

# 무선 환경에서 이동 지원국을 이용한 계층형 멀티캐스트 전송률 조절 기법

이승익<sup>○</sup> 윤원용 이동만  
한국정보통신대학원대학교 공학부  
{silee, wyyoon, dlee}@icu.ac.kr

## Rate Adaptation Scheme for Layered Multicast using MSS in Mobile Network

Seungik Lee<sup>○</sup> Wonyong Yoon Dongman Lee  
School of Engineering, Information and Communications University (ICU)

### 요 약

멀티미디어 통신을 위한 계층형 멀티캐스트를 무선 환경으로 확장할 때에는 무선 네트워크의 낮은 대역폭에 의한 네트워크 혼잡 및 핸드오프에 의한 전송률 불안정 현상이 나타나게 된다. 이러한 문제를 효과적이고 능동적으로 해결하기 위해 본 논문에서는 이동 지원국 (MSS) 을 이용한 능동적인 전송률 조절 기법과 우선 순위에 따른 패킷 누락 기법을 제안한다. MSS는 네트워크 계층의 전송 큐 사용량을 통해 현재의 네트워크 상태를 파악해, 네트워크 혼잡 시 이동 호스트 (MH) 의 가입 실험 (Join-experiment) 을 막거나 수신 계층의 제거를 종용할 수 있다. 그리고 MSS에서 직접 계층별 우선 순위를 부여함으로써 핸드오프에 의한 전송률 불안정성 및 대역폭 분배 불공평성을 해결하고자 한다.

### 1. 서론

최근 원격 교육, 원격 다중 회의 등과 같은 다중 멀티미디어 통신이 늘어나면서 사용자 측의 네트워크 대역폭 및 능력을 고려한 계층형 멀티캐스트 (Layered multicast) [1] 가 도입되었다. 계층형 멀티캐스트에서 전송측은 비디오 데이터를 복수개의 누적된 계층으로 나누어 인코딩하여 이를 각각 다른 멀티캐스트 주소로 전송하고, 수신측은 자신의 능력 및 네트워크 상황이 허락하는 최대한 많은 개수의 계층을 수신하여 멀티미디어 멀티캐스트의 다형성 (Heterogeneity) 문제를 해결한다. 그러나 이러한 계층형 멀티캐스트를 오늘날 주목 받는 무선 통신 환경으로 확장할 때에는 무선 통신의 고유한 성질인 이동성과 상대적으로 낮은 대역폭 문제를 고려해야만 한다. 유선 환경에서 제안된 계층형 멀티캐스트 방법들 [1-3] 을 그대로 무선 환경에 적용시킬 경우에는 낮은 대역폭에 의한 가입 실험 (Join-experiment) [1] 의 잦은 실패 및 핸드오프 (Handoff) 에 의한 대량의 전송률 증가에 따른 전송률의 불안정성 (Unstable rate) 문제가 발생하게 된다. 뿐만 아니라 무선 네트워크의 상대적으로 낮은 대역폭으로 인해 대역폭의 공평한 분배 문제가 보다 중요하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 이동 지원국 (Mobile Support Station; MSS) [6] 의 1) 우선 순위에 따른 패킷 누락 기법, 2) 능동적 전송률 조절 기법을 제안한다. 이들 기법은 보다 중요한 계층의 수신을 보장하여 안정된 비디오 전송률을 제공하며 기존의 수신자 중심의 분산형 기법에 MSS에 의한 집중형 전송률 조절 기법을 결합시킴으로써 보다 안정되고 공평한 전송률을 제공한다. 본 기법은 기존 유선 환경의 계층형 멀티캐스트 방법의 변경을 최소화하고 유선 환경의 수신자들에게는 변경 사항 없이 무선 환경의 수신자들과 무리 없이 동작할 수 있도록 하므로 효과적인 멀티미디어 통신 기반을 제공할 수 있다 하겠다.

### 2. 관련 연구

네트워크 및 수신자의 다형성 문제를 해결하기 위해 계층형 멀티캐스트가 제안되었다. 계층형 멀티캐스트란 송신자가 계층별 인코딩 기법 (Layer-encoding scheme) [4] 을 통해 비디오 데이터를 복수개의 누적된 계층으로 나누어 이를 각각 다른 멀티캐스트 주소로 전송하고, 수신자 자신이 직접 최적 전송률을 파악 및 결정해서 현재의 네트워크 상황에 따라 계층을 추가하여 전송률을 높이거나 반대로 계층을 제거하여 전송률을 떨어뜨리면서 최적의 전송률로 접근하는 멀티미디어 데이터 전송 기법이다. 이러한 계층형 멀티캐스트 기법에는 RLM [1], LVMR [2], RLMP [3] 등이 있다.

RLM (Receiver-driven Layered Multicast) 은 계층형 멀티캐스트의 초기 모델로서, 수신 패킷의 에러율을 기준으로 네트워크의 혼잡 (Congestion) 을 감지하고 가입 실험을 통해 네트워크의 대역폭이 유효한지를 판단한다. 그리고 공유된 학습 (Shared learning) 을 통해 가입 실험의 실패율을 낮추고 전송률의 안정성을 꾀한다. LVMR (Layered Video Multicast with Retransmission) 은 RLM에서 제안된 공유된 학습 기법의 과부하를 줄이기 위해 각 네트워크의 대리자 (Agent) 를 이용해 각 네트워크의 가입 실험 결과를 분산 및 저장하는 계층적 전송률 조정 기법을 사용한다. RLMP (Receiver-driven Layered Multicast with Priority) 는 네트워크 라우터의 도움을 받아 보다 낮은 우선 순위의 패킷을 누락시켜 안정되고 공평한 전송률을 제공한다. 그러나 이러한 계층형 멀티캐스트 기법은 모두 유선 네트워크 환경을 기반으로 한 것이기 때문에 무선 환경에서 호스트의 이동성에 따른 전송률 변화 및 상대적으로 낮은 대역폭에 따른 지역 네트워크 혼잡을 고려하지 않았다. 같은 네트워크 상태 변화에 따라 수신자의 전송률 조정이 자주 발생되기 때문에 전체적인 전송률이 불

안정해진다. 또한 상대적으로 늦게 통신에 참가한 수신자의 경우, 대역폭 분배의 불공평성이 발생하므로 수신자간의 독립된 전송률 결정 방법으로는 이를 해결하기가 어렵게 된다.

이러한 무선 네트워크 환경에서 멀티미디어 통신의 문제점들을 지적하고 해결 방법을 제시한 다른 기법에는 [4] 등이 있다. [4]에서는 핸드오프에 따른 네트워크 정체를 효과적으로 처리하고 수신자 대역폭의 공평한 분배를 위해 이동지원국 (MSS) 이 각 수신자의 전송률을 결정하여 이를 각 수신자에게 중용한다. 그러나 이 기법은 응용 프로그램 (Application) 계층에서 사용되어 통신 방법에 제약을 가하게 되고 수신자의 전송률을 하나의 연속된 전송률로 처리함으로써 복수개의 불연속적인 계층으로 구성되는 계층형 멀티캐스트에는 적용되기 어렵다는 단점이 있다.

**3. 제안 사항**

**3.1. 설계 고려 사항**

무선 네트워크 환경은 1) 상대적으로 낮은 대역폭을 지니므로 네트워크 혼잡이 집중될 가능성이 높고, 2) 핸드오프로 인해 네트워크 상태가 자주 변화될 수 있다는 특성을 지니고 있다. 네트워크 혼잡이 집중되면 수신자의 전송률 변화가 자주 발생하게 되고, 또한 핸드오프로 인해 네트워크 상태가 자주 변화되면 수신자 또한 이에 따라 전송률을 조정하기 때문에 결과적으로 전체적인 전송률이 불안정해진다 (안정성 문제). 뿐만 아니라 핸드오프 되어 새롭게 참여한 수신자나 늦게 참여한 수신자들에게 불공평한 대역폭 분배가 일어날 수 있게 된다 (공평성 문제).

이러한 문제들은 유선 네트워크 환경에서도 발생하고 이를 위해 몇 가지 방법들이 제시되었다. RLMP [3] 는 제일 높은 레벨의 계층을 ‘버퍼 계층’ (Buffer Layer) 으로 설정함으로써, 네트워크 정체 시에는 버퍼 계층을 우선 누락하는 방법으로 보다 중요한 계층을 보호하여 안정적인 전송률을 보장한다. 이러한 기법은 안정된 전송률을 보장하지만 관련된 모든 네트워크 라우터를 수정해야만 하는 문제를 안고 있다. LVMR [2] 은 해당 네트워크의 가입 실험 결과를 계층별 (Hierarchical) 로 수집하여 네트워크 정체를 일으키는 원인을 미리 차단하고 상대적으로 불공평한 수신자에 가입 우선 순위를 부여해서 공평성 문제를 해결한다. 이러한 기법을 위해서는 각 계층별로 대리자를 선택해야 하고 수동적인 인센티브 부여를 통해 공평성 문제를 해결하기 때문에 전송률 변화의 폭이 큰 무선 네트워크 환경에 적용되기에는 비효율적이다.

이러한 문제점을 해결할 수 있는 방법이 바로 이동 지원국 (MSS) 이 직접 각 수신자의 전송률 조정에 참여하는 것이다. 무선 네트워크 환경에서 각 수신자의 모든 데이터는 단일 MSS를 통해서 전달되고 무선 네트워크에 혼잡이 집중될 가능성이 크기 때문에 MSS가 각 수신자들의 전송률을 일관된 정책으로 조절하는 것이 효과적이다. 특히 지역적으로 구분된 MSS를 능동적 관리자로 활용함으로써, 분산 환경에서 각 수신자의 독립된 동작에 따른 상호 간섭 문제를 최소화하고 네트워크 상태의 보다 빠른 인지가 가능해지게 된다.

**3.2. 구조**

본 제안 구조는 RLM [1] 을 기반으로 무선 네트워크 구성원인 MSS와 이동 호스트 (Mobile Host: MH) 의 동작 방법 및 상호 작용에 대해 정의한다. MSS는 해당 네트워크 수신자의 수신 계층을 관리하고 각 계층의 우선 순위를 부여함으로써 전송률의 안정성과 공평성을 보장한다. 각 계층의 우선 순위는 High 및 Low 의 2 단계로 구분되며 네트워크 상황에 따라

낮은 우선 순위의 계층에 해당하는 패킷은 네트워크 전송 큐에서 선택적으로 누락시켜 높은 우선 순위 계층의 전송을 우선하도록 한다. 이는 RMLP [3] 의 기법을 기반으로 하지만 MSS가 직접 우선 순위를 관리하여 보다 지역적이고, 네트워크 계층의 변경을 MSS에 국한시켜 실제 적용이 용이하다는 점에서 장점을 지닌다. 또한 MSS는 네트워크 상태를 전송 큐의 크기를 통해 인지하여 MH의 수신 계층 추가를 선택적으로 허가하고, 특정 시간 동안 혼잡 (Congested) 및 가용 (Unloaded) 상태가 지속될 경우 MH가 수신 계층을 제거 및 추가하도록 중용하여 네트워크 사용 효율을 최대화한다. 이는 LVMR [2] 의 계층적 전송률 관리 방법과 비슷하지만 그 계층이 단순하고 보다 능동적인 혼잡 감지 및 해결이 가능하다는 점에서 장점을 지닌다.

**3.3. 능동적 전송량 조절 기법**

본 기법에서는 수신자의 전송량 조절에 MSS가 추가적으로 작용하여 네트워크 상태에 능동적으로 대응하고 지역 수신자 간의 공평성을 제고하도록 한다. 이를 위해 MSS는 1) 무선 네트워크의 상태를 감지하고 2) 이에 대해 능동적으로 대응하며 3) 각 수신자의 수신 계층 정보를 관리한다. MSS는 네트워크 계층의 전송 큐의 사용량을 통해 현재 네트워크 상태를 감지한다. 네트워크 상태는 가용 대역폭에 따라 UNLOADED, LOADED, CONGESTED 로 나뉘고 이를 수식화 하면 다음과 같다. ( $\theta$ : 큐의 현재 사용량,  $\rho_1, \rho_2$ : 대역폭 사용량 기준값,  $\rho_1 < \tau < \rho_2$ ,  $\tau$ : 패킷 누락 시점 기준값)

- UNLOADED:  $\theta < \rho_1$
- LOADED:  $\rho_1 < \theta < \rho_2$
- CONGESTED:  $\theta > \rho_2$

이러한 네트워크 정보를 통해 MSS는 네트워크 혼잡을 일으킬 수 있는 가입 실험을 미리 막을 수 있다. 즉, MH는 가입 실험을 시작하기 전에 MSS에 JOIN\_REQUEST 메시지를 전송하고, MSS는 현재 상태가 UNLOADED 일 경우 JOIN\_ACK 메시지를 통해 이를 허가하고 나머지 경우에는 JOIN\_REJECT 메시지를 통해 가입 실험을 중지시키고 해당

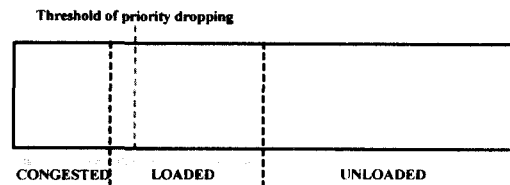


그림 1. 전송큐 사용량을 통한 네트워크 상태

수신 계층의 가입 타이머 (join-timer) 를 늦추게 (back-off) 한다. 이러한 수동적인 작용 뿐만 아니라 만약 특정 네트워크 상태가 일정 시간 동안  $\phi$  비율로 우세하게 유지된다면 ( $\phi > 1/3$ ) MSS는 해당 우세 상태에 능동적으로 대응한다. 이를 위해 REACTION\_TIMER 가 사용되며 이 타이머가 만료될 때 그 기간 동안의 우세 네트워크 상태가 UNLOADED 상태이면 선택된 MH에 ADD\_INDICATION 메시지를 보내고 CONGESTED 상태이면 DROP\_INDICATION 메시지를 전송한다. MH가 ADD\_INDICATION 메시지를 수신하면 현재 계층의 가입 타이머 간격을  $\mu$  비율만큼 줄여 새로운 계층을 보다 빨리 추가할 수 있도록 하고, DROP\_INDICATION 메시지

를 수신하면 즉시 최상위 수신 계층을 제거해야만 한다. 물론 수신자 자신이 수신 패킷 에러율을 통해 네트워크 상태를 감지하고 전송률을 조절할 수 있지만 각 수신자는 독립되고 분산된 환경에 위치하여 그 대응이 각각의 타이머에 기반하기 때문에 문제 해결 시간이 지연되게 될 뿐만 아니라, 무선 네트워크 자체의 높은 에러율에 의해 수신 에러율에만 기반한 혼잡 감지는 정확한 결정이 어려워 효율성이 떨어지게 된다. 네트워크 상태에 따라 수신 계층을 추가 및 제거를 중용할 MH를 선택할 때에는 대역폭 분배의 공정성을 위해, 가장 낮은 수신 계층의 MH 중 하나를 선택해 추가토록 하고 가장 높은 수신 계층의 MH 중, 가장 최근에 수신 계층을 추가한 MH를 선택하여 계층을 제거하도록 한다. 이러한 방법은 수신 계층 정보 (Subscription Table) 를 이용한다.

수신 계층 정보는 MSS에 의해 관리되어 각 계층 수 별로 테이블이 나뉘고 각 MH의 정보가 하나의 엔트리로 관리된다. MH는 수신 계층을 추가하거나 제거할 때에 ADD(addr) 및 DROP(addr) 메시지를 MSS에 전송해야 한다 (addr: 추가/제거할 계층의 멀티캐스트 그룹 주소). 핸드오프가 일어나 새롭게 등록된 MH는 HANDOFF\_ADD(addr1, addr2, ..., addrN) 메시지를 통해서 현재의 수신 정보를 MSS에 알려줘야 한다 (addrN: N 번째 수신 계층의 멀티캐스트 그룹 주소).

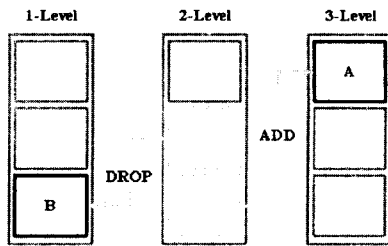


그림 2. 수신 계층 정보

$n$ -level 수신 계층 테이블의 최상위 위치에는  $n$ -level의 수신 계층을 가장 최근에 추가한 MH의 엔트리가 위치하며 반대로 최하위 위치에는  $(n+1)$ -level의 수신 계층을 가장 최근에 제거한 MH의 엔트리가 위치한다. 이러한 계층 정보 유지 방법은 네트워크 상태에 따른 MSS의 전송률 조절 기법에서 각 수신자 간의 분배 공정성을 제공하기 위함이다. 즉, ADD INDICATION 메시지를 보낼 때에는 가장 낮은 레벨의 계층 정보 테이블의 MH 엔트리 중 무작위로 하나를 선택하고 DROP INDICATION 메시지를 보낼 때에는 가장 높은 레벨의 계층 정보 테이블에서 최상위에 위치한 MH 엔트리를 선택한다. 이는 가장 최근에 추가된 수신 계층이 현재의 혼잡 상태의 원인이 될 확률이 가장 높기 때문이다.

### 3.4. 우선 순위에 따른 패킷 누락 기법

본 논문에서 제안한 패킷 누락 기법은 RLMP [3] 와 유사하다. 단, 계층별 패킷의 우선 순위는 수신자가 아닌 MSS에 의해 결정되며 이러한 기법이 모든 멀티캐스트 라우터에 적용되지 않고 단지 MSS에만 적용된다는 점에서 차이를 둔다. 즉, 본 기법에서 각 수신 계층들은 High 및 Low 우선 순위를 지니며 MSS의 전송 큐는  $\tau$ 의 크기만큼 그 사용이 제한되며 해당 기준값을 초과하면 낮은 (Low) 우선 순위 계층의 패킷들은 모두 누락된다. 이러한 우선 순위 정보는 네트워크 계층의 패킷 전달 테이블 (Packet forwarding table) 등에 저장 및

유지되어 큐에 삽입되기 전에 해당 우선 순위를 조회하게 된다. 각 우선 순위는 MSS에 의해 결정되는데 모든 기본 수신 계층 (Base Layer) 은 High 우선 순위를 지니며 최상위 수신 계층은 Low 우선 순위를 지닌다. MSS가 Add(addr[n]) 메시지를 수신하면 (addr[n]:  $n$ -level 계층의 주소) 해당 MH의  $n$ -level 계층의 우선 순위를 Low 로, 그리고  $(n-1)$ -level 계층의 우선 순위를  $(n-2)$ -level 계층과 똑같이 부여한다. 반대로 DROP(addr[n]) 메시지를 수신하면  $(n-1)$ -level 계층의 우선 순위를 Low 로 부여한다. 핸드오프에 의한 HANDOFF\_ADD(addr1, addr2, ..., addrN) 메시지를 수신할 경우에는 이미 통신 중인 MH와의 공정성을 위해 현재 최대 수신 레벨보다 높은 수신 계층은 모두 Low 우선 순위를 부여한다. 즉, 현재 최대  $m$ -level 의 수신 계층이 존재한다고 가정하면  $n \geq m$  인 모든  $n$ -level 계층은 Low 로,  $n < m$  인  $n$ -level 계층은 High 로 우선 순위를 부여한다.

### 4. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 계층형 멀티캐스트를 무선 네트워크 환경으로 확장 적용할 때에 발생하는 안정성 및 공정성에 관련된 문제점을 지적하고 이를 효과적으로 처리할 수 있는 방법으로 MSS를 통한 능동적인 전송률 조절 기법과 우선 순위에 따른 패킷 누락 기법을 제안하였다. 이는 무선 네트워크에 집중되는 네트워크 혼잡을 능동적이고 공정하게 처리할 수 있으며, 보다 중요한 수신 계층의 전송을 보장함으로써 전송률의 안정성을 제공한다. 이러한 기법의 적용은 무선 네트워크의 구성원인 MSS와 MH에 국한되므로 기존 유선 네트워크를 위한 계층형 멀티캐스트 기법들에 큰 변화를 요구하지 않아 실제 적용에 무리가 없을 것으로 판단된다.

현재 NS-2 (Network Simulator-2) [7] 를 이용해 본 기법을 시뮬레이션하고 RLM과의 비교 실험을 진행 중이다. 그리고 향후, 핸드오프에 의한 전송률 조정 방법에 있어 공정성과 더불어 전체적인 전송률 안정성에 대한 분석과 이에 따른 추가적인 연구가 필요하다.

### 5. 참고 문헌

- [1] V. Jacobson, and M. Vetterli, S. McCanne, "Receiver-driven Layered Multicast," ACM Sigcomm 1996
- [2] X. Li and M. Ammar and S. Paul., "Layered video multicast with retransmission (LVMR): Evaluation of hierarchical rate control," IEEE Infocom, March 1998.
- [3] R. Gopalakrishnan, J. Griffioen, G. Hjalmtysson, C. Sreenan, and S. Wen, "A simple loss differentiation approach to layered multicast," IEEE Infocom 2000
- [4] Anup Kumar Talukdar, B. R. Badrinath, "Rate adaptation schemes in networks with mobile hosts," ACM Mobicom 1998
- [5] SHACHAM, N., "Multipoint communication by hierarchically encoded data," IEEE Infocom '92
- [6] Arup Acharya and B. R. Badrinath, "A framework for delivering multicast messages in networks with mobile hosts," MONET 1996
- [7] "The Network Simulator: ns-2," <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>