

RTP/RTCP를 이용한 영상회의 시스템에서 오디오 패킷 손실 보상을 위한 동적 부가 전송 매커니즘 개발 및 성능 분석

강 민 규[†] · 공 상 환[†] · 김 동 규^{††}

요 약

본 논문은 영상회의 시스템에서의 오디오 패킷 손실에 관한 문제를 다룬다. ITU H.323 영상회의 시스템에서 실시간 데이터(오디오/비디오) 전송을 제공하기 위해 RTP/RTCP 프로토콜을 제안하고 있다. 지역적으로 넓게 분포되어 있는 영상회의 참여자들은 여러 중계 시스템을 경유하면서 통신망 폭주 현상에 의해 패킷 손실을 경험한다. 일반적으로, 분산 환경에서 송신측에서 수신측으로 전송되는 오디오 데이터의 품질은 패킷 손실률과 패킷 간의 지연 변이 변수에 의해 결정된다. 따라서, 인터넷에서 오디오 데이터 전송시 발생하는 패킷 손실 특성을 시험하였고, 시험에서 대부분의 패킷 손실은 독립적으로 발생함이 관찰되었다. 본 논문은 이러한 통신망의 패킷 손실 특성을 기반으로 손실된 패킷을 효과적으로 보상할 수 있는 방법을 제시하고, 개발하는데 목적을 두고 있다. 따라서, 오디오 패킷 손실에 따른 영향을 최소화할 수 있는 동적 부가 전송 방식을 제안하였다. 본 연구에서 오디오 패킷의 손실 복구를 위한 부가 전송 방식에서 RTCP 프로토콜의 피드백 정보를 이용하여, 비-부가, 1-order 그리고 2-order 부가 전송 정책을 동적으로 적용함으로써, 부가 데이터에 의한 대역폭 낭비를 막고, 연속 패킷 손실에 의한 복구 범위를 확대하였다. 이러한 연구의 개발 및 시험은 인터넷 환경을 기반으로 이루어졌고, 대부분의 독립된 패킷 손실과 연속 패킷 손실의 일부를 추가 지연 없이 복구함으로써, 오디오 전달 성능을 높일 수 있었다.

Implementation and Performance Evaluation of the Dynamic Redundant Transmission Mechanism for Loss Recovery of Audio Packets, on Teleconferencing System using RTP/RTCP

Min-Gyu Kang[†] · Sang-Hwan Kung[†] · Dong Kyoo Kim^{††}

ABSTRACT

This paper addresses the problem found with audio packet loss on the teleconferencing system. In ITU H.323 teleconferencing system, the RTP/RTCP protocol offered to delivery realtime stream (audio and video). Participants in teleconferencing system have experience in packet loss which results in the congestion. The quality of the audio that delivered from source to destination depends essentially on the number of lost packets and on the delay variations between successive packets. We measure the loss of audio packets in order to examine the loss characteristics over Internet. The experienc has shown that almost audio packet loss is isolate fairly over congested network. The goal in our study is to develop efficient mechanism to adapt the loss characteristics of the networks. By examining the packet

† 정 회 원 : 한국전자통신연구원

†† 정 회 원 : 아주대학교 정보및컴퓨터공학부 교수

논문접수 : 1997년 2월 28일, 심사완료 : 1998년 7월 16일

loss of audio streams sent over Internet, we suggests that Dynamic Redundant Transmission mechanism would be adequate to minimize the impact of audio packet loss. The sending sites uses the feedback information which contains into the RTCP packets, to compute packet loss. Based on this packet loss state, the sender determines the policy of redundant transmission which is one of no-redundant, 1 order redundant, and 2-order redundant. These mechanisms are implemented and evaluated over the Internet. The results indicate that the mechanism can be applied to minimize almost all the non-consecutive packet loss and a part of consecutive loss.

1. 서 론

인터넷을 포함한 기존의 통신 프로토콜은 그 배경에서 동영상 전송과 같은 실시간 멀티미디어 응용들을 지원하도록 설계되지 않고, 메시지 또는 화일 단위의 비 실시간 특성을 갖는 데이터 전송을 위해 개발되었다. 영상회의와 같은 분산 환경에서의 실시간 데이터 전송의 경우, 유니캐스트 뿐만아니라 멀티캐스트 전송이 요구되므로 트랜스포트 프로토콜로 UDP를 이용하게 되며, 이는 대역폭 뿐만아니라 패킷 손실이나 전송 지연등을 위한 어떠한 성능도 보장받지 못한다. 영상회의는 이용면에서 사용자들이 지역적으로 넓게 분포 되고, 따라서 많은 중계 시스템(게이트웨이, 라우터 등)이 통신에 참여되며, 많은 대역폭이 요구되는 실시간 패킷들은 중계기의 트래픽 폭주(congestion) 현상에 의해 손실될 가능성이 높다. UDP/IP-multicast를 이용할 경우, 손실된 오디오 데이터에 의한 음성의 끊김 현상과, 비디오 화면의 왜곡 현상이 발생한다. 특히 오디오에서 패킷 손실에 따른 질적 저하는 비디오에서 보다 사용자에게 민감한 영향을 준다. 따라서 사용자는 신뢰성있는 오디오 데이터 전송을 위해 충분한 만큼의 성능을 보장 받을 수 있어야 하며, 이러한 성능의 범위는 오디오 수신자가 인지할 수 있는 허용치에 의존한다. 또한 패킷의 손실 문제는 회의 참여자 수의 증가 즉, 전송 부하 증가에 따라 증가하므로 오디오 데이터의 손실은 영상회의 성능에 가장 심각한 악영향을 미친다. 이러한 실시간 전송시 발생하는 성능의 문제를 해결하기 위해서 일반적으로 다음 2가지 관점에서 접근하고 있다. 첫째, 멀티미디어 서비스가 요구하는 성능을 보장하기 위해서 기존의 전송 계층 프로토콜을 확장하거나 수정하려는 노력으로, reservation 및 admission control 등이 포함되며, 이들의 개발은 아직도 해결해야 할 많은 문제들이 남아있다. 둘째, 기존에 네트워크에서 제공되는 서비스에 부합되도록 응용 서비스를 조정하는 방법으로, 송신측은 피드백 정보를 기

초로 하여 네트워크에 보내지는 패킷의 전송률을 제어하는 것이다. 이러한 전송률 제어는 네트워크의 허용 용량에 제한되며, 어느 한 시점에서 볼때 여러 서비스들이 네트워크를 공유하게 되고, 각 실시간 서비스들은 가변 비율(variable rate)로 데이터를 전송하기 때문에, 네트워크 용량은 시간에 따라 다양하게 변화한다. 특히 영상회의와 같은 대화형 서비스는 몇분 간의 전화 대화와는 다르게 몇 시간 까지도 지속될 수 있으며, 그 동안의 전송 용량은 다양하게 변화될 수 있다. 이렇게 변화되는 전송량에 적합하도록 응용 서비스의 패킷 전송률을 적절하게 조정하는 것은 매우 복잡한 문제를 야기시킨다. 따라서 두번째 접근 방법인 기존의 네트워크의 서비스에 적합하도록 멀티미디어 응용 서비스를 처리하는 연구의 하나로 Realtime Transport Protocol(RTP)/RTP Control Protocol(RTCP)을 이용하여 네트워크의 여러 QoS 특성(패킷 손실, 전송 지연, 지연 변이, 등)들을 동적으로 관찰하고, 관련 정보를 영상회의 응용에게 통보하므로써, 응용은 이를 기반으로 멀티미디어 디바이스를 제어하거나 또는 오디오/비디오 디바이스로부터 받은 스트림 데이터에 임의의 제어 매커니즘을 부여하여 네트워크 QoS 범위 안에서 서비스의 품질을 향상시킨다. RTP/RTCP를 이용한 영상회의에서는 RTCP를 통해서 패킷 손실에 대한 피드백 정보를 받으며, 송신측은 코덱 파라미터를 제어하여 스트림 데이터 발생량을 조절하게 되고, 이는 네트워크 대역폭을 조절하는 효과를 갖으며, 따라서 네트워크 QoS를 향상시킨다. 이러한 전송률 제어에 의한 패킷 손실 제어 방법은 공중망(인터넷, 교육망, 초고속 정보 통신망, 등)의 경우 공유하는 수 많은 사용자에 의해 네트워크 상태가 매우 동적으로 변화하므로, 적절한 코덱의 전송률 제어가 매우 어렵다. 오디오 패킷의 손실 처리에 적용할 수 있는 방법으로 재전송을 위한 Automatic Repeat Request(ARQ) 방식의 송신측 부담 복구(sender-driven recovery)방식과 부가 전송, Forward Error Correction(FEC) 과 같은 수신측 부담

복구(sender driven recovery) 방식으로도 구분할 수 있다. 재전송 방식이 패킷 손실에 hard-recovery 한 방법인 반면에 부가 전송 방식은 완전한 복구 보다는 이미 발생한 패킷 손실에 대한 복구를 수신측에서 가능하도록 하는 soft-recovery한 매커니즘으로 이들 각각은 복구 강도에 따른 전송 지연 문제를 내포하고 있다.

●재전송 방식

closed-loop매커니즘을 기반으로 하는 재전송 기법으로 손실된 패킷을 재전송하는 동안 이미 도착한 손실된 패킷 이후의 패킷들도 재생을 연기해야 하므로 수신측에서 상당량의 지연이 초래되고, 만일 재전송된 패킷이 손실되는 경우 그 지연상태는 매우 심각할 수 있다. 따라서 영상회의와 같은 지연에 민감한 실시간 데이터 스트림의 손실 복구 방법으로 적합하지 않다.

●부가 전송 방식

패킷 손실에 따른 복구 문제를 수신측에서 처리할 수 있도록 부가 정보(redundant information)을 보내는 방식으로, 추가 지연 없이 신뢰성을 제공하는 매커니즘이다. 단점으로는 앞서 보낸 패킷에 대한 부가 정보를 후속 패킷에 추가함에 따라 시스템의 추가 처리 시간과 중복 정보 전송에 따른 전송량 증가가 요구된다.

본 논문에서는 RTP/RTCP를 이용하여 오디오/비디오 스트림 데이터를 전송하는 ITU H.323 표준에 따른 영상회의 시스템에서 오디오 데이터가 UDP/IP-multicast 통신 구조에서 전송될 때 발생하는 패킷 손실을 복구하기 위해 부가 전송 방식을 이용하였다. 앞서 전송된 패킷이 손실될 것을 대비하여 이미 전송한 패킷의 데이터 부분을 RTP패킷의 확장 부분에 부가 전송하고, 수신측은 도착하는 RTP 패킷 헤더의 순서 번호의 연속성에 따라 패킷 손실을 확인하고, 손실된 패킷에 대하여 다음 패킷의 부가 전송 데이터 부분을 이용하여 손실된 오디오 스트림을 복구하는 방법이다. 이러한 부가 전송 매커니즘은 패킷 손실에 대하여 완전한 보장을 제공하지 못하는 문제와 중복 전송에 따른 추가 데이터 전송에 의한 대역폭 요구 등의 약점을 갖고 있는 반면에 실시간 멀티미디어 응용 서비스에서 가장 민감한 부분인 지연 전송 특성에 대해서 재전송을 요구하지 않는 잇점을 갖고 있다. 본 논문에서는 RTP를 이용한 오디오 전송에서 부가 전송 방식을 적용할 때 발생하는 추가 대역폭 요구를 최소화하고, 연속된 패킷 손실에 대한 복구 정책을 수신측에서 관찰

한 패킷 손실 상황을 RTCP 패킷을 이용하며 피드백 하므로써, 송신측에서는 부가 전송을 동적으로 적용할 수 있다. 이러한 부가 전송을 이용한 오디오 데이터 손실 복구 방법은 주로 MBONE(Multicast Backbone) 응용에서 연구되었으며, 대표적인 예로 런던 대학에서 개발한 RAT(Robust Audio Tool) 에서 부가 전송 방식을 이용하였다. 그러나 이는 연속된 패킷 손실에 따른 동적인 복구 방법을 적용하지 않고, 영상회의 처음부터 종료까지 고정된 방식을 이용하므로써 패킷 손실의 연속성 변화에 따라 복구율이 의존되며, 부가 전송에 따라 초래되는 전송률 증가를 위한 대안을 제시하지 못하였다. 따라서 본 논문에서 이러한 기존의 방식을 기능적으로 확장하고, 손실 연속성의 동적 적용성을 부여하므로써 손실 복구율을 높이고 전송률 증가를 상당히 축소하였다.[6]

본 논문의 구성은 2장에서 H.323 영상회의 서비스 구조를 기술하고, 3장에서는 부가 전송 매커니즘의 적용성을 관찰하기 위해 인터넷 상에서 RTP를 이용한 영상회의 수행시 발생하는 오디오 스트림 데이터의 손실 특성을 분석하고, 4장에서는 부가 전송 방식의 알고리즘을 기술하며, 5장에서는 오디오 스트림 데이터 전송에 부가 전송 방식을 구현한 오디오용 RTP 모듈의 기능 구조와 패킷 헤더의 확장 등의 구현 구조를 기술하고, 6장에서는 본 매커니즘을 인터넷에서 적용할 때 나타나는 패킷 손실 복구율 등의 특성을 분석한다.[1], [4]

2. RTP/RTCP를 이용한 영상회의

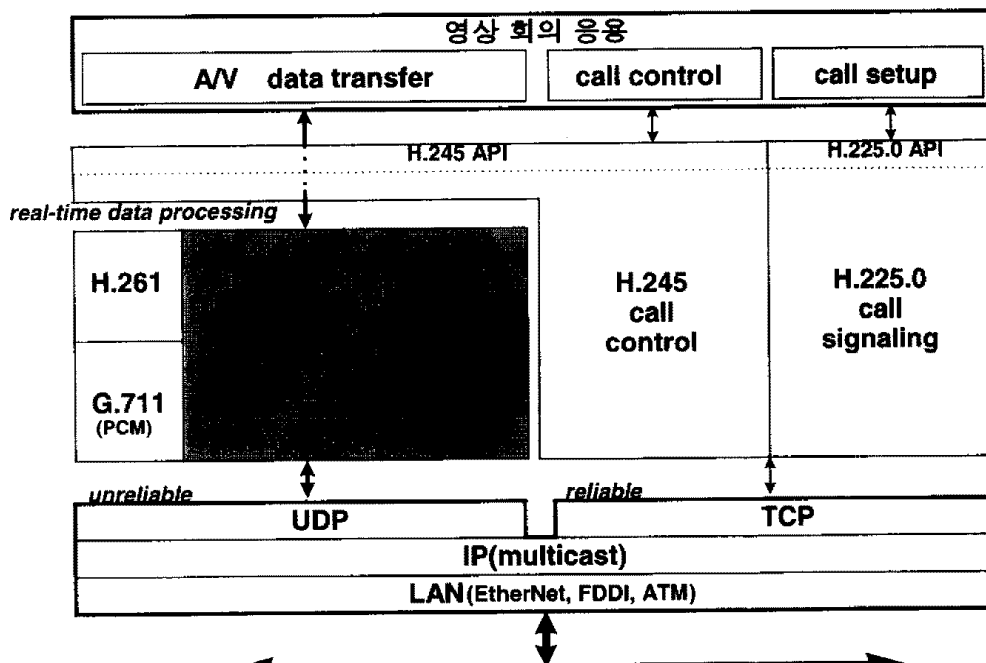
데스크탑에서 오디오 및 비디오 실시간 회의를 위한 ITU H.323 표준은 QoS를 보장하지 않는 LAN을 비롯한 패킷망에서 멀티미디어 통신을 위한 터미널 및 서비스 등을 정의한다. (그림 2.1)은 H.323 터미널의 서비스 블록 구조를 나타낸 것으로, 영상회의 응용 서비스는 호 설정(Call Setup)을 위해서 H.225.0의 호 처리 모듈을 이용하게 되고, H.225.0 모듈은 단말기 간의 연결 설정을 위한 프로토콜과 메시지 포맷 및 이를 처리하기 위한 프로시저를 제공한다. 이 메시지 패킷들은 Q.931디지털 계층 사용자 통신망 관리 프로토콜을 사용하여 구성되고, 각 단말들과 연결 및 H.245를 위한 접속 정보를 얻어낸다. 일단 H.255.0 모듈을 통해서 연결 설정이 이루어지면, 원활한 회의 시스템 구동을

위해 단말기 간의 환경 차에 따른 협상이나 회의가 이루어지는 동안에 시스템 간의 제어용 위해 정보를 주고 받는 H.245 호 제어 모듈이 수행되고, 이와 함께 코덱 디바이스로 부터 전달된 오디오/비디오 스트림 데이터가 RTP모듈에 의해서 패킷화되고 UDP/IP를 통해서 회의 참여자들에게 멀티캐스트 된다. RTP의 주요 기능은 코덱로 부터 연속적으로 생성되는 오디오/비디오 스트림 데이터를 수신측에서 순서 재구성, 손실 보상 및 lip-sync 등의 QoS를 제공할 수 있도록 하기 위해 고정된 포맷을 갖는 패킷으로 구성하거나 또는 네트워크로 부터 도착된 RTP포맷의 패킷을 검색하여 디코더를 통해서 디바이스에 보내진다. 이때, 모든 패킷 헤더에 QoS를 위한 파라미터로 미디어를 샘플링한 시점의 타임스탬프와 패킷 순서를 지정하고, 수신측에서는 이를 이용하여 패킷 손실(Packet loss), 전송 지연(Delay), 지연 변이(Jitter) 등의 실시간 데이터 전송 특성들을 알 수 있으며, 이에 대한 패킷 손실 보상 매커니즘이나 미디어 간 동기화(lip-sync) 등의 기능들을 지원할 수 있다. RTP는 RTCP에 독립적으로 동작할 수 있으나, RTCP는 RTP의 정보를 이용하므로 의존적 관계를 갖는다. RTCP는 영상회의에 참가 중인 모든 참석자들에게 RTP와 동일한 전달 매커니즘을 이용하여 주기적으로 제어 패킷을 전송하므로써 송신측

또는 수신측에서 검출한 네트워크의 QoS 정보를 전달하거나 또는 영상회의에 관련된 제어 정보들을 전달하는 기능을 갖는다. H.323단말기의 시스템 환경으로 "한국 전자통신연구원"에서 개발한 영상회의용 PC인 "Combi-Station"을 이용하였고, 운영체제로 마이크로소프트사의 Windows NT4.0을 이용하였다. 오디오 디바이스로 8kHz 샘플링의 64-kb/s PCM 오디오 코덱이 H/W로 장착되며, 4.8 kb/s Linear Predictive Coding(LPC) 및 ADPCM등은 S/W 코덱으로 제공된다[1], [2], [3].

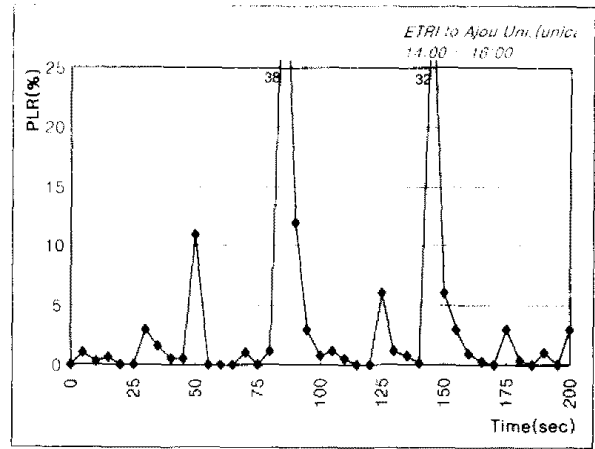
3. 오디오 패킷 손실 특성 분석

수신측 부담 복구 방식이 soft-recovery 특성을 갖는 이유는 패킷이 연속적으로 발생할 때 송신측에서 부가된 복구 정책에 따라 손실된 패킷의 일부분만을 복구할 수 있기 때문으로, 복구 효율은 패킷 손실의 연속성에 의존한다. 따라서, 오디오/비디오 스트림 데이터를 RTP/UDP/IP-multicast의 비-신뢰성 프로토콜 구조를 이용하여 전송하는 환경에서 신뢰성 기능인 부가 전송 매커니즘을 적용하기 위해 패킷 손실 특성(패킷 손실률, 패킷 손실 연속성)의 분석이 요구된다. 만일, 통신망의 패킷 손실 특성 분석 결과가 패킷 손실의 연속률이 높은 경우, 패킷 손실의 복구 기능을 수

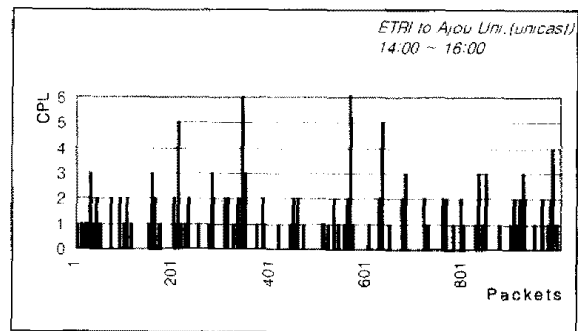


(그림 2.1) 영상회의의 시스템 구조
(Fig. 2.1) Architecture of Teleconferencing System

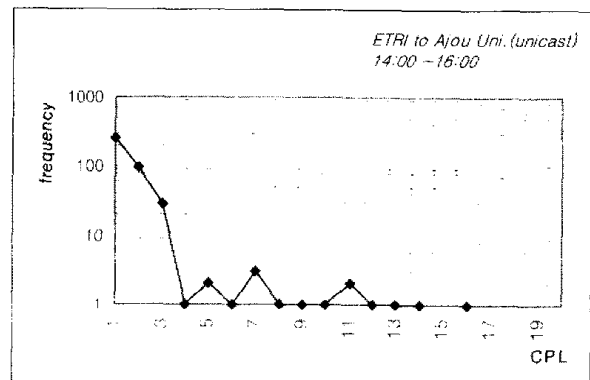
신축에서 수행하는 수신측 부담 복구 방식의 복구 효과가 낮아진다. 즉 패킷 손실의 연속성에 따라 RTP 패킷 N_n 에 대한 부가 엔코딩 데이터를 $N_{n+1}(i>0)$ 패킷에 전송할 것인가의 정책이 결정될 수 있다. 따라서 시험에서 분석된 패킷 손실률(Packet Loss Rate)에 대한 임계값에 따라 패킷 손실 복구 매커니즘을 수행하지 않는 primary 데이터만을 전송할 것인가($i=0$), 또는 부가 전송 매커니즘을 적용할 것인가($i>0$)를 결정하는 기준이 되며, 손실 연속성(Consecutive Packet Loss)에 관한 시험 결과는 부가 전송 매커니즘에서 redundant order(i)를 결정하는데 이용된다. 인터넷의 경우 여러 시스템들이 연결되어 있고, 서비스의 다양화에 따라 각 네트워크 세그먼트들의 전송 데이터 유형이나 전송 용량 및 패킷 손실 등의 트래픽 특성이 매우 가변적으로 나타난다. 본 시험의 측정 시나리오는 임의의로 선정한 한국전자통신연구원과 아주대학교 간의 인터넷을 대상으로 시험을 수행하였고, 두 노드 간에는 13-hop의 서브-네트워크를 경유한다. 인터넷은 대역폭을 임의로 제어할 수 없으므로 가장 네트워크 부하가 심한 것으로 조사된 14:00 ~ 16:00 시간에 측정하였다. 시험에서 전송되는 오디오 데이터는 PCM 코더를 이용하였으며, 코드화된 데이터는 5장에서 기술한 RTP 처리 모듈에 의해 RTP 패킷으로 구성되며, 패킷들은 헤더에 순서번호가 각각 부여된다. (그림 3.1)은 일정 시간 구간에서 패킷 손실을 나타낸 것으로 짧은 시간에서도 매우 가변적이며, 평균 8.3%, 최대 38%의 손실률의 특성을 나타내며, 패킷 손실이 많은 순간의 음성 인식률은 매우 낮다. 패킷 손실의 특성을 분석하기 위해 Gilbert's 마코브 체인 모델을 이용하여, 패킷 손실이 없는 경우 $N_n=0$, 패킷 손실이 발생한 경우 $N_n=1$ 로 구분하여, $N_1, N_2, N_3, N_4, \dots, N_{n-1}, N_n, N_{n+1} \in \{0, 1\}$ 으로 모델화 하였다. 패킷 손실의 burstiness나 correlation 특성은 손실률만으로 알 수 없으므로 조건부 확률이 적용 되어야 한다. (그림 3.2)는 Gilbert 모델을 이용하여 패킷 손실의 연속성에 관한 시험 결과로, Y축은 연속성 지수를 나타낸다. 전체 패킷 손실 중에 비연속성 패킷 손실 [$N_{n-1}=0, N_n=1, N_{n+1}=0$]의 비율은 전체 손실의 71%이며, 두 패킷이 연속적으로 손실될 확률 [$N_{n-1}=0, N_n=N_{n+1}=1, N_{n+2}=0$]은 21%로 조사되었다. 즉, 연속



(그림 3.1) 패킷 손실률
(Fig. 3.1) Packet Loss Rate



(그림 3.2) 패킷 손실 연속성
(Fig. 3.2) Number of consecutively lost packets



(그림 3.3) 패킷 손실의 연속성 빈도수
(Fig. 3.3) Frequency Distribution of consecutive loss

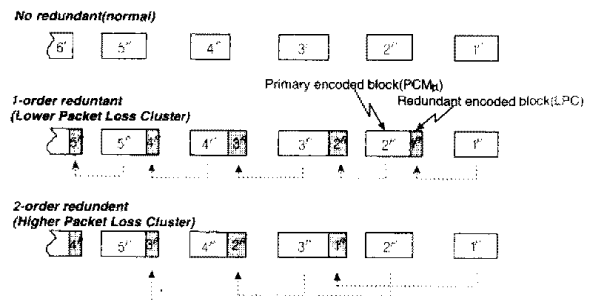
손실될 확률 $N_{clustering} = P(N_{n-1}=0 | N_n=0)$ 은 29%에 해당된다. 시험에 따라 패킷 손실 연속성에 대한 빈도 분포도(그림 3.3)를 보면, 기하 분포로 빠르게

용이함을 알수있다. 이러한 인터넷 환경에서 오디오 스트림의 패킷 손실 특성 분석은 부가 전송 방식의 적용성을 평가하기 위한 것으로, 네트워크의 부하가 심한 경우에도 오디오 패킷의 손실 연속성의 가능성은 비교적 적으며, 따라서 부가 전송 방식이 손실된 오디오 패킷을 복구하기 위해 적합한 것으로 나타났다. 이러한 현상은 UDP를 이용한 비디오 전송에서도 유사한 결과가 나타났다[4], [6], [9].

4. 동적 부가 전송에 의한 손실 복구 매커니즘

부가 전송 방식은 패킷 손실을 고려하여 수신측에서 복구할 수 있도록 송신측에서 패킷의 중복성을 이용하는 방식으로 이를 위한 RTP 패킷은 Primary Encoded Block(PEB)과 패킷 손실을 대비한 Redundant Encoded Block(REB)으로 구성된다. REB (N^k)는 해당 PEB (N^l)의 패킷이 손실되지 않는 경우 수신측에서 무시되므로 패킷 손실률이 낮은 통신 환경에서의 부가 전송 매커니즘의 적용은 REB 크기 만큼의 대역폭 낭비를 초래한다. 따라서 송신측에서 패킷 손실에 대한 통신망 특성 정보를 알 수 있고, 부가 전송 매커니즘을 동적으로 적용한다면, 부가 데이터에 해당하는 대역폭 낭비를 줄일 수 있을 것이다. 이러한 패킷 손실에 대한 피드백 정보는 RTCP 프로토콜을 이용하여 송신측으로 부터 제공 받을 수 있다. 예를들어, 패킷 손실이 없거나 매우 적은 지역망 또는 건물 내의 통신망에서 즉, 임의의 패킷 손실률 임계값(λ) 보다 낮은 통신망 환경에서 부가 전송 방식은 패킷 손실 복구에 대한 효율이 낮으므로 부가 전송 없이 PEB 만을 전송하므로써 불필요한 대역폭 낭비를 감소시킬 수 있다. 그러나 피드백된 패킷 손실 정보가 손실률 임계값(λ)보다 큰 경우 부가 전송 방식을 적용하여 손실된 패킷을 수신측에서 복구할 수 있도록한다. 이때, 고려해야할 점은 REB를 몇번째 후속 패킷에 부가할 것인가 하는 부가 전송 방식의 순서 문제로, 이는 패킷 손실의 연속성에 의존한다. 이를 위해 각 수신측으로 부터 패킷 손실 연속률(CPLR : consecutive packet loss rate)을 RTCP 패킷을 통해서 전달한다. 3장의 시험에서 보듯이 $CPLR > 2$ 인 경우는 전체 손실된 패킷에 비교해 매우 적으며, n -order($n > 2$) 부가 전송 매커니즘을 적용할 경우 수신측에 적어도 n 패킷 크기의

보류 버퍼가 필요할 뿐만아니라 패킷 만큼의 재생 지연을 초래하므로 모든 $N > 2$ 의 경우, n -order 부가 전송 ($R(O_n)$)을 $R(O_2) = R(O_n)$ 로 정의한다. 따라서 RTCP에 의해 피드백 되는 패킷 손실 특성에 따라 (그림 4.1)에서 3가지 모드로 구분하여 동적으로 전송 방식을 선택한다.



(그림 4.1) 부가 전송 분류
(Fig. 4.1) Classification of Redundant Transmission

RTCP에 의해서 피드백된 패킷 손실에 관한 정보는 (그림 4.2)의 알고리즘에 의해 분류되어 부가 전송의 적용 여부와 적용시 ordering 문제를 결정한다. 알고리즘을 살펴보면, 오디오 데이터의 패킷 손실률(PLR)이 임계값(λ)보다 작은 경우, *normal(no-redundant)* 상태에서 REB 없이 PEB 만을 전송하므로써 부가 전송에 따른 오버헤드를 최소화 한다. λ 보다 큰 경우, 패킷 손실의 연속성에 따라 *order*를 결정한다. 따라서 피드백 시간 간격(RTCP intervaltime) t 시간 동안 패킷 손실률은 다음과 같이 전체에 대한 손실 패킷 수로 정의할 수 있다.

$$0 \leq PLR(t) = \frac{N_{loss}(t)}{N_{total}(t)} \leq 1, \text{ where } N_{loss}(t) \leq N_{total}(t) \quad (1)$$

따라서, i -order 방식에서 각 패킷이 재생될 확률은 전체 손실된 패킷 수에서 복구된 패킷들을 제외함으로써 정의할 수 있다.

$$\sigma_{(i)} = 1 - PLR(t) + P(K_n = 1 | K_{n-i} = 0) \quad (2)$$

패킷 연속 손실률 $CPLR$ 은 패킷 손실이 발생한 횟수에서 연속적으로 발생한 비율을 나타낸다.

$$0 \leq C - PLR(t) = \frac{N_{loss-clustering}(t)}{N_{loss-frequency}(t)} \leq 1, \text{ where } N_{loss-clustering}(t) \leq N_{loss-frequency}(t) \quad (3)$$

일반적으로 20ms 크기의 오디오 패킷 10%를 손실할 경우, 음성 인식의 불편함을 느끼는 것으로 알려졌으며, 본 연구의 음성 인식 범위를 관찰하기 위한 MOS (Mean Opinion Score) 시험 결과에 따라 패킷 손실률의 임계값을 $\lambda=0.05$ 로, 패킷 연속 손실률의 임계값을 $\mu=0.3$ 로 정의하였다. 이러한 임계값 결정을 위한 MOS 시험은 상당히 주관적인 면에 개입되므로 앞으로 더욱 객관적인 연구가 요구된다.

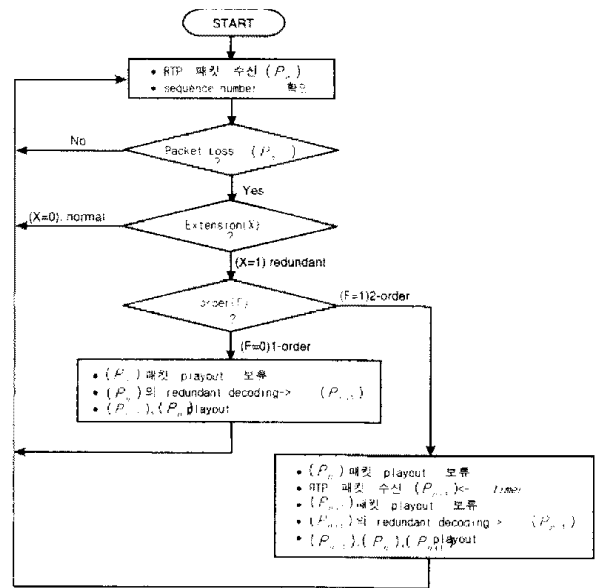
```

if  $PLR \leq \lambda$  then  $Site_{(i)} = R(O_0)$ 
else if  $PLR > \lambda$  AND  $C - PLR \leq \mu$ ,
    then  $Site_{(i)} = R(O_1)$ 
else if  $PLR > \lambda$  AND  $C - PLR > \mu$ ,
    then  $Site_{(i)} = R(O_2)$ 
(  $R(O_0)$  : no redundant (normal) state,
   $R(O_1)$  : 1-order redundant state,
   $R(O_2)$  : 2-order redundant state )
    
```

(그림 4.2) 패킷 손실 특성 분류 알고리즘 (Fig. 4.2) Algorithm for classification

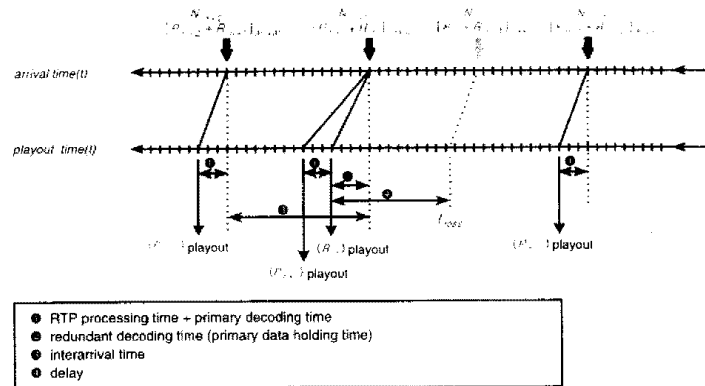
각 수신자들에 대한 패킷 손실 특성에 대한 분류는 알고리즘에 의해 정의되므로 각 수신자는 임의의 피드백 정보를 받은 순간에 $R(O_0)$, $R(O_1)$, 또는 $R(O_2)$ 패킷 손실 상태 중의 하나의 구분자로 패킷 손실 특성을 정의할 수 있다. 따라서 송신측에서는 통신망 품질 또는 수신자 까지 거리 등이 서로 다른 다양한 부류의 수신자들과 통신하게 된다. 따라서 오디오 데이터를 멀티캐스트 통신을 이용하여 전송할 경우, 송신자는 여러 수신자들로 부터 각각 다른 QoS 값을 RTCP를 이용하여 피드백 받게 되며, 이때 송신측은 여러 수신자들의 패킷 손실 상태를 관찰하여, (그림 4.2) 중의 하나의 방식으로 송신해야 한다. 본 논문에서 이러한 다양한 손실 상태에서 하나의 전송 방식으로 결정하는 매커니즘은 다루지 않으며, 단지 수신자의 패킷 손실 상태 분포가 가장 많은 방식을 선택하고, 모두 같다면 패킷 손실률이 크거나 손실 연속성이 가장 많은 수신 시스템의 QoS를 기준으로 가장 높은 order 방식으로 전송한다. 부가 전송 방식에 의해 수신된 RTP 패킷의 수신측 처리는 (그림 4.3)에서와 같이 RTP 패킷의 순서 번호의 검색에 의해 손실 상태를 관찰하고, RTP

헤더의 확장 필드(M)에 의해 부가 전송 여부를 확인할 수 있다. 수신된 부가 전송 데이터의 order은 REB 헤더의 첫번째 비트인 구분자를 이용하여 확인할 수 있으며, order에 따라 패킷이 손실될 때 복구해야할 후속 RTP 패킷을 결정한다. 부가 전송 방식의 문제점인 손실 복구에 따른 지연 시간에 대한 관찰이 필요하다. (그림 4.4)는 패킷이 손실된 경우 수신측에서 부가 데이터를 복구하여 코덱에서 재생하는 시간적 관계를 나타낸 것으로, 패킷 N_{n+1} 이 도착한 순간 RTP에서 N_n 이 손실된 것을 확인할 수 있고, 이때 손실된 패킷이 도착했을 시각을 $t_{loss} = K(N_{n+1}) + \Delta t/2$, where $\Delta t = K(N_{n+1}) - K(N_n)$ 으로 가정할 수 있다. ●는 1-order 방식에서 손실 패킷에 의한 지연과 이를 복구하기 위한 지연 시간으로 사람의 음성 인지 능력에 따라 무시될 수 있다.



(그림 4.3) 부가 전송 방식의 수신 알고리즘 (Fig. 4.3) Receiving Algorithm over Redundant Transmission

또한, 코덱 보드가 손실된 음성 데이터 재생을 위해 기다리고 있지 않고, 버퍼에 ●시간 이상 재생할 데이터들을 이미 갖고 있다면, 시스템 처리와 코덱 보드의 처리가 비동기적이므로 이러한 지연 시간은 재생에 영향을 미치지 않을 수 있다. 여기서 ●의 REB 블록의 디코딩 처리 시간은 REB의 payload 유형에 따라 다르며, LPC의 경우 약 30ms 정도의 시간이 소요된다. 또한, 재생(playout) 시점은 음성 재생을 위해 코덱 디바



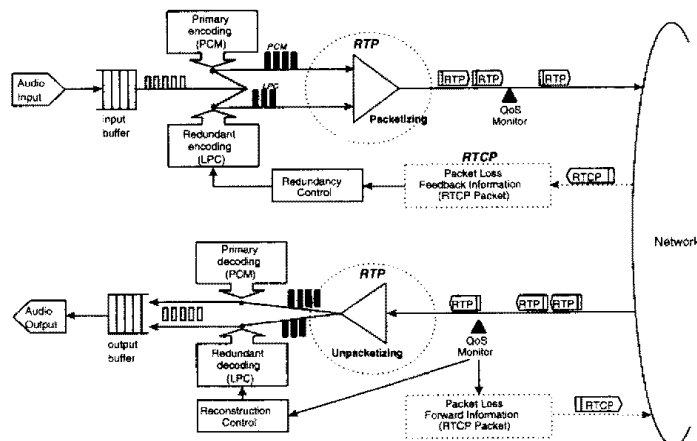
(그림 4.4) 패킷 손실 복구의 시간적 관계
(Fig. 4.4) the temporal relationship between the individual packets

이스 드라이버를 통해 보드의 버퍼에 음성 데이터를 전달한 시점으로 REB 디코딩에 의해 소요되는 시간은 코덱 버퍼에 의해서 후속 데이터들의 재생 시작 시간에 영향을 주지않는다[5], [6], [7].

5. 부가 전송 방식을 이용한 RTP/RTCP 구현 모델

본 절에서는 부가 전송 방식을 이용한 RTP/RTCP 프로토콜의 구현 모델을 기술한다. RTP의 주요 기능은 엔코더(H/W, S/W)로 부터 연속적으로 생성되는 오디오/비디오 스트림 데이터를 수신측에서 순서 재구성, 손실 보상 및 미디어 간 동기화 (lip-sync) 등의 QoS를 제공할 수 있도록 고정된 포맷을 갖는 패킷으로 구성하여 UDP/IP를 이용하여 네트워크에 전송하거

나, 네트워크로부터 도착한 RTP 포맷의 패킷을 수신하여 디코더를 통해 오디오/비디오 디바이스에 보낸다. 이때, 전송하는 모든 패킷 헤더에 QoS를 위한 파라미터로 미디어를 샘플링 한 시점의 타임스탬프와 패킷 순서를 지정하고, 수신측은 이를 이용하여 패킷 손실, 전송 지연, 지연 변이(Jitter) 등의 실시간 데이터 전송 특성들을 알 수 있으며, 이에 대한 패킷 손실 보상 메커니즘이나 미디어 간 동기화 등의 기능들을 지원할 수 있다. RTCP는 영상회의에 참가 중인 모든 참석자들에게 RTP와 동일한 전달 매커니즘을 이용하여 비주기적으로 제어 패킷을 전송하므로써 송신측 또는 수신측에서 검출한 네트워크의 QoS 정보를 전달하거나 또는 영상회의에 관련된 참여자 식별 정보들을 전달하는 기능을 갖는다. (그림 5.1)은 부가 전송 방식을 이용한 RTP/RTCP 구현 모델을 나타낸 것으로, RTP 표준안



(그림 5.1) RTP/RTCP 구현 모델
(Fig. 5.1) Implementation model of RTP/RTCP

을 구현한 기능 모듈에서 다음 2가지 제어 모듈이 패킷 손실 보상을 위해 추가 구현되었다.[2], [11], [12]

•Redundany Control 모듈

RTCP를 통해서 제공된 여러 RTP 수신자의 패킷 손실 특성을 이용하여 다음 RTP 부가 전송 매커니즘을 동적으로 수행한다.

- ① 각 수신자의 패킷 손실 상태 분류(normal, 1 order, 2-order)
- ② 부가 전송 방식의 선택
- ③ RTP 패킷 구성(packetizing) 기능 모듈의 부가 전송 매커니즘을 제어
- ④ 엔코더 제어

•Reconstruction Control 모듈

도착하는 RTP 패킷을 관찰하여, 패킷 손실이 발생하면 RTP의 확장자 필드와 중복 엔코더 필드를 이용하여 패킷 손실 매커니즘에 의해 손실된 패킷을 복구하여, 순서에 따라 재생되도록 제어한다.

- ① 디코더 제어
- ② 손실 패킷 재구성
- ③ 재생 동기화

5.1 QoS 모니터 구현

수신측의 QoS 모니터는 스프레드로 구현되어 도착하

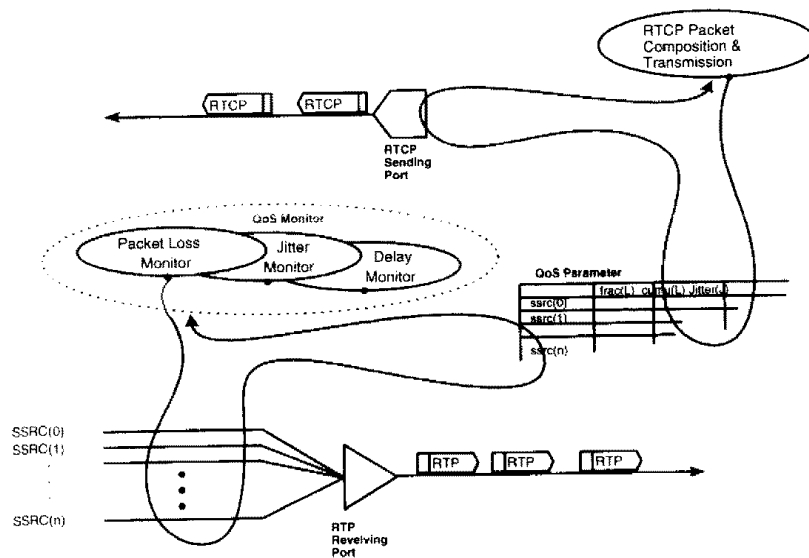
는 RTP 패킷의 시간적, 순서적 특성을 관찰하여 네트워크의 QoS 값을 검출하는 기능으로, RTP 패킷의 순서 번호 필드를 이용하여 각 송신자 별로 패킷 손실 특성을 수집한다.

따라서 (그림 5.2)에서 영상회의에 참여한 각 RTP 패킷 송신자 마다 QoS 파라미터 테이블이 할당되고, 이들 파라미터 중에서 패킷 손실 특성을 나타내는 다음 값들이 부가 전송 방식을 위해 RTCP 패킷을 통해 송신측에 전송된다.

- ✓ 구간 패킷 손실률(fraction packet loss rate)
- ✓ 누적 패킷 손실률(cumulative packet loss)
- ✓ 연속 패킷 손실률(consecutive packet loss)
- ✓ 패킷 도착률(interarrival rate)

5.2 RTP 포맷 확장

RFC1889에서는 구현자 고유의 기능을 수용할 수 있도록 RTP 패킷 헤더 확장 매커니즘을 정의하고, 확장된 필드를 인식할 수 없는 수신자는 확장된 헤더를 무시하므로써 상호연동성을 보장하도록 정의하고 있다. 따라서 부가 전송 방식을 적용하기 위해 중복된 패킷 형식으로 엔코딩된 데이터를 전송하는 방법을 구현해야 하며, 이를 위해 RTP 프로토콜의 헤더 확장 필드를 이용하였다. 확장된 헤더는 헤더 확장 필드 길이(16 bits)를 포함한 32-bits의 추가필드가 요구된다.



(그림 5.2) QoS 모니터
(Fig. 5.2) QoS Monitor

일반에 패킷 손실 임계값에 따라 부가 엔코딩 또는 비 부가 엔코딩 방식을 영상회의 도중에 동적으로 변환시킬 수 있는 중부가 전송 매커니즘의 동적 적용성의 장점과, 수신측의 부가 전송 기능 수용 여부에 따라 고정 헤더 필드의 확장 비트(X 필드)를 이용하여 부가 엔코딩된 패킷임을 인식할 수 있고, 확장된 부분을 무시할 수 있으므로 상호 연동성을 유지할 수 있다. (그림 5.3)은 중복 엔코딩된 RTP패킷을 나타낸 것으로 헤더 확장 필드에 요구되는 변수들은 다음과 같다.

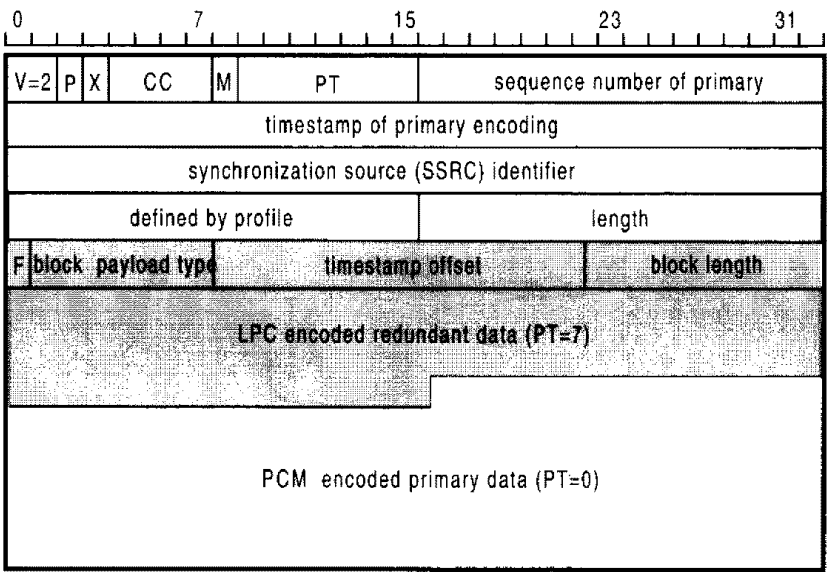
- 부가 전송 방식 구분자(0 = 1 order, 1=2 order)
- 중복 전송된 데이터를 디코딩하기 위한 엔코딩 유형(block payload type)
- 패킷 내의 엔코딩된 데이터 길이 표시자(block length)
- 중복 데이터가 생성된 시각 표시자(timestamp offset)

PEB 부분은 8 kHz 샘플링된 음성으로 64-kb/s PCM 방식의 엔코딩을 하였고, 부가 인코딩 방법은 4.8 kb/s의 LPC을 이용한다. 이는 비교적 낮은 품질 코딩 방식이고, 복잡한 코딩 알고리즘과 소프트웨어 코덱에 따른 처리시간이 요구되는 반면에, 압축률이 높은 장점이 있어 부가 전송에 수반되는 데이터 량의 오버헤드를 작게 하므로써 오류 제어 목적에 적합하도록 하였다. 여기서 타임스탬프 오프셋 필드는 PEB의 타임스탬프

포 간의 차이값 만큼 지정하므로써 작은 필드로 충분한 타임스탬프를 표현할 수 있도록 하였다. 패킷 포맷에서 REB를 헤더와 PEB 사이에 위치한 것은 확장 필드 내의 부가 데이터 크기를 나타내는 필드를 이용하여 수신측에서 두 엔코딩 데이터 간의 구분을 용이하게 하기 위함이다. 수신측에서는 위와 같은 RTP 패킷을 받은 후, 패킷의 손실 여부에 따라서 패킷의 고정 헤더 부분의 확장 필드 X=1 이고, 이전 패킷이 손실된 경우, 중복 엔코딩 데이터를 이용하여 손실된 패킷을 재구성하여 오디오 출력 버퍼에 전달한다. 이러한 데이터 포맷은 현재 IETF에 제안 중인 [8]를 참조하였고 상호 연동성을 고려하여 IETF RFC1889 표준에 적합하도록 확장 변경하였다[2], [3], [8].

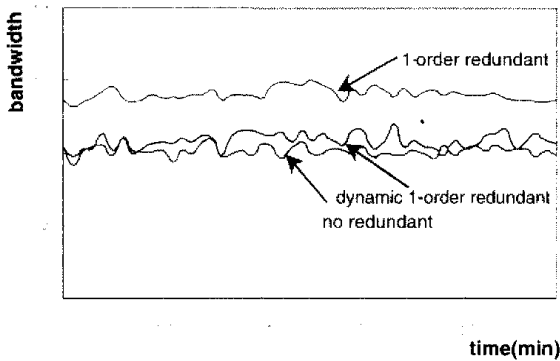
6. 시험 결과 및 분석

부가 전송 방식은 재전송에 의한 지연(latency) 증가 없이 신뢰성을 제공하기 위한 open-loop 매커니즘으로 손실된 패킷의 분포가 패킷 스트림 상에 연속성이 적을수록 유리하다. 송신측에서 오디오 패킷 손실을 고려하여 항상 부가 데이터를 전송한다면 해당 REB 만큼의 추가 대역폭이 요구된다. 동적 1-order 부가 전송 방식이 갖는 대역폭을 관찰하기 위해서 (그림 6.1)은 비-부가 전송의 전송량과 모든 패킷에 REB을 포함하는 1-order 부가 전송 방식에서의 전송 용량에 대한



(그림 5.3) 중복 엔코딩된 RTP 패킷
(Fig. 5.3) RTP packet for redundant coding

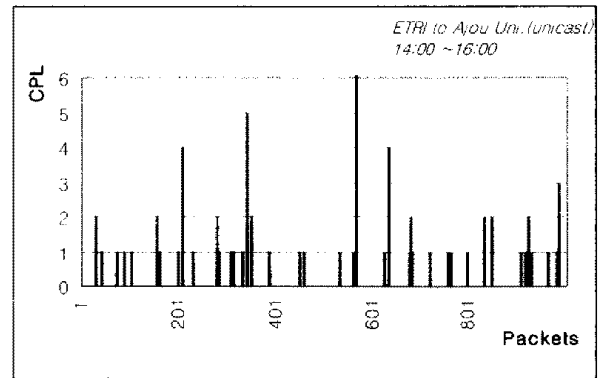
시험을 하였다. 시험은 64Kbps를 대역폭 10으로 기준하여, 동일한 환경에서 세가지 방식으로 오디오 데이터 전송량을 상대적으로 나타낸 것으로, 동적 1-order 부가 전송 방식은 $PLR=0.05, C-PLR=0$ 의 패킷 손실 특성 하에서 시험한 것이다. 동적 부가 전송 방식은 모든 패킷에 항상 REB를 부가하여 전송하는 1-order 부가 전송 방식에 비교하여 패킷 손실이 낮은 경우 대역폭 감소의 잇점을 갖을 수 있다.



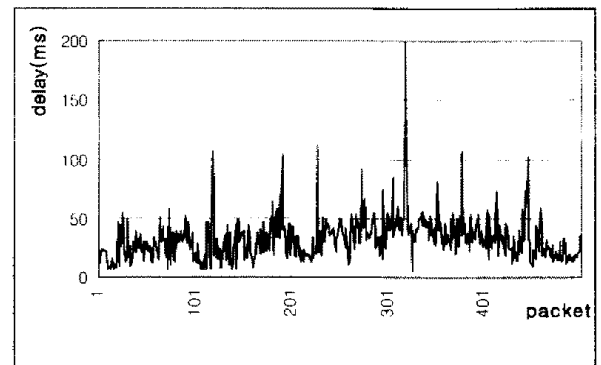
(그림 6.1) 1-order 부가 전송 방식의 대역폭 (Fig. 6.1) Evolutions of bandwidth

(그림 6.2)는 모든 독립적으로 손실된 패킷을 1-order 부가 전송 방식에 따라 손실 패킷을 복구한 경우 나타나는 손실의 연속성을 기술한 것으로 (그림 3.2)와 동일한 손실 특성에서 CPL(y축)을 0→1로 이동한 효과를 갖는다. 즉 전체 패킷 손실 중에 비연속성 패킷 손실 $[N_{n-1}=0, N_n=1, N_{n+1}=0]$ 은 모두 후속 패킷의 REB 필드에 의해 복구되고, 연속성 패킷 손실의 경우 loss burst의 마지막 패킷이 복구된다. 이때 고려해야 할 부가 전송 방식의 문제점으로 수신측에서 순서에 따라 도착하는 N_n 의 RTP 패킷을 수신하고 N_{n-1} 패킷의 손실을 확인한 후, N_{n-1} 패킷에 부가 전송된 REB의 처리(디코딩) 시간에 대한 지연이 요구된다. 따라서 수신측에서 패킷 손실이 발생한 순간 해당 RTP의 REB 필드를 unpacking하여 디코딩을 처리하고, 코덱에 전달하는 동안 해당 패킷의 PEB의 재생을 보류해야 한다. 이러한 보류 시간은 REB의 코딩 방식에 의존하며, LPC의 경우 약 30ms의 처리시간이 요구된다. (그림 6.3)는 비-부가 전송(PEB만 전송)에 의한 송신 포트에서 수신 포트까지의 전송 지연을 나타내며,

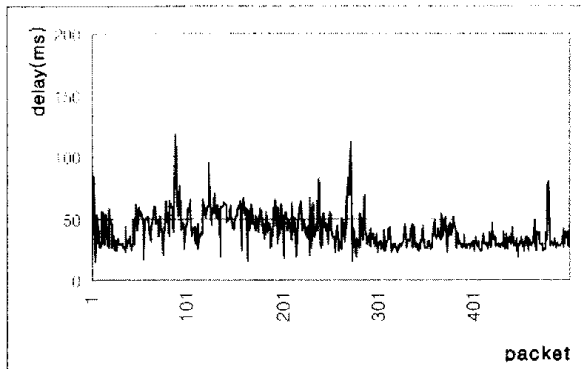
(그림 6.4)은 10% 오디오 패킷 손실률 상태에서 전송 지연 및 1 order 부가 전송 방식으로 복구할 때 요구되는 REB의 디코딩 시간의 값을 나타낸 것이다. 이들의 비교에서 실제로 1-order 부가 전송 방식에서 부가 데이터 처리를 위한 지연 시간이 크게 영향을 주지 않는 것을 나타내고 있다. 2-order 부가 전송 방식의 경우, 비연속성 패킷 손실과 1-연속 패킷 손실 $[N_{n-2}=0, N_{n-1}=1, N_n=1, N_{n+1}=0]$ 을 복구할 수 있으나, 비연속성 손실 패킷 스트림 상에서 $[N_{n-1}=1, N_n=0, N_{n+1}=1]$ 유형은 N_{n+1} 에 N_{n-1} 의 REB를 포함하게 되므로 N_{n-1} 패킷의 손실을 복구할 수 없다. 따라서 2-order 부가 전송 방식의 복구율은 비연속 패킷 손실률 + 1-연속 패킷 손실률 - $[N_{n-1}=1, N_n=0, N_{n+1}=1]$ 유형의 패킷 손실률이 된다.[6], [9], [10]



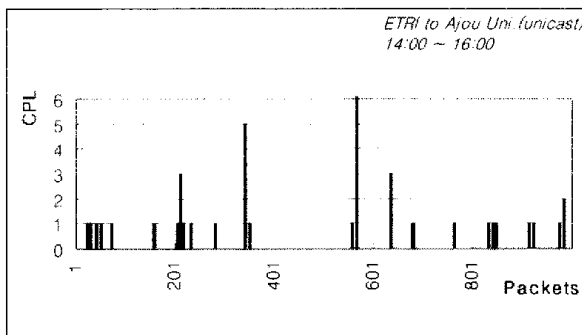
(그림 6.2) 1-order 부가 전송 방식의 손실 연속성 (Fig. 6.2) Evolution of consecutive loss (1-order Redundant Transmission)



(그림 6.3) 비-부가 전송의 전송 지연(packet loss rate < 0.05) (Fig. 6.3) Evolution of Transmission Delay (Non-Redundant Transmission)



(그림 6.4) 1-order 부가 전송의 전송 지연
(packet loss rate = 0.1)
(Fig. 6.4) Evolution of Transmission Delay
(1-order Redundant Transmission)



(그림 6.5) 2-order 부가 전송 방식의 손실 연속성
(Fig. 6.5) Evolution of the number of consecutive
packet loss(2-order)

7. 결 론

부가 전송 방식은 재전송 방식에서 갖는 완전한 신뢰성 전송을 보장할 수는 없으나 실시간 전송의 중요한 품질 장애를 일으키는 지연 및 지연변이 없이 신뢰성을 증가시킬 수 있다는 장점 때문에 실시간 오디오 응용에 적합하다. 본 논문에서는 H.323 영상의 시스템 개발에서 실시간 전송을 수행하는 RTP/RTCP 프로토콜을 개발하였고, 인터넷에서 영상의에서 나타나는 패킷 손실을 경험함에 따라 이를 복구할 수 있는 방법으로 부가 전송 방식을 제안 및 개발하였다. 기존의 정적인 부가 전송 방식은 동적으로 변하는 패킷 손실 특성과 상관없이 항상 동일한 부가 전송을 하며, 이는 패킷 손실에 대한 QoS가 좋은 경우 불필요한 대역폭을 낭비한다. 따라서 RTCP의 피드백 정보를 이

용하여 통신망의 패킷 손실 특성에 따라 동적인 부가 전송 방식을 적용함으로써 부가 데이터에 따른 대역폭 증가를 최소화하고, 부가 데이터의 위치에 따라 1-order 또는 2-order 전송 방식을 동적으로 적용함으로써 연속된 패킷 손실의 복구 범위를 확대할 수 있었다. 이러한 동적인 적용은 1-order 에서 2-order 방식으로 가면서 2-연속 패킷 손실을 복구할 수 있는 장점과 2-order 에서 1-order 방식으로 동적인 매커니즘 적용은 패킷 손실의 연속성이 적은 경우 2-order 방식의 단점인 보류 시간을 감소시킬 수 있다. 이를 위해 Redundancy Control과 Reconstruct Control 모듈이 패킷 손실의 부가 전송 방식을 위해 RTP/RTCP 프로토콜에 추가 구현되었고, 각 손실 매커니즘 적용에 따른 패킷 손실 복구를 측정하였으며, 부가 전송에서 고려해야 할 부가 데이터 처리 시간(디코딩)을 측정함으로써 부가 전송 방법에서 나타나는 특성들을 관찰하였다.

참 고 문 헌

- [1] ITU-T Draft Recommendation H.323, "Visual Telephone Systems and Equipment for Local Area Networks which Provide a Non-Guaranteed Quality of Service", May, 1996.
- [2] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, and V. Jacobson, "RTP:A transport protocol for real-time applications.", RFC-1889. Feb., 1996.
- [3] H. Schulzrinne, "RTP Profile for Audio and Video Conference with Minimal Control", RFC-1890. May, 1996.
- [4] I. B. Busse, B. Deffner, H. Schulzrinne, "Dynamic QoS Control of Multimedia Applications based on RTP", *R2116 TOMQAT*, May, 1995.
- [5] J-C. Bolot, "End-to-end packet delay and loss behavior in the Internet", *Proc. ACM Sigcomm '93*, San Fransisco. CA. pp.189-199. Aug. 1993.
- [6] V. Hardman, A. Sasse, M. Handley, A. Watson, "Reliable Audio for Use over the Internet", *Proc. INET'95*, Honolulu, HI, pp.171-178, June 1995.
- [7] Jean-Chrysostome Bolot, Andre Vega-Garcia "Control Mechanisms for Packet Audio in the Internet", *Proc. IEEE Infocom '96*, San Fransisco, CA, pp.232-239, April 1996.

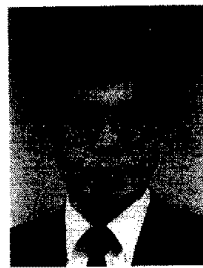
- [8] Colin Perkins, Isidor Kouvelas, "RTP Payload for Redundant Audio Data", INTERNET DRAFT.
- [9] J-C Bolot, H. Crepin. "Analisy of Audio Packet Loss on the Internet", NOSSADV'95, pp.163-74, Durham, NH, April, 1995.
- [10] J-C Bolot, "Characterizing End-to-End Packet Delay and Loss in the Internet", *Journal of High-Speed Networks*, Vol.2, No.3, pp.305-323, December 1993.
- [11] 강민규 외3, "영상회의 시스템을 위한 RTP/RTCP 설계 및 구현", '97추계학술발표논문집, 한국통신학회, 1997.
- [12] 강민규 외3, "H.323 영상회의 시스템을 위한 RTCP 구현", '97추계학술발표논문집, 한국정보처리학회, 1997.



강민규

1986년 경기대학교 전자계산학과 졸업(학사)
 1988년 중앙대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(석사)
 1993년~현재 아주대학교 대학원 컴퓨터공학과(박사 수료)

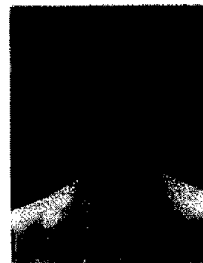
1994년~1995년 Stanford Research Institute 객원연구원
 1988년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원
 관심분야 : 분산멀티미디어, 통신 QoS, 컴퓨터네트워크



공상환

1977년 숭실대학교 전자계산학과 졸업(학사)
 1983년 고려대학교 대학원 전자정보처리학과 졸업(석사)
 1998년 충남대학교 대학원 전자계산학과 졸업(박사)

1977년~1981년 육군 제2군수지원사령부 전산장교
 1981년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
 관심분야 : 분산멀티미디어 시스템, 객체지향형 시스템, 컴퓨터통신



김동규

1973년 서울대학교 응용수학과 졸업(학사)
 1979년 서울대학교 자연과학대학원 전자계산학과 졸업(석사)
 1984년 미국 Kansas State University 전자계산학과 졸업(박사)

1973년~1977년 한국과학기술연구소 연구원
 1977년~1979년 한국전자기술연구소 선임연구원
 1979년~현재 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학부 교수
 관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 정보통신 Security, 통신 프로토콜 엔지니어링