

신뢰성있는 WBAN을 위한 통신 시스템의 링크 버짓 분석

Link Budget Analysis of Communication System for Reliable WBAN

노재성

서일대학교 정보통신공학과

Jae-sung Roh

Department of Information & Communication Engineering, Seoul University, Seoul 02192, Korea

[요 약]

WBAN (wireless body area network)은 비정상적인 건강 상태, 실시간 의료 모니터링, 원격 의료 지원 시스템을 조기에 탐지할 수 있는 네트워킹 기술이다. 최근에 이슈가 되고 있는 건강 관리를 위한 사물 인터넷 (IoT; internet of things)은 인간의 삶의 질을 향상시키는 데 가장 유망한 분야 중에 하나이다. 이것은 다른 통신 시스템과 마찬가지로 의료 통신 시스템의 높은 QoS (quality of service)요구 사항을 만족해야 한다. 따라서 WBAN 통신 시스템의 QoS 요구 사항을 수용하기 위해 오류율 (BER; bit error rate) 임계 값을 선택하였다. 본 논문에서는 IR-UWB PPM 변조 방식을 이용한 WBAN 채널의 BER 성능을 계산하고 WBAN의 링크 버짓과 시스템 마진을 다양한 시스템 파라미터에 따라 분석하였다.

[Abstract]

Wireless body area network (WBAN) is a networking technology that enables early detection of abnormal health conditions, real-time medical monitoring, and telemedicine support systems. The internet of things (IoT) for healthcare, which has become an issue recently, is one of the most promising areas for improving the quality of human life. It must meet the high QoS requirements of the medical communication system like any other communication system. Therefore, the bit error rate (BER) threshold was chosen to accommodate the QoS requirements of the WBAN communication system. In this paper, we calculated BER performance of WBAN channel using IR-UWB PPM modulation and analyzed link budget and system margin of WBAN according to various system parameters.

Key word : Wireless body area network, System margin, Link budget, BER.

<https://doi.org/10.12673/jant.2019.23.6.584>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 20 November 2019; Revised 23 November 2019

Accepted (Publication) 21 December 2019 (30 December 2019)

Corresponding Author; Jae-sung Roh

Tel: +82-2-490-7206

E-mail: jsroh@seoil.ac.kr

I. 서론

최근 개인의 건강에 대한 관심이 증가함에 따라 센서 노드를 사람의 인체 위에 부착하거나 인체 속에 심어서 통신하는 무선 인체 영역 네트워크 (WBAN; wireless body area network)에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. WBAN은 인체를 중심으로 최대 5 m 이내 기기들을 무선으로 연결하여 의료 및 비의료 서비스를 동시에 제공하는 것을 목표로 하는 무선 통신 기술로 생체 신호를 지속적으로 모니터링하기 위해 저 전력 및 소형화가 필요하다. 또한, 인체 위나 속에서 기기들 사이를 무선으로 통신이 이루어지 때문에 제한된 전력으로 인한 배터리 소모 문제도 해결되어야 할 과제이다 [1]-[4].

그림 1은 무선 인체 영역 네트워크의 구조를 나타내며 인체 부착 센서, 착용형(wearable) 장치, WBAN 제어 장치, 인터넷 및 모니터링 시스템으로 구성된다. WBAN의 센서 노드는 위치에 따라 in-body, on-body, out-body로 구분할 수 있으며 본 연구에서는 on-body 형태로 인체에 부착하거나 착용형 장치를 대상으로 무선채널을 고려하였다.

무선 인체 영역 네트워크는 의료 기술의 미래를 혁신할 큰 잠재력을 가지고 있으며 WBAN 기술을 도입하려는 정보통신 기업과 의료 및 건강 관리 기업에서 강력한 요구가 있다. 특히 WBAN용 부착 센서는 신체의 생리적 징후를 측정하고 처리하여 착용자의 활동을 제한하지 않고 WBAN 제어 장치로 실시간 수집된 데이터를 전송할 수 있는 장점을 가지며 치료 절차를 진행하는 과정에서 환자의 편안함이 높아지는 효과가 발생한다. WBAN 환경에 적합하고 신뢰할 수 있는 통신 시스템을 설계하려면 일반적인 채널 모델뿐만 아니라 인체 영역의 채널 모델 파라미터에 대한 지식이 필요하다. 또한 무선 인체 영역 네트워크에서 무선 채널 및 신호 전송에 따른 신호 및 잡음의 에너지 분석은 시스템의 안정성을 판단하는데 중요한 요소이다.

따라서 본 논문에서는 IR-UWB PPM 신호를 대상으로 신호의 전송 전력, 통신 거리, 데이터 전송 속도, 그림자 효과, 수신기 잡음의 영향에 따른 통신 시스템의 안정성 평가를 수행한다.

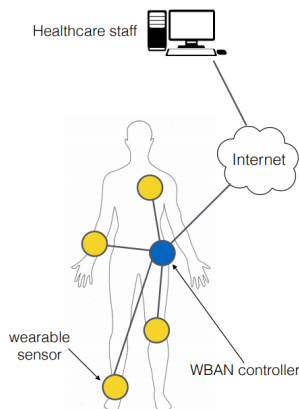


그림 1. 무선 인체 영역 네트워크의 구조
Fig. 1. WBAN structure.

II. WBAN 채널에서 시스템 마진 평가

2-1 채널 모델

WBAN 통신 시스템에서 데이터는 인체 가까이 또는 내부에 있는 소형장치로부터 전달된다. 전파는 인체 조직 및 자세에 따라서 에너지 흡수, 반사, 회절, 그림자 효과 등이 발생하며 인체는 무선 전송에 이상적인 매체는 아니다. 무선 인체 영역 네트워크에서 통신 노드는 IEEE 802.15.6에서 세 가지 유형으로 정의하고 있다. (1) 임플란트 노드: 인체 피부 바로 아래에 위치한 노드 (2) 인체 표면 노드: 인체 피부 표면 또는 최대 2 cm 떨어진 곳에 위치한 노드 (3) 외부 노드: 인체 피부와 접촉하지 않는 노드.

표 1은 WBAN에서 사용되는 주파수와 채널 모델을 나타낸다. IEEE802.15.6에서는 통신 노드가 작동 할 수 있는 목록을 주파수 대역별로 나타내고 있으며 통신 노드의 위치에 따라 채널 모델을 구분하고 있다.

WBAN에서 경로 손실은 거리와 주파수에 따라 다르며 송신 안테나와 수신 안테나 사이의 경로 손실 모델은 통신 거리의 함수로서 표현 될 수 있다. 자유 공간에서의 경로 손실은 다음과 같이 표현된다 [5]-[7].

$$PL_{dB}(d) = PL_{dB}(d_0) + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (1)$$

여기서 d 는 송신기와 수신기 사이의 거리, $PL_{dB}(d)$ 는 거리 d 에서의 경로 손실, $PL_{dB}(d_0)$ 는 기준 거리 d_0 에서의 경로 손실, n 은 경로 지수이다.

또한, WBAN 환경에서 링크 버짓을 분석하기 위해서는 위에서 정의한 경로 손실 외에 잡음 특성과 전송 가능한 신호 전력도 고려해야 한다. 수신기의 잡음 특성은 여러 가지 잡음원에

표 1. WBAN 주파수와 채널 모델
Table 1. WBAN frequency and channel model.

Description	Frequency Band	Channel Models
Implant to Implant	402-405 MHz	CM1
Implant to Bode Surface	402-405 MHz	CM2
Implant to External	402-405 MHz	CM2
Bode surface to Bode Surface (LOS)	13.5,50,400,600,900 MHz 2.4,3.1-10.6 GHz	CM3
Bode Surface to Bode Surface (NLOS)	13.5,50,400,600,900 MHz 2.4,3.1-10.6 GHz	CM3
Bode Surface to External (LOS)	900MHz 2.4,3.1-10.6 GHz	CM4
Bode Surface to External (NLOS)	900MHz 2.4,3.1-10.6 GHz	CM4

따라 영향을 받기 때문에 이러한 WBAN 환경을 단순화하기 위해 잡음원을 AWGN (additive white Gaussian noise)으로 가정한다. AWGN은 일반적으로 수신 안테나와 수신기의 프런트 엔드 회로에 의해 발생하는 열이 주된 원인이며 Watt/Hz로 표현되는 잡음의 전력 스펙트럼 밀도는 다음과 같다.

$$N_o = kT_a + k(N_F - 1)T_o \tag{2}$$

여기서 T_a 는 수신 안테나의 온도, $T_o = 300$ K는 환경 온도, $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K는 볼츠만 상수, N_F 는 수신 장치의 잡음 지수이다. 수신 노드장치가 인체에 부착되어 있기 때문에 식 (2)는 다음과 같이 변환된다.

$$N_{o,dB} = 10 \log_{10}(kT_o) + N_{F,dB} \tag{3}$$

통신링크에서의 E_b/N_o 는 통신 시스템에 대해 주어진 데이터 전송속도 R_b 에 의해 결정되며 수신기 프런트 엔드에서 수신된 전력은 다음과 같다.

$$P_{rx,dBW} = P_{tx,dBW} + G_{tx,dB} - L_{tx,dB} - PL_{dB}(d) - L_{M,dB} + G_{rx,dB} - L_{rx,dB} \tag{4}$$

여기서 송신기와 수신기의 이득 및 손실 등에 대한 성능 평가를 위한 파라미터 값은 표 2에 나와 있다. 따라서 통신링크에서의 E_b/N_o 는 다음과 같다.

$$E_b/N_{o,dB} = P_{rx,dBW} - 10 \log_{10}R_b - N_{o,dB} \tag{5}$$

BER 성능의 임계값을 사용하여 통신 시스템의 신뢰성을 효과적으로 평가할 수 있는 시스템 매개 변수 중 하나는 시스템 마진이다. 만약 통신 시스템의 링크 마진이 마이너스인 통신 채널은 데이터를 전송할 수 있는 전력이 충분하지 않으므로 통신 시스템이 신뢰할 수 있도록 적절한 이득을 제공해야 한다. 본 연구에서의 시스템 마진 M_S 는 임계 값 ($E_b/N_{o,thr}$) 이상의 $E_b/N_{o,dB}$ 값으로 정의할 수 있으며 다음과 같이 표현할 수 있다. $E_b/N_{o,dB}$ 이 시스템이 필요로 하는 $E_b/N_{o,thr}$ 를 초과하는 경우에는 시스템 마진 $M_S \geq 0$ dB이 되며 무선 통신의 신뢰성은 높아진다. 따라서 시스템 마진이 클수록 통신 시스템의 안정성과 강인성이 향상된다.

$$M_S = \frac{E_b/N_{o,dB}}{E_b/N_{o,thr}} \tag{6}$$

2-2 그림자 효과를 고려한 BER 성능

표 2. 성능 평가를 위한 시스템 파라미터

Table 2. System parameters for performance evaluation.

Transmitter & Receiver	
Frequency [GHz]	3.1 - 10.6
Transmitter output power $P_{tx,dBW}$ [dBm]	-2.55
Transmitter antenna gain $G_{tx,dB}$ [dBi]	0
Transmitter losses $L_{tx,dB}$ [dB]	0
Miscellaneous losses $L_{M,dB}$ [dB]	3
Receiver antenna gain $G_{rx,dB}$ [dBi]	0
Receiver losses $L_{rx,dB}$ [dB]	0
Standard temperature [K]	300
Receiver noise figure $N_{F,dB}$ [dB]	6 - 10
Boltzmann constant k [J/K]	1.38E-23
Data rate R_b [Mbps]	0.001 - 10
Signal Quality	
BER	0.001
E_b/N_o [dB]	24 ($\sigma_{dB} = 6[dB]$)
	32 ($\sigma_{dB} = 8[dB]$)
	41 ($\sigma_{dB} = 10[dB]$)
	51 ($\sigma_{dB} = 12[dB]$)

일반적으로 WBAN 채널에서 중요한 연구 분야는 두 노드 사이의 경로 손실 해석이며 정확한 채널추정을 위해서는 무선 채널 모델 중 하나인 로그노말 채널모델을 많이 적용하고 있다. 연구에 의하면 로그노말 채널모델이 Nakagami 및 Rayleigh 모델보다 더 정확한 채널을 표현하고 있다 [5],[6]. 따라서 WBAN에서 그림자 효과를 로그노말 채널모델로 표현하였으며 이는 인체를 둘러싼 환경의 변화 또는 인체 부위의 움직임으로 인해 발생하는 물체에 의한 신호 차단 프로세스라고 정의할 수 있다. WBAN 장치에서는 통신 네트워크의 수명 연장을 위하여 에너지 효율이 높은 변조 방식이 요구되며 통신의 신뢰성을 확보하기 위하여 낮은 BER이 필요하다. 일반적으로 그림자 효과를 고려한 통신 시스템의 평균 BER은 다음과 같이 로그노말 확률 밀도 함수를 적용하여 얻어진다 [8]-[11].

$$P_e(\bar{\gamma}) = \int_0^\infty P_{bA}(\gamma) f(\gamma) d\gamma \tag{7}$$

여기서 γ 와 $\bar{\gamma}$ 는 순시 신호대 잡음비와 평균 신호대 잡음비, $P_{bA}(\gamma)$ 는 IR-UWB PPM 신호의 BER 성능, $f(\gamma)$ 는 로그노말 확률 밀도 함수를 따른다. 본 연구에서는 평균 BER을 구하기 위해 누적수치계산 방식을 이용하였으며 그림자 효과를 고려한 채널에서 IR-UWB PPM 신호의 평균 BER 성능은 다음과 같다.

$$P_e(\bar{\gamma}) = \sum_{n=1}^N \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{\gamma_n}{2}} \right) \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma \gamma_n} \exp \left(- \frac{\left(\ln \gamma_n - \ln \bar{\gamma} + \frac{1}{2} \left(\frac{\ln 10}{10} \right)^2 \sigma_{dB}^2 \right)}{2\sigma^2} \right) (\gamma_n - \gamma_{n-1}) \tag{8}$$

여기서, $\sigma = \frac{\ln 10}{10} \sigma_{dB}$, $N=1000$ 으로 하여 계산하였으며 σ_{dB} 는 그림자 효과의 영향을 나타내는 파라미터이다.

III. 성능 평가 및 분석

WBAN 채널 환경에서는 많은 신호의 감쇠 요인이 존재하기 때문에 통신 시스템을 설계할 경우 링크 버짓을 분석하는 것이 중요하다. 따라서 본 논문에서 WBAN 시스템의 링크 버짓을 기초로 하여 IR-UWB PPM 시스템의 안정성을 평가하였다. 시스템 마진의 평가시 중요한 요소는 안정된 통신을 위해 필요한 통신링크 품질(BER)에 대한 에너지 소비 측면의 산출과 임의의 전력을 전송하는 경우 다양한 파라미터에 따른 통신 거리 추정이다.

그림 2는 그림자 효과가 존재하는 채널 환경에서 IR-UWB PPM 신호의 평균 BER 성능이다. 그림자 효과의 파라미터인 σ_{dB} 가 6 dB에서 12 dB로 증가함에 따라서 신호의 평균 BER 성능이 열화됨을 알 수 있다. 특히, 시스템의 링크 버짓 계산에 기준이 되는 통신링크 품질 $BER=10^{-3}$ 을 달성하기 위하여 σ_{dB} 가 증가함에 따라서 E_b/N_o 값이 더 많이 필요함을 알 수 있다.

그림 3과 그림 4는 잡음지수와 기타 손실에 따른 IR-UWB PPM 신호의 시스템 마진을 분석한 결과이다. 시스템 마진 분석을 위한 기준 통신링크 품질은 $BER=10^{-3}$ 이며 그림자 효과의 파라미터는 σ_{dB} 가 12 dB인 채널 환경이다. 전체적으로 통신 거리가 증가하거나 잡음지수와 기타 손실이 증가함에 따라서 시스템 마진은 감소함을 알 수 있다. 특히, 통신 거리가 1 m인 경우, 잡음지수가 7 dB 이하부터 시스템 마진이 0 dB 이상이 됨을 알 수 있으며 기타 손실은 4 dB 이하부터 시스템 마진이 0 dB 이상이 됨을 알 수 있다.

그림 5는 데이터 속도에 따른 IR-UWB PPM 신호의 시스템 마진을 분석한 결과이다. 결과 그림에서 데이터 속도가 증가함에 따라서 시스템 마진은 감소함을 알 수 있다. 특히, 통신 거리가 1 m인 경우, 데이터 속도는 1 Mbps 이하부터 시스템 마진이 0 dB 이상이 됨을 알 수 있다. 만약 데이터 속도가 10 Mbps인 경우에는 통신 거리 0.6 m 이하에서 시스템 마진이 0 dB 이상이 됨을 알 수 있다.

IV. 결론

WBAN 환경에 적합한 통신 시스템을 설계하려면 채널 모델 뿐만 아니라 신호 전송에 따른 신호 및 잡음의 에너지 분석이 필요하다. 본 논문에서는 IR-UWB PPM 신호를 대상으로 BER 성능과 링크 버짓을 계산하였고 신호의 전송 전력, 통신 거리, 데이터 전송 속도, 그림자 효과, 수신기 잡음의 영향에 따른 시스템 마진을 평가하였다. WBAN 채널에서 IR-UWB PPM 신호

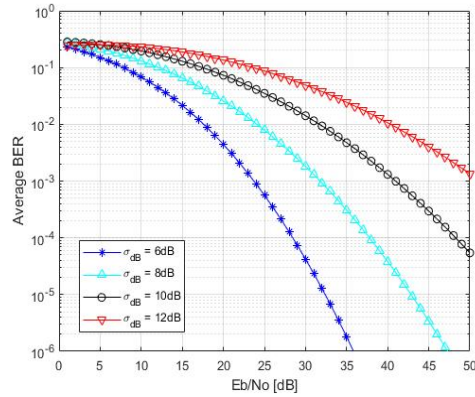


그림 2. 그림자 효과에 따른 IR-UWB PPM 신호의 평균 BER 성능

Fig. 2. Average BER performance of IR-UWB PPM signal according to shadow effect.

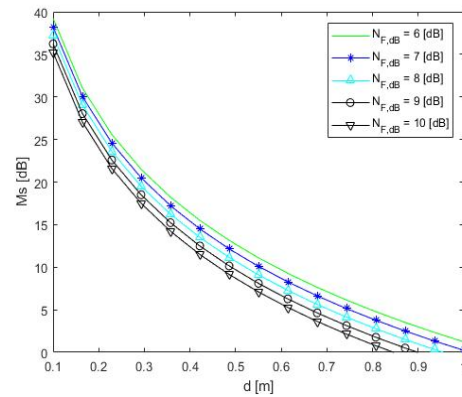


그림 3. 잡음 지수와 통신 거리에 따른 시스템 마진

Fig. 3. System margin according to noise figure and communication distance.

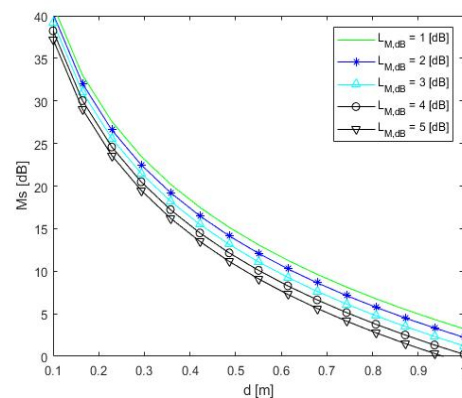


그림 4. 기타 손실과 통신 거리에 따른 시스템 마진

Fig. 4. System margin according to miscellaneous loss and communication distance.

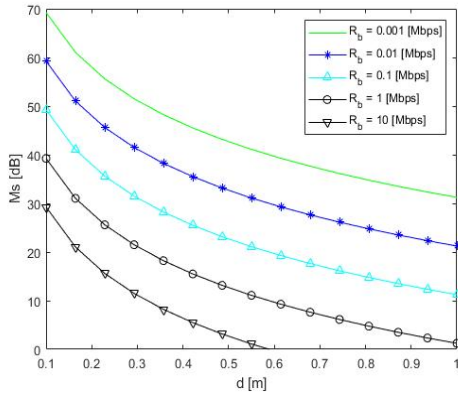


그림 5. 데이터 속도와 통신 거리에 따른 시스템 마진
Fig. 5. System margin according to data rate and communication distance.

의 시스템 마진을 분석한 결과, 통신 거리의 증가, 잡음지수와 기타 손실의 증가, 데이터 속도가 증가함에 따라서 시스템 마진은 감소함을 알 수 있었다. 특히, 통신 거리가 1 m인 경우, 데이터 속도는 1 Mbps 이하부터 시스템 마진이 0 dB 이상이 되어 신뢰할 수 있는 통신이 가능함을 알 수 있었다.

Acknowledgments

본 논문은 2019년도 서일대학교 학술연구비에 의해 연구되었음.

References

[1] H. S. Kim and H. Y. Hwang, "Performance evaluation of multi-hop transmissions in IEEE 802.15.6 UWB WBAN," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*,

Vol. 21, No. 7, pp.1313-1319, 2017.
 [2] B. C. Kang and J. S. Kim, "Low power beacon listening scheme using periodic signal characteristic in WBAN," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 44, No. 6, pp.1121-1123, 2019.
 [3] Y. M. Park, "A study on the implementation of WBAN-based medical gateway," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 18, No. 6, pp.640-647, 2014.
 [4] S. M. R. Islam, D. Kwak, M. H. Kabir, M. Hossain, and K. S. Kwak, "The internet of things for health care: A comprehensive survey," *IEEE Access*, Vol. 3, pp.678-708, 2015.
 [5] I. Hashemi, "The indoor radio propagation channel," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 81, No. 7, pp.943-968, July 1993.
 [6] T. Aoyagi, M. Kim, J. Takada, K. Hamaguchi, and R. Kohno, "Numerical simulations for wearable BAN propagation channel during various human movements," *IEICE Transactions on Communications*, Vol. 94-E, No. 9, pp.2496-2500, Sep. 2011.
 [7] I. Khan, Y. Nechayev, and P. Hall, "On-body diversity channel characterization," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 58, pp.573-580, Feb. 2010.
 [8] M. Cheffena, "Performance evaluation of wireless body sensors in the presence of slow and fast fading effects," *IEEE Sensors Journal*, Vol. 15, pp.5518-5526, 2015.
 [9] B. Latre, B. Braem, I. Moerman, C. Blondia, and P. Demeester, "A survey on wireless body area networks," *Wireless Network*, Vol. 17, No. 1, pp.1-18, 2011.
 [10] Q. Wang, T. Tayamachi, I. Kimura, and J. Wang, "An on-body channel model for UWB body area communications for various postures," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 57, No. 4, pp.991-998, Apr. 2009.
 [11] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 4th ed. New York, NY: McGraw-Hill, 1993.



노재성 (Jae-Sung Roh)

2000년 8월 : 한국항공대학교 정보통신공학과 (공학박사)
 2000년 9월 ~ 현재 : 서일대학교 정보통신공학과 교수
 ※ 관심분야 : 무선 임베디드 시스템 설계, 사물인터넷 S/W 응용