

IP 망을 통한 비디오 전송에 효율적인 조건적 ARQ 기반의 오류 제어 기법

*심상우 *서광덕 **정순흥 **배성준

*연세대학교 컴퓨터정보통신공학부 **한국전자통신연구원(ETRI)

*royal_blue02@hanmail.net

Conditional ARQ-based Error Control Scheme for Video Transport over IP Networks

*Sang-woo Shim *Kwang-deok Seo **Soon-heung Jung **Seong-jun Bae

*Computer and Telecommunications Engineering Division, Yonsei Univ.

**Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI)

요약

본 논문에서는 패킷 오류가 발생하는 IP 망을 통해 비디오 전송 서비스를 제공하기 위한 조건적 ARQ 기반의 오류 제어 기법을 제안한다. IP 망에서 패킷 손실이 발생하면 수신 단말은 서버에게 손실된 패킷의 재전송을 요청할 수 있다. 그러나 망 상황과 접속 단말 개수를 고려하지 않고 무조건적인 재전송을 요청 할 경우 손실된 패킷이 복호화에 필요한 시점까지 도착 할 것인지가 보장되지 않을 뿐더러, 오히려 불필요한 재전송 요청에 의해 망에서의 트래픽 량을 가중시킬 수 있다. 따라서 망 상황을 고려하여 손실된 패킷이 재전송에 의해 적절한 시간 내에 도착이 가능한지를 판단하여 조건적으로 ARQ를 요청하는 기술이 요구된다. 본 논문에서는 기존의 RFC 문서에서 권고하는 재전송 관련 메커니즘들을 효과적으로 활용하여 표준기술 기반의 조건적 ARQ 오류제어 기법을 제안한다. 제안된 기법에서는 단말에서 추정된 망 상황을 기반으로 조건적으로 재전송 요청 여부를 결정하고, 더 나아가서 유효한 재전송 요청 시점을 결정하여 보다 효율적인 ARQ 가 적용될 수 있도록 한다. 제안된 조건적 ARQ 기반의 오류 제어 기법의 성능을 검증하기 위하여 패킷 손실 네트워크 환경을 NIST-Net을 활용하여 구축하며 실험 결과를 통해 제안된 기법의 우수한 오류 강인 성능을 확인한다.

1. 서론

가입자 접속 네트워크의 광대역화로 인해 인터넷 접속 속도가 비약적으로 증가함에 따라 고품질의 멀티미디어 콘텐츠 서비스에 대한 사용자들의 욕구도 증가해 왔다. 특히, 기존의 IP 인프라를 기반으로 한 유무선 스트리밍 및 IPTV 서비스의 확대는 IP 망에서의 고품질 비디오 서비스 제공을 위한 진보된 기술 개발의 중요성을 촉진시키고 있다. 현재 인터넷을 통한 실시간 비디오 전송 서비스에서 실질적으로 미디어 전송을 담당하는 프로토콜은 RTP (Real-time Transport Protocol) 이다.^{[1][2]} IP 기반의 비디오 전송에 적합하도록 데이터 량을 감축시키는 비디오 압축 과정을 통해 생성된 비트스트림은 RTP로 패킷화되어 IP 망으로 전달되고 RTCP (RTP Control Protocol)에 의해 전송된 패킷의 수신에 관련된 품질을 추정할 수 있다.^[2] 이러한 과정을 기본적으로 포함하는 IP 기반의 미디어 스트리밍은 채널 특성 및 단말의 성능에 의해 여전히 해결해야 할 많은 문제점들을 내포하고 있는데, 전송 지연, 패킷 손실 및 채널 대역폭의 변동에 대한 효율적인 대처방안이 해결되어야 할 중요한 과제들이다. 그 중에서도 무선 채널의 페이딩 현상 및 채널 잡음으로 인해 다량의 채널 오류에 의한 패킷 손실은 IP 망에서는 근본적으로 발생하는 문제점이다.^[3] 이러한 채널에서의 패킷 손실을 극복하기 위해서 일반적인 무선 네트워크에서는 링크계층에서 ARQ (Automatic Repeat Request) 와 같은 전송 오류 제어를 수행할 수 있다.^[4] 그러나 이러한 접근 방법을 통해 모든 형태의 패킷 오류를 극복할 수는 없으며 상위 계층에서 패킷 손실 및 전송 지연의 변동을 유발할 수도 있고 스트리밍 비디오의 급격한 품질의 열화를 야기 시킬

수도 있다. 따라서 채널의 패킷 오류 형태의 변동이 심한 유무선 인터넷 환경에서 성공적으로 비디오를 전송하기 위해서는 응용계층(application layer)에서 네트워크에 적응적인 전송오류 제어 기법의 개발이 필요하다. 응용 계층에서의 대표적인 오류 제어 방식은 ARQ와 FEC (Forward Error Correction) 로 나눌 수 있다.^[4] ARQ와 FEC 중 어느 것이 더 효율적인지는 사용되어지는 시스템의 특성, 경제성, 장비와 단말의 기능, 사용자의 요구 사항 등에 따라 달라질 수 있다. 그러나 서비스 환경에서 ARQ에 필요한 피드백 채널이 지원된다면 ARQ가 FEC보다 유리한 측면이 많다.^{[5][6]} 기본적으로 FEC는 첨가되는 잉여패킷 (parity packet)들로 인해 채널의 대역폭을 낭비시켜 시스템의 효율을 저하시키게 된다. 특히, RTP와 RTCP를 위한 별도의 포트 (port) 설정을 통해 RTCP 기반의 피드백 채널의 활용이 가능한 IP 망에서의 유니캐스트(Unicast) 및 멀티캐스트(Multicast) 서비스의 경우 RTCP 패킷을 응용하여 손실된 패킷에 대한 NACK 메시지를 전송할 수 있기 때문에 ARQ를 통해 패킷 오류에 효율적으로 대처할 수 있다.^[5]

본 논문에서는 단말에서 NACK 피드백을 위한 RTCP 대역폭으로 활용 가능한 채널 대역폭을 바탕으로 현재 발생하는 패킷 오류를 효율적으로 제어하기 위한 조건적 ARQ 기법을 제안한다. 제안된 기법에서는 손실된 패킷에 대한 효율적인 ARQ를 수행하기 위해서 재전송된 패킷이 유효한 시간 내에 도착 가능한지의 가능성을 바탕으로 재전송 여부를 판단하고, RTCP 피드백을 위한 가용 대역폭에 따라 패킷 손실 시 재전송 요청을 즉시 요청 할 것인지 또는 손실된 여러 개의 패킷에 대한 재전송 요청을 가용 대역폭에 여유가 있을 때 한꺼번에 모아서 재전송을 요청할 것인지 등을 결정하게 된다.

2. ARQ 기반의 패킷 재전송 개요

ARQ는 기본적으로 수신측이 송신측에게 손실 또는 손상된 패킷을 재전송해 줄 것을 요구하는 오류 제어 프로토콜이다. ARQ의 기본적인 원리는 패킷 손실이 발생하면 수신측은 송신측에게 패킷 재전송을 요구하고 재전송을 요구받은 송신측은 손실된 패킷을 재전송한다. ARQ는 손실된 특정 패킷에 대해서만 재전송 요청을 통한 오류 제어를 하기 때문에 효율적이지만 패킷이 손실된 것을 감지하는 시간과 패킷의 재전송을 요구하는데 걸리는 시간, 그리고 손실된 패킷을 보고 받은 송신측에서 다시 재전송하는데 걸리는 시간을 추가적으로 요구한다. 즉, ARQ 기법은 손실된 패킷만을 송신측에서 재전송하는 방식으로 오류 복구에 대한 신뢰성 측면에서 효율적이긴 하지만 재전송에 소요되는 시간에 의해 예측하기 쉽지 않은 지연을 야기시키며, 엄격한 실시간의 제약을 갖는 멀티미디어 응용 서비스에는 미디어 패킷의 유효 시간을 고려하여 적용되어야 한다. 따라서, 전송 지연이 작은 서비스 환경이나 비디오 서비스의 초기 버퍼링(initial buffering)을 통해서 지연과 신뢰성 사이의 상충적인 관계 (trade-off)를 적절히 고려한다면 ARQ를 통해 손실된 패킷을 효율적으로 복원 시킬 수 있다.^[7]

기본적으로 ARQ는 송신측과 수신측에서 불필요한 패킷 재전송을 방지하기 위하여 다음의 3가지 방식으로 재전송을 제어할 수 있다. 즉, (1) 재전송 요구를 수신측에서 제어하는 방식 (receiver-based ARQ), (2) 패킷 재전송 여부를 송신측에서 제어하는 방식 (sender-based ARQ), (3) 두 가지 방식을 혼합한 방식 (hybrid ARQ)이 있다. 수신측 제어 방식의 ARQ는 단말에서 재전송 패킷이 유효한 시간 내에 단말에 도착하는지 여부를 판단하여 재전송 패킷이 유효한 시간 내에 도착하지 못할 경우 재전송 시도를 사전에 차단할 수 있다. 송신측 제어 방식의 ARQ에서는 손실된 패킷에 대한 단말로부터의 재전송 요구에 대해 송신측에서 재전송한 패킷이 유효한 시간 내에 단말에 도착할 것인지를 여부를 판단하여 재전송 패킷을 전송할 것인지를 결정하게 된다. 혼합 방식은 수신측 제어 방식과 송신측 제어방식을 결합하여 적용하는 방식으로 수신측에서 불필요한 재전송 요구를 최소화시키는 동시에 송신측에서는 불필요한 패킷 재전송을 최소화시킬 수 있다. 그런데, 송신측 제어 방식의 경우 단말이 무조건 서버에게 재전송을 요청하는 과정을 포함하게 되므로, 수신측 제어 방식보다 망의 효율적인 대역폭 사용 측면에서 효율성이 떨어진다. 따라서, 본 논문에서는 유효하지 못한 재전송이 이루어질 경우에 대해서는 사전에 재전송 자체를 요청하지 않음으로써 재전송 요청에 소요되는 불필요한 대역폭의 낭비를 피하기 위해 수신측 제어 방식을 적용한다.

3. 제안된 조건적 ARQ 알고리즘

제안하는 조건적 ARQ 알고리즘은 크게 패킷 손실이 발견되었을 경우 재전송을 요청할 것인지를 여부를 판단하는 단계와 재전송 요청으로 결정된 경우 효율적으로 재전송 요청 모드를 결정하는 단계로 이루어져 있다. 먼저, 재전송 요청의 여부는 IP 망을 통해 서비스에 참여하는 단말의 개수와 각 단말에게 가용한 피드백 채널의 대역폭, 그리고 현재 망에서의 왕복지연시간 (RTT: Round Trip Time)등을 고려하여 결정하게 된다. 재전송 요청 모드의 결정은 현재 단말의 버퍼에 남아 있는 데이터의 량과 정규적인 (regular) RTCP 세션에서 발생하는 RTCP 수신보고 (RR: Receiver Report)의 간격을 고려하여 결정하게 된다. 그림1은 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 도식화 한 것이다.^[9]

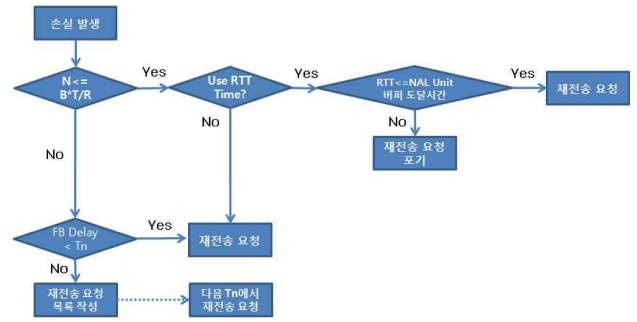


그림 1 패킷 재전송 요청 여부 및 모드 결정 과정
Fig. 1 Decision process of packet retransmission and request mode

다음은 제안하는 조건적 ARQ 알고리즘의 각 단계별로 수행되는 구체적인 내용에 관한 것이다.

가. 재전송 요청 모드의 결정

단말 측에서 발견된 손실된 패킷에 대한 재전송 요청은 가용한 RTCP 피드백 채널 대역폭을 고려하여 결정되어야 한다. RFC3550 문서를 기반으로 구현된 RTCP 피드백 채널은 주기적인 송신자보고 (Sender Report)와 수신자보고(Receiver Report)를 통해 RTP 세션 품질 정보를 제공한다.^[2] RTCP 피드백 채널의 대역폭은 이 정보들을 이용하여 측정할 수 있다. 일반적으로 RTCP 피드백 채널의 대역폭은 RTP 채널 대역폭의 5%를 사용하도록 권장된다.^[2] 본 논문에서 제안하는 재전송 요청 모드는 Immediate 모드, Early 모드, Regular 모드로 구분된다. Immediate 모드는 서버에 손실 패킷에 대해 즉시 재전송을 요청한다. Early 모드는 재전송 요청 시점이 Immediate 모드보다 늦고, 다음 RTCP 패킷 송신 시점보다 빠르다. Regular 모드는 RTCP 패킷에 재전송 요청 정보를 포함한다. 재전송 요청 모드는 식 (1)의 결과에 따라 결정된다.

$$N \leq B \times T/R \quad (1)$$

N은 재전송 요청 이벤트의 개수(1로 고정), B는 RTCP 피드백 채널의 대역폭, T는 패킷 손실간격, R은 RTCP 평균 패킷 크기를 의미한다. 그림 2는 RTCP 피드백 시점에 따른 재전송 요청 모드를 나타낸다.

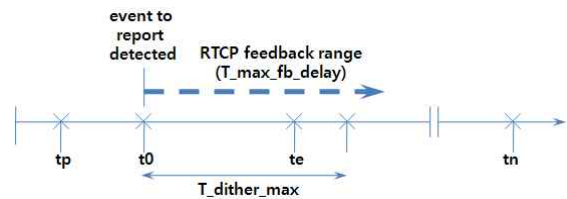


그림 2 RTCP 피드백 시점을 이용한 재전송 요청 모드 결정
Fig. 2 Decision of error report mode using RTCP feedback timing

tp는 이전 RTCP 패킷 전송 시점, tn은 다음 RTCP 패킷 전송시점이고, t0는 재전송 모드 결정 시점이다. t0에서 식 (1)을 만족하면 Immediate 모드로 결정된다. 만족하지 않으면 T_max_fb_delay를 계산하여 다음 RTCP 전송 시점인 tn과 비교한다. tn보다 작으면 Early 모드, tn보다 크면 Regular 모드로 결정된다.

T_max_fb_delay는 Early 모드와 Regular 모드를 결정하는 중요한 요소이다. 일반적으로 네트워크를 통해 영상을 전송하는 경우 영상 패킷을 저장하기 위한 버퍼가 존재한다. 순차적인 전송을 보장하지 않는 네트워크를 통해 수신된 패킷을 재정렬하여 디코더에 전달한다. ARQ를 사용하는 시스템의 경우 손실 패킷이 상위 버퍼에 전달되기

이전에 재전송 되어야 한다. 즉 $T_{max_fb_delay}$ 는 손실 패킷에 대한 재전송 요청이 유효한 허용 시간을 의미하며 식 (2)로 정의한다.

$$T_{max_fb_delay} = T_d - RTT \quad (2)$$

T_d 는 수신 버퍼의 마지막 패킷이 상위 버퍼에 전달될 때까지 걸리는 시간이고, RTT 는 round trip time이다. RTT 는 다음 절에서 자세히 설명한다. 위의 과정을 통해 재전송 요청 모드가 결정되면 망 상황을 고려하여 해당 재전송 요청의 유효성을 판단한다. 손실 패킷에 대한 재전송 패킷은 상위 버퍼로 전달되기 전에 수신되어야 한다. 클라이언트에서 재전송 요청에 대한 유효성 여부를 판단하여 유효시점 이후에 수신될 것으로 판단되는 요청은 무의미한 것으로 판단한다.

나. 재전송 요청 여부의 결정

망 상황을 고려하지 않고 손실 패킷에 대해 무조건적인 재전송 요청은 망의 부담을 가중시키고, 클라이언트의 성능에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 따라서 채널 대역폭 변동과 전송 지연 등에 의해 망 상황이 변동됨에 따라 재전송도 유연하게 요청되어야 한다. 본 논문에서는 클라이언트가 망 상황 변동에 따라 재전송 패킷의 RTT 시점이 유효시점 이후로 결정된다면 재전송 요청은 무의미함을 인지하고 포기하는 방법을 사용하였다. 재전송 요청에 대해 예측된 RTT 와 수신 버퍼에서 상위 버퍼로 패킷이 전달되는 시간을 비교한다. RTT 가 상위 버퍼 전달 시간보다 크면 해당 재전송 요청은 무의미한 것으로 판단한다.

그림 3은 일반적인 RTT 추정 방법을 나타낸다.

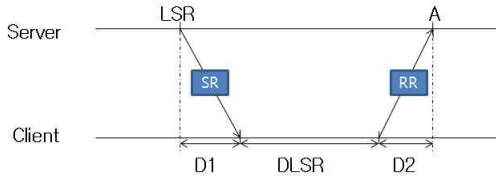


그림 3 일반적인 RTT 추정 방법
Fig. 3 Method of general RTT estimation

서버에서 SR 패킷을 송신하면 클라이언트는 그에 대한 응답으로 RR 패킷을 전송한다. 클라이언트는 SR 패킷을 수신한 다음 RR 패킷을 보내기까지 지연이 존재하고, RTT 는 식 (3)으로 계산할 수 있다.

$$RTT = D1 + D2 = A - LSR - DLSR \quad (3)$$

$D1$ 은 서버가 SR 패킷을 송신하고, 클라이언트가 수신하기까지 지연시간, $D2$ 는 클라이언트가 RR 패킷을 송신하고 서버가 수신하기까지 지연시간이다. A 는 서버가 RR 패킷을 수신한 시간, LSR 은 서버가 SR 패킷을 송신한 시간, $DLSR$ 은 클라이언트가 SR 패킷을 수신하고 RR 패킷을 송신하기까지 지연시간이다.

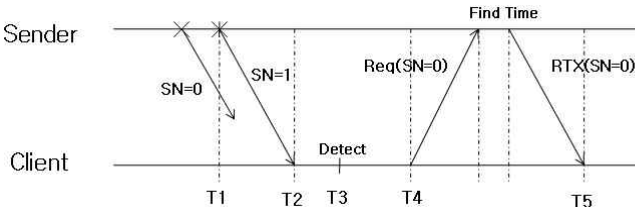


그림 4 멀티미디어 스트리밍에서 클라이언트의 RTT 측정
Fig. 4 Measurement of RTT estimation for client on multimedia streaming

그러나 위의 일반적인 방법은 단말이 SR 패킷을 송신하는 경우에 유효하다. 일반적인 멀티미디어 스트리밍 서비스는 서버와 클라이언트의 역할이 분명하게 구분된다. 클라이언트는 스트리밍 패킷을 수신하기 때문에 SR 패킷을 송신하지 않으며, 따라서 클라이언트에서 RTT

를 측정하기 위해 일반적인 방법을 적용하기에는 적합하지 않다. 그림 4는 멀티미디어 스트리밍 서비스에서 클라이언트가 RTT 를 측정하는 방법을 나타낸다. 클라이언트에서 RTT 는 재전송 요청 시점부터 재전송 패킷을 수신하기까지 지연 시간을 의미하고, 식 (4)로 정의한다.

$$RTT = T5 - T4 - Find\ Time \quad (4)$$

서버는 클라이언트의 재전송 요청을 수신하면 버퍼에 해당 패킷의 존재 여부를 확인 한 뒤 존재하는 경우에만 해당 패킷을 재전송 한다. Find Time은 서버가 재전송 요청 패킷의 존재 여부를 확인하는 시간을 의미한다. 그러나 이 방법은 재전송 패킷이 다시 손실 되면 RTT 를 측정할 수 없다는 단점이 있다. 클라이언트에서 정확한 RTT 를 측정할 수 있는 알고리즘은 보완되어야 한다.

다. 손실패킷 재전송

손실 패킷에 대한 재전송 요청이 유효하면 클라이언트는 서버에 재전송 요청을 한다. 서버는 Session-multiplexing과 SSRC-Multiplexing 두 가지 기법을 통해 손실 패킷을 클라이언트에 재전송한다.^[8] 전자는 기존 RTP 패킷 전송을 위한 세션과 별개의 재전송 세션을 이용하는 기법이고, 후자는 별도의 세션을 이용하지 않고 기존의 RTP 전송 세션을 이용하여 재전송 패킷을 전송하지만 SSRC 값을 변경하여 재전송 하는 기법이다.

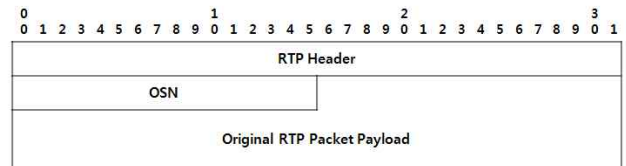


그림 5 재전송 패킷의 형식
Fig. 5 Syntax of retransmission packet

그림 5는 RFC4588 문서에 정의된 재전송 패킷의 형식을 나타낸다. OSN(Original Sequence Number) 필드가 추가된 것이 기존 RTP 패킷과 다르다.^[8] 클라이언트에서 재전송 패킷을 수신하면 OSN 필드의 값을 RTP 헤더의 Sequence Number 필드로 옮기고 OSN을 제거하는 과정이 필요하다.

4. 성능평가

구현된 시스템의 성능을 검증하기 위하여 RTT 사용여부, 재전송 요청 모드 결정 기법 사용 여부에 따라 각각 재전송 요청 패킷 수, RTT 에 따른 재전송 포기 패킷수, 최종 손실 패킷수, 전체 패킷 대비 최종손실 비율 등을 측정하였다. 버퍼의 크기는 모두 동일하게 하였다. 가상의 망 상황을 부여하기 위해 NIST-net 프로그램을 이용하였고, 망에 임의의 delay를 주어 RTT 에 의한 영향을 측정하였다.^[10]

버퍼의 크기가 작으면 상위 버퍼로 전달되는 시간이 짧아지므로 영상 서비스의 대기시간이 짧아지는 장점이 있다. 그러나 짧은 버퍼 크기로 인해 안정적인 송수신이 어려워진다. 수신 버퍼의 크기가 크면 안정적인 데이터 송수신이 가능하다. 그러나 상위 버퍼로 데이터가 전달되는 시간이 길어지므로 영상 서비스의 대기시간이 길어지는 단점이 있다. 버퍼의 크기와 영상서비스 대기시간은 Trade-off 관계에 있다.

그림 6은 패킷 손실률의 증가에 따른 Early 모드 요청 비율을 나타낸다. 패킷 손실률이 증가함에 따라 Early 모드도 증가함을 알 수 있다. 패킷 손실이 증가하면 재전송 요청이 증가한다. 그러나 짧은 시간

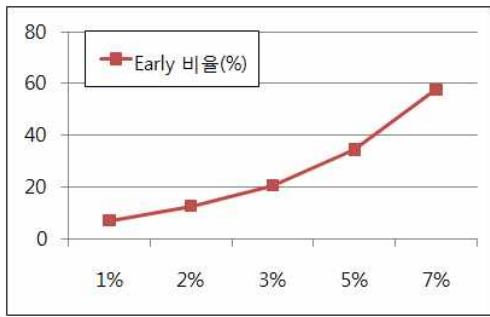


그림 6 패킷 손실률에 따른 Early 모드 재전송 요청 비율
Fig. 6 Early mode retransmission request ratio for each packet loss ratio

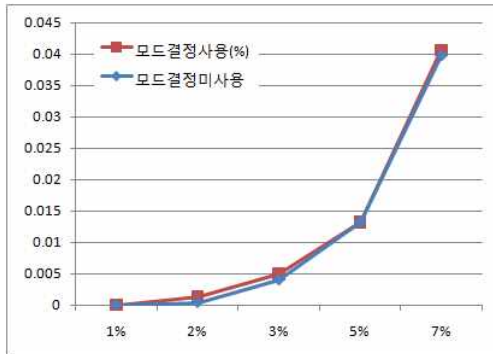


그림 7 모드 결정 여부에 따른 최종 손실률
Fig. 7 Final loss ratio for each mode decision

에 많은 양의 재전송 요청이 발생하면 망에 부담을 줄 수 있다. 따라서 즉각적인 재전송 요청을 하지 않고, 망 상황을 고려하여 Early 모드로 재전송 요청하는 것으로 판단 할 수 있다. 그림 7은 패킷 손실시 재전송 요청 모드 결정 여부 사용에 따른 최종손실률을 나타낸다. 재전송 요청 모드를 사용하지 않으면 모든 손실에 대해 Immediate 모드로 재전송을 요청한다. 그러나 무조건적인 Immediate 모드 재전송 요청은 망에 부담을 줄 수 있다. 모드 결정 기법을 사용한 최종손실률이 그렇지 않은 경우와 비슷한 것은 망에 부담을 주지 않는 선에서 재전송을 요청해도 오류 정정 효과는 큰 차이가 없다는 것을 의미한다.

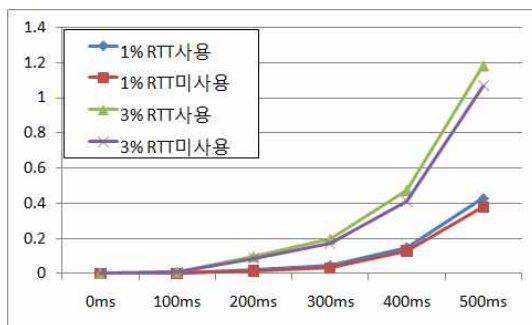


그림 8 RTT 사용 여부에 따른 최종 손실률
Fig. 8 Final loss ratio for either RTT using or not

그림 8은 RTT 값의 사용 여부에 따른 최종 손실률을 나타낸다. RTT 값을 사용하였을 경우 최종손실률이 미세하게 증가한 것을 알 수 있다. 이는 재전송 요청시 망 상황이 불량하여 RTT 값이 증가할 경우 재전송 요청을 포기하기 때문이다. 그러나 그래프에 보이는 최종 손실률의 차이는 성능상 큰 차이가 있음을 의미하지 않는다. 그림 8은 망상황을 고려하여 재전송 요청 모드를 결정하고, 재전송 요청을 실시할 것인가를 판단하는 알고리즘이 추가되어도 그렇지 않은 것과 비교하여 성능 차이가 거의 없다. 망 상황과 RTT를 고려하여 무의미한 재

전송 요청이라 판단되면 과감히 포기하는 알고리즘 특성상 성능 차이가 거의 없다는 것은 큰 의미를 가진다고 하겠다.

5. 결론

본 논문에서는 IP 망을 통한 비디오 전송에 효율적인 조건적 ARQ 기반의 오류제어 기법을 통하여 IP 기반의 패킷 네트워크에서 패킷 손실, 패킷 지연, 망의 대역폭 변화 등이 발생했을 경우에 대응할 수 있는 재전송 요청 모드 결정 방법 및 재전송 요청 여부를 결정하는 알고리즘을 제안하였다. 그리고 클라이언트에서 RTT를 추정하는 방법을 소개하고 성능을 분석하였다.

본 논문에 사용된 알고리즘은 유니캐스트 또는 작은 멀티캐스트 환경에서 사용 가능하다. 별도의 피드백 세션을 사용하기 때문에 효과적인 재전송 요청 및 재전송이 가능하다. 또한 망 상황에 적응적으로 대응하기 때문에 보다 효율적인 오류 제어가 가능하다. 실험 결과에서 현실적인 패킷 손실률 범위인 3% 이내의 낮은 패킷 손실률을 나타내는 IP망 전송 환경에서 높은 복구율을 얻을 수 있었다.

본 논문에서 제안한 기법은 일정 정도 지연이 허용되는 VoD와 같은 유니캐스트 서비스에 적합하다. 패킷 손실시 망 상황에 적응적인 재전송 요청이 이뤄짐으로써 향후 유니캐스트 환경 기반의 영상 서비스에 실용적으로 적용 가능하다.

6. 참고 문헌

- [1] 김재균, "영상통신시스템", pp.631-712, 영지문화사, 2000년 11월.
- [2] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications", IETF RFC 3550, IETF, July 2003.
- [3] H. Liu, H. Ma, M. Zarki, S. Gupta, "Error control schemes for networks: An Overview," Mobile Networks and Applications, vol. 2, no. 2, pp. 167-182, 1997.
- [4] F. Hartanto, H. Sirisena, "Hybrid error control mechanism for video transmission in the wireless IP networks," IEEE Workshop on Local and Metropolitan Area Networks, Sydney, Australia, Nov 1999.
- [5] F. Varcirca, A. Vendictis, A. Baiocchi, "Optimal design of hybrid FEC/ARQ schemes for TCP over wireless links with Rayleigh fading," IEEE Trans. Mobile Computing, vol. 5, no. 4, pp. 289-301, Apr 2006.
- [6] A. Li, "RTP Payload Format for Generic Forward Error Correction", IETF RFC 5109, Dec 2007.
- [7] 서광덕, 문철욱, 정순홍, 김진수, "SVC 비디오 스트리밍을 위한 복합형 전송 오류 제어 기법," 정보과학회논문지:정보통신, 제 36권, 제 1호, 2009년 2월.
- [8] J. Rey, D. Leon, A. Miyazaki, V. Varsa, R. Hakenberg, "RTP Retransmission Payload Format", IETF RFC 4588, IETF, July 2006.
- [9] J. Ott, S. Wenger, N. Sato, C. Burmeister, J. Rey, "Extended RTP Profile for Real-time Transport Control Protocol(RTCP)-Based Feedback(RTP/AVPF)", IETF RFC 4585, IETF, July 2006.
- [10] NIST-Net, Software provided by National Institute of Standards and Technology (NIST), <http://www-x.antd.nist.gov/nistnet>.