

무선 네트워크에서 스트리밍 서비스의 품질향상을 위한 Cross-layer 기반 적응적 전송률 조절 기법

김수정 · 정광수*

Adaptive Rate Control Scheme based on Cross-layer for Improving the Quality of Streaming Services in the Wireless Networks

Sujeong Kim · Kwangsue Chung*

Department of Communications Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

요 약

무선 네트워크에서 TFRC (TCP-Friendly Rate Control)는 불안정한 채널 특성으로 인해 발생하는 손실을 모두 혼잡 손실로 인지할 뿐만 아니라, 링크 계층에서의 재전송 기법과 채널 경쟁 오버헤드로 인해 증가된 RTT(Round Trip Time)를 적용할 경우 전송 성능이 저하된다. 본 논문에서는 무선 네트워크 환경에서 스트리밍 서비스의 품질 향상을 위한 Cross-layer 기반의 적응적 전송률 조절 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 TFRC의 전송률 향상을 위해 새로운 RTT 측정 및 패킷 손실 구별 기법을 적용하였다. 실험을 통해 제안한 기법을 적용한 TFRC의 전송 성능이 향상됨을 확인하였다.

ABSTRACT

TFRC(TCP-Friendly Rate Control) has a performance degradation in wireless networks because it performs congestion control by judging all the losses occurred in wireless networks as a congestion indicator. It is also degraded by the increased Round Trip Time(RTT) due to packet retransmission and contention overhead in the link layer. In this paper, we propose an adaptive rate control scheme based on cross-layer to improve the quality of streaming services in the wireless networks. It provides new RTT estimation and loss discrimination methods to improve transmission rate of TFRC. The simulation results show that the proposed scheme can improve the performance of TFRC.

키워드 : 무선 네트워크, 서비스 품질, TFRC, 스트리밍 서비스

Key word : Wireless Network, Quality of Service, TFRC, Streaming Service

접수일자 : 2013. 05. 10 심사완료일자 : 2013. 05. 29 게재확정일자 : 2013. 06. 13

* **Corresponding Author** Kwangsue Chung(E-mail:kchung@kw.ac.kr, Tel:+82-2-940-5134)

Department of Communications Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.7.1609>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

최근 다양한 무선 접속 기술의 등장 및 모바일 단말의 보급으로 인해 무선 네트워크를 통한 스트리밍 서비스에 대한 수요가 증가하고 있다. 스트리밍 서비스의 사용자 품질을 보장하기 위해서는 충분한 대역폭이 요구된다. 또한 낮은 전송 지연을 요구하며, 일정 수준의 패킷 손실은 허용하는 특성을 지니고 있다. 이러한 멀티미디어 응용의 요구 사항들을 지원하기 위해 다양한 멀티미디어 스트리밍 전송 기법과 프로토콜에 대한 연구가 진행되었다 [1][2].

인터넷의 주요 프로토콜인 TCP(Transmission Control Protocol)는 손실된 패킷을 재전송하여 데이터 전송의 신뢰성을 제공한다. 그러나 TCP는 패킷 손실 정보를 네트워크의 혼잡으로 인지하여 전송률을 급격하게 줄여 스트리밍 서비스의 품질에 큰 영향을 미친다. 이에 따라 대부분의 멀티미디어 응용들은 혼잡제어를 수행하지 않는 UDP (User Datagram Protocol)를 전송 프로토콜로 사용하고 있다. 그러나 UDP는 혼잡제어를 수행하지 않아 네트워크의 혼잡을 가중시켜 혼잡 붕괴(Congestion Collapse)를 유발하고 TCP 등 경쟁 트래픽들의 성능을 저하시킨다 [3].

TFRC(TCP Friendly Rate Control)는 UDP 기반의 단방향 멀티미디어 트래픽 전송 프로토콜의 단점을 개선하기 위해 제안된 혼잡제어 기법으로써, TCP Reno를 모델링한 전송률 공식을 기반으로 전송률을 조절한다. 또한 TCP 트래픽과 친화적인 전송 특징을 가지는 동시에 전송률을 부드럽게 변화시키는 특징이 있어 멀티미디어 응용에 적합하다 [4]. 그러나 TFRC는 무선 네트워크의 불안정한 채널 특성으로 인해 발생하는 손실을 모두 혼잡 손실로 판단하여 혼잡제어를 수행할 뿐만 아니라 링크 계층에서의 재전송 기법으로 인해 증가된 RTT(Round Trip Time)를 적용할 경우 무선 채널의 특성이 변할 때 멀티미디어 트래픽의 품질 보장에 필요한 대역폭을 충분하게 얻지 못하여 사용자의 서비스 품질을 보장하지 못하는 문제점이 있다 [5][6].

본 논문에서는 무선 네트워크 환경에서 스트리밍 서비스의 품질 향상을 위한 Cross-layer 기반 적응적 전송률 조절 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 TFRC 모델링 공식을 기반으로 동작하며 전송률 향상을 위해

링크 계층에서 재전송 기법과 채널 경쟁 오버헤드로 인해 증가된 RTT를 보상한 새로운 RTT를 적용한다. 또한 무선 손실과 혼잡 손실을 상대 단방향 지연 시간(ROTT: Relative One-way Trip Time)을 기반으로 구별하여 손실 사건률(Loss Event Rate)을 계산하였다. 이를 통해 TFRC가 무선 손실을 혼잡 손실로 오인하여 불필요한 혼잡제어를 수행하는 오작동을 줄이고 링크 계층에서 증가된 RTT를 보상함으로써 전송 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

본 논문의 2장에서는 관련 연구로 TFRC 프로토콜, 기존 전송률 조절 기법, 그리고 자동 재전송 기법들에 대해서 기술하였다. 3장에서는 제안하는 Cross-layer 기반 적응적 전송률 조절 기법을 상세히 기술하고, 4장에서는 시뮬레이터를 이용하여 제안하는 기법의 성능 향상을 검증하였다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺었다.

II. 관련 연구

2.1. TFRC(TCP-Friendly Rate Control)

TFRC는 비디오 스트리밍과 같은 멀티미디어 응용 프로그램의 요구조건을 만족시키며, TCP 트래픽과 친화적으로 동작하는 혼잡제어 기법이다. 송신측은 수신측의 피드백 정보를 이용해 전송률을 조절한다. 수신측은 패킷 손실을 탐지하면 손실 사건률을 계산하여 최소한 하나의 RTT 마다 한 번씩 송신측으로 피드백 정보를 전송한다. 송신측은 피드백 정보에 담겨 있는 손실 사건률을 이용하여, 식 (1)에 따라 전송률을 계산한다 [7].

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

식 (1)에서 T는 초당 바이트 수로 계산된 전송률, S는 바이트 단위의 패킷 크기, RTT는 종단 간 지연, RTO(Retransmission TimeOut)는 재전송 타임아웃 시간, p는 손실 사건률이다.

수신측은 새로운 패킷을 수신할 때마다 수신된 패킷의 시퀀스 넘버와 수신 시간을 수신 이력(Receive

History)에 저장한다. 수신 이력에 최소 4개의 패킷이 저장되었을 때, 가장 먼저 수신된 두 패킷들의 시퀀스 넘버를 비교한다. 시퀀스 넘버의 차이가 2이상일 때 패킷이 손실되었음을 탐지한다. 수신측은 두 패킷들의 정보를 이용하여 손실된 패킷의 시퀀스 넘버와 예상 수신 시간을 계산한다. 또한 수신측은 새로운 패킷이 수신될 때마다 손실 이력(Loss History)를 갱신한다.

손실 이력은 최근 8개의 손실 구간 길이를 유지하며, 수신측은 식 (2)에 따라 손실 구간의 평균 길이 값 (LI_{Avg})을 계산한다. 식 (2)에서 사용되는 n 의 값은 8이며, LI_i 는 i 번째 손실 구간 길이 값을 의미한다. 각 손실 구간에 대한 가중치 w_i 는 가장 최근의 손실 구간부터 (1, 1, 1, 1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2)에서 하나씩 선택되어 부여된다.

$$LI_{Avg} = \max \left(\frac{\sum_{i=0}^{n-1} LI_i w_i}{\sum_{i=0}^{n-1} w_i}, \frac{\sum_{i=1}^n LI_i w_{i-1}}{\sum_{i=1}^n w_{i-1}} \right) \quad (2)$$

손실 사건률을 계산하기 위해 수신측은 식 (3)에 따라 손실 구간의 평균 길이 값의 역수를 취해 손실 사건률을 계산하여 송신측으로 피드백한다. 송신측은 피드백 정보에 포함되어 있는 손실 사건률을 사용하여 식 (1)에 따라 전송률을 조절하여 혼잡제어를 수행한다.

그러나 TFRC는 손실 사건률에 혼잡 정보만 포함된다고 가정하고 있기 때문에 무선 네트워크에서 동작할 경우에는 그림 1과 같이 무선 링크 에러율이 증가함에 따라 급격한 전송률감소를 보인다.

$$p = \frac{1}{LI_{Avg}} \quad (3)$$

TFRC와 같은 혼잡제어 기법은 손실을 혼잡 손실과 무선 손실로 구별하여 각각 다르게 반응함으로써 성능이 개선될 수 있다.

이와 관련하여 TF-WMFC(TCP-Friendly Wireless Multimedia Flow Control)는 손실 사건률을 대신하여 ECN (Explicit Congestion Notification) 필드가 마킹된 패킷의 수신률을 이용하여 전송률을 조절한다 [8]. 이를 통해 무선 손실이 전송률에 미치는 영향을 효과적으로 제거할 수 있다. Bias는 수신되는 패킷들의 전송 간격을 측정해 손실 원인을 구별한다. Spike는 패킷의 상대적인 단방향 지연 시간을 측정하고, 이 값의 증감에 따라 혼잡 손실과 무선 손실이 발생하는 영역을 구분한다 [9][10]. 그러나 TF-WMFC는 모든 손실 정보를 무시하기 때문에 마킹된 패킷이 무선 에러로 인해 버려질 경우에는 혼잡제어 기능이 저하된다.

그리고 Bias나 Spike와 같이 시간적인 정보를 이용해 손실 원인을 구별하는 기법들은 프로토콜 스택의 다른 계층에서 에러 복구 기법이 사용될 때, 손실 구별의 정확도가 저하되는 문제점을 가진다.

2.2. 자동 재전송 기법

자동 재전송 기법(AHQ: Automatic Repeat reQuest)은 그림 2와 같이 IEEE 802.11 MAC 프로토콜에서 미리 정의된 일정 시간동안 ACK 패킷을 받지 못하면, Stop and Wait 기법을 기반으로 하여 데이터를 재전송 제한 횟수(Retry Limit)까지 재전송을 수행을 한다. 재전송 제한 횟수까지 재전송을 수행하여 ACK 패킷을 수신하지 못하였을 경우 패킷을 전송 버퍼 내에서 삭제하고, 다음 패킷의 전송을 시도한다 [11]. 이러한 재전송 기법은 불안정한 채널 특성을 가지는 무선 네트워크에서 신뢰성 있는 패킷 전송을 가능하게 해준다. 그러나 무선 에러를 복구하기 위해 수행된 재전송으로 인해 송신측에서 측정되는 RTT가 증가되고 이를 TFRC 모델

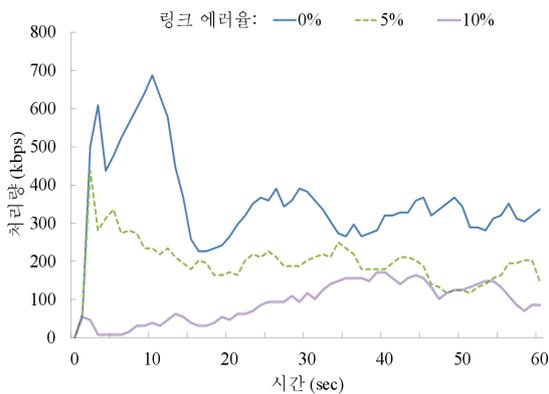


그림 1. 무선 네트워크 환경에서 TFRC의 처리량 변화
Fig. 1 Variation of TFRC throughput in wireless networks

링 공식을 이용하여 전송률을 계산할 때 성능 저하를 야기한다.

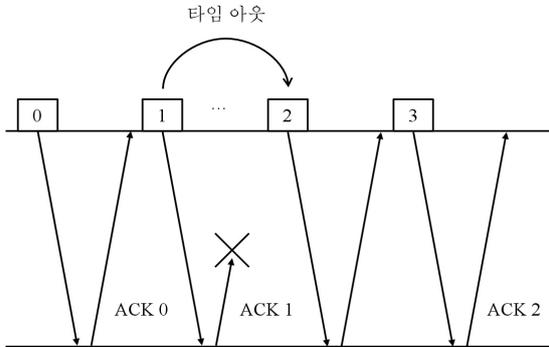


그림 2. Stop and wait ARQ 동작
Fig. 2 Operation of stop and wait ARQ

2.3. 손실 구별 기법

Zigzag 기법은 $ROTT$ 를 이용하는 기법으로 손실된 패킷의 개수와 상대 단방향 지연 시간의 분산($ROTT_{dev}$)과 평균($ROTT_{mean}$)에 의해 정의된 범위에 따라 손실 원인을 판단한다. 단방향 지연 시간이 아닌 상대 단방향 지연 시간을 이용하는 이유는 노드 간의 Clock-skew로 인해 단방향 지연 시간을 정확하게 측정하기 어렵기 때문이다 [12]. 측정된 $ROTT_i$ 가 그림 3의 조건문에 부합하면 탐지된 손실 패킷은 무선 손실로 판단된다. 반대의 경우에는 혼잡 손실로 판단된다.

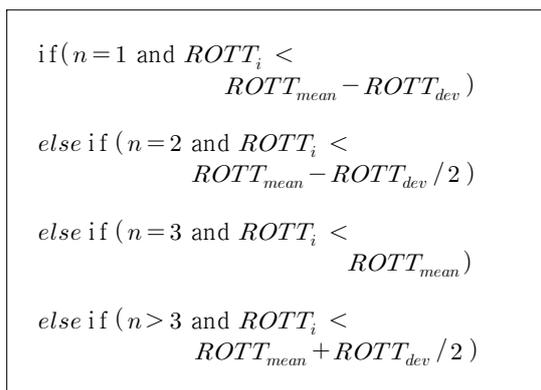


그림 3. Zigzag 기법의 손실 구별을 위한 조건문
Fig. 3 Conditional statement for loss discrimination in Zigzag scheme

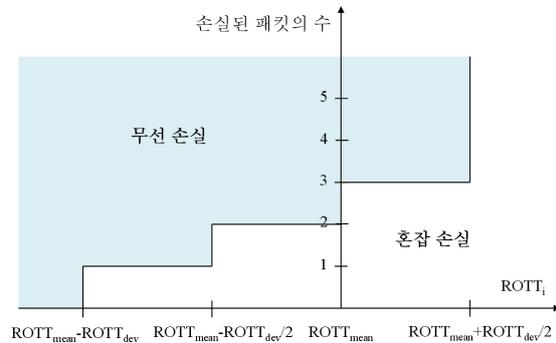


그림 4. Zigzag 기법
Fig. 4 Zigzag scheme

그림 4는 Zigzag 기법의 개념을 나타낸다. $ROTT$ 의 평균인 $ROTT_{mean}$ 과 분산인 $ROTT_{dev}$ 는 각각 식 (4)와 식 (5) 같이 지수평균을 통해 계산된다. α 의 값은 1/32을 사용한다.

$$ROTT_{mean} = (1 - \alpha) \times ROTT_{mean} + \alpha \times ROTT_i \quad (4)$$

$$ROTT_{dev} = (1 - 2\alpha) \times ROTT_{dev} + 2\alpha \times |ROTT_i - ROTT_{mean}| \quad (5)$$

III. Cross-layer 기반 적응적 전송률 조절 기법

제안하는 Cross-layer 기반 적응적 전송률 조절 기법은 TFRC 전송률 향상을 위해 링크 계층에서의 지연을 고려한 새로운 RTT 측정 기법을 적용한다. 또한, 상대 단방향 지연 시간($ROTT$; Relative One-way Trip Time)을 기반으로 무선 손실과 혼잡 손실을 구별하여 손실 사건률을 적용한다.

3.1. 시스템 구조

무선 네트워크에서 스트리밍 서비스의 품질 향상을 위해 본 논문에서 제안한 Cross-layer 기반 적응적 스트리밍 기법의 시스템 구조는 그림 5와 같다. 제안 기법은 패킷의 손실을 구별하여 손실 사건률을 계산하여 서버로 전송하는 클라이언트와 링크 계층에서 전달받은 재전송 지연 정보와 클라이언트에서 전송한 손실 사건률

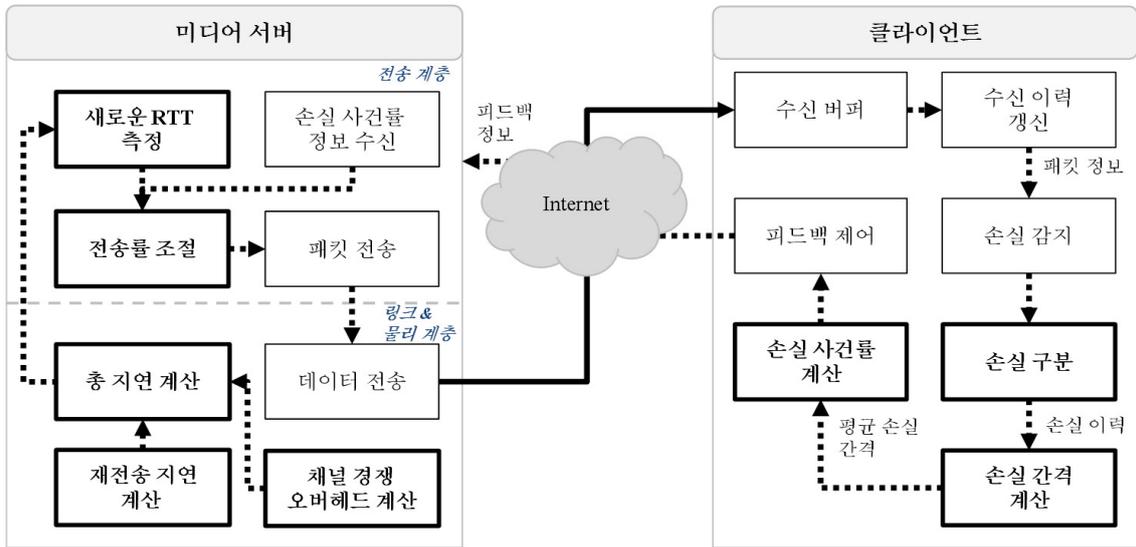


그림 5. Cross-layer 기반 적응적 스트리밍 기법의 시스템 구조
 Fig. 5 System architecture for adaptive rate control scheme based on cross-layer

을 기반으로 미디어 스트림의 전송률을 조절하는 서버로 구성된다. 시스템의 주요 모듈은 아래와 같다.

- 총 지연 계산 모듈: 계산된 채널 경쟁 오버헤드와 재전송 지연 시간을 합하여 전송 계층으로 전달한다. 계산된 총 지연 정보를 기반으로 RTT를 보정한다.
- 채널 경쟁 오버헤드 계산 모듈: 무선 채널 경쟁에 따른 오버헤드를 계산한다. 예를 들어 DIFS(Distributed Inter Frame Space), SIFS (Short Inter Frame Space) 등 채널 경쟁 시 소요되는 오버헤드를 의미한다.
- 재전송 지연 계산 모듈: 링크 계층에서 무선 채널 에러로 인해 패킷 손실이 발생했을 경우 패킷 재전송으로 발생한 지연 시간을 측정한다. 재전송 시간은 한 패킷이 한번 재전송 되는 시간에 재전송 횟수를 곱하여 계산된다.
- 새로운 RTT 측정 모듈: 링크 계층에서 전달한 재전송 지연 시간과 채널 경쟁 오버헤드 시간을 이용하여 RTT를 보정한다. 이를 통해 전송률 저하를 방지한다.
- 전송률 조절 모듈: 클라이언트에서 수신한 손실 사건률 정보와 새로운 RTT 정보를 기반으로 미디어의 전송률을 조절한다.
- 손실 구분 모듈: 상대 단방향 지연 시간값을 이용하여 손실된 패킷이 혼잡에 의한 패킷 손실인지 무선

채널 에러로 인한 패킷 손실인지 구분한다. 이를 통해 무선 손실 에러로 인한 패킷 손실을 혼잡 손실로 오판하여 전송률이 저하되는 것을 막을 수 있다.

- 손실 간격 계산 모듈: 손실 이력을 이용하여 손실 구간 간격을 계산한다.
- 손실 사건률 계산 모듈: 평균 손실 간격을 이용하여 손실 사건률을 계산한다.

3.2. 새로운 RTT 측정 기법

무선 네트워크에서 불안정한 채널 특성으로 인해 증가되는 RTT로 인해 TFRC 성능이 감소되는 문제점을 해결하기 위해 재전송 지연 및 채널 경쟁 오버헤드를 고려하여 새로운 RTT를 계산한다. 무선 네트워크를 통해 데이터를 전송할 때 무선 채널 에러로 인해 패킷 손실이 발생할 경우 MAC 계층에서 해당 패킷에 대한 ACK 패킷을 받을 때까지 재전송 제한 횟수 범위 내에서 재전송을 수행한다. MAC 계층에서는 전송한 패킷의 재전송 횟수와 재전송 시간을 곱하여 재전송 지연 시간을 계산한다. 계산된 재전송 지연 시간에 채널 경쟁으로 인해 발생하는 오버헤드를 더하여 링크 계층에서 발생하는 총 지연시간을 식 (6)와 같이 계산한다. D_{total} 는 링크 계층의 총 지연 시간, C_{retx} 는 재전송 횟

수, T_{retx} 는 재전송 시간, O_{link} 는 채널 경쟁 오버헤드를 의미한다. O_{link} 는 DIFS와 SIFS을 이용한다. 링크 계층에서 계산된 총 지연 시간 값은 Cross-layer 기법을 통해 전송 계층으로 전송된다.

$$D_{total} = \sum_{i=0}^{C_{retx}} T_{retx} + O_{link} \quad (6)$$

전송 계층에서는 링크 계층에서의 총 지연 시간을 기반으로 TFRC의 송신단에서 측정된 RTT을 식 (7)과 같이 보정한다. 새로운 RTT의 변화폭 감소를 위해 EWMA(Exponentially Weighted Moving Average)를 통해 식 (8)과 같이 필터링한다. 가중치 값인 w 는 {1, 1, 1, 1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2}를 적용한다. 필터링된 RTT_{new} 을 TFRC 전송률 공식인 식 (1)에 적용한다.

$$RTT_{compensation} = RTT_{current} - D_{total} \quad (7)$$

$$RTT_{new} = \frac{\sum_{i=0}^{k-1} (RTT_{compensation}(i) \times w_i)}{\sum_{i=0}^{k-1} w_i} \quad (8)$$

3.3. ROTT기반 손실 구분 기법

TFRC 수신측은 패킷을 수신할 때마다 수신 이력 갱신 모듈에서는 패킷 정보를 기록한다. 수신 이력 갱신 모듈은 최근에 수신된 패킷의 순서 번호와 수신 시간을 기록한 목록을 갱신한다. 손실 감지 모듈은 손실된 패킷이 있는지 탐지하고, 손실된 패킷의 순서 번호와 예상 수신 시간을 복구해 손실 구분 모듈로 전달한다. 손실 구분 모듈에서는 상대 단방향 지연 시간을 이용하여 그림 6과 같이 손실을 구분한다.

혼잡 손실과 무선 손실의 구분은 상대 단방향 지연 시간이 상위 임계값(B_{start})를 넘는 순간부터 하위 임계값(B_{end}) 이하로 떨어지는 순간까지 발생하는 패킷 손실은 혼잡 손실로 구분한다 [13]. 상대 단방향 지연 시간이 하위 임계값 보다 작아지게 되면 상대 단방향 지연 시간이 하위 임계값 보다 커질 때까지 발생한 패킷 손실은 무선 손실로 구분한다.

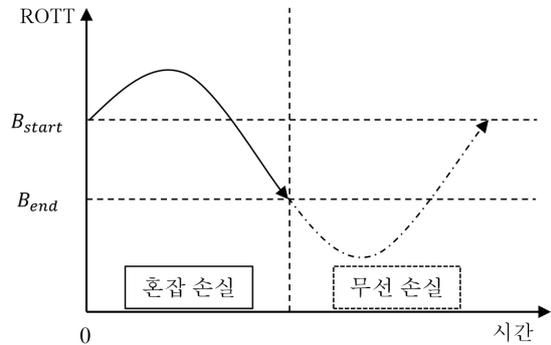


그림 6. 상대 단방향 지연 기반 손실 구분
Fig. 6 Loss discrimination based on ROTT

식 (9)와 식 (10)은 무선 손실이 혼잡 손실로 바뀌는 상대 단방향 지연 시간의 상위 임계값과 혼잡 손실이 무선 손실로 바뀌는 상대 단방향 지연 시간의 하위 임계값을 나타낸다.

$$B_{start} = ROTT_{min} + \alpha \times (ROTT_{max} - ROTT_{min}) \quad (9)$$

$$B_{end} = ROTT_{min} + \beta \times (ROTT_{max} - ROTT_{min}) \quad (10)$$

$ROTT_{min}$ 은 측정된 상대 단방향 지연 시간 중 가장 작은 값을 나타내고, $ROTT_{max}$ 는 측정된 상대 단방향 지연 시간 중 가장 큰 값을 나타낸다. 상수 α 와 β 는 실험을 통해 무선 손실과 혼잡 손실을 가장 정확하게 구분하는 값인 0.7과 0.3로 각각 설정하였다. 상대 단방향 지연 기반으로 혼잡 손실과 무선 손실을 구분한 후에 손실 간격 계산 모듈에서 식 (2)를 통해 손실 구간 간격을 조절한다. 손실 사건률은 계산된 평균 손실 간격을 기반으로 식 (3)를 이용하여 계산한다. TFRC 수신측에서는 계산된 손실 사건률을 미디어 서버로 전달하여 TFRC 전송률 공식인 식 (1)에 적용된다.

IV. 실험 및 환경

본 장에서는 제안한 Cross-layer 기반 적응적 전송률 조절 기법의 성능을 평가한다.

실험은 ns-2(network simulator)를 이용하여 실험 및 성능 평가하였다 [14]. 실험 환경은 그림 7과 같다.

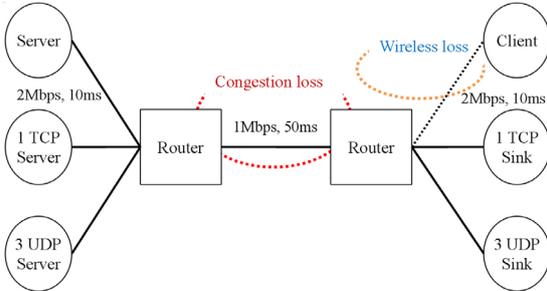


그림 7. 실험 환경
Fig. 7 Simulation environment

경쟁 트래픽은 CBR(Constant Bit Rate), Exponential, Pareto on/off 등 랜덤하게 발생하는 3개의 UDP 트래픽과 FTP 트래픽을 발생시키는 TCP로 구성된다. 혼잡 손실이 발생하는 구간과 무선 손실이 발생하는 구간을 명확하게 분리하기 위해, 여러 트래픽이 경쟁하는 라우터에서만 혼잡 손실이 발생하도록 구성하였다. 또한 TFRC가 무선 손실로 인해 받는 영향을 측정하기 위해 링크 에러 모델을 사용하여 무선 링크를 구성하였다. 무선 링크에 적용되는 링크 에러율은 0%에서 10%까지 1%씩 증가시키며 실험하였다. TFRC의 트래픽 타입은 FTP로 설정하여 TFRC의 전송률 조절 공식에 의해 계산된 전송률 만큼 트래픽을 발생시키게 하였다. 전송되는 패킷의 사이즈는 1000바이트, 실험은 60초 동안 진행하였다.

V. 실험 결과

첫 번째 실험은 표준 TFRC와 제안한 Cross-layer 기반 적응적 전송률 기법이 무선 네트워크의 링크 에러율에 따른 전송 성능을 평가하였다. 그림 8은 링크 에러율이 1%인 경우 전송률 변화를 나타낸다. 표준 TFRC는 혼잡 손실과 무선 손실을 구별하지 못하기 때문에 모든 손실 정보를 혼잡 정보로 사용한다.

그림 9와 같이 링크 에러율이 높아질수록 더 많은 무선 손실이 발생함에 따라 표준 TFRC는 전송 성능이 급격하게 저하된다.

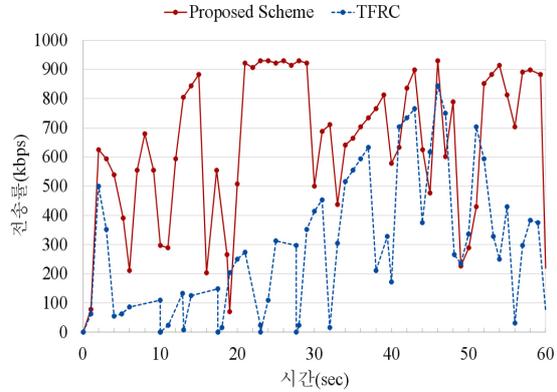


그림 8. 표준 TFRC와 제안 기법의 전송률 비교(링크 에러율: 1%)
Fig. 8 Comparison of transmission rate between TFRC and proposed scheme (Link error rate: 1%)

그러나 제안 기법은 링크 에러율이 높은 상황에서도 표준 TFRC에 비해 높은 전송률을 나타낸다. 제안 기법은 손실 구별 기법을 사용하여 패킷이 손실된 원인을 명확하게 구별할 수 있기 때문에 무선 네트워크에서 빈번하게 발생하는 무선 손실이 TFRC의 손실 사건율에 반영되지 않도록 필터링 할 수 있다. 이에 따라 그림 9와 같이 링크 에러율이 높은 상황에서도 높은 전송률을 나타낸다. 또한 제안 기법은 링크 계층에서 패킷 손실이 발생하였을 경우 재전송에 의해 발생하는 지연과 채널 경쟁 오버헤드로 인해 증가하는 RTT을 보상함으로써 전송률을 향상시켰다.

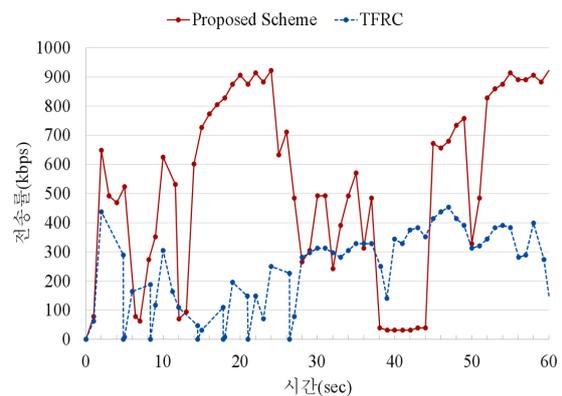


그림 9. 표준 TFRC와 제안 기법의 전송률 비교(링크 에러율: 4%)
Fig. 9 Comparison of transmission rate between TFRC and proposed scheme (Link error rate: 4%)

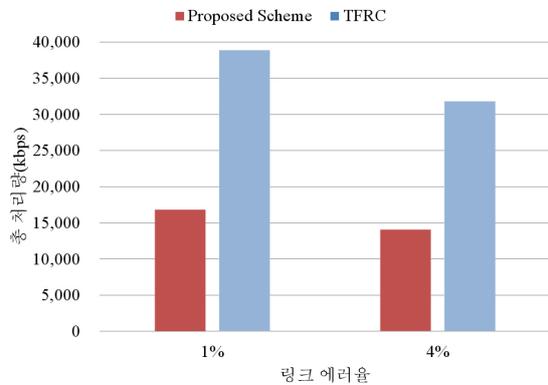


그림 10. 링크 에러율 변화에 따른 표준 TFRC와 제안 기법의 총 처리량 비교
Fig. 10 Comparison of total throughput between TFRC and proposed scheme according to link error rate

두 번째 실험은 링크 에러율 변화에 따른 표준 TFRC와 제안 기법의 총 처리량을 비교하였다. 그림 10에서와 같이 링크 에러율이 1%와 4%일 경우 제안 기법은 무선 네트워크 환경을 고려하여 TFRC 전송률을 조절함으로써 표준 TFRC에 비해 높은 총 처리량을 보인다. 실험을 통해 확인 할 수 있듯이 무선 네트워크 환경에서 멀티미디어 스트리밍 서비스를 제공할 때 제안 기법을 사용함으로써 사용자의 서비스 품질을 향상시킬 수 있다.

VI. 결 론

무선 네트워크의 발전과 고성능 모바일 단말의 확산으로 인해 스트리밍 서비스의 이용이 증가하고 있다. 그러나 무선 네트워크 환경에서는 불안정한 채널 특성으로 인해 스트리밍 서비스의 품질을 보장하기 어렵다. 본 논문에서는 무선 네트워크 환경에서 스트리밍 서비스의 품질 향상을 위한 Cross-layer 기반 적응적 전송률 조절 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 전송률 향상을 위해 링크 계층에서 재전송 기법과 채널 경쟁 오버헤드로 인해 증가된 RTT를 보상하고 필터링을 통해 새로운 RTT를 계산한다. 또한 상대 단방향 지연 시간을 기반으로 무선 손실과 혼잡 손실을 구별하여 손실 사건률을 계산하였다. 재계산된 RTT와 손실 사건률을 TFRC에 적용함으로써 TFRC가 무선 손실을 혼잡 손실

로 오인하여 불필요한 혼잡제어를 수행하는 오작동을 줄이고 링크 계층에서 증가된 RTT를 보상하여 전송 성능을 향상시킴을 실험을 통해 확인하였다.

향후 연구 과제로 LTE(Long Term Evolution), LTE-Advance, 그리고 802.11ac 등 다양한 무선 네트워크 환경에서 본 논문에서 제안한 알고리즘의 서비스의 품질 향상을 위한 연구와 성능 검증이 요구된다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0012561).

REFERENCES

- [1] P. Rengaraju, C. Lung and F. Yu, "On QoE Monitoring and E2E Service Assurance in 4G Wireless Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 19, no. 4, pp. 89-96, Aug. 2012.
- [2] D. Kim and K. Chung, "A Network-aware Quality Adaptation Scheme for Device Collaboration Service in Home Networks," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 58, no. 2, pp. 374-381, May 2012.
- [3] S. Cen, C. Pu and J. Walpole, "Flow and Congestion Control for Internet Streaming Applications," in *Proc. of Multimedia Computing and Networking*, pp. 1-14, Jan. 1998.
- [4] S. Floyd, M. Handley, J. Padhye and J. Widmer, "Equation-based Congestion Control for Unicast Applications," in *Proc. of ACM SIGCOMM*, pp. 1-14, May 2000.
- [5] K. Jeong, J. Koo and K. Chung, "Loss Discrimination Mechanism for Improving the Performance of TFRC in Last-hop Wireless Networks," *Journal of KIISE: Computing Practices and Letters*, vol. 16, no. 2, pp. 227-231, Feb. 2010.
- [6] D. Kim, J. Koo, S. Oh, S. Yeon and K. Chung, "A Cross-Layer Approach to Improving the Performance of TFRC for Efficient Streaming Service in the Wireless

- Networks,” in *Proc. of KIISE Korea Computer Congress*, pp. 339-343, Jul. 2009.
- [7] S. Floyd, M. Handley, J. Padhey and J. Widmer, “TCP Friendly Rate Control (TFRC) : Protocol Specification,” *RFC5348*, Sep. 2008.
- [8] S. Bae and S. Chong, “TCP-Friendly Wireless Multimedia Flow Control Using ECN Marking,” in *Proc. of IEEE GLOBECOM*, pp. 1794- 1799, Nov. 2002.
- [9] S. Biaz and N. Vaidya, “Discriminating Congestion Losses from Wireless Losses using Interarrival Times at the Receiver,” in *Proc. of IEEE Symposium ASSET*, pp. 10-17, Mar. 1999.
- [10] S. Cen, P. Cosman and G. Voelker, “End-to-End Differentiation of Congestion and Wireless Losses”, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 11, no. 5, Oct. 2003.
- [11] L. Qiong and M. Schaar, “Providing Adaptive QoS to Layered Video over Wireless Local Area Networks through Real-time Retry Limit Adaptation,” *IEEE Transaction on Multimedia*, vol. 6, no. 2, pp. 278-290, Apr. 2004.
- [12] Y. Tobe, Y. Tamura and H. Aida, “Detection of Change in One-way Delay for Analyzing the Path Status,” in *Proc. of Passive and Active Measurement Workshop*, pp. 1-7, Apr. 2000.
- [13] Y. Tobe, Y. Tamura, A. Molano, S. Ghosh and H. Tokuda, “Achieving Moderate Fairness for UDP Flows by Path-status Classification,” in *Proc. of IEEE Conference on Local Computer Networks*, pp. 252-261, November 2000.
- [14] The Network Simulator NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>



김수정(Sujeong Kim)

1997년 2월 한국항공대학교 항공통신정보공학과 공학사
 2007년 3월- 광운대학교 전자통신공학과 석박통합과정
 ※관심분야 : 스트리밍 서비스, QoS, QoE, 무선 네트워크



정광수(Kwangsue Chung)

1981년 2월 한양대학교 전자 공학과
 1983년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
 1991년 2월 미국 University of Florida 전기공학과 박사
 1983년 3월-1993년 2월 한국 전자통신연구원 선임연구원
 1993년 3월-현재 광운대학교 전자통신공학과 교수
 ※관심분야 : 인터넷 QoS, 유무선 비디오 스트리밍, 센서 네트워크