

인터넷에서 고품질 오디오 스트리밍 서비스를 위한 복합적 QoS 보장 기법

손주영[†], 유성일^{**}

요 약

인터넷을 기반으로 한 오디오 데이터 전송 시 발생하는 품질의 열화를 극복하여 고품질의 오디오 재생이 가능한, 고품질 오디오 스트리밍 서비스를 위한 복합적 QoS 보장 기법을 제안한다. 오디오 데이터는 연속성과 시간제약성을 가지고 있기 때문에 전송 시 통신망의 상황에 따라 그 재생 품질이 결정된다. 이때 필요한 QoS 보장 기법으로, 인터넷의 상황에 따라 동적으로 전송률을 가변시키면서 손실된 패킷의 재전송과 동적 버퍼 제어 기법을 복합적으로 적용하는 기법을 적용하였다. 클라이언트 내의 버퍼를 현재 망 상황에 따라 제어함으로써 재전송에 필요한 시간을 확보하고, 전송률도 함께 연동 조정하여 재전송에 따른 전송률 저하 현상을 방지한다. 실제 인터넷 환경에서 복합적 QoS 보장기법을 적용하여 고품질로 재생되는 오디오 스트리밍 서비스의 성능을 확인하였다.

A Hybrid QoS Guarantee Scheme for High-Quality Audio Streaming Services on the Internet

Jooyoung Son[†], Seong Il Liu^{**}

ABSTRACT

This paper describes a hybrid QoS guarantee scheme for high quality audio streaming services on the Internet. The continuous playback of the audio data requires the isochronous transmission of the audio data packet through the Internet. In order to retain the QoS at the ultimate destination (client) as the same as servers provide, the transmission protocols should consider the error conditions such as packet loss, and out of order delivery. Generally, the protocols supporting the transmission of continuous media data do not try to recover the errors. The protocols are working somehow for the toll quality multimedia streaming services, but not for the high quality streaming services, such as the DVD sound/music playback. The hybrid QoS guarantee scheme includes the three mechanisms to overcome the problem. The selective retransmission for the lost packet, the adaptive buffering at client-side, and the adaptive transmission rate at server-side are totally adopted to recover the packet loss with the minimal overhead, to prevent from the buffer starvation during the retransmission, and to maintain the isochronous transmission even after the retransmission. The experiments have shown good results for the high quality audio streaming services on the Internet.

Key words: Audio Streaming(오디오 스트리밍), QoS, Internet(인터넷)

※ 교신저자(Corresponding Author): 손주영, 주소: 부산시 영도구 동삼동 1번지(606-791), 전화: 051)410-4575, FAX: 051)410-4575, E-mail: mmlab@mail.hhu.ac.kr
접수일: 2003년 1월 21일, 완료일: 2003년 6월 5일
[†] 회원, 한국해양대학교 컴퓨터공학과 교수
^{**} 회원, 한국해양대학교 컴퓨터공학과 졸업(석사)
(E-mail: siyoo@kmce.hhu.ac.kr)
※ 이 논문은 한국해양대학교 BK21사업단 지원을 받았음.

1. 서 론

인터넷 사용자의 급격한 증가와 더불어 인터넷을 통한 오디오 데이터의 전송도 급격히 증가하는 추세이다. 전화통화 수준의 음성통신은 물론이고, Hi-Fi 스테레오 FM 라디오 방송의 실시간 중계, 온라인 교향악 콘서트 중계, 그리고 주문형 돌비 5.1 채널 오디오

오 서비스 등 고품질 오디오 서비스가 요구되고 있다. 오디오는 특성상 최종 사용자 단에서 재생되는 서비스 품질(QoS : Quality of Service)이 매우 중요하다. 인간은 비디오보다 오디오에 더 민감하기 때문이다[1]. 인터넷에서 오디오 스트리밍 서비스를 하기 위해서는 적게는 초당 56Kbits에서 1.4Mbits의 오디오 데이터를 지속적(continuous)으로 전송해야 한다. 많은 양의 오디오 데이터를 지속적으로 시간제약성에 맞추어 전달하는 과정에서 패킷 손실, 패킷 지연, 잘못된 순서로 도착하는 현상이 발생할 수 있으며, 이러한 현상의 정도에 따라 최종 사용자 단에서의 QoS가 결정된다.

인터넷에서 결함 없는 데이터 전송을 위한 TCP는 slow-start, ACK전송과 재전송으로 인해 스트리밍 서비스의 시간제약성을 만족하지 못한다[6]. 그러나 오디오 스트림을 전송하는 데 일반적으로 사용되는 UDP는 신뢰성 있는 데이터 전달을 보장하지 않으며 전송 에러에 대한 정보도 제공하지 않는 문제를 가지고 있다[2]. 특히, 전송 에러 가운데 패킷 손실에 의한 수신측 재생 음질 저하현상이 주로 발생한다. 이 현상은 일반적인 전화 음질(toll-quality) 서비스인 경우에는 사용자에게 감지되어도 크게 문제가 되지 않으나 고품질 오디오 서비스인 경우에는 현장감의 저하로 이어져 전체 서비스 불만 요인이 된다. 이 문제를 해결하기 위한 대표적인 기법으로 부가전송이나 피드백 제어 기법들이 제시되어 있다[3,4]. 이 기법들의 공통적인 특징은 패킷 손실에 대해 수신측이 주도적으로 수행하는 부분적인 에러 복구 방법이다. 부분적인 에러 복구 방법에 의하면 수신측이 완전한 데이터 수신을 보장하지 못한다. 이에 따라 본 논문에서는 RTP/UDP를 이용한 고품질 오디오 스트리밍 서비스에서 서버에서 제공하는 오디오 데이터 고유의 품질과 동일한 품질로 클라이언트에서의 재생 품질을 보장하는 복합적 QoS 보장 기법을 제안한다. 복합적 기법에는 세 가지 기법이 상호 보완적으로 동작한다.

첫째, 전송 중에 손실된 패킷을 선택적으로 재전송하고, 둘째, 재전송에 의해 발생될 수 있는 오디오 데이터의 전송 동시성(isochronous transmission) 결손을 보장하기 위해 수신측 버퍼를 동적으로 할당하여 재전송에 필요한 시간을 확보한다. 셋째, 서버측에서 전송률 제어를 함께 시행하여 재전송 이후

전송률 저하 현상을 막는다. 복합 QoS 기법이 실제 인터넷 상에서 운용되는 데 결정되어야 하는 파라미터(전송률, 에러에 의한 재전송률, 클라이언트에서 유지해야 하는 버퍼크기)를 얻기 위해 실제 인터넷에서 많은 실험을 통해 도출하였다. 실험 결과, Perkins 등이[11]에서 밝힌 2~5%의 인터넷 전송 손실률을 실험 대상 인터넷에서 약 5% 내외로 확인하였고, 전송 왕복시간도 2홉을 거치는 실험에서 약 5.3ms로 밝혀졌다. 이를 기반으로 제안된 복합적 QoS 보장 기법에서 규정해야 하는 전송률과 재전송에 따른 버퍼량, 전송률 변화율을 도출하였다. 오디오 스트리밍 서비스 서버와 클라이언트 시스템을 실제 구현하여, 인터넷에서 운용하고 성능을 측정하였다. 실험 결과에 의해 낮은 전송률과 버퍼량으로 고품질 오디오 스트리밍 서비스의 품질이 완벽하게 보장되는 것을 확인할 수 있었다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 인터넷에서의 오디오 재생 스트리밍 서비스에서 QoS를 보장하기 위한 기존의 연구 내용을 살핀다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 복합적 QoS 보장 기법을 자세하게 설명한다. 4장에서는 서버와 클라이언트 시스템을 구현하여 실제 인터넷에서 적용한 실험 결과를 보이며, 마지막으로 5장에서 향후 연구 방향과 결론을 내린다.

2. 관련 연구

인터넷 상에서 전송되는 데이터는 주로 이진(binary) 파일이나 텍스트 형태의 데이터이며 수신측에서 완전히 수신한 후 보여주는 다운로드 방식이 주를 이루고 있다. TCP/IP 기반의 데이터 전송에서는 프로토콜(protocol) 자체의 에러 처리 방법에 따라 에러 없는 데이터의 수신과 재생이 가능하다. 그러나 TCP 전송 프로토콜은 예측할 수 없는 지연시간 등의 특성에 의해 멀티미디어 데이터의 스트리밍 전송에 적합하지 못하다[2,6]. 오디오 스트리밍 서비스는 데이터의 수신과 동시에 재생이 진행된다. 다운로드 방식은 전송하고자 하는 데이터가 이미 만들어져 저장된 것이지만, 스트리밍 방식은 인터넷 방송, 스포츠 중계와 같이 실시간으로 발생하는 데이터를 전송, 재생할 수 있으며 최근 대두되고 있는 멀티미디어 데이터의 저작권에 관련된 문제도 해결할 수 있는 장점이

있다. 인터넷 스트리밍 서비스는 서버의 저장 기술, RTP, RTSP, RSVP 등 전송 프로토콜 기술, 그리고 멀티미디어 데이터의 압축 해제, 복원, 재생 기술에 의해 가능하게 되었다[6-10]. 대표적인 상업적 기술로는 넷스케이프사의 LiveMedia 기술, 마이크로소프트사의 WMT(Windows Media Technology), 그리고 리얼네트웍사의 Helix 기술 등을 들 수 있다.

멀티미디어 데이터를 전송하는 프로토콜은 UDP 전송 프로토콜 상위에 RTP와 같은 응용계층 프로토콜을 사용한다. 이 경우 수신자는 2~5%의 패킷 손실을 경험한다[11]. 이 패킷 손실로 인해 재생 품질 저하 현상이 발생하는데, 이를 극복하기 위해 여러 가지 에러 복구 방법이 제안되어 있다.

멀티미디어 데이터 전송시 손실된 패킷을 수신측에서 복구할 수 있도록 부가 정보를 후속 패킷에 추가하여 보내는 부가전송(redundant transmission) 방식이 있다[3]. 추가지연 없이 패킷 손실에 대한 복구 정보를 제공하여 전방위 에러수정(forward error correction)이 가능한 장점이 있는 반면, 이미 전송한 패킷에 대한 부가정보를 다음 패킷에 추가함에 따라 전송량 증가가 요구되는 단점을 가진다[13].

재전송(retransmission) 방식은 중단간의 지연시간이 짧고 패킷 손실률이 적은 경우 사용이 가능하며 손실된 패킷을 복구하는 가장 확실한 방식이다[11]. 생방송 오디오 스트림 전송에는 사용되지 않는다. 재전송된 데이터가 재생 시각이전에 수신측에 도착하지 않을 수 있기 때문이다.

수신측에서 수신도중 손실된 패킷 부분을 무음이나 특정 잡음(noise)으로 대체하여 연속적인 재생을 하는 삽입기반 복구 방법이 있다[11]. 부가 전송이나 재전송으로 인한 부담은 발생하지 않으나 손실된 패킷에 대한 복구가 전혀 이루어질 수 없기 때문에 재생품질이 현저히 저하되는 단점이 있다.

송신측과 수신측간의 사용 가능한 대역폭 상태에 대한 수신측의 피드백 정보 전달 빈도수를 조절함으로써 전송률을 조절하는 흐름제어 기법은 대역폭의 부하가 적을 경우 피드백 빈도수를 적게 하고 혼잡 상태일 때는 빈도수를 많게 하여 통신망의 현재 상태를 송신측이 최대한 빨리 파악하도록 전송률을 조절한다[9]. 송수신측간의 피드백을 통한 대역폭의 효율적 사용이라는 장점이 있으나, 통신망이 혼잡할 때, 상황의 즉시 인지를 위해 피드백 빈도수를 늘리는

것은 통신망 트래픽의 증가를 더욱 초래하여 현실성이 없는 단점이 있다.

수신측의 주기적 피드백 정보에 의해 송신측에서 부호화 방법과 전송률을 제어하는 방법은 적절한 피드백 정보를 통해 전송 제어 효과를 얻을 수 있으나, 주기적인 피드백 정보만으로는 수신측의 상태를 즉각적으로 피드백할 수 없으며 수신측 버퍼 고갈이나 오버플로우 현상이 나타날 수 있다[4,14].

3. 복합적 QoS 보장 기법

복합적 QoS 보장 기법은 세 가지 기법으로 구성된다. 첫째, 손실된 패킷에 대한 선택적 재전송, 둘째, 클라이언트 버퍼의 동적 할당, 셋째, 서버에서의 전송률 동적 제어 등이다. 컴퓨터 통신망에서 여러가난 패킷을 재전송하는 대표적 기법으로 정지대기(stop-and-wait), 후진-N(Go-Back-N), 그리고 선택적 재전송(Selective Repeat) 등이 있다. 정지대기 기법은 각각의 전송된 패킷에 대한 응답을 받음으로 네트워크 대역폭 낭비가 극심하며[15], 후진-N 기법은 손실 발생시 손실되지 않은 패킷도 전송함으로써 대역폭의 낭비 및 실시간성을 만족하기에 부적절한 점이 있다[15]. 선택적 재전송 방법은 인터넷에서 신뢰성 있는 전송을 보장하는 TCP에서 사용하는 재전송 방법이다[15]. 3.2절의 기초실험 결과에서 재전송에 소요되는 왕복시간은 극히 짧은 시간(약 5ms)임을 확인할 수 있으며, 손실 패킷 재전송에 요구되는 비용면에서 선택적 재전송 기법이 가장 적은 것으로 나타나있다[15,16]. 따라서 본 논문에서는 TCP에서의 흐름제어 및 재전송 방법에 사용되는 선택적 재전송 기법을 RTP/UDP 기반 오디오 데이터 전송의 재전송 기법으로 채택한다.

클라이언트 버퍼 동적 할당 기법은 송신측과 수신측의 초기 세션(session) 연결시 왕복시간을 측정하여 왕복시간동안 재생할 수 있는 크기만큼의 버퍼 공간을 할당하는 기법이다. 이를 통해 송수신측간의 네트워크 상태를 고려한 수신측 버퍼 크기 할당을 통해 버퍼공간의 낭비를 최소화할 수 있을 뿐만 아니라 손실된 패킷의 재전송에 소요되는 시간을 보장 받을 수 있다.

서버에서의 전송률 동적 제어 기법은 송신측에서 일정한 패킷 간격으로 전송한 RTP/UDP 패킷이 수

신측에 일정한 간격으로 도착하지 않는 경우에 발생할 수 있는 수신측 버퍼 고갈(starvation)이나 오버플로우(overflow) 현상을 막기 위한 것이다. 수신측 버퍼의 상태와 동적인 왕복시간을 지속적으로 모니터링 하여 측정하고 그 상황에 따라 송신측에 현재 전송되고 있는 패킷들의 간격 조절 요청을 통해 전송률을 동적으로 제어한다.

3.1 선택적 재전송

클라이언트는 서버로부터 수신된 패킷에 대해 RTP 헤더의 순서번호를 확인한다. 만약 연속해서 수신된 패킷의 순서번호가 연속적이지 않은 경우, 연속적이지 않은 패킷 크기만큼 버퍼 공간을 채우지 않고 버퍼링을 진행한다. UDP를 기반으로 하는 프로토콜의 경우 패킷 도착의 순서가 보장되지 않음으로 재전송 요청 이전에 패킷이 도착할 수도 있기 때문이다.

재전송 요청 시점은 비어있는 버퍼 공간 직전까지 재생하는 데 소요되는 시간(t)이 왕복시간에 해당하는 시간이 되었을 시점($t \approx RTT$)이다(그림 1). 왕복시간은 재생 서비스가 계속되는 동안 주기적으로 측정된다. RTCP의 RR(Receiver Report)과 이에 따른 서버의 SR(Sender Report) 메시지를 활용한다. 측정된 왕복시간 샘플을 이용하여 최종 왕복시간은 지수평 균을 구하여 계산한다[15].

재전송 요청 시점 이전에 도착하는 패킷은 비어있는 공간에 채워진다. 재전송 요청은 RTCP의 RR 메시지를 통해 이루어지고 재전송 성공시 버퍼 내의 비어있는 공간에 채워진다. 그림 2는 선택적 재전송

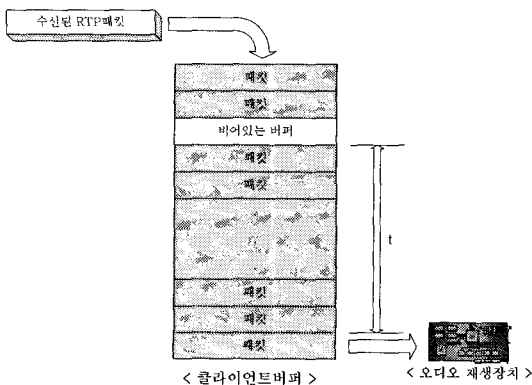


그림 1. 재전송 요청시점

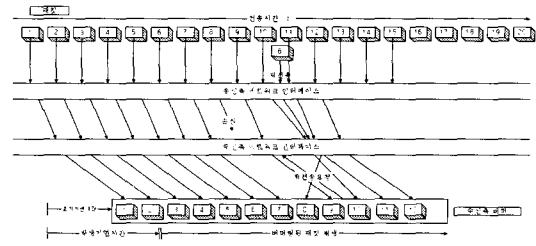


그림 2. 재전송 발생시 수신측 버퍼상태 변화

에 의해 나타날 수 있는 클라이언트의 버퍼 상태를 모식화한 것이다.

클라이언트에서는 초기 버퍼링 시간동안 지연이 발생하며 이 지연시간은 서버와 클라이언트 사이의 왕복시간동안 재생되는 데이터의 양을 기초로 한다. 초기지연시간 이후 버퍼링된 패킷들을 재생하기 시작한다. 그림 2에서 서버에서 전송하는 RTP 패킷 중 8번 패킷이 손실이 발생한 경우 클라이언트에서는 8번 패킷 크기에 해당하는 버퍼공간 만큼을 채우지 않고 다음 패킷의 버퍼링을 진행한다. 9번 패킷 이후에 패킷의 손실이 확인되었고 8번 패킷까지의 재생 시간이 왕복시간에 해당하는 시간이 되었을 경우 클라이언트에서는 재전송을 요청한다. 서버에서는 8번 패킷의 재전송 요청이 발생하였을 때 10번과 11번 패킷의 정상적인 패킷 간격 사이에 손실된 8번 패킷을 전송한다. 클라이언트에서는 비어있는 버퍼 공간에 8번 패킷을 할당하게 되므로 모든 RTP 패킷이 마감시간 이전에 클라이언트에 수신하게 되어 완전한 재생 품질을 유지한다.

3.2 클라이언트 버퍼 동적 할당

송신측에서 전송된 패킷이 수신측에 손실 없이 도착할 수 있는 이상적인 네트워크 환경일 경우에는 수신측 버퍼 소모율, 즉 재생률을 r 이라 두고, 송신측 전송률을 s 라고 할 때 송신측 전송률과 수신측 소모율은 식 (1)과 같이 되어야 한다.

$$s = r \tag{1}$$

그러나 실제 인터넷상에서 전송되는 RTP/UDP 기반의 데이터는 송신측에서 일정 간격으로 패킷을 전송하여도 각 패킷의 전송지연 시간의 가변성(jitter)이 있기 때문에 수신측에 도착하는 패킷의 간격은 가변적이다. 이로 인해 전송동시성이 유지되지

못하는 현상이 발생할 수 있다. 수신측에서는 가변적인 패킷 도착 시간을 극복하기 위해 버퍼를 가져야 하며 그 버퍼 크기는 송수신측 간의 네트워크 상태를 고려하여 동적으로 조절되어야 한다.

송신측과 수신측이 처음 세션을 연결할 때 그 당시의 왕복시간을 고려하여 클라이언트 초기 버퍼 크기를 결정한다. 클라이언트 초기 버퍼 크기는 송신측과 수신측간 왕복시간동안 재생되는 오디오 데이터의 양과 동일한 값을 가지게 된다. 단독 패킷 에러가 발생할 상황에 대비하여 반드시 만족되어야 하는 최소 초기 버퍼 크기 B 는 식 (2)와 같다.

$$B = \text{재생률} \times \text{왕복시간 (bit)} \quad (2)$$

B bits의 데이터를 수신하는 도중 패킷이 손실될 수 있으며 이에 대한 재전송에 소요되는 시간을 감안할 때, 수신측의 버퍼는 최소 버퍼 크기보다 커야 한다. 한 개의 패킷이 전송되는 중에 에러가 날 확률을 P 라 할 때 B 를 채우기 위해 서버가 전송하는 전송량 T 는 식 (3)과 같다[15].

$$T = B / (1-P) \text{ (bit)} \quad (3)$$

서버에서 한 패킷이 에러가 난 경우, 전송량의 증가가 초래됨으로써 재전송 후에는 전송률이 상향 조절되어야 클라이언트의 버퍼를 적어도 초기버퍼크기 이상으로 유지할 수 있다. 이에 따라 클라이언트의 버퍼량이 일시적으로 증가하는 현상이 발생할 수 있으나, 곧 이은 전송률 하향 조절로 버퍼량의 증가 현상을 없앨 수 있다.

3.3 전송률 동적 제어

전송률 동적 제어 기법은 송신측에서 전송하는 패킷 간격을 수신측의 요청에 의해 조절하는 기법이다. 수신측에서 송신측에 대한 전송률 조정 요청 시점은 수신측의 버퍼 모니터링과 동적인 왕복시간 측정을 통해 알 수 있다[17,18]. 수신측에 도착한 패킷까지의 버퍼 내 데이터 재생 시간이 왕복시간보다 짧은 경우에 전송률 증가 요청을 한다. 반면 수신측 버퍼 내 데이터 재생시간이 왕복시간보다 긴 경우에는 전송률 감소 요청을 한다. 전송률의 증가 또는 감소는 송신측에서 전송하는 패킷 사이의 간격을 수신측에서 요청한 ms 단위의 패킷 간격 조정 요청을 통해 이루어진다. 증감의 정도는 아래 표에 의거하여 이루어진

다. 송신측에서 현재 전송중인 패킷의 간격을 1 ms 조절할 경우 단위시간당 수신측에 도착하는 패킷의 수는 달라지며, 수신측 버퍼량은 점진적으로 증가 또는 감소한다. 표 1에 대한 패킷 수 변화와 클라이언트 버퍼량 변화 예측치를 보인다(3.4절의 표 2 참조).

송신측에서 전송하는 패킷 간격을 1 ms 조절할 경우 320 Kbps에서는 1초 동안 13,213 bytes의 버퍼량 변화를 보이며 전송률이 가장 낮은 20 Kbps에서는 52 bytes의 버퍼량 변화를 보였다. 전송률이 높을수록 단위시간당 변화하는 버퍼량이 커지며 전송률이 낮을수록 단위시간당 변화하는 버퍼량이 작아진다.

수신측 동적인 전송률 조절 요청 이외에 재전송 요청이 발생한 경우 송신측은 기존의 전송하는 패킷과 재전송이 요청된 패킷을 전송하게 된다. 재전송이 요청된 패킷은 기존의 패킷 간격 이내의 시간에 전송이 이루어지며, 순간적으로 송신측에서의 재전송 요청시 패킷 간격은 기존 패킷 간격에 비해 절반 이하의 간격으로 좁아진다(그림 3).

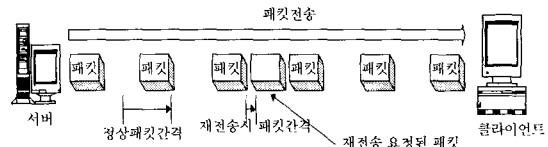


그림 3. 재전송시 패킷 간격

이는 수신측에서는 비어있는 버퍼를 채우는 것일 뿐, 기본적인 전송률의 변화가 아니므로 수신측 버퍼는 일정 크기를 유지할 수 있다. 수신측은 재전송이 완료되었을 경우 버퍼 내의 비어있는 공간을 재전송된 패킷으로 대체한다. 이것은 재전송 패킷의 재생 마감시간 이전에 모두 완료되어야 한다.

표 1. 1 ms 간격조절에 의한 패킷수와 버퍼량 변화

| 전송률 (Kbps) | 패킷 크기 (Bytes) | 패킷 간격 1ms 좁힘/넓힘 | |
|------------|---------------|-----------------|----------------------|
| | | 1초간 증가/감소 패킷수 | 1초간 증가/감소 버퍼량(bytes) |
| 320 | 128 | 103.2 | 13213 |
| 256 | 128 | 65.6 | 8403 |
| 128 | 128 | 16.4 | 2101 |
| 96 | 128 | 9.2 | 1182 |
| 56 | 128 | 3.1 | 403 |
| 32 | 128 | 1.03 | 132 |
| 20 | 128 | 0.4 | 52 |

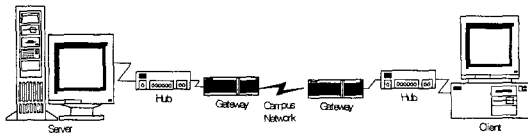


그림 4. 기초실험 환경

3.4 제안기법 타당성 실험

본 논문에서 제안하는 복합적 QoS 보장 기법이 실제 인터넷 환경에 적용 가능한지 여부를 판단하기 위해 기초 실험을 실시하였다. 실험은 재전송에 의한 QoS 보장 기법과 클라이언트 측의 동반되는 동적 버퍼링 기법 그리고 서버 측의 동적인 전송률 제어 기법의 성능과 관련이 깊은 인터넷 전송 특성을 조사하는 것이었다.

실험 환경은 RTP 패킷을 전송하는 서버와 패킷을 수신하는 클라이언트를 각각의 허브에 접속하여 인터넷을 경유하도록 하였다(그림 4). 서버와 클라이언트는 서로 다른 서브넷에 속하는 IP 주소를 가지고 있으며 각 서브넷의 게이트웨이를 경유하여 패킷을 전송하였다. 서버 측에서 전송된 RTP 패킷은 서버가 속해 있는 네트워크의 게이트웨이를 경유하여 클라이언트가 속해 있는 네트워크의 게이트웨이에 도착하여 클라이언트로 전달된다. RTP 패킷은 총 2개의 게이트웨이를 경유하여 전송되었다.

첫 번째 실험 내역은 인터넷 상의 패킷 손실률이다. 이는 재전송 빈도 수와 비례하므로 재전송에 따른 추가적인 부하 정도를 예측할 수 있다. 이를 위해 RTP/UDP 데이터를 사용하여 시간대별 손실률을 측정하였다. 서버에서 128 bytes의 크기를 가지는 100, 200, 그리고 1000개의 RTP 패킷을 256 Kbps 속도로 연속적으로 전송한 후 클라이언트에 도착한 패킷 개수를 측정하였다. 실험은 3일에 걸쳐 오전 10시부터 오후 4시까지 시행되었다. 실험 결과, 오전 11시부터 패킷 손실이 급격히 증가하여 오후 4시 이후에 점차 손실률이 줄어들어 인터넷에 패킷이 집중되는 시간대에 RTP 데이터의 손실도 함께 증가함을 타나내었다. 최대 손실률은 오후 1시에 700개의 패킷을 연속해서 전송하는 경우에서 4.48%로 나타났고, 최소 손실률은 오전 11시에 200개의 패킷을 연속해서 전송하는 경우에 0.1%로 나타났다. 평균 손실률은 4.2%이다. 이 값은 손실된 패킷을 재전송하는 경우 발생하는 트래픽의 증가량으로 볼 수 있다. 전체

RTP 패킷의 약 5%에 대한 재전송으로 완전한 데이터 전송이 가능하게 되므로, 서버에서 제공되는 오디오 품질이 열화 없이 그대로 클라이언트에서 재생될 수 있음을 알 수 있다.

두 번째 실험은 재전송에 소요되는 시간에 관한 것이다. 오디오 데이터의 특성상 재전송에 기반하여 완전한 데이터를 수신한 경우라도 재생되어야 할 시점 이후에 클라이언트에 도착하였다면 의미가 없다. 실험 방법은 클라이언트의 RTP 패킷 재전송 요청 시점에서부터 요청된 패킷이 서버에서 전송되어 클라이언트에 도착하는 시점까지의 소요 시간, 즉 왕복 시간(RTT : Round Trip Time)을 24시간에 걸쳐 조사하였다. 매 1시간당 5분 간격으로 12번 측정하여 평균한 결과를 구했다. 측정된 왕복시간은 오후 1시부터 오후 2시까지 최대 5.3 ms, 오전 9시부터 오전 10시 사이에 최소 4.4 ms로 나타났다. 전체적으로 4~6ms가 소요되었다. 이를 통해, 클라이언트 버퍼 크기가 전송률이 128Kbps인 경우 98 bytes, 256Kbps인 경우 196 bytes이면 선택적 재전송에 의해 패킷 손실에 대처할 수 있음을 알 수 있다.

세 번째 고려한 것은 전송률이다. 한번에 전송되는 패킷의 크기에 따라 서버에서 전송하는 데이터에 대한 패킷과 패킷사이 간격이 달라진다. 패킷 크기를 일정하게 하였을 때, 오디오 데이터의 다양한 전송률을 유지하기 위해서 패킷 간격은 달라진다. 표 2는 다양한 재생률(전송률)을 가지는 오디오 데이터를 전송하기 위해 패킷 크기를 128 bytes로 고정할 경우 각 재생률에 따른 패킷 간격을 나타낸다.

표 2. 전송률에 따른 패킷 간격

| 전송률 (Kbps) | 샘플링률 (Hz) | 채널 | 패킷 크기 (Bytes) | 패킷 간격 (ms) |
|------------|-----------|--------|---------------|------------|
| 320 | 44100 | Stereo | 128 | 3.125 |
| 256 | 44100 | Stereo | 128 | 3.906 |
| 128 | 44100 | Stereo | 128 | 7.812 |
| 96 | 44100 | Stereo | 128 | 10.416 |
| 56 | 22050 | Stereo | 128 | 17.857 |
| 32 | 11025 | Stereo | 128 | 31.25 |
| 20 | 11025 | Stereo | 128 | 50 |
| 64 | 8000 | Mono | 128 | 15.625 |

위의 결과를 종합할 때, 128 Kbps의 stereo 수준의 오디오 데이터는 단독으로 손실된 패킷에 대한 재전

송인 경우에는 수신측에서의 버퍼링 없이도 시간 제약성을 만족시키는 것을 볼 수 있다[4]. 그러나 그보다 나은 품질의 오디오 데이터는 단독 손실 패킷에 대해서도 재생 QoS에 영향을 받으며 더 나쁜 환경에서는 품질 열화가 충분히 예견된다. 이를 극복하기 위하여 본 논문에서 제시하는 복합적 QoS 보장 기법이 적용된다.

4. 성능 실험 및 결과

동적인 버퍼를 동적으로 할당할 수 있는 클라이언트와 선택적 재전송과 동적으로 전송률 제어가 가능한 서버 프로그램을 설계, 구현하여 RTP 패킷 트래픽을 모니터링 하였다. 서버와 클라이언트 프로그램은 Windows 2000 운영체제 상의 Win32 SDK를 사용하여 C언어로 제작되었다. 그림 4의 기초실험 환경에서 서버에서 클라이언트로 RTP 데이터 전송 중에 재전송 소요시간 측정과 클라이언트 버퍼의 고갈 현상을 확인하기 위해 재전송 완료시 버퍼내의 남은 데이터량을 측정하였고, 클라이언트 버퍼량 변화를 추적하였다. 오디오 데이터를 서버에서 클라이언트로 RTP 패킷으로 만들어 전송하면서 클라이언트의 버퍼량을 측정하였다. 오전 10시부터 오후 4시 사이에 30분 간격으로 서버에서 128 bytes 크기의 RTP 패킷 100개를 128Kbps 속도로 클라이언트로 전송하는 실험을 하였다(그림 5).

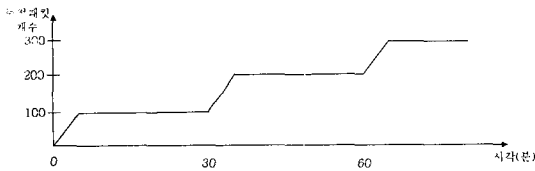


그림 5. 전송 패킷 수 누적 패턴

4.1 재전송 소요시간

전송도중 패킷 손실이 발생할 수 있으며, 이때 재전송 소요시간은 클라이언트에서 재전송 요청 패킷을 전송하는 시점부터 서버로부터 재전송된 패킷이 클라이언트에 전송 완료되는 시점까지이다. 클라이언트에서 손실된 패킷 확인 후 재전송 요청에 소요되는 시간은 포함되지 않은 시간이며 실제 인터넷 환경에서는 클라이언트에서 재전송 요청에 소요되는 처

리시간을 합한 만큼의 재전송 소요시간이 필요하다. 그림 6에 손실된 패킷에 대한 재전송 소요시간을 나타내었다.

재전송에 소요되는 시간은 클라이언트가 서버로 재전송 요청 패킷이 전달되는 시간과 요청된 패킷을 서버에서 클라이언트로 전송하는 데 소요되는 시간의 합이다. 실험 결과 재전송 소요시간은 최소 15.1 ms에서 최대 19.8 ms로 나타났다. 3.4절 기초실험에서 측정된 왕복시간 4ms~6ms 보다는 약 11.1ms~13.8ms 시간이 더 소요되는 시간이다. 이는 서버에서 클라이언트로부터 재전송 요청된 패킷을 확인 후 재전송하기 위해 소요되는 처리시간이 더해지기 때문이다. 서버에서는 재전송 요청된 패킷을 재전송하는데 약 12ms의 일정한 시간을 소요하지만 클라이언트의 재전송 요청에 소요되는 처리시간과 동적인 왕복시간을 기준으로 한 재전송 요청시점으로 인해 클라이언트의 버퍼크기는 재전송에 소요되는 시간동안 재생되는 데이터양보다 커질 수 있다.

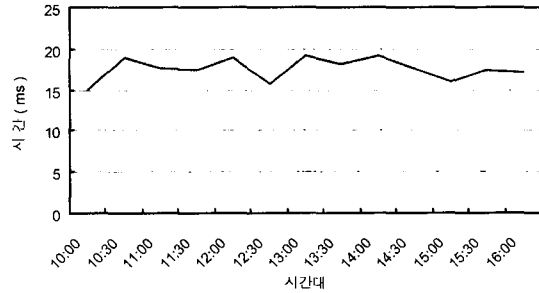


그림 6. 재전송 소요시간

4.2 재전송 완료시 버퍼 내의 남은 여유시간

실제 인터넷 환경에서 측정된 전체 전송 시간에서 재전송이 발생하였을 때 재전송 완료시 클라이언트 버퍼 내의 남은 재생시간을 그림 7로 나타내었다. 그림 7은 재전송 완료시 클라이언트 버퍼 내의 재전송이 요청된 패킷 직전까지의 데이터 양을 데이터 재생률을 근거로 시간 값으로 표현한 것이다. 송신측과 수신측의 왕복 시간을 기준으로 한 동적인 버퍼 할당은 데이터 전송시 네트워크 상황을 고려한 것이다. 이와 더불어 전송률을 동적으로 제어함으로써 그림 7의 결과와 같이 버퍼 내의 데이터의 양을 일정하게 유지할 수 있다. 재전송 완료시 재전송 요청된 패킷 직전까지의 버퍼 내의 데이터 재생 여유 시간이 110

ms~130 ms로써 재전송 요청된 패킷이 재생 시점 이전에 도착함을 알 수 있다.

또 다른 실험으로, 128 Kbps 이상의 전송률에 대하여 수신측 버퍼의 재생되지 않은 데이터 양을 확인하기 위해 수신측 버퍼 내의 남은 재생시간이 가장 적은 시간대인 오후 12시부터 오후 2시까지 각각 128Kbps, 256Kbps 그리고 320Kbps 전송률로 2분간 재생할 수 있는 데이터를 전송하였을 때 재전송 요청 시 패킷 간격 변화(전송률)를 확인하기 위해 전송되는 패킷 간격을 측정하였다. 그리고 동시에 수신측의 재생되지 않은 버퍼량의 변화를 실험하였다.

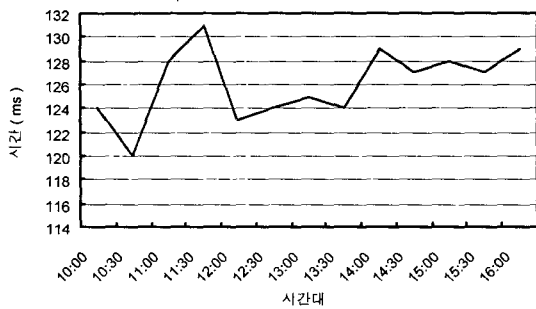


그림 7. 재전송 완료시 버퍼내의 남은 여유시간

4.3 재전송시 패킷 간격 변화

클라이언트에서 수신되는 패킷사이 시간 간격을 측정하였다. 그림 8에 정상적인 패킷과 재전송 요청에 의해 수신되는 패킷 사이의 간격을 나타내었다.

그림 8의 결과, 전송률에 관계없이 재전송 발생시 수신측에 도착하는 패킷 간격이 최소 1.1ms~최대 1.23ms로 좁아짐을 알 수 있다. 이는 일시적으로 정상적인 패킷과 재전송된 패킷이 연속적으로 클라이언트에 도착하는 경우를 나타낸다. 이후 정상적인 패

킷 간격이 일상적인 간격으로 회복하지만, 회복되는 초기에는 간격이 약간 좁아지는 현상을 볼 수 있다. 이는 재전송 후 서버 측의 전송률 조절로 전송률이 약간 높아짐으로써 패킷 간격이 좁아진 점을 나타낸다.

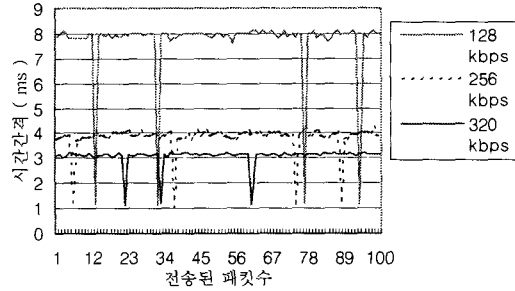


그림 8. 전송 패킷 간격 변화

4.4 클라이언트 버퍼량 변화

4.3절의 간격 측정과 동시에 클라이언트 버퍼크기 변화를 측정하였다. 이를 통해 오디오가 재생되는 동안 항상 RTT 시간보다 상회하면서 가장 최적의 버퍼량이 클라이언트에 유지되는 것을 확인할 수 있고 재생품질의 열화현상이 전혀 발생하지 않음을 알 수 있는 것이다. 그림 9는 재생시간 기준으로 클라이언트 버퍼크기 변화를 보인다. 초기 버퍼링 이후부터 재생이 시작되며 재생 이후 클라이언트 버퍼량이 최소 1821 bytes~최대 2195 bytes로 유지하는 것을 확인할 수 있다. 2분간의 재생이 되는 동안 재전송 요청/완료 과정이 반복되었다. 재생률에 따라 약간의 버퍼량 차이를 보이는데 재생률이 높을수록 시간에 따른 버퍼량의 변화가 크게 나타난다. 이는 전송률이 높아짐에 따라 패킷 사이 간격이 좁아지며 가변적인 네트워크 상황에 의해 패킷 도착시점이 일정하

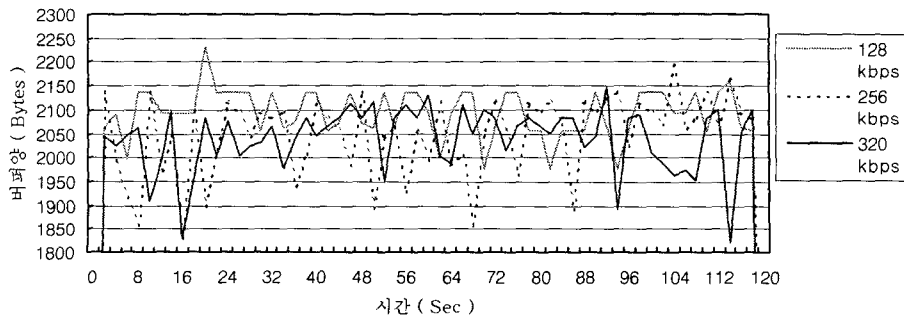


그림 9. 클라이언트 버퍼량 변화

지 않기 때문이다. 그러나 스트리밍 서비스가 진행되는 동안, 버퍼가 고갈되는 현상이 없을 뿐만 아니라 최적의 버퍼량을 일정하게 유지하면서 완전한 패킷의 전송이 이루어짐으로써 고품질 오디오 스트리밍 서비스에서 완전한 QoS가 보장될 수 있음을 확인하였다.

5. 결 론

인터넷에서의 오디오 스트리밍 서비스의 QoS를 결정하는 요인은, 전송 중 패킷 에러율과 완전한 패킷도 재생시각 이전에 도착해야 하는 것 등이다. 오디오 데이터는 동일하게 시간제약성을 가지는 비디오 데이터에 비해 전송률이 상대적으로 낮다. 따라서 현재의 인터넷에서도 완벽한 전송에 따른 완전한 QoS가 보장될 수 있다. 그러나 기존의 QoS 보장 기법들은 완전한 데이터 전송을 보장하지 못하는 점과 수신측 상태를 즉각적으로 송신측에 알릴 수 없는 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서 제시하는 손실된 패킷에 대한 선택적 재전송, 왕복시간을 기반으로 하는 동적인 수신측 버퍼 할당, 그리고 전송률 동적 제어 등을 통한 버퍼유지를 통해 인터넷 상에서 클라이언트에서 서버에서 전송한 고품질 오디오 데이터를 손실이나 지연 없이 수신하여 서버가 제공하는 QoS 그대로 오디오를 재생할 수 있게 되었다. 본 논문의 연구 결과로써 동적인 수신측 버퍼 할당과 유지를 통해 수신측 버퍼 크기를 최소화하여 과도한 버퍼 할당으로 인한 시스템자원 낭비를 막을 수 있으며 선택적 재전송 기법과 전송률 제어기법을 병행하여 적용함으로써 수신측에서는 송신측에서 전송한 데이터를 완벽히 수신하여 완전한 오디오 QoS를 보장할 수 있다.

연구 결과를 적용할 수 있는 응용으로는 현장감 있는 고품질 음성 서비스, 인터넷 강의, 그리고 멀티미디어 서비스에 활용될 수 있다. 고품질 오디오 스트리밍 서비스 기술을 이용하는 인터넷 콘서트, 현장감 넘치는 스포츠 중계, 그리고 고품질전화/음성회의 서비스의 연구 개발을 수행할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] Palmer. W. Agnew, and Anne S. Kellerman, *Distributed Multimedia*, Addison-Wesley, New York, 1996.
- [2] James F. Kuros, Keith W. Ross, *Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet*, Addison Wesley, Reading, Mass., 2001.
- [3] 강민규, 공상환, 김동규, RTP/RTCP를 이용한 영상회의 시스템에서 오디오 패킷 손실 보상을 위한 동적 부가 전송 매커니즘 개발 및 성능 분석, 한국정보처리학회 논문지, 제5권, 제10호, pp. 2641-2753, 1998.
- [4] 모수정, 안종석, RTP/RTCP를 위한 확장성 있는 피드백 제어 기법, 한국정보과학회 '98 가을 학술 발표 논문집(III), pp. 477-479, 1998.
- [5] 김태형, 스케줄링 기법을 적용한 VoIP 환경에서의 QoS 보장에 관한 연구, 성균관대학교 정보통신대학원, 석사학위논문, 2001.
- [6] 최정용, 네트워크상에서의 패킷 손실을 고려한 실시간 비디오-스트림 재전송 시스템의 구현, 성균관대학교 대학원, 석사학위논문, 2001.
- [7] 김명호, 이윤주, 멀티미디어 개념 및 응용, 홍릉과학출판사, 1996.
- [8] 황연자, 차등 서비스 네트워크에서의 VoIP 성능 향상을 위한 연구, 고려대학교 산업정보대학원, 석사학위논문, 2001.
- [9] 정태욱, RTP/RTCP를 이용한 연속 미디어 데이터의 흐름제어 및 버퍼제어 기법, 광주대학교 대학원, 석사학위논문, 2000.
- [10] 문금지, VoIP Client에서의 H.323의 RAS Message 구현과 적용모델, 숭실대학교 대학원, 석사학위논문, 2000.
- [11] Colin Perkins, Orion Hodson, and Vicky Hardman, A Survey of Packet Loss Recovery Techniques for Streaming Audio, Readings in Multimedia Computing and Networking, pp. 607-615, Morgan Kaufmann, 2002.
- [12] Jean-Chrysostome Bolt, Sacha Fosse-Parisis, Don Towsley, Adaptive FEC-Based Error Control for Internet Telephony, Readings in Multimedia Computing and Networking, pp. 616-623, Morgan Kaufmann, 2002.
- [13] 김무중, VoIP 시스템에서 통화품질 향상을 위

[1] Palmer. W. Agnew, and Anne S. Kellerman,

한 동적 제어 알고리즘의 성능분석, 대전대학교 대학원, 석사학위논문, 2001.

- [14] 한성우, 공간적 지역성을 이용한 RTCP 개선방안, 숭실대학교 대학원, 석사학위논문, 2000.
- [15] William Stallings, 데이터통신 및 컴퓨터통신 6/e, 사이텍미디어, 2001.
- [16] Bert J. Dempsey, Jorg Liebeherr, Alfred C. Weaver, On retransmission-based error control for continuous media traffic in packet-switching networks, *Computer Networks and ISDN Systems*, Vol 28, Issue 5, pp. 719~736, March 1996.
- [17] 김완규, 박규석, VOD 시스템에서 클라이언트 버퍼를 위한 전송률 제어 알고리즘 설계 및 분석, 멀티미디어학회 논문지, 제1권, 제1호, pp. 67-79, 1998.
- [18] 김윤희, 정두영, 가변 에러율 채널에 효과적인 Stop-and-Wait ARQ 방식, 멀티미디어학회 논문지, 제5권, 제2호, pp. 198-205, 2002.



손 주 영

1981년~1985년 서울대학교 계산통계학과 졸업
 1991년~1993년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(석사)
 1993년~1997년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(박사)
 1985년~1998년 LG전자(주) 책임연구원

1998년~현재 한국해양대학교 컴퓨터공학과 교수.
 관심분야: 인터넷 기반 멀티미디어 통신 프로토콜, VPN, 홈네트워크, Ad-hoc network



유 성 일

1993년 동의대학교 수학과 입학
 1997년~2000년 부산외대 컴퓨터공학과 졸업
 2000년~2003년 한국해양대학교 컴퓨터공학과 졸업(석사)

관심분야: 멀티미디어 통신 프로토콜