

대표자 계층 구조를 이용한 멀티캐스트 혼잡 제어

송명준[○] 차호정
광운대학교 전자계산학과

A Representative-based Multicast Congestion Control

Myungjoon Song and Hojung Cha
Dept of Computer Science, Kwangwoon University

요약

본 논문은 멀티미디어 데이터의 멀티캐스트 혼잡 제어에서 발생하는 피드백 폭주 문제를 해결하기 위해 대표자 계층 구조를 이용한 피드백 수렴 방법과 이에 따른 전송률 조정 방법을 제안하고 시뮬레이션 결과를 통해 이를 검증한다. 시뮬레이션 결과 적절한 파라미터의 설정하에 피드백 폭주 문제를 해결하고 혼잡에 대처하여 전송률을 조정할 수 있음을 볼 수 있었다.

1 서론

최근 화상회의나 인터넷 방송 등 Mbone의 확산으로 인터넷에 멀티캐스트 트래픽이 급증하고 있다. 높은 대역폭과 오랜 지속 시간을 가지며 흐름 제어가 없는 멀티캐스트 트래픽의 특성상 혼잡 제어가 필수적이거나 피드백 폭주나 다양한 수신자에 적용하기 어려운 등의 문제가 있어 이를 해결하기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다.

트래픽에 비해 라우터의 버퍼나 패킷 처리 속도가 부족하거나 링크의 낮은 대역폭 등으로 인해 패킷이 손실되는 상태를 혼잡 또는 정체라고 한다. 혼잡 제어를 위해 송신자는 피드백을 받아 혼잡을 감지하고 네트워크로 전송하는 패킷 수를 줄여야 하는데 이러한 피드백을 통한 전송률 조정이 혼잡 제어의 기본 개념이다. UDP를 바탕으로 하며 다수의 수신자가 존재하는 멀티캐스트의 혼잡 제어에서는 다수의 수신자로부터 송신자로 피드백이 집중되는 피드백 폭주 문제와 수신자들의 다양한 혼잡 상태에 대해 어떤 기준으로 전송률을 조정할 것인가 하는 문제가 발생한다. IRINA의 Bolot, Turletti와 런던 대학의 Wakeman은 확률적 샘플링을 통한 확장성 있는 피드백 기법을 제안하였으며[1], 독일 GMD의 Busse 등은 RTCP의 수신자 리포트를 이용한 피드백과 전송률 조정 방법을 연구하였다[2]. 대표자를 이용한 피드백 방법은 주로 신뢰성 멀티캐스트 분야에서 많은 연구가 이루어졌다. 이러한 신뢰성 멀티캐스트 분야에서는 ACK 또는 NACK 신호의 폭주를 막고 효과적인 재전송을 위해 LGC[3], TMTP[4], RMTP[5] 등 다양한 대표자 방법이 제안되었다.

본 연구에서는 오디오나 비디오 스트림과 같은 실시간 비신뢰성 멀티캐스트의 혼잡 제어에서 피드백 폭주를 막기 위해 대표자 계층 구조를 이용한 피드백 수렴 방법과 전송률 조정 방법을 제안한다. 피드백은 패킷 손실률을 담은 RTCP의 수신자 리포트를 바탕으로 하고 있으며 대표자 계층 구조를 통해 송신자가 피드백을 수렴하여 전송률을 조정한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 대표자 계층 구조, 3장에서 피드백 수렴과 전송률 조정에 대해 기술하고, 4장에서는 시뮬레이션 결과를 제시하고, 5장에서 결론을 맺는다.¹

2 대표자 계층 구조

본 연구에서 제안하는 대표자 계층 구조는 피드백 수렴을 위해 응용상에서 구성되며 하나의 라우터에 연결된 호스트의 집합을 지역으로 정의한다. 지역 내 수신자 중의 하나가 대표자로 선정

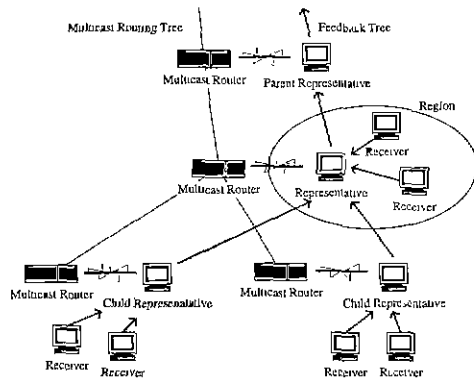


그림 1. 대표자 계층 구조

되고 대표자는 일반 수신자의 역할에 더하여 피드백을 수렴하여 부모 대표자에게 전달하는 역할을 한다. [그림1]은 호스트 상에서 구성된 피드백 트리를 나타내고 있다. 지역 단위로 대표자가 선정되고 대표자간에 계층 구조를 형성한다. 대표자에 의해 지역 단위로 수신자의 피드백이 수렴되고 이는 다시 부모 대표자에 의해 수렴되는 과정이 반복된다.

지역 내의 대표자 선정과 대표자 간의 계층 구조는 수신자의 가입과 탈퇴에 따라 동적으로 조정된다. 즉 새로운 지역에 수신자가 발생하면 그 지역에 대표자가 생성되고, 기존의 대표자가 멀티캐스트 그룹을 탈퇴하면 그 지역 수신자들 중의 하나가 새 대표자가 되어야 하며, 지역의 마지막 수신자가 멀티캐스트 그룹을 탈퇴하면 대표자가 소멸된다. 이러한 대표자의 생성, 변경, 소멸에 따라 계층 구조는 동적으로 재구성된다.

2.1 지역 네트워크의 대표자 선정 및 유지

신규 참가 수신자는 대표자 응답 요청 메시지를 지역 내에 필터 캐스트하고 일정한 시간 동안 대표자의 응답을 기다린 후 응답이 없으면 자신이 대표자가 되고 응답을 받으면 일반 수신자로 남는다. 지역 네트워크에서 대표자가 변경되는 것은 기존 대표자가 멀티캐스트 그룹을 탈퇴함에 따라 지역 내 수신자 중의 하나가 새 대표자가 되는 경우이다. 대표자는 지역 내 수신자들 중 하나를 후임 대표자를 선정해 두었다가 탈퇴시에 대표자 선정 메시지를 통해 그 수신자에게 통보하여 대표자로 전환할 수 있도록 한다.

¹본 연구는 한국과학재단의 특장기초연구사업(과제번호:97-01-00-128-01-5)에 의해 지원받았음

. 또한 대표자는 탈퇴시에 자식 대표자가 부모 대표자를 후임 대표자로 변경할 수 있도록 대표자 변경 메시지를 전송한다. 지역 네트워크에서 대표자가 소멸되는 것은 대표자 자신이 지역의 마지막 수신자인 상황에서 멀티캐스트 그룹을 탈퇴함으로써 그 지역에 더 이상 수신자가 존재하지 않는 경우이다. 이런 경우 대표자는 자식 대표자가 부모 대표자를 변경할 수 있도록 대표자 소멸 메시지를 전송한다.

2.2 계층 구조의 형성과 동적 재구성

대표자는 계층 구조 형성을 위해 부모 대표자를 선택하는데 이를 위해 주기적인 대표자 확인 메시지를 사용한다. 대표자는 자신의 존재를 알리는 대표자 확인 메시지를 주기적으로 멀티캐스트하는 한편 다른 대표자로부터 수신한 대표자 확인 메시지를 통해 홉 수를 기준으로 가장 가까운 대표자를 부모 대표자로 선택한다. 패킷은 라우터를 지날때마다 TTL(Time-To-Live)이 감소하므로 모든 대표자 확인 메시지 패킷의 TTL을 동일하게 설정함으로써 자신과 다른 대표자 사이의 홉 수를 계산할 수 있다. 계층 구조는 대표자의 생성과 탈퇴에 따라 동적으로 재구성되는데 이것은 대표자 확인, 변경, 소멸 메시지에 의해 이루어진다. 대표자는 대표자 확인 메시지를 멀티캐스트할 때 메시지 패킷의 source부분을 자신의 주소가 아닌 송신자의 주소로 설정하여 대표자 확인 메시지가 멀티캐스트 라우팅에 의해 하위 대표자로만 전달되도록 한다. 따라서 대표자는 상위 대표자의 확인 메시지를만 수신하므로 부모 대표자 선택시 상위 대표자만 그 대상이 된다. 이것은 멀티캐스트 라우팅 트리를 이용해 대표자간의 관계에 방향을 설정함으로써 피드백 트리의 계층 구조 재구성 과정에서 하위 대표자를 부모 대표자로 선택하여 루트가 발생하거나 비효율적인 피드백 트리가 형성되는 것을 방지한다.

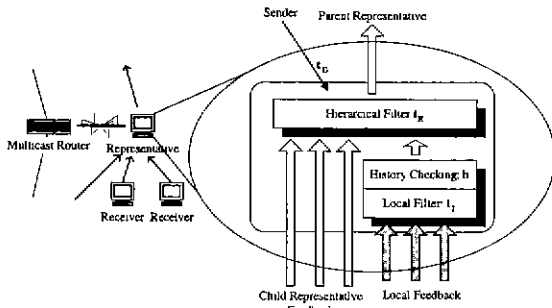


그림 2: 대표자의 피드백 수렴 과정

3 피드백 수렴과 전송률 조정

다음에는 피드백 수렴과 전송률 조정 방법에 대해 기술한다.

3.1 피드백 수렴

본 연구에서는 피드백 수를 감소시키고 신속한 피드백 전달을 위해 대표자가 필터의 역할을 하여 일정한 한계값 이상의 손실률만을 부모 대표자에게 전달하는 방법을 제안한다. 대표자는 두 가지 종류의 피드백을 처리해야 하는데 지역 내 수신자의 피드백과 자식 대표자의 피드백이 그것이다. 따라서 대표자의 필터 기능은 지역 내 수신자의 피드백을 처리하기 위한 지역 필터와 자식 대표자의 피드백을 처리하기 위한 계층 필터로 구성된다. [그림2]는 지역 필터, 지역 필터 초과횟수 검사, 계층 필터로 구성된 대표자의 피드백 수렴 과정을 나타낸 것이다. 지역 필터는 지역 내 수신자의 피드백에 대해 크기가 S_{LOCAL} 인 윈도우를 가지며 지역 필터의 한계값 t_L 은 이러한 지역 필터 윈도우의 평균 패킷 손실률로 설정된다. 지역 필터를 통과한 피드백은 계층 필터로 들어가기 전에 지역 필터 초과횟수 검사(history checking)

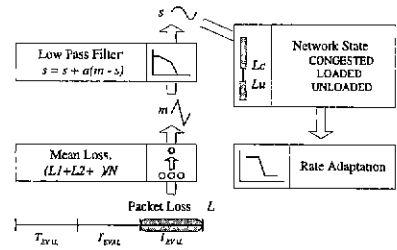


그림 3: 전송률 조정 과정

과정을 거치는데 이것은 같은 혼잡 상황을 나타내는 다수의 피드백을 억제하는 동시에 일시적으로 발생하는 높은 손실률의 피드백을 배제하기 위한 것이다. 초과횟수 검사에서는 예를 들어 $h = 3$ 이면, 현재 피드백이 지역 필터를 연속적으로 통과하는 3번째 피드백일 때만 계층 필터로 가게 된다. 지역 필터와 초과횟수 검사를 통과한 피드백은 계층 필터에 의해 자식 대표자의 피드백과 동등하게 처리된다. 계층 필터에서도 자식 대표자 피드백의 손실률이 일정한 한계값 t_H 을 초과하는 경우에만 부모 대표자로 전달되는데 t_H 는 다음과 같이 설정된다.

$$t_H = t_{CHILD} + e(t_G - t_{CHILD})$$

계층 필터는 자식 대표자 피드백에 대해 크기가 S_{HIER} 인 윈도우를 가진다. t_{CHILD} 는 계층 필터 윈도우의 평균 패킷 손실률이고 t_G 는 송신자가 주기적으로 멀티캐스트 하는 패킷 손실률의 전역 한계값이다. e 는 t_G 의 반영 비율로서 0 과 1사이의 값을 가진다. t_H 에 t_G 를 반영하는 것은 전체 대표자의 t_H 를 하나의 기준에 근접하게 하기 위한 것이다. 대표자는 피드백 생성시 t_H 값을 피드백에 포함시켜 전송한다. t_G 는 송신자가 피드백 평가 주기 동안 수집한 피드백의 t_H 의 평균으로 설정되며 따라서 매 피드백 평가 주기마다 t_G 가 갱신되어 전체 대표자에게 멀티캐스트된다.

3.2 전송률 조정

송신자는 일정한 주기 T_{EVAL} 마다 수신한 피드백을 평가하여 전송률을 조정한다. [그림3]은 송신자가 피드백을 수렴하여 전송률을 조정하는 과정을 나타낸다. 송신자는 T_{EVAL} 동안의 평균 패킷 손실률 m 을 구한 후 다음과 같은 로페스 필터를 통해 변화폭이 완화된 패킷 손실률 s 를 구한다.

$$s = s + a(m - s)$$

여기에서 a 는 m 의 변화폭 반영 비율로서 0에서 1사이의 값을 가진다. 로페스 필터는 QoS의 진동을 조절하기 위한 것으로 m 의 변화폭을 전송률 조정에 모두 반영하지 않고 일정한 비율 a 만큼만 반영하여 패킷 손실률의 변화를 완화한다. 완화된 패킷 손실률 s 에 따라 네트워크의 상태를 UNLOADED, LOADED, CONGESTED로 구분하여 CONGESTED이면 s 에 비례하여 전송률을 감소하고 LOADED이면 전송률을 그대로 유지하며 UNLOADED이면 전송률을 k 만큼 증가한다. 송신자는 세션을 시작할 때 사용 가능한 최대 대역폭 r_{max} 와 최소한의 전송 품질 보장을 위한 최저 전송률 r_{min} 을 설정하여 전송률 조정 범위를 제한한다. 전송률 조정 알고리즘은 다음과 같다. L_u 와 L_c 는 네트워크 상태 구분을 위한 손실률 기준이다.

$$\begin{aligned} \text{if } (s \geq L_c) & \quad r \leftarrow \max\{r \times (1 - s), r_{min}\} \\ \text{else if } (s \geq L_u) & \quad r \leftarrow r \\ \text{else} & \quad r \leftarrow \min\{r + k, r_{max}\} \end{aligned}$$

4 시뮬레이션

본 연구에서는 제안한 전송률 조정 기법을 검증하기 위해 Ultra Sparc 워크스테이션에서 프로세스로 구성된 가상 멀티캐스트 라우팅 트리 상에서 시뮬레이션을 수행하였다. 100개의 라우터와 396 개의 수신자가 존재하며 각 지역에서 수신자 중 하나는 대표자의 역할을 수행한다.

[그림4]는 본 연구에서 제안한 방법에 의해 피드백 폭주를 해결하면서 혼잡 상황에 대처할 수 있는지를 알아 보기 위한 실험 결과이다. 좌측 상단의 그래프는 제안한 피드백 수렴 방법이 피드백 폭주 문제를 해결할 수 있음을 보여주고 있다 비대표자 방법에서는 피드백 수가 수신자 수에 비례하여 큰 폭으로 증가하지만 제안한 대표자 방법에서는 매우 완만한 증가를 보인다. 수신자의 수를 N_R , 수신자의 피드백 생성 주기를 T_{FEED} 이라고 하면 비대표자 방법에서 T_{EVAL} 동안 송신자가 받는 피드백 수 N_F 는 다음과 같다.

$$N_F = N_R \times \frac{T_{FEED}}{T_{EVAL}}$$

대표자 방법에서 T_{EVAL} 동안 송신자가 받는 피드백 수는 파라미터 설정, 피드백 트리의 형태, 각 지역 수신자의 손실률과 그에 따른 지역 및 계층 필터의 한계값 등 정량화하기 어렵고 수시로 변동되는 값에 의존하고 있으므로 정확한 분석은 어려우나 실험 결과로 볼 때 수신자의 수에 비례하여 매우 완만하게 증가하는 것으로 추정할 수 있다. 그래프에서 그 기울기는 약 0.04 이며 수신자 수가 2000개에 이를지라도 피드백 수는 약 80개로 추정할 수 있으며 피드백 폭주 문제를 일으키지 않는다고 볼 수 있다.

우측 상단의 그래프는 혼잡이 발생하는 링크의 가용 대역폭의 변화와 이에 따른 송신자의 전송률 조정 과정을 보여주고 있다 점선은 고정 전송률 정책에 의해 일정한 전송률이 유지되는 것을 나타낸다. 혼잡에 대처하여 송신자가 전송률을 적절하게 조정하는 것을 볼 수 있다. 혼잡이 발생하면 송신자는 전송률을 급격히 줄이고 혼잡이 해소되면 서서히 전송률을 증가시킨다. 좌측 하단의 그래프는 같은 혼잡 상황에서 고정 전송률 정책과 제안된 전송률 조정 정책의 수신자의 손실률 변화를 나타낸 것이다. 고정 전송률의 경우 혼잡이 지속되는 동안 큰 패킷 손실률을 보이지만 제안한 전송률 조정 정책에서는 일정한 기준 이상의 손실률을 감지하는 즉시 전송률을 감소하여 혼잡 기간 동안 훨씬 낮은 손실률을 보인다.

제안한 대표자 방법에서 송신자의 전송률 조정, 수신자의 손실률 변화, 피드백 수 등은 파라미터 설정에 따라 그 결과가 달라진다. 예를 들어 k 가 클수록 피드백 수는 줄어들고 전송률 조정이 둔화되며 a 가 너무 작으면 손실률의 변화가 전송률 조정에 충분히 반영되지 못해 전송률 조정이 제대로 이루어지지 않는다 또한 전송률 증가폭 k 가 클수록 혼잡 해소시 빨리 전송률을 증가할 수 있지만 전송률 진동이 발생한다.

L_u 와 L_c 는 전송률 조정에 결정적인 영향을 미치는 것으로 가장 중요한 파라미터라고 할 수 있다 [그림4]의 우측 하단 그래프는 파라미터 L_u, L_c 가 전송률 조정과 손실률 변화에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험 결과이다. 파라미터 L_u 와 L_c 를 1%와 15%, 3%와 10%, 6%와 8%로 변화시키면서 전송률 조정과 수신자의 손실률 변화를 관찰하였다. $L_u=1\%, L_c=15\%$ 처럼 L_u 와 L_c 의 간격이 크거나 L_u 가 너무 낮으면 가용 대역폭이 증가한 후에도 대부분의 손실률 변화가 L_u 와 L_c 사이에 포함되어 한번 낮아진 전송률이 계속 유지된다. 또한 $L_u=6\%, L_c=8\%$ 처럼 L_u 와 L_c 의 폭이 너무 좁은 경우는 작은 패킷 손실률 변화에도 전송률이 끊임 없이 증가하거나 감소하여 전송률 진동이 발생한다. L_u 와 L_c 는 그 사이에 평균 손실률을 포함해야 하며 그렇지 않으면 전송률이 계속 증가하거나 감소하게 된다. L_c 는 혼잡을 정의하는 파라미터로서 송신자는 L_c 이하의 손실률 발생은 혼잡으로 인식하지 않는다.

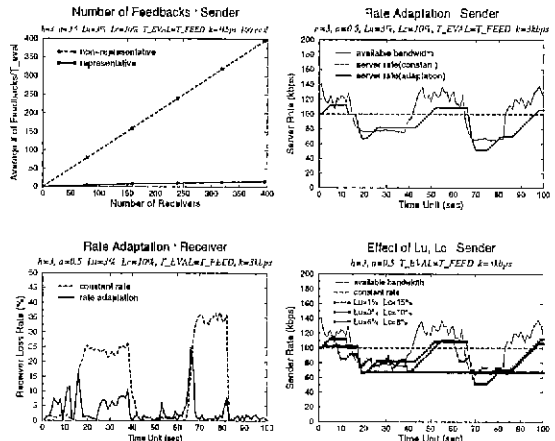


그림 4 시뮬레이션 결과

5 결론

본 연구에서는 멀티미디어 데이터의 멀티캐스트 혼잡 제어에서 발생하는 피드백 폭주 문제를 해결하기 위해 대표자 계층 구조를 이용한 피드백 수렴과 전송률 조정 방법을 제안하였다. 시뮬레이션 결과 적절한 파라미터 설정 하에 제안한 방법이 피드백 폭주 문제를 해결하고 혼잡 발생 및 해소에 대처하여 전송률을 조정함으로써 수신자의 손실률을 대폭 감소시킬 수 있음을 볼 수 있었다. 단 파라미터에 따라 전송률 조정이 둔화되거나 전송률 진동이 발생할 수 있으므로 네트워크 상황에 따라 적절한 파라미터의 설정이 중요하다. 혼잡 발생 초기에 높은 손실률이 나타나는 문제가 아직 해결되지 못했으며 제안한 방법을 Mbone상의 오디오 비디오 스트림에 적용하기 위해서는 실제 네트워크 트래픽 상황을 고려한 알고리즘의 수정과 더 많은 수의 수신자와 다양한 네트워크 환경에서의 실험과 검증이 필요하다.

참고 문헌

- [1] Jean-Chrysostome Bolot, Thierry Turletti and Ian Wake-man, 'Scalable Feedback Control for Multicast Video Distribution in the Internet,' *ACM SIGCOMM '94*, August 1994, pp58-67
- [2] Ingo Busse, Bernd Deffner and Henning Schulzrinne, 'Dynamic QoS Control of Multimedia Application based on RTP,' *Computer Communications*, January 1996
- [3] Markus Hofmann, 'Adding Scalability to Transport Level Multicast,' *Third International COST 237 Workshop*, November 25-27, 1996, Barcelona, Spain
- [4] R. Yavatkar, J. Griffioen, and M. Sudan, 'A Reliable Dissemination Protocol for Interactive Collaborative Applications,' *In the Proceedings of the ACM Multimedia '95 Conference*, November, 1995.
- [5] John C. Lin, Sanjoy Paul, 'A Reliable Multicast Transport Protocol,' *Proceedings of 1996 IEEE INFOCOMM*, pp.1414-1424, March 1996.