

# 산업현장의 밀폐공간에서 무인 로봇 활용을 위한 이기종 복합통신 네트워크 구축에 대한 연구

정우성, 윤태현, 유대승

한국전자통신연구원

woosung@etri.re.kr, thyoon0820@etri.re.kr, ooseyds@etri.re.kr

## Research on heterogeneous complex communication for unmanned robots in confined spaces at industrial sites

Woo-Sung Jung, Tae Hyun Yoon, and Dae Seung Yoo

Electronics and Telecommunications Research Institute

### 요약

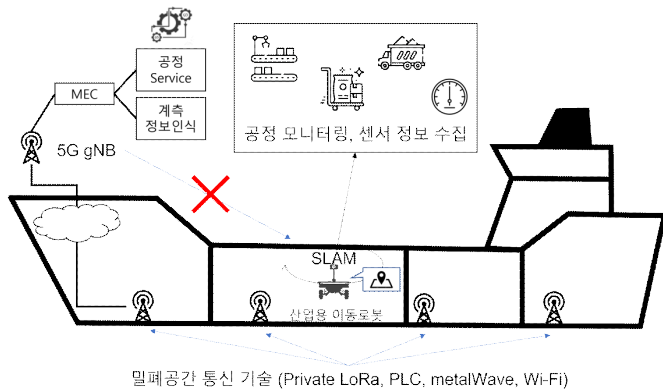
산업현장에서 무인 로봇을 활용하여 사람이 작업하기 어려운 작업을 대체하려는 시도가 증가하고 있다. 이러한 무인 로봇의 증가는 원격에서 인공지능을 통한 로봇의 작업을 모니터링, 관리 및 운용하는 단계로 점차 발전하고 있다. 그러나 이러한 로봇의 운용을 위해서는 네트워크가 필수적인 요소지만 네트워크 기반 시설을 설치하기 쉬운 작업장과는 달리 산업현장의 밀폐공간에서는 유무선 네트워크의 설치가 어려운 한계를 가진다. 본 논문에서는 이러한 로봇의 운영을 위해서 사용할 수 있는 이기종 네트워크의 복합통신 기술을 소개한다.

### I. 서론

산업현장의 무인 로봇의 증가는 작업자를 대체하여 현장 데이터를 수집하고 사람 대신 위험한 작업을 수행하고 있다.[1] 이러한 무인 로봇을 활용하기 위해서는 끊어짐 없는 네트워크의 제공 및 5G 네트워크와 같은 초저지연 네트워크 지원, IP/nonIP를 지원할 수 있는 다양한 이기종 네트워크의 연동 등과 같은 여러 요구사항이 도출되었다.[2-3] 하지만 산업현장의 밀폐공간 및 변화가 빈번한 지역과 같이 네트워크 기반 시설을 구축하기 어려운 지역에서는 통신 음영지역을 극복하면서 쉽게 가설할 수 있는 네트워크 기술이 요구되고 있다. 본 논문에서는 그림1과 같이 밀폐공간 내에서 다양한 이기종 네트워크 연동 기술을 소개한다.

[표 1] 밀폐공간 통신 기술 특징

사용기술	통신방법	통신속도	IP기반
Private LoRa	무선	저속	X
PLC	유선	고속/저속	O
metalWave	유무선	고속/저속	X
Wi-Fi	무선	고속	O



[그림 1] 이기종 네트워크 기반 선박 내 로봇 시스템 개념도

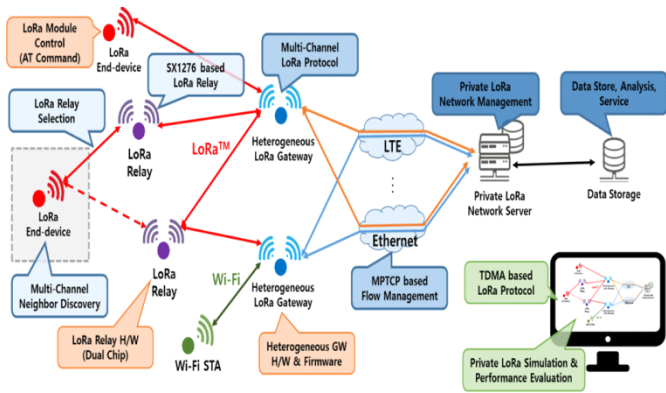
### II. 본론

본 논문에서는 Wi-Fi, LoRa, metalWave 및 PLC 4종의 유무선 네트워크를 이용하여 밀폐공간 네트워크를 구축하였다. 각각의 기술은 표 1과 같은 특징을 가지고 있다.

#### 1) Private LoRa 기반의 무선 네트워크

전과 환경이 열악한 산업 환경에서 최적화된 무선통신 인프라를 제공하기 위해 LoRaWAN™ 표준 및 무선 멀티 홉을 지원하는 Private LoRa 네트워크 솔루션을 제공하여 밀폐공간의 데이터 수집을 지원한다. LoRa 무선 통신 방식은 Chirp 변조 방식을 제공하여 밀폐공간과 같은 열악한 통신 환경에서도 안정적인 네트워크 구축 및 운용이 가능하다. 다른 무선 통신 방식과 마찬가지로 완전 밀폐공간에서는 통신이 불가능하지만 외부와 연결된 작은 공간이라도 열려 있는 경우 높은 수신 감도로 인해서 네트워크로 활용할 수 있다.

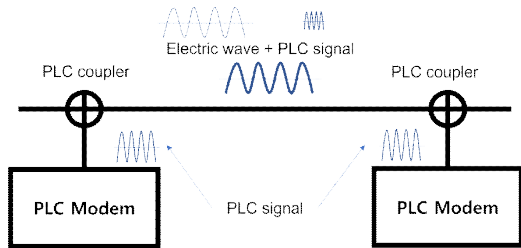
기존 단일 홉 LoRaWAN™ 표준 방식의 네트워크에서 밀폐공간을 위한 확장된 통신 가능 거리 제공을 위해 멀티 홉 네트워크 운용이 가능하도록 Private LoRa 통신 방법을 제시[4]하였으며, LoRa 단말과 게이트웨이 사이에는 LoRa 통신을 수행하여 데이터를 전달하며, 게이트웨이와 네트워크 서버 사이에는 IP 네트워크를 이용하여 데이터 전달이 가능하다. LoRa 단말은 물리적으로 다른 모듈이 필요하지 않으며, 소프트웨어적으로 설정된 역할에 따라서 릴레이 기능을 수행할 수 있다. 그림 2는 Private LoRa 통신을 이용하여 구축한 네트워크 구성도이며, LoRa 이외의 Wi-Fi, 셀룰러 네트워크 등 IP 네트워크와의 연동도 가능한 모습을 도식화한 그림이다. 게이트웨이에서는 다중 경로를 지원하기 위한 MPTCP 등의 프로토콜이 지원될 수 있다.



[그림 2] Private LoRa 통신 네트워크 구성 개념도

2) PLC(Power Line Communication) 기반의 유선 네트워크

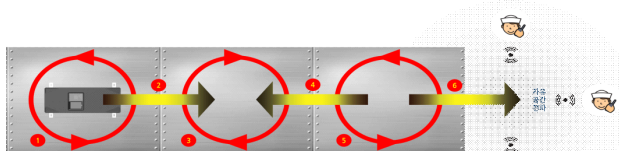
산업현장에 작업을 위해서 필수적으로 들어가는 전력선을 이용하여 통신에 이용하는 방법으로 사용하는 주파수 대역에 따라 다양한 표준이 존재한다. 통신의 품질은 사용되는 전원 배선의 차폐 여부에 따라 성능이 달라지며, 꼬여있지 않은 배선을 사용함으로써 에너지 방출로 인한 동일 대역의 통신 간섭 문제를 발생시킬 수 있다. 그러나 완전 밀폐공간이라도 전력선을 이용한 유선 네트워크를 구축할 수 있으며, 필요에 의해서 다른 네트워크와 연동함으로써 다른 네트워크의 백홀로 동작 가능하다. 다만 전력선의 배선 방식에 따라 네트워크가 분할되는 점과 전력선에서 사용하는 장비에 따라서 네트워크 품질에 영향을 크게 주기 때문에 관련 문제점을 해결하는 기술 연구가 필요하다.



[그림 3] 전력선 통신 기술 개념도

3) metalWave 기반의 유무선 네트워크

기존의 무선 통신 방식은 일반 안테나를 이용한 공기 중 방사로 통신을 하는 반면에 metalWave통신 방식은 금속체 공진기를 통해서 금속체에 직접 전자기파를 방사함으로써 통신에 사용된다. 금속체에 둘러싸여 있어 무선 전파가 차단되는 밀폐공간에서도 금속을 통하여 통신할 수 있으므로 완전 밀폐공간의 통신 방법으로 사용할 수 있다. 금속체에 전자기파를 방사하는 공진기가 사용하는 주파수에 따라서 저속의 장거리, 고속의 단거리 통신이 가능하다. 본 논문에서는 metalVox™[5] 기반의 통신 네트워크를 활용하였으며, 다른 네트워크와의 연동을 통해서 네트워크 도달 범위를 확장하는 데 사용하였다. 그림 4는 metalVox의 기본 작동 원리를 나타내고 있으며, 전자기 유도에 의해서 전자기파가 금속체 공간에 발생하게 되며, 금속이 없는 공간에서는 자유공간으로 전파가 방사됨에 따라서 안테나와 같은 효과를 얻을 수 있다.



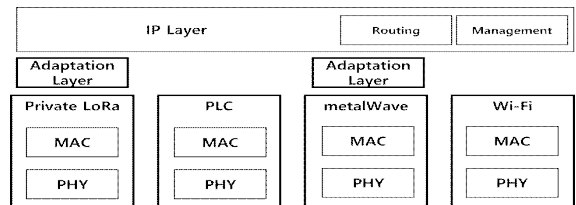
[그림 4] metalWave 통신 기술 개념도

4) Wi-Fi 기반의 무선 네트워크

IEEE 802.11 기반의 대표적인 통신 기술로 Wi-Fi를 사용한 밀폐 공간 멀티 홉 통신 기술을 사용한다. 무선 멀티 홉 메쉬(IEEE 802.11s 등) 네트워크 구축 및 초고속 네트워크 표준(IEEE 802.11ax, ac 등) 기반의 네트워크를 통해서 로봇 등을 운용하기 위한 실시간 원격 협업 시스템을 위한 끊김이 없는 연결성을 제공한다. 기존의 IEEE 802.11 표준과는 다르게 간섭에 대한 MIMO 기술의 발전으로 밀폐공간에서의 활용이 쉬워졌다. 또한 선박과 같이 일정 기간 작업이 이루어지고 새로운 블록으로 변경되어 통신 기반 시설의 이동이 빈번히 발생하는 환경에서도 고속의 안정적인 네트워크 구축 및 운용을 할 수 있는 장점이 있다.

5) 네트워크 연동

네트워크 간의 연동은 IP/nonIP 기술 간의 연동을 위해서 IP 레이어 하단에 Adaptive Layer를 생성하여 다양한 통신 기술을 하나의 네트워크로 연동하여 운용할 수 있으며, L2/L3의 라우팅 기술을 통해서 밀폐 공간의 네트워크 확장을 지원할 수 있다. 그림 5은 연동의 한 예시이다.



[그림 5] Adaptation Layer를 통한 연동

III. 결론

본 논문에서는 밀폐 공간의 네트워크 운용 기술에 대해서 실제 사용 기술 및 이기종 네트워크 연동 방법에 대해서 소개하였다. 추후 다양한 이기종 네트워크 간의 연동을 자동화 하기 위한 방식에 대해서 연구가 진행될 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 울산시-ETRI 2차 공동협력사업의 일환(24AB1600, 제조 혁신을 위한 주력산업 지능화 기술 개발 및 산업현장에서의 사람-이동체-공간 자율협업지능 기술 개발)으로 수행되었음.

참고 문헌

[1] F. Tao, H. Zhang, A. Liu and A. Y. C. Nee, "Digital Twin in Industry: State-of-the-Art," in IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 15, no. 4, pp. 2405-2415, April 2019

[2] W.-S. Jung, T. H. Yoon, D. S. Yoo, "A Study on the private 5G network based process monitoring system of industrial robot", Korea Information and Communication Society (KICS) Summer Conference, 21, Jun. 2022.

[3] W.-S. Jung, T. H. Yoon, D. S. Yoo, "Research on industrial filed data monitoring system using heterogeneous complex communication based unmanned robot", Korea Information and Communication Society (KICS) Fall Conference, 22, Nov. 2023.

[4] Tran, Huu Phi, et al. "Design and Implementation of a Multi-Hop Real-Time LoRa Protocol for Dynamic LoRa Networks." Sensors 22.9 (2022): 3518.

[5] Digital Ship, "KR approves new wireless communication system, metalVox", 2023. 10. 31. online available: <https://www.thedigitalship.com/news/maritime-satellite-communications/item/8661-kr-approves-new-wireless-communication-system-metalvox>