

VoIP 망에서의 QoS 성능측정에 관한 연구

정회원 박진삼*, 민상원**

A Study of Performance Measurement of QoS on VoIP Networks

Jin-Sam Park*, Sang-Won Min** *Regular Members*

요약

본 논문에서는 VoIP 서비스를 사용하는데 있어서 IP 망에서 음성품질을 저해시키는 요소들을 Emulator를 통해 실험함으로써 음성품질에 영향을 미치는 요소에 대해 분석하였다. 그리고 QoS 분석에서는 실제 망 환경에서 겪을 수 있는 영향요소들에 대한 실측치를 반영하여 망 품질에 대한 망상태의 변화를 분석하였다. 망 품질의 가장 큰 영향을 주는 Delay, Jitter, 패킷손실에 대해 실측한 데이터는 IP망에서의 고품질의 VoIP 서비스를 제공하는 기반이 될 것으로 기대한다.

ABSTRACT

In this paper, we have considered the network performance of the VoIP service with the measurement by an emulator, and analyzed the major factors to affect its performance. Also, we have used the measured values to investigate the traffic variations, where their values were observed in the commercial operated network after the delay, jitter and packet loss, and loss compensation methods were applied as the dominant elements. It is expected that our presented results will be a good data to provide the high-quality of voice service in the Internet.

Key Words : Performance Measurement, QoS, VoIP

I. 서론

최근 VoIP(Voice over IP)와 같은 QoS(Quality of Service) 보장을 필요로 하는 새로운 응용 서비스들이 활성화됨에 따라 QoS문제는 차세대 인터넷의 가장 중요한 과제로 등장하였다^{[1][2]}. 본 논문에서는 위와 같은 필요성에 따라 VoIP QoS에 영향을 미치는 요소들에 대하여 분석하고 망 장비와 망에 대한 VoIP QoS 향상방안을 제시한 후 제시한 방안을 평가함으로써 솔루션에 대한 검증 작업을 수행하였다. 장비 QoS 분석에서는 실제 망 환경에서 겪을 수

있는 품질 영향 요소들에 대한 실측치를 반영하여 망 품질 요소들에 대한 망 장비의 성능 변화를 분석하고 최적화 작업을 수행함으로써 망 환경에 적합한 VoIP 장비로의 활용이 가능케 하였다. 따라서 연구 내용을 토대로 모니터링을 지속적으로 추진한다면, VoIP QoS 향상이 가능해져 고객 서비스 만족도 향상에 이바지 할 수 있을 것으로 기대한다.

본 논문은 II장에서는 IP QoS 정의와 필요성, 측정기준, 구현기술을 살펴보고, III장에서는 VoIP QoS 측정방법, 음성통화품질 측정을 알아보고, IV장에서는 VoIP 망에서 발생할 수 있는 파라미터를 Emulator

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2009-C1090-0902-0010)

* (주) SK 브로드밴드 강북네트웍스본부

** 광운대학교 전자통신공학과 통신프로토콜공학연구소(min@kw.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-09-433, 접수일자 : 2008년 9월 21일, 최종논문접수일자 : 2009년 3월 13일

를 이용하여 실험, 측정하여 데이터를 제시하였다. 그리고 마지막 V장에서는 실측한 결과를 바탕으로 결론을 내린다.

II. 음성 서비스품질

QoS란 망 내의 Delay 시간, 혹은 데이터 손실률 등에 따라 통신 서비스 품질을 규정하는 것을 말하는 것으로 QoS에는 사용자가 실질적으로 서비스 QoS를 느끼는 표현 및 체감 QoS와 사용자의 서비스 이용 및 제어의 편리성을 보장하는 이용 및 제어 QoS로 나눌 수 있다³⁾. 그림 2-1은 이들 간의 관계를 나타낸다. QoS 장치는 망 종단에 설치돼 미리 설정된 우선순위 등 관리 목적에 맞게 모든 트래픽을 분류, 관리할 수 있어야 하며 WAN 백본망으로 트래픽이 전송되기 전에 각각의 트래픽을 효율적으로 자동관리 될 수 있도록 해야 한다. 이렇게 되면 차세대 망 프로토콜이 적용된 간선 라우터들은 트래픽을 보다 빠르고 효율적으로 스위칭할 수 있어 양방향 통신품질 향상 효과를 기대할 수 있다.

트래픽의 QoS 특성을 나타내는데 사용하는 트래픽 파라미터를 QoS 파라미터라 하며, 대표적인 QoS 파라미터로는 대역폭, Delay, Jitter, 패킷 손실이 있다⁴⁾⁵⁾.

첫째, 대역폭은 특정한 어플리케이션에 할당된 망 자원의 양을 말하는 것으로 Mbps나 Gbps와 같은 단위를 사용한다. 둘째, Delay는 Latency와 혼용되어 사용되는 것으로 QoS 측면에서 말해지는 Delay는 종단 지연을 말하며, 흐름제어와 관련된 경우는 RTT(Round-Trip Delay)를 지칭하기도 한다. 셋째, Jitter는 어떤 신호가 망을 통해 전달되면서 원래의 신호로부터 왜곡되는 정도를 나타내는데 사용되는 값이다. 그러나 패킷교환망에서는 전송될 때의 패킷들과 수신되는 패킷들 사이의 시간이 왜곡되는 정도를 나타내는 것으로 흔히 Delay Variation

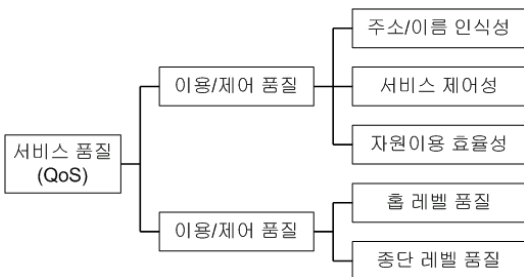


그림 2-1. QoS의 정의

으로 말하기도 한다. 이러한 왜곡 현상은 일반 데이터의 전송에는 아무런 영향을 미치지 않는지만, 멀티미디어 트래픽에 치명적인 영향을 미친다. Jitter를 줄이는 방법으로는 모든 패킷들이 일정한 Delay를 갖도록 Queuing을 하는 방법을 사용하는데, 이는 Jitter를 줄이지만 추가적인 Delay를 발생시키는 원인이 될 수 있다. Jitter의 값은 양수, 음수가 가능하고 패킷의 Jitter가 크면 패킷 손실도 크게 증가한다. 넷째, 패킷 손실은 패킷을 전달하는 과정에서 발생하는 패킷 손실의 정도를 나타내는 것이다. 패킷 손실을 가장 많이 유발하는 원인은 혼잡함에 의해 버퍼오버플로우가 발생하거나, 흐름 제어 알고리즘이 임의적으로 패킷을 버리는 현상에 의해 발생할 수 있다. 일반적으로 버려지는 패킷들은 재전송되어야 하기 때문에, 망의 혼잡을 가중시키는 원인이 되기도 하며, 전체 전송시간을 늘리는 주된 원인이 되기도 한다⁸⁾.

III. VoIP QoS 측정방법 및 기준

3.1 VoIP QoS 파라미터 측정 방법

VoIP QoS 파라미터로 종단간 단 방향 Delay만을 고려하여 그 측정방법을 기술하면 다음과 같다¹²⁾¹⁴⁾. 그림 3-1과 같은 Loop-Back 측정방법은 종단간 단방향 Delay를 측정하는 방법이다. VQT(Voice Quality Testing)를 통해 송신측과 수신측 모두를 컨트롤 하는 것으로 IP망, PSTN망을 통한 양방향 VoIP 음성품질에 대한 측정이 가능하다⁶⁾. 그러나 원거리 장비간의 Delay에 대해서는 측정이 불가능한 단점이 있다.

그림 3-2와 같이 원거리 장비간의 종단간 단방향 Delay 측정에 대한 방법은 두 대의 측정 장비를 통해 송신측과 수신측에 연결하는 방법이다⁷⁾. 이때는 앞과는 달리 두 대의 VQT가 각자 송신측과 수신측이 되어 양방향 측정이 가능하다. 이와 같은 상황에

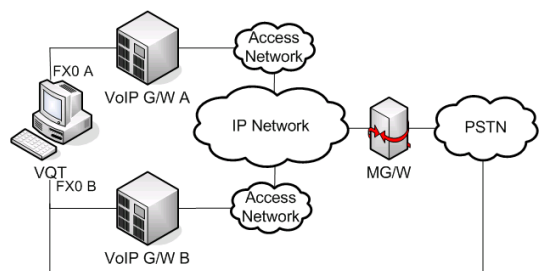


그림 3-1. 종단간 Delay 측정 I

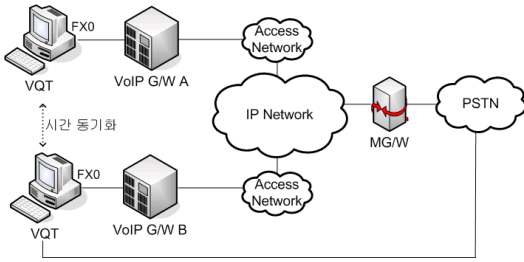


그림 3-2. 종단간 Delay 측정 II

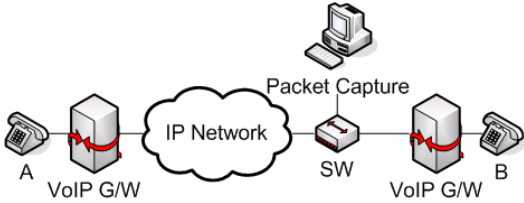


그림 3-3. Packet Capture를 통한 망 성능 측정

서 고려되어야 할 사항은 송신측과 수신측의 시간 동기화 문제이다. RTT의 측정 시에는 이러한 문제는 크게 완화 될 수 있다.

IP망의 성능을 측정하는 방법으로 가장 널리 사용되는 방법은 Ping에 의해 기반을 둔 방법이다. Ping에 의한 망 성능 측정은 RTT 및 양방향 패킷 손실을 기본으로 한다^[13]. RTT를 계산하는 방법은 Echo Request 패킷을 보낸 시간을 저장하고 그에 대한 Echo Reply 패킷을 수신한 시간 계산하여 차이를 구하는 것이다. Jitter의 경우에는 RTT의 확률 분포에 의해 얻어질 수 있다. Ping을 사용함으로써 사용자는 망의 동작 시험이 가능하며 총 송신 및 수신 패킷 개수와 RTT의 최대, 최소 평균 그리고 표준편차 값을 측정할 수 있다.

또한 그림 3-3과 같이 A는 VoIP G/W를 통해 RTP 정보가 IP망을 지나 SW로 흘러 B로 들어가는 트래픽을 Packet Capture를 통해 망의 성능을 측정하는 방법으로 RTP정보를 이용하여 패킷 손실 및 Jitter를 측정할 수 있다.

3.2 음성통화 품질

PSTN망에 대한 통화품질로는 주관적인 테스트인 MOS와 객관적인 테스트인 PSQM, PAMS, PESQ가 있다^[9]. PSQM(Perceptual Speech Quality Measurement)은 NTT(Nippon Telegraph and Telephone Corporation)와 ITU에 의해 개발된 방법이다^[11]. PSQM의 세부적인 프로세스는 그림 3-4와 같이 3개의 과정으로 구분할 수 있다. Step1-Pre-processing/Initialization of

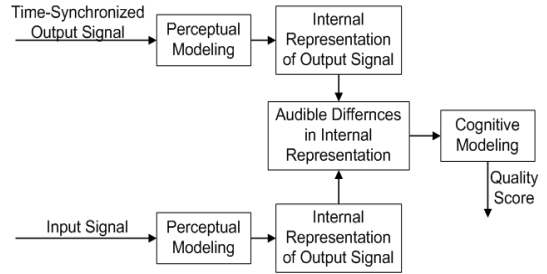


그림 3-4. PSQM 모델

Signal은 Step2와 3의 Pre-Processing 단계로써 신호에 대한 초기화가 진행된다. PSQM은 입력신호를 8kHz 또는 16kHz로 샘플링하고 16bit로 선형 PCM 부호화를 한다. Step2-Perceptual Modeling은 실제 물리적인 신호를 수학적 표현으로 변환시키는 과정으로써 수학적 표현이라는 것은 사람의 음성에 대한 지각력을 나타낸다. 이러한 것은 Time-Frequency Mapping, Frequency Warping and Filtering, Intensity Warping(Compression) 과정을 통해 이루어진다. 마지막으로 Step3-Cognitive Modeling은 입력신호와 출력신호의 비교를 통한 실제적인 PSQM 값을 만들어 내는 과정이다. 이전 단계에 의해 생성된 각 Time-Frequency 구간들에 대한 개별적인 노이즈 정도를 측정하여 그것들의 평균을 만들어냄으로써 부호화된 음성 통화 품질에 직결되는 값을 만들어 낸다. 그 결과로 Quality Score가 매겨지고 이것을 통해 MOS값을 Mapping함으로써 객관적인 음성 통화 품질을 나타낸다. 이 단계는 Loudness Scaling, Internal Cognitive Noise, Asymmetry Processing, Silent Interval Processing의 Silent Interval의 네 가지 과정을 통하여 이루어진다.

PAMS(Perceptual Analysis Measurement System)는 초기에는 유럽을 중심으로 사용했지만 지금은 세계적으로 가장 널리 사용하는 모델이다. 그림 3-5와 같이 PAMS는 4단계의 과정으로 이루어져 있고 그 결과로는 MOS의 LQS(Listening Quality Scale) 및 LES(Listening Effort Scale)가 있다. Step1-Signaling-processing은 입력 신호와 출력 신호에 Pre-processing을 한다. Time Alignment는 신호에 대해 각 시간 단위마다 동기화를 수행한다. 이것은 Delay나 Jitter에 대한 영향을 없애주는 효과를 낸다. Level Alignment, Equalization은 음성통화 영역(300~3400 Hz)에 대한 필터링에 의한 영향을 제거 한다. PSQM과 달리 PAMS는 알고리즘 자체에 Time Alignment와 Equalization 기능을 갖고 있다. Step2-Auditory

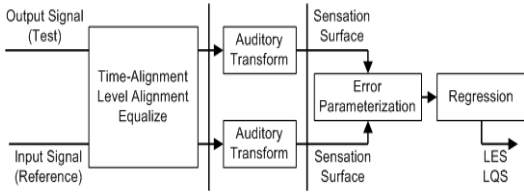


그림 3-5. PAMS 모델

Transform은 입력 신호와 출력 신호를 Time-Frequency 상으로 변형 시킬 때 인지 모델링 과정을 수행한다. 이러한 과정은 PSQM, PSQM+, PAMS, PESQ 모두에서 수행되는 것으로써 입력 신호와 출력 신호를 Uniform Frequency Scale로부터 Bark Scale로 변형시켜 주파수 도메인에서 사람의 음성 신호 인지에 대해 더욱 잘 표현하는 것을 목적으로 한다. Step3-Error Parameterization은 PAMS 출력신호에 대한 Sensation Surface에서 입력 신호의 Sensation Surface를 빼어냄으로써 입력 신호와 출력 신호의 차이를 결정한다. 이 결과는 Time-Frequency 상의 Error Surface로 Time-Frequency 구간의 Audible Error로 간주된다. 이러한 오차는 성격에 따라 Positive Value (Noise of Added Codec Distortion)과 Negative Value (Packet Loss, Time-Clipping)로 나뉜다. Step4-Regression의 상관관계에 의해 스코어가 Mapping 된다.

PESQ(Perceptual Evaluation of Speech Quality)는 ITU 권고안 P.862에 의해 2001년 권고되었다^[10]. 그림 3-6에서 알 수 있듯이 PESQ는 PSQM 알고리즘과 많은 부분이 유사하다. 단지, Pre-Processing 단계에서 PAMS에서와 같은 Time-Alignment 과정이 수행된다.

참고로 PAMS와 PESQ는 수치가 높을수록 음성 품질이 우수하고 PSQM은 평가수치가 낮을수록 우수한 것이다.

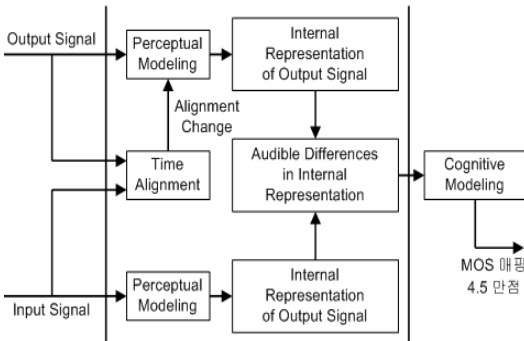


그림 3-6. PESQ 모델

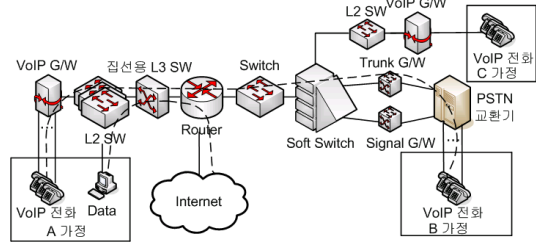


그림 4-1. VoIP Test 망구성도

IV. VoIP QoS 측정방법 및 기준

4.1 VoIP QoS 성능측정 및 평가기준

VoIP QoS 파라미터의 측정을 위해 구성된 시험망은 그림 4-1과 같이 구성되어 있다. Soft Switch를 통한 VoIP망의 구성은 향후 VoIP망의 확장에 유연하게 대처할 수 있으며 다중 프로토콜을 지원하는 개방형 망구조이다. 시험망 환경에서 IP to IP 및 IP to PSTN간의 음성통화 품질을 VQT를 통해 측정한다. VoIP 음성통화 품질에 대한 측정은 IP 망 Emulator를 사용하여 VoIP망의 구성요소들에 대한 성능 시험을 수행한다. 품질에 대한 파라미터로 Delay, 손실, Jitter가 있는데, 이러한 것들을 변화시킴으로써 IP망의 품질을 변화시킬 수 있다. QoS 파라미터의 변화를 위해 IP망 Emulator(Packet Storm)를 사용하였다.

Ethernet을 이용한 VoIP망의 성능 측정에서 측정망 구성 요소로는 표 4-1과 같이 VoIP Gateway가입자 장비와 망 장비 Trunk Gateway가 있으며, 각 구성요소에 대한 개괄적인 내용을 확인할 수 있다.

망 Emulator를 통해 실제 망에서 겪을 수 있는 Delay, Jitter, 손실을 Emulation시킨 상태에서 구성요소들에 의한 반응을 측정함으로써 성능을 평가할 수 있다. 또한 Emulator를 이용한 VoIP QoS를 구성하여 VoIP망에서의 Delay, Jitter, 패킷 손실에 따

표 4-1. 측정 장비 구성요소

장비	내용
가입자 장비 (VoIP Gateway)	MGCP Version 1.0 기반
	Voice 코덱 : G.711 A/u -law, G.723.1, G.729A
	Jitter버퍼 : Dynamic 200ms
망 장비 (Trunk Gateway)	Echo Cancellation : 40ms(G.168)
	MGCP Version 1.0 기반
	Voice 코덱 : G.711 A/u - lay, G.723.1, G.729A
	Jitter버퍼 : Dynamic 150ms

른 VoIP망의 품질을 측정한다. Packet Storm에서 Emulation할 수 있는 망 효과는 Delay, Jitter, 손실, Packet Effect, Link Faults, Congestion등이 있으며, Delay에 대해서는 Fixed Latency를 통하여 Delay를 Emulation하였고, Jitter는 Normal Distributed Latency를 통하여 Jitter 효과를 Emulation 하였으며, 패킷 손실은 Random Loss를 통하여 Emulation 하였다. 또한, 이러한 것들에 대한 Clarity로써는 PAMS의 LES, LQS, PSQM을 측정하였다.

PSTN과 VoIP망은 QoS 파라미터 값에 차이가 있다. 일반적으로 VoIP망에서는 PSTN 망에 비해 상대적으로 큰 Delay가 생기며, 패킷의 전송경로가 달라질 수 있으므로 Jitter, 패킷손실이 생기게 된다.

4.2 Emulator에 의한 측정결과

중단지연은 음성통화 품질에 많은 영향을 미칠 수 있다. 그림 4-2처럼 G.711 코덱을 사용하였을 경우, 중단 지연이 발생하는 것을 볼 수 있다. Tx장비 내에서는 Encoding, Decoding하는 Delay가 추가 발생할 수 있으며, Static 및 Dynamic Jitter 버퍼를 지나치게 많이 사용하게 되면 Delay가 길어지게 됨으로 음성통화 품질을 저해하는 요인이 된다.

중단 지연이 발생하는 개념을 바탕으로 주관적인 측정결과로는 실제 장비를 통해 육성을 확인한 결과 Delay가 250ms 이내일 경우는 양자 간 대화에 크게 불편이 없지만, 그 이상이 되면 음성 통화 시 불편을 느꼈다. 따라서 음성통화 시 Delay는 음성 품질을 저해하는 큰 요소가 된다고 볼 수 있다.

표 4-2. Delay에 따른 청취 테스트 결과

Delay	청취테스트
~250ms	양자간 대화에 불편이 없음
350ms~	통화시 불편을 느끼기 시작
450ms~	대화 시 문제가 됨

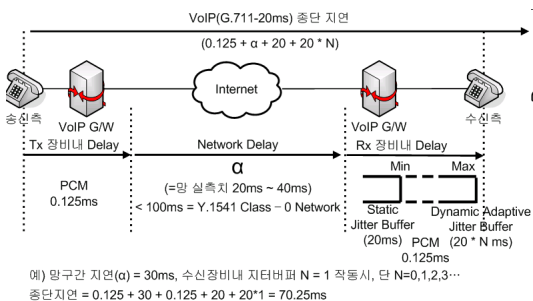


그림 4-2. 중단 지연이 음성통화품질에 미치는 영향의 예

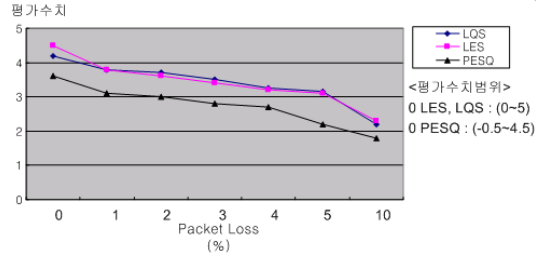


그림 4-3. 손실에 따른 음성 통화 품질

실험망 환경에서 망의 손실이 음성 통화품질에 미치는 영향을 테스트한 결과를 그래프로 나타내었다. IP망 Emulator의 손실이 없을 때 망 손실은 0%, 장비에서의 손실도 0%, 장비에서 손실에 대한 음질 보상은 하지 않는다고 가정하였다. 그래프의 가로축은 패킷손실을 백분율로 나타낸 것이고 세로축은 각각의 객관적인 평가 수치를 나타낸 것이다. 측정결과에서 나타난 것처럼 망의 손실이 커짐에 따라 음성통화품질이 현격히 저하됨을 알 수 있다. 즉, 2% 손실을 발생 시켰을 때 통화품질이 저하됨을 청취테스트에서 확인하였고 그림 4-3과 표 4-3에서도 확인할 수 있다.

패킷손실은 음성통화 품질열화의 주된 원인이지만, PLC (Packet Loss Concealment)의 사용으로 어느 정도 보상할 수 있다. 하지만 PLC 기능을 사용한다고 해서 망에서의 손실이 모두 보상되는 것은 아니다.

Jitter 발생이 음성 통화품질에 미치는 영향을 측정한 결과도 설명해 보자면, 측정 시 사용된 VoIP G/W Jitter 버퍼, Dynamic Jitter 버퍼 범위와 Packet Storm의 Jitter 발생과 Uniform 분포의 Jitter를 Gaussian 방법으로 사용한다.

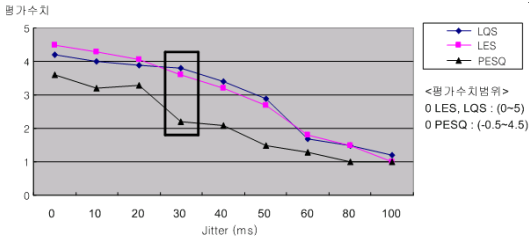
그림 4-5의 가로축은 Jitter를 Emulator하여 인가한 수치를 ms 단위로 나타낸 것이고, 세로축은

표 4-3. 손실에 따른 청취 테스트 결과

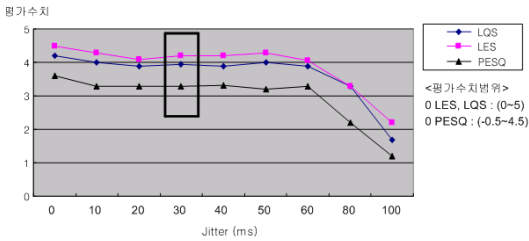
손실률	청취 테스트
2%	상대방의 음성이 약간 떨림
4%	상대방의 음성이 떨림(휴대폰 이하)
5%	상대방의 음성이 많이 떨림

표 4-4. Jitter 설정 파라미터

VoIP G/W Jitter버퍼	Dynamic Jitter 버퍼 범위 (0~200ms)
Packet Storm의 Jitter 발생	Uniform 분포의 Jitter (Gaussian 방법 사용)



(a) 버퍼를 사용하지 않은 경우



(b) 버퍼를 사용한 경우

그림 4-4. Jitter에 따른 음성통화품질

PAMS의 LQS, LES, PESQ 각각의 평가수치를 나타낸 것이다. 그래프에서 볼 수 있는 것처럼 망의 Jitter가 커질수록 음성통화품질은 나빠진다. 이러한 것은 망의 Jitter를 장비의 Jitter 버퍼에서 충분히 흡수하지 못함으로 인하여 패킷 손실이 발생했기 때문이다. 또한, Jitter 버퍼의 사용에 따라 음성통화 품질에 차이가 생기게 됨을 확인하였다. 따라서 장비는 망에서 발생 가능한 Jitter를 흡수할 수 있을 정도의 충분한 Jitter 버퍼를 갖고 있어야 우수한 음성 품질을 보장할 수 있다.

4.3 VoIP QoS 기준

IP망을 통해 VoIP 서비스를 원활하게 제공하기 위한 음성통화품질은 Emulator 측정결과를 바탕으로 표 4-5와 같이 VoIP망 QoS 기준을 망 클래스별 기준으로 제시한다. 즉, 최소 VoIP 서비스를 위해서는 망 클래스 III 패킷 손실 2% 이하, Jitter 30ms 이하의 망 환경을 가져야 하며, VQT를 통한 객관적인 평가수치 또한 기준을 만족해야 한다.

결론적으로, PAMS의 경우 LQS는 3.73 이상, LES는 3.62 이상, PESQ는 3.03 이상의 값을 만족하면 VoIP망 클래스 III 즉, 패킷손실 2% 이하, Jitter 30ms 이하의 망 상황에서도 음성품질이 만족한다고 볼 수 있다. 망 클래스를 I, II, III로 구분하여 망 환경에 맞는 기준을 제시하였고, 향후 VQT를 통한 VoIP 음성품질 서비스 기준을 마련하는데 기여할 것이다.

표 4-5. VoIP QoS 기준

VoIP망 QoS 기준			VQT를 통한 객관적인 평가수치		
망클래스	패킷손실	Jitter	PAMS		PESQ
			LQS	LES	
I	0.5% 이하	< 10ms	3.90	3.90	3.30
II	1% 이하	< 20ms	3.88	3.82	3.09
III	2% 이하	< 30ms	3.73	3.62	3.03

V. 결 론

음성품질의 주된 원인으로는 종단간의 Delay, Jitter 및 패킷손실 등이 있다. 첫째로, 종단 지연은 실제의 IP 인터넷망의 경우 실제적인 Delay는 Jitter 성분을 포함하고 있고 Delay가 클수록 실제 망에서 Jitter가 발생할 확률이 높다. 또한 Jitter는 패킷손실의 원인이 되어 음성통화 품질을 저하시키는 결과를 가져오게 됨으로 결국 Delay가 큰 망의 경우에는 Jitter의 발생으로 인해 음성통화 품질을 보장할 수 없게 된다. 둘째로 망에서의 패킷손실은 음성통화 품질 열화의 주된 원인이다. 따라서 장비는 반드시 PLC기능을 갖고 있어야 한다. 하지만, PLC 기능을 사용한다고 해서 망에서의 손실이 모두 보상되는 것은 아니므로 손실은 여전히 음성통화 품질의 열화 요인으로 남게 된다. 끝으로, 음성통화 품질의 열화는 망에서의 Jitter가 장비의 Jitter 버퍼에 의해 흡수되지 못할 때 발생한다. 장비는 망에서 발생 가능한 Jitter를 흡수할 수 있을 정도의 충분한 Jitter 버퍼를 갖고 있어야 한다. 동적 Jitter 버퍼의 성능이 검증되지 않은 상태에서는 고정방식의 Jitter 버퍼를 사용하여야 한다. 그러나 Jitter 버퍼로 인해 Delay가 증가하기 때문에 효과적으로 이들을 절충시켜야 한다. 따라서 망 품질의 가장 큰 영향을 주는 Delay, Jitter, 패킷손실 등의 보상방법을 가입자망에 적용하고 검증, 실측하여 IP 망에서의 망 클래스별 품질 기준 I, II, III에 따른 객관적인 VQT 측정 장비의 VoIP QoS 기준을 제시함으로써 고품질의 VoIP 서비스에 기여할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] O. Hersent, Beyond VoIP Protocols : Understanding Voice Technology And Networking Techniques For IP Telephony, John Wiley & Son, 2005.

[2] K. Brown, IP Telephony Unveiled, Cisco Press, 2004.

[3] W. Hardy, VoIP Service Quality : Measuring and Evaluating Packet-Switched Voice, McGraw-Hill, 2003.

[4] K. Ramesh, Cisco IP Telephony : Planning, Design, Implementation, Operation, and Optimization, Macmillan Technical Pub, 2005.

[5] B. Douskalis, Putting VoIP to Work, Pentice Hall PTR, 2002.

[6] "Voice Quality(VQ) in Converging Telephony and IP Networks, Agilent Technologies, 2001.

[7] J. Ryan, QoS in the Enterprise, ATG, 2001.

[8] Vergsna, IP Quality of Service, Cisco Press, 2001.

[9] "Methods for subjective determination of transmission quality", ITU-T Recommendation p.800, 1996.

[10] "Perceptual evaluation of speech quality (PESQ), an objective method for end-to-end speech quality assesment of narrowband telephone networks and speech codecs", ITU-T Recommendation p.800, 2001.

[11] "Objective quality measurement of telephone-band (300-3400Hz) speech codecs", ITU-T Recommendation p.861, 1998.

[12] G.Almes, S. Kalidindi and M. Zekauskas, "A Round-trip Delay Metric for IPPM,"RFC2681, IETF Sep.1999.

[13] G. Almes, S. Kalidindi and M. Zekaskas, "A One-way Packet Loss Metric for IPPM,"RFC2680, IETE, Sep. 1999.

[14] G. Almes, S. Kalidindi and M. Zekaskas, "A One-way Delay Metric for IPPM," RFC2679, IETE, Sep.1999.

박진삼 (Jin-Sam Park)

정회원



2002년 2월 세종대학교 정보통신공학과 졸업

2006년 2월 광운대학교 정보통신대학원 전자통신공학과 석사졸업

1999년 1월~현재 SK 브로드밴드 강북네트워크 본부 근무

<관심분야> VoIP, 차세대이동통신

민상원 (Sang-Won Min)

정회원



1998년 2월 광운대학교 전자통신공학과 학사

1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사

1996년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사

1990년~1999년 LG정보통신 선

임연구원

1999년~현재 광운대학교 전자통신공학과 교수

<관심분야> 유무선통신망, IMS, 미래인터넷기술, 차세대통신망, 공학교육