

# 동적인 전송률 순화를 지원하는 TCP-Friendly 혼잡 제어 방법에 관한 연구

송병훈<sup>0</sup>, 정광수, 오승준

광운대학교 전자공학부

byungh@adams.gwu.ac.kr, (kchung, sjoh}@daisy.gwu.ac.kr

## A Study on the TCP-Friendly Congestion Control with Dynamic Rate Smoothness

Byunghun Song<sup>0</sup>, Kwangsue Chung, Seung-Jun Oh

School of Electronic Engineering, Kwangwoon University

### 요 약

현재의 인터넷 응용들을 살펴보면 중 단간 혼잡 제어 방법을 지원하는 TCP를 대표적인 전송 프로토콜로 사용하고 있음을 알 수 있다. 그러나 최근 폭발적으로 증가하는 멀티미디어 서비스들은 UDP 혹은 보다 적절한 RTP(Real-time Transport Protocol)와 같은 미디어의 실시간 특성에 맞는 전송 프로토콜을 주로 사용하고 있다. 그런데 TCP-Friendly 하지 않는 UDP나 RTP 같은 트래픽의 무분별한 증가는 같은 링크를 점유하며 공정하게 경쟁하는 TCP 연결들의 전송 효율을 억제 하는 특성을 나타낸다. 그러므로 이러한 현상은 네트워크 활용에 불균형 현상을 초래 한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결 하기위해서 TCP-Friendly 멀티미디어 전송 프로토콜인 SRTP(Smart RTP)를 제안하였다. 또한 구현 및 성능평가를 통해서 이 프로토콜이 스트리밍 전송률을 동적으로 순화하면서 혼잡 상황에 적절히 적용 할 수 있음을 나타내었다.

### 1. 서 론

현재의 인터넷은 최선형 서비스만을 제공하고 있기 때문에 혼잡 상황으로 인한 패킷 손실이 빈번하게 일어난다. 인터넷의 주요 전송 프로토콜인 TCP는 혼잡상황이 발생하면 기본적으로 AIMD(Additive Increase Multiplicative Decrease) 알고리즘에 근거하여 전송률을 낮추면서 적절히 평형 상태를 유도한다. 이러한 TCP의 혼잡제어 방식은 결과 적으로 다른 경쟁하는 TCP들과의 충돌을 최소화 하면서 네트워크의 상태 안정을 유도하게 만든다.

반면 최근 폭발적으로 증가하는 AV 스트리밍과 같은 서비스들은 RTP와 같은 새로운 전송 프로토콜을 주로 사용한다. 그러나 RTP와 같은 전송 프로토콜도 기본적으로 UDP와 같은 트래픽 특성을 가지고 있기 때문에 TCP와 같이 경쟁하는 다른 TCP 연결들과 공정하게 경쟁 할 수 없다. 특히 혼잡 상황에서는 TCP와 같은 혼잡 제어 방법을 사용하지 않는 연결들의 전송률이 크게 증가 한다면 경쟁하는 다른 TCP 연결들의 전송률이 심각하게 제약 받을 수 있다. 이것은 일반적인 UDP 기반의 스트리밍 전송 프로토콜들이 인터넷의 주요 프로토콜인 TCP와 공존할 때 야기 되는 공통적이며 매우 중요한 문제점이다[1].

이러한 문제들을 해결하기 위한 연구 방법은 그 접근 방법에 따라 네트워크 기반과 중 단간 응용 기반으로 크게 구분 지을 수 있다. 전자가 게이트웨이나 라우터를 기반으로 버퍼 관리, 스케줄링 방법을 주로 연구 한다면 후자는 중 단간 혼잡 제어 방법을 기반으로 응용 레벨의 동적인 전송률 제어 방법 같은 것을 활발히 연구하고 있다. 특히 AV 스트리밍과 같은 기술의 연구는 사용자 레벨의 QoS(Quality of Service)와 밀접한 관련이 있기 때문에 중 단

간 응용 기반의 접근이 더욱 유리하다. 또한 이러한 접근 방법은 AV 미디어의 특성을 잘 반영 하면서 네트워크로 전송 할 수 있는 큰 장점이 있다. 그러므로 경쟁하는 다른 TCP 연결들을 고려하면서 혼잡 제어 기능을 갖는 효율적인 AV 전송 프로토콜을 위한 연구가 반드시 필요하다. 또한 이러한 프로토콜은 스트리밍 응용의 전송 효율에 민감하게 영향을 끼치는 전송률 진동 폭 편차를 순화하는 기능을 제공하여 기본적인 성능의 극대화도 지원해야한다 [2,3,4].

본 논문은 총 5장으로 기술되어 있다. 먼저 2장에서는 TCP-Friendly 혼잡 제어 방법에 대해 기술하였고, 3장에서는 본 논문에서 제안한 AV 스트리밍 혼잡 제어 프로토콜에 대해 기술하였다. 4 장에서는 구현한 혼잡 제어 프로토콜의 성능 평가를 위한 시험 망의 구성 과 결과를 기술하였고 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 과제에 대해 기술 하였다.

### 2. TCP-Friendly 혼잡 제어

앞서 언급한 불균형 문제를 중 단간에서 해결하여 보려는 연구들 중에 대표 적인 것이 TCP-Friendly 혼잡 제어 방법이다 [1]. TCP-Friendly 혼잡 제어란 같은 연결, 상황에서 TCP 의 혼잡 제어 방식이 아닌 연결의 평균 전송률이 TCP의 성질과 순용하는 다른 연결의 전송률을 초과 하지 않는 성질을 말한다. 특히 TCP-Friendly의 정도를 나타내는 공정성 지표 F를 사용하여 이 성질을 어느 정도 만족하는지를 나타낼 수 있다. 아래 식 (1)은 공정성 지표 F의 산출 방법이다.  $R_{tcp}$ 는 TCP 연결의 실제 전송률(goodput)을 말한다.

(1)

TCP-Friendly 혼잡 제어 방법은 크게 전송 방법의 지원 유형을 기준으로 단일과 다중 전송 방법으로 구분되며 각 유형들은 다시 전송률과 윈도우 기반의 혼잡 제어 방식으로 나뉘어 진다. 그림 1은 TCP-Friendly 혼잡 제어 방법의 분류를 나타낸 것이다.

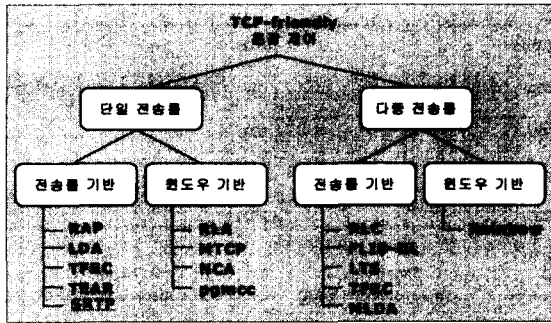


그림 1. TCP-Friendly 혼잡 제어 방법의 분류

특히 AV 스트리밍과 같은 응용들을 위한 연구로는 전송률 기반의 TCP-Friendly 혼잡 제어 방법이 많이 연구되어 지고 있다. 그 이유는 이 방법이 다른 방법들에 비해 실시간과 상대적으로 장시간 연속적인 특성을 갖는 AV 스트리밍의 전송률 제어 방법으로 적합하기 때문이다. 현재 연구중인 대부분의 전송률 기반 접근 방법들은 TCP의 AIMD 방법과 호환을 이룰 수 있는 알고리즘의 개발과 전송률 진동 폭 편차를 줄일 수 있는 순화 방법에 대해 많은 연구를 수행 중이다[2,3,4].

TCP 와의 전송률 호환을 위해서 사용하는 대표적인 모델링으로 *padhye*에 의해 제안된 식 (2) TCP 전송률( $R$ ) 모델이 있다[5]. ( $b$ 는 패킷의 ACK수,  $W_m$ 은 최대 혼잡 윈도우의 크기,  $s$ 는 패킷의 크기,  $p$ 는 패킷 손실률)

$$R(\text{Trtt}, \text{Trto}, s, p) = \min \left[ \dots \right] \quad (2)$$

3. 적응적 전송률 제어를 지원하는 SRTP

본 논문에서 제안한 AV 스트리밍을 위한 전송률 기반의 TCP-Friendly 혼잡 제어 프로토콜을 SRTP(Smart RTP)라 부른다. 이 프로토콜은 IETF (Internet Engineering Task Force)에서 권고하는 실시간 AV 전송 프로토콜의 표준인 RTP를 기반으로 기본 기능을 확장하고 새로운 혼잡 제어 기능을 추가한 프로토콜이다. RTP는 AV 스트리밍 전송에 최적화된 전송 및 기본적인 피드백 정보 처리 기법을 제공한다[4]. 그러나 RTP는 앞서 언급한 대역폭 공정성 문제를 여전히 야기시킬 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 제안한 SRTP는 다

음과 같은 기능 제공을 목적으로 한다.

- AV 스트리밍을 위한 TCP-Friendliness 혼잡 제어
- 동적인 완만한 전송률(rate smoothness) 순화 기능

이러한 두 가지 중요한 특징을 제공하는 SRTP는 다음과 같은 순서로 동작한다.

(a) RTP의 제어 프로토콜인 RTCP의 SR(Sender Report), RR(Receiver Report)을 통해 네트워크의 손실률  $p$ 와 지연 값으로 대응되는  $Trtt$ 값을 구한다. 이 값들은 식 (2)를 손실과 지연값을 중심으로 재 정리한 식 (5)에 대입되어  $R$ 값을 구하는데 사용한다. ( $cRTT$ 는 현재의  $RTT$ 값,  $t$ 는 RR에 의해 얻은 패킷의 도착 시간,  $T_i$ 는 SR에서 받은 마지막 시간 값,  $T_j$ 는 수신자 측에서 보고를 받고 처리하는데 소모한 시간차,  $N_{real}$ 는 실제 수신 받은 패킷의 수,  $N_{max}$ 는 수신된 최대 순서 번호,  $N_{first}$  첫 번째 수신 받은 패킷의 번호)

(3)

(4)

$$R = \dots \quad (5)$$

(b) 수신자 측에서 계산된 병목 구간 대역폭 정보를( $B_m$ ) RTCP APP(Application defined part)를 통해 송신자 측으로 전송하여 정확한 최대 전송률 정보로 활용한다[6]. 이는 연속하는 두 패킷 쌍을 이용한 방법으로 수신자 측에서 다음과 같은 식 (6)을 이용해 계산한다. ( $s_2$ 는 두 번째 패킷의 크기,  $r_1, r_2$  첫 번째 두 번째 패킷의 도착 시간)

(6)

(c) 혼잡 상황의 정의를 그림 2와 같이 패킷 손실률  $p$ 의 임계값의 구간으로 분류하여 상황에 따라 차별 적으로 전송률을 증가, 고정, 감소시키는 알고리즘을 수행한다.

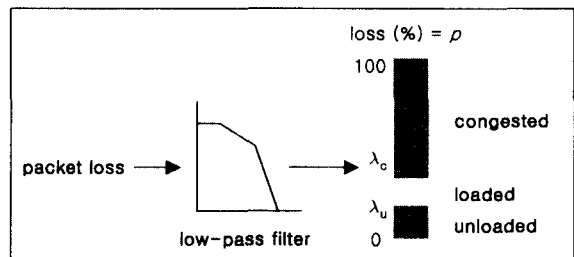


그림 2. 네트워크 상태의 분류

특히 SRTP 전송률의 증가 및 감소는 경쟁하는 TCP 연결들의 상태를 손실 및 지연 정보에 입각하여 얻은 방정식 기반의 값이다. 그러므로 이를 통한 전송률의 변화 때문에 추가로 혼잡 상황이 발생 하지는 않는다. 또한 결정된 전송률은 장시간의 관점으로 볼 때 AV 스트리밍에 적합한 트래픽 형태인 작은 진동 폭을 갖는 순화된 트래픽을 나타낸다. 다음은 TCP-Friendly 특성을 고려한 SRTP의 동작 방정식이다.

• 혼잡 상황(congested):  $\lambda_c$  임계치 이상의 패킷 손실로 인한 혼잡 상황이 발생하면 SRTP는 TCP와 같은 전송률 감소 기능을 수행한다. 다만 AV 스트리밍의 특성상 마치 TCP와 같은 짧은 시간의 큰 전송률의 감소는 최악의 경우 서비스의 중단과 같은 상황을 초래 할 수 있기 때문에 식 (7)과 같은 방정식을 기반으로 스트리밍의 전송률을 적절히 순화 하며 감소시킨다. ( $cR_{srtp}$  는 현재의 SRTP의 전송률,  $\beta$ 는 전송률 순화 임계값,  $p$ 는 RTCP로 얻은 손실률 )

(7)

혼잡 상황에서도 TCP-Friendly한 성질을 유지하려면  $R_{srtp}$ 는 적어도 식 (5)로 얻은 이상적인 전송률인  $R_{tcp}$ 보다 크거나 같아야 하기 때문에 최종적인 전송률의 감소 식은 식 (8)과 같다.

(8)

• 비 혼잡 상황 (unloaded):  $\lambda_u$  임계치 이하에서는 SRTP의 전송률 증가가 일어나며

의 조건 식 을 검사하여 만족할 때만 식 (9)의 방정식을 따르며 전송률을 증가한다. ( $\delta$ 은 AV 미디어 스트림의 특성에 따른 증가 비례 값,  $TCP_{inc}$ 는 TCP의 전송률 증가값)

(9)

$\delta$ 값은 전송 미디어의 특성에 따라 응용 레벨에서 적용 가능한 변수이며 본 논문에서는 mpeg4를 기본 전송미디어로 가정 하였다.

4. 시험 망의 구성 및 성능 평가

본 논문에서는 제안한 SRTP의 기능을 평가하기 위해서 그림 3과 같은 시험 망을 구성하였다. 본 시험망은 기본적인 아령형(dumbbell) 네트워크 구조로 설계 하였으며 각각 n개의 짧은 TCP 트래픽 (WWW), 긴 TCP 트래픽(FTP), 그리고 AV 스트리밍 트래픽 (SRTP)을 일정 기간 전송할 수 있게 하였다. 그림 4는 n=25일때 각각의 연결들이 병목 연결인 R0에서의 각 트래픽의 대역폭 점유율을 나타낸다. 시험 결과에서 알 수 있듯이 제안한 SRTP는 기존의 TCP와 호환되는 TCP-Friendly한 특성을 보이며 ( $F \leq 1$ ) 전체적인 전송 진동 폭의 변

화를 크게 순화 시킬 수 있다. 이로 인해 SRTP의 전체 전송 효율도 그 만큼 증가함을 알 수 있다.

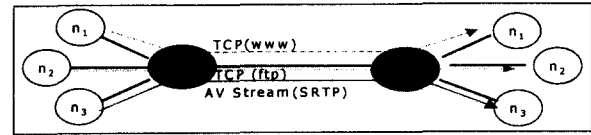


그림 3. 시험 망의 구성

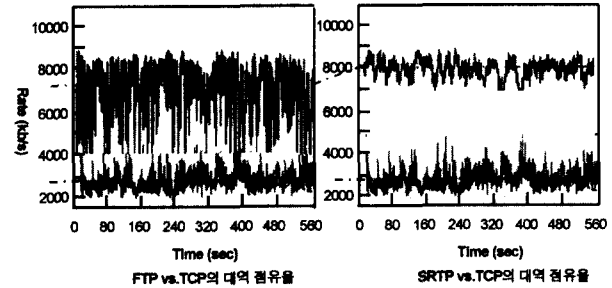


그림 4. WWW/FTP/SRTP의 대역폭 점유율

5. 결 론

최근 폭발 적으로 증가하고 있는 AV 스트리밍 프로토콜들의 전송 효율들은 많이 좋아지고 있으나 여전히 인터넷의 대표적인 전송 프로토콜인 TCP와의 공정성 문제는 해결해야 할 이슈로 남아 있다, 결국 이러한 문제는 전체적인 트래픽 관점에서 보면 멀티미디어 응용들의 확장에 제동을 거는 현상을 초래 할 수 있다.

본 논문에선 이러한 문제를 해결하기 위해 TCP-Friendly한 새로운 AV 전송 혼잡 제어 방법을 제안하고 이를 구현하였다. 제안한 프로토콜은 기존의 TCP 연결들과 호환되는 방정식 기반의 동적인 순화 기능을 갖는 전송률 제어를 제공한다.

향후 연구 과제로는 유니 캐스트 환경뿐만이 아니라 멀티 캐스트 환경도 적용 할 수 있는 SRTP의 확장된 혼잡제어 방법에 관한 연구 및 전송 미디어 형태에 따른 특화된 QoS 적용을 지원 할 수 있는 스트림 서버, 클라이언트의 확장 기술이 연구되어야 할 것이다.

참고문헌

[1]J. widmer, R. Denda, and Martin Mauve, "A subvey on TCP-Friendly congestion control," IEEE Network May/June 2001, 2001.  
 [2]S. Floyd, M. Handley, J. Padhye, and J. Widmer, "Equation-Based Congestion Control for Unicast Applications," *Proceeding of SIGCOMM 2000*, 2000.  
 [3]I. Rhee, V. Ozdemir, and Y. Yi, "TEAR: TCP emulation at receivers - flow control for multimedia streaming," Technical report, April 2000.  
 [4]송병훈, 최상기, 정광수, "QoS 적용 기능을 갖는 연동 게이트웨이의 설계 및 구현 ", 한국정보과학회 논문지(C), 5권 5호, pp 619-627, 1999. 10.  
 [5]J. Padhye, V. Firoiu, D. Towsley and J. Kurpose, "Modeling TCP throughput: A simple model and its empirical validation," *Proceeding of SIGCOMM 98*, 1998.  
 [6]K. Lai and M. Baker, "Measuring bandwidth," *Proceeding of INFOCOMM 99*, 1999.