

논문 2013-50-7-2

# VoIP와 VoLTE 음성 품질 측정을 위한 통합 E-model 구현

## ( An Integrated E-model Implementation for Speech Quality Measurement in VoIP and VoLTE )

김복순\*, 백광현\*, 조기환\*

( Bog-Soon Kim, Kwang-Hyun Baek, and Gi-Hwan Cho<sup>©</sup> )

### 요약

이동통신 서비스의 발달과 VoLTE 서비스 상용화 이후에 VoLTE 서비스의 품질에 대한 관심이 증가하고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 VoIP와 VoLTE 기반 음성 통신 시스템에서 품질에 영향을 미치는 요소를 계산하여 Wideband 코덱의 음성 품질 계산에 적용 할 수 있는 통합 E-model을 제안한다. 통합 E-model은 액세스 네트워크, 네트워크 특성, 단말의 사용 환경 및 이동성 등을 고려한 R 값을 계산하는 모델이다. 이에 따라 통합 E-model의 구조 및 알고리즘을 설명하고, VoLTE를 위한 최적 E-model 파라미터 적용 방안을 제안했다. 또한 시험을 위해 VoIP는 VoiceChecker와, VoLTE는 POLQA와 비교 검증을 함으로써 10% 이내의 편차를 보임을 확인했다. 제안된 모델을 이용하면 품질에 직접적인 영향을 주는 요소와 VoLTE 단말과 망 환경에 따른 음성 품질을 계산 할 수 있으므로, 실제 무선 환경에서의 직접적인 측정 없이도 품질을 미리 예측 할 수 있는 장점이 있다.

### Abstract

With advancing of mobile communication services and commercializing of VoLTE (Voice of LTE), it is getting to pay attention on QoS of VoLTE. This paper proposes an integrated E-model in which some factors influenced to service quality of VoIP and VoLTE based voice communication system are considered in calculating the voice quality of Wideband Codec. The model aims to calculate R value which reflects the situations of access network, network characteristics, terminals' usage and mobility. We mainly deal with the integrated E-model's structure, related algorithms and optimal parameters for VoLTE. Some experiments show that the voice quality difference between VoIP and VoiceChecker, and VoLTE and POLQA, is below 10%. With the proposed model, we can calculate the voice quality by making use of the factors directly affected to service quality and the environment of VoLTE terminal and network. As a result, we can estimate the service quality in advance, without measuring it in real wireless environment.

**Keywords :** LTE, VoIP, VoLTE, E-model, WB E-model

## I. 서론

2011년 LTE가 상용화가 되었고, 2012년 8월 VoLTE 서비스가 출시되었다. VoLTE는 Voice over Long Term Evolution의 줄임말로 LTE망에서 음성 데이터를

전송하는 것이다. 3G나 기존 음성 서비스와는 달리 넓은 주파수 대역과 광대역 코덱(AMR-WB: Adaptive Multi Rate-Wide Band)<sup>[1, 22]</sup>을 사용해 통화품질이 우수한 것이 특징이다. 이에 따라 사용자들은 광대역을 활용한 고품질 음성 서비스에 대한 관심과 기대가 매우 높다. 그러나 VoLTE 단말 역시 이동전화 단말로써 여전히 그 본질은 음성통화에 있으므로, 광대역 코덱의 선명한 통화 품질과 함께 PSTN과 같은 안정적인 음성 품질을 제공하는 것이 매우 중요하다.

VoIP는 이동성 유무에 따라 고정 VoIP와 모바일 VoIP로 분류될 수 있다. 유선전화와 같이 고정된 초고

\* 정회원, 전북대학교 컴퓨터공학부(클라우드오픈R&D 센터)

(Div. of Computer Science and Engineering (Cloud Open R&D Center), Chonbuk University)

© Corresponding Author(E-mail: ghcho@chonbuk.ac.kr)

접수일자: 2013년3월21일, 수정완료일: 2013년6월26일

속 인터넷망을 통해 음성 통화 서비스가 제공되는 형태가 고정 VoIP라면, WCDMA, LTE망을 통해 이동 전화와 같은 음성 통화 서비스가 제공되는 것이 모바일 VoIP이다. 모바일 VoIP 서비스는 VoIP 기술을 활용하여 무선 네트워크에서 음성 서비스를 제공하는 서비스이다. 특히 기존의 서킷망이 아닌 무선 인터넷망과 같은 All-IP 기반의 패킷 망에서 음성 서비스를 제공하는 기술을 의미한다. 모바일 VoIP를 이루는 핵심 기술은 SIP(Session Initiated Protocol)<sup>[2]</sup>로 인터넷 전화 서비스 제공에 이용되는 호 제어 프로토콜이다. 모바일 VoIP는 기존의 초고속 인터넷 망을 통해 제공되던 VoIP 서비스의 경제적인 장점에 패킷 망을 통한 이동성을 새롭게 추가함으로써 사용자에게 다양한 서비스를 제공한다. 그러나 경제성과 이동성의 장점과 함께 패킷 망을 통해 데이터 송수신을 한다는 점에서 패킷 손실, 음성 지연 및 착신 실패 등의 영향으로 고정 VoIP와는 달리 음성 통화품질이 저하될 수 있다. 또한 모바일 VoIP 서비스는 가입자 단에서 무선 액세스와 단말기로 망이 구성되기 때문에 무선 인터넷 망을 통해 서비스 된다는 측면에서 무선 접속 기술의 특성상 유선망에 비해 음성 품질이 상당히 저하되게 된다. 그리고 기존 서킷 망 기반의 무선 음성 서비스를 제공하는 이동 통신 서비스와 달리 패킷 방식의 음성 서비스를 제공하는 모바일 VoIP는 음성 통화 품질이 저조할 가능성이 높다.

이에 따라 음성 품질을 개선하기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있는데, 이들은 모두 VoIP 품질에 영향을 주는 여러 요소들을 수치화하여 그 특성을 정확하게 파악하는 것이 목적이다<sup>[3]</sup>. VoIP 음성 품질의 수치화를 위해 MOS(Mean Opinion Score)<sup>[4]</sup>, PESQ(Perceptual Evaluation of Speech Quality)<sup>[5]</sup>, E-model<sup>[6]</sup> 등의 방법이 사용되어 왔다. 그러나 이러한 모델들은 실제로 통화를 수행하면서 주관적으로 평가하거나 여러 가지 요소들을 측정 후 계산식에 의해 품질을 수치화하고, VoIP 서비스를 위해 개발된 모델로서 광대역의 고품질을 제공하는 VoLTE 음성 품질을 예측하는데 한계가 있다. 따라서 VoLTE 측정을 위해 품질에 영향을 주는 요소들을 수치화하고 단말의 이동성과 고음질 대역과 같은 요소들을 반영한다면, 실제 VoLTE 이동 환경에 적합한 음성 품질 예측 결과를 얻어 최적의 품질 제공이 가능하게 된다.

이에 따라 본 논문에서는 VoIP와 VoLTE 기반 음성 통신 시스템에서 품질에 영향을 미치는 요소를 계산하고, 광대역 코덱의 음성 품질 계산에 적용할 수 있는 통

합 E-model을 제안한다. 통합 E-model은 품질에 직접적인 영향을 주는 요소뿐 아니라 VoLTE 단말과 망 환경에 따른 요소들을 음성 품질 계산에 반영하므로, 실제 무선 환경에서의 직접적인 측정 없이도 품질을 미리 예측 할 수 있다. 또한 국내의 모두 모바일 환경인 VoLTE에서 음성 서비스를 제공하는데 있어 품질 평가 사례나 기준이 없는 실정이다. 이에 따라 통합 E-model은 VoLTE 음성 서비스를 제공하는 데 있어 사용자의 품질을 확인 할 수 있는 통화품질 지표를 제시함으로써 VoLTE에 대한 평가 지표를 위한 기준 마련에 토대가 될 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 VoIP 서비스를 위한 음성 품질 평가 기술을 소개하고, III장에서는 통합 E-model의 구조와 품질 영향 요소 계산 알고리즘에 대하여 설명한다. 그리고 IV장에서 제안된 모델을 구현 및 검증하고, V장의 결론으로 마무리를 짓는다.

## II. VoIP 서비스를 위한 음성 품질 평가 기술

기존의 유선 전화망 서비스에서 사용하던 통화 품질 기술은 인터넷 환경 하에서도 코덱의 성능을 평가하기 위해 사용되고 있다. 음성 품질 평가 방법으로서 가장 일반적인 MOS가 사용되어 왔으며 품질은 1에서 5까지의 값으로 평가하였다. 그러나 MOS의 방법은 시험자의 주관적인 판단에 의존하게 됨으로써 정확성 및 공정성이 떨어지고 고비용의 문제가 있기 때문에 이를 개선하기 위해 시험자가 관여하지 않는 객관적인 음성이 품질 측정 방법이 선호되고 있다. 본 장에서는 일반적으로 널리 알려진 주관적 평가 방법인 MOS와 객관적인 평가 방법은 PESQ, E-Model에 대해 살펴본다<sup>[7~8]</sup>.

### 1. MOS(ITU-T P.800)

MOS는 음성 코덱에 의해 음성 신호를 압축 과정과 네트워크 전송후에 수신된 음성 품질에 대해서 1점에서 5점까지 5단계로 나누어서 미리 선정된 청취자 집단에 의해 평가되어진다. 전송된 음성 품질에 대해서 청취자들은 대화형 이견 테스트, 청취 의견 테스트, 인터뷰 및 조사 테스트 등으로 주관적인 점수를 매기게 된다. MOS는 ITU에서 개발되었으며, ITU-T P.800에 정의되었다. MOS의 시험 방법은 실제 사람들이 느끼는 품질을 확인 할 수 있는 주관적인 평가 방법으로서 평가자 모집의 어려움과 평가 환경등 현실적으로 적용하기

어려운 문제가 있다. 즉, 실험에 참여한 청취자들이 느끼는 음성 품질의 평균값을 주관적인 만족에 대한 느낌을 점수로 나타내기 때문에 실험자에 대한 주관적인 결과라 볼 수 있다. 또한 동일한 피실험자가 동일한 환경에서 동일한 테스트를 진행하여도 동일한 결과가 나온다는 보장을 하지 않기 때문에 여러 문제점을 가지고 있다.

## 2. PESQ(ITU-T P.862)

PESQ는 음성 품질에 대한 객관적인 평가 방법으로서 ITU-T 권고안 P.861/P.862에 정의되어 있는 표준 음질 측정 방법이다. PESQ는 원래의 신호와 원래 신호가 통신 시스템을 통과하여 나온 감쇄된 신호를 평가한다. 원래 음성과 감쇄된 음성을 입력했을 때, 양측의 신호 특성 차이에서 음성의 품질을 측정하는 PSQM (Perceptual Speech Quality Measurement)을 바탕으로 하고 있으며, 패킷손실 등에 대응하기 위해 인지 모델을 개량한 객관적인 평가 방법으로 알려지고 있다. PESQ 값은 0.5에서 4.5사이에 위치하며, 일반적으로 1.0에서 4.5 사이의 값을 갖는다.

PESQ는 단 방향인 청취 음성 왜곡 및 잡음을 측정할 수 있지만 loudness loss, 지연, 에코 등의 전송 품질은 반영하지 않고 있는 단점이 있다. 따라서 PESQ값이 높더라도 양방향 대화형 품질인 통화 품질은 지연에 민감하기 때문에 지연을 고려하는 경우에는 통화 품질 자체는 낮을 수 있다.

## 3. E-Model(ITU-T G.107)

ITU-T 표준 권고안 G.107에서는 음성 통화 품질 평가 기준인 E-Model에 대한 표준을 정의하고 있다. E-Model은 ESTI TC STQ(Technical Committee for Speech Processing, Transmission & Quality Aspects)에서 1993년 표준화하였고, ITU-T에서는 G.107로 승인하였다<sup>[6]</sup>. E-Model은 망을 설계하고자 하는 사람이 실제 망을 설치하기 전에 망의 품질을 계산식을 통해 추정하기 위한 설계 도구로서 개발되었다. E-Model은 망의 손실, 지연 등에 대하여 고려하고 있기 때문에 PSTN의 전화망뿐만 아니라 데이터 망의 음성 품질에 적용되고 있다. E-Model의 계산결과는 종합음성 전송 품질을 나타내는 R값이라고 불리는 단일 값이 산출된다. E-Model을 계산하기 위해서는 신호대 잡음비를 품질의 정도라고 간주한 후 그 정도에서 음성 신호, 지연, 코덱 등이 품질에 미치는 손상 값을 차례로 차감해가는

형태이다. 일단 R값이 산출되면 추정 MOS값으로 변환할 수 있다. E-Model에서 R값을 산출하기 위한 식은 다음과 같다.

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

$R_o$ 는 기준 신호대 잡음비로 회선잡음, 송수화 실내 경음, 가입자선 잡음에 의한 주관적 품질이다.  $I_s$ 는 음성신호와 동시에 발생하는 신호들에 의해 발생하는 품질 저하 요소들 합이며,  $I_d$ 는 지연시간에 의해 발생하는 품질저하 성분으로 송수신자의 에코, 절대 지연 등이 해당된다.  $I_e$ 는 네트워크 장치, 사용 코덱 등의 장비에 의해 발생하는 품질 저하 성분으로 낮은 비트율 부호화, 패킷, 셀 손실 등에 의해 결정된다. 그리고  $A$ 는 모바일 통신 등의 편리성이 주관적 품질 만족도에 끼치는 영향을 보완하는 값이다.

위의 파라미터를 계산하기 위해 입력되는 대부분의 인자는 단말의 하드웨어적 특성이나 주변 환경 특성에 의하여 결정되는 것으로 실질적으로 통화 조건에 따라 변화되는 인자는  $I_d$ 를 위한 입력 인자인 지연시간과  $I_e$ 를 위한 입력 인자인 패킷 손실률뿐이다. 따라서 기존 E-Model은 다양한 영향 요소에 의한 품질 변화를 가능하기 어렵다는 단점이 있다. 또한 특정 환경에서 지연시간, 패킷 손실률 등의 인자들을 얻어내기 위해서는 실제 네트워크상에서 측정이 필요하므로, 음성 품질을 미리 예측할 수 없다는 한계가 있다<sup>[3]</sup>.

또한 요즘 출시된 VoLTE 기반의 HD-보이스, 지음(知音)은 광대역(50~7,000Hz) 서비스로 기존 PSTN의 협대역(300~3,400Hz) 대비 2.2배의 고음질 서비스를 제공하고 있다. 광대역 전송 품질 예측 모델로서 WB(WideBand) E-model을 ITU-T G.107.1<sup>[9]</sup>에서 제공하고 있지만 이는 G.107의 수정 버전으로 코덱과 단말의 이동성이 반영되지 않은 음성 대역만 광대역으로 확장한 기존 E-model과 비슷한 개념이다. 따라서 이러한 한계를 극복하기 위하여 본 논문에서는 E-Model을 기반으로 실제 네트워크에서의 단말, 사용자 및 네트워크 특성을 통해 지연시간과 패킷 손실율을 산출하고, VoLTE의 이동성과 코덱정보를 이용하여 R값을 얻어낼 수 있는 통합 E-Model을 제안하고 구현한다.

## III. VoIP와 VoLTE 측정을 위한 통합 E-Model

### 1. 개요

본 논문에서 제안하는 VoIP와 VoLTE 음성 품질 측정을 위한 통합 E-model의 구조는 그림 1과 같다. 첫 번째 단계는 액세스 네트워크의 단말과 호 설정에 따라 VoIP와 VoLTE를 구분한다. 두 번째 단계는 실제 네트워크 특성에 따라 패킷 손실률, 지연, 지터 값과 VoLTE 사용 상황에 맞는 E-model 파라미터를 계산한다. 세 번째 단계는 계산된 값이 VoIP인 경우 E-model에 입력하고, VoLTE 경우 WB E-model에 입력하여 R값을 얻어낸다. 즉, 통합 E-model은 기존 E-model에 입력되는 패킷손실률과 지연, 지터 및 다른 파라미터를 실제 네트워크 상황과 VoLTE 단말과 같은 특성을 반영하는 모델이다.

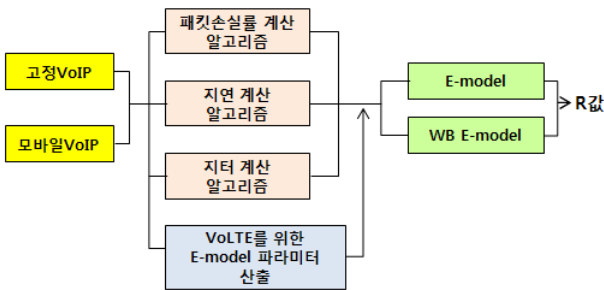


그림 1. 통합 E-model의 구조  
Fig. 1. Structure of the integrated E-model.

### 2. 액세스 네트워크의 모바일 VoIP 식별

단말이 액세스하는 네트워크와 발착신의 호 설정에 따라 VoIP와 VoLTE를 구분 할 수 있는데, 음질 측정을 위한 식별은 RTP(Real Time Protocol)<sup>[10]</sup> 페이로드 타입(Payload type) 또는 SIP 메시지의 SDP(Session Description Protocol)<sup>[11]</sup>의 코덱 정보를 보고 표 1과 같이 구분하였다.

표 1. 오디오 인코딩 페이로드 정보에 따른 액세스 네트워크 식별  
Table 1. Network identification of access network by audio encoding payload type.

망 구분	RTP/SDP 코덱 정보
VoIP	G.711 <sup>[12]</sup> /G.723.1 <sup>[13]</sup> /G.729 <sup>[14]</sup>
VoLTE	AMR <sup>[21]</sup> /AMR-WB <sup>[15][22]</sup>

### 3. 패킷 손실률 계산 알고리즘

패킷손실률( $P_{pl}$ )은 송신 단말에서 전송한 음성 패킷 중 수신 단말에 정상적으로 도착하지 못한 패킷의 비율

을 의미하며, 수신된 RTCP(Real Time Control Protocol)<sup>[10]</sup>의 전송구간에서 발생한 패킷 손실률( $P_{fraction\ lost}$ )를 이용해서 계산한다.

$$P_{lostrate} = P_{fraction\ lost} \times 100 \quad (2)$$

만약 통화 시간이 짧아 RTCP가 수신되지 않은 경우  $P_{pl}$ 을 측정할 수 없는 문제를 보완하기 위해 RTP를 활용하여  $P_{lostrate}$ 을 계산한다. 전송한 패킷의 수를  $P_{send}$ , 받은 패킷의 수를  $P_{recv}$ 라고 할 때 네트워크에서 손실된 패킷 수  $P_{lost}$ 는 아래와 같다.

$$P_{lost} = P_{send} - P_{recv} \quad (3)$$

수신 패킷 중 지터버퍼지연 이후에 수신된 패킷 수를  $P_{discard}$ 라고 하면 패킷 손실률  $P_{lostrate}$  아래와 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$P_{lostrate} = 100 \times \frac{(P_{lost} + P_{discard})}{P_{send}} \quad (4)$$

### 4. 지연 계산 알고리즘

지연( $T_{delay}$ )은 그림 2와 같이 네트워크에 의한 지연( $T_{net}$ ), 코덱의 인코딩/디코딩에 의한 지연( $T_{codec}$ ), 지터 버퍼에 의한 지연( $T_{jitter\ buf}$ ) 등 여러 요소들에 의해 발생하고 있으며, 체감품질 측정을 위해 위의 3가지 요소를 모두 반영하였고 수식은 아래와 같다.

$$T_{delay} = T_{net} + T_{codec} + T_{jitter\ buf} \quad (5)$$

$T_{net}$ 는 그림 3과 같이 사용자 IP가 연속 변경되는 3개의 RTCP의 NTP(Network Time Protocol) 타임스탬프를 이용해 계산한다<sup>[10]</sup>.

사용자1이 사용자2에게 송신하는 시간을  $NTP_{sr1}$ , 사용자2는 사용자1로부터 패킷을 수신하고  $DSLRL_1$  시간 경과 후 패킷을 사용자1에게 송신한다. 사용자1은

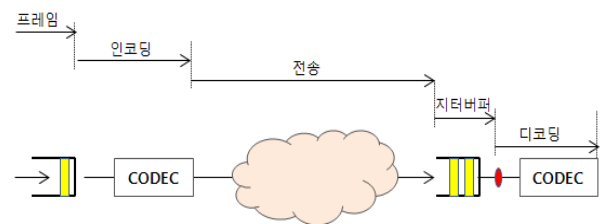


그림 2. 네트워크 지연 발생 구간  
Fig. 2. Network delay occurrence area.

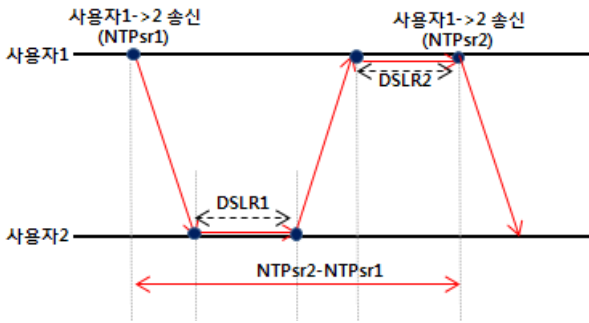


그림 3. RTCP를 활용한 지연 계산  
Fig. 3. Delay calculation with RTCP.

표 2. 코덱 지연( $T_{codec}$ )  
Table 2. Codec delay( $T_{codec}$ ).

망구분	코덱	$T_{codec}$
VoIP	G.711	0.25
	G.723.1	67.5
	G.729A	25
VoLTE	AMR	30
	AMR-WB	30

사용자2로부터 패킷 수신 후 다시  $DSL R_2$  만큼 시간이 경과한 다음 다른 패킷 송신을 하는데, 이때 송신한 시간이  $NTP_{sr2}$  이다. 이때 DSLR(Delay since last SR)은 가장 최근 받은 SR의 패킷으로부터 다음 패킷을 보낼 때까지의 지연으로  $T_{net}$ 은  $NTP_{sr2}$ 에서 최초 송신시간과 절대시간을 뺀 값이 된다.

$$T_{net} = NTP_{sr2} - NTP_{sr1} - DSLR_1 - DSLR_2 \quad (6)$$

$T_{codec}$ 는 ITU-T G.114<sup>[16]</sup>를 기준으로 아래 표와 같이 적용한다.

5. 지터 계산 알고리즘

지터( $J$ )는 송신단말과 수신단말까지의 패킷에 대한 End-to-End 단방향 지연의 통계적 변이의 예측 값으로 패킷의 송신과 수신 시간차이로 계산된다.

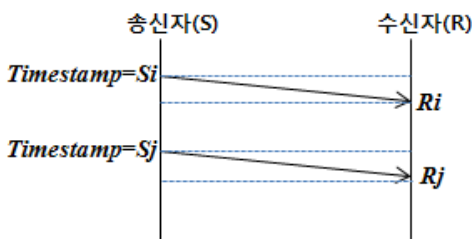


그림 4. RTP를 이용한 지터 계산  
Fig. 4. Jitter calculation with RTP.

그림 4는 송신 시각과 수신 시각을 이용하여 RTP의 데이터 패킷 도착 시간의 통계적 편차 지연( $D$ )를 나타내는 것으로 수식은 다음과 같다<sup>[10]</sup>.

$$D(i, j) = (R_j - R_i) - (S_j - S_i) = (R_j - S_j) - (R_i - S_i) \quad (7)$$

이때  $S_i, S_j$ 는 각각  $i$ 개째,  $j$ 개째 송신한 RTP 패킷의 타임스탬프이고,  $R_i, R_j$ 는 각각  $i$ 개째,  $j$ 개째 수신한 RTP 패킷의 타임스탬프이며,  $i$ 개째의 패킷과  $j$ 개째의 패킷의 송신 간격과 수신 간격이  $D(i, j)$ 이다. 그리고 도착한 지터  $J$ 는 아래와 같이 정의 할 수 있다.

$$J = J + (|D_{(i-1),i}| - J) / 16 \quad (8)$$

6. VoLTE를 위한 E-Model 파라미터 산출

E-Model에서 많은 파라미터들이 권고값으로 제시되어 사용되고 있는데, 이로 인해 품질 측정의 한계가 존재한다. 또한 VoLTE 서비스와 같은 광대역 코덱과 이동성에 대한 파라미터가 정의되어 있지 않아 품질 측정이 어렵다. 따라서 이를 개선하고자 VoLTE의 3GPP E-UTRAN Cell ID<sup>[17]</sup>정보를 이용하여 단말의 이동 여부를 판단하고 이를 품질측정 요소에 반영하였다. 그리고 체감 품질에 가까운 측정을 위해 아래의 파라미터를 망의 특성에 맞게 산출하였다.

가. 통화 환경에 따른 잡음( $P_s, P_r$ )

전화를 사용하는 환경(건물내, 자동차안, 운전중)에 따라 발생하는 실내 잡음으로써 단말의 위치와 이동여부에 따라 송신측에서 발생하는 잡음( $P_s$ )과 수신측에서 발생하는 잡음( $P_r$ )은 ITU-T P.800 참조하여 표 3과 같이 선택하도록 알고리즘을 적용한다.

표 3. 망과 사용 환경에 따른  $P_s, P_r$   
Table 3.  $P_s, P_r$  for network and environment.

망구분	사용환경	$P_s, P_r$
VoIP	실내	35
VoLTE	실내	35
	고정차량	35
	이동차량	43.2

나. 코덱에 의한 열화( $I_e$ )와 패킷 손실 내성( $B_{pl}$ )  
패킷 손실율의 양호기준(0.5%미만)에 따라  $I_e$ 와  $B_{pl}$

표 4. Narrowband 코덱을 위한 장비왜곡( $I_e$ )와 패킷 손실 내성( $B_{pl}$ )

Table 4.  $I_e$  and  $B_{pl}$  of Narrowband CODEC.

코덱 타입	패킷 사이즈	PLC 타입	$I_e$	$B_{pl}$
G.723.1+VAD	30ms	Native	15	16.1
G.729A+VAD	20ms (2 frames)	Native	11	19.0
GSM-EFR	20ms	Native	5	10.0
G.711	10ms	None	0	4.3
G.711	10ms	ITU-T G.711	0	25.1

표 5. Wideband 코덱을 위한 장비왜곡  $I_e, W_b$

Table 5.  $I_e$  and  $W_b$  of Wideband CODEC.

코덱타입	레퍼런스	Operating rate(kbit/s)	$I_e, W_b$ value
ADPCM	ITU-T Rec.G.722	64	13
		56	20
		48	31
Modifies lapped transform coding	ITU-R Rec.G.722.1	32	13
		24	19
CELP	ITU-R Rec.G.722.2	23.85	8
		23.05	1
		19.85	3
		18.25	5
		15.85	7
		14.25	10
		12.65	13
		8.85	26
		6.6	41

은 ITU-T G.113<sup>[18]</sup> 참조하여 표 4, 5과 같이 알고리즘 적용하였다.

다. 이동성에 대한 보정( $A$ )

호의 유형에 따라 추가 적용되는  $A$ 는 이동성의 특성을 반영할 수 있는 파라미터로 ITU-T G.107<sup>[6]</sup> 참조하여

표 6. 통신 시스템별 이득값  $A$  과 적용 네트워크  
Table 6. Provisional examples for the advantage factor  $A$  and applicable network.

통신 시스템 예	$A$ 최대값	적용 망
유선)	0	VoIP
건물 내의 무선	5	/VoLTE
차량 이동중의 무선	10	VoLTE
위성(다중 홉 연결)	20	-

표 7. 이동성 보정 적용 값

Table 7. Advantage factor  $A$  of mobility.

망구분	Cell ID변경여부	$A$
VoIP/VoLTE	미변경	0
VoLTE	미변경	3
	변경	7

표 6과 같이 적용 망을 구분할 수 있다. VoIP의 경우 이동의 정도가 크지 않지만 VoLTE의 경우는 휴대 단말의 특성상 이동이 기본이므로 3GPP E-UTRAN Cell ID 정보 변경 여부에 따라 표 7과 같이 알고리즘을 적용하였다.

#### IV. 구현 및 검증

##### 1. 통합 E-model의 시험환경과 구현

통합 E-model의 실험을 위해 그림 5와 같이 VoIP, VoLTE 시험망을 구성하였다. 그림과 같이 본 논문에서는 패킷 교환망에서 RTP, RTCP, SIP, SDP 프로토콜 메시지를 수집하여, 액세스 단말, 패킷 손실률, 지연, 지터 및 VoIP, VoLTE용 E-model 파라미터를 적용해 R값을 얻어 낸다.

시험을 위해 단말은 VoIP는 인터넷 전화를 VoLTE는 삼성 갤럭시노트2와 LG 옵티머스G를 사용하고, C

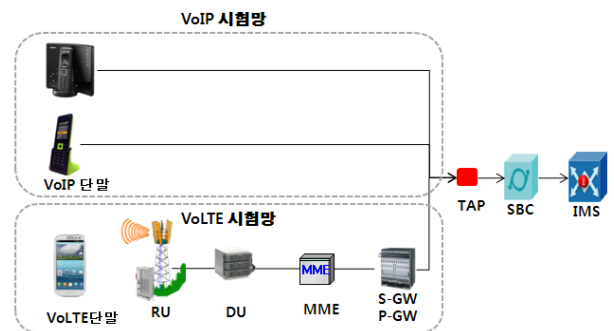


그림 5. VoIP, VoLTE 시험망

Fig. 5. Test network of VoIP and VoLTE.

발신시간	발신번호	착신번호	통화시간(초)	Codec	MOS	R Value	Loss	Delay	Jitter
12-12-07 17:33:38.353	010	8210	3	UP: AMR_WB DOWN: AMR_VI	UP: 3.522 DOWN: 3.529	UP: 88.418 DOWN: 88.574	UP: 0 % DOWN: 0 %	UP: 111.77 ms DOWN: 102.792	UP: 147.024 ms DOWN: 65.412 ms
12-12-07 17:33:38.354	010	8210	3	UP: AMR_WB DOWN: AMR_VI	UP: 3.522 DOWN: 3.529	UP: 88.418 DOWN: 88.574	UP: 0 % DOWN: 0 %	UP: 111.77 ms DOWN: 102.792	UP: 147.025 ms DOWN: 65.412 ms
12-12-07 17:33:37.470	070	8210	2	UP: AMR_NB DOWN: PCMU	UP: 3.855 DOWN: 0	UP: 75.769 DOWN: 0	UP: 0 % DOWN: 0 %	UP: 102.831 ms DOWN: 0 ms	UP: 65.765 ms DOWN: 0 ms
12-12-07 17:33:37.652	010	8210	3	UP: AMR_NB DOWN: PCMU	UP: 3.842 DOWN: 0	UP: 75.477 DOWN: 0	UP: 0 % DOWN: 0 %	UP: 103.52 ms DOWN: 0 ms	UP: 72.027 ms DOWN: 0 ms
12-12-07 17:33:38.59	010	8255	18	UP: AMR_WB DOWN: AMR_VI	UP: 3.756 DOWN: 3.797	UP: 74.407 DOWN: 74.431	UP: 0 % DOWN: 0 %	UP: 105.282 ms DOWN: 103.985	UP: 88.046 ms DOWN: 76.252 ms
12-12-07 17:33:38.60	010	8255	18	UP: AMR_WB DOWN: AMR_VI	UP: 3.756 DOWN: 3.797	UP: 74.407 DOWN: 74.431	UP: 0 % DOWN: 0 %	UP: 105.282 ms DOWN: 103.985	UP: 88.047 ms DOWN: 76.252 ms
12-12-07 17:33:38.591	010	8210	1	UP: AMR_NB DOWN: PCMU	UP: 3.739 DOWN: 0	UP: 73.095 DOWN: 0	UP: 0 % DOWN: 0 %	UP: 106.894 ms DOWN: 0 ms	UP: 102.897 ms DOWN: 0 ms

그림 6. 통합 E-model의 품질 측정 결과

Fig. 6. Test results of the integrated E-model.



언어와 MySQL 프로그램으로 제안 알고리즘을 적용한 통합 E-model을 구현하였다. 구현 결과는 그림 6과 같이 패킷 손실률, 지연, 지터, 코덱과 E-model에 의한 R 값과 MOS를 확인 가능하다.

2. 통합 E-model의 검증

구현된 모델의 적절성과 정확도를 검증하기 위해 확장된 E-model의 계산결과를 VoIP는 VoiceChecker<sup>[19]</sup> VoLTE는 POLQA<sup>[20]</sup>와 시뮬레이션 결과를 서로 비교해왔다. 비교의 정확도를 높이기 위해 시뮬레이션 수행 시 제안 모델과 VoiceChecker 및 POLQA에 동시에 호를 설정하였다. 또한 VoLTE에 대한 E-model의 파라미터 적절성 검증을 위해 단말의 셀 업데이트 정보를 활용하여 A 를 다양하게 적용하여 실험하였다.

먼저, 통합 E-model의 정확도와 음성 품질 수치의 유사성을 살펴보기 위한 VoIP 실험 결과는 그림 7과 같다. 그림과 같이 확장된 E-model에 의한 품질 수치와 VoiceChecker에 의한 품질 수치의 편차는 10% 이

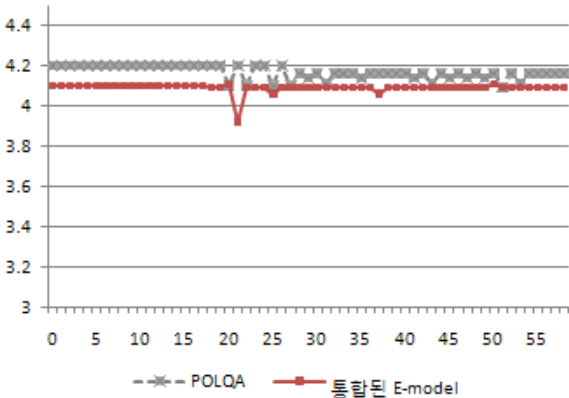


그림 7. VoIP 음성 품질 측정 결과  
Fig. 7. Voice quality test result of VoIP.

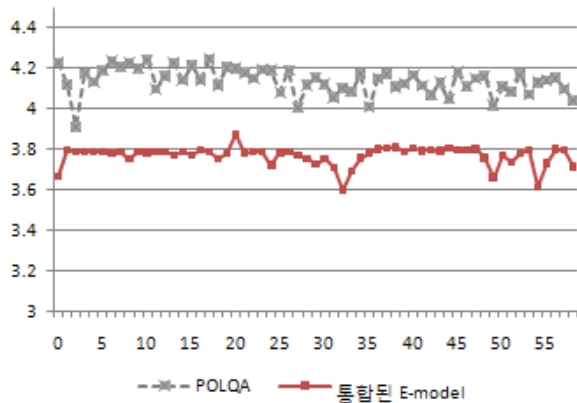


그림 8. 실내에서 VoLTE 측정 결과  
Fig. 8. VoLTE test result in door.

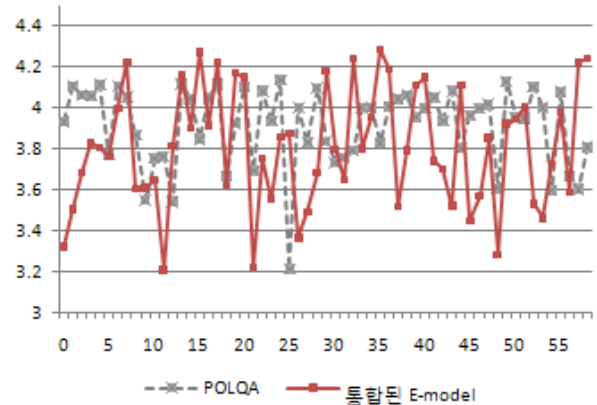


그림 9. 고정 차량의 VoLTE 측정 결과  
Fig. 9. VoLTE test result in fixed vehicle.

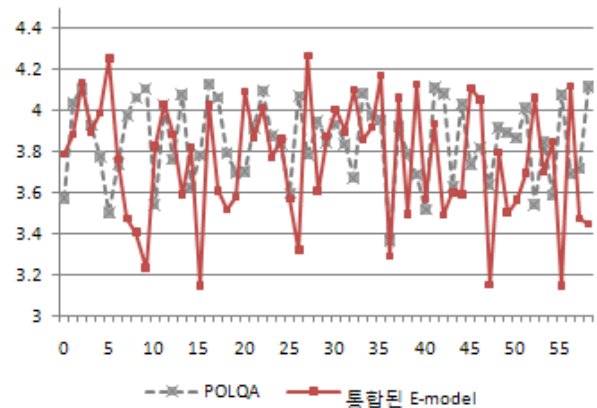


그림 10. 이동 차량의 VoLTE 측정 결과  
Fig. 10. VoLTE test result in moving vehicle.

내다.

다음으로 VoLTE 단말의 이동 속도를 실내, 차량 고정, 차량이동으로 변화시키면서 MOS값을 측정하였다. 측정 결과는 아래 그림 8, 9, 10과 같이 편차가 10% 이내로 나타났으며, POLQA를 통한 시뮬레이션 결과와의 유사성을 확인 할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 기존의 E-model에서 자세히 고려되지 않았던 AMR-WB에 대한 요소를 개선하고, 실제 네트워크 특성이 반영된 시험 환경 구성과 구현 및 검증을 통하여 VoiceChecker, POLQA와 10% 이내 품질 편차를 보임을 검증하였다. 통합 E-model의 입력 인자는 단말의 이동성과 환경을 반영하는 것으로 실제 무선망이 구축되기 전에 품질을 예측하는데 사용 할 수 있다. 또한 입력 인자를 단말의 고정과 이동, 음성과 코덱의

협대역과 광대역 구분으로 상세화함으로써 다양한 조건에서의 성능 예측을 할 수 있는 장점도 있다. 따라서 본 모델 적용시 운용 환경에 따라 어느 정도의 품질을 제공할지 사전 예측하여 이에 맞게 망 설계에 활용 할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 VoLTE 품질 측정을 위해 사용자 품질 지표를 정의함으로써 VoLTE 평가 지표 토대 마련에 활용 가능하다.

그러나 무선 환경의 특성 및 이동성에 대한 다양한 추가 변수를 반영하여 정확도 개선에 대한 연구와 버스트 에러를 반영할 품질에 반영할 수 있도록 추가 연구가 진행되어야 하겠다.

## REFERENCES

- [1] ITU-T Recommendation G.722.2, "Wideband Coding of Speech at around 16kbits/s using Adaptive Multi-Rate WideBand(AMR-WB)," 2003.
- [2] SIP RFC 3251, "SIP: Session Initiation Protocol," 2002.
- [3] 고종환, "VoIP 음성 품질 예측을 위한 확장된 E-model," 한국통신학회논문지, 제35권, 제10호, pp. 1544-1551, 2010년 10월.
- [4] ITU-T Recommendation P.800, "Methods for Subjective Determination of Transmission Quality," 1996.
- [5] ITU-T Recommendation P.862, "An Objective Method for End-to-End Speech Quality Assessment of Narrow-band Telephone Networks and Speech Codecs," 2001.
- [6] ITU-T Recommendation G.107, "The E-model: a Computational Model for use in Transmission Planning," 2008
- [7] 정옥조, 박주영, 강신각, "VoIP 서비스를 위한 음성 품질 평가 기술 동향," 전자통신동향분석, 제19권, 3호, 통권87호, pp.136-144, 2004년6월.
- [8] TTA, TTAK.KO-01.0148, "모바일 인터넷전화 통화 품질 기준," 2009년 12월.
- [9] ITU-T G.107.1, "Recommendation Wideband E-model," 2011.
- [10] IETF RFC 3550, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications," 1996.
- [11] IETF RFC 2327, "SDP: Session Description Protocol," 1998.
- [12] ITU-T G.711, "Pulse Code Modulation(PCM) of Voice Frequencies," 1988.
- [13] ITU-T G.723.1, "Dual Rate Speech Coder for Multimedia Communications Transmitting at 5.3 and 6.3kbit/s," 2006.
- [14] ITU-T G.729, "Coding of Speech at 8kbit/s using Conjugate-structure Algebraic-code-excited Linear Prediction(CS-ACELP)," 2009.
- [15] ITU-T G.722.2, "Wideband Coding of Speech at around 16kbits/s using Adaptive Multi-Rate Wideband(AMR-WB)," 2003.
- [16] ITU-T G.114, "One-way Transmission Time," 2003.
- [17] 3GPP TS 23.003, "Numbering, Addressing and Identification(Release 9)," 2010.
- [18] ITU-T G.113, "Transmission Impairments due to Speech Processing," 2007.
- [19] Voicechecker website, available at <http://www.newbroad.co.kr>
- [20] ITU-T Recommendation P.863, "Perceptual Objective Listening Quality Assessment," 2011.
- [21] 3GPP TS 26.090 V8.0.0, "Adaptive Multi-Rate (AMR) Speech Codec Transcoding Functions (Release 8)," 2008.
- [22] 3GPP TS 26.190 V1.0.0, "AMR Wideband Speech Codec Transcoding Functions(Release 4)," 2000.

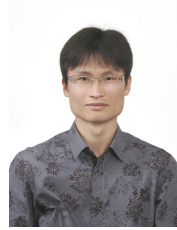


저 자 소 개



김 복 순(정회원)  
 2000년 전북대학교 컴퓨터과학과 졸업  
 2005년 전북대학교 컴퓨터공학과 졸업  
 2007년 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<주관심분야 : 이동통신, 클라우드컴퓨팅>



백 광 현(정회원)  
 2002년 전북대학교 전자공학과 학사 졸업  
 2002년~전북대학교 컴퓨터공학과 연구원  
 <주관심분야 : 이동통신, 프로토콜분석, 소프트웨어>



조 기 환(정회원)  
 1985년 전남대학교 계산통계학과 학사 졸업  
 1987년 서울대학교 계산통계학과 석사졸업  
 1996년 Newcastle대학교 전산학과 박사 졸업

1987년 9월~1997년 8월 한국전자통신연구원, 선임연구원  
 1997년 9월~1999년 2월 목포대학교 컴퓨터과학과, 전임강사  
 1999년 3월~현재 전북대학교 컴퓨터공학부 교수

<주관심분야 : 이동컴퓨팅, 컴퓨터통신, 분산처리 시스템, 무선보안, 무선네트워크>