실시간 전송률 조절 기법을 이용한 스트리밍 서비스의 구현

이희상°, 이선헌, 이정민, 최웅철, 이승형, 정광수
광운대학교 전자공학부
{sanglee°, sunlee, jmlee}@adams.kw.ac.kr, {wchoi, shrhee, kchung}@daisy.kw.ac.kr

Implementation of Streaming Service Using the Real-Time Rate Control Scheme

Heesang Lee°, Sunhun Lee, Jungmin Lee, WoongChul Choi, Seung Hyong Rhee, Kwangsue Chung
School of Electronics Engineering, Kwangwoon University

요 약

최근 컴퓨터 기술의 발전과 더불어 급속하게 발전하는 네트워크 기술이 실생활에 보급되고 네트워크를 통한 멀티미디어 데이터의 교환이나 전송과 같은 서비스들이 활성화 되면서 멀티미디어 데이터가 점점 대용량화, 다양화되고 있다. 기존의 멀티미디어 서비스는 정해진 서버로부터 미리 데이터를 받아서 보는 다운로드 서비스가 대부분이었고 스트리밍 서비스라 할지라도 사용자의 기호나 원하는 요구사항에는 미치지 못 하였다. 지금까지 스트리밍 데이터를 전송 하는 프로토콜로 주로 UDP(User Datagram Protocol)를 사용하였다. 하지만 UDP는 혼잡제어를 하지 않으며 현재 인터넷의 주요 트래픽인 TCP(Transmission Control Protocol) 트래픽은 혼잡제어를 한다. 그래서 UDP에 의한 스트리밍 서비스는 TCP 트래픽의 전송률을 저하시키며 더 나아가 네트워크의 전체의 성능을 저하시키는 요인이 될 수 있다. 본 논문에서는 IETF(Internet Engineering Task Force)에서 제정한 실시간 스트리밍 데이터 서비스를 위한 표준인 RTP(Real-Time Transport Protocol)/RTCP(Real-Time Transport Control Protocol)를 적용하여 RTCP의 정보를 가지고 현재 네트워크 상태를 판단하고 스트리밍 서비스를 할 때 데이터의 전송률은 TCP 친화적인 전송률로 조절하는 스트리밍 서비스를 구현하였다.

1. 서 론

컴퓨터 및 정보통신 분야의 눈부신 발전으로 인해 일상생활에서의 인터넷 사용이 일반화 되고 이로 인해 다양한 멀티미디어 컨텐츠 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 네트워크를 통한 비디오 및 오디오 데이터의 전송은 VOD(Video On Demand), 화상회의(Video Conferencing), 인터넷 방송 등 멀티미디어 서비스의 다양한 분야에서 폭넓게 이용되고 있으며 또한 그 이용량은 급격히 증가하는 추세이다. 이러한 네트워크를 통한 멀티미디어 데이터의 실시간 전송을 위하여 필요한 기술이 스트리밍 서비스 기술이다. 스트리밍 서비스를 데이터 전송의 신뢰성을 중요시 하는 TCP로 사용하게 되면 네트워크 상황에 따른 전송률의 급격한 변화, 높은 지연과 지터, 또한 패킷 손실에 의한 재전송이 발생되며 이 같은 특성들은 시간적인 제약 사항이 존재하는 스트리밍 서비스에서는 큰 문제점이 된다.

스트리밍 서비스는 어느 정도의 패킷손실을 허용하지만 실시간 특성에 대한 요구사항을 가지므로 인터넷의 주요 전송 프로토콜인 TCP 대신 혼잡제어 메커니즘이 없는 UDP를 사용해 왔다. 여러 다양한 트래픽이 병목구간에서 만날 경우, 병목 구간에서 네트워크 혼잡 상황이 발생하고 TCP는 혼잡제어를 수행하여 네트워크 상태에 따라 전송률을 줄이지만 UDP의 경우, 네트워크 상태에 대한 고려가 없으므로 가용 대역폭의 대부분을 차지하게 된다. 이와 같은 네트워크의 가용 대역폭에 대한 공유문제를 해결하기 위해서는 UDP 트래픽에 대한 혼잡제어가 이루어져야 한다. 여기서 혼잡제어라는 것은 네트워크 트래픽의 혼잡 상황이 발생할 경우에 이에 대응하여 송신자 또는 수신자에 의해서 전송률을 조절하는 기능을 의미한다.

스트리밍 프로토콜에 혼잡제어 메커니즘을 적용하기 위한 여러 연구가 진행되고 있으며 대표적으로 Padhye가 제안한 TFRC가 있다 [1]. TFRC는 TCP의 전송률에 따라 TCP 친화적인 전송률로 조절하며 TFRC와 상대적으로 경쟁하는 TCP의 전송률에 어느 정도 형평성을 보장해 준다. 하지만 TFRC는 TCP의 전송률을 모델링 하기 때문에 스트리밍 서비스의 전송률에 대한 변화가 TCP처럼 크다는 문제점을 안고 있다. 스트리밍 서비스는 어느 정도 손실을 감안해도 지연(Delay)과 지터(Jitter)에 민감하기 때문에 본 논문에서는 SRTT (Smoothed RTT)를 적용하여 전송률 편차를 줄여서 지연과 지터를 줄이게 되고 스트리밍 서비스에 적합한 전송률로 전송하는 시스템을 구현하였다 [2].

본 논문의 2장에서는 TCP 전송률 모델링 공식, RTP/RTCP 프로토콜과 SRTP에 대해 간략하게 설명하고 3장에서는 전체적인 시스템의 설계와 구조에 대하여 설명한다. 또한 4장에서는 구현한 시스템의 실험 및 성능평가에 관해 기술하고 5장에서 결론과 앞으로의 연구 방향으로 끝맺는다.

* 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 [R01 - 2005 - 0000 - 10934 - 0 (2005)]의 지원에 의해 수행되었음.

2. 관련 연구

2.1 TCP 전송률 모델링 공식

Padhye는 TCP Reno를 기반으로 RTT 와 RTO, 패킷손실률과 같은 파라미터들을 사용하여 TCP 트래픽의 전송률에 대한 공식을 모델링하였다. Padhye의 TCP 전송률 모델링 공식은 아래의 식 (1)과 같다.

$$T = \frac{S}{t_{RTT}\sqrt{\frac{2p}{3}} + t_{RTO}(3\sqrt{\frac{3p}{8}})p(1+32p^2)} \quad (1)$$

식 (1)에서 t_{RTT}는 RTT를, S는 패킷의 크기를 의미하며, p는 패킷손실률, t_{RTO}는 RTO를 의미한다. Padhye의 TCP 전송률 모델링 공식은 동일한 네트워크 상태에서 TCP의 평균 전송률을 계산할 수 있다는 장점으로 인해 멀티미디어 스트리밍의 전송률을 TCP 친화적이며 공평하게 조절하고자 하는 스트리밍 프로토콜에 관한 기존 연구들에서 빈번히 사용되고 있다.

2.2 실시간 전송 및 제어 프로토콜 (RTP/RTCP)

RTP/RTCP는 IETF에서 표준화 했으며 인터넷에서 멀티미디어 전송을 위해서 널리 쓰이고 있다 [3]. 그 이유는 시간 정보와 각종 QoS 정보를 제공하며 또, 손실이나 지연 같은 정보를 제공해줌으로써 필요한 데이터를 저장하거나 네트워크 상태를 파악해 줄 수 있게 해준다. 스트리밍 서비스에서 RTP는 시간적인 요구사항으로 인해 대부분 UDP를 기반으로 한다. RTP의 패킷 헤더에는 패킷에 실려 있는 미디어의 종류와 시퀀스 번호(17bit) 등의 정보를 가지고 있다.

RTCP는 세션의 모든 참가자들에게 제어 패킷을 주기적으로 전송하여 패킷 손실, 지터, 지연 등과 같은 QoS 정보를 교환하는 기능과 전송률 제어 및 가입, 탈퇴와 같은 세션 제어 기능을 수행한다. RTCP의 리포트 패킷은 기능에 따라 5종류로 분류되나 본 논문에서 구현된 시스템에서 사용되는 리포트 패킷은 2가지로 아래와 같다.

- 송신자보고(SR: Sender Report) : RTP 데이터 패킷을 전송하는 송신자의 송수신 통계정보 리포트
- 수신자보고(RR: Receiver Report) : RTP 데이터 패킷을 수신 받는 수신자의 수신 통계 정보 리포트

수신자 보고에서 사용하는 헤더 정보는 다음과 같다.

- Cumulative number of packets lost : 송신자으로부터 수신 시작 이래로 분실한 총 RTP 데이터 패킷의 누적된 수
- Last SR Timestamp(LSR) : 송신자으로부터 최근에 받은 SR
- Delay since Last SR timestamp(DLSR) : 송신자로부터의 최종 송신자 보고 수신과 수신자 보고 전송간의 지연

2.3 SRTP (Smart RTP)

SRTP는 Padhye의 TCP 모델링 공식을 이용하여 TCP 친화적인 전송률을 구하고 이에 따라 전송률을 조절함으로써 TCP와의 형평성을 보장하며 전송률의 변화를 줄인 스트리밍 프로토콜이다. 송신자은 표준 스트리밍 프로토콜인 RTP/RTCP를 사용하여 전송을 하며 수신자 측에서는 RTCP의 수신자 보고를 피드백 경로로 송신자 측으로 리포트 한다. SRTP의 송신단에서는 수신단에서 주기적으로 보고 되는 RTCP의 수신자 보고를 통해서 네트워크의 상태를 판단한다.

$$p = \frac{N_{real}}{(N_{max} - N_{first})} \quad (2)$$

$$t_{SRTT} = (\alpha \times t_{CurrentRTT}) + (1-\alpha) \times t_{SRTT} \quad (3)$$

$$T_{SRTP+1} = MAX(\beta \times T_{SRTP} + (1-\beta)(T_{SRTP}(1-\sqrt{p})), T_{TCP}) \quad (4)$$

식 (2)는 SRTP에서 사용하는 패킷손실률 계산식이다. N_{real}은 수신된 전체 패킷의 수를 나타내고, N_{max}는 수신된 패킷의 최대 시퀀스 번호를, N_{first}는 최초에 수신한 패킷의 시퀀스 번호를 의미한다. 식 (3)은 SRTT (Smoothed RTT)를 구하는 식으로 TCP와 유사하게 α를 0.8로 설정하게 된다.

패킷 손실이 발생할 경우, SRTP는 식 (2), (3)를 통해 구해진 패킷손실률과 SRTT를 TCP 전송률 모델링 공식에 적용하여 TCP 친화적인 전송률을 산출한다. 계산된 전송률을 가지고 네트워크 대역폭의 분배와 TCP와의 친화성 및 형평성을 고려하여 식 (4)와 같은 방법에 의해 스트리밍 데이터의 전송률을 조절하게 된다. 패킷 손실이 발생하지 않은 경우를 안정한 네트워크 상태로 판단하게 되며 TCP와 유사하게 전송률을 증가시킨다.

3. 실시간 전송률 조절 기법을 이용한 스트리밍 서비스 시스템 구조

본 논문에서는 실시간으로 RTP/RTCP정보를 이용함으로써 네트워크에 적응하는 전송률을 산출하여 스트리밍 서비스의 전송률을 조절하는 스트리밍 서비스 시스템을 구현하였다. 이 시스템은 오픈 소스 동영상 스트리밍 시스템인 VideoLan의 기능을 확장시켜 구현하였다 [4]. 본 논문은 스트리밍 서버에 네트워크 관리자와 전송률 조절 관리자, 이 두 가지의 기능을 구현하고 스트리밍 클라이언트에서는 SRTP/RTCP 기능을 구현하고 피드백 경로로 수신자 보고를 전송하도록 하였다. 스트리밍 서비스 시스템의 전체 구조는 아래의 그림 1과 같다.

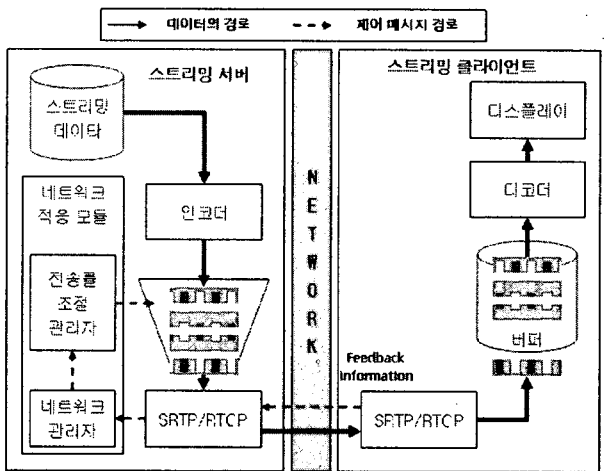

그림 1. 스트리밍 서비스 시스템의 전체적인 구조

그림 1에서 스트리밍 서버의 네트워크 관리자는 SRTP/RTCP로 스트리밍 클라이언트에서 온 수신자 보고를 통해 네트워크 상태를 파악하고 현 네트워크 상태에 맞게 전송률을 산출하기

위해 필요한 RTT, 패킷 손실률, TCP에 친화적인 전송률을 계산한다. 또한 전송률 조절 관리자는 네트워크 관리자에서 받은 파라미터들을 이용하여 네트워크 상태에 알맞은 전송률로 스트리밍 데이터를 변환 시킨다. 전송률 조절 관리자에 의해 네트워크 내에서 경쟁하는 TCP와 친화적인 전송률로 스트리밍 데이터를 생성하게 되고 네트워크로 전송하게 된다.

스트리밍 클라이언트에서는 수신하는 스트리밍 데이터를 통해 네트워크 상태를 판단하고 영상 데이터는 디코더를 통해서 모니터로 디스플레이 된다. 스트리밍 클라이언트는 서버에서의 네트워크 상태 판단을 위한 정보로 수신자 보고를 스트리밍 서버로 피드백하게 된다.

스트리밍 서버의 네트워크 관리자는 스트리밍 클라이언트가 보낸 수신자 보고와 스트리밍 서버가 보내는 송신자 보고의 Timestamp값을 이용하여 서버 측에서 RTT를 계산하고 누적 패킷손실정보(Cumulative Number of Packets Lost)로 패킷 손실률을 계산하는 일을 담당한다. RTT는 아래의 식 (5)로 나타낼 수 있으며 패킷 손실률은 SRTP의 식 (2)으로 정의 될 수 있다.

$$RTT = current\ time - LSR - DLSR \qquad (5)$$

위 식 (5)에서 RTT는 현재시간에 LSR과 차를 구한 값에 DLSR의 차를 다시 구하게 된다. 구한 RTT를 전송률의 변화를 줄이기 위해 식 (3)에 적용해 SRTT를 구하고 SRTT와 패킷 손실률을 식 (1)에 적용하여 TCP 와 친화적인 전송률을 구한다.

스트리밍 서버의 전송률 조절 관리자는 계산된 패킷 손실률, TCP와 친화적인 전송률을 가지고 식 (4)에 적용을 시킨다. 현재의 네트워크 상황에 적절한 전송률이 산출이 되면 스트리밍 데이터를 계산된 전송률로 조절하게 되고 스트리밍 클라이언트에게 전송을 하게 된다.

4. 실험 및 성능 평가

4.1 실험 환경

구현한 실시간 전송률의 변화로 네트워크에 적응하는 스트리밍 서비스 시스템의 성능 평가를 위해 그림 2와 같이 실험환경을 구성하였다. 구현한 시스템의 성능측정을 위해 라우터 사이의 구간은 병목구간으로 설정을 하고 라우터에서 실시간으로 전송률 측정을 위해 TTT(Tele Traffic Tapper)를 이용하여 모니터링을 수행하였다 [5]. 병목구간의 대역폭은 50Mbps로 설정하였고 사용한 스트리밍 데이터는 HD(High Definition)급 영상으로 28Mbps의 비트레이트를 가진다. 구현된 스트리밍 서버가 스트리밍 데이터를 클라이언트에 전송을 먼저 시작하게 되며 그 이후, 경쟁하는 TCP 트래픽을 네트워크에 유입하였다. 구현한 시스템의 성능측정은 일정 대역폭을 가지는 네트워크 환경에서 TCP와 SRTP의 전송률 변화로 TCP에 대한 친화성과 형평성을 검증하고자 했다.

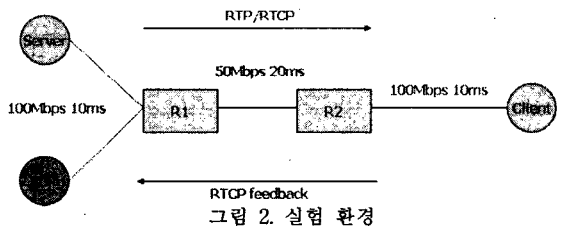

그림 2. 실험 환경

4.2 실험 결과 및 성능평가

그림 3은 4.1절에서 기술한 실험환경에서 구현한 스트리밍 서비스 시스템의 성능 측정 결과를 나타내었다. SRTP의 평균 전송률은 24.4Mbps이며 경쟁하는 TCP 평균 전송률은 22.6Mbps이다. 실험결과를 통해 구현한 스트리밍 서비스 시스템은 네트워크 상태를 수신자 보고를 통해 판단하고 그에 따라 TCP 친화적인 전송률로 스트리밍 서비스의 전송률을 조절하는 것을 확인 할 수 있었다. 스트리밍 서비스의 트래픽이 전송률을 조절함으로써 일정한 대역폭을 가지는 네트워크에서 TCP와 형평성을 이루는 것을 확인 할 수 있었다.

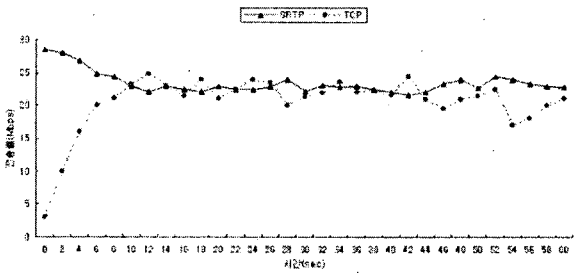

그림 3. TCP와 SRTP의 전송률 변화

5. 결 론

네트워크의 발달에 따라 사용자의 기호가 다양해짐으로써 스트리밍 서비스가 늘어나고 기존의 주요 트래픽인 TCP와의 형평성 문제가 논의되고 있다. 본 논문에서 구현된 스트리밍 서비스 시스템은 RTP/RTCP 통해 현재 네트워크 상태를 판단하고 SRTP 전송률 기법을 사용하여 UDP가 혼잡제어 메커니즘이 없는 문제와 현재 인터넷의 주요 트래픽인 TCP와의 형평성을 가지지 않는다는 문제를 해결하였다. 스트리밍 서비스는 패킷손실보다는 지연과 지터에 민감하므로 TCP와 같이 전송률이 급격하게 변화하지 않도록 SRTT를 이용하였으며 스트리밍 서비스에 적합한 전송률로 네트워크의 형평성을 보장하는 것을 실험을 통해 확인하였다.

향후 과제로는 실험 환경을 확장하여 구현한 스트리밍 서비스의 시스템의 다양한 성능측정과 함께 더 효율적으로 네트워크 상태를 반영하여 스트리밍 서비스에 적합한 프로토콜에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

[참고 문헌]

[1] J.Padhye, V. Firoiu, D. Towsley, and J. Kurpose, "Modeling TCP throughput: A simple model and its empirical validation," *ACM SIGCOMM*, 1998.

[2] B. Song, K. Chung, and Y. Shin, "SRTP: TCP-friendly congestion control for multimedia streaming," *16th International Conference on Information Networking*, January 2002.

[3] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, and V. Jacobson, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications," IETF, RFC 1889, January 1996.

[4] VideoLan Project: http://www.videolan.org

[5] TTT: Tele Traffic Tapper: http://www.csl.sony.co.jp