

P2P IPTV 성능향상을 위한 논리 뷰 기반 Copy-Ahead기법

송영호[†], 권택근^{‡‡}

요 약

최근 통신 산업의 융합을 통한 네트워크 미디어의 발달은 지금까지의 방송의 개념을 넘어서 시청자와 방송사를 상호 연결하여 방송서비스와 연계된 양방향 데이터 서비스를 제공하는 방식으로 변화하고 있다. 이는 기존 네트워크 기술과 멀티미디어 기술의 결합을 통해 쉽게 이룩될 수 있으나 현실적으로 IPTV를 실제 구현하고자 할 경우에 인터넷 망의 대역폭과 시스템상의 문제점으로 인하여 사용자에게 만족스러운 수준의 서비스를 제공하는데 많은 어려움을 겪고 있다. 특히, IPTV 서비스의 필수 요소인 QoS/QoE를 지원하는 우수한 네트워크 품질과 사용자가 원하는 채널을 빠르게 전환하는 기술은 IPTV가 성공하기 위한 필수 조건이 되었다. 본 논문은 IP Set-Top이 이더넷 패킷을 하드웨어 디코더로 피드하여 플레이하는데 실제 높지 않은 CPU 사용률을 보이는 것에 착안하여 서버 쪽 로드의 일부를 클라이언트가 캐시하여 정보를 공유하고 채널 체인지 시 교환된 정보를 기반으로 빠르게 채널을 변경할 수 있는 기법을 제안한다.

Logical view based Copy-Ahead technique for P2P IPTV

Young-Ho Song[†], Taeck-Geun Kwon^{‡‡}

ABSTRACT

The convergence of the telecommunication industry through the combination of existing network technology and multimedia technology has brought along interactive data services in addition to the traditional broadcast services by providing direct connections between the users and the broadcasters. The interactive data service technology has developed a network which is able to fully support QoS and also a fast enough channel changing technology that is satisfactory to the user, are prerequisites for IPTV success, to provide satisfactory levels of service to exist users. However the current server-client system can't support all increasing needs of users. To overcome these limitations, P2P based IPTV service is currently under researched. Therefore, this thesis proposes a logical view based copy-ahead technique for P2P IPTV to improve the performance of IPTV system.

Key words: IPTV, Fast Channel Changing, IP Set-Top Box (IPSTB)

1. 서 론

현재의 방송과 통신의 결합은 방송사와 사용자를 직접 연결하여 양방향 데이터 서비스를 제공하는 IPTV서비스를 지향하고 있다. 이러한 방송통신 기

술은 기존의 네트워크 기술과 멀티미디어 기술의 결합을 통해 쉽게 현실화될 수 있으나, 그 구현에 있어 점점 증가하는 사용자들의 모든 욕구를 다 충족시킬 만한 시스템적 유연성과 안정성 그리고 기타 부가 서비스 지원에 있어서 만족스러운 수준의 서비스를

* 교신저자(Corresponding Author) : 송영호, 주소 : 서울 특별시 동작구 대방동 우정아파트 101동 304호, 전화 : 010) 6421-2573, FAX: 02)6294-9158, E-mail: yhsong@nds.com 접수일 : 2009년 12월 30일, 수정일 : 2010년 4월 14일

완료일 : 2010년 6월 14일

[†] 정회원, 충남대학교 컴퓨터공학과 박사과정

^{‡‡} 정회원, 충남대학교 전기정보통신공학부 교수
(E-mail : tgkwon@cnu.ac.kr)

제공하는데 많은 어려움을 겪고 있다. 특히, IPTV 서비스를 위한 기본적인 요구사항인 무한한 채널 수 용능력, 개인화/맞춤형 미디어 서비스, 우수한 전송 방식, 유연한 미디어 확장성, 다양한 비즈니스 모델, Walled Garden 서비스 등을 위한 필수 요소인 QoS/QoE를 지원하는 우수한 네트워크 플랫폼과 고도의 플랫폼(IP Set-Top-Box) 기술 등은 성공적인 IPTV 서비스 제공의 기반이다. 이러한 요구를 충족시키고자 현재의 중앙 집중 형 서버 클라이언트 모델의 한계를 극복하고 스트리밍 서버의 로드를 분산시키고자 하는 P2P 기반 IPTV에 관한 연구가 널리 진행되고 있다. 이는 기존의 연구가 대역폭, 스트리밍 파일에 대한 압축 기법, 그리고 스트리밍 서버의 성능향상 기법 등이 근간을 이루고 있는 상황에서[1,2,4-6], P2P를 지향하는 IP 셋톱박스(IP Set-Top-Box) 기술에 대한 연구를 통해 좀 더 다양한 형태의 서비스를 가능하게 할 것으로 기대한다. FTTN(Fiber to the Node) 망에서의 P2P IPTV 플랫폼에 대한 연구에서 볼 수 있는 것처럼 서버의 로드 분산은 IPTV 서비스 제공자에게 충분한 저장장치와 와 대역폭 등 많은 이득을 제공한다[6,7,9-11]. 본 논문은 서버의 로드를 일부 분산할 수 있는 P2P 기반의 IP 셋톱박스 시스템에서 좀 더 효율적으로 콘텐츠를 공유할 수 있도록 요청된 콘텐츠를 미리 망에 적절히 분산하여 복사해 두는 기법을 제안한다. 본 논문의 2장에서는 IPTV 관련 기술로 스트리밍 서버와 클라이언트 기술들에 대해 살펴보고, 3장에서는 기존 P2P 기반 IPTV에 대한 연구에 대해 논의 한다.

4장에서는 본 논문에서 제안하는 시스템 모델에 대해 자세히 기술하고, 5장에서는 제안된 시스템을 시뮬레이션을 통해 측정, 평가한다. 끝으로 측정 평가에 대한 결과를 바탕으로 6장에서는 제안된 시스템의 활용 방안, 그리고 앞으로의 연구 방향과 계획에 대해 논의 한다.

2. IPTV 관련 기술

기존 IPTV는 스트리밍을 전달하는 스트리밍 서버와 스트리밍을 디코딩 하여 플레이하는 셋톱박스 즉 스트리밍 클라이언트로 크게 분리 된다. 이러한 IPTV 기술은 영상과 음성을 압축하는 기술, 오디오 비디오 전송 방식, 서비스 정보(SI)를 보여 주는 각종 EPG 관련기술, 콘텐츠와 사용자 정보 등의 보안

방식, 미들웨어 및 부가 서비스 방식, 그리고 IP 네트워크 전송기술 등으로 구분된다. 압축 기술 분야는 H.264(MPEG4 part10/AVC), VC1, MPEG2 의 영상 압축 기술과 AAC, AC-3, MP3와 같은 음성 압축 기술이 있으며, 방송 신호 관련하여 SDI/ASI, AES/EBU, SMPTE 305M, SMPTE 310M, Composite, Component, HDMI/DVI 인터페이스 규격이 사용된다. AV 전송방식에는 MPEG2-TS over UDP, MPEG2-TS over RTP over UDP, RTPS/RTP over UDP과 같은 다양한 채널(Channel)과 RTPS/RTP over UDP, FTP (Download & Play) 방식의 VoD 기술이 있고, 서비스 정보(SI)/EPG 기술 분야에는 DVB-SI, PSIP, SD&S, BCG 등이 주요 기술이다. 특히 서비스를 위해 중요한 보안 분야에는 CAS(Condition Access System)와 DRM(Digital Right Management) 그리고 DCAS(Downloadable CAS)가 있다. 미들웨어 및 부가서비스 방식의 주요기술에는 ACAP, OCAP, MHP, GEM, WEB, Flash 등 기반기술이, IP 네트워크 전송 기술에는 IGMP v2/v3, PIM-SM/SSM 이 주로 사용된다.

2.1. 스트리밍 서버와 클라이언트

스트리밍 서버와 클라이언트는 IP(Internet Protocol)망을 통해 연결되며 UDP/RTP를 이용한 멀티캐스트(Multicast), 또는 유니캐스트(Unicast) 전송 방식을 이용하여 RTPS, HTTP, HTTPS, FTP, MMS 등의 프로토콜을 이용하여 스트리밍을 전송한다. 클라이언트로의 입력 비디오 형식은 다수의 ES(Elementary Stream)를 가진 MPEG-2 TS(Transmit Stream) 형식으로 다중화 되어있어 188 바이트의 고정 크기 TS 패킷이 연속적으로 클라이언트로 전송된다. 이때 TS는 RTP 헤더가 없는 UDP 패킷으로 7개의 TS가 하나의 UDP로 캡슐화 되어(Encapsulation) 전체 1316 바이트가 클라이언트로 전송된다. TS의 PID(Packet Identifier) 필드는 다양한 오디오와 비디오 엘리먼트리 스트림(Elementary Stream)을 구분하는데 사용된다. PCR(Program Clock Reference) 필드는 인코더에 의해 90Khz 단위로 생성되는 시간정보(Time-stamp)로 매 100ms 마다 전송되어 진다[1].

2.2. 스트리밍 서버 관련 기술

스트리밍 서버는 네트워크와 시스템의 상태를 측

정하고 분석하는 기술과 MPEG-2 TS 다중화, ES (Elementary Stream) 인코더 기술 등 기능적 기술과 전송에러를 낮추기 위한 기법, 대역폭과 압축률을 높이기 위한 기법, 미디어 동기화 기법, 패킷의 우선순위 기법 등 성능향상을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다[2,3]. 특히 신뢰성이 보장되지 않는 망에서 MPEG-2를 전송할 때 효과적으로 시그널 로스 (Signal Loss)를 줄이기 위한 방법으로 우선순위 인코딩 전송(Priority Encoding Transmission), 불균등 패킷로스 방지(Unequal Packet loss Protection), 그리고 우선순위 드롭(Priority Dropping) 기술들에 대한 많은 연구가 있어 왔다. 또한, 계층적 비디오 코딩 (Layered video coding)은 가장 잘 알려진 우선순위 패킷 스케줄링의 하나로 높은 대역폭을 요구하는 실시간 어플리케이션의 서비스를 향상시킬 수 있는 기술로 많은 연구가 있어 왔다[4], 샌더는 각 패킷의 시작부분에 SN(Sequence Number)을 넣고 리시버가 도착하는 패킷을 비-결정적순서(Non-Deterministic Order)로 처리할 수 있도록 한다. 샌더는 비디오 데이터를 UDP/IP를 이용함으로 4바이트 오버헤드와 8바이트 UDP 헤더와 20 바이트 IP헤더로 구성된다[2,3].

2.3. 스트리밍 클라이언트 관련 기술

일반적으로 스트리밍 클라이언트로 불리는 셋톱박스는 MPEG-2 TS 역-다중화기 (de-multiplexer), ES 복호기(decoder), 렌더링(Rendering), 재생 제어 (corresponding payout control), EPG(Electronic Program Guide), CA(Conditional Access) 관련 기능 등을 포함한다. 서버로 부터 전달된 음성과 영상을 포함하는 미디어를 재생하는데 필요한 재생 제어 기능에서는 미디어의 동기를 맞추는 미디어 동기화 (Media Synchronization)와 관련된 문제를 제어한다. 이를 위해 재생 미디어 유닛들에 대한 관련 타임스탬프들을 조절 한다.

IPTV 단말(셋톱박스)의 보안 관련기술에는 DRM (Digital Rights Management)과 CAS (Conditional Access System), CP(Copy Protection), 그리고 DCAS(Downloadable CAS) 등이 있다.

최근, HDTV급 고화질의 비디오를 스트리밍 하려는 시도는 최 선형 서비스(Best-Effort Service)를 기반으로 하기 때문에 인터넷 망에서 안정적으로 스

트리밍을 하기위해 네트워크 상황에 적응할 수 있는 전송기법에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 네트워크 즉용형 HD MPEG2 스트리밍을 위해 MPEG 프레임(I, P, B) 기반의 패킷 우선순위 화를 적용한 연구에서 볼 수 있듯이[5], 스트리밍 클라이언트는 네트워크의 상태 측정과 피드백 기능을 하기도 한다. 이때 네트워크 상태 측정을 위해 스트리밍 클라이언트는 RTP 패킷의 헤더를 파싱하고, RTP 헤더의 시퀀스 번호(Sequence Number)와 타임스탬프(Time-stamp) 필드를 이용해 패킷 손실율과 평균 지터 등을 계산하고 주기적으로 측정값을 서버로 피드백하여 망에 쉽게 적응 할 수 있도록 하는 연구 등이 활발히 이루어지고 있다[3].

3. P2P 기반 IPTV 연구

전통적인 방식의 서버 클라이언트 모델의 IPTV 시스템은 중앙 서버의 네트워크 트래픽 증가와 로드의 증가가 집중되어 스트림 서버의 병목현상이 발생할 수 있는 구조이다. 이에 여러 연구에서 P2P 구조의 IPTV를 제안 하고 있으며, P2P 구조의 IPTV는 네트워크 리소스의 균등한 분배를 통해 서버의 네트워크 트래픽과 로드를 분산하여 효율성을 증가시킬 수 있다. 이는 현재까지 진행된 P2P 기반 IPTV의 여러 연구에서 볼 수 있는 것처럼 동영상 콘텐츠의 전달에 있어서 많은 이점을 가지고 있는 것으로 보인다[6-10].

3.1 P2P기반 IPTV 시스템의 특징과 목적

지금까지 P2P IPTV에 대한 연구는 전통적인 IPTV 시스템의 한계를 극복하기위해 여러 연구가 있어왔다. 특히 P2P기반 IPTV 시스템은 기존 IPTV 시스템의 콘텐츠 분산의 효율성 극대화를 통해 성능과 가변성, 확장성 측면에서 고찰 되었고, 보다 효과적인 대역폭 사용을 통해 중앙 서버의 로드 분산을 가능하게 하였다.

기존 IPTV 시스템은 전형적인 서버 클라이언트 모델로 서버에 네트워크 트래픽과 로드가 집중되는 반면 P2P 기반 IPTV는 네트워크 리소스의 균등 사용과 효율성 증대를 위해 분산 형 시스템 구조의 특징을 갖는다.

특히 사용자가 원하는 콘텐츠를 빠르게 찾고, 빠른

채널 전환이 가능하게 하며 좀 더 많은 콘텐츠를 보관 관리할 수 있게 하고, 시스템의 가변성 증가를 통해 전체 시스템의 형상 변경을 쉽게 반영 할 수 있고, 동시에 여러 어플리케이션을 쉽게 관리 할 수 있게 한다. 또한 증가되는 사용자의 요구를 더욱 쉽게 수용할 수 있게 한다.

3.2 P2P기반 IPTV 설계 시 고려사항

P2P기반 IPTV 시스템 구현의 가장 큰 문제는 비디오 스트림을 P2P노드에 어떻게 적절히 분산시켜 구성 하는가에 있다. 다음은 P2P기반 IPTV 시스템을 구성하고 유지하는데 중요한 설계 시 고려 사항들을 설명한다. P2P 기반 설계는 네트워크와 어플리케이션 모두에 효율적으로 구성되어야 한다. 실시간 어플리케이션들은 대부분 짧은 스트리트 업 지연만을 허용함으로, 비디오 전송을 위해서는 높은 대역폭과 낮은 지연시간이 동시에 충족되어야 한다.

또한 멀티미디어 서버 시스템은 수만 명의 수신자를 동시에 지원하도록 확장될 수 있기 때문에, 설계 시 이러한 대규모, 대형 요구를 지원하도록 가변성과 로드분산(Scalability and load balancing)이 고려되어야 한다.

P2P IPTV 시스템의 구조적 변경 및 조직화는 분산된 어느 곳에서도 이루어 질수 있으며, 이러한 변경이 전체시스템의 안정성에 영향을 주지 않고 해당 그룹의 멤버들에게 다이내믹하게 변경이 이루어져야 한다. 이처럼 시스템은 스스로 더 많은 정보들을 이용해 좀 더 좋은 구조가 되기 위해 스스로 발전해야 함으로 자율 조직화(Self-organizing)가 고려되어야 한다. IPTV 시스템은 사용자들의 대역폭사용에 의지함으로, 한 사용자의 전체 대역폭 사용량이 각 사용자에게 허가된 사용가능한 대역폭을 넘지 않아야 한다. 반면, 인 바운드 대역폭에 대해 높은 우선순위를 가진 사용자들이 자신의 허용치에 비례한 좀 더 높은 수준의 비디오를 수신 할 수 있게 하는 메커니즘을 가지는 것이 바람직하다.

위에 열거된 고려사항들 외에 여러 중요한 시스템의 이슈들은 IPTV 시스템 설계 시 모두 논의 되어야 한다. 예를 들어 전달 프로토콜(Transport protocol)과 비디오 플레이어의 선택이나, NAT 나 보호벽(Firewall) 뒤의 피어들에 대한 접속 제약 사항 등에 대한 고려를 들 수 있다[8].

3.3 P2P 기반 IPTV 연구와 CA-P2P IPTV의 특징

본 논문에서 제안하는 선 복사 CA-P2P(Copy-Ahead P2P) IPTV 시스템은 기존 P2P 기반 IPTV 연구 중 VoD 서비스를 위한 P2P기법의 하나로 서버가 요청 받은 콘텐츠를 미리 다른 커뮤니티에도 함께 복사해 두는 방식으로 망의 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있도록 제안되었다. 제안된 CA-P2P IPTV시스템은 기존 P2P IPTV 연구를 기반으로 하여 다음과 같이 선 복사(Copy-Ahead)와 뷰어 기반 관리(Viewer based management)의 두 특징을 가지고 있다.

3.3.1 선 복사(Copy Ahead)

피어의 콘텐츠를 다른 피어 노드들이나 커뮤니티에 요청이 있기 전에 복사해 둔다. 이러한 선 복사는 기존 P2P 기반 IPTV에 비해 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

1. 기존 P2P 기반 IPTV 시스템에 비해 피어 적중률을 높일 수 있다.
2. 커뮤니티 내 더 높은 비디오 선호도를 가진다.
3. P2P 기반 IPTV에 비해 빠른 비디오 전파가 가능하다.
4. 많은 사용자들의 증가를 효율적으로 지원할 수 있다.

3.3.2 뷰어 기반 관리 (Viewer based management)

CA-P2P IPTV 시스템은 사용자 저장 공간을 좀 더 효율적으로 사용하기 위해 다음과 같이 두 뷰어와 체인을 통해 관리한다.

1. 논리 뷰어 : 자신이 직접 요청하여 받은 콘텐츠 만을 관리하기 위한 뷰어
2. 물리 뷰어 : 피어노드로부터 미리 복사된 콘텐츠를 함께 관리 할 수 있는 뷰어
3. 콘텐츠 체인: 우선순위 및 분류별 콘텐츠 관리를 가능하게 하는 체인

4. CA-P2P IPTV 시스템 모델

양질의 IPTV 서비스를 위해 네트워크는 최소 다음과 같은 조건들을 만족시켜야 한다. 첫째, 시청자 홈까지의 다운로드 대역폭은 스트리밍 플레이를 위한 대역폭 보다 커야한다 ($HBOD > u$). 둘째, 로컬 스트리밍 대역폭은 스트리밍 대역폭 보다 커야한다 ($LBOD > s$).

립 서버는 동시 접속 시청자 k 를 지원해야 한다. 로컬 서버의 최대 동시 접속지원자는 n_k 이다. 또한 채널 제인지를 위해 2초미만의 시간 $T_c < 2\text{sec}$ 이어야 한다. 스트림 서버의 트래픽은 IPTV 서비스 제공자의 비디오 분산 정책에 따라 많이 좌우 된다. 메인 서버의 로드를 줄이기 위해 서비스 제공자는 사용자가 많이 찾는 비디오를 부하가 적을 때 로컬 스트림 서버로 원하는 분산 정책에 따라 분산시켜 병목현상을 방지 할 수 있다. 하지만 이러한 분산 정책도 로컬 서버의 로드와 병목을 줄이지는 못하고 결국 T_c 를 줄이는데 한계를 가지고 있다. 이러한 로컬 서버의 로드를 줄이기 위한 방법으로 본 논문은 사용자 셋톱 박스의 유형 자원을 이용하여 로컬 서버의 로드를 줄이도록 P2P를 기반으로 하는 IPTV에서 콘텐츠를 미리 피어노드와 다른 커뮤니티에 복사하여 전체 대역폭을 증가시키고, 빠른 서비스가 가능하도록 CA-P2P IPTV 시스템 모델을 제안한다.

4.1. 제안된 CA-P2P의 데이터와 제어 흐름

제안된 CA-P2P IPTV 시스템은 기존 P2P 기반 IPTV에서 피어 적중률을 높여 좀 더 많은 노드를 동시에 서비스하기 위한 기법으로 선 복사를 제안하고 있다. 선 복사란 동일 커뮤니티 내에서 피어로부터 원하는 콘텐츠를 서비스 받지 못할 경우 서버에 콘텐츠를 요청하게 되는데, 이때 서버가 콘텐츠를 요청한 노드뿐만 아니라 주변 커뮤니티의 노드에 미리 콘텐츠를 복사해 두는 기법으로 그림 1은 제안된 뷰어 기반 CA-P2P IPTV 시스템 모델을 도식화 하고 있다.

제안된 CA-P2P의 특정 피어노드 혹은 커뮤니티를 P_n 이라고 가정할 때,

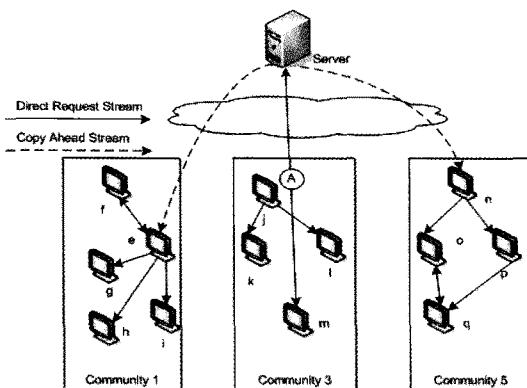


그림 1. 제안된 뷰어 기반 CA-P2P IPTV 시스템 모델

1. P_n 은 항상 서버에 콘텐츠 요구 메시지를 전달하기 전에 항상 물리 뷰(Physical view)를 확인한다.
2. 만약 요청하려는 콘텐츠가 있으면 그 콘텐츠를 논리 뷰(Logical view)에 등록하고 바로 플레이 한다.
3. 만약 존재하지 않으면 서버에 요청 메시지를 전달한다.
4. 요청 메시지를 받은 서버는 콘텐츠를 P_n 에 전달 한다.
5. P_n 은 콘텐츠를 논리 뷰와 물리 뷰에 모두 등록한다.
6. P_n 는 콘텐츠를 플레이 한다.
7. 서버는 콘텐츠를 유형 인접 피어 노드 혹은 커뮤니티에 콘텐츠 복사 요청을 보낸다.
8. 콘텐츠 복사 요청을 받은 P_{n-1} & P_{n+1} 는 물리 뷰에 콘텐츠를 등록한다.

4.2 CA-P2P IPTV의 논리 뷰와 물리 뷰

제안된 CA-P2P IPTV는 선복사로 인해 많은 로컬 디스크를 사용하기 때문에 디스크 사용률을 높이기 위해 다른 두 개의 뷰(논리 뷰와 물리 뷰)를 관리한다.

그림 2에서 P_1 은 자신의 로컬 디스크가 이미 꽉 차 있으나, 논리 뷰를 통해 하나의 콘텐츠만 저장된 것으로 판단 한다. 이는 주변의 노드로부터 복사 요청이 있을 경우 물리 뷰의 엔트리 중 우선순위 등을 기반으로 하여 저장 공간을 할당해야 하는 과정이 필요하게 된다.

아래 표 1에서 P_1 은 콘텐츠 E를 인접한 P_0 와 P_2 에서 중복하여 복사 요청을 받았음으로 가장 낮은 우선순위를 갖게 된다. 논리 뷰의 엔트리는 물리 뷰 엔트

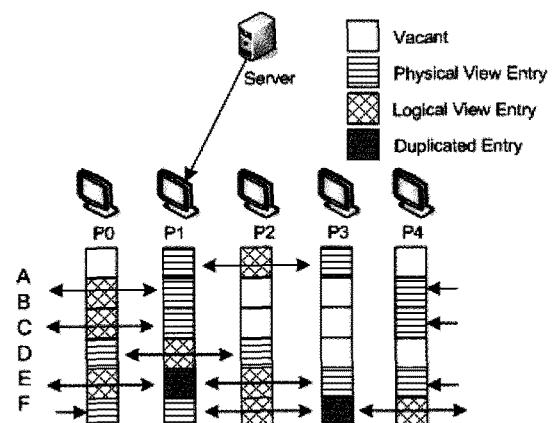


표 1. CA-P2P 콘텐츠 우선순위 테이블

P-ID	A	B	C	D	E	F
0	Vacant	Logical/0	Logical/0	Physical/1	Logical/0	Physical/1
1	Physical/1	Physical/1	Physical/1	Logical/0	Duplicated/2	Physical/1
2	Logical/0	Vacant	Vacant	Physical/1	Logical/1	Logical/1
3	Physical/1	Vacant	Vacant	Vacant	Physical/1	Duplicated/2
4	Vacant	Physical/1	Physical/1	Vacant	Physical/1	Logical/1

리에 비해 높은 우선순위를 갖는다.

5. CA-P2P IPTV 시뮬레이션 및 성능 평가

본 논문은 P2P를 기반으로 하는 IPTV에서 서버에게 요청한 콘텐츠를 미리 피어에게 혹은 다른 커뮤니티에도 함께 미리 복사하여 피어로부터의 히트율을 높여 동시 지원 사용자수를 증가시키고 보다 효율적인 서비스가 가능하도록 CA-P2P IPTV 시스템 모델을 제안하였다. 이러한 선 복사 기법의 성능을 평가하기 위해 다음과 같은 환경에서 P2P와 CA-P2P를 비교 시뮬레이션 하였다.

5.1 실험 조건 및 가정

커뮤니티내의 모든 노드는 같은 행동패턴으로, 1분에 약 2%의 유 휴 피어가 스트림을 요청한다.

한 피어는 한순간에 오직 하나의 스트림을 다운로드 한다. 피어가 스트림을 요청할 때, Zipf의 분산 법칙(Zipf's popularity distribution)을 따르는 1000개의 스트림 중 하나를 선택한다.

하나의 스트림이 다운로드 되면, 그 프로그램은 다른 피어에게 전달 가능한 형태로 60분간 지속된다. 이를 STTL(Stream TTL)이라고 한다.

피어는 사용자에 의해 커지거나 꺼질 수 있다. 동작 중이던 피어는 매 분마다 0.1%의 확률로 커지고, 꺼져있는 피어는 매 분마다 0.5%의 확률로 켜진다(즉, 모든 피어는 평균 약 5배정도 많은 시간 커져 있다).

전체 커뮤니티 수 87, 동일 커뮤니티 내의 피어 수 192, 로컬 디스크 크기 400G.

우선 시뮬레이션 전에 대역폭이 허용하는 양의 CA(복사본 수)값을 얻기 위해 AT&T의 라이트스피드(Lightspeed) 프로젝트에서[7] 사용된 네트워크를

기반으로 계산해 보았다.

표 2에서 정의 된 변수를 기반으로 CA-P2P 망을 구성하면 그림 3과 같다. 그림 3에서 192 개의 동시 사용자에게 HDTV를 지원하기 위한 최대 SOUTH/NORTH 링크의 로드는 $6M * 192 = 1.152 \text{ G}$ 로 대략 B1N 과 같다. 이때 n 은 $B2s/(k)u = (100G/1.152G)$ 로 87이 된다. 즉 $N = 87 * 192 = 16,704$ 이다. 이때, 만약 피어로부터 비디오를 수신하게 되는 사용자의 수 S_c 가 92라면, 로컬 오피스에서 지원할 수 있는 최대 동시 사용자수는 32,064로 증가한다.

적용된 시스템 모델에서 인접 커뮤니티에의 최대 복사본 수를 cCA로 나타내면 다음 식이 성립된다.

표 2. AT&T Lightspeed Project 의 변수

The parameters are detailed below
(AT&T Project Lightspeed as an example)

- $B_{1S} = 24 \text{ Gbps}$ (total capacity of south-bound links (downtlinks) of an switch)
- $B_{1N} = 1.24 \text{ Gbps}$ (total capacity of north-bound links (uplinks) of an switch)
- $B_{2S} = 100 \text{ Gbps}$ (maximum capacity of south-link)
- $B_{2N} = 10 \text{ Gbps}$ (maximum capacity of north-link)
- $u = 6 \text{ Mbps}$ for HD, 2 Mbps for SD (average stream bit rate)
- $k = \text{maximum number of concurrent viewers supported by an switch}$
- $n = \text{maximum number of communities connected to a local video hub office}$
- $N = \text{maximum number of concurrent views supported by a local office}$
- $S_c = \text{number of viewers who receive videos from peers within the same community}$
 - $n = B_{2S}/(k)u$
 - $N = n * k$

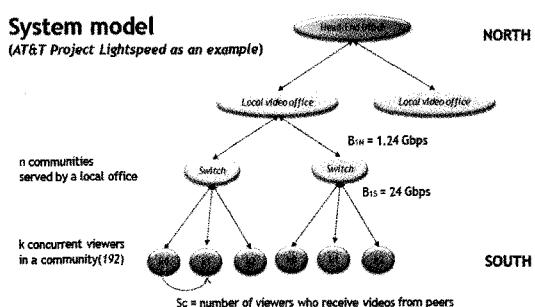


그림 3. AT&T 프로젝트에 적용된 CA-P2P IPTV 시뮬레이션 시스템 모델

$$\begin{aligned}
 B_{2N} &\geq (k + (k * c) * u \\
 (c * k) * u &\leq B_{2N} - (k * u) \\
 c * k &\leq \lceil B_{2N}/u \rceil - k \\
 c &\leq \lceil B_{2N}/u \rceil / k - 1 \\
 \forall c \in C: c &\leq \lfloor (B_{2N}/u)/k \rfloor - 1
 \end{aligned} \tag{1}$$

위 식 (1)에서 $k=192$, $n=87$, $B_{2N}=10G$, $u=6M$ 조건을 만족하는 최대 cCA를 계산하면 7이 된다. 하지만 실제 선 복사(CA)를 할 경우 효율적인 대역폭의 사용이 가능함으로 실제 계산 보다 더 높은 수의 CA를 얻을 수 있었다. 관련 실험은 5.3에서 논의 한다.

5.2 P2P IPTV와 CA-P2P IPTV의 적중률 비교

그림 4, 5는 각각 피어로부터 콘텐츠를 서비스 받을 히트율과 서버로의 동시 접속자수를 비교한 그래프로 P2P는 약 52%, CA-P2P는 약 74%의 확률로 피어로부터 콘텐츠를 서비스 받을 수 있었고 서버로의 동시 접속자수도 P2P에 비해 48% 감소하였다.

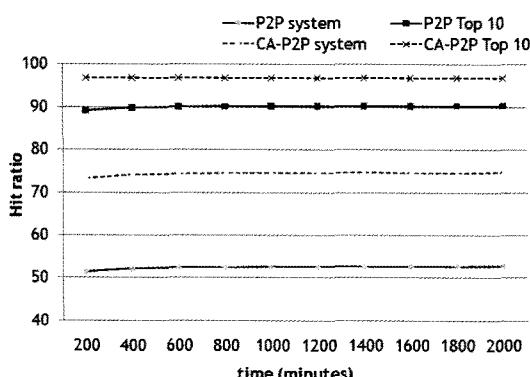


그림 4. 요정 스트림을 피어로부터 서비스 받을 적중률 비교 그래프

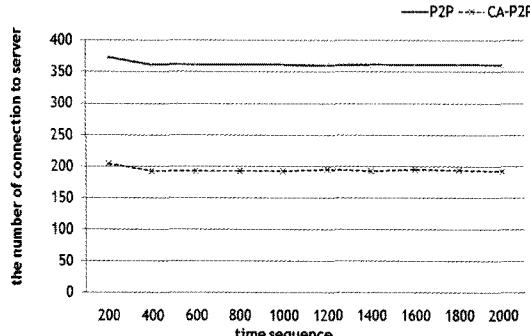


그림 5. 한 커뮤니티에서 서버로의 동시 접속 수 비교 그래프

5.3 시스템의 최대 동시 사용자 수 비교

기존 P2P IPTV 시스템은 약 52%, CA-P2P는 약 74%의 확률로 피어로부터 콘텐츠를 서비스 받을 수 있음으로 식 (1)을 통해 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 k &= 192, Sc = 142 (74\%), u = 6M, CA = 10인 경우, \\
 \text{South-link } (k + Sc)u &= (192 + 142) * 6M * 10(\#CA) = 20.04 G \\
 \text{North-link } (k - Sc)u &= (192 - 142) * 6M = 300M \\
 n &= 100G/300M = 333 \\
 N &= 333 * 192 = 63,936
 \end{aligned}$$

즉 CA-P2P를 적용 시 동시 사용자를 최대 63,936로 증가 시킬 수 있게 된다. 그림 6은 기존 IPTV 시스템과 P2P기반 IPTV 그리고 제안된 CA-P2P IPTV의 최대 동시 사용자 수를 비교한 그래프이다.

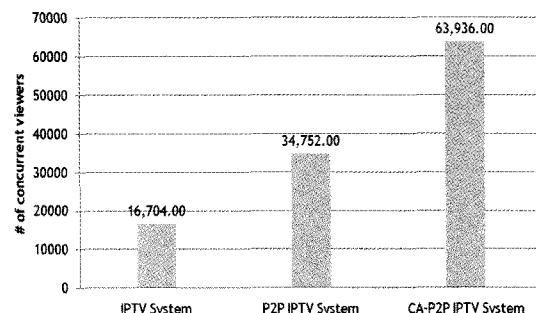


그림 6. 최대 동시 사용자 수 비교 그래프

5.4 비디오 선호도 분산 비교 실험(Popularity)

선호도가 높은 비디오가 커뮤니티 내 존재 할 경우 더 높은 피어 적중률이 가능하다. 비디오 선호도 분산 실험에서 한 커뮤니티 내 Zipf's Law를 따르는 1000 개의 비디오를 각각 선호도 0(가장 높은 선호도)에서 999까지 가중치를 두고 모두 더한 후 전체 노드의 수로 나를 경우 CA-P2P의 선호도 281.4427로 P2P IPTV 선호도 316.5052에 비해 약 11% 더 높은 것으로 나타났다[그림 7].

상위 약 20%에 해당하는 콘텐츠만을 대상으로 선호도를 비교했을 경우 최대 선호도 19.5에 비해 CA-P2P의 경우 5.425만 큼 거리가 떨어져 있는 반면 P2P는 9.325로 약 1.7배 이상 더 멀리 떨어져 있다 [그림 8].

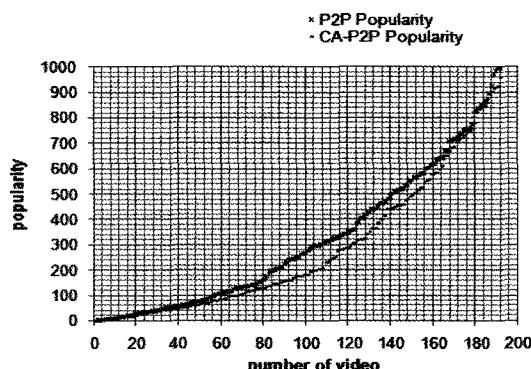


그림 7. 커뮤니티 내 전체 비디오 선호도 분산 비교 그래프

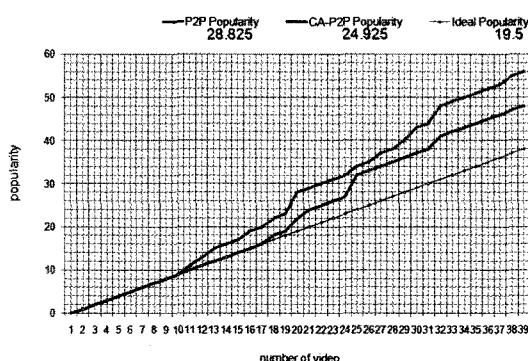


그림 8. 상위 20% 콘텐츠의 비디오 선호도 분산 비교 그래프

5.5 최신 비디오 전파 속도 비교 실험 (Dynamics)

선호도가 높은 최신 비디오 출현 시 커뮤니티 내 모든 피어들은 동시에 서버로 콘텐츠를 요청하게 되고 이러한 요청이 서버에 집중되어 일시적인 장애를 일으키기도 한다.

그림 9는 최신 비디오의 분산 속도를 비교한 그래프로 P2P의 경우 서버로의 연결 요청 건수가 10%대

로 떨어지는데 약 18분이 소요된 반면 CA-P2P의 경우 약 4분 만에 서버로의 연결 요청 건수가 10%대로 떨어지는 것을 확인 할 수 있다. 이는 CA를 통해 다이내믹하게 발생 되는 최신 비디오를 기준 P2P에 비해 훨씬 빠르게 피어로 전파 하여 서버의 집중을 피할 수 있음을 보여준다.

5.6 선 복사(CA: Copy Ahead) 수에 따른 히트 율 변화와 오버헤드

그림 10은 CA수에 따른 적중률을 비교한 그래프로, CA-P2P시스템에서 Zipf's Law에 따른 상위 10개의 프로그램은 CA수에 영향을 크게 받지 않지만 전체 히트 율은 CA수를 증가 시킬수록 크게 향상되었다.

하지만 CA수를 계속 증가할 수록 대역폭에 대한 오버헤드가 함께 증가 하게 됨으로 적절한 CA를 찾기 위한 실험을 진행하였다. 시뮬레이션 환경에서 식(1)을 적용 시 최댓값이 7이었으나, 실제 실험 결과 아래 그림 11에서 볼 수 있는 것처럼 CA수의 증가가 예상 보다 훨씬 적은 대역폭을 사용하는 것을 알 수 있었다.

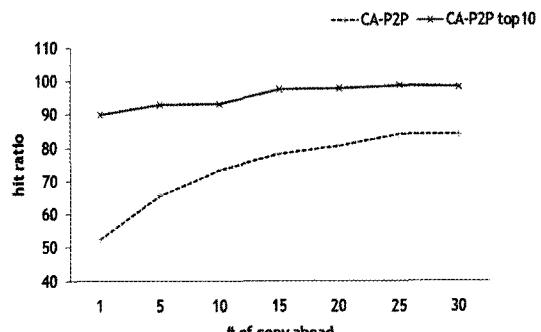


그림 10. 선 복사 수에 따른 히트 율

5.7 CA-P2P IPTV의 성능 평가 결과

제안된 시스템 CA-P2P IPTV의 성능을 평가하기 위해 여러 시뮬레이션을 진행하였다. 실제 IPTV 서비스에서 사용되는 IPSTB-PVR 과 헤드엔드 시스템을 통한 실험은 망의 접속과 인증 등 다소 복잡한 과정을 통해서 이루어진다. 제안된 시스템에서 서버의 역할을 일부 담당하는 IPSTB-PVR이 n개일 경우 기존 P2P 모델에서의 실험 결과에서 알 수 있는 것처럼 상당한 로드가 서버로 부터 분산 되어 질 수

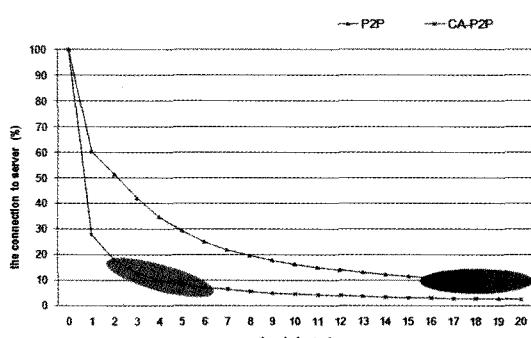


그림 9. 최신 비디오 분산 속도 비교

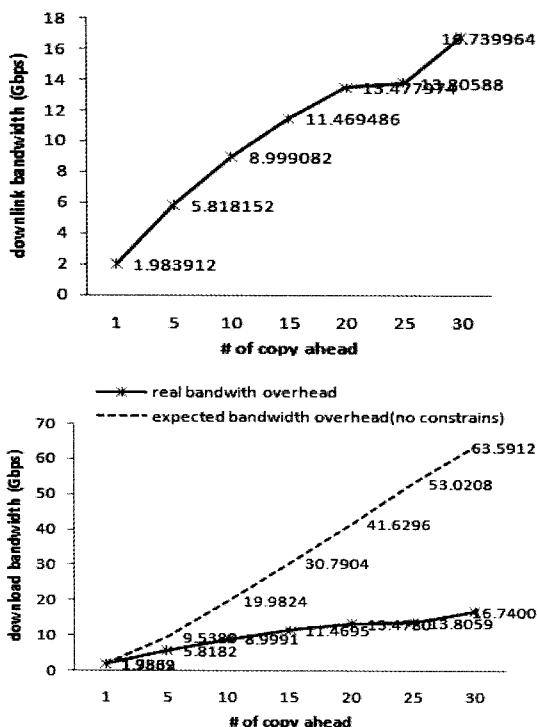


그림 11. 선 복사 수에 따른 대역폭 오버헤드

있고, 가장 가까운 노드로부터 스트림을 받을 수 있게 되어 빠른 채널 변경이 가능하다. 로컬 서버의 동시 접속 사용자 수를 $N(nk)$ 이라고 가정 할 경우 N 은 n 과 k 에 의해 계속 증가 될 것이다. 기존 시스템은 n 증가 시 서버 쪽에 새로운 서비스 계획과 비용을 계속 투입해야 하는 반면 제안된 시스템은 P2P 실험을 통해서 알 수 있는 것처럼, 노드 n 의 증가에 따라 서버의 역할을 할 수 있는 p_n 도 함께 증가하게 되고 서버로 부터 가 아닌 p_n 노드로부터 서비스 받을 수 있는 기회도 함께 증가하게 된다. 이 후 n 이 일정 수에 도달 하면 서버로 부터 직접 서비스 받는 동시 접속자 수가 더 이상 증가하지 않게 된다. 즉 서버의 로드가 n 의 증가에 따라 영향을 받지 않으므로 채널 변경 시간은 p_n 에 의해 더 영향을 받게 된다.

제안된 시스템에서는 콘텐츠의 복사가 미리 이루어짐으로 물리 뷰에 있는 비디오파일을 플레이 할 경우 더 짧은 채널 전환이 가능하게 된다. 특히 적중률(Hit-Ratio)을 높이기 위해 인접 커뮤니티에도 복사를 함께 하게 됨으로 커뮤니티 내 피어들 간의 영상 전송이 더욱 활발히 이루어 질수 있다. 또한 로컬 커뮤니티 내의 콘텐츠의 선호도 분포가 기존 P2P에

비해 더욱 높아 적중률을 높이는데 도움이 되며, Zipf의 분산을 따르는 콘텐츠 중 인기 있는 핫 무비의 경우 선 복사를 통해 P2P에 비해 훨씬 빠르게 여러 커뮤니티에 동시에 전달됨으로서 서버로 집중 되는 트래픽과 로드의 감소를 가져온다.

6. 결론 및 향후 연구 과제

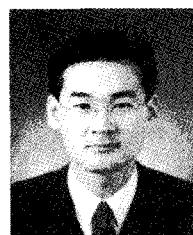
IPTV 서비스 제공자는 수백 수천만의 사용자를 관리해야 하므로 관리의 효율성은 IPTV 서비스에서 중요한 요인이다. 제안된 시스템은 장애 발생 시 그 범위가 최소화되고, 사용자가 시청한 스트림이 단순한 파일 형태로 관리되어 피어노드로 전달되어 질 수 있음으로 관리의 효율성이 뛰어나다. 특히 콘텐츠의 선 복사를 통한 피어 노드들 간의 콘텐츠 공유는 전체 IPTV 시스템과 망의 효율적 사용을 가능하게 하여 큰 성능향상을 가져올 수 있다.

현재 여러 인터넷 서비스의 유료화는 서비스 구축 비용의 증가에 그 요인이 있다. 따라서 서비스 구축 비용을 최소화하는 경우에 현재의 각종 인터넷 서비스를 지속적으로 유지할 수 있고, 새로운 서비스의 도입이 용이해진다. 따라서 새로 확장되는 IPTV 시스템을 본 논문에서 제안하는 시스템 모델로 구축하는 경우에 비용절감을 꾀할 수 있다. 하지만 본 논문을 활용한 상용화에는 실제 트래픽에 대한 성능 분석과 시스템의 안정화 그리고 사용자 IPTV 셋톱박스의 스트림 재전송에 대한 보안, 소유권 그리고 비용 청구 등을 고려해야 하며, 스트림을 일반 파일로 관리하여 운용상의 편리함을 가지고 있으나 스트림을 공유하는 문제에서 기인 할 수 있는 여러 운용상의 문제점을 찾고 해결해야 한다.

참 고 문 헌

- [1] T Zhang, U Jennehag, and Y Xu, "Numerical modeling of transmission errors and video quality of MPEG-2," *Signal Processing Image Communication*, 2001.
- [2] Daniel Forsgren, Ulf Jennehag, and Patrik Osterberg, "Objective End-to-End QoS Gain from Packet Prioritization and Layering in MPEG-2 Streaming," *Proceedings of Packet*

- Video Workshop, April, 2002.
- [3] Ulf Jennehag and Tingting Zhang, "Increasing bandwidth utilization in next generation IPTV networks," *Image Processing, ICIP*, Oct, 2004.
- [4] Ulf Jennehag and Stefan Petterson, "On Synchronization Frames for Channel Switching in a GOP-based IPTV Environment," Proceeding of the fifth IEEE Consumer Communications & Networking Conference (CCNC 2008), Las vegas NV, USA, January 2008.
- [5] Ulf Jennehag, Tingting Zhang, and Stefan Patterson, "Improving Transmission Efficiency in H.264 Based IPVT Systems," *IEEE Transactions on Broadcasting*, Volume 53, Issue 1, Pages 69–78, March 2007.
- [6] X. Hei, C. Liang, J. Liang, Y. Liu, and K. W. Ross, "A Measurement Study of a Large-Scale P2P IPTV System," in *IEEE Transactions on Multimedia*, 2007.
- [7] Y. Huang, Y. Chen, R. Jana, H. Jiang, M. Rabinovich, A. Reibman, B. Wei, and Z. Xiao, "Capacity Analysis of MediaGrid: a P2P IPTV Platform for Fiber to the Node Networks," in *IEEE Journal on Selected Areas in Communications special issue on Peer-to-Peer Communications and Applications*, January 2007.
- [8] Jiangchuan Liu, Sanjay G. Rao, Bo Li, and Hui Zhang, "Opportunities and Challenges of Peer-to-Peer Internet Video Broadcast," Proceedings of the IEEE, 2008 vol.96(no.1)
- [9] Young-Ho, Song, Taeck-Geun Kwon, "Fast Channel Changing Technique to Deliver Enhanced IPTV User Experience," *Journal of Korea Multimedia Society*, Sep, 2009.
- [10] M. Cha, P. Rodriguez, S. Moon, and J. Crowcroft, "On Next-Generation Telco-Managed P2P TV Architectures," In Proc. of IPTPS, 2008.



송 영 호

1996년 국립한밭대학교 컴퓨터 공학과 공학사
2002년 충남대학교 컴퓨터공학과 공학석사
2006년 충남대학교 컴퓨터공학과 공학박사수료

2007년~현재 NDS 코리아 R&D 센터 Fusion 팀장
관심분야: 임베디드 시스템, 통신시스템, 멀티미디어 시스템, 인터넷 보안 등



권택근

1988년 서울대학교 컴퓨터공학과 공학사
1990년 서울대학교 컴퓨터공학과 공학석사
1996년 서울대학교 컴퓨터공학과 공학박사

1992년 LG 전자정보통신소 연구원
1998년~현재 충남대학교 전기 정보통신공학부 컴퓨터 전공 교수
관심분야: 네트워크 프로세서, 초고속 인터넷, 통신시스템, 인터넷 보안 등