

## 인터넷 전화(VoIP)에서의 E-Model 적용성

임대식, 신재호, 박정렬, 강신각, 정옥조  
 동국대학교 전자공학과, 한국전자통신연구원 표준연구센터

### The suitability of the E-Model to VoIP

Dae Sik Lim, Jaeho Shin, Jeong-Yeol Park, Shin-Gak Kang, Okjo Jeong  
 Dongguk University, ETRI

E-mail : williamk@dongguk.edu

**Abstract** - 인터넷망에서 IP전화의 요구가 강하게 대두되고 있는 시점에, 사용자들의 통화품질 욕구를 만족시키고, 서비스 제공업자들의 업무에 이용될 수 있는 QoS 측정방법이 꾸준히 연구되고 있다. 전통적인 회선교환 전화망에 적용되던 몇 가지 측정도구들 중에서 ITU-T G.107의 E-model은 요즘의 VoIP망에서도 적용할 수 있다. VoIP의 통화 방법에는 기존 PSTN 전화와 인터넷 PC전화의 혼용이 가능한데, PC사용자들 간에도 전화 통화할 수 있도록 한다는 기조 하에 E-model의 적용성을 고찰해 본다. 기존 전화망에서 고려되던 여러 가지 파라미터 외에 인터넷 망에서 나타나는 지연변동, 패킷손실 등의 파라미터와 인터넷 전화 단말의 영향을 포함하여 E-model을 분석해 보고 문제점들을 고찰한다.

## 1. 서 론

음성 통화 품질은 주관적인 개념이며 사용자의 지각력과 기대감에 맞춰진 음성전송품질에 의거한다. 통화품질에 대한 견해는 그 통화의 주관적인 지각력, 즉 전체품질, 음량, 명료도, 대화자 인식, 자연성 등과 관련된 여러 가지 요소를 바탕으로 한다. 손실(Loss), 반향(Echo), 지연(Delay) 그리고 잡음(Noise)과 같은 실제적인 요소는 대화상에서의 음성 품질을 변화시킨다.

전화통화의 품질을 평가하는 데에는 여러 방법이 있다. 개개인의 주관성과 다양성에서, Opinion test는 선호되는 방법이며, 장치와 방법론은 ITU-T P.800에 설명되어 있다. 이 테스트결과는 MOS로 알려진 1(bad)~5(excellent)까지의 품질측정점수이다.

주관적 테스트의 복잡성과 많은 비용 때문에 객관적인 방법이 개발되었는데, 객관적인 방법에는 두가지 형태가 있다. 첫 번째는 전송신호와 수신신호를 비교하는 방법으로, PSQM, PEAQ, PESQ등이 있다. VoIP네트워크에 대한 적용성에 대한 비교는 [1]에서 볼 수 있다. 객관적인 방법의 다른 하나는 파라미터들을 바탕으로 하는 것인데 CCITT Supplement No.3 에서 여러 가지 모델을 볼 수 있다. [2]에 의해

개발하고, [3]에 채택한 E-model은 단말에서 취해진 파라미터로부터 서비스 품질을 예측하는 분석적인 방법을 제안한 것이다.

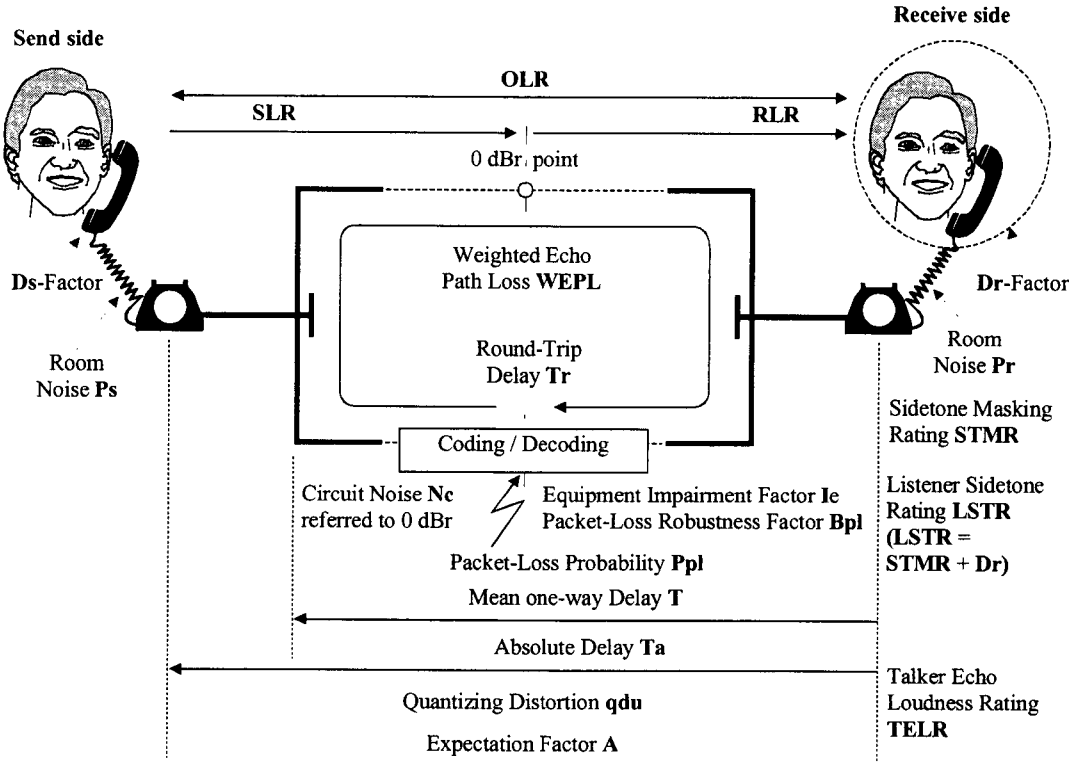
PC기반 단말기와 IP망의 열화 때문에 E-model은 개선되어야 한다. 이 모델에 대한 새로운 입력 파라미터의 정의는 본 논문에서 다룬다. 이 부분은 패킷손실 상호관계 또는 패킷지연 변동의 영향과 같은 새로운 네트워크 열화를 수용하는 E-model을 제안한다.

## 2. 객관적인 평가방법

주관평가 값(MOS값)을 주관평가시험을 행하지 않고 물리적 측정으로 추정하는 방법(객관적인 평가방법)을 사용할 수 있다. 객관적인 평가방법에는, 오디오에 대한 품질평가방법인 PEAQ가 있고, 자세한 내용은 ITU-R BS.1387에서 볼 수 있다. 음성 코덱에 대한 품질 평가방법으로 PSQM이 있고, PSQM이 패킷손실이 생긴 음성의 평가에 적용될 수 없다는 문제점을 보완한 ITU-T P.862(PESQ)가 있다.

표1. ITU-T의 주요한 음성통화품질 평가방법

주관/객관평가	평가 방법	ITU-T 권고	특징
주관평가	MOS값	P.800	피험자가 느끼는 품질을 5단계 (Excellent=5, Good=4, Fair=3, Poor=2, Bad=1)로 평가한 결과의 평균치로 나타냄.
객관평가	R값	G.107	네트워크나 단말의 품질 파라미터를 입력할 때에 "E-model"에 의해 계산된 품질 척도, E-model은 음질에 영향을 주는 부호화 왜곡 등의 잡음과 회화용 이성에 영향을 주는 지연, 반향 등의 요인을 고려한 모델
	PSQM	P.861	원 음성과 열화음성을 입력할 때에, 양자의 신호 특징 량의 차분으로부터 음성의 청취품질을 추정하는 객관적인 평가방법
	PESQ	P.862	PSQM을 기반으로 하여 패킷 손실 등에 대응하기위한 인지 모델을 개량한 객관적인 평가방법



G/107\_F01

그림 1. E-Model의 개요.

### 3. E-Model의 개요

E-model의 일반적인 개요로부터 파라미터와 공식에 대한 자세한 내용은 [2]에서 볼 수 있다. E-model은 전송 파라미터를 이용해 전화통화의 주관적인 품질을 예측하고, 파라미터들에서의 열화는 심리적인 척도에 영향을 끼친다고 가정한다. E-model은 그림1에서의 요소들을 입력으로 사용하고 수화자가 지각하는 QoS를 예측한다.

E-model의 출력은 R값으로, 이것은 통화품질의 하나인 통화MOS값에 대응하고 0~100까지의 범위를 갖는다.

R값은 다음과 같이 정의된다.

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A \quad (1)$$

여기에서  $R_0$ 는 전송로상의 0dBz 지점에서의 신호 대 잡음비(Signal to noise ratio)를 나타내고, 회선잡음, 송/수화 실내 잡음, 가입자 선 잡음에 의해 생기는 주관적 품질 저하의 의미를 갖는데, 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$R_0 = 15 - 1.5(SLR + N_0) \quad (2)$$

0dBm0에서의 전체 잡음,  $N_0$ 는 전기적 회선잡음

( $N$ ), 수신자 측과 송신자 측에서의 실내잡음( $P^S, P^R$ )에 의해 발생하는 등가회선잡음( $N_0^S, N_0^R$ ), 수신자 측에서의 noise floor( $N_{fo}^R$ , 인간의 귀에 영향을 끼치지 않는 레벨이)의 거듭제곱의 합이다. 표준 값들은 [4]에서 볼 수 있다.

$I_s$ 는 음성과 동시에 발생하는 열화를 나타내고, 과도한 음량( $I_{ob}$ ), 최적화되지 않은 측음( $I_{st}$ ), PCM 양자화 왜곡( $I_q$ )등이 있다. 식은 다음과 같다.

$$I_s = I_{ob} + I_{st} + I_q \quad (3)$$

$I_d$ 는 원 음성신호에 지연되어 나타나는 열화를 나타낸다. 즉, 송/수화자 반향( $I_{dt}, I_{dl}$ ), 완전한 에코제거로 나타나는 과도한 지연( $I_{dd}$ )이 있다.

$$I_d = I_{de} + I_{dle} + I_{dd} \quad (4)$$

$I_e$ 는 low bit-rate 코덱, 반향 억제기와 반향 제거기와 같은 특수한 장치를 사용함으로써 발생하는 열화를 나타낸다. 단일 패킷이 다음 패킷에 영향을 끼칠 수 있다는 점에서, 패킷손실도 여기에 포함된다. 증명결과와 값은 [5]에서 볼 수 있다. 이것은 고도의 기술을 요하는 것으로, 현재 활발히 연구 중이다.

$A$ 는 기대요소이다. 이것은 사용자가 다른 이득에 반

하여 발생하는 감소의 높은 레벨을 만족할 수 있다는 것이다. 예를 들어, 휴대전화의 경우 사용자는 시간 및 장소에 구애받지 않고 접속할 수 있는 편리성 때문에 어느 정도의 품질저하를 수용한다. 동일한 품질은 PSTN보다 좀 떨어질 것이다. 요소 A는 IP네트워크를 통하는 유료 품질 음성대화를 제공하는 사업자에 대해서 '0'으로 설정해야 한다. A에 대한 임시 값은 표2와 같다.

표 2. 기대요소 A에 대한 임시 예

통신시스템 예	A의 최대값
Conventional(wirebound)	0
Mobility by cellular networks in a building	5
Mobility in a geographical area or moving in a vehicle	10
Access to hard-to-reach locations, e.g., via multi-hop satellite connection	20

이외의 열화 조건은 네트워크에서 객관적인 방법으로 구할 수 있다. 여기에는 다음과 같은 것들이 있다.

### 3.1 Loudness Ratings

이것은 음량손실의 객관적인 측정방법이다. 즉, 네트워크에서 인터페이스 간의 가중된 전기음향(electro-acoustic) 손실이다. OLR은 송화기와 수화자 귀에서의 신호 간의 음량손실이라 정의하고, 단위는 dB이다. 이것은 송화기와 네트워크 인터페이스와 확성기의 출력사이의 SLR, 대화에 포함된 다른 회로를 통하는 CLR, local loop와 스피커의 출력에서의 신호사이의 RLR로 나눌 수 있다. 특히 디지털 네트워크에서 CLR은 '0dB'이고, 패킷 네트워크에서는 앞에서 정의한 대로,

$$OLR = SLR + RLR + \sum_i CLR = SLR + RLR \quad (5)$$

와 같다.

### 3.2 측정

측음은 송화자 측음과 수화자 측음으로 나눌 수 있다. 송화자 측음은 스피커에서 들리는 자신의 음성과 주위 잡음을 말하며, 수화자 측음은 스피커에서 들리는 송화자의 음성을 제외한 송화자 주위잡음과 수화자 주위 잡음의 합을 말한다.

송화자와 수화자 측음은 Loudness Rating, STMR, LSTR 등의 형태로 특성화되어 나타난다.

### 3.3 반향과 안정성

송화자는 자신의 목소리의 반향을 들을 수 있고 수화자는 서로 다르게 지연된 원신호의 겹친 음을 들을 수 있다. 반향의 부정적인 영향은 한 순간의 음의 크기와 지연에 따라 달라진다. 송화자와 수화자에 대한 각각의 반향의 크기는 특성화 되고, 다시 Loudness Rating의 형태에서, TELR과 WEPL의 형태로 나뉘어진다. 단위는 모두 dB로 표현한다. 반향경로지연은 송화자 반향에 대해서 T로 나타내고, 수화자반향경로는 T<sub>r</sub>로 나타낸다.

### 3.4 평균 종단간 지연(Mean end-to-end delay)

평균 단방향 지연(Mean one-way delay)인, T<sub>a</sub>는 통화품질에서 두 가지 영향이 있다. 그중 하나는 지연이 크면, 반향이 커지는 영향이 있다는 것이고, 다른 하나는 과도한 지연은 완전한 에코 제거기를 사용했음이라도 원활한 의사소통이 이루어질 수 없다는 것이다.

### 3.5 잡음과 양자화 왜곡

잡음은 대화에 섞인 원하지 않는 소리이다. 디지털 네트워크는 전송신호에 잡음이 섞이지 않는다. 유일한 잡음의 근원으로서 송화 측과 수화 측에서의 실내잡음만이 남는다. 잡음의 영향은 직접적으로 송화기 방향성, 측음손실, loudness rating에 의거한다. 표준 값들은 [4]에서 볼 수 있다.

앞에서의 방법으로 열화조건을 얻기 위한 실험적인 방식은 [2]에서 볼 수 있다.

POTS와 이동통신 네트워크 또는 전체가 디지털로 된 네트워크에서 E-model을 적용하기 위한 안내지침은 [4]에서 볼 수 있고, 표준값, 기준형태 및 결과에 대한 해석을 포함하고 있다.

## 4. 장치열화와 기대요소의 변화

### 4.1 IP 네트워크와 장치열화

전통적인 PSTN에서 음성품질에 영향을 미치는 파라미터 외에 패킷 네트워크에서의 음성 품질은 다음의 파라미터들도 고려해야 한다.

- Delay variation(jitter).
- Absolute delay
- Packet loss
- Packet duplication

이것들의 결과는 두 가지의 방법으로 E-model 파라미터에 영향을 미친다. 첫째는 네트워크 지연과 jitter

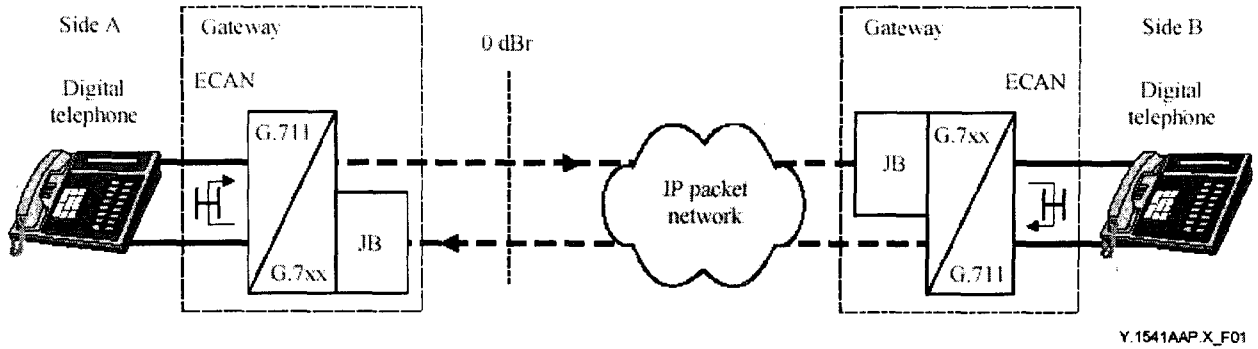


그림 2. 가상 연결도

버퍼에 의한 절대지연이고 두 번째는 패킷손실에 의한  $I_e$ 의 증가이다.

ITU-T G.113에서 일반적인 랜덤 분포가 있는 패킷손실 조건하에서  $I_e$ 의 임시 값에 대한 표에서 패킷손실을 추측할 수 있다. IP네트워크에서 패킷손실분포는 높은 시간 상관관계 성분을 갖고, 네트워크 상에서 패킷손실 처리에 적용되는 확률 모델은 Markov 모델이다.

VoIP통화 중에 채널은 큰 패킷손실(burst)과 작은 패킷손실(gap)조건을 갖는다고 가정한다. 음성품질에서의 이러한 특성의 영향은 사용된 코덱에 따라 달라진다.

VAD model, PLC, CNG 같은 음성처리는 음성품질에 영향을 끼치고 사용된 코덱에 따라 달라진다.

$I_e$ 는 두 가지 부가적인 요소가 있고, 패킷손실이 사용된 코덱에 따라 달라지는 것들과, 네트워크 반향제거기와 패킷지연 변동영향과 같은 코덱에 독립적인 것들로 나누어진다

#### 4.2 기대요소와 사용자 심리

A 요소는 사용자 기대에 관련된 품질점수의 증감에 연관된다. 원래 목적은 네트워크의 장점을 취하는 것이다. 즉, 휴대전화, 디지털 통신, PSTN은 A요소에 대해서 다른 값을 갖는다.

IP 전화는 IP가 연결되어 있다면 장소와 관계없이 자기 자신의 번호로 통화할 수 있는 이익이 고려된 새로운 시나리오로 설정한다.

사용자 기대는 시간에 따라 전개된다. 기대요소의 원래 의미는 네트워크의 장점을 살리는 것이다. 휴대전화, 디지털 통신, PSTN은 다른 기대요소를 갖는다. VoIP는 휴대 단말기로 볼 수 있는 노트북 컴퓨터 때문에 부파적인 이득을 취할 수 있다.

통신비용은 A요소에 포함된 장점이다. 긴 지연을 갖는 국제적인 음성통화는 고객의 불만을 일으키지만, 매우 적은 비용의 경우 같은 IP전화라도 동일한 사용자에게

좋은 평가를 얻는데, A요소가 없는 이러한 만족감을 설명하기 어렵다. A요소에서 통신비용의 포함이 중요하다. 왜냐하면 각각의 나라는 통화비용 가치에 대한 인식이 다르기 때문이다. 그럼에도 불구하고 많은 나라의 테스트는 사용자에게 의해 통신비용을 정할 수 있다. 이러한 테스트에 기반을 한 새로운 sub-factor  $A_p$ 를 A 요소에 포함한다.

수화자가 인지하는 통화품질은 열화의 위치에 따라 다양하다. 통화 중에 발생하는 열화는 통화 전에 발생한 열화보다 큰 영향이 있다. 최근에 알려진 이러한 문제들은 E-model에 의해서 설명되지 않는다. 그것은 사용자의 심리에 의존되기 때문에 새로운 sub-factor A로 다루어진다. 최근 영향에 관련된 MOS변화에 대한 가정 값은 [6]에서 볼 수 있고, 전체 A요소는 다음 식이 된다.

$$A = A_{across} + A_p + A_r \quad (6)$$

#### 5. Y.1541의 가상 경로에 대한 음성품질 계산

E-model의 R값 계산에서  $T$ ,  $T_w$ ,  $T$ 의 값을 제외한 다른 파라미터들은 기본값을 사용하고 평균 단방향 지연은 네트워크 지연에 대해서 100ms를 사용하고, G.711을 포함하는 단말에서의 지연은 50ms를 사용하여 계산한다.

패킷손실(Packet loss)은 음성품질에 영향을 끼치는데, 약 0.1%의 손실이 있는 경우, 패킷손실 제거가 Repeat 1일 때  $I_e$ 는 약 1.9가 되고, G.711 Appendix I PLC을 사용할 때에  $I_e$ 는 약 0.5가 된다.

Y.1541의 가상 기준 경로와 단말의 패킷손실 제거를 사용한 경우에서의 E-model의 R값을 구한 예는 표4와 같다. IP망에서의 고려해야 하는 패킷손실의 영향은 0.1%정도의 손실은 무손실의 경우와 거의 같다는 것을 알 수 있다.

표 3. E-model 파라미터

파라미터	모델 입력 값		
	G.107 기본값	입력 값	단위
Nc	-70	-70.0	dBm0p
Pos	35	35.0	dB(A)
Por	35	35.0	dB(A)
SLR	8	8.0	dB
RLR	2	2.0	dB
Ds	3	3.0	
LSTR	18	18.0	dB
Nfor	-64	-64.0	dBmp
STMR	15	15.0	dB
qdu	1	1.0	units
T	0	150.0	ms
TELR	65	65.0	dB
WEPL	110	110.0	dB
Ta	0	150.0	ms
Tr	0	300.0	ms
Ie	0	0	
A	0	0	
Dr	3	3.0	

표 4. Y.1541의 가상 경로에서의 E-model 결과

Y.1541 QoS class	0	0	1	1	
네트워크, 평균 단방향 지연, ms	100	100	150	233	
단말, 평균 단방향 지연, ms	50	80	80	80	
전체, 평균 단방향 지연, ms	150	180	230	313	
패킷크기, ms	10	20	20	20	
패킷손실 제거	Rpt.1/Sil	G.711 API	G.711 API	G.711 API	
R값	무손실	89.5	87.8	81.9	71.1
	패킷손실 (0.1%정도)	87.6	87.3	81.4	70.6

6. 결 론

VoIP의 품질평가에서 주관적 평가가 좋지만 주관적 평가의 복잡성과 많은 비용 때문에 객관적인 평가가 개발되었고, 객관적인 평가의 하나인 E-model의 R값으로 MOS를 추정하는 편리함이 있다.

E-model은 계산적인 모델로 장비제조업자, 네트워크 관리업자 및 서비스 제공업자 등에서 이미 각종 파라미터들을 제시하고 있기 때문에 VoIP를 구성할 때 바로 E-model을 이용하여 R값을 구해 품질을 평

가할 수 있는 장점이 있다.

그러나, 현대 IP네트워크에서 planning tool로서의 E-model의 적용성은 제한적이다. 왜냐하면, E-model이 개발된 시점에서 현대 네트워크의 단말과 전송 특성은 설명되지 않기 때문이다.

IP네트워크에서 지연변동, 패킷손실 절대지연 등의 파라미터를 고려해야 한다. 본 논문에서는 지연변동 및 패킷손실에 대한 파라미터 값을 적용하여 R값을 구해 보았다. 0.1%정도의 패킷 손실은 무손실인 경우와 비교했을 때와 거의 같다는 것을 알 수 있었다.

새로운 VoIP서비스 제공자와 사용자는 QoS측정에 대한 효율적인 틀을 필요로 한다. 그리고 E-model이 현대 IP네트워크에 잘 적용된다면 이 영역에서 중요한 역할을 할 것이다.

앞으로의 연구는 이 논문에 언급되지 않은 다른 파라미터들이 E-model에 포함되는 게 필요하다. 여기에는 wide band effect, 대화의 품질 특징 또는 직렬로 연결된 코덱에 더해지는 특성 등이 있다.

[약 어]

- A Advantage Factor
- CLR Circuit Loudness Rating
- Ie Equipment Impairment factor
- LSTR Listener Sidetone Rating
- MOS Mean Opinion Score
- OLR Overall Loudness Rating
- PEAQ Perceptual Evaluation Audio Quality
- POTS Plain Old Telephony Service
- PSQM Perceptual Speech Quality Measurement
- qdu Quantizing Distortion
- RLR Receive Loudness Rating
- SLR Send Loudness Rating
- STMR Sidetone Masking Ratio
- T Mean one-way Delay
- Ta Absolute Delay
- TELR Talker Echo Loudness Rating
- Tr Round trip Delay
- WEPL Weighted Echo Path Loss

[참 고 문 헌]

[1] A. Rix, J. Beerends, M. Hollier, A. Hekstra. "PESQ-the new ITU standard for end-to-end speech quality assessment", AES 109th CONVENTION. LOS ANGELES, SEPTEMBER 22-25, 2000.

[2] ETSI ETR 250. Speech communication quality from

mouth to ear for 3.1 kHz handset telephony cross networks. (07/1996).

[3] ITU-T Recommendation G.107. The E-Model, a computational model for use in transmission planning. (07/2002).

[4] ETSI EG 201 050. Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ): Overall Transmission Plan Aspects for Telephony in a Private Network.(02/1999).

[5] ITU-T Recommendation G.113 Appendix I. Provisional Planning Values for the Equipment Impairment Factor Ie. (09/1999).

[6] ITU-T Recommendation P.64. Determination of sensitivity/ frequency characteristics of local telephone systems. (09/1999).

[7] ETSI TIPHON DRAFT TS 101 329-5. Quality of Service (QoS) measurement methodologies. (07/2000).

[8] ITU-T Recommendation Y.1541 Network performance objectives for IP-based services (05/2002).

[9] ITU-T Recommendation Y.1541 Appendix X Speech quality calculations for Y.1541 hypothetical reference paths (11/2002).