 리소스를 가진 피어도 참여를 할 수 있도록 하기 위해 스트림을 작은 단위로 분할하고, 서로 다른 경로를 통해 전송할 수 있는 방법은 연결의 복잡성이 오히려 추가적인 지연만 초래하여 라이브 스트리밍 전송의 가장 큰 문제인 지연 문제를 발생시켰다. 어느 정도의 지연이 허용 가능한 지연인가에 대한 문제는 논란의 여지가 있다. IPTV 서비스의 특성상 TV를 통한 서비스를 고려해야 하는데, 이 때 가장 큰 고려 요소는 채널 전환 소요 시간이다. 참고로, 멀티캐스트 방식의 IPTV 시범 서비스의 경우, 채널 전환 지연이 2초 가량

소비된다. 채널 전환 소요 시간에는 네트워크 지연과 스트림 처리 지연이 포함된 시간이다. 이와 관련된 사항은 결론 부분에서 자세히 언급하도록 한다.

P2P의 효율성과 지연의 문제를 모두 해결하기 위해 본 논문에서는 공급 피어(SP)와 수신 피어(RP)간 1:1 연결만을 허용하는 선형 전송 트리(LDT: Linear Delivery Tree) 구성 기법을 채택한 분산 스트리밍을 위한 P2P 트리(DSPT: Distributed Streaming P2P Tree)를 제안하였다. 본 성능 평가에서는 DSPT가 기존의 분산 비디오 스트리밍(DVS: Distributed Video Streaming) 방식 및 클라이언트 서버(CS: Client-Server) 방식과 성능을 비교한다. 성능 분석을 위해 시뮬레이션을 이용하였다.

본 시뮬레이션의 목적은 제안된 트리 구성 방식이 기존의 방식과 효율성을 비교하기 위한 목적으로, 실제 네트워크 상황에서 발생할 수 있는 서버 및 네트워크 구성 문제, 사용자 PC의 리소스 문제(스트림 재생 처리 능력, 가입한 회선의 종류)등의 문제는 고려하지 않는다.

5.1.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 모델링 방식을 이용하였다. P2P 네트워크에 참여하는 사용자를 생성하고, 각 사용자의 참여 시간과 탈퇴 시간을 정의하였다 또한, 사용자의 가용 상향 대역폭을 모두 다르게 정의하였다. 시간의 흐름에 따라 P2P 참여자가 가입과 탈퇴를 하면서, DSPT 알고리즘과 DVS 방식 알고리즘을 각각 적용하여 트리를 구성한다. 단, 사용자의 하향 대역폭은 스트림을 수신하기에 충분하며, 상향 대역폭은 가변 하지 않는다고 가정하였다. 또한, 동일한 사용자가 장애가 발생하여 재 접속하는 경우, 새로운 접속으로 처리하였다. 릴레이는 모든 참가자에게 스트림을 전송할 수 있을 정도로 충분한 대역폭을 가질 수 있다고 가정하였다.

• 환경 생성

동일한 환경에서 성능을 분석하기 위해 환경을 우선 생성한다. 시뮬레이션 시간과 전송 스트림의 대역폭, 가

입자의 수, 가입자의 가입/탈퇴 시간 등을 우선 생성한다. 동일한 조건에 대해 각 방식의 성능을 비교하는 방식을 이용하였다. 환경에 사용된 조건은 표 1과 같다.

• 각 알고리즘 적용 시뮬레이션

DSPT와 DVS 방식을 생성된 환경에 적용하여 시뮬레이션 하였다. 초 단위 시간 별로 참가, 탈퇴한 피어를 트리 구성 알고리즘을 이용하여 참가시키거나 탈퇴시킨다. 그 후 해당 시간 별로 릴레이가 전송하고 있는 스트림의 양을 측정하여 릴레이 부하를 비교하였다.

5.1.2 시뮬레이션 환경 설정

시뮬레이션에 적용한 환경 변수는 다음과 같다.

표 2 성능 측정을 위한 환경 값

항목	값	비고
시뮬레이션 기간	24시간(86,400초)	고정
스트림 대역폭	4Mbps(4096Kbps)	고정
피어(노드) 개수	5,000개	고정
피어 최대 가용 대역폭	4Mbps(4096Kbps)	고정
피어 최소 가용 대역폭	512Kbps	고정
피어 최대 접속 유지 시간	1시간(3,600초)	고정
피어 최소 접속 유지 시간	1분(60초)	고정

5.1.3 시뮬레이션 절차

• 시뮬레이션 환경을 생성

표 2를 적용한 시뮬레이션 환경을 생성한다. 노드 5,000개를 24시간에 걸쳐 가입/탈퇴시키고, 최대 접속 유지 시간은 1시간으로 제한하였다. 최대 접속 유지 시간을 1시간으로 제한한 이유는 채널을 전환하였을 경우, 해당 스트림의 전송 트리에 탈퇴하고 새로운 스트림 전송을 위한 트리에 가입하기 때문에, 동일한 스트림 전송 트리에 1시간 이상 머무르지 않는다고 가정하였다.

그림 12는 생성된 시뮬레이션 환경을 보여준다. 가로 축은 시간 흐름을 나타내며, 그래프는 참가자의 접속을 나타낸다. 또한, 그래프의 길이는 참가자의 접속 유지 시간을 보여준다.

표 1 DSPT 시뮬레이션 환경

항목	내용	단위	비고
시뮬레이션 기간	전체 시뮬레이션 기간	초	고정
스트림 대역폭	라이브 스트림 대역폭	kbps	고정
피어(노드) 개수	기간 내에 참여할 피어의 개수	개	고정
피어 최대 가용 대역폭	피어가 가질 수 있는 최대 대역폭	Kbps	고정
피어 최소 가용 대역폭	피어가 가질 수 있는 최소 대역폭	Kbps	고정
피어 최대 접속 유지 시간	접속한 피어가 트리에 머무를 수 있는 최대 시간	초	고정
피어 최소 접속 유지 시간	접속한 피어가 트리에 머무를 수 있는 최소 시간	초	고정
피어별 상향 대역폭	피어 스트림을 전송할 수 있는 최대 상향 대역폭	Kbps	범위 내 랜덤
피어 접속 시간	피어가 P2P 네트워크에 참여한 시간	초	범위 내 랜덤
피어 탈퇴 시간	피어가 P2P 네트워크에서 탈퇴한 시간	초	범위 내 랜덤

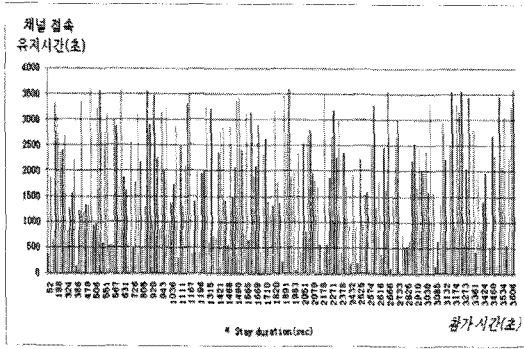


그림 12 생성 시물레이션: 참가자 접속 시간 및 접속 유지 분포

• 생성된 환경을 각 알고리즘에 적용

시물레이션 환경 생성을 통해 생성된 값을 각각의 알고리즘에 적용하였다. 시간의 흐름에 따라 시물레이션 생성된 참가 사용자 및 그 환경 정보를 제안 알고리즘과 비교 알고리즘에 적용하여 서버의 부하 수준을 비교하였다. 또한, 시간의 흐름에 따른 사용자의 탈퇴 정보를 알고리즘에 적용하여, 트리 재구성에 따른 서버 부하 수준도 측정하였다. 시물레이션에 사용된 트리의 깊이는 5로 설정하였다.

5.14 시물레이션 결과

그림 13은 시물레이션 결과를 보여준다. CS(Client-Server) 방식의 경우, 최대 580Mbps 부하가 서버에 발생하였으나 DSPT는 277Mbps, DVS는 324Mbps 부하를 기록하였다. 이는 DSPT가 DVS에 대비하여 14.5% 우수한 성능을 가지며, CS 대비 약 52.24% 우수한 성능을 보여준다. 그림 13의 그래프는 각 알고리즘의 평균 부하 값을 보여준다. 이 결과에서도 DSPT의 평균 부하가 가장 낮아서 우수한 것으로 보여졌다. 정확한 평균 값은 DSPT가 207.6Mbps, DVS가 243.4Mbps, CS가 431.8Mbps로 측정되었으며, DSPT가 DVS와 CS에 대비하여 각각 14.7%와 51.9% 성능이 뛰어난 것으로 측정되었다.

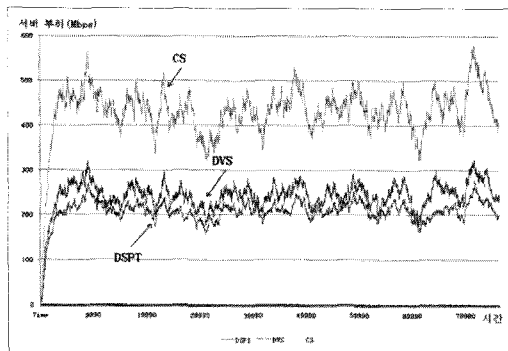


그림 13 시물레이션 결과 - DSPT, DVS, CS 성능 비교

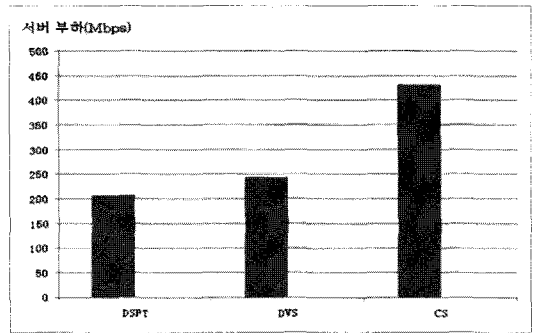


그림 13 DSPT와 DVS, CS 모델 평균 부하 비교

6. 결론

향후 IPTV는 현재의 전파와 같이 공공 매체로서의 역할을 수행할 것으로 기대된다. 그 구체적인 움직임으로는 현재 국책과제로 진행되고 있는 오픈 IPTV로 현실화되고 있다. 현재의 IPTV서비스는 폐쇄형 서비스로 단순히 인터넷 접속 서비스의 부가 서비스 수준에 머물러 있다. 그 이유는 IPTV 서비스 제공에 있어 네트워크 기능 의존도가 높아 타사망 이용자에게 품질 보장을 하기 어렵기 때문이다. 현재 기준으로, KT와 LG데이콤은 자사의 인터넷 접속 서비스를 제공하는 고객에게만 자사의 IPTV 서비스를 제공하고 있으며, SK브로드밴드도 D&P(Download & Play: 다운로드 방식의 VOD 전용 서비스)를 제외한 프리미엄 서비스는 자사망 고객에게만 제공한다.

하지만 오픈 IPTV 환경에서는 IPTV 스트림을 전송하기 위해 네트워크 사업자에 의한 품질 보장을 받을 수 없다. 본 논문에서 제안한 오버레이 멀티캐스트 네트워크 방식은 오픈 IPTV 환경에서의 스트림 전송을 위한 대안으로 사용할 수 있을 것으로 기대 된다. 그 이유로, 라이브 스트림을 전송하는데 있어서 네트워크 의존도가 낮으며, P2P 방식을 이용하여 서버 부하를 크게 낮추었음에도 불구하고, 라이브 스트림 전송에 적합한 낮은 지연과 서비스 품질을 보장할 수 있기 때문이다.

본 논문에서는 주요 백본 망에는 전용 서버 기반 방식 오버레이 멀티캐스트를 이용하고, 가장 부하가 많이 발생하는 종단 사용자를 위한 액세스 네트워크는 P2P를 활용하는 방식을 적용한 혼합형 오버레이 멀티캐스트 네트워크인 ONLIS(Overlay Multicast Network for Live IPTV Service)를 제안하였다. 또한, 본 네트워크에서 P2P에 의한 전송 지연을 단축하기 위해 오버레이 멀티캐스트 서버와 긴밀한 협조를 통해 지연을 단축하고 스트림 품질을 향상시키는 분산 스트리밍 P2P 트리(DSPT: Distributed Streaming P2P Tree)를 제안하였다. 시물레이션 결과, 제안된 P2P 방식 오버레이 멀티캐

스트 방식은 전송 지연 단축과 스트림 품질의 개선이 가능함에도 불구하고, 서버 부하 절감에 있어서 단순 분산 스트리밍 방식에 비해 더 효과적이라고 분석되었다. 그 원인으로는, 단순 분산 스트리밍 P2P 방식이 갖는 트리 구성의 복잡도를 획기적으로 개선하여 트리의 최적화 구성을 가능하게 했기 때문으로 판단된다. P2P는 그 특성상 더 많은 공유 대역폭을 가진 피어가 트리의 상위에 위치하면 더 많은 공헌을 할 수 있기 때문이다.

참 고 문 헌

- [1] D. B. Yoffie, "Competing in the Age of Digital Convergence," Harvard Business School Press, 1997.
- [2] S. Deering, "Host Extensions for IP Multicast," RFC-1112, 1989.
- [3] "International Telecommunication Union," <http://www.itu.int/>.
- [4] "ITU-T Study Group 13," <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com13/index.asp/>.
- [5] "ITU-T FG IPTV," <http://www.itu.int/ITU-T/IPTV/>.
- [6] "IPTV Forum," <http://www.iptvforum.or.kr/>.
- [7] W. Sun, K. Lin, and Y. Guan, "Performance analysis of a finite duration multichannel delivery method in IPTV," *IEEE Trans. Broadcasting*, vol.54, no.3, Sep. 2008.
- [8] E. Y. Park, S. Y. Han, S. J. Ahn, H. J. Park, and S. C. Shin, "Scalable and Reliable Overlay Multicast Network for Live Media Streaming," *Lecture Notes in Computer Science of Springer (LNCS3768)*, vol.2, pp.48-58, 2005.
- [9] H.Y. Lee, K.G.Koh, B.Y.Lee, S.Y.Han, E.Y.Park, H.J.Park, "IPv6 Overlay Multicast System," *Korea Computer Congress 2006(KCC2006)*, vol.33, No.1(D), Korean Institute of Information Scientists and Engineers, pp.10-12, 2006.
- [10] H.Y. Lee, E.Y. Park, B.U. Choi, K.M. Koh, B.Y. Rhee, S.Y. Han, "High Performance and Practical Overlay Multicasting in KOREN," In *Proc. ITPA 2006*, pp.II-1~II-10, 2006.
- [11] J. Y. Park, S. J. Koh, S. G. Kang, D. Y. Kim, "Multicast Delivery Based on Unicast and Subnet Multicast," *IEEE Communications Letters*, vol.5, no.4, 2001.
- [12] "RMT Working Group, IETF," <http://www.ietf.org/html.charters/rmt-charter.html/>.
- [13] D. A. Tran, K. A. Hua, and T. T. Do, "ZIGZAG: An Efficient Peer-to-Peer Scheme for Media Streaming," In *Proc. IEEE INFOCOM 2003*, San Francisco, pp.1283-1292, 2003.
- [14] J. Jannotti, D. K. Gifford, K. L. Johnson, F. M. Kaashoek, and J. W. O'Toole, "Overcast: Reliable multicasting with an overlay network," in *Usenix OSDI Symposium 2000*, pp.197-212, October 2000.
- [15] S. Banerjee, C. Kommareddy, K. Kar, B. Bhatta-
charjee and S. Khuller, "Construction of an Efficient Overlay Multicast Infrastructure for Real-time Applications," In *Proc. IEEE INFOCOM 2003*, San Francisco, pp.1521-1531, 2003.
- [16] Y. Chu, S. G. Rao, and H. Zhang, "A Case for End System Multicast," In *Proc. ACM SIGMETRICS*, Santa Clara, pp.1-12, 2000.
- [17] P. Francis, "Yoid: Extending the Multicast Internet Architecture," White paper at <http://www.aciri.org/yoid/>, 1999.
- [18] J. Maisonneuve, M. Deschanel, J. Heiles, W. Li, H. Liu, R. Sharpe, Y. Wu, "An Overview of IPTV Standards Development," *IEEE Transaction on Broadcasting*, vol.55, no.2, pp.315-328, Jun. 2009.
- [19] J. Liu, S. G. Rao, B. Li, H. Zhang, "Opportunities and Challenges of Peer-to-Peer Internet Video Broadcast," In *Proc. IEEE*, vol.96, pp.11-24, Jan. 2008.
- [20] A. Rowstron, P. Druschel, "Pastry: Scalable, Distributed Object Location and Routing for Large-Scale Peer-To-Peer Systems," In *Proc. ACM International Conference on Distributed Systems Platforms*, pp.329-350, 2001.
- [21] Ben Y. Zhao, John D. Kubiatowicz, Anthony D. Joseph, "Tapestry: A Fault-Tolerant Wide-Area Application Infrastructure," In *Proc. ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol.32 no.1, Jan. 2002.
- [22] I. Stoica, R. Morris, D. Karger, M. F. Kaashoek, H. Balakrishnan, "Chord: A Scalable Peer-To-Peer Lookup Service For Internet Applications," In *Proc. ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol.31 no.4, pp.149-160, Oct. 2001.
- [23] I. Stoica, R. Morris, D. Karger, M. F. Kaashoek, H. Balakrishnan, D. Liben-Nowell, "Chord: A Scalable Peer-To-Peer Lookup Protocol For Internet Applications," *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, vol.11, no.1, pp.17-32, Feb. 2003.
- [24] S. Ratnasamy, P. Francis, M. Handley, R. Karp, S. Schenker, "A Scalable Content-Addressable Network," In *Proc. the 2001 SIGCOMM Conference*, pp.161-172, 2001.
- [25] D. Malkhi, M. Naor, D. Ratajczak, "Viceroy: A Scalable and Dynamic Emulation of the Butterfly," In *Proc. The Twenty-First Annual Symposium on Principles of Distributed Computing*, Monterey, California, 21-24, Jul. 2002.
- [26] "IPTV Architecture," Qawra, Malta, FG IPTV-DOC-0181, pp.11-18, Dec. 2007.



박 은 용

1998년 2월 건국대학교 컴퓨터정보통신공학과 졸업, 공학사. 2000년 2월 건국대학교 대학원 컴퓨터정보통신공학과 졸업, 공학석사. 2009년 2월 건국대학교 대학원 컴퓨터정보통신공학과 졸업. 공학박사. 2002년 3월~2010년 8월 주인네트 연구소 개발팀장. 2010년 8월~현재 액센츄어 부장 Technology. 관심분야는 Contents Management System, CDN, Bandwidth adaptive streaming, Overlay multicasting, P2P streaming, IPTV



강 상 욱

1993년 경북대학교 전자공학과 공학사. 1996년 University of Southern California Electrical Engineering 공학석사. 2009년 고려대학교 정보경영공학과 박사 수료. 1996년~2002년 삼성전자 중앙연구소 책임연구원. 2002년~한국정보사회진흥원 융합서비스부 부장. 관심분야는 영상신호처리, 디지털콘텐츠 보호 및 유통



유 정

2005년 3월~2006년 12월 계명대학교 컴퓨터공학과 인터넷미디어 졸업, 공학사. 2007년 3월~2008년 12월 건국대학교 대학원 컴퓨터정보통신공학과 졸업, 공학석사. 2009년 3월~현재 건국대학교 대학원 컴퓨터정보통신공학과, 박사과정. 관심분야는 Mobile IP, KOREN, Overlay Multicast, QoS, QoE



한 선 영

1977년 서울대학교 계산통계학(학사). 1979년 한국과학기술원 전산학(석사). 1988년 한국과학기술원 전산학(박사). 1981년~현재 건국대학교 컴퓨터공학부 교수. 1998년~1999년 미국 Maryland 대학 컴퓨터학과 객원교수. 관심분야는 미래인터넷, 모바일 인터넷, 오버레이 멀티캐스트, IPTV



김 진 철

1997년 2월 22일 국립 한밭대학교 전자계산학과 졸업, 이학사. 1999년 2월 22일 건국대학교 일반대학원 컴퓨터공학과 졸업, 컴퓨터통신 전공, 공학석사. 2003년 2월 24일 건국대학교 일반대학원 컴퓨터공학과 졸업, 컴퓨터통신 전공, 공학박사. 2003년 8월 20~현재 일한국정보화진흥원 디지털인프라단 융합서비스부 품질보증팀장. 2007년 3월 10~현재 TTA 서비스품질 PG 부의장 TTA 서비스품질PG산하 품질관리기준 WG 의장. 2009년 1월 1~현재 한국 ITU-T SG12 연구위원회 부의장. 2010년 3월 1~현재 멀티무선컨버전서비스(MRCS) 포럼 분과장. 관심분야는 IPTV Multicast, QoS and SLA Management