

# ROS2 환경 멀티로봇 시스템을 위한 Zenoh 기반 통신 구조 연구

양준혁, 박민철, \*황정훈

한국전자기술연구원

y6hyuk@keti.re.kr, mincheol.p@keti.re.kr, \*hwangjh@keti.re.kr

## A Study of a Zenoh-based Communication Architecture for ROS 2 Multi-Robot System

Jun Hyuk Yang, Mincheol Park, Jung Hoon Hwang\*

Korea Electronics Technology Institute

### 요 약

본 논문은 ROS2 환경에서의 멀티 로봇 시스템에서 발생하는 무선 네트워크 환경의 통신 불안정 문제를 분석하고, 이를 개선하기 위한 Zenoh 기반 통신 구조를 적용한 사례를 제시한다. 기존 DDS 기반 통신 구조에서는 장시간 운용 시 토픽 주기 저하 및 네트워크 재연결 이후 데이터 스트리밍 불안정 현상이 관찰되었다. 본 연구에서는 로봇 내부 통신은 CycloneDDS 를 유지하면서, 로봇 및 관제 시스템과의 통신에 Zenoh bridge 를 적용하여 통신계층을 분리하였다. 실험 결과, 제안한 구조에서는 네트워크 변동 상황에서도 토픽 주기 유지가 안정적으로 이루어짐을 확인하였다. 본 연구는 복잡한 QoS 튜닝 없이도 통신 구조 설계만으로 멀티로봇 시스템의 운용 안정성을 향상시킬 수 있음을 보인다.

### I. 서 론

최근 자율주행 로봇 및 사족 보행 로봇과 같이 다수의 로봇을 동시에 운용하는 멀티로봇 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 멀티로봇 시스템은 단일 로봇 대비 작업 효율성과 환경 적응성이 높아 물류, 재난 대응, 산업 자동화 등 다양한 분야에서 활용되고 있다[1]. 이러한 시스템에서는 로봇 간 상태 정보, 제어 메시지, 그리고 LiDAR 및 카메라로부터 생성되는 대용량 센서 데이터를 실시간으로 안정적으로 전달할 수 있는 통신 구조가 필수적이다.

ROS 2 는 DDS(Data Distribution Service)를 기반으로 분산 로봇 시스템을 지원하며, QoS 설정을 통해 신뢰성 있는 데이터 전달을 가능하게 한다[2]. DDS 는 퍼블리시-서브스크라이브 모델을 통해 확장성 있는 통신을 제공하지만, 기본적으로 멀티캐스트 기반 탐색(discovery)과 네트워크 브로드캐스팅에 의존한다[3]. 이로 인해 무선 네트워크 환경이나 WAN 환경에서는 탐색 지연, 데이터 손실, 토픽 주기 저하 등의 통신 불안정 문제가 발생할 수 있음이 보고되고 있다.

특히 중앙 관제 시스템이 다수의 로봇으로부터 대용량 센서 데이터를 지속적으로 수신해야 하는 환경에서는 네트워크 상태 변화에 따른 통신 성능 저하가 시스템 전체의 신뢰성에 직접적인 영향을 미친다. 기존 연구에서는 QoS 파라미터 조정이나 DDS 구현체 변경을

통해 이러한 문제를 완화하려는 시도가 이루어졌으나, 실제 운용 환경에서는 네트워크 구성, 시간 동기화 방식, 로봇 수 증가 등 다양한 요인이 복합적으로 작용하여 설정 기반 접근만으로는 한계가 존재한다.

최근 DDS 기반 통신의 한계를 보완하기 위한 대안으로 Zenoh 가 제안되었으며, Zenoh 는 데이터 전달과 탐색을 분리하고 다양한 네트워크 환경에서 효율적인 라우팅을 지원한다[5]. Zenoh 는 ROS 2 와의 연동을 위해 DDS-Zenoh 변환을 수행하는 Zenoh bridge 를 제공하며, 이를 통해 기존 ROS 2 시스템 구조를 유지하면서 통신 계층을 확장할 수 있다.

본 논문에서는 실제 멀티로봇 운용 환경에서 관찰된 DDS 기반 통신 문제를 분석하고, Zenoh bridge 를 활용한 통신 구조를 적용하여 이를 완화한 사례를 제시한다. 본 연구는 통신 미들웨어 자체의 성능 비교가 아닌, 통신 구조 설계 관점에서의 안정성 개선에 초점을 맞추며, QoS 파라미터에 대한 추가적인 튜닝 없이도 구조적 분리를 통해 통신 안정성을 향상시킬 수 있음을 실험적으로 확인한다.

### II. 본론

본 연구에서는 ROS 2 기반 멀티로봇 시스템을 무선 네트워크 환경에서 운용하며 발생하는 통신 불안정 현상을 분석하였다. 실험 환경에서는 2 대의 로봇과 관제 PC 가 동일 네트워크에 연결된 상태에서 대용량 센서

데이터와 제어 메시지를 교환하였다. 초기에는 토픽 수신 주기가 정상적으로 유지되었으나, 시간이 경과함에 따라 일부 토픽에서 수신 주기가 점진적으로 감소하는 현상이 관찰되었다. 또한 무선 네트워크 연결을 일시적으로 차단한 후 재연결하는 상황에서는 토픽 수신에 불안정해지거나 노드 재시작이 필요한 경우가 발생하였다.

이러한 문제를 완화하기 위해 본 연구에서는 통신 구조의 분리를 기반으로 Zenoh bridge 를 적용하였다. 로봇 내부의 ROS 2 노드 간 통신은 기존 CycloneDDS 기반 DDS 구조를 유지하였으며, 로봇 간 및 관제 시스템과의 통신에는 Zenoh bridge(zenoh-bridge-ros2dds)를 사용하였다. 관제 PC 에는 Zenoh router 를 실행하고, 각 로봇은 Zenoh client 로 접속하여 로컬 ROS 2 DDS 토픽을 Zenoh 네트워크로 전달하도록 구성하였다. 이를 통해 DDS discovery 및 데이터 전송 범위를 로봇 내부로 제한하고, 외부 통신은 Zenoh 를 통해 수행하도록 통신 계층을 분리하였다.

동일한 무선 환경에서 제안한 구조를 적용한 결과, 장시간 운용 시에도 토픽 수신 주기 저하 현상이 발생하지 않았으며, 네트워크 재연결 이후에도 데이터 스트리밍이 안정적으로 유지됨을 확인하였다. 본 실험에서는 QoS 파라미터에 대한 추가적인 튜닝 없이 ROS 2 기본 설정을 사용하였으며, 통신 안정성의 개선은 미들웨어 설정 변경이 아닌 통신 구조 변경에 기인한 것으로 판단된다.

### III. 결론

본 논문에서는 ROS 2 기반 멀티로봇 시스템에서 발생하는 무선 통신 불안정 문제를 분석하고, Zenoh bridge 를 활용한 통신 구조를 적용한 사례를 제시하였다. 실험 결과, 통신 미들웨어의 설정 변경 없이도 통신 계층을 분리함으로써 멀티로봇 환경에서의 데이터 스트리밍 안정성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 향후 연구에서는 다양한 네트워크 환경 및 로봇 수 증가에 따른 통신 특성 분석을 수행할 예정이다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부의 재난 및 위험작업 현장근로자의 사고방지를 위한 안전로봇 기술개발 사업(No. 20026194, 소방용 4 족 보행 로봇 기반 인명탐지·화재진압 솔루션 개발 및 소방 로봇·센서 실증)의 지원을 받았습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] Cao, Yongcan, et al. "An overview of recent progress in the study of distributed multi-agent coordination." IEEE Transactions on Industrial informatics 9.1 (2012): 427-438.
- [2] Macenski, Steven, et al. "Robot operating system 2: Design, architecture, and uses in the wild." Science robotics 7.66 (2022): eabm6074.

- [3] Pardo-Castellote, Gerardo. "Omg data-distribution service: Architectural overview." 23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2003. Proceedings.. IEEE, 2003.

- [4] <https://github.com/eclipse-zenoh/zenoh-plugin-ros2dds>