

論文2003-40TC-9-4

VOIP 음질 개선을 위한 패킷 크기의 최적화

(Optimization of the packet size to enhance the voice quality of the VOIP system)

任 綱 彬 * , 鄭 己 鉉 ** , 崔 景 熙 ***

(Kang-Bin Yim, Ki-Hyun Chung, and Kyung-Hee Choi)

요 약

본 논문에서는 다양한 서비스가 복합적으로 운용되고 있는 인터넷 망에서 PCM 및 ADPCM으로 압축된 음성 데이터를 전송할 경우, 패킷 크기와 한계 지연시간의 변화가 수신측의 음질에 미치는 영향을 분석하고 주어진 한계 지연시간에 대하여 최고의 음질을 제공하기 위한 전송 패킷의 크기에 대하여 논한다. 결과를 얻기 위한 실험은 공중 인터넷 망을 통하여 연결된 두 대의 PC 상에서 이루어졌다. 송신측은 마이크로부터의 음성신호를 PCM 및 ADPCM으로 부호화하고 이를 UDP 패킷을 이용하여 전송하였으며, 수신 측에서는 망에서 발생하는 전송 지연 및 패킷 손실 등을 거친 패킷이 음성신호로 재생된다. 음질 평가를 위하여 송수신 음성 데이터를 수집하여 오프라인에서 비교하며, 알고리즘으로는 객관성을 유지하기 위하여 MNB 방법을 이용하였다. 실험 결과에 의하면, 40Kbps, 32Kbps, 16Kbps의 ADPCM으로 압축된 음성의 전송에서 한계 전송 지연을 100ms로 하였을 경우 음질 열화를 최소화하기 위하여는 패킷 크기의 하한이 각각 300, 400, 600바이트, 패킷 크기의 상한은 공히 1200바이트일 것이 요구된다.

Abstract

In this paper we discuss the effect of the delay limit and the packet size related to the quality of service on a VoIP system using the Internet. We also provide a guideline to determining the optimal packet size of the voice data for a given delay limit. Empirical studies are done with two personal computers connected through the packet switched public IP network. The sender encodes the voice signal from the microphone to get PCM and ADPCM data and sends the data to the receiver using UDP packets. The receiver plays the reconstructed voice from the stream with lost and delayed packets. The quality of the reconstructed voice is evaluated offline by the MNB (Measuring Normal Block) method using the data acquired from the both sides. The result shows that under the delay limit of 100ms for 40Kbps, 32Kbps and 16Kbps of ADPCM data, the minimum packet size should be 300bytes, 400bytes and 600bytes respectively and the maximum packet size should be 1200bytes commonly for the best quality of voice.

Keywords : Internet, VoIP, Voice coding, Packet, Packet network

* 正會員, 順天鄉大學校 情報保護學科

(Dept. of Information Security Engineering, Soonchunhyang University)

** 正會員, 亞洲大學校 電子工學科

(Dpt. of Electronics Engineering, Ajou University)

*** 正會員, 亞洲大學校 情報通信專門大學院

(Graduate School of Information and Communication, Ajou University)

※ 이 논문은 과학기술부 국가지정연구실 사업의 지원에 의한 결과임.

接受日字:2003年4月15日, 수정완료일:2003年9月15日

I. 서론

인터넷의 급속한 확산과 통신 속도 향상에 힘입어 영상이나 음성 등의 연속 미디어 서비스가 급증하고 있다. 이러한 연속 미디어 서비스로서 최근에 관심이 집중되고 있는 대표적인 것으로는 인터넷 전화를 들 수 있다. 특히 VoIP(Voice over Internet Protocol)로 많이 알려진 인터넷 전화는 저렴한 통화 비용에 납득할 만한 음질을 제공함으로써 그 보급률이 급속히 증가하고 있다. 일례로, 2001년 12월 현재 2000여명의 대상에 대한 언론의 조사에 따르면 인터넷 사용자의 71%가 인터넷 전화를 사용해 본 경험이 있으며 특히 85.2%는 인터넷 전화를 사용하기를 희망하는 것으로 알려졌다. 이를 볼 때, 앞으로 인터넷 전화가 보편화 될 것임을 충분히 예측할 수 있다.

VOIP 시스템의 구성 체계를 구현 방식으로 나누어 보면 크게 두 가지로 분류된다. 하나는 기존 아날로그 전화기를 패킷 망에 접속하는 방법인데, 이는 전화기와 패킷 망과의 접속을 위하여 VOIP 게이트웨이를 기반으로 하여 구성되며 인터넷 전화기의 과도기적 형태라 할 수 있다. 다른 하나는 PC 등과 같이 패킷 망에 직접 접속된 장비를 이용하여 구성하는 방법으로서 구현 방식에 있어서는 완전히 새로운 전화기라 할 수 있다. 현재 시장 진입단계에 있는 VOIP 서비스는 일반적으로 게이트웨이 기반의 구성을 갖는다. 그러나, 시장이 보다 활성화 되고 보편화 되는 즈음에는 PC나 휴대 통신 단말기 등과 같이 패킷 망에 직접 연결된 범용 통신 기기를 기반으로 서비스가 이루어질 것이 확실하다. 이는 전화 서비스에서의 음성 정보가 멀티 서비스 통신망인 범용의 인터넷 망으로 직접 방사됨을 의미한다.

매우 급속도로 포화 되어 가고 있는 인터넷 망의 현재 추세로 볼 때, 새로운 서비스에 대하여 인터넷 망 자체가 적응적으로 변할 수 있는 여지는 없는 것으로 보인다. 이는 인터넷 망의 전송 특성은 멀티 서비스 간의 보편적인 특성을 고르게 만족시켜 주는 한도에서 수렴해 갈 것이며 이러한 망에서 여타 서비스에 고유한 특성들에 대한 고려는 서비스 공급자나 사용자의 몫임을 의미한다. 따라서, 패킷화 된 음성 정보를 통신망을 통하여 효과적으로 전달하기 위하여는 여러 가지 사항이 고려되어야 한다.

통화에 참여하는 쌍방간의 음성이 서로에게 전달되는

과정에서 그 음성의 품질에 영향을 주는 요인은 크게 지연 시간과 정보 손실의 두 가지가 있다. 지연 시간에는 주로 적절한 부호화 및 복호화 방법에 따른 처리 지연, 쌍방간의 통신망 전송 지연, 그리고 여타 버퍼 지연 등이 있을 수 있다. 정보 손실에는 통신망이나 수신측에서 과대 지연에 의하여 누락되는 패킷과 오류에 의하여 수신이 제대로 되지 못한 경우 등이 있을 수 있다.

다양하고 복잡한 지연 시간들이 인터넷 전화의 음성 서비스의 품질을 저하하는 요인이 되지만 서비스의 질을 저하 시키는데 가장 크게 영향을 미치는 것은 정보 손실이다. 정보 손실은 패킷의 손실에서 기인하는데, 실시간 처리가 필요한 음성 통신의 특성상 패킷화 된 음성 정보의 손실이 발생하는 경우 재전송이 가능한 안전한 통신 프로토콜을 사용하는 대신 다소 불안정한 통신 프로토콜을 사용함으로써 패킷화 된 음성 정보의 일부를 잃어버릴 수 있다. 이는 수신측에서 원음을 재생하는데 큰 어려움을 주거나 불가능하게 함으로써 수신 음질이 저하되는 결정적인 요소로 작용한다. 논문^[2]는 패킷 손실율이 2%를 초과하면 복구된 음성의 품질이 크게 저하함을 보여 주고 있다.

통신망 내의 같은 조건에서 패킷의 손실에 따른 음질의 열화 정도는 음성의 부호화 및 복호화 방법에 심각한 영향을 받을 수 있기 때문에 이를 위한 고려가 신중히 이루어져야 한다. 즉, 음성 부호화를 통한 압축률의 증가는 주어진 크기의 하나의 패킷 내에 포함된 음성 정보의 양이 증가함을 의미하므로 동일한 통신망의 에러율에서 압축률이 증가할수록 음성 데이터 손실율이 커진다. 그러나, 대부분의 시스템에서는 동일한 음성 서비스를 위한 적절한 부호화 및 복호화 방안이 선택되면 동적으로 변하지 않고 고정된다. 따라서, 주어진 부호화 방안에서 패킷 손실에 미치는 인자들을 고려함이 요구된다.

패킷 손실과 음질과의 관계에 있어 반드시 고려되어야 하는 인자 중에 전송 패킷의 크기가 있다. 주어진 음성 부호화 방안에서 패킷의 크기가 증가할수록 하나의 패킷에 들어 있는 음성 정보는 커지므로 하나의 패킷을 잃었을 때의 음질 열화는 커질 것이다. 마찬가지로 패킷 크기가 작아질수록 패킷의 수는 많아지고 이에 따라 패킷 손실의 가능성이 높아져 패킷 손실율이 커지므로 음질 열화는 커질 것이다. 이는 패킷 크기의 변화에 따라 수신측의 음질이 변화하며 특정의 패킷 크기에서 최고의 음질을 제공하게 됨을 의미한다.

본 논문에서는 패킷 손실, 패킷 전송 지연 그리고 지연 변화가 존재하는 패킷 통신망을 통하여 PCM 및 ADPCM 방식으로 부호화된 음성 정보를 전송하는 VOIP 시스템에서, 수신측의 음질에 영향을 미치는 요소들을 바탕으로 음성 데이터의 패킷화가 음질에 미치는 영향을 연구한다. 이를 위하여 ADPCM 및 PCM 방안을 이용하는 간단한 VOIP 소프트웨어를 구현하고 이를 실제의 인터넷 망에 접속하여 주요 변수들이 재생된 음질에 미치는 영향을 분석한다. 주요 변수로는 통신망의 한계 전송 지연 시간 및 패킷의 크기를 고려 하였으며, 음질의 객관적인 평가를 위하여 MNB(Measuring Normalizing Block) 방법을 사용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II절에서는 VOIP 시스템에서의 음성 전송을 위한 고려사항을 기술한다. 특히, 다양한 음질을 제공하는 표준의 음성 부호화 방안을 살펴 본다. III절에서는 부호화 및 복호화를 거친 음성 데이터를 위한 다양한 음질 측정 방법을 알아 보고 이 중에서 객관적인 음질 평가 방법으로 알려진 MNB 방법을 기술한다. IV절에서는 본 연구의 실험 환경에 대해 기술하며 V절에서는 실험 결과와 이에 대한 분석을 제시하고 마지막 VI절에서 논문의 결론을 맺고자 한다.

II. VOIP를 위한 음성 전송

<그림 1>은 통화에 참여하는 쌍방간의 음성 전송 계통을 구분하여 표시한 것이다. 그림은 송신측의 음성이 수신측에 전달될 때까지 거치는 과정을 보여준다. 이러한 과정은 입력 음성 신호가 시간축에 대하여 경험하는 절차로서 음성의 총체적인 지연 시간을 의미한다.

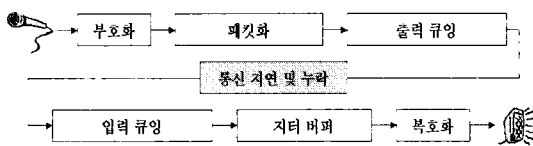


그림 1. 음성 부호화 과정
Fig. 1. Voice transmission through the network.

우선 아날로그 음성이 부호화를 거치는 과정에서 지연이 발생한다. 부호화 지연은 선택되는 부호화 방식에 따라 다르며 1us 이하에서부터 수백 ms까지 다양한 값을 가지는데 일반적으로 25ms 이하일 것이 권고 되고 있다. 부호화를 거친 음성 데이터는 통신망의 특성을 고

려하여 선택된 패킷 크기에 따라 절단된다. 그 후 패킷은 패킷화와 망으로의 전송과의 동기화를 위한 출력 큐에서 잠시 머무르다 실제의 망으로 유입된다. 망으로 유입된 패킷은 통신망의 전송 특성에 따라 지연 시간을 유발하며 경우에 따라서 누락되는 패킷이 발생할 수 있다. 수신측에서 수신된 패킷은 입력 큐에 저장된다. 통신망을 거친 패킷의 수신 시간은 고르지 못하여 통신 지연 변화를 유발하게 되는데 이러한 현상은 수신된 음성 데이터의 연속적인 재생을 방해한다. 따라서, 지연 변화를 제거하기 위한 지터 버퍼를 거치게 되며 지터 버퍼를 통과한 패킷이 음성으로 변환되어 재생된다. 국제 표준화 기구에서는 이러한 일련의 단방향 전송시간을 150 ms 이하가 되도록 권고하고 있다.

송신측의 아날로그 음성이 부호화기에 의하여 디지털로 변환되는 과정에서 아날로그 신호로부터 디지털로의 변환은 하드웨어에 의하여 이루어지며 수십 마이크로 초로도 충분한 작업이므로 충분히 무시할 만한 지연이다. 그러나, 디지털화 된 음성을 전송의 효율성을 위하여 압축을 하는 경우 압축에 의한 지연도 부호화 지연에 포함되어야 한다. 음성 데이터의 압축 알고리즘은 매우 다양하여 압축 알고리즘의 선택에 따라 그 지연 정도가 달라진다.

표 1. 음성 부호화 방안의 비교
Table 1. Comparison of the popular voice packet loss.

부호화	사용 알고리즘	부호화율	음질	부호화 부하
G.711	pcm	64k	○	○
G.722	sb-adpcm	64k	○	△
G.723.1	Mpmlq, acelp	6.3k, 5.3k	×	×
G.726	adpcm	16k, 24k, 32k, 40k	△	○
G.728	ldcelp	16k	△	△
G.729A	cs-acelp	8k	△	×

VOIP 시스템을 위한 음성 부호화와 관련하여 준비된 음성 압축 알고리즘을 살펴 보면 <표 1>과 같다. 표에서는 다양한 부호화 방안에서 사용한 압축 알고리즘과 알고리즘에 의하여 만들어지는 결과물의 데이터량, 압축된 결과 데이터의 복원 후의 음질, 그리고 부호화에 따르는 시스템 부하 정도를 보여 주고 있다.

G.711은 압축 PCM 부호화를 이용한다. 압축 PCM이란 음성 신호를 선형적으로 디지털화 하는 대신 로그

스케일의 비트 할당을 함으로써 큰 음성신호보다 작은 음성신호에 비트를 더 할당한 부호화 방식이다. 일반적인 음성은 낮은 레벨의 신호를 더 많이 포함하고 있기 때문에 낮은 레벨의 음에 대하여 보다 더 정교한 표현을 할 수 있으므로 같은 비트 수로 보다 많은 정보량을 제공할 수 있다. 이러한 압축 PCM에는 미국에서 사용하는 *u-law*와 유럽지역에서 많이 사용하는 *a-law*가 있는데 현재 *a-law*가 세계 표준으로 되어 있다. G.711은 8KHz의 양자화로 4KHz 내역을 소화하며 각 부호 당 8비트로 64Kbps의 데이터를 생성함으로써 국제적으로 공인된 음질(Toll quality)을 보장하고 있다. 부호화를 위한 부하도 하드웨어에 의한 양자화에 의하여 마이크로 초 이하이다. 따라서, 다른 부호화 방안과의 성능 비교를 위한 기준으로 자주 사용된다.

G.726은 ADPCM 부호화를 이용하면서 다양한 압축률을 제공한다. 제공하는 압축률은 40Kbps, 32Kbps, 24Kbps, 16Kbps이다. 부호화를 위한 부하가 비교적 적고 동일한 부호화 알고리즘에 기반을 둔 다양한 압축률을 제공하기 때문에 통신망의 특성 파악을 위한 실험에서 자주 사용되며 단일의 하드웨어나 소프트웨어 부호화기를 사용할 수가 있으므로 구현 시에 비용면에서 유리한 점이 있다. 본 논문에서는 실험을 위한 부호화 방안으로 G.711의 PCM 64kbps와 함께 G.726의 40Kbps, 24Kbps, 16Kbps를 사용하고 있다.

G.722는 SB-ADPCM (Sub-Band Adaptive Differential Pulse Code Modulation) 부호화를 이용하며 ISDN 64Kbps B-채널에서 사용되고 있다. 이는 14bit의 16KHz 양자화에 의하여 약 7KHz 영역까지의 비교적 고급 수준의 음성을 부호화한다. G.723.1은 전화선로를 이용하는 통신망에서 G.722나 G.711이 요구하는 대역폭이 너무 크므로 상대적으로 적은 대역폭을 요구하는 알고리즘의 필요성에 의하여 만들어졌다. G.723.1에서는 음성 데이터를 20:1 혹은 24:1로 압축하여 6.3Kbps나 5.3Kbps의 데이터를 생성한다. G.728은 압축 알고리즘으로 LD-CELP (Low Delay Code Excited Linear Prediction)을 이용하며 4KHz의 음성을 16Kbps의 데이터로 부호화한다. 또한, G.729는 CS-ACELP (Conjugate Structure Algebraic Code Excited Linear Prediction)를 이용하며 7KHz의 음성으로부터 8Kbps의 데이터를 생성한다.

각 부호화 방안은 주로 적은 대역폭을 요구하는 방향으로 발전하여 왔다. 이는 사용자가 원하는 대역폭이 줄

어질수록 통신망의 제공자에게는 보다 많은 사용자를 수용할 수 있는 이익을제공함에서 비롯된다. 그러나, 요구하는 대역폭이 줄어 들수록 사용자의 음질은 저하하게 된다. 이러한 음질 저하 현상의 원인은 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다.

첫째는 과도한 압축 과정에서 음성 데이터 자체의 정보를 잃어 버림으로써 복원 후 원래의 데이터를 찾을 수 없으므로 기인한다. 이를 부호화 손실이라 한다. 부호화 손실에 의한 음질 열화는 많은 문헌에서 밝히고 있다^{1, 4, 6}. 이들 문헌에 의하면, <표 1>에서 보여지는 방안 중에서 G.723.1은 압축 과정에서 음성 정보를 과대하게 잃어 버림으로써 복원 후의 음질 열화 현상이 두드러지게 나타나며 여타의 G.726, G.728, G.729A 등은 부호화 손실이 상대적으로 적어 납득할 만한 음질을 제공하는 것으로 알려졌다. 단, 부호화 손실은 통신의 영향에 의한 것이 아니므로 본 논문에서는 고려하지 않는다. 둘째는 패킷 기반의 전송에서 압축에 의하여 주어진 크기의 패킷에 더 많은 음성정보를 적재함으로써 통신망에서 패킷의 누락 시에 손실되는 정보량이 커짐으로써 기인한다. 이를 본 논문에서는 패킷화 손실이라 정의하는데, 패킷화 손실은 압축률이 뛰어난 부호화 방안일수록 커진다. <표 1>에 나열한 부호화 방안들의 데이터량을 기반으로 비교하면 패킷화 손실의 심각성을 어느 정도 예측할 수가 있다. <표 2>에는 서로 다른 패킷 크기 100바이트와 1500바이트의 두 경우를 예로 하여 하나의 패킷이 누락되었을 때, 각 방안에서의 정보 손실량을 시간으로 표시하였다.

표 2. 압축에 따른 패킷 손실의 심각성 비교
Table 2. Severity to the compressed voice packet loss.

부호화율	손실 시간(100바이트)	손실 시간(1500바이트)
64Kbps	12.2ms	183.1ms
5.3Kbps	150.9ms	2264.2ms
8Kbps	97.7ms	1465.0ms
16Kbps	48.9ms	733.5ms
24Kbps	32.6ms	489.0ms
32Kbps	24.5ms	367.5ms
40Kbps	19.5ms	292.5ms

<표 2>에서 보는 바와 같이 부호화율의 값이 감소할수록 즉, 압축이 과도할수록 그에 따른 음성 정보의 손실

시간은 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한, 같은 부호화율에서 패킷 크기가 커질수록 보다 많은 음성 정보를 잃고 있음을 볼 수 있다.

패킷화 손실의 증가는 음성 데이터의 압축뿐만 아니라 응용이 요구하는 실시간 특성에서 기인하기도 한다. 여기서의 실시간 특성이란 송수신 간의 동기화 정도로서 두 음성 데이터가 가지는 시간적인 차이를 의미하며 본 논문에서는 한계 지연 시간으로 정의된다. 한계 전송 시간은 자연스러운 통화를 위하여 일반적으로 100ms 이하의 값으로 선택하고 있다. 일반적으로 한계 지연 시간을 초과하여 수신된 패킷은 수신측에서 폐기하므로 주어진 평균 전송 시간을 가지는 통신망에 대하여 한계 전송 시간을 짧게 선택할수록 손실되는 패킷은 많아지며 그에 따르는 수신 음질 열화도 증가하게 된다.

상기의 관점에서 볼 때, 패킷화 손실을 최소화 하기 위하여는 압축을 최소화하고 한계 지연 시간을 최대로 할 것이 요구된다. 그러나, 일반적인 시스템에서는 서비스의 사양이 결정되면 그에 따른 부호화 방안과 한계 지연 시간이 결정된다. 경우에 따라서 이들을 가변적으로 지원하는 시스템도 존재할 수 있으나 이러한 경우라도 사용자와의 연결 도중에는 연결 시에 선택된 하나의 사양을 고수하게 된다. 따라서, 부호화 방안과 한계 지연 시간은 서비스의 사양 결정 시에 고려할 대상이며 이미 결정된 서비스 사양에 대하여 패킷화 손실의 최소화를 유도하기 위하여는 전송 패킷의 크기에 대한 고려가 요구된다.

통신망으로 유입되는 패킷의 크기 변화에 따라 통신망 내에서 경로 설정이나 버퍼 관리 등에 관계하여 주어지는 우선순위에 따라 패킷마다 다른 대우를 받을 수도 있다. 통신망 내에서의 패킷 복사와 같은 동작이 요구되는 경우 패킷 크기에 따른 처리 시간의 차이에 의하여 지연 시간이 달라질 수 있고, 버퍼에 일시적으로 머무는 상황에서도 버퍼를 벗어나는 시간에 차이를 가질 수 있기 때문에 작은 패킷일수록 이러한 상황에서 짧은 지연 시간을 가질 것이므로 수신측에서의 지연 변화에 대한 처리 과정에서 패킷이 폐기될 수도 있다.

패킷화 손실을 최소화 하기 위하여 패킷의 크기를 최소화 하는 경우를 생각해 볼 수 있다. 패킷의 크기를 작게 할수록 하나의 패킷에 적재되는 음성 정보는 줄어들므로 하나의 패킷 손실이 발생하였을 경우의 패킷화 손실은 감소하게 된다. 그러나, 패킷의 크기가 작아지면 주어진 음성 데이터를 전송하기 위하여 패킷의 수가 증

가하게 된다. 이는 망에 유입되는 패킷 수의 증가를 초래하므로 동일한 패킷 손실율을 가지는 망에서 실제 손실되는 패킷의 수가 증가함을 의미한다. 즉, 패킷의 크기를 작게 할수록 패킷 손실량이 많아져서 수신되는 음질이 저하하게 된다. 이러한 패킷 손실은 수신측에서 음성의 재생 시에 시간적으로 짧은 음성의 소실이 빈번하게 발생하는 형태로 나타난다.

반대로, 패킷의 크기를 크게 하였을 경우를 생각해 볼 수 있다. 패킷의 크기를 크게 하면 망에 유입되는 패킷의 수가 감소하므로 유실되는 패킷의 수도 상대적으로 줄어들게 된다. 다만, 상기한 바와 같이 유실된 하나의 패킷에 포함된 음성 정보량이 커진다. 이러한 패킷 손실은 수신측의 음성 재생 시에 상대적으로 빈번하지는 않지만 시간적으로 긴 음성의 소실을 초래한다.

상기한 바와 같이 전송되는 패킷의 크기가 수신측의 음질에 미치는 영향은 매우 다양하고 중요하나 단순히 크게 하거나 작게 하여서는 최고의 음질을 보장 받을 수 없는 특징을 가진다. 따라서, 부호화 방안과 한계 지연 시간 같은 서비스의 사양이 주어지면 최고의 음질을 보장 받기 위한 패킷의 크기를 구하는 것이 중요한 관건이다. 본 논문에서는 이러한 패킷 크기와 음질과의 관계를 다양한 부호화 방안과 다양한 한계 지연 시간에 대하여 실험을 통하여 관찰하였다.

III. 음질 평가방안

다양한 조건 하에서 통신망을 통하여 전달된 음성의 품질을 비교하기 위하여는 음성의 품질을 평가하기 위한 알고리즘이 요구된다. 전통적으로 통신 선로의 품질을 측정하는 데에는 신호대잡음비(SNR: signal-to-noise ratio)를 주로 사용하였다. 신호대잡음비는 사용하기 쉽다는 장점은 있으나, 디지털로 부호화되고 압축된 음성 신호의 품질을 객관적으로 표현하기에는 부족하기 때문에 VoIP의 음질 평가에 적용하기에는 부적합하다. Quackenbush는 신호대잡음비를 여러 방면으로 변형하여 음성 부호화에 적용, 실험하여 신호대잡음비와 사람이 감지한 음질에 대한 연관이 매우 희박함을 보여 주었다^[5].

많은 경우, 사람들이 느끼는 주관적인 음질의 척도로 MOS(Mean Of Score)가 사용된다^[6,7]. MOS의 측정을 위하여는 수신측에서 재생된 음질을 심사자가 주관적으로 평가해서 최고의 음질인 경우 5를 주고 최저인 경우

1을 준다. 여러 심사자가 평가한 주관적인 점수의 평균치를 MOS라 하며 이를 재생된 음성 신호의 질로 사용한다. MOS는 심사자의 주관적인 음질 해석에 대한 견해차로 인하여 절대적인 음질 척도로 사용하기 부적절한 면이 있음에도 불구하고 좋은 평가 방법의 부재로 인해 많이 사용되고 있다.

Beerends와 Stemerink는 음성신호를 사람의 청각기관과 비슷한 동작을 하도록 설계된 psycho-acoustical 모델로 변환한 perceptual speech-quality measure (PSQM)을 제시하였다^[6]. PSQM의 출력값은 음성 부호화에 의해 초래되는 음질 열화 값이다. 그들은 PSQM이 MOS에 상당히 근접해 두 측정치의 상관관계 (correlation) 값이 .99에 이르는 것으로 발표하였다. Lucent 사는 자사 VoIP 장비의 성능 측정을 위하여 MOS보다 PSQM을 더 선호하고 있다고 보고하고 있다^[8]. 하지만 Hausenstein은 음성 부호화 기법에 따라 PSQM의 상관관계 값이 .77에서 .95사이에 있다고 발표하였다^[7].

원래 이동통신 시스템의 end-to-end 음질 측정을 위해 개발된 PACE는 이동통신뿐만 아니라 일반 통신망에서도 사용할 수 있게 조정되었다. PACE는 MOS와 비교하여 상당히 근접하는 결과를 보여주고 있어 비교적 널리 사용되고 있다.

PAMS(Perceptual Analysis/Masurement System)^[10]는 일반 전화 대역의 음성 통화 시스템의 음질 측정을 위해 고안되었다. PAMS는 Y_{le} (listening effort)와 Y_{li} (listening quality) 두 가지 값을 산출한다. Listening quality는 일반적으로 많이 사용하는 값이며, listening effort는 음질 저하를 정밀하게 측정하는데 사용하기 적합하다. PAMS의 강점은 특성을 잘 모르는 통신망에서 비교적 안정적으로 음질 측정이 가능하다는 것이다. 이외에도 TOSQA(Telecommunication Objective Speech Quality Assessment)^[10], E-model^[11] 등의 측정법이 있다.

ITU P.861 Appendix II에 정의되어 있는 MNB (Measuring Normalizing Block)^[4, 6, 10] 시스템에서 음질은 두 단계로 측정된다. 첫번째 단계에서는 참조 데이터와 수신된 데이터의 동기를 맞춘 후, DC 성분을 제거하고 두 데이터간의 평균값을 같은 레벨로 평준화 한다. 두 번째 단계에서는 두 데이터를 FFT에 의해 주파수 영역으로 변환한다. 이 때, 128 샘플의 Hamming window를 사용하며 50% frame overlap을 갖게 한다.

이렇게 변환된 frame들 중 에너지가 임계치 이하인 frame은 제거한다. 남은 frame들은 적절한 크기의 log치로 변환된다. 변환된 값은TMNB(Time Measuring Normalizing Blocks) 과 FMNB(Frequency Measuring Normalizing Blocks)에 의해 비교된다. 이를 바탕으로 인간이 음질 저하에 대해 느끼는 청각적 거리(auditory distance)를 계산하여 이를 음질 측정방법으로 이용한다. 청각적 거리는 원음과 복원된 음의 차이가 클수록 크게 나타난다. MNB의 결과값은 Auditory Distance(AD)와 Logistic Auditory Distance (L(AD))가 있다. AD값은 1부터 시작해서 수치가 높을수록 QOS가 떨어지며 L(AD)값은 0~1까지의 범위를 가지고 있어 AD값과 반대로 수치가 높을수록, 즉 1에 가까울수록 QOS가 높아진다. 일반적으로 L(AD) 값이 0.9가 넘으면 QOS가 아주 양호하다고 할 수 있다. L(AD)값 0~1은 MOS의 1~5값에 대응하며, AD값보다 일반적으로 L(AD)값을 더 많이 사용한다.

MNB 방안은 여타 방안들이 인간의 청각 구조를 모방하는 데에 치우진 것과는 다르게 이를 단순화 하고 오히려 청각의 음질에 대한 판단적 특성을 강조하여 구성되었다^[12]. 이러한 이유로 본 논문에서는 수신 패킷의 음질 평가를 위한 방안으로 상기의 다양한 음질 평가 방안 중에서 MNB를 선택하였다.

IV. 실험 환경

인터넷을 통하여 음성 데이터를 송수신하기 위한 실험 환경으로서 원격지 간에 연결된 두 대의 PC를 이용하였다. 두 대의 PC 상에는 논문을 위하여 구현한 단순한 기능의 인터넷 전화기 소프트웨어가 실행된다. 이러한 실험 환경을 <그림 2>에 보인다.



그림 2. 실험환경 구성도
Fig. 2. Environment for experiments.

음성통신의 실제 상황과 유사한 환경을 제공하기 위하여 각 PC는 인터넷을 사이에 둔 서로 다른 LAN 망에 연결된다. 그림에서의 망 A는 사기업의 망으로서

256Kbps의 전용선을 이용하여 50여대의 PC를 가동하고 있고 망 B는 캠퍼스 망으로서 수십 여개의 게이트웨이를 포함하여 수천 여대의 PC로 구성된 매우 복잡한 구조를 하고 있다. 이러한 망이 제공하는 통신 구조는 보편적인 중견 망의 구성을 가짐으로써 실제의 상황에서 경험하는 것과 그 전송 특성이 유사할 것으로 판단된다.

음질 평가를 위한 기준 음성 정보는 미리 준비된 음성데이터를 이용하였다. 이는, 구현된 소프트웨어는 실시간의 온라인 음성 통신이 가능하지만 다양한 실험에 요구되는 입력 데이터로서의 일관성을 고려하여 이루어졌다. 평가하고자 하는 수신 음성 데이터는 통신망에서의 전송 지연과 패킷 유실 등을 거친 후에 수집된다. 이들 두 데이터를 MNB의 두 입력 데이터 파일로 사용하여 off-line으로 비교하고 그 음질의 왜곡 정도를 비교한다.

실험 결과를 위한 변수는 음성의 부호화, 한계지연시간, 그리고 패킷 크기이다. 수신된 음성의 품질은 이들 세 변수의 조합에 따라 달라지므로 음성 데이터의 전송 시에는 이들 변수를 변경하면서 실험이 진행될 것이 요구된다. 그러나, 한계지연시간은 수신측에서의 패킷 폐기에 대한 문제이기 때문에 각 부호화 및 패킷 크기에 대한 실험 결과를 이용하면 오프라인 상에서 얼마든지 변경하면서 그 결과를 얻을 수 있다. 따라서, 실제의 전송은 부호화 및 패킷 크기의 두 변수의 조합에 의해서만 이루어졌으며 각 조합에 대하여 100회의 전송이 수행되었다.

송수신을 위한 음성은 이미 기술한 음성 부호화 표준 규격을 고려하여 16K, 32K, 40K의 ADPCM과 64K PCM 등으로 전송 전에 미리 부호화하였다. 그렇게 하여 부호화를 위한 지연에 관여하지 않음으로써 통신망에서의 전송 지연만을 순수하게 고려하도록 하였다. 패킷 크기에 대한 음질의 변화를 알아 보기 위하여 부호화 된 각각의 음성 데이터는 우선 100바이트의 패킷으로 분해되어 전송되고, 이후 차례로 100바이트씩 그 크기를 증가시켜 전송되며 이러한 과정은 패킷의 크기가 1500바이트가 될 때까지 반복된다. 패킷 크기의 상한과 하한은 음성 데이터의 패킷화와 패킷의 전송 구조에서 비롯되는데, 이들은 패킷의 전송에서 전송 이외의 처리 부하를 최소화 하기 위한 관점에서 이루어졌다. 즉, 패킷 크기의 하한을 100바이트로 선택한 것은 현재의 보편적인 시스템에서 100바이트 이하의 패킷을 만드는 작업이 패킷의 전송 작업에 비하여 시스템의 부하가 오히

려 심각할 수 있다는 전제 하에 이루어졌다. 또한 이더넷의 패킷 크기를 고려하여 패킷 크기의 상한을 1500바이트로 선택하였다.

수신측에서는 서로 다른 부호화 방식에 대하여 서로 다른 패킷 크기를 가지는 각각의 전송에서, 수신한 패킷에 대하여 통신에 의한 지연시간을 계산하며 이러한 과정이 100회 반복되면서 얻은 자료를 토대로 한계지연시간을 적용한다. 즉, 10ms로부터 100ms까지 10ms 간격으로 다양하게 변화를 준 한계지연시간에 입각하여 각 패킷의 수용 여부를 판단한다. 여기서, 한계지연시간의 하한 10ms은 인간의 지각 특성 상 청각이 감지할 수 있는 하한을 고려하여 정하였으며 한계지연시간의 상한 100ms은 송수신 간의 자연스러운 대화가 가능할 수 있는 상한으로 정하였다.

음성 데이터 전송을 위해서는 UDP 패킷을 사용하였으며, 압축 및 패킷 손실에 따른 음질 열화 정도를 측정하기 위해 손실 복구를 위한 알고리즘, 재 전송, 패킷 송수신 지연 변화를 통한 어떠한 기법도 사용하지 않았다. 수신측에서 경험하게 되는 패킷 손실은 두 가지 원인으로 발생하는데 첫번째 원인은 인터넷의 과부하와 손실 보정 기능을 지원하지 않는 UDP의 특성으로서, 이로 인하여 통신망 자체에서 손실이 발생하며 두 번째 원인은 수신 패킷의 처리를 위하여 준비된 제한된 크기의 수신 버퍼의 범람으로서 이는 수신 측의 버퍼 제어 방안과 장비 성능에 밀접한 관계를 가진다. 본 실험에서는 순수한 통신망의 특성 분석을 위하여 한계지연시간에 대한 버퍼만을 가상 실험 하였고 그 이상의 지연시간은 가능한 한 지양하였다.

상기한 일련의 실험이 100회 반복되면서 한계지연시간에 의하여 재정리 되어진 음성 데이터가 각 부호화 및 패킷 크기에 대하여 송신측과 수신측의 100쌍이 얻어진다. 이들을 토대로 MNB 알고리즘을 통한 음질이 평가되며 그 100회분의 결과를 이용하여 평균치를 구하여 최종의 음질로 선택하였다.

V. 실험 결과

실험은 통신망의 상태에 따라 패킷 전송 지연과 손실율의 변화가 크며, 이에 따라 수신 음질의 변화가 클 것이라는 점을 고려하여 하루 중 통신망의 사용률이 서로 다른 시간대를 선택하고자 하였다. 그러나, 하루 중의 서로 다른 시간대에 서의 여러 차례의 예비 실험에 의

하면 패킷 크기와 한계 지연 시간에 관계한 실험 결과가 거의 유사하게 나타났다. 따라서, 실험을 위하여 임의의 시간대를 선택하여도 무관하나 다만, 실험의 특성상 많은 시간이 소요되므로 장시간 실험이 가능한 시간대를 고려하여 서로 다른 날짜의 21:00 ~ 24:00에서 실험이 이루어졌다.

PCM으로 부호화한 데이터를 패킷으로 전송하고 이를 수신측에서 재구성하여 MNB 측정을 위한 시뮬레이션을 수행한 결과를 <그림 3>에 보인다. 그림은 주어진 한계 전송 지연에 대하여 패킷 크기를 변경하면서 얻은 L(AD)값의 변화를 도시한 것이다. 전송한 바와 같이 PCM 데이터는 패킷화 하지 않는 경우 일반 전화 수준(Toll Quality)을 보장하므로, 일반 전화 수준의 음질이 패킷화 되면서 겪는 음질 열화 현상을 볼 수 있으며 다른 부호화 알고리즘으로 부호화된 데이터와의 음질을 비교하는데 기준으로 이용될 수 있다.

한계 전송지연은 수신측에서의 동기화 요구에 따라, 지연된 패킷의 폐기 여부를 판단하는 기준을 의미하므로 선택된 동기화 정도에 따른 음질의 변화를 예측하기 위하여는 안전하게 수신한 패킷도 한계전송지연 이상의 지연을 가진다면 폐기됨이 불가피하다. 따라서, 수신된 음질 열화의 원인은 통신망 내에서의 패킷 손실과 함께 수신측에서 폐기되는 패킷으로부터 기인한다.

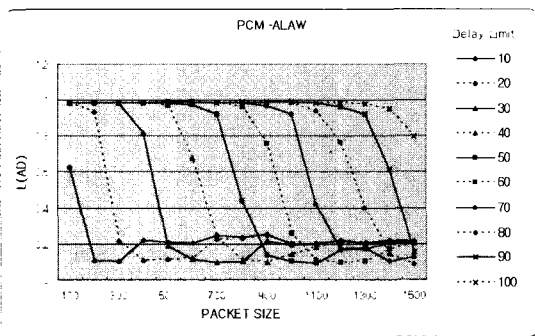


그림 3. 패킷 크기 및 한계 전송 지연에 따른 PCM 음성의 L(AD)값의 변화
Fig. 3. L(AD)s for PCM.

음성 데이터가 기본적으로 실시간성을 요구하므로 전송 지연은 적을수록 좋으나, 위 그림에서 한계 전송 지연이 10msec일 경우는 통신망에서의 지연으로 인하여 폐기되는 패킷이 많아서 L(AD)값이 0.5를 넘지 못하여 음성 패킷 전송에는 적합하지 않음을 보여 주고 있다. 그러나, 여타의 한계 전송 지연에서는 주어진 한계 전송

지연에 대하여 패킷의 크기가 증가함에 따라 안정적인 음질을 제공하다가 특정의 패킷 크기에서 음질 열화가 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 예를 들어, 한계 전송 지연이 50msec인 경우를 살펴 보면 패킷 크기가 500바이트 이하에서는 L(AD)값 0.9 정도로 대단히 좋은 음질을 제공하고 있음을 보여주고 있다. 그러나, 패킷 크기가 500바이트를 넘어가면서 음질은 급격히 저하하고 있다. 이러한 현상은 모든 한계 전송 지연에서 같은 양상을 보이고 있는데, 이는 크기가 큰 패킷일수록 통신망에서의 전송 지연이 커서 같은 한계 전송 지연에서도 패킷 크기가 어느 정도 이상이 되면 수신측에서 폐기되는 패킷이 급격히 증가함을 의미하며 패킷의 크기가 수신측의 음질에 미치는 영향을 잘 보여 주고 있다.

또한, 그림에서 한계 전송 지연이 커질수록 높은 L(AD)값을 제공하는 영역의 폭이 증가하고 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 한계 전송 지연이 30msec일 때는 패킷의 크기가 100바이트에서 300바이트까지의 경우에 L(AD)값을 0.9 정도로 유지하고 있다. 하지만, 한계 전송 시간이 80msec일 때는 패킷 크기가 100바이트에서 1K바이트까지의 경우에서 L(AD)값이 0.9 이상을 유지하고 있다. 이는 한계 전송 지연이 커질수록 수신측에서의 패킷 폐기의 가능성이 줄어들기 때문이다.

다양한 한계 전송 지연에 대하여 버려지는 패킷이 발생하는 지점을 그림에서 보면, 한계 전송 지연이 적은 경우보다 큰 경우 음질이 완만하게 저하하고 있음을 알 수 있다. 이는 한계 전송 지연이 증가할수록 보다 누락되기 시작하는 패킷의 크기도 증가하므로 패킷 크기의 관점에서 볼 때도 큰 패킷이 누락되기 시작하는 지점의 그래프가 완만하게 나타나는 것으로 말할 수 있다. 이는 각각에 대하여 누락되는 패킷의 수는 비슷하게 증가하

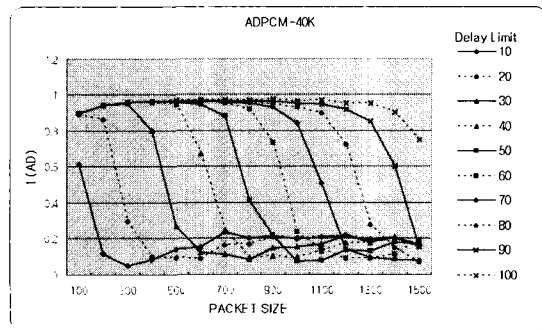


그림 4. ADPCM-40Kbps 음성의 L(AD)값의 변화
Fig. 4. L(AD)s for ADPCM-32Kbps.

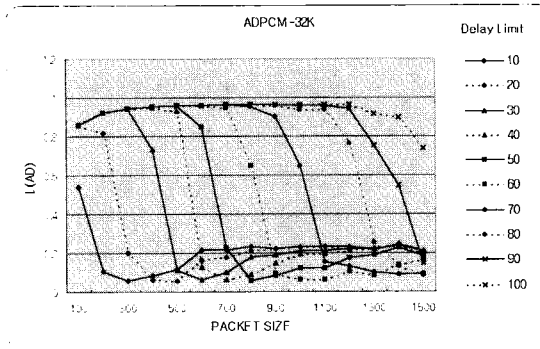


그림 5. ADPCM-32Kbps 음성의 L(AD)값의 변화
Fig. 5. L(AD)s for ADPCM-32Kbps.

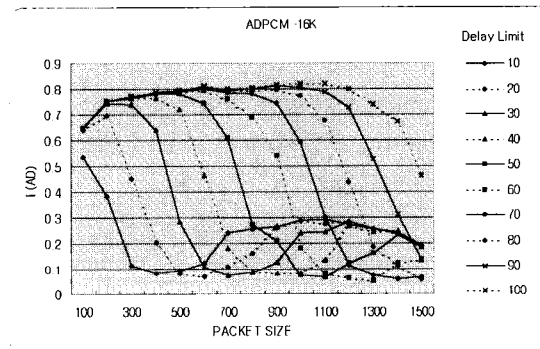


그림 6. ADPCM-16Kbps 음성의 L(AD)값의 변화
Fig. 6. L(AD)s for ADPCM-16Kbps.

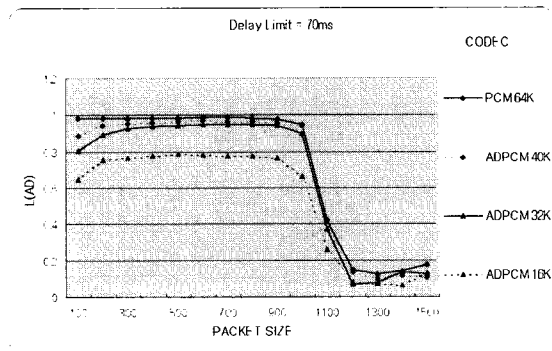


그림 7. 한계전송지연=70ms에서 각 부호화 방안에서의 음질 비교
Fig. 7. Voice Quality at delay limit = 70ms.

나 패킷의 크기가 작은 경우는 하나의 패킷으로부터 잃어버리는 정보량이 적어 누락되는 패킷의 수가 음질에 미치는 임계치가 분명하며, 패킷의 크기가 큰 경우는 하나의 패킷에 의하여 잃어버리는 정보가 많아져 음질의 열화가 점진적으로 증가함을 알 수 있다.

<그림 4>로부터 <그림 6>까지는 40kbps, 32Kbps, 16Kbps의 ADPCM으로 부호화한 데이터에 대한 각각의 결과를 도시화한 것이다. 공히, 한계 전송 지연이 커질수록 우수한 L(AD)값을 제공하는 영역이 넓어지며 패킷 크기가 증가하면서, 패킷 손실의 과다로 인하여 L(AD)값이 급격히 감소하는 양상이 PCM에서의 패턴과 유사하다. 다만, 압축률이 증가할수록 전체적으로 L(AD)값이 감소하며 16Kbps의 경우 한계 전송 지연이 100msec보다 적을 경우는 어떠한 패킷 크기에서도 L(AD)값이 대부분 0.8 이상이 되지 않음을 알 수 있다.

<그림7>은 한계전송지연이 70ms인 경우를 예로 하여 패킷 크기의 변화에 따른 각 부호화 방안에서의 음질을

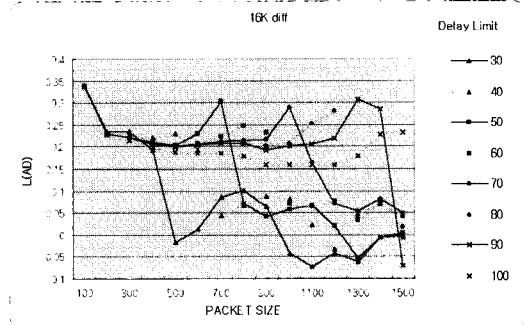
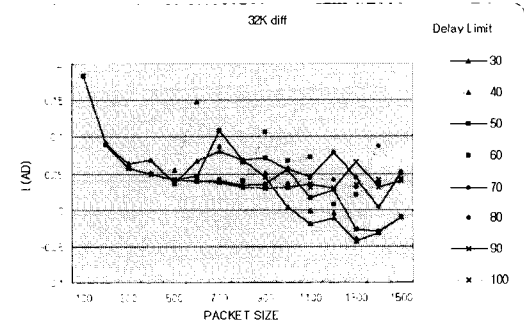
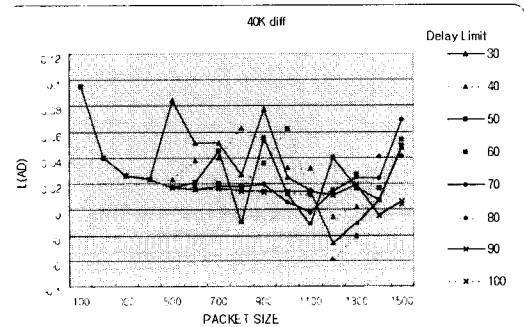


그림 8. PCM과 ADPCM의 L(AD)값 차분
Fig. 8. L(AD) Difference between PCM and ADPCM.

비교한 것이다. PCM을 제외한 모든 ADPCM 부호화 방안에서 패킷 크기가 최소인 경우로부터 패킷 크기가 점차 증가함에 따라 음질이 증가하며 수신측에서의 패킷 폐기에 의한 급격한 음질의 열화가 발생하기 전까지는 약 600바이트로부터 900바이트 사이에서 최상의 음질을 제공하고 있음을 볼 수 있다. 이러한 현상은 <그림 3>으로부터 <그림 5>까지를 비교하면 여타의 한계 전송지연에서도 마찬가지로 나타나고 있음을 알 수 있다

PCM 부호화와 ADPCM 부호화에 의하여 얻어지는 음질을 비교하기 위하여 <그림 8>에 PCM에 의한 L(AD)값과 각 ADPCM에 의한 L(AD)값의 차분을 보인다. 한계 전송지연이 30ms 미만인 경우의 그래프는 그림에서 제외하였는데 이는 제외된 경우에서는 모든 부호화 방안에서 납득할만한 음질을 보장 받을 수 없는 경우로 판단함으로써 취해졌다. PCM의 L(AD)값을 우리가 가질 수 있는 최상의 값이라고 가정할 때, <그림 6>에서 보여 주는 L(AD)값의 차이는 ADPCM 부호화에 의하여 전송된 패킷의 상대적인 음질을 보여 준다 할 수 있다. 일반적으로 패킷의 크기가 작은 경우 ADPCM의 L(AD)값이 큰 차이를 보이며 점차 패킷이 커질수록 비슷해져 감을 알 수 있다. 특히, 일부 구간에서는 ADPCM의 L(AD)값이 PCM의 L(AD)값보다 큰 값을 가진다. 이는 통신망의 불안정한 특성에 의하여 부정확하기는 하나, 패킷 손실이 적을 경우는 PCM의 음질이 ADPCM의 음질보다 우수하며 패킷 손실이 진행되어 과도한 패킷 손실이 발생하게 되면서 PCM과 ADPCM의 음질에 차이가 없어짐을 의미한다. 이는 정상적으로 수신된 패킷의 수가 적을 경우, 압축이 큰 패킷에 포함된 정보량이 상대적으로 많은 것에서 기인한다고 할 수 있다.

상기의 실험 결과로 볼 때, 한계 전송지연이 적어도 30ms 이상일 경우에 납득할 만한 음질을 얻을 수 있으며 최고의 음질을 얻기 위하여는 한계 전송지연을 40ms 이상으로 선택할 것이 요구됨을 알 수 있다. 또한 전송시의 패킷 크기도 중요한 인자로서 공히 400바이트로부터 1200바이트 사이의 크기가 좋은 음질을 제공하는 것으로 나타났다.

VI. 결 론

본 논문에서는 ADPCM으로 부호화된 음성 데이터가 패킷 기반의 공중 통신망을 통하여 송수신될 때, 통신망

에서의 주요 변수들이 수신부에서의 음질에 미치는 영향을 실제 패킷 통신망인 인터넷에서의 실험적 연구를 통하여 분석하였다. 통신망에서의 주요 변수로는 패킷 크기와 한계 전송 지연 시간으로 보고 이들을 각각 변화 시켜 가면서 데이터를 추출하였고 추출한 결과에 대하여 음질을 평가하였다. 음질 평가를 위하여 결과를 MNB 시뮬레이션 프로그램에 입력하여 L(AD)값을 산출함으로써 비교적 객관적인 측정을 시도하였다. 또한 ADPCM 데이터에 대한 성능 비교를 위하여 PCM 데이터에 대한 L(AD)값을 함께 산출하여 제시하였다.

실험에 의하면 ADPCM 부호화된 데이터의 패킷 길이를 약 700바이트로, 한계 전송지연 시간을 약 70msec로 하고 전송하였을 때 가장 만족스러운 결과를 보여 주었다. 한계 전송지연 시간을 더 크게 하였을 경우 L(AD)값의 증가는 미미한 반면, 전송 지연으로 기인한 송수신 음성 간의 비동기화 현상에 의하여 부자연스러운 통화를 유발할 가능성이 높다.

본 논문에서의 실험은 실제의 공중 인터넷 망에서 다수의 실험을 거쳐 얻은 많은 실험 결과치를 제시하고 있어 비교적 높은 신뢰도를 제공한다고 할 수 있다. 그러나, 음질평가 방안으로서 보다 다양한 알고리즘에 의한 평가가 요구된다. 또한 보다 신뢰성 있는 결과를 위하여는 향후 ADPCM뿐만 아니라 다양한 부호화 방안을 적용하여 부호화된 음성 데이터들에 대한 성능 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] V. Hardman, M.A. Sasse, M. Handly and A.Watson, "Reliable Audio for Use over the Internet", Proc. INET '95, pp.171-178, 1995.
- [2] N.S. Jayant and S.W. Christensen, "Effects of Packet Losses in Waveform Coded Speech and Improvements Due to Odd-Even Sample-Interpolation Procedure", IEEE Transactions on Communications, COM-29: pp. 101-109, Feb. 1981.
- [3] K.V. Chin, S.C. Hui and S. Foo, "A Quality-based Dynamic Voice Recovery Mechanism for Internet Telephony System", ASEAN Journal of Science and Technology for Development, 16(2), pp. 93-110, 1999.
- [4] S.R. Quackbush, T.P. Barnwell and M.A.

Clements, "Objective Measures of Speech Quality", Prentice-Hall, 1988.

[5] B. Li and X.R. Cao, "Experimental Results on the Impact of Cell Delay Variation on Speech Quality in ATM Networks", Proc. of IEEE International Conference on Communications, 1998.

[6] J.G. Beerends and J.A. Stenderink, "A Perceptual Speech-Quality Measure Based on a Psychoacoustic Sound Representation," Journal of the Audio Engineering Society, Vol.42, No.3, 1994.

[7] M. Hausenstein, "Application of Meddis' Hair-Cell Model to the Prediction of Subjective Speech Quality", Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1998.

[8] O. Merton, "Lucent/Avaya Pave the Way for Voice Over IP Telephony", IT Pro, pp. 66-68. Jan./Feb. 2001.

[9] C.H.Slump, T.Simons and K. Verweij, "On the objective speech quality of TETRA", STW/SAFE99, pp.429, 421- Oct.1999.

[10] John Anderson, "Methods for Measuring Perceptual Speech Quality", Network Systems Test Division, Agilent Technology, May 2001.

[11] Sebastian Moller, "Assessment and Prediction of Speech Quality in Telecommunications", Kluwer Academic Publishers, 2000.

[12] Stephen Voran, "Objective Estimation of Perceived Speech Quality", IEEE Transaction on Speech and Audio Processing, Jul. 1999.

저 자 소 개



임 강 빈(正會員)
 1992년 : 아주대학교 전자공학과(학사). 1994년 : 아주대학교 전자공학과(석사). 2001년 : 아주대학교 전자공학과(박사). 1999년~2000년 : (미) 아리조나 주립대 객원연구원. 2001년~2002년 : 아주대학교 정보통신 전문대학원 대우조교수. 2003년~현재 : 순천향대학교 정보보호학과 교수. <주관심분야 : 네트워크 보안, 실시간 운영체제, 임베디드 시스템, 멀티미디어 시스템 등>

최 경 희(正會員)
 1976년 : 서울대학교 사범대학 수학교육과(학사). 1979년 : 프랑스 그랑데폴 ENSEIHT, 정보공학 및 응용수학(석사). 1982년 : 프랑스 Univ. of Paul Sabatier(박사). 1991년~1991년 프랑스 렌즈 IRISA 연구소 교환 교수. 1982년~현재 : 아주대학교 정보 및 컴퓨터 공학부 교수. <주관심분야 : 운영체제, 분산처리, 실시간 시스템 등>

정 기 현(正會員)
 1984년 : 서강대학교 전자공학과(학사). 1988년 : Univ. of Illinois, EECS(석사). 1990년 : Univ. of Purdue, 전기전자공학부(박사). 1991년~1992년 : 현대반도체 연구소. 1993년~현재 : 아주대학교 전자공학부 교수. <주관심분야 : 컴퓨터구조, VLSI 설계, 멀티미디어 및 실시간 시스템 등>