

실시간 트래픽 전송을 위한 RTP/RTCP의 흐름제어 기법 연구

A Study on the Flow Control Mechanism based on RTP/RTCP for Real-Time Traffic Transmission

최현아, 송복섭, 김정호

한밭대학교 정보통신전문대학원 컴퓨터공학과

Choi Hyun-Ah, Song Buk-Sub, Kim Jeong-Ho

Graduate School of Information & Communications

Hanbat National University

요약

VoIP, 영상회의, DMB, IPTV 등과 같은 멀티미디어 서비스의 활용이 급증하여 네트워크 트래픽이 증가되므로 흐름제어에 관한 실시간 트래픽 메커니즘이 요구되고 있다. 이에 따라 실시간 멀티미디어 데이터를 전송하기 위해 주기적으로 피드백되는 RTP/RTCP 패킷을 통해 수신측의 패킷 손실률과 패킷 지연시간으로 측정되는 네트워크 상태정보를 이용하여 전송률을 조절할 수 있다. 본 연구에서는 멀티캐스트에 효율적인 흐름제어와 RTCP를 기반으로 피드백 전송지연의 오차율을 줄이고, 네트워크의 실시간 트래픽에 대한 동적 변화에 적응할 수 있는 기법을 제안한다. 본 연구의 시뮬레이션 결과, 네트워크 상태에 적응적으로 전송률을 조절하며 대역폭의 최대 활용과 패킷 손실의 최소화를 이룰 수 있다.

Abstract

Increasing using multimedia services as VoIP, Video conference, DMB, IPTV, etc, it is necessary to increase network traffics and develop the mechanism about a flow control for real time traffic transmission. In order to transfer realtime multimedia data, the transfer rate can be control on network state data measuring packet losses of a receiver and delay time of packets through getting periodical feedback RTP/RTCP packet. This paper describes using efficient flow control on multicast that can reduce errors according to getting feedback transfer delay and proposes the mechanism that can adapt dynamic change of network. In simulation, the transfer rate can efficiently be control on dynamic change of network and it makes the maximum of the use of a bandwidth and the minimum of packet losses.

I. 서론

실시간 전송 트래픽은 대부분 VoIP, 영상회의 등과 같은 지터나 패킷유실, 전송지연에 매우 민감한 멀티미디어 데이터를 전송하므로 높은 대역폭과 낮은 전송지연을 필요로 한다. 실시간 멀티미디어 서비스를 신뢰성 있는 TCP로 전송하면 네트워크 상태의 급격한 변화와 손실되는 패킷에 대한 재전송으로 인해 지연이 크고 지연시간 간격의 변화로 네트워크 사용의 전체적인 효율을 저해할 수 있다. UDP의 경우 손실 패킷에 대해 어떤 처리도 해주지 않으므로 연속적인 재생으로 실시간성을 보장하는 대신 타이밍 정보를 가지고 있지 않고 실시간 데이터의 QoS(Quality of Service)를 보장할 수 있는 기능을 제공하지 않기 때문에 고품질의 데이터를 전송할 수 없다. 또한 유동적인 네트워크 상태변화에 따른 패킷 손실과 패킷 지연시간으로 혼잡상태에 빠졌을 때 이에 대응하는 메커니즘이 없기 때문에 이러한 특성을 고려한 흐름제어 기법이 필요하다. 이에 대해 실시간 서비스를 제공해 주기 위해 RTP(Real-Time Transport Protocol)을 이용하여 실시간 데이터를 전송하고 RTCP(Real-Time Control Protocol)를 이용하여 송신자에

게 주기적으로 네트워크 상황을 피드백하여 전송품질을 높일 수 있다.[1] RTP/RTCP에 의해 전송되는 지터, 전송지연, 패킷손실 등을 이용하여 네트워크 상태를 측정하고 이에 따라 전송 속도를 조절해 주는 TFRC(TCP Friendly Rate Control), RAP(Rate Adaptive Protocol), TLFC(TCP Like Flow Control)와 같은 TCP Friendly 흐름제어 기법이 사용되고 있다.[2]

이러한 TCP Friendly 흐름제어 기법에서는 대표적으로 패킷 손실과 왕복지연시간(RTT:Round Trip Time) 두 가지 파라미터로 판단하여 네트워크 상태를 측정한다. 패킷손실을 통하여 네트워크 상태를 측정하면 수신자가 패킷이 손실되는 시점에서 지연시간을 추정하기 때문에 트래픽에 느린 대처로 부정확한 정보를 전달하게 된다. RTT는 순방향으로 데이터를 전송하고 역방향으로 RTCP 제어패킷이 네트워크 상태정보를 전달한다. 만약 역방향에서 패킷손실이나 혼잡상태가 발생하게 되면 역방향 지연시간 증가로 정확한 RTT값을 측정하기 어려워 사용 가능한 대역폭을 부정확하게 판단하게 된다. 결과적으로 충분한 대역폭이 남아있는데도 불필요하게 전송률을

떨어뜨림으로써 네트워크 사용의 전체적인 효율을 저해할 수 있고 또는 실제 상황과 다르게 많은 패킷을 전송하여 망의 혼잡상황을 유발하게 된다.[3] 이러한 부정확한 네트워크 상태정보로 발생하는 문제점을 해결하기 위해 RTT를 단방향 지연시간(OWD:One-Way Delay) 값을 이용해 정확한 상태정보를 측정할 수 있다. 하지만 단방향 지연시간 값을 구하기 위해서는 송수신자 사이의 시간 동기화(time synchronization) 작업이 필요하다.[4]

본 연구는 지연시간으로 인한 부정확한 네트워크 상태정보로 발생하는 문제를 해결하기 위해 단방향 지연시간을 이용하여 정확한 지연정보로 네트워크 상황을 판단하고 TFRC 흐름제어를 기반으로 네트워크 상태변화에 따라 실시간 멀티미디어 데이터의 전송률을 적절하게 조절할 수 있는 흐름제어 기법을 제안한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 실시간 서비스를 위한 전송 프로토콜과 네트워크 상태정보를 고려하여 전송율을 조절하는 흐름제어 기법에 대한 관련연구를 기술하고, 3장에서는 제안된 단방향 지연시간을 추정하는 알고리즘을 이용해 TFRC 기반으로 전송율을 조절하는 흐름제어 기법에 대해 기술한다. 4장에서 실험을 통해 성능평가를 하고, 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련연구

1. RTP

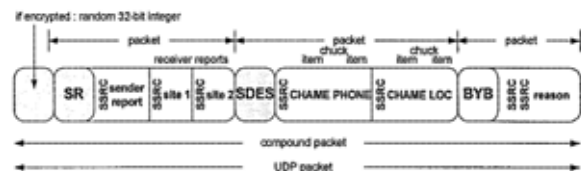
음성, 화상회의 등과 같은 실시간 멀티미디어 데이터 전송을 위해서 제정한 프로토콜이며 멀티캐스트 또는 유니캐스트 네트워크 환경에서 실시간 데이터를 전송하는데 적합한 단대단 전송기능을 제공한다. RTP는 자원 예약에 대한 내용은 다루지 않으며, 특히 데이터 전송(Timely Delivery), QoS보장, 순차전달과 같은 기능을 제공하지 않기 때문에 시퀀스 번호로 패킷손실여부를 확인하고 타임스탬프로 데이터의 재생시점을 결정하는 기능을 제공한다.[1]

2. RTCP

실시간 전송 제어 프로토콜인 RTCP는 세션에 참가한 모든 참가자들의 전송상태에 대한 정보를 주기적으로 전송하며 최소한의 제어기능과 매체 식별 기능을 제공하여 흐름제어가 가능하다. RTCP는 SR(Sender Report), RR(Receiver Report), SDES(Source Description), BYE(goodBYE) 그리고 APP(Application define)의 5가지 제어 메시지를 교환하여 다음과 같은 기능을 수행한다. 첫째, 데이터 전송 상태에 대하여 수신자들에게 피드백하여 흐름제어를 할 수 있다. 둘째,

CNAME(Canonical NAME)를 이용해서 SSRC(Source ID)가 다른 것과의 충돌로 인하여 바뀌더라도 같은 사용자임을 알 수 있게 해준다. 셋째, 각각의 사용자들이 주기적으로 RTCP 패킷을 받기 때문에 몇 명의 사용자가 있는지 알 수 있고, 사용자의 수가 늘어남에 따라 RTCP 패킷 주기를 조절해야 한다. 넷째, 최소한의 세션정보와 사용자 정보를 전달한다.[1]

네트워크 상태 정보를 주기적으로 전달하는 RTCP의 보고 메시지는 SR과 RR 메시지를 통해 패킷의 개수, 수신된 패킷의 개수, 송신자와 수신자의 평균 왕복시간 등의 정보를 송신자에게 보내게 된다. 그림 1과 같은 형태로 RTCP 패킷을 전송한다. 이러한 RTCP의 패킷 발생간격은 5초로 제한되어 있으며 세션내의 참가자가 점차 증가할수록 전송간격이 커지면 흐름제어를 하는 시간간격 또한 커지기 때문에 타임스케일 문제가 발생하고 TCP 대부분의 대역폭을 RTP가 차지하게 된다.



▶▶ 그림 1. RTCP 패킷 전송 형태

3. TFRC 흐름제어 기법

TFRC 흐름제어는 기존의 TCP 전송률을 모델링한 방정식을 기반으로 패킷 손실률과 패킷 지연시간을 이용하여 전송율을 조절하는 알고리즘이다. 이에 대해 식(1)은 흐름제어를 위해 평균 전송율을 패킷 손실률과 전송지연과 같은 파라미터들을 사용하여 수학적 공식으로 모델링하였다.[2]

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

다음 식(1)을 사용하기 위해서는 왕복시간 R , 재전송 타임아웃 t_{RTO} , 패킷크기 s , 패킷 손실률 p 를 근거로 하여 평균 전송률을 T 를 구하여 네트워크 상황에 맞게 전송율을 조절하는데 패킷 손실율은 전송율의 선형적인 변화에 영향을 주며 RTT는 전송율 변화에 큰 영향을 미친다. TFRC는 패킷 전송 지연 파라미터를 이용해서 수신측에 일정 주기로 네트워크 상태정보를 보내게 될 때 매 RTT마다 갱신하여 송신측에 전송하고 송신측은 피드백 된 정보를 통해 네트워크 상황에 맞는 전송율을 판단하여 패킷을 전송한다. TFRC에서 지원되는 파라미터는 대부분 패킷손실률에 초점을 맞추어 전송율을 산출하기 때문에 지연변화가 심한 환경에서는 정확한 지연정보를

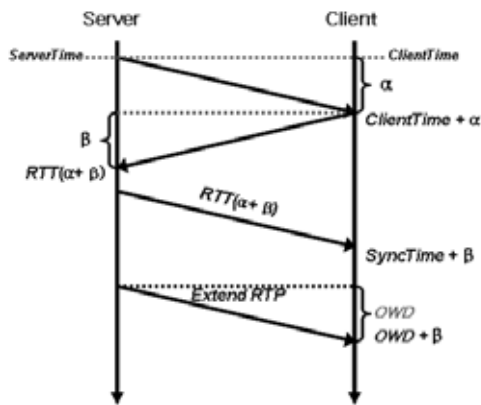
측정할 수 없어서 전송률을 제어하는데 부정확하게 측정되어 네트워크 사용의 전체적인 효율을 저해할 수 있다.[4]

III. 실시간 트래픽 전송을 위한 RTP/RTCP 흐름제어 기법

실시간 트래픽 전송을 위한 흐름제어는 RTCP SR(Sender Report)과 RR(Receiver Report) 메시지를 통해 네트워크 상태를 판단하여 전송률을 조절하게 된다. 네트워크 상태 정보를 측정하기 위한 파라미터로 송수신자의 왕복 지연시간을 측정할 값을 이용해서 파악하게 된다. RTT는 순방향으로 데이터 전송이 이루어지고 역방향으로 네트워크 상태 정보를 RTCP 제어 메시지로 보고된다. 만약 역방향이 패킷손실이나 혼잡상태가 발생하게 되면 역방향의 지연시간은 증가하여 부정확한 네트워크 상황을 반영하여 망의 전체적인 효율을 저해하게 되는 문제점을 갖는다. 또한 실시간 전송 시스템은 시간 지연에 매우 민감하므로 손실된 패킷에 대한 재전송으로 발생하는 지연시간으로 인해서 사용자들에게 고품질의 데이터를 제공하지 못한다. TFRC는 손실된 패킷에 대해 재전송 없이 다음 패킷을 전송하며 전송지연 시간을 줄여 고품질의 데이터를 제공할 수 있다.

따라서 지연시간으로 인한 부정확한 네트워크 상태정보로 발생하는 문제를 해결하기 위해 단방향 지연시간을 이용하여 정확한 지연정보로 네트워크 상황을 판단하고 TFRC 흐름제어를 기반으로 네트워크 상태변화에 따라 실시간 멀티미디어 데이터의 전송률을 적절하게 조절할 수 있는 흐름제어 기법을 제안한다.

1. 단방향 지연시간을 이용한 네트워크 상태정보 측정



▶▶ 그림 2. 시간 동기화 순서도

송신자와 수신자 사이의 단방향 지연 시간을 얻기 위해서는 시간 동기화(global time synchronization) 작업이 필요하나

시스템간에 서로 시간이 동기화되어 있지 않기 때문에 시간 동기화 작업을 위해 알고리즘을 사용하여 송신자와 수신자 사이의 시간을 동기화 시킨다.[4] 그림 2는 단방향 지연시간을 구하기 위한 동기화 순서도를 도식화 한 것이며, 동기화 알고리즘을 이용하여 정확한 단방향 지연 시간을 측정할 수 있다.[3]

송신측에서 수신측까지의 시간 α , 수신측에서 송신측까지의 시간 β 라 하며 송신측에서 ServerTime을 수신측으로 보냈을 때 패킷이 도착한 시점의 수신측 시간은 ClientTime+ α 이며, ServerTime을 저장한 후 송신측으로 되돌려준다.

$$(ClientTime + OWD + SyncTime) - ServerTime = OWD \quad (2)$$

단방향 전송지연 값인 OWD를 나타내며 식(2)를 통해 단방향 전송지연 값인 OWD를 구할 수 있다. 하지만 ClientTime을 알아낼 수 있는 방법이 없으므로 정확한 SyncTime을 구할 수 없다.

$$SyncTime + \beta = ServerTime + RTT - (ClientTime + \alpha) \quad (3)$$

$$(ClientTime + OWD + SyncTime + \beta) - ServerTime = OWD + \beta$$

정확한 SyncTime을 구하기 위해 식(3)을 이용하여 OWD 값을 구할 수 있으며 β 값 만큼 네트워크 상태 판단의 오차가 발생한다.[3]

2. TFRC 기반 전송률 제어

RTP/RTCP을 기반으로 수신측에서 주기적으로 전송하는 패킷 손실과 RTT 정보를 RTCP 제어 메시지로 보고한다. 수신측에서 보고된 정보를 바탕으로 네트워크 상태가 혼잡상태나 안정상태로 판단하며 각각의 상태에 따라 실시간 멀티미디어 데이터의 전송율을 증가시키거나 감소시키게 된다.

실시간 트래픽 전송을 위한 TFRC 기반의 데이터 전송율을 제어하는 기법은 다음과 같다. 송신측에서 RTP를 이용하여 실시간 멀티미디어 데이터들을 전송하면 수신측에서는 수신된 패킷들의 순서번호(sequence number)를 비교하여 패킷 손실 정보를 축적하고 타임스탬프(time stamp)로 RTT를 측정한다. 그리고 송신측에서 주기적으로 SR(Sender Report) 패킷을 전송하면 수신측에서는 그에 대한 응답으로 SR 패킷간에 발생한 패킷 손실의 누적 횟수(N_{loss})와 SR 패킷 타임스탬프(LSR) 그리고 SR 패킷 처리 지연 시간(DLSR) 등의 정보를 담은 RR(Receiver Report) 패킷을 송신측에 전송한다.

송신측에서 RR 패킷을 수신하면 패킷 수신 시간(t_{RR})을 측정할 다음, 식(4)을 통해 패킷 손실률을 구한다. 여기서 p 는 패킷 손실률, N_{total} 은 송신측에서 SR 패킷간에 전송한 총 패킷 수를 나타낸다.

$$p = \frac{N_{loss}}{N_{total}} \quad (4)$$

다음 식(5)에서 RTT 대신 OWD 값을 적용하여 단방향 지연시간 정보를 구할 수 있다. 송신자가 측정한 RTT와 수신자가 측정한 RTT 그리고 순방향 지연시간의 초기값인 t_0 세 개의 값을 산출하게 된다. $RTT(s, i)$ 는 송신자가 측정한 RTT이며, $RTT(r, i)$ 는 수신측에서 측정한 RTT이다.[4] 다음 식(5)을 적용한 시간 동기화 알고리즘을 통해 구현된다.

$$R = t_0 - \sum_{i=1}^n [RTT(s, i) - RTT(r, i)] \quad (5)$$

송신측은 식(6)과 같이 RTO(Retransmission Time-Out) t_{RTO} 값을 계산한다.

$$t_{RTO} = R + 4 * RTT_{var} \quad (6)$$

송신측은 식(4)~(6)에서 산출된 각 파라미터를 이용하여 최종적으로 식(1)을 이용하여 평균 전송율과 비교하여 전송율을 결정한다.

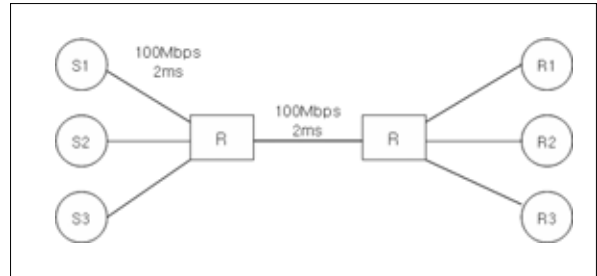
송신자는 최소 5초의 패킷 전송 간격으로 수신측에게 RTCP 제어 메시지를 통해 현재의 네트워크 상태를 보고 받는다. RTCP는 현재의 네트워크 상태정보를 측정하는데 필요한 파라미터들을 이용하여 식(1)을 통해 최대 전송률을 구하게 되고 이 값을 넘지 않는 범위에서 전송률을 조절하게 된다. RTCP 패킷을 통하여 RTCP 패킷 전송간격 동안의 수신자가 측정한 패킷손실률에 따라 임계값을 적용하여 다음 표 1과 같이 네트워크 상태를 Unload, Loaded, Congested 세 구간으로 나누어 전송률을 조절한다.[5]

[표 1] 네트워크 상태정보를 고려한 전송률 조절

구분	Sending rate
Unloaded	If Sending rate < Maximum rate $r_i = r_{i-1} + \frac{r_{i-1} - 1}{\pm \times RTT}$
	If Sending rate > Maximum rate $r_i = r_{i-1} - \frac{r_{i-1}}{\gamma}$
Loaded	$r_i = r_{i-1} - \frac{r_i}{\gamma}$
Congested	$r_i = \frac{r_{i-1}}{2}$

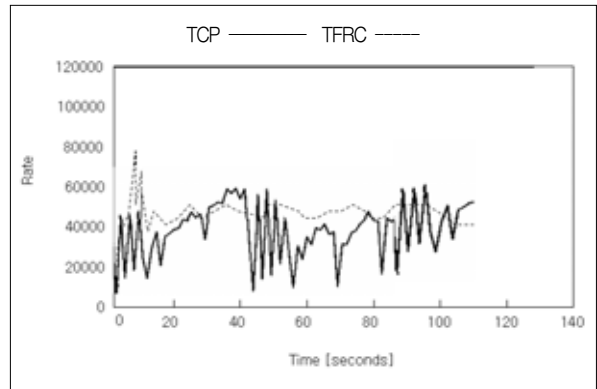
IV. 성능 해석

시뮬레이션 과정은 RTT 대신 단방향 지연시간을 이용하여 TFRC 기반으로 전송율을 조절하는 흐름제어 기법에 대한 성능분석을 수행하였다. 성능평가를 위해 LBNL의 NS-2를 사용한다.[9]

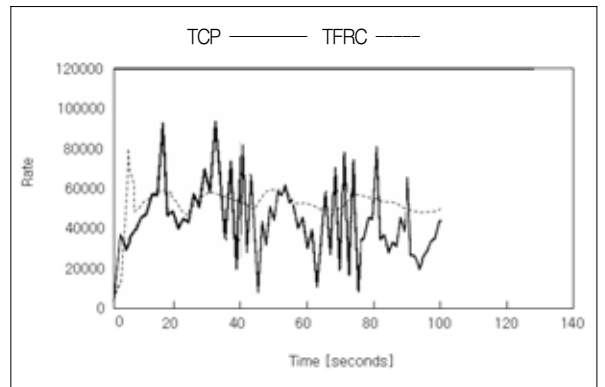


▶▶ 그림 3. 시뮬레이션 환경

다음 그림 3은 성능평가를 위한 구성된 네트워크 환경이다. RTT를 이용하여 TFRC를 사용했을 때와 단방향 지연시간을 이용하여 TFRC를 사용했을 때의 두 가지의 경우로 성능평가를 하였다. 각각 80초간 전송하여 RTT, 단방향 지연 시간, 전송율을 측정하고 결과를 비교하였다.



▶▶ 그림 4. RTT를 사용한 TFRC



▶▶ 그림 5. OWD를 사용한 TFRC

그림 4는 네트워크 상태 정보를 파라미터를 RTT를 이용하여 TFRC와 TCP를 비교하였고, 그림 5는 OWD를 이용하여 비교하였다. RTT를 사용하였을 때의 경우 TFRC가 TCP보다 약 32%정도 더 많은 대역폭을 점유하고 있었다. 이에 반해 OWD를 사용했을 때의 결과는 약 3%정도만이 오차를 보일 뿐 거의 같은 대역폭을 사용함으로써 OWD가 보다 정확하게 전송률을 예측하고 있음을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 연구는 지연시간으로 인한 부정확한 네트워크 상태정보로 발생하는 문제를 해결하기 위해 RTT 대신 단방향 지연시간을 사용하여 오차없는 지연정보를 얻고자 시간동기화 알고리즘으로 단방향 지연시간을 구하여 정확한 네트워크 상태정보를 얻을 수 있었다. 이러한 정보를 바탕으로 네트워크 상황을 판단하고 TFRC 기반으로 네트워크 상태변화에 따라 TCP와 공평한 대역폭을 사용하면서 전송률을 적절하게 조절하여 실시간으로 사용자들에게 고품질의 서비스를 제공할 수 있다.

향후 연구과제로는 다양한 멀티미디어 서비스는 무선 네트워크 환경에서 많은 콘텐츠들이 제공될 것이며, 이에 무선망의 안정성과 변화량에 적절히 대응할 수 있는 유동적인 RTCP기반의 흐름제어 기법이 필요하다.

■ 참 고 문 헌 ■

- [1] S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson, "RTP:A Transport Protocol for Real-Time Application", RFC1890, Jan 1996
- [2] M.Handley, S. Floyd, J. Padhye, J. Widmer, "TCP Friendly Rate Control(TFRC):Protocol Specification", RFC3448, January 2003
- [3] 김용술, 김화성 "고품질 실시간 스트리밍 서비스 제공을 위한 네트워크 모니터링 기법", 한국통신학회, 2006
- [4] Jin-Hee Choi and Chuck Yoo, "One-Way Delay Estimation and Its Application", Computer Communication, Volume 28, Issue 7, 2005
- [5] Sang-Seok Ha "TCP-friendly RTP rate control", 2003
- [6] Sally Floyd, Mark Handley, Jitendra Padhye and Jorg Widmer "Equation-Based Congestion Control for Unicast Applications", ACM SIGCOMM, August 2000
- [7] 나승구, 백갑천, 안중석, 김승범 "RTP 트래픽을 위한 효율적인 흐름제어 기법", 한국정보과학회
- [8] K. Anagnostakis, M. Greenwald, R. Ryger, "cing: Measuring network internal delays using only existing infrastructure", Proceedings of INFOCOM 2003, April 2003.
- [9] URL:<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>