

# IEEE 802.11에서 멀티미디어 QoS 보장을 위한 무선 측정 기반 TFRC 기법

정희원 변재영\*

## Wireless Measurement based TFRC for QoS Provisioning over IEEE 802.11

Jae young Pyun\* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 first-hop 무선 채널을 갖는 무-유선망에서 채널 특성에 따라 코딩 비트율을 조절할 수 있는 동적 TCP-friendly 비트율 제어방식 (TFRC)을 제안한다. 제안되는 비트율 제어 기법은 무선망을 통해 전송되는 멀티미디어 플로우의 QoS 성능 저하 현상을 피하기 위해 패킷 손실 통계자료를 이용한 새로운 무선 손실 구별 알고리즘을 사용하고 있다. 이 알고리즘은 무-유선망에서 TCP 플로우와 함께 백본 대역폭을 공유하는 동안 TCP-friendly하도록 비트율을 생성한다. 실험 결과를 통해 제안하는 비트율 제어방식의 시스템은 TFRC 흐름 제어에서 무선 손실의 영향을 제거하고 신뢰성이 낮은 무선 링크에 의해서 발생하는 비디오 스트림의 갑작스런 품질 저하 현상을 상당히 줄일 수 있음을 알 수 있다.

**Key Words** : TFRC, TCP-friendly, multimedia, flow control

### ABSTRACT

In this paper, a dynamic TCP-friendly rate control (TFRC) is proposed to adjust the coding rates according to the channel characteristics of the wireless-to-wired network consisting of wireless first-hop channel. To avoid the throughput degradation of multimedia flows traveling through wireless link, the proposed rate control system employs a new wireless loss differentiation algorithm (LDA) using packet loss statistics. This method can produce the TCP-friendly rates while sharing the backbone bandwidth with TCP flows over the wireless-to-wired network. Experimental results show that the proposed rate control system can eliminate the effect of wireless losses in flow control of TFRC and substantially reduce the abrupt quality degradation of the video streaming caused by the unreliable wireless link status.

### I. 서론

인터넷과 같은 유선망에서의 멀티미디어 통신 기술은 스트리밍 전송과 원격 화상 회의, 인터넷 실시간 방송 분야 등으로 급속한 발전을 거듭해 왔다. 근래에 들어서는 IEEE 802.11 무선랜(wireless LAN)

과 같은 광대역 무선망이나 CDMA2000 1x, EVDO와 같은 2.5세대 이동통신망의 등장으로 무선망에서의 멀티미디어 전송 분야에 관심을 갖게 되었으며, 종단간(end-to-end)의 전송 구간중 last-hop을 무선 구간으로 구성한 이종망에서의 멀티미디어 전송 시스템 연구가 매우 활발하다<sup>[1]-[5], [14]-[17]</sup>. 반면에,

\* 조선대학교 정보통신공학과 무선및이동통신시스템연구실 (jypyun@chosun.ac.kr),  
논문번호 : KICS2004-12-317, 접수일자 : 2004년 12월 15일

IEEE 802.11b,a,g 무선랜의 경우 넓은 전송 대역폭을 필요로 하는 비디오 스트리밍 패킷이 first-hop 무선망으로부터 유선망으로 전송될 수 있도록 access point (AP)를 이용한 infrastructure network를 형성할 수 있으므로 본 논문에서는 기존의 연구에서 시도하지 않았던 first-hop 무선망을 갖는 무-유선망에서의 멀티미디어 전송을 위한 비트율 제어방식에 대해 논한다.

일반적으로, 망에서 전송되는 멀티미디어 어플리케이션의 품질은 패킷 손실보다는 패킷 지연에 의해 매우 민감하다. 그러므로, 대부분의 멀티미디어 어플리케이션에서는 transport 레이어 프로토콜로서 재전송 지연이나 지터(jitter)를 발생시키지 않는 UDP를 사용한다. 그러나 UDP 프로토콜은 흐름 제어를 지원하지 않으므로, 트래픽 소스에서 망의 가용 대역폭 상태에 따라 전송율을 제어할 수가 없다. 결과적으로, TCP와 UDP가 함께 혼잡상태의 채널을 이동할 경우 TCP를 이용하는 트래픽 소스는 혼잡 상태 검출로 인해 흐름 제어를 하게 되며 UDP는 하지 않게 된다. 따라서, UDP를 사용하는 멀티미디어 플로우의 상대적으로 TCP플로우보다 더 많은 대역폭을 사용할 수 있게 되는 불공평성(unfairness)이 발생하게 된다. 멀티미디어 플로우를 위한 TCP-friendly 비트율 적용은 현재 IETF 권고사항으로서 TCP-friendly rate control (TFRC)를 비롯해서 많은 TCP-friendly 혼잡제어 알고리즘이 소개되어왔다<sup>[9]-[10]</sup>.

이러한 TCP-friendly 혼잡 제어방식에서는 트래픽 송신단에 전달되는 유선 채널에서의 트래픽 혼잡(traffic congestion)에 의한 패킷 손실 정보를 기반으로 하여 TCP와 유사한 흐름제어방식을 사용함으로써 전송율을 제어한다. 특히, IETF 권고에 의한 TFRC 알고리즘은 트래픽 혼잡에 의해 발생하는 손실율과 지연시간 기반의 TCP Reno 모델 방정식을 이용하여 트래픽 전송율을 결정하고 있다. 그러나, 무선망을 first-hop으로 구성하는 무-유선망과 같은 이종망(heterogeneous network)에서는 신뢰성이 낮은 무선 채널의 패킷 손실을 고려해야 한다. 따라서, 이종망에서는 무선 손실로부터 유선의 트래픽 혼잡에 의한 손실을 구별해낼 수 있는 손실 구별 알고리즘(loss differentiation algorithm; LDA)이 필요하다<sup>[14]-[16]</sup>. LDA를 이용한 손실 구별 방식을 통해 이종망에서의 TFRC는 무선 손실에 의해 손실이 발생되더라도 전송율을 줄이지 않는 지능적인 비트율 제어를 구성할 수 있다. 기존의 LDA 방식으로는 무선망이 last-hop에 존재하는 유-무선망에 적

합한 AP 기반의 프락시 서버(proxy server) 이용 방법과 explicit congestion notification(ECN) 기법이 있다<sup>[12]-[14]</sup>. 프락시 서버를 이용하는 TCP-friendly 제어 기법은 AP에서 프락스 에이전트(proxy agent)의 snoop 프로토콜을 이용한다. snoop 프로토콜은 AP를 경유하는 모든 멀티미디어 스트리밍 패킷을 가로채어 분석하고 무선 채널에서 패킷 손실이 발생한 경우 클라이언트로 재전송함으로써 무선 손실에서의 quality of service(QoS)를 보장하고 있다. 반면에 ECN을 이용하는 TFRC는 ECN 동작을 보장하는 random early detection(RED) 라우터에서 유선망의 패킷 혼잡이 발생할 경우 IP 패킷 헤더의 ECN 비트를 확률적으로 마킹함으로써 종단간의 패킷손실율(packet loss ratio; PLR)이 아닌 ECN 마킹 비율을 유선망에서의 PLR로 사용한다. 프락시 서버와 ECN 기법 사용은 무선망에서의 손실을 유선망에서의 혼잡 손실과 구별해줄 수 있는 LDA기법이지만 last-hop 무선망을 갖는 유-무선망에 적합하도록 개발되었으며, 특히 ECN 기법은 전송 구간에서 모든 라우터에서 RED와 ECN 기능을 보유하고 있어야되므로 망의 재설치 문제점이 존재한다<sup>[13]</sup>.

본 논문에서는 first-hop 무선망을 갖는 무-유선망에서의 새로운 LDA를 이용하는 동적 TFRC 알고리즘을 소개한다. 제안되는 동적 TFRC에서 사용하는 LDA 방식은 무선 액세스 노드와 종단노드에서 각각 전송되는 2개의 피드백 손실 정보 메시지를 이용한다. 2개의 손실 정보 메시지를 통해 유선망에서의 혼잡 손실을 예측하고 예측된 손실량에 따라서 멀티미디어 플로우의 전송량을 제어할 수 있도록 하였다. 이러한 제어 기법은 ECN 기법과 같이 전송구간의 모든 라우터 기능을 추가 또는 변경할 필요없이 first-hop에 위치한 AP와 비디오 서버에 1개의 레이어를 추가함으로써 얻을 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 TFRC에 대해 설명하고 III장에서는 무-유선망에서 멀티미디어 트래픽 QoS 보장을 위한 제안하는 무선 채널 측정 기반의 TFRC를 기술한다. 그리고 IV장에서는 제안하는 TFRC 알고리즘의 성능 평가를 위한 실험 환경과 결과를 보여주고, V장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. TCP-friendly rate control(TFRC)

### 2.1 TCP-friendly 혼잡 제어

인터넷망에서 비디오와 같은 멀티미디어 전송을

위한 기존의 TCP-friendly 혼잡 제어 기법들은 크게 2가지 분류할 수 있다. 첫째는 additive increase & multiplicative decrease(AIMD) 규칙을 직접적으로 적용함으로써 TCP 혼잡 제어 메커니즘을 흉내내는 AIMD 혼잡 제어 방식이고 둘째는 TCP 모델 기반의 throughput 방정식을 이용하는 TFRC 기법이다 [6]-[10], [19], [21]. 첫번째 기법이 망의 PLR과 전송 지연에 기반한 비트율 제어 방식을 선택함으로써 불필요한 비트율 변동폭이 커지는 문제점이 발생한 반면, TFRC 기법은 멀티미디어 클라이언트로부터 피드백 받은 PLR과 round trip time(RTT) 기반의 평균 TCP throughput을 이용하여 비트율 변동폭을 줄일 수 있는 장점이 있다. 기본적인 흐름제어의 동작 방식은 TCP 플로우와 함께 대역폭을 공평하게 점유할 수 있도록 TCP 프로토콜과 같이 혼잡 손실에 대해 전송율을 감소 또는 증가시키는 방식을 채택하고 있다. 이러한 AIMD 혼잡 제어 방식과 TFRC 기법은 유·무선의 이중망에서 무선 채널의 interference와 fading에 의한 패킷 손실 영향을 제거할 수 있는 LDA를 필요로 한다.

### 2.2 무선망에서의 TFRC

본 논문에서는 무선망에서의 TFRC 플로우의 흐름제어 영향을 분석하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한다. 그림 1은 ns-2 시뮬레이터 토폴로지로서 R0은 AP, R1과 R2는 유선망의 router를 의미한다 [15], [16]. 이 시뮬레이션에서는 무-유선망을 통과하는 8개의 TFRC 플로우와 무-유선 채널에서 모든 패킷 손실의 원인에 대한 정확한 정보를 알고 유선채널의 혼잡 PLR에 의해서만 전송율을 가변하는 이상적인 TCP 플로우를 뜻하는 omniscient TCP 플로우 4개, 유선망만을 통과하는 일반적인 TCP 플로우 4개로 구성된다. 또한 백본망은 100ms 전송 지연과 1.5Mbps 병목 구간 특성을 갖으며, 무선 채널 구간에서의 패킷 손실은 0.05의 PLR과 1.5의 손실 패킷 burst 길이를 갖는 2상태 markov chain 모델을 사용하여 발생된다. 1.5Mbps 대역폭을 공유하는 16개의 각 플로우는 플로우간에 공정성을 위해서 전체 대역폭을 평균적으로 93.75Kbps (1.5Mbps/16 flows) 만큼 공유해야 한다. 본 시뮬레이션에서의 omniscient TCP 플로우는 무선 채널에서 발생되는 패킷 손실에 대해서 전송율을 감소시키지 않는 반면, TFRC 플로우는 무선 채널의 패킷 손실에 대해 알지 못하므로 전송율을 감소시킨다. 결과적으로 그림 2에서 보는 바와 같이 TFRC 플로우는 TCP 플로우

에 비해서 상대적으로 낮은 throughput과 불공평한 대역폭 점유를 보이고 있다. 그림 2의 TCP throughput은 유선망에서의 TCP와 omniscient TCP 플로우를 모두 평균한 것이다. 이러한 불공평한(unfair) throughput 발생 현상은 TFRC 플로우가 유선망에서 발생하는 혼잡손실과 무선채널에서의 무선손실에 의해서 더 많은 손실을 겪고, 비디오 클라이언트로부터의 수집된 유선채널과 무선채널을 모두 포함한 중단간의 손실정보에 대해 흐름제어를 하기 때문이다.

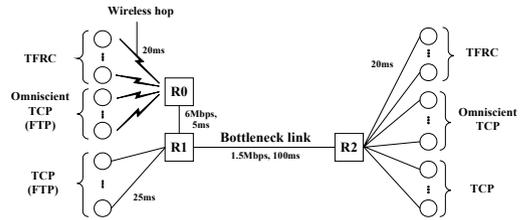


그림 1. 무선채널을 경유하는 TFRC 플로우 실험을 위한 네트워크 토폴로지.

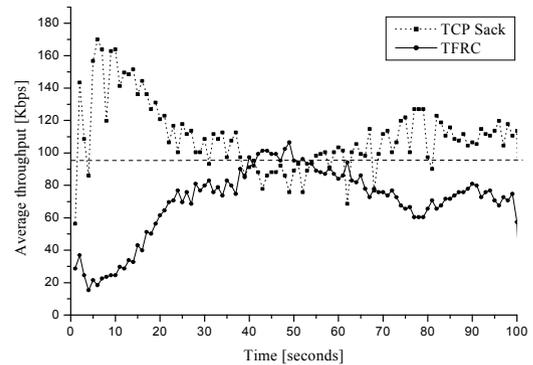


그림 2. 무-유선망을 통과하는 TCP와 TFRC 플로우의 평균 throughput.

### III. 제안하는 wireless measurement 기반의 TFRC(WM-TFRC) 시스템

본 논문에서 제안하는 TCP-friendly 혼잡제어방식을 무선 측정 기반 TFRC(wireless measurement based TFRC; WM-TFRC)라 명명하며, 종단간의 패킷 손실 정보만을 이용하는 기존의 TFRC 기법과 달리 무선 채널의 패킷 손실 정보를 추가적으로 이용한다. 그림 3은 IEEE 802.11 무선랜의 1개 스테이션(비디오 서버)과 통합망의 IEEE 802.x 랜의 한 개 스테이션(비디오 클라이언트) 사이에서 무선 비디오 스트리밍의 전송을 위한 스트리밍 시스템의

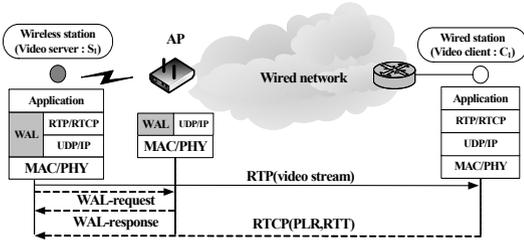


그림 3. IEEE 802.11 무선랜에서 구현된 제안하는 WM-TFRC 기반의 무선 비디오 스트리밍 시스템.

구조를 보이고 있다. 비디오 스트리밍은 RTP 프로토콜을 이용하여 전송되며, 과금 및 RTT, end-to-end PLR 등의 채널 정보는 RTCP를 통해 클라이언트로부터 서버로 피드백된다. 이때 피드백되는 손실 정보는 전송 시스템의 종단간에 발생하는 모든 손실 정보를 의미하며, 무선망에서의 손실 정보를 위해 AP에게 무선 손실 정보 요청 및 응답하는 신호 메시지 처리를 보이고 있다. 이때 IEEE 802.11 무선 채널에서는 hidden 노드 문제에 의한 패킷 충돌 현상을 해결하기 위해 RTS/CTS 시그널링 패킷이 사용되며, 발생하는 패킷 손실은 모두 패킷 충돌이 아닌 인접 신호의 interference나 fading 등의 무선 손실로 가정한다 [11-14]. 또한 무선 채널인 first-hop은 가입자 대역폭을 결정하는 중요한 채널로서 대역폭 할당을 위한 연결 설정 방식을 통해 임의의 수의 가입자에게만 일정 대역을 할당하고 연결 설정을 유지한다[15]. 이때의 대역폭 할당 정도는 비디오 서버와 클라이언트 사이에서 협상되는 전송 비트율로 결정된다.

무선 first-hop에서의 새로운 LDA 기법을 위해 비디오 서버와 AP에 OSI 2.5 레이어에 해당되는 무선 적응 레이어(wireless adaptation layer; WAL) 모듈을 추가한다. WAL 모듈은 링크 레이어에 QoS 보장을 위한 제어 정보를 전달하기 위해 사용되는 추가 레이어로서 모든 비디오 세션의 전송 트래픽을 감시하고 주기적으로 패킷 손실 정보를 포함한 피드백 메시지를 비디오 서버에게 전달하는 역할을 한다. 이때 전송되는 패킷 손실 정보는 평균 PLR이며, 주기적인 피드백 시간 간격  $T$ 마다 전달된다[19]. 따라서 비디오 서버는 무선 채널 상황을 WAL 피드백 패킷의 손실 정보를 통해 빨리 피드백 받을 수 있으며,  $i$ 번째 WAL 패킷으로 전달되는 평균 PLR을 이용하여 현재의 평균 무선 채널 PLR  $\tilde{P}_{WAL}^i$ 을 예측한다. 또한 비디오 클라이언트로부터 피

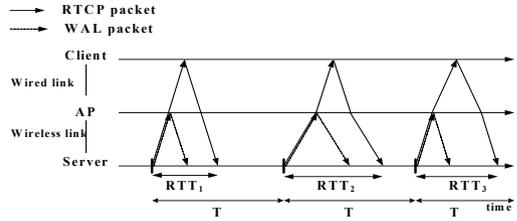


그림 4. AP와 비디오 클라이언트로부터  $T$ 시간마다 피드백되는 메시지.

드백되는  $i$ 번째 real time control protocol (RTCP) 패킷으로부터 멀티미디어 스트림의 종단간의 평균 PLR  $\tilde{P}_{RTCP}^i$ 을 예측한다. 이때의  $\tilde{P}_{RTCP}^i$ 는 유선망에서 발생한 패킷 혼잡 상황에 의한 손실과 무선 채널에서의 채널 열화 손실을 모두 포함하고 있다. 2개의 피드백되는 손실 정보는 피드백 전달 시간 간격인  $T$ 동안 캡처된 정보이며, 그림 4와 같이 WAL과 RTCP sender report 패킷을 비디오 서버에서 주기적으로  $T$ 시간마다 전송해줌으로써 AP의 WAL 모듈과 비디오 클라이언트의 RTP/RTCP 모듈에서 피드백 메시지 전달 시간을 인식할 수 있다. 반면에, 비디오 서버에서는  $\tilde{P}_{WAL}^i$ 과  $\tilde{P}_{RTCP}^i$ 의 스무딩 과정을 위해 새로운 피드백 패킷 도착과 함께 식 (1), (2)와 같은 exponential weighted moving average (EWMA) 방식을 사용한다.

$$\tilde{P}_{WAL}^i = \alpha \tilde{P}_{WAL}^{i-1} + (1-\alpha)P_{WAL} \quad (1)$$

$$\tilde{P}_{RTCP}^i = \alpha \tilde{P}_{RTCP}^{i-1} + (1-\alpha)P_{RTCP} \quad (2)$$

이때의  $P_{WAL}$  and  $P_{RTCP}$ 은 각각 새롭게 도착한 무선 채널과 종단간의 평균 PLR이며,  $\alpha$ 는 가중치 파라미터로서 본 논문의 실험에서는 0.95를 사용하였다. 2개의 평균 PLR을 이용하여 유선망에서의 혼잡 손실량  $\tilde{P}_{CON}^i$ 을 예측하기 위해서는 식(3)을 사용한다.

$$\tilde{P}_{CON}^i = \max(\tilde{P}_{RTCP}^i - \tilde{P}_{WAL}^i, 0) \quad (3)$$

이제, 무선 비디오 서버는 식 (4)와 같이 TCP throughput 모델 방정식을 이용하여 TCP-friendly하도록 멀티미디어 스트림의 전송율을 결정할 수 있다[6-10].

$$TCP_{throughput} = \frac{MTU}{RTT \sqrt{\frac{2\tilde{P}_{CON}^i}{3} + T_0 \sqrt{\frac{27}{8} \tilde{P}_{CON}^i (1 + 32\tilde{P}_{CON}^i)}}} \quad (4)$$

이때의  $MTU$ 는 전송할 최대 패킷 크기이며,  $T_o$ 는 재전송 타임 아웃,  $RTT$ 는 round trip time이다. 결과적으로 TCP throughput은 채널 손실량중에서 우선 혼잡 손실량인  $\tilde{P}_{COV}$ 에 의해서 결정되게 된다. TCP-friendly 혼잡 제어 방식을 위한 2개의 채널 정보는 위와 같은 LDA 기능을 부여할 뿐만 아니라 비디오 서버에서 채널 상황에 따라 코딩 방식을 달리하는 adaptive intra macro block refresh(AIR) 또는 video redundancy coding(VRC)과 같은 error-resilience 비디오 코딩 기법에 채널 정보를 제공할 수 있다<sup>[7],[18]</sup>. 이때 평균 PLR과 함께 피드백되는 평균 패킷 손실 길이 정보는 채널 모델을 완성하는데 더욱 유용한 정보가 될 수 있다. 그림 5는 무선 채널의 비디오 서버에서 전체적인 비트율 할당 과정을 나타내며, 마지막 블록의 error-resilience 코딩 기법을 위해서는 비디오 서버의 실시간 인코딩 기능과 RTCP 패킷 헤더에 error-resilience 필드 구별이 필요하다.

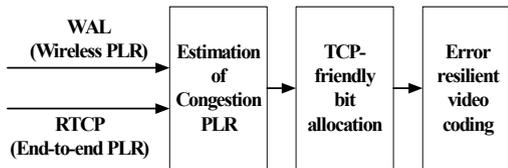


그림 5. 무선 채널의 비디오 서버를 위한 비트율 할당 과정.

이제 제안하는 WM-TFRC 시스템의 성능 평가 요소인 공평성을 측정하기 위하여 다음과 같이 동등율 (equivalence ratio)을 정의한다.

$$Equivalence\ ratio = \frac{B_p}{B_p} \quad (5)$$

이때의,  $B_p$ 와  $B_p$ 는 각각 TFRC 플로우와 경쟁 프로토콜인 TCP의 플로우에 대한 평균 throughput을 의미한다. 만일 동등율이 1이면 TFRC가 TCP와 완전 fair하게 스트림을 전송하고 있다고 본다.

#### IV. 실험 결과 및 분석

제안하는 WM-TFRC 기법의 성능평가와 분석을 위해 그림 6의 TFRC 플로우 실험과 동일한 무-우선 네트워크 토폴로지 조건하에서 WM-TFRC의 throughput을 측정하고 error-resilience 코딩 기술을 적용하여 비디오 스트림의 QoS 보장 능력을 측정

하도록 한다. 이를 위해 그림 1의 TFRC 플로우를 WM-TFRC로 대체하고 백본망의 대역폭과 지연시간, 무선 채널에서의 markov chain 모델의 손실 패턴이 동일하도록 실험한다. WM-TFRC의 패킷 사이즈는 1024 bytes, EWMA의 history 변수는 0.75, RTT의 감소 변수는 0.95를 사용한다. 더불어서 TCP 프로토콜과 라우터 설정을 위한 구체적인 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다. 결과적으로, 백본망의 대역폭은 4개의 TCP 플로우와 4개의 omniscient TCP, 그리고 8개의 WM-TFRC가 함께 전송되므로, 각 플로우는 전체 대역폭을 TCP 프로토콜 기반의 FTP 어플리케이션과 함께 TCP-friendly 비트율인 93.75Kbps만큼 공유하게 된다.

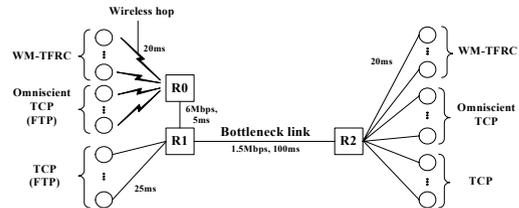


그림 6. 무선 채널을 경유하는 WM-TFRC 플로우 실험을 위한 네트워크 토폴로지.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

WM-TFRC	packet size	1024 bytes
	history factor in EWMA	0.75
	decay factor in RTT	0.95
TCP	packet size	1024 bytes
	TCP version	SACK
	window size	20
Router (R1,R2)	buffer management	RED
	buffer size	50

그림 7은 무선 채널을 경유하는 TCP 샘플 플로우와 WM-TFRC 플로우의 throughput을 보여주는 것으로서 TCP trace 1은 우선망의 TCP 플로우이며, TCP trace 2는 omniscient TCP 플로우를 의미한다. 그림에서 점선으로 표기한 기준선은 TCP-friendly 비트율을 나타내며, TCP와 WM-TFRC 플로우가 공평하게 대역폭을 공유함을 알 수 있다. 특히, WM-TFRC 플로우는 AIMD 방식을 사용하는 TCP보다 더 작은 비트율 변동폭을 갖게 된다. 그림 8은 TCP와 WM-TFRC 플로우의 평균 throughput으로서 그림 2의 TFRC 플로우가 무선 손실에 의해

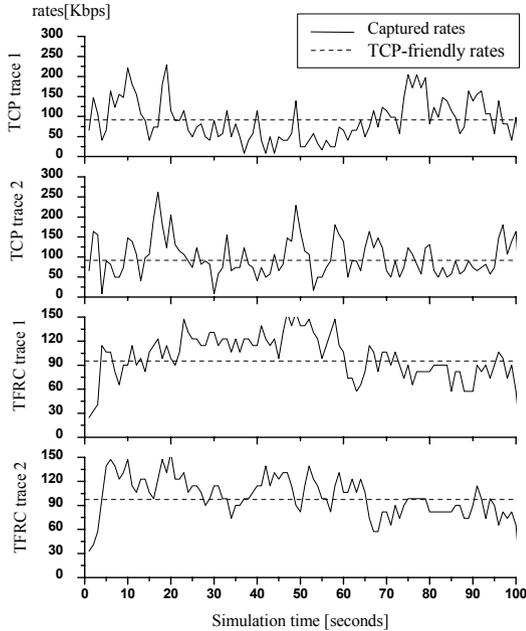


그림 7. 무선 채널을 경유하는 WM-TFRC와 TCP 샘플 플로우의 throughput.

충분한 전송율을 보장하지 않았던 경우와 달리 매우 공평하게 TCP-friendly 비트율을 만족함을 보이고 있다. 100초 동안의 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 TCP 플로우의 대역 점유율과 93% 이상의 동등율 (equivalence ratio)을 보임을 확인할 수 있었다.

Error-resilience 코딩의 추가로 인한 WM-TFRC 스트림의 성능 향상을 확인하기 위해 대표적인 error-resilience 코딩 방식인 AIR과 VRC를 사용한다. AIR은  $3 \times PLR$ 의 비율로 영상의 macro block (MB)을 intra 코딩하는 방식으로 이때의 PLR 값은  $\tilde{P}_{WAL}^i$  과  $\tilde{P}_{RTCP}^i$ 의 최대값을 사용한다. VRC는 영상 프레임들을 thread라고 불리는 그룹 단위로 파티션을 나눔으로써 패킷 손실에 의한 에러의 전파 현상을 차단하는 방식이다. Thread의 구조를 정의하는 파라미터는 thread의 수  $N_{th}$ 와 thread내의 프레임 수  $N_{fm}$ 으로 구성되며  $N_{th} : N_{fm}$  VRC로 표기한다. 실험을 위해 QCIF(176x144)크기의 “Akiyo”, “Bream”, “Container”, “Foreman”, “Miss America”, “Mother & daughter”, “News”, “Trevor”의 테스트 스퀀스를 2000프레임의 1개 스트림으로 제작하였으며, H.263 TMN8 인코더를 이용하여 인코딩후 패킷 손실에 따른 error-resilience 인코딩 시뮬레이션을 하였다<sup>[11]</sup>. 그림 9는 error-resilience를 이용하는 WM-TFRC

플로우의 비디오 스트림의 영상 품질을 PSNR으로 나타낸 결과로서 무선 채널이 존재하지 않는 구간에서는 error-resilience 코딩의 효율성은 떨어지지만 채널에서의 손실율이 증가하는 51.0초 구간부터는 채널 피드백정보를 이용하는 AIR 기법에 의해서 품질 저하가 크게 일어나지 않았으며, error-resilience를 사용하는 방식보다 평균적으로 2.38 dB만큼 품질이 향상함을 알 수 있었다.

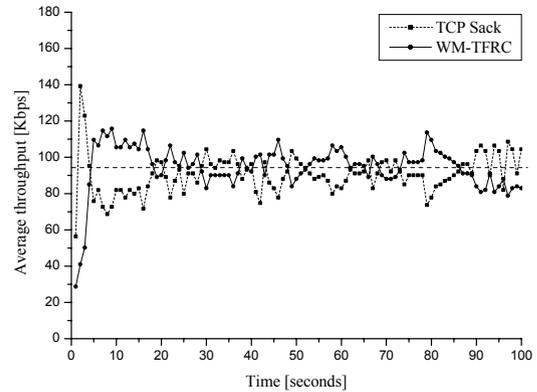


그림 8. 무-유선망을 통과하는 TCP와 WM-TFRC 플로우의 평균 throughput.

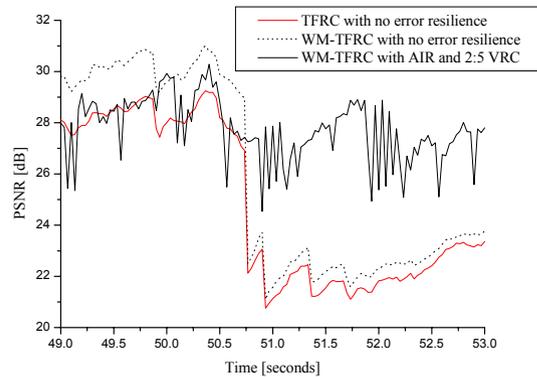


그림 9. error-resilience를 사용하는 WM-TFRC 플로우의 비디오 스트림 PSNR 결과.

## V. 결론

본 논문에서 제안하는 WM-TFRC는 AP와 비디오 클라이언트로부터의 2개의 패킷 손실 정보를 이용하여 무선 손실로부터 유선망에서의 혼잡 손실을 구별할 수 있었다. 이러한 혼잡 손실 구별 능력을 통해 WM-TFRC는 무선 채널을 통해 전송되는 멀티미디어 플로우의 QoS 저하를 막고 TCP 플로우

와 함께 병목 구간에서 공평하게 대역폭을 공유하게 된다. 특히, 본 논문에서 다루고 있는 error-resilience를 추가한 WM-TFRC 실험은 현재 PLR 정보만을 이용하고 있으나 PLR 정보와 더불어서 패킷 평균 손실 길이정보까지도 이용할 수 있는 동적 error-resilience 기법을 개발하고 적용할 경우 더욱 효과적인 멀티미디어 스트림의 품질 보장이 가능할 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] B. P. Crow, I. Widjaja, J. G. Kim, and P. T. Sakai, "IEEE 802.11 wireless local area networks," *IEEE Commun. Mag.*, pp. 116126, Sep. 1997.
- [2] F. Cali, M. Conti, and E. Gregori, "IEEE 802.11 Wireless LAN: Capacity Analysis and Protocol Enhancement," in *Proc. INFOCOM98*, vol. 1, no. 1, 142-149, Mar. 1998.
- [3] B. Bing, "Measured Performance of the IEEE 802.11 Wireless LAN," in *Proc. Int. Conf. Local Computer Networks (LCN99)*, pp. 34-42. Oct. 1999.
- [4] O. Sharon and E. Altman, "An Efficient Polling MAC for Wireless LANs," *IEEE Trans. Networking*, vol. 9, no. 4, pp. 439-451, Aug. 2001.
- [5] H. J. Song and K. M. Lee, "Adaptive rate control algorithms for low-bit-rate video under the networks supporting band-width renegotiation," *Signal Process.:Image Commun.*, vol. 17, no. 10, pp. 759779, Nov. 2002.
- [6] M. Handley, S. Floyd, J. Padhye, and J. Widmer, "TCP friendly rate control (TFRC): protocol specification," *RFC 3448*, Jan.2003.
- [7] S. Floyd, M. Handley, J. Padhye, and J. Widmer, "Equation-based congestion control for unicast applications," in *Proc. SIGCOMM*, Aug. 2000.
- [8] Q. Wang, K. Long, S. Cheng, and R. Zhang, "TCP-Friendly Congestion Control Schemes in the Internet," in *Proc. Int. Conf. Info-tech and Info-net (ICII01)*, vol. 2, pp. 211-216, Oct. 2001.
- [9] Tian, S. Xiangzhi, and W. Wenjun, "The Effect on the Inter-Fairness of TCP and TFRC by phase of TCP traffics," in *Proc. Computer Networks and Mobile Computing*, pp. 131-136, 2001.
- [10] W. T. Tan and A. Zakhori, "Real-time Internet video using error resilient scalable compression and TCP-friendly transport protocol," *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 1, no. 2, pp. 172-186, Jun. 1999.
- [11] Video Coding Experts Group, Video codec test model, *TMN8*, 1997.
- [12] Huang, U. Horn, F. Hartung, and M. Kampmann, "Proxy-based TCP-friendly streaming over mobile networks," in *Proc. ACM Workshop on Wireless and Mobile Multimedia (WOWMOM02)*, Sep. 2002.
- [13] S.-J. Bae and S. Chong, "TCP-Friendly Wireless Multimedia Flow Control Using ECN Marking," in *Proc. GLOBECOM02*, vol. 2, pp. 1794-1799, Nov. 2002.
- [14] S. Cen, P. C. Cosman, and G. M. Voelker, "End-to-end differentiation of congestion and wireless losses," in *Proc. Multimedia Computing and Networking*, pp. 115, Jan. 2002.
- [15] L. Qiu, P. Bahl, and A. Adya, "The effect of first-hop wireless bandwidth allocation on end-to-end network performance," in *Proc. Int. Workshop Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video 2002 (NOSSDAV02)*, May 2002.
- [16] Network Simulator, ns-2.(<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>)
- [17] Y. G. Kim, J. Kim, and C. C. Jay Kuo, "Network-Aware error control using smooth and fast rate adaptation mechanism for TCP-friendly Internet video," in *Proc. Int. Conf. Computer Communications and Networks*, pp. 320-325, Oct. 2000.
- [18] Wenger, G. Knorr, J. Ott, and F. Kossentini, "Error resilience support in H.263+," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 8, no. 6, pp. 867-877, Nov.

- 1998.
- [19] D. Wu, Y. T. Hou, W. Zhu, H. J. Lee, T. Chiang, Y. Q. Zhang, and H. J. Chao, "On end-to-end architecture for transporting MPEG-4 video over the Internet," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol.10, no.6, pp. 923-941, Sep. 2000.
- [20] R. Ramani and A. Karandikar, "Explicit congestion notification (ECN) in TCP over wireless network," in *Proc. Int. Conf. Personal Wireless Communications*, pp.495-499, Dec. 2000.
- [21] 이상철, 장주욱, "TFRC 프로토콜의 평균 손실 구간 계산 방식의 비교 평가," *정보과학회 논문지*, vol. 29, no. 5, Oct. 2002

변재영 (Jae young Pyun)

정회원



1997년 2월 조선대학교 전자공학과 졸업

1999년 2월 전남대학교 전자공학과 석사

2003년 8월 고려대학교 전자공학과 박사

2003년 9월~2004년 2월 (주)

삼성전자 단말사업부 선임연구원

2004년 3월~현재 조선대학교 정보통신공학과 전임강사

<관심분야> Mobile QoS, IP QoS, Video communication, video compression, wireless internet