

# 응용 계층 멀티캐스트에서 계층형 비디오 스트리밍의 안정성 향상을 위한 효율적인 공유 학습 기법

## (An Efficient Shared Learning Scheme for Layered Video Streaming over Application Layer Multicast)

박종민\* 이승익\*\*  
(Jongmin Park) (Seungik Lee)

고양우\*\* 이동만\*\*\*  
(Yangwoo Ko) (Dongman Lee)

**요약** 스트리밍 비디오를 다양한 수신자에게 전달하기 위해 비디오를 여러 계층으로 나누어 전송하고 이를 선택적으로 수신하는 계층형 비디오 멀티캐스트가 소개되었다. 계층형 비디오 멀티캐스트에서는 가용 대역폭을 측정하기 위해 가입 실험을 사용하는데, 가입 실험이 중복되거나 실패할 경우 수신 비디오의 품질을 저하시킬 수 있다. 이를 해결하기 위해 공유 학습 기법이 제안되었지만 응용 계층 멀티캐스트에 적용할 경우 많은 컨트롤 오버헤드와 높은 적응 수렴 시간 문제를 야기한다. 따라서 본 논문에서는 응용 계

층 멀티캐스트 기반의 계층형 비디오 멀티캐스트에서 가입 실험이 영향을 주는 영역을 분석함으로써 컨트롤 오버헤드 및 수렴 시간을 최소화하는 새로운 공유 학습 기법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 제안 기법이 기존 연구와 비교하여 컨트롤 오버헤드와 수렴 시간 측면에서 더 좋은 성능을 나타냄을 확인하였다.

**키워드** : 멀티캐스트, 계층형 비디오, 전송률 조절, 응용 계층 멀티캐스트

**Abstract** Layered video multicast such as RLM (Receiver-driven layered multicast) is a promising technique for delivering streaming video to a set of heterogeneous receivers over ALM(Application Layer Multicast) as well as over IP multicast. However, this approach may suffer from unnecessary fluctuation of video quality due to overlapped and failed join-experiments. Though a shared learning scheme was introduced to resolve these problems, it may cause high control overhead and slow convergence problem when used with ALM. In this paper, we propose a new shared learning scheme for ALM-based layered video multicast which reduces control overhead and convergence latency while keeping the number of fluctuation reasonably small. The simulation results show that the proposed scheme performs better than an ALM-based layered video multicast with shared learning in terms of control overhead and convergence latency.

**Key words** : Multicast, Layered video, Rate adaptation, Application-layer multicast

### 1. 서론

최근 중단 호스트의 컴퓨팅 능력과 네트워크 대역폭의 증가에 따라 원격 학습, IPTV 등과 같은 일대다(One-to-Many) 형식의 비디오 응용이 많은 관심을 끌고 있다. 이러한 통신 응용에서 네트워크와 수신자의 이종성 문제를 해결하기 위하여 계층형 비디오 멀티캐스트(Layered Video Multicast) 기법[1,2]이 소개되었다.

그러나 이러한 연구는 IP 멀티캐스트에 기반하고 있고, IP 멀티캐스트는 기술적 및 정책적 한계로 인하여 광범위한 실용화(Deployment)가 지체되고 있다. 이러한 실용성 문제를 해결하기 위하여 호스트가 라우터의 도움 없이 직접 멀티캐스트 기능을 수행하는 응용 계층 멀티캐스트(Application Layer Multicast, ALM) 기법이 도입되었다. 따라서 ALM을 기반으로 한 계층형 비디오 멀티캐스트 연구[3-6]가 새롭게 소개되었지만 이들은 전송 트리의 견고성(Resilience)과 처리량(Throughput) 향상에 초점을 맞추고 있을 뿐, 계층형 비디오 멀티캐스트의 가입 실험(Join Experiment)에 따른 비디오 안정성(Stability) 문제는 고려하고 있지 않다.

\* 본 논문은 정보부 및 정보통신연구진흥원의 정보통신선도기반기술 개발 사업 및 대학 IT연구센터 지원사업 (HITA-2008-C1090-0801-0014) 의 연구결과로 수행되었습니다.

· 이 논문은 2007 한국컴퓨터종합학술대회에서 '응용 계층 멀티캐스트에서 계층형 비디오 스트리밍의 안정성 향상을 위한 효율적인 공유 학습 기법'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것이다

\* 정 회 원 : 한국정보통신대학교 공학부  
alrogi@tta.or.kr

\*\* 학생회원 : 한국정보통신대학교 공학부  
silee@icu.ac.kr  
newcat@icu.ac.kr

\*\*\* 정 회 원 : 한국정보통신대학교 공학부 교수  
dlee@icu.ac.kr

논문접수 : 2007년 10월 22일  
심사완료 : 2008년 1월 11일

Copyright©2008 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이때, 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 제14권 제2호(2008.4)

계층형 비디오 멀티캐스트에서 가용 대역폭의 유무를 판단하기 위해 새로운 계층을 추가하는 작업을 가입 실험이라고 한다. 가입 실험의 반복적인 실패는 네트워크의 혼잡을 가져오고 결과적으로 네트워크 링크를 공유하는 다른 수신자의 비디오 수신 품질 및 안정성을 저하하게 된다. ALM 기반의 계층형 비디오 멀티캐스트에서도 ALM 전송 트리상의 공유된 링크를 통해 각 수신자의 가입 실험 결과가 다른 수신자들에게 영향을 미칠 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 멀티캐스트 그룹에 가입 실험 정보를 전송하여 모든 수신자들에게 전달할 수 있는 IP 멀티캐스트 기반의 공유 학습(Shared learning) 기법[1,2]이 제안되었다. 그러나 ALM에서는 어느 한 수신자가 가입 실험 정보를 공유할 때 다른 수신자들과 독립적인 유니캐스트 채널을 통하여 전송해야 하기 때문에 많은 컨트롤 오버헤드를 야기한다.

따라서 본 논문에서는 ALM 기반의 계층형 비디오 멀티캐스트를 위한 새로운 공유 학습 기법을 제안한다. ALM 전송 트리에서 부모 노드의 전송 링크 대역폭을 공유하는 노드들을 기반으로 공유 학습 기법을 적용할 수 있는 영역을 ALM 특성에 맞게 재정의 하여 컨트롤 오버헤드를 줄이도록 한다. ns-2 [7]를 이용한 성능 평가 결과 제안된 기법은 비디오 수신률의 안정성을 유지 하면서 모든 수신자들에게 가입 실험 정보를 전달하는 ALM 기반의 계층형 비디오 멀티캐스트 기법보다 약 77% 컨트롤 오버헤드를 줄이고, 세션 초기의 처리량 면에서 약 43%의 더 좋은 결과를 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 2장에서는 기존 연구에 대해 기술하고 3장에서는 본 논문에서 제안하는 설계 고려 사항 및 분석을, 4장에서 본 논문에서 제안하는 기법의 전체 구조 및 세부 내용을 기술한다. 5장에서는 성능 평가에 대해 기술하고 마지막으로 6장에서 결론 및 향후 연구 방향에 대해 기술한다.

## 2. 관련 연구

[3]은 ALM에서 다양한 사용자들에게 비디오 스트리밍 서비스를 제공하기 위하여 계층형 코딩 기법을 채택한다. NICE[8]에서처럼 모든 수신자들은 트리에서 최하위 레벨에 속하게 된다. 이후에 수신자들은 인코딩된 스트림의 다른 계층을 수신 받을 수 있도록 더 많은 클러스터로 가입을 시도한다. 즉, 각 수신자들은 다른 계층에 가입 유무를 결정하기 위하여 가입 실험을 수행한다. 트리 전체의 처리량을 높이기 위하여 Enhanced NICE는 NICE에서 사용한 지리학적인 위치 기반 클러스터 리더 선택 알고리즘과 각 노드들의 대역폭을 보고 클러스터 리더를 선택한다. 그러나 본 연구에서 비디오의 안정성 문제는 고려하고 있지 않다.

[4]에서는 종단 호스트에서 종단 대역폭에 기반을 둔 효율적인 트리 건설 알고리즘을 제안한다. 데이터를 전송할 때 비대칭적이고 다양성을 가진 종단 호스트의 대역폭을 고려하기 위해 in-degree와 out-degree의 개념을 각각 노드가 수신 받는 계층의 수, 노드의 부모 노드가 전송하는 계층의 수로서 재정의 한다. 노드가 전송 트리에 가입할 때 그 노드는 자신의 in-degree 보다 더 큰 out-degree를 가지는 노드를 부모 노드로 선택한다. 그 결과, 모든 노드들의 전체 처리량을 최대화하는 효율적인 데이터 전송 트리를 만든다. 본 논문은 모든 노드들의 in-degree와 out-degree를 결정하는 데 얼마나 많은 오버헤드가 발생하는지에 대한 분석 없기 때문에 가입 실험의 오버헤드를 in-degree와 out-degree 결정 알고리즘으로 변환한 것으로 결론 내릴 수 있다.

[5]에서는 peer들의 일시적인 특성의 문제를 처리하기 위해서 견고성(Robustness)에 초점을 맞춘 [9]에 새로운 적응 프로토콜을 적용한 연구에 대한 발전된 논문이다. 즉, 저자들은 Description의 중복을 통해서 견고성을 이루는 MDC(Multiple Description Coding) 기법이 가지고 있는 네트워크의 이질성 문제를 다루기 위해서 계층적 MDC 기법[10]을 제안한다. 계층적 MDC는 기본 계층들을 적은 대역폭을 가진 클라이언트들에게 보내고, 기본 계층들과 상위 계층들을 높은 대역폭을 가진 클라이언트들에게 보낸다. 그러나 여전히 독립적인 가입 실험에 의해 야기되는 간섭과 비디오 품질 변동 문제를 가지고 있다.

## 3. 설계 고려사항

### 3.1 ALM 기반의 계층형 비디오 멀티캐스트 기법의 특성

IP 멀티캐스트와 ALM 기반의 계층형 비디오 멀티캐스트에서는 다음과 같은 몇 가지 차이를 가지고 있다.

첫째, IP 멀티캐스트에서는 가입 실험 정보를 멀티캐스트 그룹에 전송함으로써 한번에 해당 계층에 가입하고 있는 모든 수신자들에게 그 정보를 전달 할 수 있지만, ALM에서는 어느 한 수신자가 공유 학습 정보를 보내려고 할 때 다른 수신자들과 각각의 유니캐스트 연결을 맺어 전송해야 한다. 따라서 ALM에서는 비디오 스트리밍 세션에 가입 하고 있는 모든 수신자들에게 이러한 공유 학습 정보를 전송하는 기존의 방식은 더 많은 컨트롤 오버헤드를 야기한다.

둘째, IP 멀티캐스트에서 수신자들은 단지 데이터 전달 트리에서 리프(Leaf) 노드의 역할을 하지만, ALM에서 종단 호스트는 데이터 수신자로서의 기능과 IP 멀티캐스트의 라우터 역할까지 수행해야 하기 때문에 종단 호스트들 사이에서 부모-자식 관계가 성립한다. 따라서

자식 노드들은 부모 노드가 수신 받고 있는 계층보다 더 많은 계층을 받을 수 없고, 부모 노드의 전송 링크 대역폭을 공유한다.

### 3.2 ALM에서 가입 실험에 의해 영향을 받는 영역

ALM에서도 부모의 전송 링크 대역폭의 공유에 의하여 각 수신자의 가입 실험 결과가 다른 수신자들에게 영향을 미칠 수 있기 때문에 가입 실험 결과가 중첩될 수 있고, 실패하는 가입 실험에 의한 네트워크 혼잡이 증가하여 화질의 안정성 문제를 야기 할 수 있다.

먼저, ALM에서 '가입 실험 중첩 방지' 측면에서 영향을 받는 영역을 결정할 때 고려되어야 할 사항은 다음과 같다. 만약 어느 한 노드와 해당 노드의 하나 또는 그 이상의 후손(Descendent) 노드가 동시에 가입 실험을 했고, 그 노드의 가입 실험이 실패하게 되면, 해당 노드는 패킷 손실을 겪게 된다. 그리고 그 노드는 손실된 패킷을 후손 노드들에게 전달 할 수 없고, 후손 노드들은 패킷 손실의 원인을 자신의 가입 실험에 의한 것으로 오해할 수 있다. 따라서 부모 노드와 그 자손 노드들 간의 가입 실험 중첩을 방지하여 이러한 측정 잡음 문제를 해결해야 한다.

만약 부모 노드의 전송 링크 대역폭의 여분이 남아 있지 않은 상황에서 형제(Sibling) 노드들이 동시에 가입 실험을 하게 되면 패킷 손실을 일으키게 되고, 여러 형제 노드들이 패킷 손실을 겪게 된다. 또한, 동시에 수행된 가입 실험 중에서 어떤 가입 실험이 실패한 것인지 판별할 수 없게 만든다. 따라서 형제 노드들 사이에도 '중첩된 가입 실험'은 방지되어야 한다. 결국, 중첩되는 가입 실험을 방지하기 위하여 임의의 수신자가 가입 실험을 할 때 영향을 받는 영역은 그 수신자의 후손 노드들과 형제 노드들이다.

'실패한 가입 실험 정보 공유'의 관점에서 가입 실험 정보를 주고받아야 하는 영역을 생각해볼 수 있다. Bharambe[11]는 대부분의 중간 링크의 대역폭이 5Mbps 이상이기 때문에 실제 인터넷 환경에서의 대부분의 병목현상이 종단 호스트의 종단 링크에서 발생한다고 가정한다. 이에 기반하여 본 논문에서도 대부분의 네트워크 혼잡이 종단 호스트의 종단 링크에서 발생한다고 가정한다. 따라서 어느 한 노드의 가입 실험 후에 그 부모 노드의 전송 링크의 가용 대역폭이 충분하지 않은 상황에서 해당 가입 실험이 실패하면 다른 형제 노드들도 동시에 패킷 손실을 경험하게 된다. 이 때 형제 노드들은 같은 형제 노드의 실패한 가입 실험을 이용하여 추가적인 가입 실험을 하지 않아도 다음의 가입 실험이 실패할 것이라는 사실을 알 수 있다. 결국, 자신이 가입하게 될 계층의 가입 실험 타이머를 지연 시켜 불필요한 패킷 손실을 줄일 수 있다.

## 4. 제안 기법

본 장에서는 ALM 기반의 계층형 비디오 멀티캐스트를 위한 수정된 공유 학습 기법과 계층 가입 및 해제 방법에 대해 기술한다. 본 연구에서는 문제를 단순화하기 위해 최대로 가질 수 있는 자식의 수를 제한하는 무작위 부모 선택 알고리즘 기반의 간단한 ALM 방식을 가정한다.

### 4.1 계층 가입 및 해제

비디오 수신자는 세션이 시작되면 데이터 전송 트리의 부모 노드에게 기본 계층(Base layer)을 항상 요청한다. 이후에 손실된 패킷이 없으면 현재 네트워크가 혼잡하지 않으므로 다음 추가 계층(Enhancement layer)을 요청하여 가입 실험을 시작한다. 그러나 ALM에서 호스트의 수신률은 데이터 전송 트리의 부모 노드에게 종속되기 때문에 부모 노드는 자식 노드가 자신의 수신 계층보다 더 높은 계층을 요구하면 거절 메시지를 자식 노드에게 전달한다. 이 때 자식 노드는 해당 가입 실험을 취소하고 해당 가입 실험 타이머를 back-off하여 향후 추가 가입 실험 빈도를 낮추도록 한다.

만약 패킷 손실률이 특정 임계값을 넘어가게 되면 현재 네트워크를 혼잡 상태로 판단하고 수신률을 낮추기 위해 현재 수신 중인 추가 계층을 해제 요청하여 부모 노드가 해당 계층을 중계하는 것을 중지토록 한다.

### 4.2 가입 실험 알림

비디오 수신자가 가입 실험을 시작하면 해당 가입 실험이 끝날 때까지 중복된 가입 실험을 금지하고 해당 실험 결과를 참고할 수 있도록 다른 수신자들에게 가입 실험 시작을 알리도록 한다. 앞의 3.2절의 분석 결과에 따라 임의의 수신자가 가입 실험을 할 때 자신의 형제 노드들과 모든 후손 노드들에게 가입 실험이 진행 중임을 알리고 각 후손 노드들은 다시 자신의 후손 노드들에게 해당 알림을 중계 전송한다. 가입 실험이 진행 중임을 통보 받은 다른 수신자들은 자신의 가입 실험을 일정 시간 이후로 미루어 현재 진행 중인 가입 실험이 끝날 때까지 기다려 중첩된 가입 실험을 방지한다.

### 4.3 실패한 가입 실험 정보 공유

임의의 호스트가 가입 실험을 할 때 특정 네트워크의 가용 대역폭이 부족하면 가입 실험이 실패하게 된다. 이 때 해당 네트워크 링크를 공유하는 다른 수신자들도 같은 결과를 얻을 확률이 높으므로 해당 가입 실험 정보를 공유할 수 있도록 한다. 3.2절의 분석 결과를 봤을 때, 실패한 가입 실험 정보는 부모의 전송 링크 대역폭을 공유하는 형제 노드들 사이에서만 의미가 있다. 따라서 형제 노드가 가입 실험을 알린 후, 자신이 패킷 손실을 경험하게 되면 해당 가입 실험이 실패하였다고 판단

하고 자신도 다음 추가 계층에 대한 가입 실험 타이머를 back-off 시켜 불필요한 가입 실험을 막는다.

5. 성능 평가

본 장에서는 ns-2[7]를 사용한 제안된 기법의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 비디오 스트리밍 서버는 소스 비디오를 총 5개의 계층으로 나눠서 전송하고, 세션에 가입하는 총 수신자의 개수는 20개이다. 각각의 계층에 대한 대역폭 크기는 기본 계층이 32Kbps 상위의 계층은 2배의 크기로 증가한다. 각각의 수신자들은 0초에서 10 초 사이에 무작위로 세션에 가입한다. 그림 1은 시뮬레이션에서 사용된 네트워크 토폴로지이다.

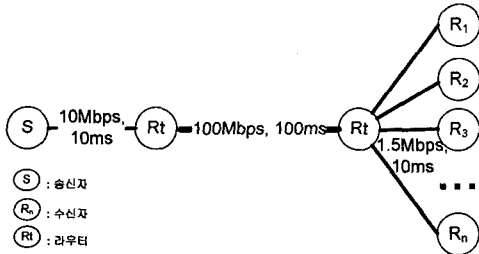


그림 1 시뮬레이션 토폴로지

제안된 기법의 성능 평가를 위하여 공유 학습을 적용하지 않는 ALM-NSL(ALM with No Shared Learning) 기법과 모든 수신자들에게 정보를 알려주는 공유 학습 기법을 사용하는 ALM-SL(ALM with Shared Learning) 기법을 비교하였다.

5.1 ALM에서 공유 학습의 효과 검증

본 절에서 ALM-SL 기법과 ALM-NSL 기법의 비교를 통해 ALM 기반의 계층형 비디오 멀티캐스트에서 중첩되고 실패하는 가입 실험에 의해 야기되는 비디오 수신 계층의 변화 문제에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다.

그림 2는 세션에 참가하는 수신자들의 시간에 따른

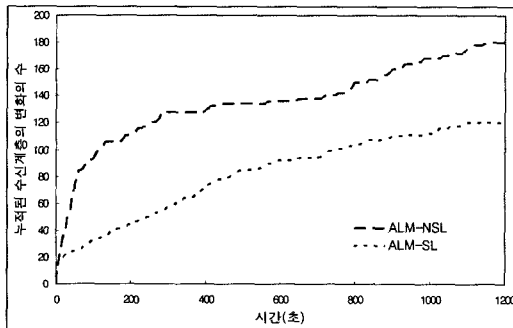


그림 2 공유 학습 기법의 사용 유무에 따른 안정성 비교

누적된 수신 계층 변화 그래프를 보여준다. ALM-NSL 기법이 ALM-SL 기법에 비해 수신 계층 변화가 상대적으로 많은 것을 볼 수 있다. 이것은 독립적인 가입 실험이 ALM 기반의 계층형 멀티캐스트에서도 수신률의 빈번한 변화에 의한 불안정성 문제를 야기한다는 것을 보여준다. 결국, 시뮬레이션 결과에서 ALM 기반의 계층형 비디오 멀티캐스트에 공유 학습을 적용하는 것이 안정성 측면에서 좋다는 것을 보여주고 있다.

5.2 제안된 기법과 ALM-SL 기법과의 비교

그림 3은 제안된 기법과 ALM-SL 기법에서의 공유 학습에 따른 컨트롤 패킷 오버헤드를 비교하여 보여준다. ALM-SL의 경우에 임의의 수신자가 가입 실험을 할 때, 그 수신자는 세션에 참여하는 다른 모든 수신자들에게 가입 실험 정보를 전달하기 때문에 전체적으로 높은 컨트롤 오버헤드를 보여주는 것을 볼 수 있다. 하지만 제안된 기법에서는 임의의 수신자가 가입 실험을 할 때 영향 받는 영역 내에 있는 수신자들에게만 가입 실험 정보를 전달하기 때문에 컨트롤 오버헤드가 상대적으로 적다. 그래프에서 제안된 기법이 ALM-SL 기법에 비해 약 77%의 컨트롤 오버헤드를 줄이는 것을 볼 수 있다.

그림 4는 세션 내에서 단위시간 동안 수신 받은 전체 패킷 수를 보여준다. 제안된 기법은 ALM-SL 기법보다

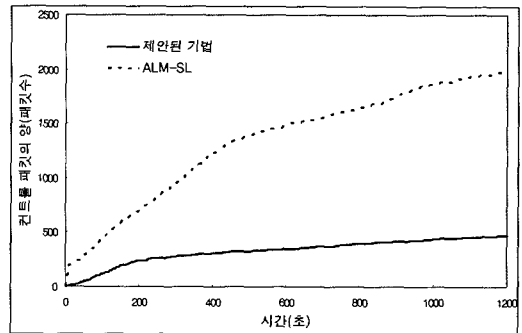


그림 3 시간에 따른 컨트롤 오버헤드

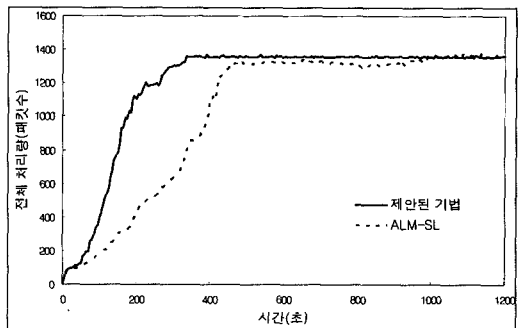


그림 4 단위시간에 따른 전체 처리량

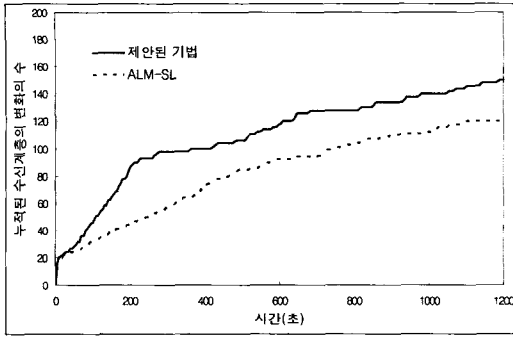


그림 5 시간에 따른 누적된 수신 계층 변화

세션 시작부터 약 450초 동안 처리량 면에서 약 43%의 더 좋은 효과를 보여준다. ALM-SL 기법에서는 임의의 수신자가 가입 실험을 할 때, 가입 실험 정보를 세션 내에 있는 모든 수신자들에게 전달한다. 결국, 가입 실험에 영향 받지 않는 수신자들까지도 가입 실험을 지연시켜 해당 수신자들이 안정적인 계층으로 수렴하는 데 더 많은 시간이 걸린다. 그러나 제안된 기법은 영향 받는 영역 내에서만 가입 실험 정보를 주고받기 때문에 세션 내에 있는 수신자들이 상대적으로 더 빨리 수렴하게 된다.

그림 5는 제안된 기법과 ALM-SL 기법의 수신 계층의 안정성을 비교하기 위하여 시간에 따른 누적된 수신 계층 변화를 보여준다. ALM-SL 기법이 제안된 기법보다 누적된 수신 계층 변화의 수가 적다. ALM-SL 기법은 세션에 있는 수신자가 가입 실험을 할 때, 가입 실험 정보를 세션에 참여하는 모든 노드에게 전달하여 각 수신자의 수렴 시간을 늦춤으로써 수신 계층의 변화를 줄인다. 반면에 제안된 기법은 세션 시작 후 200초까지 계층 변화가 급격히 증가한다. 그 이유는 가입 실험에 의해 영향 받는 영역 이외의 수신자들이 각각 자신의 수렴 계층에 도달하기 위한 수신 계층의 변화가 세션 초기에 많이 일어나기 때문이다. 이후의 시간에서 각 기법은 서로 비슷한 수신 계층의 변화를 보여준다. 즉, 제안된 기법은 초기에 빠른 속도로 계층을 변화시켜가면서 최적의 계층으로 수렴하려는 속성을 보이며 이는 그림 4에서 보인 것과 같은 처리량의 개선으로 나타난다.

## 6. 결론

본 논문에서는 ALM 기반의 계층형 비디오 멀티캐스트의 안정성을 보장하기 위하여 가입 실험에 영향을 받는 영역을 ALM 전송 트리에 따른 노드의 전송 링크 대역폭을 공유하는 수신자들을 바탕으로 재정의 하여 ALM 기반의 계층형 비디오 멀티캐스트에 적합한 새로운 공유 학습 기법을 제안하였다.

시뮬레이션 결과는 제안된 기법이 모든 수신자들에게

가입 실험 정보를 전송하는 공유 학습 기법을 사용하는 ALM 기반의 계층형 비디오 멀티캐스트 기법과 비교했을 때, 컨트롤 오버헤드의 양에 있어서 제안된 기법이 77%를 줄이고 세션 초기에 처리량 면에서 약 43%의 더 좋은 결과를 보여준다. 또한, 세션 초기에는 더 빨리 최적의 계층으로 수렴하기 위하여 더 많은 계층 변화가 일어나는 특성을 보였다.

현재 실제 인터넷 환경에서도 제안된 기법이 잘 동작하는지 확인하기 위한 구현을 하고 있다. 또한, 안정성을 더 높이기 위하여 실제 라우팅 경로를 추정하고 이에 기반하여 가입 실험에 의해 영향 받는 영역을 더 정확하게 결정하는 기법을 추가할 예정이다.

## 참고 문헌

- [1] S. McCanne, V. Jacobson, and M. Veurli, "Receiver-driven Layered Multicast," In ACM SIGCOMM, New York, USA, August 1996.
- [2] X. Li, S. Paul, and M. Ammar, "Layered Video Multicast with Retransmission (LVMR): Evaluation of Hierarchical Rate Control," In IEEE INFOCOM, 1998.
- [3] C. Nagaraj, M. Nguyen, L. Pezeshkmehr, M. Moh, "End-to-End Layered Multicast of Streaming Media in Heterogeneous Networks," In IEEE Performance, Computing, and Communications, 2004.
- [4] Y. Okada, M. Oguro, J. Katto, and S. Okubo, "A New Approach for the Construction of ALM Trees using Layered Coding," P2PMMS, ACM, November 2005.
- [5] V. N. Padmanabhan, H. J. Wang, and P. A. Chou, "Supporting Heterogeneity and Congestion Control in Peer-to-Peer Multicast Streaming," IPTPS, February 2004.
- [6] Y. Cui and K. Nahrstedt, "Layered Peer-to-Peer Streaming," NOSSDAV, ACM, June 2003.
- [7] Network Simulator-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [8] S. Banerjee, B. Bhattacharjee, and C. Kommareddy, "Scalable Application Layer Multicast," SIGCOMM, ACM, August 2002.
- [9] V. Padmanabhan, H. Wang, and P. Chou, "Resilient Peer-to-Peer Streaming," ICNP, IEEE, November 2003.
- [10] P. A. Chou, H. J. Wang, and V. N. Padmanabhan, "Layered Multiple Description Coding," Packet Video Workshop, April 2003.
- [11] A. Bharambe, C. Herley and V. N. Padmanabhan, "Analyzing and Improving a BitTorrent Network's Performance Mechanisms," In IEEE INFOCOM, Barcelona, Spain, 2006.