

적응적 수신자 기반 계층 멀티캐스트 프로토콜¹⁾

고민수, 안종석
동국대학교 컴퓨터 공학과

Adaptive Receiver-driven Layered Multicast Protocol

Minsu Ko and Jongsuk Ahn
Dept. of Computer Engineering, Dongguk university

요 약

최근 인터넷상에서는 이형 네트워크 상황에서 효율적인 화상회의를 하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이형 네트워크에서 화상회의를 효과적으로 수행하기 위해서는 각 수신자의 네트워크 상태에 알맞게 데이터를 보내주어야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 McCanne은 계층적 코딩 방식과 RLM(Receiver-driven Layered Multicast)방식을 결합하여 사용할 것을 제안하였다. 계층적 코딩 방식은 하나의 이미지 프레임을 여러 계층의 데이터 스트림으로 나누는 방식으로 수신자는 많은 계층의 스트림을 받아볼수록 선명한 영상을 볼 수 있다. RLM은 각 수신자의 네트워크 상태에 따라 몇 개의 데이터 스트림을 수신할 것인가를 결정하는 방식이다.

본 논문에서는 기존 RLM방식의 효율을 향상시킬 수 있는 적응적 기법을 제안한다. 기존의 RLM방식은 무작위적으로 정한 시간에 수신하는 데이터 스트림의 개수를 증가시키고 또한 네트워크가 정체가 되면 수신하는 데이터 스트림의 개수를 감소시키는 방식을 사용한다. 본 논문에서는 데이터 스트림의 개수를 증가시키는 시간을 네트워크의 상태에 따라 적응적으로 결정하는 기법을 소개한다. 시뮬레이션 실험에 의하면 적응적 기법이 기존 RLM에 비해 네트워크 사용 효율을 10% - 30%정도 향상시킨다.

1. 서론

인터넷과 같은 패킷 스위치 네트워크에서 대규모, 멀티캐스트 전송을 가능하게 하는 연구가 많이 이루어져 왔다. 영상회의와 같은 실시간 멀티미디어 데이터는 네트워크의 수신자들을 대상으로 일정한 전송율로 전송되는데, 이 때 송신자는 병목현상이 나타나지 않을 정도로 또는 멀티캐스트 전송 트리에 부하를 주지 않을 정도의 전송율로 데이터를 전송해야만 했다.

멀티미디어 서비스를 서로 다른 대역폭을 가진 네트워

크에서 제공할 때, 어떤 사용자들이 인터넷을 통해 상호 작용하는 동안, 일부 사용자들은 그들의 사무실로부터 고속 학교 망으로 접근을 하고, 또 다른 일부 사용자들은 가정에서 저속의 전화 접속 혹은 ISDN을 사용하여 접근을 한다. 다수에게 최상의 품질을 제공하기 위해 Mbone에서 적절한 속도인 128kbps로 전송을 하게 되면 가정에서 전화로 접속을 하는 사람들은 그들의 접근 대역폭을 넘어서게 되는 전송속도로 인해 참여할 수가 없게 된다. 또 이들을 위해 전송속도를 낮추게 되면 대역폭 사용율 면에서 낭비일 뿐 아니라 매우 낮은 품질의 서비스밖에

¹⁾ 본 연구는 정보통신부 국책 기술 개발 사업의 지원을 받았음(98-56)

제공할 수가 없게 된다. 단일 형태의 전송 속도는 수신자들의 다양한 대역폭에 적용할 수가 없는 문제점이 있다.

이러한 문제에 대한 해결책으로 송신자 기반의 방법인 INRIA의 IVS(INRIA Videoconferencing System)[1]와 수신자 기반 방법인 LBNL의 RLM(Receiver-driven Layerd Multicast)[2] 두 가지 방법이 있다. IVS는 송신자가 네트워크의 상태를 파악하여 전송할 트래픽의 양을 조절하는 방법이다. RLM은 송신자가 네트워크 상태를 고려하여 전송율을 조절하게 함으로써 발생하는 전송을 조절이라는 부담을 송신자에게서 수신자에게로 분산시켜 주는 것이다. RLM에서, 송신자는 전송하려는 실시간 멀티미디어 데이터를 다양한 멀티캐스트 그룹으로 구성된 계층화된 신호로 보내게 되고 수신자는 단순히 계층화된 신호로 대표되는 멀티캐스트 그룹에 가입하거나 탈퇴함으로써 자신이 받을 수 있는 데이터의 수신율을 조절하게 된다.

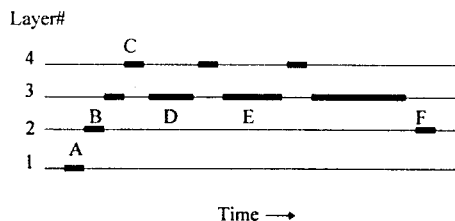
본 논문에서는 RLM 기법을 2장에서 설명하고, 3장에서는 RLM의 문제점을 설명한다. 4장에서는 이러한 문제점을 개선한 ARLM(Adaptive RLM)에 대해 설명하고 5장에서는 3가지 실험을 통해 RLM과 ARLM을 비교한다. 6장에서는 결론 및 향후 연구과제에 대해 설명한다.

2. RLM(Receiver-driven Layered Multicast) 기법

본 장에서는 RLM 기법의 동작원리에 대해 설명한다. RLM에서 송신자의 역할은 전송률 조절이라는 부담이 수신자들에게로 분산되었기 때문에 단지 계층화된 신호를 대응되는 멀티캐스트 그룹에게 전송하는 것이다. 즉 핵심 역할은 수신자가 수행하는데, 네트워크 상태에 따라 새로운 그룹에 가입을 하거나 탈퇴를 한다. 네트워크에 혼잡이 발생했을 때에는 한 계층을 내려 그룹에서 탈퇴하고, 대역폭에 여유가 있을 때에는 한 계층을 올려 그룹에 가입 한다.

수신자는 TCP에서 송신자가 슬로우 스타트(slow-start) 혼잡 회피 알고리즘[3]을 사용하여 병목 전송율을 찾아내듯이 최적의 그룹 가입 단계를 찾게 된다. [그림1]은 이러한 RLM의 동작에 대한 예를 보여주고 있다. 초기에 수신자는 계층 1에 가입을 하고 join-timer를 설정한다.(A) 이 때의 타이머 값은 아직 짧다. 타이머가 종료되면 계층 2에 가입을 한다.(B) 타이머가 종료되면 계층3에 가입을 하고 계속해서 계층4에 가입한다.(C) 이 때 패킷 손실이

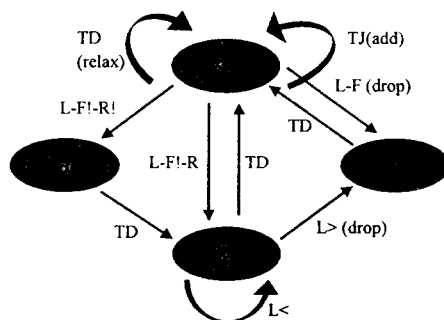
일어나면 계층3으로 다시 떨어진다.(D) 계속해서 계층간의 이동이 이루어지고 혼잡이 일어나면 join-timer의 값은 더욱 커진다.(E) 이후 어떤 임계값 이상의 패킷 손실로 인해 계층이 하나 더 내려간다.(F)



[그림 1] RLM의 동작 시나리오

[그림2]는 RLM의 FSM(Finite State Machine)이다[4]. TJ는 join-timer, TD는 detection-timer, L은 패킷 손실, F는 현재의 계층이 최근에 추가된 계층 중에 최상위 계층이라는 것을 가리키고, R은 현재의 계층이 최근에 추가되었다는 것을 가리킨다. L>는 손실률이 임계값을 넘어선 것을 말하고, L<는 손실률이 임계값보다 작다는 것을 말한다.

안정적으로 잘 동작하고 있는 경우에는 S상태에 있게 되고, S상태에서 TJ만큼의 시간이 지나면 계층이 추가된다. 일시적으로 패킷 손실이 일어난 경우는 H상태가 되어서 TD만큼의 시간이 지나면 M상태로 들어가게 된다. M상태에서 계속해서 패킷 손실이 일어나 임계값을 넘어서게 되면 D상태가 되고 계층이 떨어진다. D상태에서 TD만큼의 시간이 지나면 S상태가 된다.



[그림 2] RLM의 FSM

3. RLM의 문제점

본 장에서는 RLM의 세 가지 문제점에 대해 기술한다. 첫 번째로 join-timer는 과거 경험에 따라 산술적으로 결정 된다. 즉 가입이 실패하면 지수적으로 join-timer의 값을 증가시키고, detection-timer가 종료되었을 때 패킷 손실이 없으면 상위 계층으로 가입하기 위해서 사용되는 join-timer의 값을 산술적으로 감소시킨다. 이러한 방법은 네트워크 상태와 관계없이 join-timer의 값이 결정되므로 네트워크 상태가 무부하 상태를 정확하고 빠르게 포착하지 못한다는 문제점이 있다.

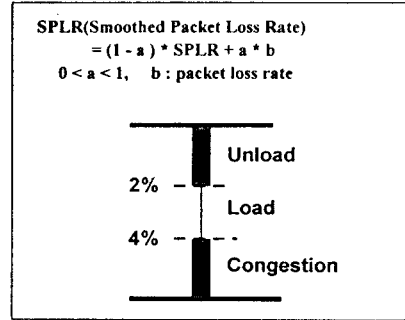
두 번째로 RLM은 각 계층에 일정한 전송률로 데이터를 전송한다는 가정을 하고 있다. 즉 detection-timer동안의 패킷 손실만을 가지고 새로운 계층에 가입이 성공적인지 실패인지를 판단한다. 그러나 계층적 코딩에서도 각 계층으로의 전송률은 가변적이라고 생각 할 수 있다. 예를 들면 순간적으로 큰 전송률로 속도가 바뀌는 경우 이로 인해 계층이 떨어지는 현상이 일어날 수 있다. 이것은 잘못된 판단이다. 따라서 가입한 후에 좀 더 오랜 시간 동안 패킷 손실을 측정하여 순간 전송률에 민감하게 영향을 받지 말고 평균적인 전송률에 의해 각 계층의 가입이 성공적인가를 판단해야 한다.

세 번째로 RLM과 TCP사이에는 공정성에 문제가 있다. RLM과 TCP가 같이 사용될 경우, RLM은 TCP에 비해 상당히 적은 양의 대역폭만을 사용한다. 또한 TCP가 먼저 시작한 경우, 동시에 시작한 경우, RLM이 먼저 시작한 경우, 각 경우간의 편차가 심하다.

4. ARLM(Adaptive RLM) 기법

본 장에서는 RLM의 문제점을 개선한 ARLM에 대해 기술한다. Ingo-Busse의 알고리즘[5]에 의하면 네트워크의 상태를 SPLR(Smoothed Packet Loss Rate)값이 4%이상이면 혼잡상태, 2%이하이면 무부하 상태로 분류 한다.

[그림3]은 SPLR에 의한 네트워크 상태 분류를 보여주고 있다. a값은 0에서 1사이의 값을 택하도록 하고 있는데 만일 이 값이 너무 작으면(예를 들면 0.1), 새로 일어나는 손실이 충분히 영향을 미치지 못하게 된다. 반대로 이 값이 너무 크면(예를 들면 0.5) 새로운 손실을 많이 반영한다. 본 논문에서는 a의 값으로 0.25를 사용하였다.



[그림 3] SPLR에 의한 네트워크 상태 분류

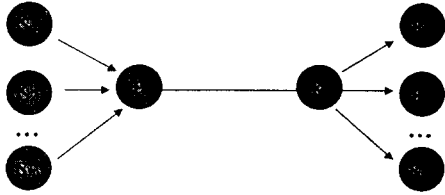
Join-timer의 값을 결정하는 문제에 대한 해결법은 손실율 값을 측정할 때 SPLR값이 4%이상이면 join-timer의 값을 증가시키고 2%이하일 경우 join-timer의 값을 감소시키는 것이다. 이것은 네트워크와 join-timer간의 상관관계를 만들어 최적의 값에 가까워지게 한다.

송신자가 각 계층에 일정한 전송률로 데이터를 보낸다는 가정에 대한 해결책은 임계값을 동적으로 조정하는 것이다. 전송이 시작되면 전송률과 손실율을 계속해서 측정하여 계층이 떨어지려 할 때의 SPLR값이 2%보다 작다면 네트워크의 상태를 안정적이라고 판단하여, 손실로 인정되는 임계값을 올려서 계층을 떨어뜨리지 않는다. 이에 반해 측정된 SPLR값이 4%보다 클 때는 혼잡상태라고 판단하여 손실로 인정되는 임계값을 낮춰서 빨리 떨어지게 한다. 이렇게 함으로써 가변적인 전송률에 대해 완충적으로 작동하도록 한다.

5. 실험

본 장에서는 네 가지 실험을 통해 RLM과 ARLM과의 성능비교를 한다. 지연 확장성 실험과 수렴 속도, 대역폭 할당실험 그리고 TCP와의 공정성 실험을 통하여 성능 비교를 한다. 실험환경은 Sun Ultra sparc-1(CPU 174Mhz, 64MB)워크스테이션에서 Solaris 2.6 운영체제를 이용하였으며 본 실험에 이용된 시뮬레이터는 LBL(Lawrence Berkely Laboratory)에서 개발된 ns(network simulator) [6]이다. DM(Dense Mode) 멀티캐스트를 사용하였다.

[그림4]는 5.1에서 5.4절까지의 실험에 사용된 네트워크 구성도를 보여주고 있다.

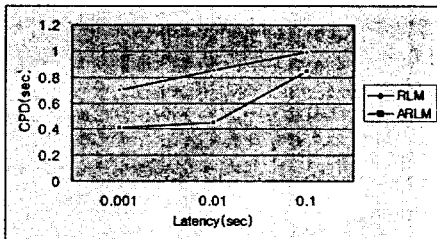


[그림 4] 네트워크 시뮬레이션 구성도

5.1 지연 확장성 실험

본 절에서는 지연 속도에 차이를 두어 CPD(Congestion Period Duration)를 측정한다. [그림5]는 링크의 지연을 1ms, 10ms, 100ms의 경우로 나누어 실험한 것으로써 [그림4]에서 수신자와 송신자를 하나씩 두고 실험하였다. 노드 S1-P, P-K, K-R1 모두 510kb의 대역폭을 가지고 있고 큐 크기는 20이며 실험시간은 3600초(1시간)이다.

[그림5]에서 CPD는 패킷 손실이 연속해서 일어나는 기간을 말한다. 지연이 늘어남에 따라 수신자가 손실이 발생했을 때 늘어난 CPD를 배우는데 긴 시간이 걸리게 된다. ARLM이 RLM에 비해 평균 34%정도의 성능 향상이 나타났다. 또한 RLM은 일시적으로 CPD가 큰 경우가 있는데 비해 ARLM은 항상 고른값을 유지하였다.



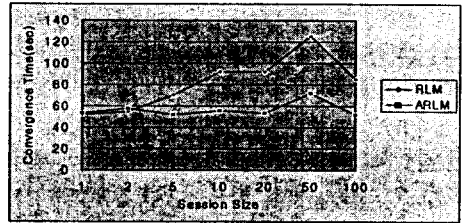
[그림 5] 지연 확장성

5.2 수렴 속도 실험

본 절에서는 각 수신자들이 최적의 가입 레벨에 도달하고 유지하는데 걸린 시간을 실험한다.

[그림6]은 세션의 크기별로 수렴속도를 측정된 것으로써 [그림4]에서 하나의 송신자를 두고 수신자의 수를 늘려가면서 실험하였다. 노드 S1-P, P-K, K-R1, K-R2, ..., K-Rn 모두 510kb의 대역폭과 10ms의 지연시간을 가지고

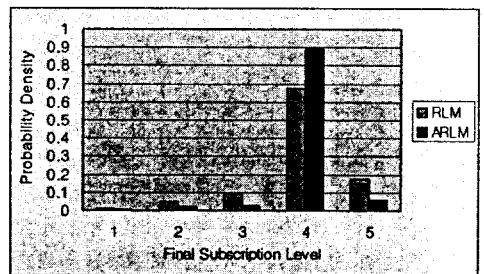
있다. 큐 크기는 20으로 설정하였고 실험시간은 3600초(1시간)이다. 세션의 크기가 커지면서 수렴 속도가 증가하고 있는데 이는 세션들이 서로에 걸쳐 방해와 압박을 가하기 때문이다. 그러나 어떤 임계값을 넘어서면 세션은 현상들을 조절하는 것을 배우고 수렴시간은 각각의 join-timer들에 적용하는 세션에 의해 조절된다. ARLM이 RLM에 비해 평균 26%의 성능 향상이 나타났다.



[그림 6] 수렴 속도

5.3 대역폭 할당 실험

본 절에서는 각 레벨별 대역폭의 할당을 실험한다. [그림7]은 [그림4]에서 하나의 송신자가 있고 세션의 크기가 20일 때의 실험 결과이다. 노드 S1-P, P-K, K-R1, K-R2, ..., K-R19, K-R20 모두 510kb의 대역폭과 10ms의 지연시간을 가지고 있고 큐 크기는 20으로 설정하였으며 실험시간은 3600초(1시간)이다. 계층1은 32kb, 계층2는 64kb, 계층3은 128kb, 계층4는 256kb, 계층5는 512kb로 설정하였다. 각 레벨의 대역폭은 계층들의 총합으로써 계산되어진다. 예를 들어 레벨4의 대역폭은 계층1에서 계층4까지의 합인 470kb가 된다. 각 수신자들은 모두 공정하게 작동하며, RLM과 ARLM 모두 실제 가입을 원하는 레벨 4에 잘 가입하고 있는 것을 볼 수 있다. ARLM이 RLM에 비해 30% 정도의 성능 향상이 나타났다.

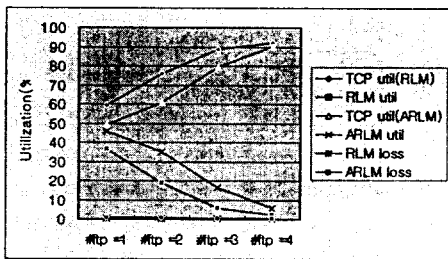


[그림 7] level별 대역폭 할당

5.4 공정성 실험

본 절에서는 RLM과 TCP의 공정성을 실험한다. [그림 4]에서 수신자와 송신자를 FTP의 개수마다 하나씩 늘려 가며 실험하였다. 노드 P와 노드 K의 링크 대역폭은 512kb, 링크 지연은 80ms이고 그 외의 각각의 송신자(Sn)에서 노드 P까지, 그리고 노드 K에서 각각의 수신자들(Rn)까지는 T1(1.544Mb)의 대역폭과 10ms의 지연시간을 가지고 있으며, 큐 크기는 20으로 설정하였다. 각 실험시간은 5400초(1시간30분)이다.

실험은 노드 S1-R1은 CBR(Constant Bit Rate)을 백그라운드 트래픽으로 설정하고, S2-R2, S3-R3, ..., S5-R5는 모두 FTP를 백그라운드 트래픽으로 설정하였다. [그림 8]은 FTP를 하나씩 증가시키면서 RLM과 TCP와의 공정성을 실험한 결과이다. TCP가 먼저 시작한 경우, 동시에 시작한 경우, RLM이 먼저 시작한 경우, 세 가지 경우의 평균값을 표시하였다. RLM은 RLM이 먼저 시작한 경우가 가장 TCP와의 공정성이 좋고 나머지 경우는 편차가 심하나 ARLM의 경우는 모든 경우에 비슷한 정도의 공정성을 보였다. RLM과 ARLM 모두 FTP의 숫자가 많아질수록 점점 더 공정성이 나빠지고 있다. 그러나 ARLM은 RLM에 비해 FTP가 1개일때는 10%, 2개일때는 16%, 3개일때는 11% 등으로 성능향상이 나타났다.



[그림 8] RLM과 TCP의 대역폭 사용량 비교

6. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 기존에 제안된 수신자 기반의 멀티캐스트 프로토콜인 RLM의 문제점인 join-timer의 값 결정에 네트워크의 상태와 관련지어 혼잡 상태일 때는 그 값을 증가시키고 대역폭에 여유가 있을 때는 join-timer의 값을 감소시켜 보다 효율적이고 최적화된 값을 선택하는 ARLM을 제안하였다. CPD값의 측정을 통한 지연확장성

과 수렴속도, 대역폭 할당, TCP와의 공정성 등의 실험에서 RLM에 비해 10% - 30% 정도의 성능 향상이 이루어졌다.

향후 연구 계획은 SM, PIM-DM, PIM-SM등 다양한 멀티캐스트 환경에서의 실험과 정확한 detection-timer값을 결정하는 것이다. Detection-timer는 현재 취한 행동의 결과에 대한 반응까지 걸리는 시간을 결정하는 타이머이다. 예를 들어 새로운 층에 가입을 할 때 생기는 패킷 손실은 새로운 층에 가입한 행동으로 기인된다고 생각한다. 적절한 detection-timer의 값을 정하기 위해 RLM은 계속적으로 가입한 후에 발생하는 패킷 손실 시간을 측정하여 행동과 결과 사이의 지연을 학습한다. 그러나 이러한 방법은 자신의 트래픽으로 인한 패킷 손실이 아닌 다른 백그라운드 트래픽으로 인한 패킷 손실이 빈번히 일어날 경우에는 잘못된 학습을 할 수가 있다.

참고 문헌

- [1] T. Turletti, "The INRIA Videoconferencing System (IVS)", *conneXions - The Interoperability Report*, Vol.8, No. 10, pp. 20-24, Oct. 1994
- [2] McCanne, S. and Jacobson, V., *Receiver-driven Layered Multicast*, Sigcomm, 1996
- [3] W. Richard Stevens, *TCP/IP Illustrated volume1*, Addison Wesley 1994
- [4] McCanne, S. *Scalable Compression and Transmission of Internet Multicast Video Report No. UCB/CSD-96-928* 1996
- [5] Ingo Busse, Bernd Deffner, Henning Schulzrinne, *Dynamic QoS Control of Multimedia Applications based on RTP*, (<http://www.fokus.gmd.de/step/accontrol/ac.html>)
- [6] McCanne, S., and Floyd, S. *The LBNL Network Simulator*. Lawrence Berkely Laboratory. Software on-line. (<http://www.nrg.ee.lbl.gov/ns>)