

저전력 광역 통신 시스템 설계를 위한 신호 대 잡음 비 분석

신준우, 김정창
한국해양대학교

joonoos@kmou.ac.kr, jchkim@kmou.ac.kr

A Study on Signal-to-Noise Ratio for Low Power Wide Area Communication Systems

Joonwoo Shin, Jeongchang Kim
Maritime and Ocean University

요 약

다양한 응용 매체의 유비쿼터스(ubiquitous) 연결을 위한 사물 인터넷 (Internet-of-Thing; IoT) 시스템은 저전력 광역 통신 (Low Power Wide Area; LPWA) 기술을 기반으로 한다. 저전력 광역 통신 시스템의 충족 조건인 전송 거리 확대와 낮은 전력 사용은 시스템 전력 운용 관점에서는 상호 충돌하는 조건이다. 이를 위해 신호대역폭을 줄여 수신기 감도 (receiver sensitivity) 를 개선하는 초협대역 (Ultra Narrow Band; UNB) 기술이 주목받고 있다. 여기서는 이러한 저전력 광역 통신을 위한 초협대역 변조 기술의 신호 대 잡음 비 (Signal-to-Noise Ratio; SNR)에 대해 분석한다.

1. 서론

사물 인터넷 (Internet-of-Thing; IoT) 통신망은 주 전원 (main power) 공급없이 배터리 전력 (battery power)만으로 동작하는 다양한 단말기들로 구성된다. 이러한 사물 인터넷 통신망 구축의 핵심 통신 기술로 최근 저전력 광역 (Low Power Wide Area; LPWA) 통신 기술에 대한 연구가 활발하다 [1,2]. 이러한 저전력 광역 (LPWA) 통신 시스템에서 전력 소비를 줄이면서 동시에 통신 커버리지 (coverage)를 확대하기 위한 방법으로 최근 잡음 전력을 줄여 수신기 감도 (receiver sensitivity)를 개선하는 초협대역 (Ultra Narrow Band; UNB) 변조 기술이 물리 계층 (Physical Layer) 설계 관점에서 주목받고 있다. 여기서는 이러한 초협대역 (UNB) 기술의 신호 대 잡음 비 (Signal-to-Noise Ratio; SNR)를 시스템 대역폭의 함수로 유도하고, 이를 토대로 한 대역폭 결정 기준을 제시한다.

2. 저전력 광역 (Low Power Wide Area) 통신 시스템 모델 및 신호 대 잡음 비 (Signal-to-Noise Ratio)

본 논문에서는 단일 안테나를 장착한 송신기와 수신기로 구성된 저전력 광역 (LPWA) 통신망 시스템을 고려한다. 송신기의 기저대역 신호 x 는 무선 채널을 통해 수신기로 전송되어 다음과 같이 표현된다.

$$y = h\sqrt{P_T}x + n \quad (1)$$

여기서 h 는 무선채널, P_T 는 송신전력, n 은 수신기 수신 잡음을 나타낸다. 송신 심볼 x 의 평균 전력은 단위 전력 $E\{x^2\} = 1$ 으로 가정한다. 또한 무선 채널은 단일 페이딩 (flat fading) 채널로 가정한다.

수신기에 할당된 기저대역 대역폭 W , 수신 증폭기 잡음 지수 (Noise Figure) $NF [dB]$, 수신기 이득 $G [dB]$, 열잡음 전력 $-114 [dBm]$ (수신기 동작 절대 온도 $T = 290^\circ K$ 기준) 일 때 잡음 전력 P_n 은 다음과 같다.

$$P_n [dBm] = -114[dBm] + NF + G + 10\log_{10}\left(\frac{W}{10^6}\right) \quad (2)$$

잡음 전력 (2)는 선형 스케일 (linear scale)로 다음과 같이 간략하게 나타낼 수 있다.

$$P_n [Watt] = N_o W \quad (3)$$

여기서 잡음전력밀도 N_o 는 수식 (2)의 상온 ($T = 290^\circ K$)에서의 수신기 열잡음, 수신 증폭기 잡음지수, 수신기 이득을 포함한다.

수식 (3)을 이용해 수신 신호에 대한 신호-대-잡음 비 (SNR)를 구하면 다음과 같다.

$$SNR = \frac{|h|^2 P_T}{P_n} = \frac{|h|^2 P_T}{N_o W} \quad (4)$$

본 논문에서 고려하는 단일 페이딩 (flat fading) 채널 환경에서 채널 이득 $|h|^2$ 은 대역폭 W 에 관계없이 일정하다. 따라서 수식 (4)는 대역폭 W 로 동작하는 통신 시스템의 신호 대 잡음 비 (SNR)이다.

저전력 광역 (LPWA) 시스템에서 최대 통달 거리에서 오류없이 송신 메시지를 복원하기 위한 최소 신호 대 잡음 비를 SNR_{th} 로 가정하면, 해당 저전력 광역 (LPWA) 시스템은 다음을 만족하도록 설계되어야 한다.

$$SNR = \frac{|h|^2 P_T}{N_o W} \geq SNR_{th} \quad (5)$$

수식 (6)을 만족하도록 신호-대-잡음 비(SNR)을 운용하는 방법으로는 송신 전력 P_T 를 조절하는 방법과 신호 대역폭 W 를 조절하는 방법이 있다. 저전력 광역 (LPWA) 시스템의 저전력 특성을 감안하면, 송신기는 전력 사용을 최소화하도록 운용되어야 한다. 따라서 송신 전력 P_T 을 조절해 신호-대-잡음 비를 조절하는 방법은 저전력 광역 (LPWA) 시스템에 적합하지 않다. 대신 대역폭 W 를 줄여 신호-대-잡음 비를 개선하는 방법이 저전력 광역 (LPWA) 시스템에 적절하다. 이와 같이 대역폭 W 를 조절해 신호-대-잡음 비를 개선하고, 이를 통해 수신기 감도 기준치 (receiver sensitivity threshold)를 낮추는 방법이 초협대역 (Ultra Narrow Band; UNB) 변조 기술이다 [1]. 이러한 초협대역 변조 기술을 이용한 저전력 광역 통신 시스템에서 신호-대-잡음 비 기준 SNR_{th} 를 만족하면서 운용 가능한 최대 대역폭 W_{max} 은 수식 (5)를 이용해 다음과 같이 구할 수 있다.

$$W_{max} = \frac{|h|^2 P_T}{N_o SNR_{th}} \quad (6)$$

3. 결론

본 논문에서는 저전력 통신 시스템의 구현을 위한 초협대역 (UNB) 변조 기술의 신호-대-잡음 비를 정리하고, 이를

토대로 저전력 광역통신 시스템의 신호-대-잡음비 기준치를 충족하기 위한 대역폭 선정 기준을 제시하였다. 여기서 제시된 신호-대-잡음 비와 대역폭 선정 기준은 저전력 광역 통신 시스템 설계 및 분석에 폭넓게 응용 및 활용될 수 있다.

2. 참고 문헌

- [1] X. Xiong, K. Zheng, R. Xu, W. Xiang, and P. Chatzimisios "Low Power Wide Area Machine-to-Machine Networks: Key Techniques and Prototype," IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 9, pp. 64 - 71, Sept. 2015.
- [2] RP-151932. "Narrowband IoT(NB-IoT)," Huawei and HiSilicon, 3GPP RAN#70, Spain, Dec, 2015