

VoIP 음성 품질 예측을 위한 확장된 E-model

정회원 고 중 환*

The Extended E-model for VoIP Voice Quality Prediction

Jong Hwan Ko* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 VoIP 기반 음성통신 시스템에서 음성 품질에 영향을 미치는 여러 가지 특성 인자들을 통하여 음성 품질을 계산할 수 있는 확장된 E-model을 제안한다. 확장된 E-model은 단말 특성, 사용자 특성, 네트워크 특성 등을 입력받아 제안된 알고리즘에 의하여 지연시간과 패킷 손실률을 계산하고, 이를 기존의 E-model에 입력하여 품질 수치인 R 값을 도출하는 모델이다. 본 논문에서는 확장된 E-model의 구조와 알고리즘을 설명하고, OPNET에 의한 시뮬레이션을 통해 기존 E-model에 의한 품질 수치와 10% 이내의 편차를 보임을 검증하였다. 제안된 모델을 이용하여 다양한 설계 요소들의 변화에 따른 음성 품질 수치를 계산할 수 있으므로, 실제 네트워크 환경에서의 측정 없이 가상 망에서의 음성 품질을 사전에 예측할 수 있다.

Key Words : VoIP, Voice quality, E-model, Delay, Packet loss ratio

ABSTRACT

This paper describes the Extended E-model which can be used to calculate voice quality of VoIP systems using various factors affecting the quality. The proposed model calculates two parameters, end-to-end delay and packet loss ratio, with device, user, and network characteristics. The model then generates R-value through existing E-model. In this paper, we describe the design and implementation of the model, as well as the validation using OPNET modeler. The results show that the differences between voice quality values from the existing and Extended E-model are less than 10%. Since we can calculate voice quality values through various factors using the proposed model, voice quality can be predicted without measuring factors from real network.

I. 서 론

상용 통신망에서와 마찬가지로 군용 통신망에서도 음성 통신의 개념은 기존의 회선교환 방식에서 벗어나 음성 데이터를 IP 패킷으로 변환하여 전송하는 VoIP (Voice over Internet Protocol) 방식으로 변화하고 있다. 전장 환경에서 음성 통신을 제공받는 사용자에게 있어서 가장 중요한 부분은 주어진 네트워크 환경에서 어느 정도의 품질로 통화할 수 있는가 하는 점일 것이다. 기존의 PSTN (Public Switched Telephone Network) 전화망을 통한 회선교환 기반의 음성통신의

경우, 한 통화 당 하나의 회선을 점유하여 제공되므로 통화에 따라 품질의 차이가 발생하지 않았다. 또한, 회선 자체에 이상이 생기지 않는 한 시간에 따라 통화 품질에 변화가 생기는 경우도 거의 없었다. 그러나 VoIP 기반의 음성통신에서는 음성 데이터를 IP 패킷으로 변환하는 음성 코덱의 설정에 따라 요구되는 대역폭 등의 트래픽 특성이 달라지며, 이러한 트래픽을 구성하는 개별 패킷들이 어떻게 전송되느냐에 따라 통화의 품질이 결정된다¹⁾. 즉, 코덱의 압축 기법과 전송 구간의 품질, 대역폭 등 여러 가지 요인에 따라서 통화 품질이 변화할 수 있는 것이다. 특히 전송통신

* 국방과학연구소 제2기술연구본부 3부 (jhko06@add.re.kr)

논문번호 : KICS2010-07-351, 접수일자 : 2010년 7월 30일, 최종논문접수일자 : 2010년 9월 29일

환경에서는 가용한 통신 자원이 제한적이고 상태의 변화가 잦으므로, VoIP 음성 품질의 변화가 더욱 크고 빈번하게 일어난다고 할 수 있다.

이와 같이 VoIP 음성 품질은 여러 가지 요소에 의하여 크게 변화할 수 있으므로, 음성 품질을 수치화함으로써 음성 품질에 영향을 주는 요인들과 그 특성을 정확하게 파악하는 것이 중요하다고 할 수 있다. VoIP 음성 품질의 수치화를 위해 MOS (Mean Opinion Score)^[2], PESQ (Perceptual Evaluation of Speech)^[3], E-model^[4] 등의 모델이 사용되어 왔으나, 이러한 모델들은 실제로 통화를 수행하면서 주관적으로 평가하거나 여러 가지 요소들을 측정한 후 계산식에 의해 품질을 수치화하는 모델로써, 가상 망에서의 음성 품질을 정확히 예측하는 데는 한계가 있다.

기존의 모델들과 같이 실제 네트워크 상에서 음성 데이터를 평가하는 대신, 품질에 영향을 미치는 요소들을 통하여 품질 수치를 계산할 수 있다면 사용자인 군의 품질 요구사항에 대한 만족 여부를 손쉽게 판단하여 제공할 수 있다. 또한, 장비나 망이 구성되기 이전에 음성 품질에 대한 예측 결과를 얻어 최적의 품질을 제공할 수 있도록 설계에 반영할 수 있게 된다. 이러한 필요성에 따라 본 논문에서는 음성 품질의 예측이 가능한 VoIP 음성품질 계산 모델인 확장된 E-model을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 VoIP 음성 데이터의 전송 과정에 대해 설명하고, III장에서는 기존의 E-model을 소개한다. IV장에서 확장된 E-model의 구조와 알고리즘에 대하여 설명한 후 V장에서 제안된 모델을 구현 및 검증하고, VI장의 결론으로 마무리를 짓는다.

II. VoIP 음성 데이터 전송

VoIP 음성 데이터는 그림 1과 같이 송수신 단말 사이에서 여러 단계를 거쳐 전송되며, 전송 절차를 자세히 설명하면 다음과 같다^[5].

우선 송신자의 아날로그 음성 신호는 송신 단말의 Encoder에서 64 kbps의 디지털 데이터로 변환되며, 디지털 데이터는 음성 코덱의 압축 알고리즘에 의해 압축되어 음성 샘플을 생성한다. 음성 샘플을 생성한 이후, Packetizer에서는 설정된 개수만큼의 샘플을 모

아 하나의 페이로드(payload)를 만들고, 각 네트워크 레이어 별 헤더를 첨가하여 패킷을 구성한 후 전송한다. 이때 코덱 설정에 따라 VAD (Voice Activity Detection) 또는 Silence suppression 이라고 불리는 무음처리 기법을 사용하여 음성 신호의 입력이 감지되지 않는 시간 간격 동안에는 패킷을 생성하지 않으므로써 필요 대역폭을 감소시키기도 한다.

이러한 과정으로 송신 단말에서 생성된 패킷은 네트워크 상의 장비들을 거쳐 수신 단말에 전달된다. 이때 전송 구간의 홉 수, 전송 링크의 품질과 혼잡 정도에 따라 패킷의 지연시간이 증가하고 패킷 손실이 발생할 수 있다. 수신 단말에서 음성 패킷을 수신할 때 도착 간격이 일정하지 않은 패킷들을 연속적으로 재생하기 위하여 지터 버퍼(Jitter buffer)에 일정 시간 동안 패킷을 모아 두었다가 처리한다. 이때, 패킷을 모아두는 시간 간격, 즉 지터 버퍼의 크기만큼 추가적인 지연시간이 소요되며, 패킷간 도착시간 간격이 지터 버퍼 크기를 초과하는 경우 해당 패킷은 버퍼에서 수용하지 못하고 폐기된다. 마지막으로, 지터 버퍼를 통과한 패킷은 De-packetizer에서 음성 샘플로 분해되며, 음성 샘플에 담겨있는 데이터는 Decoder를 통해 아날로그 데이터로 변환되어 수화기를 통해 재생된다. 이와 같이 송수신 단말 사이에서 여러 가지 요소에 의해 지연시간과 패킷 손실이 발생할 수 있으며, 이는 음성 품질에 중요한 영향을 미치게 된다.

III. 기존 E-model

E-model은 ITU-T의 recommendation G.107에 의하여 규정된 음성 품질 수치화 기법으로, 단말의 아날로그적 특성, 지연시간 특성, 패킷 손실 특성, 환경 특성 등의 인자를 입력받아 아래의 식에 의하여 0에서 100 사이의 값을 가지는 품질 수치 R 값(R-value)을 계산하는 모델이다^[4].

$$R = R_o - I_s - I_d - I_{e_eff} + A$$

- R_o = Basic signal to noise ratio
- I_s = Simultaneous impairment factor
- I_d = Delay impairment factor
- I_{e_eff} = Effective equipment impairment factor
- A = Advantage factor

위 식의 다섯 가지 입력 요소를 계산하기 위해 입력되는 대부분의 인자는 단말의 하드웨어적 특성이나 주변 환경 특성에 의하여 결정되어 있는 것으로, 실질



그림 1. VoIP 음성 데이터 전송 단계

적으로 통화 조건에 따라 변화되는 인자는 Id 값을 계산하기 위한 입력 인자인 지연시간과 Ie_eff 값을 계산하기 위한 입력 인자인 패킷 손실률뿐이다. 따라서 기존 E-model은 다양한 영향 요소에 의한 품질 변화를 가늠하기 어렵다는 단점이 있다. 또한, 특정 환경에서 지연시간, 패킷 손실률 등의 인자들을 얻어내기 위해서는 실제 네트워크상에서 측정이 필요하므로, 음성 품질을 미리 예측할 수 없다는 한계가 있다⁶⁾.

이러한 한계를 극복하기 위하여 본 논문에서는 E-model을 기반으로 하여 단말, 사용자 및 네트워크 특성을 통해 지연시간과 패킷 손실률을 계산하고, 이를 기존의 E-model에 입력하여 품질 수치 R 값을 얻어낼 수 있는 확장된 E-model을 제안한다.

IV. 확장된 E-model

4.1 개요

본 논문에서 제안하는 확장된 E-model의 전체적인 구조는 그림 2와 같다. 첫 번째 단계로, 입력되는 특성 인자들을 통해 지연시간과 패킷 손실률을 구성하는 요소들을 계산한 후 이를 합하여 지연시간과 패킷 손실률을 얻어낸다. 두 번째 단계로 이 두 가지의 요소를 다른 입력 인자들과 함께 기존 E-model에 입력하여 R 값을 얻어낸다. 즉, 확장된 E-model은 기존 E-model에 입력되는 지연시간과 패킷 손실률, 여러 가지 다른 특성 인자들을 통해 계산할 수 있도록 확장된 모델이라고 할 수 있다.

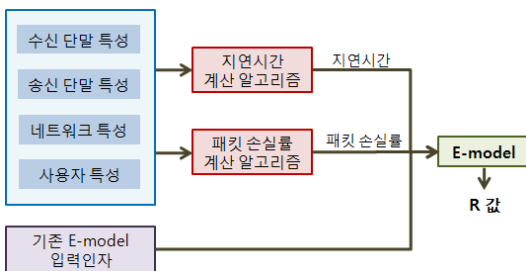


그림 2. 확장된 E-model의 개략적인 구조

4.2 지연시간의 구성요소와 계산 알고리즘

지연시간(T_{E2E})은 송신 단말에서의 인코딩 지연시간(T_{enc})과 패킷화 지연시간(T_{pck}), 전송 구간에서의 전송 지연시간(T_{ser})과 전파 지연시간(T_{pro}) 및 큐잉 지연시간(T_{que}), 그리고 수신 단말에서의 지터 버퍼 지연시간(T_{buf})과 디코딩 지연시간(T_{dec})으로 구성된다.

$$T_{E2E} = T_{enc} + T_{pck} + T_{ser} + T_{pro} + T_{que} + T_{buf} + T_{dec} \quad (2)$$

4.2.1 인코딩 지연시간(T_{enc})

인코딩 지연시간은 아날로그 음성 신호를 압축된 음성 샘플로 변환하는 데 걸리는 시간으로, 압축 지연시간(T_{cmp})과 예측 지연시간(T_{look})의 합으로 계산된다⁷⁾.

$$T_{enc} = T_{cmp} + T_{look} \quad (3)$$

이때 압축 지연시간은 아날로그 음성 신호가 코덱 알고리즘에 의해 디지털 신호로 변환 및 압축하는 데 걸리는 시간이며, 예측 지연시간은 코덱의 인코딩 알고리즘에서 현재 샘플을 처리할 때 다음 샘플의 정보를 관찰하기 위하여 대기하는 시간으로, 음성코덱의 종류에 따라 그 값이 결정되어 있다⁸⁾.

4.2.2 패킷화 지연시간(T_{pck})

패킷화 지연시간은 여러 개의 음성 샘플을 모아서 하나의 패킷으로 생성하는 데 필요한 시간으로, 패킷에 포함될 모든 샘플이 샘플링 되기까지 대기해야 하므로 아래와 같은 식으로 계산할 수 있다.

$$T_{pck} = \text{샘플링 간격} \times \text{패킷당 샘플 수} \quad (4)$$

여기서 샘플링 간격은 음성코덱이 샘플링을 수행하는 시간 간격으로, 음성코덱의 종류에 따라 그 값이 결정되어 있다⁸⁾.

4.2.3 전송 지연시간(T_{ser})

전송 지연시간은 전송 구간에 있는 장비들에서 음성 프레임을 내보내는데 걸리는 시간으로, 전송 링크의 대역폭과 전송되는 프레임의 크기에 따라 아래의 식과 같이 결정된다.

$$T_{ser} = \frac{\text{VoIP 프레임 크기}}{\text{대역폭}} \times \text{전송구간 홉 수} \quad (5)$$

이때 VoIP 프레임은 음성 데이터를 담고 있는 페이로드와 네트워크 계층별 헤더로 구성되며, 페이로드 내에는 음성 샘플 여러 개가 포함되어 있으므로 아래의 식과 같이 그 크기를 계산할 수 있다.

$$\text{VoIP 프레임 크기} = \text{페이로드 크기} + \text{MAC/IP/UDP/RTP 헤더 크기} \quad (6)$$

$$\text{페이로드 크기} = \text{샘플 크기} \times \text{패킷당 샘플 수} \quad (7)$$

샘플 크기는 음성코덱이 한 번에 압축을 수행하는 음성 샘플의 크기로, 음성코덱의 종류에 따라 그 값이 결정되어 있다⁸⁾. 또한 IP 헤더의 크기는 IP 버전에 따라 달라지는데, IPv4의 경우 20 bytes 이며, IPv6의 경우에는 40 bytes 이다.

4.2.4 전파 지연시간(T_{pro})

전파 지연시간은 음성 프레임의 디지털 신호가 전송 링크 상에서 이동하는 데 걸리는 시간으로, 아래와 같은 식으로 계산할 수 있다.

$$T_{pro} = \frac{\text{송수신 단말간 거리}}{\text{빛의 속도}} \quad (8)$$

4.2.5 큐잉 지연시간(T_{que})

큐잉 지연시간은 스위치, 라우터 등 전송 경로 상의 노드에서 패킷이 처리되기 위해 대기하는 지연시간으로, 전송 링크의 속도, 전송장비 내 큐(Queue)의 상태 등 전송 구간의 혼잡도에 의해 동적으로 변화할 수 있다. 이러한 큐잉 지연시간을 모델링하는 여러 가지 기법들이 제안되어 왔으며⁹⁾, 본 논문에서는 패킷이 큐에 도착하고 처리되는 과정을 Poisson process로 모델링하여 평균 큐잉 지연시간을 아래와 같이 링크 이용률 ρ 에 대한 식으로 나타낼 수 있다¹⁰⁾.

$$T_{que} = \frac{1}{1 - \rho} \quad (9)$$

이때 링크 이용률은 주어진 링크 대역폭이 트래픽에 의하여 점유되는 비율로 아래의 식과 같이 계산된다.

$$\rho = \frac{\text{VoIP 트래픽 크기} + \text{기타 트래픽 크기}}{\text{전송 구간 대역폭}} \quad (10)$$

$$\text{VoIP 트래픽 크기} = \text{회선당 대역폭} \times \text{동시통화회선수} \quad (11)$$

한편, 음성 신호의 입력이 감지되지 않는 구간에서는 패킷을 생성하지 않는 무음처리 기능이 설정되어 있을 경우 VoIP 트래픽 크기는 무음 구간의 비율에 따라 아래와 같이 계산된다.

$$\text{VoIP 트래픽 크기} = \text{회선 당 대역폭} \times \text{동시통화회선수} \times (1 - \text{무음구간 비율}) \quad (12)$$

4.2.6 지터 버퍼 지연시간(T_{buf})

지터 버퍼 지연시간은 서로 상이한 지연시간 편차를 가지는 패킷들을 수신 단말에서 연속적으로 처리하기 위해 모아두는 시간으로, 수신 단말에 설정된 지터 버퍼의 버퍼링 시간과 같다.

$$T_{buf} = \text{지터 버퍼에서의 버퍼링 시간} \quad (13)$$

4.2.7 디코딩 지연시간(T_{dec})

음성 프레임을 아날로그 음성 신호로 변환하는 데 걸리는 시간인 디코딩 지연시간은 일반적으로 인코딩 지연시간의 약 10% 이므로 아래의 식과 같이 나타낼 수 있다¹¹⁾.

$$T_{dec} = T_{enc} \times 0.1 \quad (14)$$

4.3 패킷 손실률의 구성요소와 계산 알고리즘

패킷 손실률은 송신 단말에서 전송한 음성 패킷 중 수신 단말에 정상적으로 도착하지 못한 패킷의 비율을 의미하며, 전송 구간에서의 비트 오류에 의한 패킷 손실률(P_{net})과 수신 단말의 지터 버퍼에서의 패킷 손실률(P_{buf})의 합으로 나타낼 수 있다.

$$P_{E2E} = P_{net} + P_{buf} \quad (15)$$

4.3.1 전송 구간에서의 패킷 손실률(P_{net})

전송 구간에서 전송 링크의 품질이 저하되어 패킷이 담고 있는 데이터의 비트열에 오류가 발생하면 수신 단말에서 패킷의 데이터를 정상적으로 판독할 수 없어 패킷을 폐기하게 된다. 전송 구간이 여러 개로 구성되어 있을 경우, 전체 구간에서의 패킷 손실률은 하나의 전송 구간에서의 패킷 손실률 P_{net_hop} 에 의하여 아래와 같이 계산된다. 단, 모든 전송 구간에서 패킷 손실률은 동일하다고 가정한다.

$$P_{net} = 1 - (1 - P_{net_hop})^H \quad (16)$$

이때, H는 전송구간의 수이며, 하나의 전송 구간에서의 패킷 손실률인 P_{net_hop} 은 전송 링크의 비트 에러율(BER, Bit Error Ratio)과 프레임 크기에 대한 이산 분포 형태로 나타낼 수 있다. 한편, 오류 정정(Error correction) 기능을 보유한 수신 장비에서는 오류가 발생하는 비트의 개수가 일정 비율 이하인 경우 이를 정정할 수 있으므로 전송 구간에서의 패킷 손실률을 아래와 같은 식으로 나타낼 수 있다^{12,13)}.

$$P_{net_hop} = \sum_{k=t}^N p^k (1-p)^{N-k} {}_N C_k \quad (17)$$

N = 프레임 크기

t = $\lfloor \text{error correction threshold} \times \text{프레임 크기} \rfloor + 1$

4.3.2 수신 단말에서의 패킷 손실률(P_{buf})

수신 단말의 지터 버퍼에서 패킷간 도착시간 간격이 지터 버퍼 크기를 넘어서는 경우, 패킷은 저장되지 못하고 폐기된다. 패킷간 도착시간 간격은 송신 단말에서 패킷을 생성하는 시간간격인 패킷화 지연시간(T_{pck})과 전송 구간에서의 큐잉 지연시간(T_{que})의 합으로 나타낼 수 있으므로, 수신 단말에서의 패킷 손실률은 아래의 식과 같이 표현할 수 있다^[14].

$$P_{que} = (\text{패킷간 도착 간격} \geq \text{지터 버퍼 크기}) \text{인 패킷의 비율}$$

$$= (T_{pck} + T_{que} \geq \text{지터 버퍼 크기}) \text{인 패킷의 비율} \quad (18)$$

$$= (T_{que} \geq \text{지터 버퍼 크기} - T_{pck}) \text{인 패킷의 비율}$$

즉, 패킷 손실률은 패킷의 큐잉 지연시간이 지터 버퍼 크기와 패킷화 지연시간의 차이로 나타내어지는 지터 버퍼 마진보다 큰 패킷의 비율로 표현할 수 있다. 본 논문에서 큐잉 지연시간 분포 모델링을 위해 적용한 Poisson process에 의해 큐잉 지연시간의 분산값은 $1/(1-\rho)$ 로 표현되므로^[10] 수신 단말에서의 패킷 손실률 P_{que} 는 큐잉 지연시간 분포가 평균과 분산이 $1/(1-\rho)$ 인 정규분포를 따를 때 지터 버퍼 마진을 초과하는 패킷의 비율로 나타낼 수 있다.

V. 구현 및 검증

5.1 확장된 E-model 계산 프로그램의 구현

지금까지 설명한 확장된 E-model의 전체 구조를 정리하면 그림 3과 같다. 그림에서 나타난 바와 같이 확장된 E-model에서는 송/수신 단말, 네트워크 및 사용자 특성 인자들을 입력받아 계산 알고리즘을 통하여 구성요소를 계산한 후 이를 기존 E-model에 입력하여 R 값을 얻어낸다.

이러한 구조를 기반으로, Microsoft Excel 프로그램으로 구현된 기존 E-model 계산 프로그램^[15]에 개발된 알고리즘을 추가하여 확장된 E-model 계산 프로그램을 구현하였다. 개발된 계산 프로그램은 그림 4와 같이 구성되어 있으며, 사용자가 사용자, 단말, 네트워크 특성 값들을 입력하면 알고리즘에 따라 지연시간과 패킷 손실률을 계산한 후 E-model에 의하여 R 값을 도출하고 변환 식을 통하여 MOS 값을 표시한다.

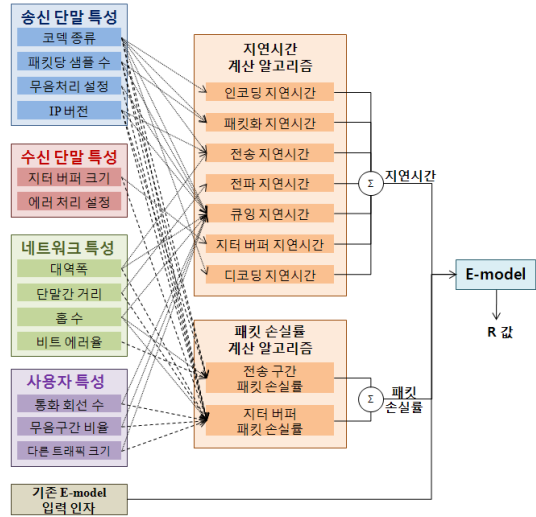


그림 3. 확장된 E-model의 상세 구조

Item	Unit	Value	Unit	Value	Unit	Value	Unit	Value
1. Title	Extended E-model Input		Item	Value	Unit	Value	Unit	Value
2. Number of samples per packet	100		3. Packet loss	0.000000		4. Packet loss	0.000000	
5. Frame size (L in bit)	1000		6. Frame size (L in bit)	1000		7. Frame size (L in bit)	1000	
8. Packet loss	0.000000		9. Packet loss	0.000000		10. Packet loss	0.000000	
11. Inter-arrival time	10.000000	sec	12. Inter-arrival time	10.000000	sec	13. Inter-arrival time	10.000000	sec
14. Inter-arrival time	10.000000	sec	15. Inter-arrival time	10.000000	sec	16. Inter-arrival time	10.000000	sec
17. Inter-arrival time	10.000000	sec	18. Inter-arrival time	10.000000	sec	19. Inter-arrival time	10.000000	sec
20. Inter-arrival time	10.000000	sec	21. Inter-arrival time	10.000000	sec	22. Inter-arrival time	10.000000	sec
23. Inter-arrival time	10.000000	sec	24. Inter-arrival time	10.000000	sec	25. Inter-arrival time	10.000000	sec
26. Inter-arrival time	10.000000	sec	27. Inter-arrival time	10.000000	sec	28. Inter-arrival time	10.000000	sec
29. Inter-arrival time	10.000000	sec	30. Inter-arrival time	10.000000	sec	31. Inter-arrival time	10.000000	sec
32. Inter-arrival time	10.000000	sec	33. Inter-arrival time	10.000000	sec	34. Inter-arrival time	10.000000	sec
35. Inter-arrival time	10.000000	sec	36. Inter-arrival time	10.000000	sec	37. Inter-arrival time	10.000000	sec
38. Inter-arrival time	10.000000	sec	39. Inter-arrival time	10.000000	sec	40. Inter-arrival time	10.000000	sec
41. Inter-arrival time	10.000000	sec	42. Inter-arrival time	10.000000	sec	43. Inter-arrival time	10.000000	sec
44. Inter-arrival time	10.000000	sec	45. Inter-arrival time	10.000000	sec	46. Inter-arrival time	10.000000	sec
47. Inter-arrival time	10.000000	sec	48. Inter-arrival time	10.000000	sec	49. Inter-arrival time	10.000000	sec
50. Inter-arrival time	10.000000	sec	51. Inter-arrival time	10.000000	sec	52. Inter-arrival time	10.000000	sec
53. Inter-arrival time	10.000000	sec	54. Inter-arrival time	10.000000	sec	55. Inter-arrival time	10.000000	sec
56. Inter-arrival time	10.000000	sec	57. Inter-arrival time	10.000000	sec	58. Inter-arrival time	10.000000	sec
59. Inter-arrival time	10.000000	sec	60. Inter-arrival time	10.000000	sec	61. Inter-arrival time	10.000000	sec
62. Inter-arrival time	10.000000	sec	63. Inter-arrival time	10.000000	sec	64. Inter-arrival time	10.000000	sec
65. Inter-arrival time	10.000000	sec	66. Inter-arrival time	10.000000	sec	67. Inter-arrival time	10.000000	sec
68. Inter-arrival time	10.000000	sec	69. Inter-arrival time	10.000000	sec	70. Inter-arrival time	10.000000	sec
71. Inter-arrival time	10.000000	sec	72. Inter-arrival time	10.000000	sec	73. Inter-arrival time	10.000000	sec
74. Inter-arrival time	10.000000	sec	75. Inter-arrival time	10.000000	sec	76. Inter-arrival time	10.000000	sec
77. Inter-arrival time	10.000000	sec	78. Inter-arrival time	10.000000	sec	79. Inter-arrival time	10.000000	sec
80. Inter-arrival time	10.000000	sec	81. Inter-arrival time	10.000000	sec	82. Inter-arrival time	10.000000	sec
83. Inter-arrival time	10.000000	sec	84. Inter-arrival time	10.000000	sec	85. Inter-arrival time	10.000000	sec
86. Inter-arrival time	10.000000	sec	87. Inter-arrival time	10.000000	sec	88. Inter-arrival time	10.000000	sec
89. Inter-arrival time	10.000000	sec	90. Inter-arrival time	10.000000	sec	91. Inter-arrival time	10.000000	sec
92. Inter-arrival time	10.000000	sec	93. Inter-arrival time	10.000000	sec	94. Inter-arrival time	10.000000	sec
95. Inter-arrival time	10.000000	sec	96. Inter-arrival time	10.000000	sec	97. Inter-arrival time	10.000000	sec
98. Inter-arrival time	10.000000	sec	99. Inter-arrival time	10.000000	sec	100. Inter-arrival time	10.000000	sec

그림 4. 확장된 E-model 계산 프로그램

5.2 확장된 E-model의 검증

구현된 모델의 적절성과 정확도를 검증하기 위해, 확장된 E-model의 음성품질 계산 결과와 OPNET Modeler^[16]의 시뮬레이션 결과를 서로 비교해 보았다. OPNET Modeler에서는 시뮬레이션을 통해 측정된 지연시간과 패킷 손실률을 기존 E-model에 입력하여 R 값을 계산하고 이를 MOS 값으로 변환하여 나타내므로, 두 개의 결과를 비교함으로써 확장된 E-model의 적절성과 정확도를 검증할 수 있다. OPNET Modeler의 시뮬레이션 모델은 군에서 개발중인 전술 정보통신체계(TICN, Tactical Information Communication Network)의 군단급 망 모델을 사용하였으며, 그 구조는 그림 5와 같다. 이때 통화 대상이 되는 VoIP 단말은 각 노드 하부에 100 Mbps LAN으로 연결시킨 후 실험을 실시하였다.

우선 코덱 설정에 따른 음성 품질 수치의 유사성을 살펴보기 위해 G.711, G.723.1, G.729 등 세 종류의



그림 5. TICN 군단망 모델 구조

코덱에 대해 패킷당 샘플 수를 1, 2, 3개로 변화시키면서 MOS 값을 얻어내었다. 그 결과, 그림 6에 나타난 바와 같이 확장된 E-model에 의한 품질 수치와 OPNET에 의한 품질 수치의 편차가 10% 이내인 것을 확인할 수 있다. 다음으로, G.729 코덱에 대해 BER을 변화시키면서 두 개의 모델을 통해 MOS 값을 얻어내었으며, 마찬가지로 그림 7과 같이 서로 10% 이내의 편차를 나타내었다. 또한, 전송 구간의 수에 따른 특성을 검증하기 위해 G.729 코덱에 대해 BER이 10^{-5} 인 조건에서 전송 구간의 개수를 2개에서 10개까지 변화시키면서 음성 품질을 측정 및 계산하였으며, 그림 8에서 볼 수 있는 바와 같이 서로 1~8% 정도의 편차를 보임을 확인하였다. 마지막으로, 수신 단말의 지터 버퍼 마진의 크기를 0에서 70ms 까지 변화시키면서 얻어낸 MOS 값을 그림 9에 나타내었으

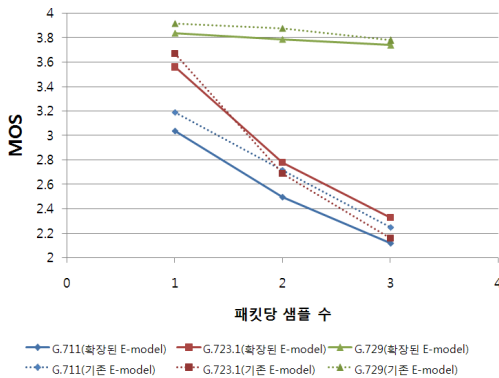


그림 6. 코덱 설정에 따른 MOS 값

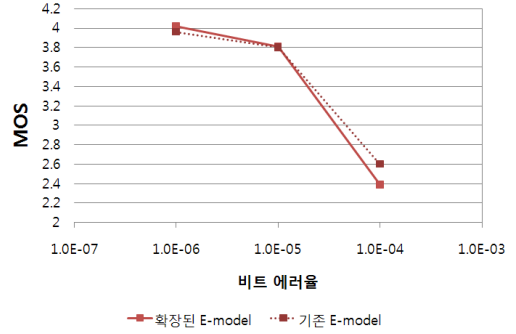


그림 7. 비트 에러율에 따른 MOS 값

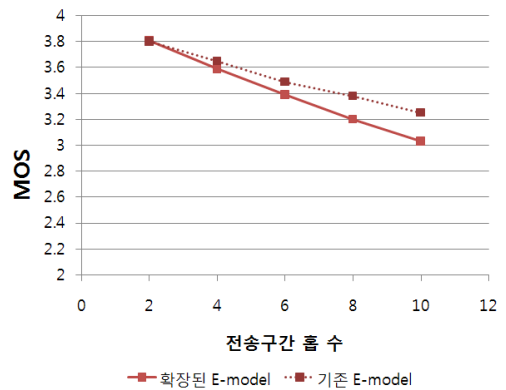


그림 8. 전송구간 홉 수에 따른 MOS 값

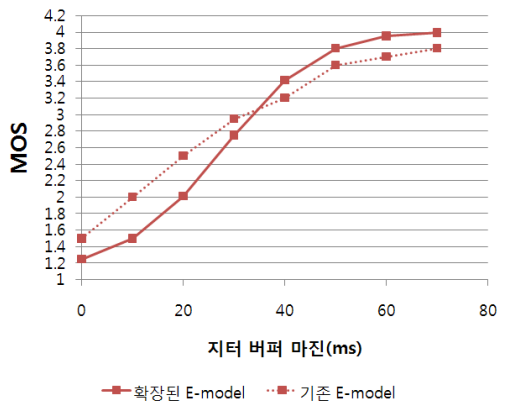


그림 9. 지터 버퍼 마진에 따른 MOS 값

며, 이 결과를 통해서도 OPNET을 통한 시뮬레이션 결과와 확장된 E-model을 통한 계산 결과의 유사성을 확인할 수 있다.

이와 같은 검증 결과를 통해, 확장된 E-model을 이용한 계산만으로도 시뮬레이션이나 실제 측정을 거치

지 않아도 이와 거의 동일한 음성품질 수치를 얻어낼 수 있다고 판단할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 VoIP 기반 음성통신 시스템에의 음성 품질 예측을 위해 단말, 사용자, 네트워크 특성 등을 입력받아 음성 품질 수치인 R 값을 얻어낼 수 있는 확장된 E-model을 제안하였다. 또한, 기존 E-model 계산 프로그램을 기반으로 하여 제안된 모델을 구현하였으며, OPNET modeler에 의한 품질 수치와 비교한 결과 다양한 특성 변화에 따라 기존 E-model에 의한 품질 수치와 10% 이내의 편차를 보임을 검증하였다.

확장된 E-model에서의 입력 인자는 측정이 아닌 단말 설정과 통화 조건에 의해 결정되는 요소이므로 품질 측정 대상으로 하는 망이 구축되기 이전에 미리 품질을 예측하는 데 사용될 수 있다. 또한, 입력 인자를 상세화함에 따라 다양한 조건에서의 성능을 예측할 수 있다는 장점도 있다. 따라서 본 모델을 통하여 군에서 제시하는 운용 환경에 따라 어느 정도의 품질을 기대할 수 있는지 사전에 예측하여 제공할 수 있으며, 음성 품질에 영향을 미치는 다양한 요소를 파악하여 장비 및 망 설계에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] T. A. Hall, "Objective Speech Quality Measures for Internet Telephony," *Proceedings of SPIE*, Vol.4522, pp.128-136, August 2001.
- [2] "ITU-T Recommendation P.800 - Methods for Subjective Determination of Transmission Quality," ITU-T, 1996.
- [3] "ITU-T Recommendation P.862 - An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs," ITU-T, 2001
- [4] "ITU-T Recommendation G.107 - The E-model : a computational model for use in transmission planning," ITU-T, 2008
- [5] Athina P. Markopoulou, Fouad A. Tobagi, Mansour J. Karam, "Assessment of VoIP Quality over Internet Backbones," *IEEE Conference on Computer Communications(IEEE Infocom)*, 2002
- [6] Lingfen Sun and Emmanuel C. Ifeachor, "Voice

- Quality Prediction Models and Their Application in VoIP Networks," *IEEE Transactions on multimedia*, Vol.8, No.4, August 2006
- [7] Mansour J. Karam, Fouad A. Tobagi, "Analysis of the Delay and Jitter of Voice Traffic in the Internet," *International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, December 2002
- [8] "Understanding Delay in Packet Voice Networks," *Cisco Systems white paper*, http://www.cisco.com/en/US/tech/tk652/tk698/technologies_white_paper09186a00800a8993.shtml
- [9] Michel Mandjes, Kees van der Wal, Rob Kooij, Harrie Bastiaansen, "End-to-end delay models for interactive services on a large-scale IP network," *7th Workshop on Performance Modelling and Evaluation of ATM and IP Networks at the University of Antwerp*, June 1999
- [10] Jerome H. Saltzer, *Principles of Computer System Design : An Introduction*, Morgan Kaufmann, 2009
- [11] 진강훈, *시스템 보이스 네트워킹*, 사이버출판사, 2007
- [12] S. Frohn, S. Gubner, and C. Lindemann, "Analyzing the Effective Throughput in Multi-Hop IEEE 802.11n Networks," *Proc. 2nd IEEE Workshop on Hot Topics in Mesh Networking (HotMESH 2010)*, June 2010.
- [13] "Modeling Custom Wireless Effects", *OPNET-WORK Session 1530*, OPNET Technologies, 2008
- [14] Ramachandran Ramjee, Jim Kurose, Don Towsley Henning Schulzrinne, "Adaptive Playout Mechanisms for Packetized Audio Applications in Wide-Area Networks," *IEEE Conference on Computer Communications (IEEE Infocom)*, 1994
- [15] Roger Britt, The E-model calculator (G.107V2006), <http://www.e-model.org/E-ModelV2006+MM-ModelV2007.xls>, June 2006
- [16] OPNET Modeler 14.0, <http://www.opnet.com>

고 증 환 (Jong Hwan Ko)

정회원



2004년 2월 서울대학교 기계항공공학부, 컴퓨터공학과 학사

2006년 2월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사

2006년 3월~현재 국방과학연구소 연구원

<관심분야> 전송통신체계, VoIP, 네트워크 M&S