

저전력광대역 네트워크를 위한 LoRa: 개요 및 성능향상 기술

조웅

LoRa for LPWA Network: Overview and its Performance Enhancement Technologies

Woong Cho

요 약

저전력광대역 (LPWA: Low Power Wide Area) 네트워크는 기존의 무선통신 기술들에 비해 저전력으로 장거리 통신을 가능하게 하여 사물인터넷의 여러 응용분야에서 적용될 수 있는 기술 중 하나로 고려되고 있다. 본 논문에서는 저전력광대역 네트워크의 대표적인 기술 중 하나인 LoRa (Long Range)에 대해 알아본다. 먼저 저전력광대역 네트워크의 일반적인 특징 및 관련 기술에 대해 소개한다. 그리고 LoRa의 기술개요, 특징 및 장단점을 소개한다. 마지막으로 LoRa의 성능분석 및 성능을 향상시키기 위해 필요한 기술들을 물리계층과 매체 접근제어 계층에 중점을 두고 논의한다.

ABSTRACT

LPWA (Low Power Wide Area) networks have been considered as one of the technologies which can be implemented in IoT (Internet of Things) applications by providing less power and longer communication range compared with existing wireless technologies. In this paper, we investigate LoRa which is one of representative technologies for LPWA networks. First, we present general properties and several technologies of LPWA networks. Then, the technical specification, properties, and pros/cons of LoRa are studied. Finally, we discuss analysis of LoRa's performance and its enhancement technologies by focusing on physical layer and MAC (Medium Access Control) layer.

키워드

LPWA, LoRa, IoT, Performance Enhancement
저전력광대역, LoRa, 사물 인터넷, 성능 향상

1. 서 론

정보통신기술은 이동통신 분야를 비롯하여 사물인터넷에 적용됨으로써 다양한 응용분야에서 사용되고 있다[1-3]. 사물인터넷의 구현에 있어 무선통신은 사물과 사물, 사물과 사람을 연결시키는데 있어서 필수적인 요소이다. 무선통신기술은 적용되는 기술에 따라 다양한 통신반경과 전송특징을 가지게 되며 그 특징

에 따라 응용되는 분야가 달라진다. 그림 1은 사물인터넷에 적용되는 MTC (Machine-Type Communication) 방식들에 대한 데이터 전송률과 통신반경을 나타내고 있다. MTC에서는 통신거리에 따라 세 가지 방식 즉, 근거리 MTC, 중거리 MTC, 장거리 MTC로 분류될 수 있다. RFID, UWB, Bluetooth 등의 기술은 근거리 MTC에 해당되고, WiFi 및 ZigBee는 중거리 MTC에 해당되며 셀룰러

교신저자: 중원대학교 컴퓨터공학과

• 접수 일 : 2019. 02. 18
• 수정완료일 : 2019. 03. 18
• 게재확정일 : 2019. 04. 15

• Received : Feb. 18, 2019, Revised : Mar. 18, 2019, Accepted : Apr. 15, 2019

• Corresponding Author : Woong Cho
Dept. Computer Engineering, Jungwon University,
Email : wcho@jwu.ac.kr

통신방식은 장거리 MTC에 해당됨과 동시에 높은 데이터 전송률을 지원한다. 하지만 장거리 통신 방식을 지원하면서 낮은 데이터 전송률을 지원하는 MTC이 새로운 통신영역으로 등장하게 되었고 이와 같은 통신방식은 저전력광대역 (LPWA) 기술로 소개되었다. 기존의 통신방식과는 다르게 낮은 데이터 전송률을 지원하는 반면에 매우 넓은 통신반경(3~15Km)을 제공함과 동시에 매우 낮은 전력으로 동작할 수 있는 특징을 가지고 있어 사물인터넷분야의 다양한 응용분야에 적용될 수 있는 장점이 있다[4-6].

저전력광대역 기술을 응용하는 분야는 기반시설 모니터링, 교통, 자산추적, 보안, 헬스케어 등 다양한 분야에서 적용될 수 있다. 각 적용분야 마다 적용지역 (도시, 빌딩, 교외지역), 전력소모, 데이터량, 데이터전

송주기, 이동성, 실시간데이터 전송요구사항, 보안/신뢰성 등의 요구사항이 다를 수 있으므로 적용분야에 부합되는 요구사항의 제시가 필요하다. 또한 동일한 응용분야라 하더라도 적용지역에 따라 요구사항이 다르게 될 수 있다. 예를 들면 기반시설 모니터링 부분에 있어서 물/전기/가스미터 모니터링 혹은 농작물/토양 모니터링 등의 분류에 따라 요구사항이 다르게 적용될 수 있다. 따라서 응용분야 별로 요구사항을 명확히 설정하여 필요한 기술을 적용하는 것이 필요하다.

본 논문에서는 먼저 다양한 저전력무선통신 기술의 종류 및 특징에 대해 알아본 후 대표적인 저전력무선 통신 기술 중 하나인 LoRa의 기술특징 및 장단점에 대해 소개한다. 또한 LoRa의 성능분석기술 및 성능을 향상시키기 위한 방안에 대해 논의한다.

표 1. LPWA 기술 특징 비교
Table 1. Comparison of LPWA technical characteristics

	LoRa	NB-IoT	Sigfox	eMTC
Spectrum	unlicensed	licensed	unlicensed	licensed
Bandwidth	7.8KHz~500kHz	200KHz	200KHz	1.4MHz
Peak rate	290bps~50kbps(DL/ UL)	160~250kbps(DL) 160~200kbps(UL)	100bps(UL) 600bps(DL)	<1Mbps
Battery life	~10years	~10years	8~10years	5~10years
Coverage	urban:~5km suburban:~15km	urban:~8km suburban:~25km	urban:~10km suburban:~50km	urban:~5km suburban:~17km
Module cost	<\$5	<\$5	<\$10	<\$10

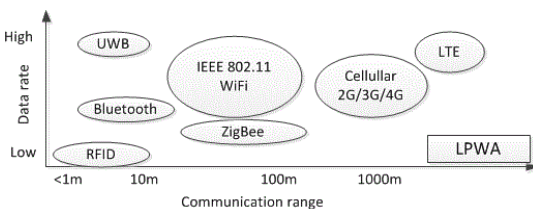


그림 1. 통신방식에 따른 데이터 전송률과 통신반경
Fig. 1 Data rate and communication range depending on communication scheme

II. 저전력광대역 전송기술

저전력광대역 기술은 주파수사용에 따라 두 가지로 분류될 수 있는데 대표적인 기술로는 비허가대역 (unlicensed band)을 사용하는 LoRa, SigFox 그리고 허가대역 (licensed band)을 사용하는 NB-IoT (Narrow Band - IoT), eMTC (evolved MTC) 등이 있다. NB-IoT와 eMTC는 3GPP (3rd Generation

Partnership Project) 표준 기구에서 제안되었으며, NB-IoT는 LTE Cat-NB로도 알려져 있으며 eMTC는 LTE Cat-M1 혹은 LTE-M (LTE-MTC)으로도 불린다. 표 1에 위에서 언급한 대표적인 네 가지 저전력광대역 기술들의 일반적인 기술특징인 주파수사용, 대역폭, 최대전송률, 배터리수명, 통신반경, 그리고 모듈가격 등을 비교하였다.

표 1에서 알 수 있듯이 넓은 대역폭으로 인해 eMTC가 가장 빠른 데이터 전송률을 제공하나 상대적으로 높은 모듈가격을 가진다. Sigfox는 가장 넓은 통신반경을 가지지만 나머지 기술에 비해서 낮은 데이터 전송률을 제공한다. 따라서 LoRa와 NB-IoT가 데이터전송 및 통신반경을 포함하여 전반적으로 균형 있는 특징을 제공함으로써 보다 널리 사용되는 저전력광대역 기술로 채택되고 있다[6]. LoRa는 NB-IoT에 비해 비허가대역을 사용한다는 장점을 가지고 있으며, NB-IoT는 LoRa에 비해 높은 최대 전송률 및 넓은 통신반경을 제공한다는 장점을 제공한다. 여러 가지 저전력광대역 기술 중 LoRa는 비허가대역을 사용하면서 CSS(Chirp Spread Spectrum)변조방식을 사용하여 간섭에 강하면서 장거리 전송의 장점을 제공한다[7]. 다음 장에서는 LoRa에 대해 좀 더 자세히 알아보고 LoRa의 성능을 향상시키는 기술에 대해 논의한다.

III. LoRa

LoRa는 LoRa Alliance에서 개발된 개방형 표준 구조를 가지는 기술이며 1GHz이하의 비허가대역에서 동작하여 넓은 통신반경 제공한다. 이장에서는 LoRa의 시스템구조, 프로토콜 구조 및 전송방식을 소개한다.

3.1 시스템 구조

그림 2에 LoRa의 시스템 구조를 나타내었다. 그림에 나타난 것처럼 LoRa 시스템은 스타 네트워크 형상을 사용하며 단말장치 (End device), 게이트웨이, 네트워크서버 및 응용서버로 구성되어 있다. 게이트웨이는 네트워크서버와 단말장치 사이에서 끊임 없이 정보를 중계하는 역할을 수행한다. 게이트웨이는 IP 네트워크 (Ethernet, 3G, Wi-Fi 등)를 이용하여 네트

워크서버와의 통신을 수행한다. 단말장치와 게이트웨이와의 통신은 데이터 통신 반경과 정보전송시간에 따라 각각 다른 통신채널과 데이터 전송률을 사용하여 이루어진다. 이러한 통신방식은 적응 데이터 전송 (Adaptive Data Rate) 방식을 통해서 구현된다[8-9].

각 구성장치들의 동작은 다음과 같다. 단말장치는 정보를 송수신하는 모든 장치를 나타내는데, 일반적으로 센서, 검출기, 및 각종 제어장치(actuator)가 해당된다. 게이트웨이는 접속지점 (Access point)으로도 불리기도 하는데 단말장치로부터 수신된 정보를 네트워크서버로 전송하거나 혹은 네트워크서버로 수신된 정보를 단말장치로 전송하는 역할을 수행한다. 네트워크서버는 게이트웨이와 단말장치를 체크하여 수신되는 데이터를 수집한다. 또한 응용서버로부터 수신되는 데이터를 라우팅 및 전달하는 기능을 수행하며 여러 개의 게이트웨이로부터 수신된 동일 데이터를 제거하는 작업을 수행한다. 또한, 해당 단말장치가 동작할 때까지 하향링크(downlink) 정보를 저장하며, 수신된 신호세기(RSS: Received Signal Strength)를 기준으로 하여 전송 게이트웨이를 선택한다. 응용서버는 각 응용분야에 따라 전송된 데이터를 분석하여 적용할 수 있게 하는 역할을 한다.

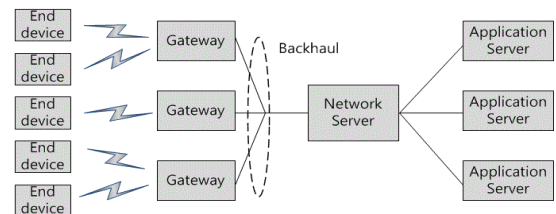


그림 2. LoRa 시스템 구조
Fig. 2 LoRa system architecture

3.2 프로토콜 구조 및 전송방식

그림 3에 LoRa의 프로토콜 구조를 나타내었다. 변조된 LoRa신호는 지역에 따라 서로 다른 비허가대역인 ISM (Industrial Scientific and Medical) 대역을 통해서 전송된다. 우리나라에서는 920~925MHz의 대역을 사용한다. 또한 응용분야에 따라 세 가지의 전송방식, 즉 Class A, B, C,를 정의한다. MAC (Medium Access Control)은 랜덤전송방식인 ALOHA 프로토콜을 사용한다.

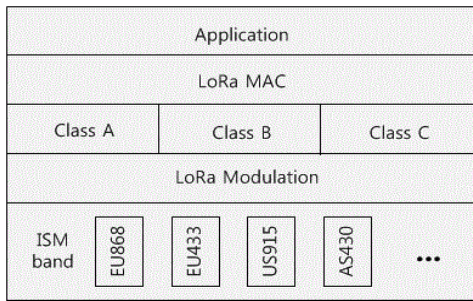


그림 3. LoRa 프로토콜 구조
Fig. 3 LoRa protocol architecture

LoRa의 변조방식은 확산대역통신 기술을 이용한 CSS 방식을 사용한다. 확산대역은 각 신호마다 서로 다른 확산 계수를 적용하여 신호간의 직교성을 제공한다. 이 방법은 데이터 전송률을 다루는데 있어서 장점을 제공한다. LoRa의 데이터 전송률(비트 전송률)은 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_b = SF \times \frac{1}{\left\lceil \frac{2^{SF}}{BW} \right\rceil} \text{ bits/s},$$

여기서 BW는 대역폭 (Hz), SF는 확산 계수 (Spreading Factor)를 나타내며 7~12의 값을 가진다. 위 식에서 데이터 전송률은 확산계수와 직접적으로 비례한다[10].

그림 4에 나타낸 것처럼 단말장치는 세 가지 전송 방식을 사용하는데, 각 전송방식은 배터리 사용시간과 전송시연 사이에서 트레이드오프(trade-off)를 가진다. 단말장치는 주어진 요구사항에 따라 전송방식을 조정할 수 있는데 각 전송방식은 다음과 같다.

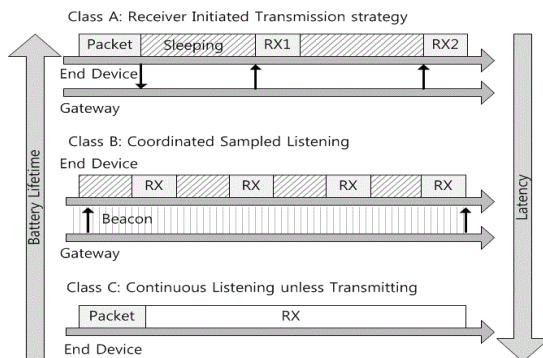


그림 4. LoRa 단말장치 전송방식
Fig. 4 LoRa end-device classes

- Class A: 세 가지 방식 중 에너지 효율이 가장 뛰어난 방식이다. 단말장치는 대부분의 시간을 대기상태(Sleeping mode)로 유지한다. 단말장치가 전송할 데이터가 있으면 데이터를 전송하고 두 번의 하향링크 윈도우 RX1, RX2를 통해서 데이터가 수신된다. 각각의 RX는 상향링크 후 약 1초의 지연이 발생한다.
- Class B: Class A와 동작하는 방식은 동일하나 단말장치는 비컨을 이용하여 게이트웨이로부터 수신되는 데이터를 주기적으로 확인한다.
- Class C: 단말장치가 데이터를 전송할 때를 제외하고는 계속해서 수신대기 상태로 유지한다. 이 전송방식은 전송지연이 없는 실시간 응용에 사용되며 세 가지 방식 중 에너지 효율이 가장 낮다.

IV. 성능향상 이슈

이 장에서는 LoRa의 성능분석 및 성능향상과 관련된 이슈들에 대해 논의 한다. LoRa가 대표적인 저전력광대역통신 방식중 하나이지만 LoRa통신 방식의 특성을 바탕으로 한 LoRa의 이론적인 성능 분석 및 이에 대한 검증은 최근예야 이루어졌다 [11-12]. 기존 시스템 대비 성능을 향상시키기 위해 물리계층에서는 시간과 공간 다이버시티를 적용하여 기존 시스템에 비해 성능이 향상됨을 보였으며 [13], 수신 성능 및 간섭제거 성능이 향상된 시스템을 구현하여 기존 시스템에 비해 넓은 통신반경을 제공할 수 있음을 보였으며[14], 멀티 홉 통신방식의 구현을 통한 통신성능에 대한 연구도 진행되었다[7]. 또한, 새로운 매체접근 제어 프로토콜을 제안하여 기존 시스템에 비해 오류율 및 전송률을 향상시킬 수 있음을 증명하였다[15]. 대부분의 성능분석 및 성능향상 방안은 최근에 제안되었으며 다양한 분야에서의 구현 및 적용에 있어서는 좀 더 향상된 기술의 적용 및 이에 대한 검증이 필요하다. 실제 시스템의 구현에 있어서는 주위환경에 의해 성능저하가 발생함이 확인되었다[16]. 또한 LoRa 메시망 (Mesh network)을 구성하여 도심지역에서 모니터링 시스템을 구현한 시험결과 소개되었다 [17].

실제 시스템 구현 시에는 성능저하 및 음용지역이 발생하므로 이를 해결하기 위해서 중계기를 이용한 다양한 방식의 통신방법의 적용 및 이에 대한 검증/최적화 방안제시가 필요하다. 또한 기존의 매체접근 제어 표준을 적용하여 수신 단에서 성능을 향상시킬 수 있는 방안의 연구가 필요하다. 다른 한편으로는 비허가면허 대역을 수십만 개의 소자들이 동시에 사용할 경우 소자들 간의 간섭문제가 야기될 수 있다. 간섭문제 뿐만 아니라 다수 개의 소자들이 동시에 연결을 요청할 시 지연이 발생할 수 있고 이러한 지연이 누적되면 전체적인 전송률이 떨어지는 문제가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해서는 현재 사용되고 있는 간편한 매체접근제어기법이 아닌 새로운 기법이 개발되어야 할 가능성도 있다. 이러한 새로운 기법은 표준화와 더 붙어 진행되어야 실제 시스템에 적용될 수 있다. 현재 대부분의 저전력광대역 기술은 데이터 전송률이 매우 낮으나 필요한 경우 현재보다는 높은 데이터 전송률을 전송할 수 있는 방법 또한 고려할 필요가 있다. 위치정보의 적용 또한 중요한 구현 이슈 중의 하나이다. 많은 응용 기술들은 사물인터넷 소자들의 위치에 대한 정보를 이용하는 경우가 있다. 일반적인 무선통신 시스템의 경우에는 정확한 정보전송 및 동기화를 이용하여 위치정보를 파악하지만 저전력광대역 기술의 경우에는 제한된 대역폭 때문에 이러한 정보의 전송이 어려울 경우가 있어 이에 대한 방안 마련이 필요하다.

V. 결 론

본 논문에서는 저전력광대역 네트워크에 대한 기술 개요 및 대표적인 저전력광대역 기술 중 하나인 LoRa의 기술에 대해 소개하였다. 또한 LoRa의 성능을 분석하고 향상시키기 위한 방안에 대해서도 논의하였다. 다양한 환경 및 기존의 통신성능향상 기술을 적용한 LoRa의 성능분석은 아직까지도 많이 연구되지 않은 분야이다. LoRa의 성능을 향상시키기 위해서는 기존 시스템을 사용하여 성능을 향상시키기 위한 방안 및 이에 대한 성능분석 뿐만 아니라 기존 통신방식을 변형시키면서 성능을 향상시키기 위한 방안제시 또한 필요하다. 마지막으로 제한된 대역폭의 한계를 극복하

기 위한 데이터 전송률향상에 대한 방안에 대한 제시가 필요하다.

감사의 글

위 논문은 “2018년 가을철학술대회 우수논문”입니다.

References

- [1] W. Cho and J. Jang, "Safety message transmission technology for the elderly pedestrians at the conflict area: background and technology concept," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 3, 2015, pp. 413-418.
- [2] B.-G. Kim, B.-H. Kwon, H.-B. Cho, and W. Cho, "Performance measurement of LTE based railway wireless communication systems in the testbed," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 5, 2017, pp. 755-761.
- [3] J. Joo and J. Oh "Development of Lora wireless network based water supply control system for bare ground agriculture," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 6, 2018, pp. 1373-1378.
- [4] U. Raza, P. Kulkarni, and M. Sooriyabandara, "Low power wide area networks: an overview," *IEEE Commun. Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 2, 2017, pp. 855-873.
- [5] H. Wang and A. O. Fapojuwo, "A survey of enabling technologies of low power and long range machine-to-machine communications," *IEEE Commun. Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 4, 2017, pp. 2621-2639.
- [6] J. Xu, J. Yao, Wang, Z. Ming, K. Wu, and L. Chen, "Narrowband internet of things: evolutions, technologies, and open issues," *IEEE Internet of Things J.*, vol. 5, no. 3, 2018, pp. 1449-1462.
- [7] C. H. Liao, G. Whu, D. Kuwabara, M. Suzuki, and H. Morikawa, "Multi-hop LoRa networks enabled by concurrent transmission," *IEEE Access*, vol. 5, 2017, pp. 21430-21446.
- [8] W. Ayoub, A. E. Samhat, F. Nouvel, M.

- Mroue, and J. Prévotet, "Internet of mobile things: overview of LoRa WAN, DASH7, and NB-IoT in LPWANs standards and supported mobility," *IEEE Commun. Surveys & Tutorials*, Early access, 2018, pp. 1-1.
- [9] R. S. Sinha, Y. Wei, and S.-H. Hwang, "A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT," *ICT Express*, vol. 3, 2017, pp. 14-21.
- [10] Semtech, "LoRa Modulation basics," *Application Notes*, May 2015.
- [11] L. Vangelista, "Frequency shift chirp modulation: the LoRa modulation," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 24, no. 12, 2017, pp. 1818-1821.
- [12] T. Elshabrawy and J. Robert, "Closed-form approximation of LoRa modulation BER performance," *IEEE Commun. Letters*, vol. 22, no. 9, 2018, pp. 1778-1781.
- [13] A. Hoeller, R. D. Souza, O. L. López, H. Alves, M. D. N. Neto, and G. Brante, "Analysis and performance optimization of LoRa networks with time and antenna diversity," *IEEE Access*, vol. 6, 2018, pp. 32820-32829.
- [14] N. Jovalekic, V. Drndarevic, I. Darby, M. Zennaro, E. Rietrosevoli, and F. Ricciato, "LoRa transceiver with improved characteristics," *IEEE Wireless Commun. Letters*, vol. 7, no. 6, 2018, pp. 1058-1061.
- [15] B. Reynders, Q. Wang, P. Tuset-Peiro, X. Vilajosana, and S. Pollin, "Improving reliability and scalability of LoRaWANs through lightweight scheduling," *IEEE Internet of Things J.*, vol. 5, no. 3, 2018, pp. 1830-1842.
- [16] W. Jung, T. Yoon, D. Yoo, and H. Choi, "Evaluation of LoRa technology for safety management system in the indoor closed space," In *Proc. summer Conf. of Korea Institute of Communication Science*, Jeju, South Korea, June 2017, pp. 78-79.
- [17] H. Lee and K. Ke, "Monitoring of large-area IoT sensor using a LoRa wireless mesh network system: design nad evaluation," *IEEE Trans. on Instrumentation and measurement*, vol. 67, no. 9, 2018, pp. 2177-2187.

저자 소개



조 웅(Woong Cho)

1997년 울산대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1999년 한양대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)

2003년 Univ. of Southern California 대학원 전기전자공학과 졸업(공학석사)

2007년 Univ. of Florida 대학원 전기컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

2008년 2월~2011년 2월 한국전자통신연구원

2012년 3월~현재 중원대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야 : 무선통신, 협력통신, ITS