

논문 2007-02-11

IEEE 802.15.4 LR-WPAN의 실시간 음성 데이터 응용에 대한 적용 가능성 연구

(Feasibility Study of IEEE 802.15.4 LR-WPAN to the Real-time Voice Application)

허윤강*, 김유진, 허재두

(Yun-Kang Hur, You-Jin Kim, Jae-Doo Huh)

Abstract : Wireless sensor networking technology is one of the basic infrastructures for ubiquitous environment. It enables us to gather various sensory data such as temperature, humidity, gas leakage, and speed from the remote sensor devices. To support these networking functions, IEEE WPAN working group makes standards for PHY and MAC, while ZigBee Alliance defines the standards for the network, security, and applications. The low-rate WPAN was emerged to have the characteristics of network resilience, low cost, and low power consumption. It has a broad range of applications including, but not limit to industrial control and monitoring, home automation, disaster forecast and monitoring, health care. In order to provide more intelligent and robust services, users want voice-based solutions to accommodate to low-rate WPAN. In this paper, we have evaluated voice quality of an IEEE 802.15.4 standard compliant voice node. Specifically, it includes the design of a voice node and experiments based on the prediction of voice quality using the E-model suggested by ITU-T G.107, and the network communication mechanisms considering beacon-enabled and nonbeacon-enabled networks for real-time voice communications.

Keywords : IEEE 802.15.4, LR-WPAN, Voice transmission, E-model

1. 서론

최근 정보 통신은 유선과 무선 기술이 통합되면서 언제 어디서나 네트워크를 통하여 필요한 정보를 얻을 수 있는 유비쿼터스 환경으로 진화하고 있다[1-4]. 이러한 환경은 무선 통신, 초소형 마이크로 프로세서, ad-hoc 네트워크, MEMS(micro-electro-mechanical systems), 임베디드 시스템 등의 표준화 및 기술 발전으로 가능해 졌으며, 통합적으로 무선센서 네트워킹 기술을 기반으로 실현되고 있다[5].

LR-WPAN(low-rate wireless personal area network)을 정의하는 표준인 IEEE 802.15.4는 저속의 데이터 전송률과 짧은 통신 거리,

수개월에서 수년의 수명을 요구하는 응용에 적합한 물리 계층(physical layer; PHY) 및 매체접근제어 계층(media access control; MAC)에 대한 기능을 규정하고 있다[6]. 이는 약 10m 내외의 영역에서 소형, 저비용, 저전력, 그리고 네트워크의 유연성 등의 특징을 가지며 현재 홈 자동화, 빌딩 자동화, 재고관리, 원격검침, 산업제어 및 재난발생 감시, 지능형 농작물 관리, 원격의료 및 환자관리 등과 같은 다양한 응용 분야에 활용되고 있다[7-9]. 최근에는 기존의 응용 분야인 제어나 관리, 감시 분야 뿐 아니라 비디오나 음성과 같은 실시간 데이터를 전송하기 위한 연구가 진행되고 있으며, 특히 음성의 경우 음성 인식 기술을 적용한 가전 제어나 무선 헤드셋, 무선 핸드프리, 휴대용 무선 스피커 등과 같은 새로운 응용 기술에 접목되기 위한 연구가 진행되고 있다[10-12]. 조지아 공대의 "Aware Home" 프로젝트는 홈 네트워크에 인터컴을 다양하게 분포시켜 다른 방이나 공간적으로 분리된 환경에서 음성을

* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 6. 4. 채택확정 : 2007. 8. 27.

허윤강, 김유진 : 과학기술연합대학원대학교

허재두 : 한국전자통신연구원

이용하여 가족 간의 대화를 시도하거나, 알림사항을 전달, 어린이나 노약자 모니터링 등을 위한 응용 시나리오를 제시하고 있으며 [13-15], 이러한 시나리오를 적용하기 위해서는 음성인식, 단방향 음성 전달 혹은 양방향 음성통화 등과 같은 기술 개발이 필요하며, 특히 유비쿼터스 환경에 적용되기 위해서는 휴대가 간편하고 사용하기 편리한 무선 기반의 음성노드로 구현되는 것이 바람직하다.

지금까지 음성을 전송하기 위한 무선 기술로 가장 활발히 연구되고 있는 분야는 IEEE 802.11[16]과 블루투스[17] 등을 들 수 있다. IEEE 802.11의 경우 최근 활발히 보급되면서 주로 사무실 환경에서 사용자간의 음성 통화 서비스를 제공하거나 인터넷과 연동하는 "Voice of WiFi"에 관한 연구가 진행 중이다[18-20]. 그러나 IEEE 802.11의 경우 수백 미터 이하의 근거리에서 사용되는 무선 통신 기술로서 11Mbps에서 54Mbps의 빠른 데이터 속도를 제공할 수 있지만 단말기마다 상시 전원을 사용해야 할 정도로 전력 소모가 크며, 크기 또한 상당히 큰 단점을 가지고 있다. 블루투스 역시 최근 음성 통신을 위해 활발히 연구되고 있는 기술로서 IEEE 802.15.1[17]로 표준화되어 있다. 블루투스는 데이터 전송을 위한 동기형 링크 외에 별도로 음성 전송을 위한 동기형 링크를 가지고 있으나 이로 인해 구현이 상대적으로 복잡하고, 전력 소모와 비용 면에서 불리하다. 특히 블루투스의 경우 최대 7개의 장치와만 네트워크를 형성할 수 있어 최대 65,000여 개의 장치와 네트워크를 형성할 수 있는 IEEE 802.15.4에 비해 네트워크 가용성이 낮다.

본 논문은 ITU-T 권고 G.107에서 제시하는 E-model을 통하여 음성 품질에 영향을 주는 지연, 코덱 방식 및 패킷 손실 등과 같은 다양한 요소들을 분석하고, 이들을 바탕으로 저속 WPAN에서의 합리적인 음성 품질을 유지할 수 있는 경계 환경을 모색하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 저속 WPAN을 정의하는 IEEE 802.15.4 표준에 대해 개괄적으로 설명하며 3장과 4장에서 E-model을 이용하여 음성 노드가 동작하는 환경 및 선택적 파라미터 등에 대한 설계와 실험을 통해 성능을 분석한다. 5장에서는 음성 데이터 통신에 대한 음성 품질 요소 및 저속 WPAN의 경쟁 구간과 비경쟁 구간에서의 데이터 전송 방식을 분석하여 음성 데이터 전송을 위한 최적의 전송 방식 및 표준 파라미터를 선정한다. 마지막으로 6장에서 성능에

대한 평가와 문제점 및 이에 대한 해결책을 모색하며 마무리한다.

II. IEEE 802.15.4의 특징

IEEE 802.15.4는 LR-WPAN을 위한 물리 계층과 매체접근제어 계층을 정의하는 표준으로서 10m 내외의 POS(personal operating space) 내에서 최소한의 에너지 소모로 통신할 수 있는 기능을 제공한다.

1. 슈퍼프레임 구조

IEEE 802.15.4는 비컨 가용 모드와 비컨 비가용 모드로 동작할 수 있도록 되어 있으며, 이는 PAN(personal area network) 코디네이터가 PAN을 시작할 때 결정하게 된다. 비컨 가용 모드의 경우 PAN 코디네이터는 네트워크가 시작되면 주기적으로 비컨을 전송하여 다른 디바이스들이 동기화할 수 있도록 하며 PAN을 식별할 수 있도록 한다. 비컨 가용 모드는 그림 1과 같은 슈퍼프레임 구조를 갖는다.

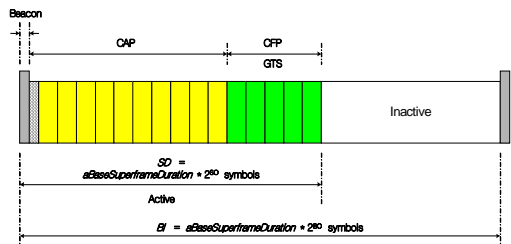


그림 1. 슈퍼프레임 구조

Fig. 1. Superframe structure

그림 1에서 슈퍼프레임은 크게 디바이스들이 데이터를 송수신하는 활성(active) 구간과 휴면(sleep) 상태가 되어 에너지를 절약하는 비활성(inactive) 구간으로 나누어지며 활성 구간은 다시 경쟁적 매체 접근 방식인 CSMA/CA를 이용하여 매체접근을 하는 경쟁 구간(contention access period; CAP)과 코디네이터에 의해 타임 슬롯(guaranteed time slot; GTS)을 할당 받아 경쟁 없이 정해진 시간 슬롯에 데이터를 송수신하는 비경쟁 구간(contention free period; CFP)으로 나누어진다. 슈퍼프레임 구조는 MAC PIB(PAN information base)에 정의된

*macBeaconOrder*와 *macSuperframeOrder*의 값에 의해서 기술된다. 비컨과 그 다음 비컨 사이의 간격을 정의하는 BI(beacon interval)는 식 (1)과 같이 계산되며, 이때 SD_{bs} 는 *aBaseSuperframeDuration* 심볼을 의미한다.

$$BI = SD_{bs} \times 2^{BO}, \quad \text{for } 0 \leq BO \leq 14 \quad (1)$$

비컨과 비컨 사이에서 활성 구간을 기술하기 위한 SD(Superframe Duration)는 SO를 통해 식 (2)와 같이 계산된다.

$$SD = SD_{bs} \times 2^{SO}, \quad \text{for } 0 \leq SO \leq BO \quad (2)$$

계산을 통해 얻어진 비컨 주기(BI) 값에서 활성 구간을 기술하는 SD를 빼게 되면 한 슈퍼프레임 내에서 디바이스들이 휴면 상태가 되는 비활성 구간의 길이(T_{inact})를 식 (3)과 같이 계산할 수 있다.

$$T_{inact} = BI - SD, \quad \text{for } 0 \leq SD \leq BI \quad (3)$$

식 (1), (2), (3)을 통해 비컨 프레임의 기준으로 모든 디바이스가 코디네이터와 동기화를 하게 된다. 또한, BO와 SO가 15를 제외한 동일한 값일 경우 디바이스는 비활성 구간 없이 모든 구간에서 코디네이터와 데이터를 송수신할 수 있으며, SO가 15일 경우 비컨 후에 활성 구간 없이 모든 디바이스는 바로 휴면 모드로 전환하게 된다. BO가 15일 경우는 슈퍼프레임을 사용하지 않겠다는 의미를 지니며, 이 경우 SO값은 무시된다.

2. 데이터 전송 모델

IEEE 802.15.4 표준은 전송할 프레임이 생성되었을 때 코디네이터와 디바이스 간에 데이터를 바로 전송하는 직접 전송(direct transmission) 외에도 코디네이터가 디바이스에게 데이터를 바로 전송하지 않고 지연시켜 놓았다가 디바이스가 요청한 경우에만 데이터를 전송하는 간접 전송(indirect transmission)을 정의해 놓았다.

코디네이터가 디바이스로부터 데이터 요청 프레임(data request frame)을 수신한 경우 코디네이터는 자신의 처리 큐(transaction queue)를 조사하여

만약 해당 디바이스에게 전송할 데이터가 존재한다면 데이터 요청 프레임에 대한 ACK를 전송할 때 프레임 헤더에 지연된 프레임이 존재함을 표시해서 전송하게 된다. 이를 수신한 디바이스는 코디네이터로부터 데이터를 수신하기 위해 자신의 수신기를 최대 *macMaxFrameTotalWaitTime* 심볼 동안 활성화시킨다.

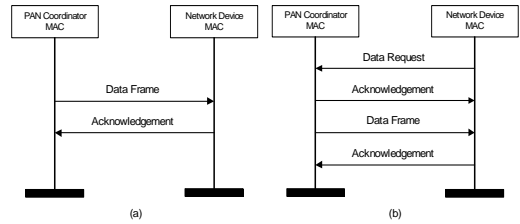


그림 2. 직접 전송 모델(a)과 간접 전송 모델(b)의 메시지 순서도

Fig. 2. Message sequence diagram of (a) direct transmission and (b) indirect transmission

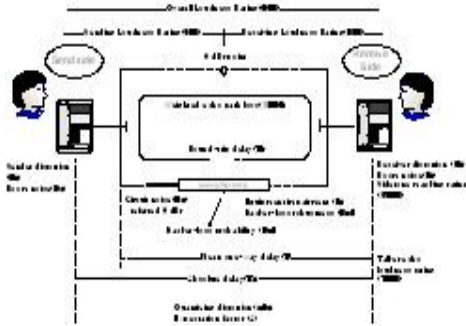
ACK 프레임을 전송한 후 코디네이터는 데이터와 ACK 프레임을 송수신하기에 충분한 경쟁 구간이 존재하는지 확인하여 존재할 경우 CSMA-CA를 사용하지 않고 데이터를 즉시 전송하고 그렇지 않다면 CSMA-CA를 이용하여 데이터를 전송한다.

III. 음성 단말 실험 모델

TIA/EIA/TSB-116에서는 인터넷 전화의 주요 감쇠 요소로서 지연, 반향, 음성 압축, 패킷 손실 등에 대한 파라미터를 제시하며, 이들 요소에 의한 음성 품질의 척도로서 R 값의 변화에 대하여 규정하고 있다[21]. 전화 서비스의 음성 품질을 나타내는 방법으로 MOS(mean opinion score)가 이용되며 MOS 값이 3.8 이상이면 일반 전화의 음성 품질 수준이며, 일반적인 VoIP 응용의 음성 품질 목표라 할 수 있다.

E-model은 ITU-T Rec. G.107에 제시된 통화 품질에 대한 통계적 예측 모델로서[22-24], 그림 3은 E-model 연결의 참고 모델을 보여준다. 송신측과 수신측 간의 음성 품질에 영향을 주는 파라미터로는 그림에서와 같이 송신측 신호 감쇠를 나타내는 SLR(sending loudness rating), 수신측 신호 감쇠인 RLR(receiving loudness rating), SLR과 RLR의 합인 OLR(overall loudness rating),

송, 수화기에서의 감쇠인 D_s (sender distortion)와 D_r (receiver distortion), 그리고 P_s (sender room noise)와 P_r (receiver room noise)은 송화 및 수화 측의 실내 잡음 등을 각각 나타낸다. 전송 시간으로는 송수신 간의 절대 단방향 지연 T_a (absolute delay), 수신측과 신호반향이 발생하는 지점 간의 평균 단방향 지연 T (mean one-way delay), 그리고 국부 폐회로에서 발생하는 왕복지연 T_r (round-trip delay) 등이 있다.



전화 서비스에서 음성 품질 저하에 영향을 주는 요소로는 회선 잡음, 송화 혹은 수화의 실내 잡음에 의한 신호대 잡음비(signal-to-noise ratio; SNR), 음량, 측음(sidetone), 양자화 오차에 의한 동시 손상 요소(simultaneous impairment factor), 음성의 절대 지연과 화자 및 수신자의 반향에 의한 지연 손상 요소(delay impairment factor), 저속 코덱의 사용, 팩킷 손실에 의한 장비 손상 요소(equipment impairment factor) 등이 있다. 모바일 통신 등의 편의성에 의한 영향을 보완한 것은 음성 품질의 이득 요소(advantage factor)로 고려된다. E-model에서 전송 품질 요소 R 은

$$R = R_o - I_s - I_d - I_e + A \tag{4}$$

로 표시되며 R_o 는 SNR, I_s 는 동시 손상 요소, I_d 는 송화자와 수화자의 반향 및 절대 지연에 의한 지연 손상, I_e 는 유효 장비 손상, A 는 이득 요소이다. 식 (4)에 사용된 각각의 파라미터는 다음과 같이 표현된다.

$$R_o = 15 - 1.5(R_{ts} + N_o) \tag{5}$$

R_{ts} 는 송신측 신호감쇠인 SLR을 나타내며, N_o 는 기타 잡음원에 의한 감쇠를 나타낸다. 식

(5)와 같이 SNR은 송신측 신호 감쇠와 잡음이 증가할수록 감소한다. 잡음원에 의한 감쇠 N_o 는

$$N_o = 10 \lg \left(10^{\frac{N_c}{10}} + 10^{\frac{N_a}{10}} + 10^{\frac{N_r}{10}} + 10^{\frac{N_b}{10}} \right) \tag{6}$$

로 표시된다. 여기서 N_c 는 회로 잡음의 합, N_a 및 N_r 은 각각 0 dBm 지점에서의 송신 및 수신측 실내 잡음에 의한 등가 회로 잡음, N_b 는 수신측의 잡음 값인 RLR이며 -64로 표현된다. 동시 손상 요소 I_s 는

$$I_s = I_{olr} + I_x + I_q \tag{7}$$

로 표현되며, I_{olr} 은 OLR의 너무 낮은 값에 의한 손상 값이고 I_x 는 수신측 측음과 평균 단방향 지연의 함수로 표현되는 비 적합 측음에 의한 손상 값이다. I_q 는 SNR과 양자화 왜곡율의 함수로 표현되는 손상 값이다. I_{olr} 과 X_{olr} 은

$$I_{olr} = 20 \left[\left\{ 1 + \left(\frac{X_{olr}}{8} \right)^8 \right\}^{\frac{1}{8}} - \frac{X_{olr}}{8} \right] \tag{8}$$

$$X_{olr} = R_{ts} + 0.2(64 + N_o - R_{ts}) \tag{9}$$

와 같다. R_{ts} 는 전체 영역 신호 감쇠인 OLR, R_{rs} 는 수신측 신호 감쇠인 RLR을 각각 나타낸다. I_{olr} 은 OLR 값이 충분히 크면 손상이 없고, 너무 작으면 손상이 증가한다. 송수신 측의 반향과 절대 지연의 함수인 지연 손상 요소 I_d 는

$$I_d = I_{de} + I_{dr} + I_{dt} \tag{10}$$

로 표현되며, I_{de} 는 송화자 반향에 의한 지연 요소, I_{dr} 는 수화자 반향에 의한 지연 요소, I_{dt} 는 절대 지연 요소를 각각 나타낸다. 송화자 반향에 의한 지연 요소 I_{de} 는

$$I_{de} = \left[\frac{R_{\omega} - R_e}{2} + \sqrt{\frac{(R_{\omega} - R_e)^2}{4} + 100} - 1 \right] (1 - e^{-T}) \tag{11}$$

로 표현되며, R_{ω} 는

$$R_{\infty} = -1.5(N_o - R_{rs}) \quad (12)$$

로 표현된다. 유효 장비 손상 요소 I_{∞} 는

$$I_{\infty} = I_e + (95 - I_e) \frac{P_{\mu}}{\frac{R_{\mu}}{R_b} + B_{\mu}} \quad (13)$$

로 표현되고, I_e 는 패킷 손실이 0일 때 장비 손상 요소, P_{μ} 은 패킷 손실 확률, B_{μ} 은 패킷 손실 견고성 요소, R_b 는 밀집율을 나타낸다. R-Factor는 사용자가 느끼는 통화 품질에 대한 것이며, ITU-T Rec. G.109는 R-Factor에 따른 사용자의 만족도를 표 1과 같이 규정하고 있다[25]. 표 1에서와 같이 R 값은 5등급으로 분류되며 만족할 만한 음성 품질을 위하여 R 값을 80 이상으로 권고한다.

표 1. 음성 전송 품질에 대한 범주 정의
Table 1. Definition of categories of voice transmission quality

Range	Speech quality category	User satisfaction
$90 \leq R < 100$	best	very satisfied
$80 \leq R < 90$	high	satisfied
$70 \leq R < 80$	medium	some users dissatisfied
$60 \leq R < 70$	low	many users dissatisfied
$50 \leq R < 60$	poor	nearly all users dissatisfied
$R < 50$		not recommended

IV. 음성 품질 실험

TIA/EIA/TSB-116에서는 VoIP에서 송신자에게 들리는 지연 방향의 신호 손실 정도를 나타내는 TELR(talker echo loudness ratio), 음성 압축 방식 및 패킷 손실 등의 영향에 따른 음성 품질을 분석하고 단말기 및 네트워크에서의 각 성능을 권고하고 있다[21].

그림 4와 표 2는 반향 손상이 35~65, 그리고 단방향 지연이 0~500ms에 따른 음성 품질을 측정하기 위한 E-model의 블록도와 파라미터를 보여준다. 그림 4의 단말기 A와 B는 음성 단말로서

잡음의 영향이 거의 없으며, 각 통화 환경인 실내 잡음, 송수신 음량 크기 등은 가정하였다. 단말기를 포함한 네트워크 전체가 디지털이므로 반향 손상은 단말기의 혼합 회로에서만 발생할 수 있다. 단방향 지연은 양 단말기 간의 거리에 의한 전달 지연과 네트워크에서의 처리 지연 등을 포함한 것이다.

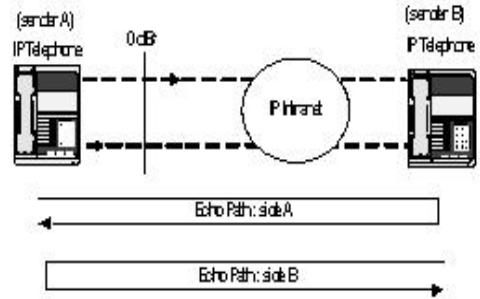


표 2. 반향 손상에 대한 E-model 파라미터

Table 2. E-model parameters for echo impairment

	Send	0dB	Network	Recv.
N_c	-70	-70		
Romm noise	35			35
SLR	8			8
RLR	2			2
D-factor	3			3
Noise floor	-64			-64
Sidetone masking rating	15			15
Equipment impairment	0			0
Mean one-way delay	0		0~500	0
Electrical loss	0			0
Quantizing distortion units	0.5			0.5
Echo return loss	35~56			35~65

그림 5는 네트워크에서의 반향 손상과 단방향 지연에 따른 음성 품질을 E-model에 따라 실험한 결과이다. 그림에서와 같이 반향 손상은 35에서 65dB까지 5씩 변화시켰으며, 단방향 지연은 0부터 500ms까지 1씩 변화시키면서 실험하였다. R 값이 80 이상이 되기 위해서는 TELR이 65dB일 때 단방향 지연이 약 250ms 이하가 되어야 하며, 그 외의 경우인 TELR이 60dB, 55dB, 50dB, 45dB에 대해서는 각각 220ms, 170ms, 100ms, 60ms 등이 되어야 한다.

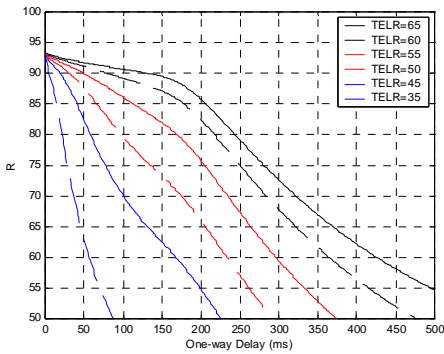


그림 5. 반향 손상의 E-model 예측

Fig. 5. E-model prediction of echo impairment

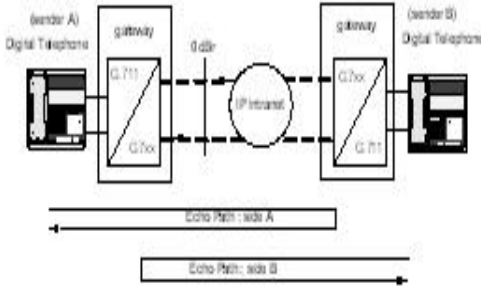


표 3. 음성 압축 손상에 대한 E-model 파라미터

Table 3. E-model parameters for voice compression impairment

	Digital set(S)	GW.	OdBr	GW.	Digital set(R)
N_c			-70		
Room noise	35				35
SLR	8				8
RLR	2				2
D-factor	3				3
Noise floor	-64				-64
Sidetone masking rating	15				15
Equipment impairment	0	0,11, 15		0,11, 15	0
Mean one-way delay	0	0	0~50 0	0	0
Electrical loss	0				0
Quantizing distortion units	0.5				0.5
Echo return loss	45	55		55	45

그림 6과 표 3은 음성 압축 손상에 대한 E-model 블록도와 파라미터를 보여준다. 그림에서와 같이 게이트웨이를 포함한 네트워크 구성에서 음성 단말은 G.711 음성 코덱을 사용하고, 네트워크는 다른 방식을 사용한다. 반향 손상은 단말기와 게이트웨이에서 각각 45dB와 55dB 발생하는 것으로 가정하였다.

표 4는 장비 손상 요소 I_e 에 대한 코덱별 예측 값을 나타낸 것으로 G.711기반의 PCM 방식의 장비손상 값이 0으로 가장 낮고 G.726 기반의 32kbps ADPCM은 7, G.729기반의 CS-ACELP은 10, G.723.1 기반의 ACELP은 19로 나타났다. 본 논문에서는 일반적으로 가장 많이 사용되는 G.711 PCM을 기준으로 ADPCM과 인터넷에서 많이 사용하는 G.729 및 G.723.1 등의 코덱 방식에 의하여 발생하는 손상을 장비 손상 요소로 간주한다.

표 4. 장비 손상의 코덱별 E-model 예측

Table 4. E-model prediction of equipment impairment

Codec	Standard	Rate(kbps)	I_e
PCM	G.711	64	0
ADPCM	G.726, G.727	40	2
	G.721, G.726, G.727	32	7
	G.726, G.727	24	25
	G.726, G.727	16	50
LD-CELP	G.728	16	7
		12.8	20
CS-ACELP	G.729	8	10
MP-MLQ	G.723.1	6.3	15
ACELP	G.723.1	5.3	19

그림 7은 네트워크에서 압축 방식과 단방향 지연에 따른 음성 품질을 E-model로 실험한 것이다. 그림에서와 같이 압축방식은 64kbps PCM G.711, 32 kbps ADPCM, 그리고 G.729A 방식을 선택하여 E-model의 장비 요소에 적용하였다. 단방향 지연은 0에서 500ms까지 1씩 변화시키면서 실험하였다. R 값이 80 이상이 되기 위해서는 단방향 지연이 G.711은 약 230ms이하, 32kbps ADPCM과 G.729A는 각각 190ms와 75ms 이하가 되어야 하는 것으로 나타났다.

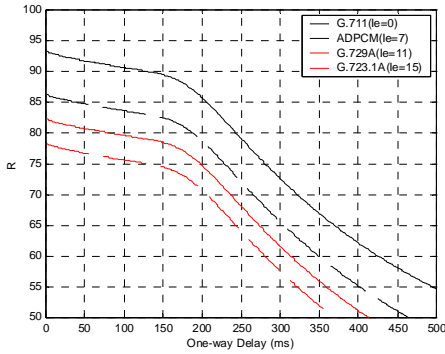


그림 7. 음성 압축 손상의 E-model 예측
Fig. 7. E-model prediction of voice codec impairment

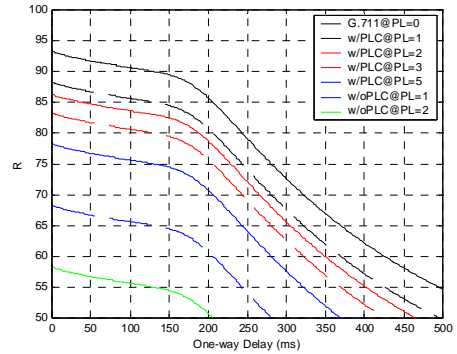


그림 8. G.711의 임의의 패킷 손실의 E-model 예측
Fig. 8. E-model prediction of G.711 random packet loss

표 5. 패킷 손실 조건에 따른 장비 손상
Table 5. Equipment impairment factor I_e under conditions of packet loss

Packet Loss (%)	G.711 w/o PLC	G.711 w/ PLC (RL)	G.711 w/ PLC (BL)	G.729A+ VAD 8 Kbps	G.723.1A + VAD 6.3 Kbps
0	0	0	0	11	15
0.5	-	-	-	11	15
1	25	5	5	15	19
1.5	-	-	-	17	22
2	35	7	7	19	24
3	45	10	10	23	27
4	-	-	-	26	32
5	55	15	30	-	-
7	-	20	35	-	-
8	-	-	-	36	41
10	-	25	40	-	-
16	-	-	-	49	55
20	-	45	50	-	-

표 5에서는 패킷 손실에 의한 장비 손상을 나타내며 G.711은 패킷 손실이 없을 때 음성 품질이 양호하지만 패킷 손실이 증가할수록 품질이 급격히 악화됨을 알 수 있다. 또한 G.711에 패킷 손실 보상 방식을 사용하면 패킷 손실에 따른 음성 품질 열화가 덜해지며, 임의 손실보다 버스트 손실이 더 나쁜 영향을 끼치는 것을 알 수 있다.

그림 8은 G.711을 사용할 경우에 패킷 손실에 의한 장비 손상을 나타낸 것이다. 그림 8의 위에서부터 아래방향으로 각각 패킷 무손실, 패킷 손실 은닉 기능이 있는 상태에서 패킷 손실이 1%, 2%, 3%, 5%, 그리고 패킷 손실 은닉 기능이 없는 상태에서 패킷 손실이 1%, 2%인 경우의 단방향 지연에 대한 R 값의 변화를 나타낸 것이다. G.711 방식에서 R 값이 80 이상이 되기 위해서는 패킷 무손실이 보장되거나 패킷 손실 은닉 기능이 있어야 함을 보여준다.

그림 9는 G.729A를 사용하면서 발생한 패킷 손실에 의한 장비 손상을 나타낸 것이다. 그림 9의 위에서부터 아래로 각각 G.711의 패킷 무손실, G.729A에서 패킷 손실이 0%, 1%, 2%, 3%, 4%인 경우의 R 값 변화를 나타낸 것이다. G.729A에서 R 값이 80 이상이 되기 위해서는 패킷 무손실이 보장되어야 하며 G.711과 비교할 때 음성 품질이 약 12% 정도 낮아진 것을 알 수 있다.

그림 10은 G.723A를 사용하면서 발생한 패킷 손실에 의한 장비 손상을 나타낸 것이다. 그림 10의 위에서부터 아래로 각각 G.711에서의 패킷 무손실, G.723A에서 패킷 손실이 0%, 1%, 2%, 3%, 4%인 경우의 R 값 변화를 나타낸 것이다. G.723A에서 R 값이 80이상이 되는 경우는 없으며 G.711과 비교할 때 음성 품질이 약 18% 정도 낮아진 것을 알 수 있다.

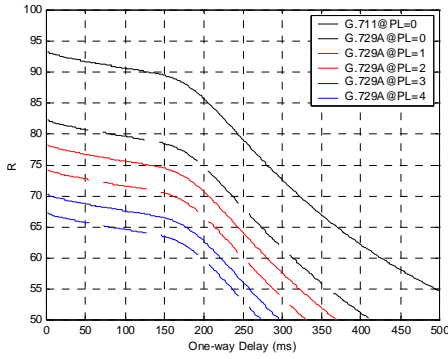


그림 9. G.729A 패킷손실의 E-model 예측
Fig. 9. E-model prediction of G.729A packet loss

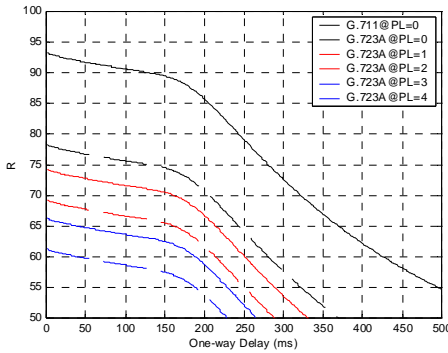


그림 10. G.723A 패킷손실의 E-model 예측
Fig. 10. E-model prediction of G.723A packet loss

R 값에 따른 GoB(Good or Better) 판정과 PoW(Poor or Worse) 판정은

$$GoB = 100E\left(\frac{R-60}{16}\right) (\%) \quad (14)$$

$$PoW = 100E\left(\frac{45-R}{16}\right) (\%) \quad (15)$$

로 표현되며, $E(x)$ 는 다음과 같다.

$$E(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (16)$$

그림 11은 GoB 및 PoW 에 대한 상관관계를 백분율을 나타낸 것으로 R 값이 증가할수록 GoB는 증가하고, PoW는 감소한다. 특히 80일 때 GoB는

90% 정도로 예측할 수 있다. 그림 12는 R 값에 따른 예측 MOS를 나타낸 것이다. R 값이 증가할수록 MOS는 증가하고, 특히 R 값이 80 일 때 MOS는 4 정도로 예측할 수 있다.

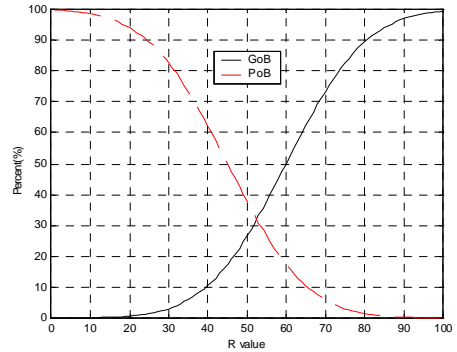


그림 11. R 값에 따른 GoB 및 PoW 백분율
Fig. 11. GoB and PoW as functions of R

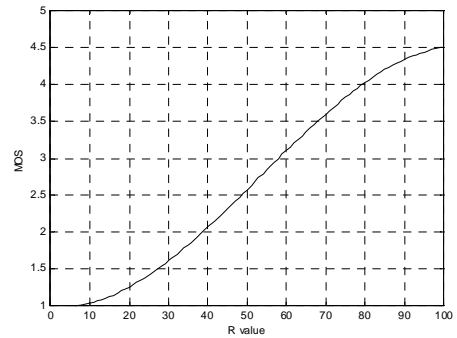


그림 12. R 값에 따른 MOS 예측
Fig. 12. MOS prediction as function of R

V. 음성 노드 설계 요구사항

1. 비경쟁 구간에서 음성 노드 설계

비컨 가용 모드의 저속 WPAN에서는 슈퍼프레임을 사용하여 데이터를 전송한다. 슈퍼프레임은 16개의 타임 슬롯으로 구성되는데, 하나의 비컨프레임과 경쟁 구간 및 비경쟁 구간으로 사용할 수 있는 15개의 타임 슬롯으로 구분된다. 비경쟁 구간은 비컨 가용 모드에서만 존재하고 이 구간 동안은 GTS를 이용하여 데이터를 전송한다. GTS는 CSMA-CA를 사용하지 않고 시분할 방식을 이용하

여 전송하는 것으로 최대 7개 타임 슬롯까지 사용할 수 있다. 음성 노드에서 생성되는 음성 데이터 트래픽을 GTS를 이용하여 전송하기 위해서는 음성 코덱에서 요구하는 프레임 발생 주기와 슈퍼프레임 발생 주기, GTS의 수, 한 타임 슬롯의 크기 등을 고려하여 적합한 파라미터를 선정해야 한다.

1.1 음성 데이터의 대역폭

비경쟁 구간은 시분할 방식으로 데이터를 전송하므로 이 구간에서 음성 데이터를 전송하기 위해서 사용될 음성 코덱의 속도, 프레임 간격 및 패킷 길이에 대한 정보를 알고 있어야 한다. 표 6은 음성 코덱 방식에 대한 속도, 프레임 간격 및 패킷 길이를 비교한 것이다[26]. 표에서 알 수 있듯이 코덱 방식에 따라 프레임이 발생하는 시간 간격과 프레임 크기가 일정하다. 꺾호안의 수치는 비트 혹은 바이트 단위로 출력되는 코덱 방식에서 저속 WPAN 규격을 고려하여 프레임 크기가 120 바이트 미만, 프레임 간격은 15~30ms 범위에서 적합한 쌍을 나타낸 것이다.

표 6. 음성코덱 방식 비교
Table 6. Voice coding mechanism comparison

코덱 방식	코덱속도	프레임간격 (ms)	패킷길이 (byte)
G.711 PCM	64	(15)	(120)
G.726 ADPCM	32	(25)	(100)
G.728 LD-CELP	16	(30)	(60)
G.729 CS-ACELP	8	10	10.0
G.723.1 MP-MLQ	6.3	30	23.6
G.723.1 ACELP	5.3	30	20.0

1.2 음성 데이터 전송을 위한 SO 및 BO 값 분석

GTS를 사용하여 음성 데이터를 전송할 경우의 슬롯 크기는 코디네이터에서 디바이스로 데이터를 전송할 경우, 디바이스의 요청에 대한 응답으로 코디네이터는 “ACK+t_{ack}+ 음성 프레임” 형태로 데이터를 전송한다. t_{ack}는 송신과 수신 간의 모드 변환에 필요한 시간으로 거의 무시할 수 있을 정도이다. 양방향 대칭 음성 통신에서 1개 슬롯의 크기를 최

소로 하기 위해서는 연속된 3개의 GTS가 하나의 음성 패킷을 전달 할 수 있도록 각 방향(upstream과 downstream)에 대하여 사용하는 것이다.

3개의 GTS 슬롯 크기는

$$L_{3GTS} = L_{data} + L_{ta} + L_{ack} \tag{17}$$

로 표시되며 여기서, L_{data} 는 PPDU의 길이 133 바이트, L_{ack} 은 ACK의 길이 11 바이트를 나타낸다.

GTS를 이용하여 음성 데이터가 양방향으로 전달되기 위해서는 슈퍼프레임 구간, 슈퍼프레임 계수 및 비컨프레임 계수가 적절히 선택되어야 한다. 슈퍼프레임 구간 SD는 식 (2)에 의해 계산되어질 수 있으며 음성 데이터를 전송하기 위해서 SO값은 SD값이 충분히 작도록 설정해야 하고, 최소한 3개의 GTS가 하나의 음성 패킷을 전달할 수 있을 만큼 슬롯 크기가 충분하도록 결정해야 한다. 식 (2)에

SD_{bs} 값인 960 심볼을 대입하여 $2^{SO} > \left(\frac{SD}{960}\right)$ 을 만족하는 정수 SO를 찾을 수 있다. 하나의 시간 슬롯은 전송할 패킷 길이의 1/3을, SD는 16개의 슬롯을 사용할 수 있어야 한다. 즉, 식 (2)에 의해서 $SD = \frac{144}{3} \times 16 \times 2 = 1536$ 을 만족하는 960의 2배인 정수 SO를 구할 수 있다. 슬롯의 크기를 최대로 하는 것은 패킷의 크기를 최대로 전송하기 위한 것이며, 지금까지 구한 바와 같이 $SO \geq 1$ 을 만족하여야 한다.

그러나 표준 문서에 정해진 슈퍼프레임 계수의 정의에서, SO는 0과 같거나 크고 BO와 같거나 작아야 하는 제약 사항이 있다. 따라서 SO가 1 이상이면 BO 또한 1 이상이 되어야 하므로 BO에 의한 시간 지연이 예측된다. SO가 0 이상이 되기 위해서는 식 (2)에 의해서 L_{data} 는 79바이트 미만으로 계산된다. BO값은 주기적인 음성 데이터를 전달할 수 있을 만큼 충분히 짧은 시간에 반복적으로 발생해야 하며, 음성 코덱에서 요구하는 비컨 주기 BI는 전송되는 패킷 속도를 이용하여 구할 수 있다. 표 6에서 제시된 다양한 코덱 방식에 대한 비컨 주기는 최소 15.625ms에서 125ms까지 계산될 수 있다. 저속 WPAN의 물리계층 속도는 16us에 하나의 심볼을 전송하므로 비컨 주기는 976에서 7812 심볼 사이의 길이로 나타낼 수 있다. 식 (1)에서 SD_{bs} 값인 960 심볼을 대입하고, BO에 의하여 설정되는 BI는 음성 코덱에 의하여 요구되는 BI보다 작아야

하므로 식 (18)과 같은 관계를 유도할 수 있다.

$$2^{BO} < \frac{H_V}{930} \tag{18}$$

H_V 는 음성 코덱에 의해서 요구되는 최소 비컨 주기를 나타낸다. 식 (18)에 H_V 값인 976~7812 심볼을 대입하면 BO는 최소 0 이상이다. BO값이 0, 1, 2로 변함에 따라 BI는 15.36ms, 30.72ms, 61.44ms 등과 같이 증가하며 BO값이 3 이상이면 비컨 주기가 약 120ms 이상이 되므로 데이터 지연이 120ms 이상 발생할 수 있어 지연에 심각한 영향을 줄 수 있어 본 논문에서는 BO가 2인 경우까지만 고려하여 분석하였다. BI 값은 결국 패킷 지연으로 작용하며, 음성 데이터 발생률과 관련하여 패킷 발생률을 충분히 수용할 수 있도록 슈퍼프레임이 빈번하게 발생하도록 설정되어야 한다. 따라서 음성 데이터 압축 방식에 따른 데이터 발생률과 프레임 발생률을 고려하면 실질적으로 BO 값은 0과 1이 유효하다.

1.3 음성 트래픽 양에 따른 파라미터 선택

음성 트래픽 양에 따른 파라미터를 선택하기 위해서는 패킷발생 간격과 패킷 크기가 중요하다. 패킷 속도 R_{μ} 는

$$R_{\mu} = \frac{1}{H_V} = \frac{R_c}{L_V \times 8} \tag{19}$$

로 표현되며 여기서, H_V 는 음성 코덱에 의해서 요구되는 최소 비컨 주기, R_c 는 코덱의 속도, L_V 는 패킷당 데이터의 길이이다. 코덱속도는 5.3kbps, 6.3kbps, 8kbps, 16kbps, 32kbps이며 데이터의 길이는 바이트로 표시된다.

코덱 방식에 따라 패킷 속도와 패킷 크기, 그리고 SO 및 BO 값을 대응시켜 비교 분석하면 표 7, 표 8, 표 9와 같다. 각 표는 $SO \leq BO$ 조건, 슬롯 개수는 3 이하일 것, 음성 데이터가 포함된 PSDU 크기가 127 바이트 이하일 것, 슬롯 크기와 슬롯 개수의 곱이 음성 패킷의 크기보다 클 것 등을 동시에 만족하는 SO와 BO 값을 찾아 슈퍼프레임을 구성하여야 한다. 특히 슬롯 크기와 슬롯 개수의 곱이 음성 패킷 크기보다 큰 가장 작은 슬롯 개수를 선택할 때, 사용 대역폭을 최소화할 수 있다.

표 7은 32kbps 코덱을 사용하는 경우로서 BO가 0과 1에서 BI는 15.36ms와 30.72ms이며 음성 데이터는 식 (18)에 의해서 각각 61.44 바이트와 122.88 바이트이다. 슬롯 크기는 BO가 0인 경우, SO는 0이며 30 바이트이다. BO가 1인 경우, SO는 0 혹은 1이 될 수 있어 슬롯 크기는 30 바이트와 60 바이트가 된다. 따라서 슬롯 개수는 BO가 0인 경우 3개이며 BO가 1인 경우 3개와 5개로 구해진다. 그러나 음성 데이터를 GTS를 사용할 수 있는 조건에서 타임 슬롯의 개수는 3 이하여야 하므로 5개의 타임 슬롯이 필요한 경우에는 GTS를 이용하여 음성 데이터를 전송하기 어렵다.

표 7. 32kbps 코덱에 대한 분석
Table 7. Analysis of 32kbps Codec

	BO = 0	BO = 1	
BI(ms)	15.36	30.72	
Voice Traffic(byte)	61.44	122.88	
Slot Size(byte)	30 (SO=0)	30 (SO=0)	60 (SO=1)
Number of TS	3	5	3

표 8은 16kbps 코덱을 사용하는 경우로서 BO가 0 일때 SO는 0이고 BO가 1 일때 SO는 0 혹은 1이 사용될 수 있다. BO가 1이며 SO가 0인 경우는 비활성 구간이 BI의 절반이며 에너지의 소모를 줄이면서 음성 데이터를 전송할 수 있으나 16kbps의 코덱을 사용함으로 32kbps의 코덱을 사용하는 경우보다는 음성 품질이 저하될 수 있다.

표 8. 16kbps 코덱에 대한 분석
Table 8. Analysis of 16kbps Codec

	BO=0	BO=1	
BI(ms)	15.36	30.72	
Voice Traffic(byte)	30.72	61.44	
Slot Size(byte)	30 (SO=0)	30 (SO=0)	60 (SO=1)
Number of TS	2	3	2

표 9는 8kbps 코덱을 사용하는 경우의 음성 통신 여부를 보여준다. 이 경우도 표 8과 유사하게 서비스 될 수 있으나 음질은 표 7과 표 8과 비교해서 당연히 저하된다.

표 9. 8kbps 코덱에 대한 분석
Table 9. Analysis of 8kbps codec

	BO=0	BO=1	
BI(ms)	15.36	30.72	
Voice Traffic(byte)	15.36	30.72	
Slot Size(byte)	30 (SO=0)	30(SO=0)	60(SO=1)
Number of TS	1	2	1

2. 경쟁 구간에서 음성노드 설계

2.1 경쟁 구간에서의 전송방식 고찰

경쟁 구간을 이용한 음성 데이터의 전송은 비컨 가용 모드와 비컨 비가용 모드 모두에서 가능하다. 저속 WPAN의 전송 속도와 음성 통신에서 요구되는 대역폭을 고려하면, 음성을 비컨 가용망의 경쟁 구간에서만 전송하도록 설정하는 것은 적합하지 않다. 즉, 제한된 경쟁 구간에서 다수의 센서 노드와 경쟁하는 부담, 추가 설정될 수 있는 비경쟁 구간에 의하여 경쟁 구간은 더욱 짧아질 수 있으며, 비컨 프레임을 전송하는 하나의 타임 슬롯 또한 경쟁 구간 대역폭 감소를 유발한다. 따라서 경쟁 구간을 사용하여 음성을 전송하는 경우에 대해서는 비컨 비가용 모드 WPAN이 적합하며, 또한 음성 이외의 다른 센서 노드들과 CSMA-CA를 사용하는 것으로 가정하는 것이 현실적이다. 이 경우 음성 데이터를 전송하는데 있어서 패킷의 길이는 코디네이터와 디바이스 간에 저속 WPAN의 최대 패킷보다 작은 범위에서 임의로 선택할 수 있다.

2.2 음성 데이터의 요구되는 전송 대역

음성 데이터를 전송하는데 점유되는 전송 대역은 초당 발생하는 음성 패킷 수와 패킷 길이로 계산할 수 있다. 초당 음성패킷 수 N_V 는

$$N_V = \frac{B_V}{(8 \times L_V)} \tag{20}$$

로 표시된다. B_V 는 음성 전송 대역, L_V 는 패킷 당 음성 데이터의 길이를 나타낸다. 물리 계층의 패킷 길이 L_{data} 는

$$L_{data} = O_{phy} + O_{mac} + L_V \tag{21}$$

로 표시되며, O_{phy} 는 물리 계층에서의 오버헤드 (6 바이트), O_{mac} 은 MAC 계층의 오버헤드 (9 바이트), L_V 는 음성 데이터의 길이를 나타낸다.

그림 13은 32kbps의 음성 데이터를 전송할 때 필요한 대역을 패킷 길이에 대하여 나타낸 것이다. 그림 13의 그래프는 아래로부터 디바이스에서 코디네이터 방향으로 단방향 음성 패킷 대역, 순수한 음성 패킷에 대한 양방향 음성 패킷 대역, 코디네이터에서 디바이스 방향으로 음성 데이터를 전달하는데 데이터 요청 프레임과 ACK를 포함한 음성 패킷 대역, 디바이스에서 코디네이터 방향으로 음성 데이터를 전달하는데 ACK를 사용한 음성 패킷 대역 등을 나타내었다. 직접 방식을 사용하여 양방향으로 데이터를 전송하는 경우에 MSDU 크기가 80 바이트에서 약 75kbps의 대역폭을 요구하였다. 이것은 양방향 음성 데이터의 속도가 64kbps이고 물리계층 및 MAC 계층의 오버헤드가 포함되어 나타나기 때문이다. 같은 MSDU의 크기에서 간접 전송은 직접 전송 방식을 사용하는 경우에는 약 95kbps의 대역폭이 필요하여 간접 전송은 직접 전송보다 약 20kbps의 대역폭이 더 필요하였다. 일반적으로 센서 노드는 분산 배치되므로 간접 방식에 의한 저전력 소모 방식이 필요하지만 음성 노드는 사용자가 휴대하므로 충전에 의한 전원 공급이 가능하고 사용자에게 의하여 구동이 되므로 직접 방식을 이용한 데이터 전송이 적합하다.

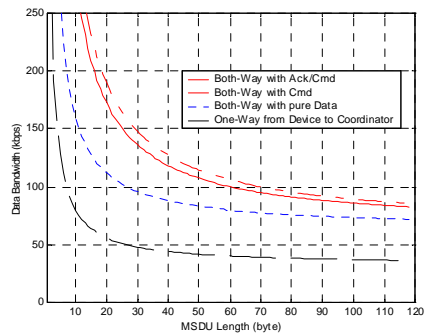


그림 13. 32kbps 음성 데이터에 대한 음성전송 대역

Fig. 13. Voice transmission bandwidth of 32kbps voice data

VI. 결 론

비컨 가용 모드 WPAN의 비경쟁 구간에서 GTS를 활용하여 음성 데이터를 전달하기 위해서 SO 및 BO 값을 선택할 수 있는 여지는 거의 없으며, 패킷 조립 및 분해 간격이 15.36ms의 배수로만 선택될 수 있다. 따라서 패킷 간의 간격이 BO 값과 적당하게 쌍을 이루기 어렵다. 또한 패킷 조립 및 분해 지연과 음성 압축 방식 등을 고려할 때 64kbps PCM 음성 코덱의 활용은 불가능하다. 또한 최대 118 바이트의 payload에 79 바이트 미만의 음성 데이터를 사용할 수 있어 대역폭을 효율적으로 사용할 수 없는 단점이 있다.

유선 네트워크에서 음성 품질에 영향을 주는 요소는 지연, 패킷 손실, 반향의 세기, 음성 코덱 방식 등이다. 반향의 세기 및 음성코덱 방식은 주로 네트워크와 단말기의 특성에 영향을 주지만 저속 WPAN에서는 지연과 패킷 손실 등에 영향을 많이 받는다.

현재 저속 WPAN 표준은 스타 토폴로지에 대해서만 규정하고 있어 단일 홉에서 추가되는 WPAN의 지연이 크지 않다면 앞에서 분석한 유선망에서의 음성 통화 품질에 미치는 영향이 적다. 저속 WPAN에서 생기는 지연에는 패킷 분해 및 조립 지연, WPAN에서의 전달 지연, WPAN 코디네이터에서 유선망과 연동에 발생하는 처리 지연 등으로 구분할 수 있다. 여기에서 패킷 분해 및 조립 지연은 기존의 단말기에서 존재하던 지연이고, 전달 지연과 처리 지연이 저속 WPAN에서 의해서 추가되는 지연이다. 따라서 전달 지연과 처리 지연의 합이 유선망에서 분석한 단방향 지연과 비교하여 약 10% 이하 정도로 충분히 적을 경우 유선망에서의 음성 품질을 유지하는데 어려움이 없다.

저속 WPAN에서 패킷 손실은 CSMA-CA에서 발생하는 신호의 충돌과 이에 따른 백오프 후 재전송의 횟수 초과에 따른 패킷 폐기에 의하여 발생한다. 저속 WPAN에서의 패킷 손실은 종단 간 음성품질에 치명적이므로 최소한의 패킷 손실을 유지할 수 있도록 관리될 수 있어야 한다.

참고문헌

- [1] "10 emerging technologies that will change the world," *Technology Review*, vol. 106, no. 1, pp. 33-49, Feb. 2003.
- [2] M. Weiser, "The computer for the 21st century," *Scientific America*, pp. 94-104, Sep. 1991.
- [3] J. Pottie and W. Kaiser, "Embedding the internet wireless integrated network sensors," *Comm. of the ACM*, vol. 43, no. 5, pp. 51-58, May 2000.
- [4] A. Dey, G. Abowd, and D. Salber, "A context-based infrastructure for smart environments," in *Proc. of the 1st Int. Workshop on Managing Interactions in Smart Environments (MANSE'99)*, pp.14-28, May 1999.
- [5] G. Pottie and W. Kaiser, "Wireless sensor networks," *Comm. of the ACM*, vol. 43, no. 5, pp. 51-58, Mar. 2000.
- [6] IEEE Standard 802.15.4, "Part 15.4:wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks," May 2003.
- [7] B. Rose, "Home networks, a standard perspective," *IEEE Communications Magazine*, vol. 39, no. 12, pp. 78-85, Dec. 2001.
- [8] E. Callaway, P. Gorday, L. Hester, J. Gutierrez, M. Naeve, B. Heile, and V. Bahl, "Home networking with IEEE 802.15.4: a developing standard for low-rate wireless personal area networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 70-77, Aug. 2002.
- [9] J. Zheng, and M. Lee, "Will IEEE 802.15.4 make ubiquitous networking a reality?: a discussion on a potential low power, low bit rate standard," *IEEE Communications Magazine*, vol. 42, no. 6, pp. 140-146, June 2004.
- [10] E. Choi, J. Huh, K. Kim, M. Cho, and S. Kim, "Frame size adaptive MAC protocol in low-rate wireless personal area networks," in *Proc. of ICOIN 2006*, icoin-2006-539, Jan. 2006.
- [11] S. Deshpande, "Adaptive low-bitrate streaming over IEEE 802.15.4 low rate wireless personal area networks

- (LR-WPAN) based on link quality indication," in *Proc. of ACM IWCMC 2006*, pp. 863--868, July 2006.
- [12] G. Pekhterev, Z. Sahinoglu, P. Orlik, and G. Bhatti, "Image transmission over IEEE 802.15.4 and ZigBee networks," in *Proc. of IEEE ISCAS 2005*, vol. 4, pp. 3539-3542, May 2005.
- [13] D. Hindus and S. Mainwaring, "Hanging on the wire: A field study of an audio-only media space," *ACM Trans. on Computer-Human Interaction*, vol. 4, no. 11, pp. 39-66, Mar. 1997.
- [14] C. Kidd, et al., "The aware home: A living laboratory for ubiquitous computing research," in *Proc. of the 2nd Int. Workshop on Cooperative Buildings*, pp. 205-215, Oct. 1999.
- [15] G. Abowd and E. Mynatt, "Charting past, present and future research in ubiquitous computing," *ACM Trans. on Computer-Human Interaction*, vol. 7, no. 1, pp. 29-58, Oct. 2000.
- [16] IEEE Standard 802.11, "Part 11: wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications," Nov. 1997.
- [17] IEEE Standard 802.15.1, "Part 15.1: wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for wireless personal area networks," Oct. 2002.
- [18] D. Hole, and F. Tobagi, "Capacity of an IEEE 802.11b wireless LAN supporting VoIP," in *Proc. of IEEE ICC 2004*, vol. 1, pp. 196-201, June 2004.
- [19] O. Awoniyi, and F. Tobagi, "Effect of fading on the performance of VoIP in IEEE 802.11a WLANs," in *Proc. of IEEE ICC 2004*, vol. 6, pp. 3712-2717, June 2004.
- [20] J. D. Gibson, and B. Wei, "Tandem voice communications: digital cellular, VoIP, and voice over Wi-Fi," in *Proc. of IEEE GLOBECOM 2004*, vol. 2, pp. 617-621, Dec. 2004.
- [21] TIA/EIA/TSB-116, Voice quality recommendations for IP telephony, Mar. 2001.
- [22] ITU-T/Recommendation G.100, Definitions used in recommendations on general characteristics of international telephone connections and circuits, Feb. 2001.
- [23] ITU-T/Recommendation G.107, The E-model, a computational model for use in transmission planning, May 2000.
- [24] ITU-T/Recommend G.108, Application of the E-model: A planning guide, Sep. 1999.
- [25] ITU-T/Recommendation G.109, Definition of categories of speech transmission quality, Sep. 1999.
- [26] J. D. Gibson, "Speech coding methods, standards, and applications," *IEEE Circuits and Systems Magazine*, vol. 5, no. 4, pp. 30-49, Dec. 2005.

저 자 소 개

허윤강

2005년 충남대 정보통신공학부 컴퓨터 전공 학사
 현재 과학기술연합대학원대학교 석사 과정
 관심분야 : 센서 네트워크, 홈 네트워크
 Email : ykhur@etri.re.kr

김유진

1996~1999년 LG반도체 MCU 설계실 연구원
 2005년 충북대 정보통신공학과 박사
 현재 한국전자통신연구원 선임연구원
 관심분야 : 임베디드 프로세서 설계, 무선 MAC 프로
 세서 설계
 Email : youjin@etri.re.kr

허재두

1987년 경북대 전자공학과 학사
 1990년 경북대 전자공학과 석사
 2000년 경북대 정보통신공학과 박사
 현재 한국전자통신연구원 센서네트워킹팀 팀장
 관심분야 : 임베디드 하드웨어, WPAN 프로토콜, 센
 서 네트워크
 Email : jdjuh@etri.re.kr