

효율적인 로봇 통신을 위한 VPN 기반 ROS2 네트워크 설계

박재원, 남승우, 유경민, 백의준, 김명섭*

고려대학교

{ 2018270614, nam131119, rudals2710, pb1069, tmskim* }@korea.ac.kr

Designing VPN-based ROS2 Network for Efficient Robot Communication

Jae-Won Park, Seungwoo Nam, Gyeong-Min Yu, Ui-Jun Baek, Myung-Sup Kim*
Korea Univ.

요약

ROS2는 다양한 로봇 시스템에서 표준화된 메시지 통신과 서비스 호출을 제공하지만, 로봇과 원격 PC가 동일한 서버넷에 위치해야 한다는 제약이 있다. 이는 특히 거리가 먼 환경에서의 로봇 운용에 상당한 도전을 제시한다. 본 연구의 목적은 VPN 기술을 활용하여 이러한 통신 제약을 극복하고, 다양한 네트워크 환경에서도 안전하고 효율적인 통신을 구현하는 것이다. 이를 위해, 본 논문에서는 기본적인 VPN 개념과 ROS2의 통신 메커니즘을 소개하고, VPN을 통해 ROS2 통신을 위한 서버넷을 구축하는 방법을 상세히 설명한다. 본 연구는 ROS2 기반 시스템의 활용 범위를 확장함으로써 로봇 시스템의 유연성과 활용성을 높이며, 글로벌 네트워크를 통한 원격 모니터링 및 제어에 기여할 것으로 기대된다. 마지막으로, 본 논문은 결론을 제시하며 향후 연구 방향에 대해 논의한다.

I. 서론⁽¹⁾

ROS2(Robot Operating System2)는 로봇 소프트웨어 개발을 위한 유연하면서 확장이 가능한 프레임워크로 ROS1의 후속으로 개발되었으며 다양한 로봇 시스템에서 메시지 통신, 서비스 호출 등 표준화된 방법을 제공한다. 데이터의 효율적인 교환을 위해 노드 간의 메시지 기반 통신을 사용하지만 해당 방법은 일반적으로 저사양 로봇과 원격 PC가 동일한 서버넷에 위치해야 하는 제약이 있다. 이러한 제약은 로봇과 원격 PC가 거리가 먼 경우, 예를 들어 공장 환경, 탐사 임무, 또는 광범위한 산업 현장에서의 운용 시 상당한 도전이 된다. 이는 로봇 시스템의 활용성과 유연성을 제한하며 특히 글로벌 네트워크를 통한 원격 모니터링 및 제어를 요구하는 응용 분야에는 큰 장애가 된다.

따라서 본 연구는 ROS2 통신 제약을 극복하기 위해 VPN(Virtual Private Network) 기술을 활용하는 방법을 제안한다. 위한 서버넷을 구축하는 방법을 제안한다. VPN 서버넷을 이용하면, 로봇과 원격 PC 간의 안전한 통신 채널을 구축할 수 있으며, 이는 동일한 물리적 네트워크에 있지 않은 로봇 시스템 간의 통신 문제를 해결할 수 있다. 본 논문의 주요 목적은 ROS2 기반 시스템의 활용 범위를 확장함으로써, 다양한 네트워크 환경에서도 안전하고 효율적인 통신을 구현하는 것에 있다.

본 논문에서는 기본적인 VPN의 개념과 ROS2의 통신 메커니즘을 소개하고 VPN 기술을 활용해 ROS2 통신을 위한 서버넷을 구축하는 방법을 제안하며 마지막으로 결론과 향후 연구에 대하여 설명하고 본 논문을 마친다.

II. 관련 연구

ROS2(로봇 운영 체제 2)는 OMG(객체 관리 그룹)에 의해 표준화된 DDS(Data Distribution Service)의 RTPS(Real-Time

Publish Subscribe) 프로토콜을 사용하여 통신한다. RTPS는 UDP 기반으로, 중계자 없이 데이터를 전송하는 프로토콜이며, QoS(Quality of Service) 설정을 통해 신뢰성을 보장할 수 있다. 하지만 일반적으로 사용하는 교육용 로봇은 라즈베리파이 기반으로 하는 저사양 로봇으로 컴퓨팅 파워에 한계가 있어 고도의 데이터 처리 및 복잡한 작업은 원격 PC를 통해 수행해야 한다.

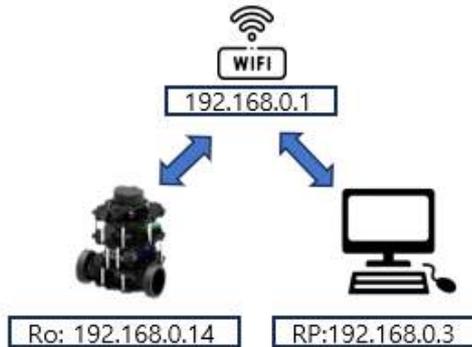


그림 1. 일반적인 로봇 네트워크
Fig 1. General Robot Network

VPN은 공용망 같은 인터넷을 활용해 전용 회선과 같은 사설망 네트워크 서비스를 제공하는 기술이다[2]. 이 기술은 터널링 기술을 통해 데이터를 암호화하며, 이로 인해 원격지에서도 마치 사설 네트워크의 일부인 것처럼 안전하게 접속할 수 있게 한다. 사용자가 VPN에 연결되면 공용 네트워크 상에서도 개인 네트워크에 속한 것처럼 작동해 물리적으로 분리된 위치에서도 사설망과 같은 네트워크 환경을 구축할 수 있지만 원격 PC와 저사양 로봇이 공유기 등을 통해 구축된 서버넷 내에서만 통신이 가능하다는 제약이 존재한다. 이는 로봇이 다양하고 넓은 환경에서 운용되는 현재의 다양한 시나리오에 제약을 가져온다. 그림 1은 기본적으로 원격 PC가 필요한 교육용 로봇으로 토픽들이 서버넷에 토픽을 게시하고 원격 PC의 해당 토픽을 구독하는 노드들이 토픽을 받아 사용한다. 하지만 해당 방법은 원격 PC가 동일 서버넷에 있지

본 논문은 2024년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력 기반 지역혁신 사업(2021RIS-004)과 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원(P0024177, 2023년 지역혁신클러스터육성)을 받아 수행된 연구임.

않다면 로봇에서 발행하는 토픽 및 정보들은 수신하지 못한다.

III. VPN을 통한 ROS2 네트워크 구축

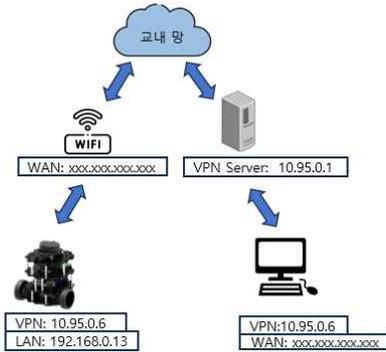


그림 2. 제안하는 VPN 네트워크 구조
Fig.2. Suggested VPN Network Structure

본 논문에서는 저사양 로봇을 위한 새로운 통신 방법을 제안한다. 기존의 로봇 운영체제인 ROS2는 다양한 로봇 시스템에서 메시지 통신과 서비스 호출 등을 표준화된 방법으로 제공하지만, 로봇과 원격 PC가 같은 서브넷에 속해있어야 한다는 제약 사항이 있었다. 이러한 제약은 특히 로봇이 넓은 지역에 걸쳐 운영되는 경우, 예를 들어 대규모 공장이나 광활한 야외 환경에서의 작업에 상당한 어려움을 초래했다.

이에 본 논문은 Virtual Private Network (VPN) 기술을 활용하여 이러한 통신 제약을 극복하는 방안을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 구조는 저사양 로봇의 기존 서브넷을 VPN 서브넷으로 변경하여 로봇에서 발생하는 다양한 토픽들(예: 센서 데이터, 제어 명령 등)이 VPN 터널을 통해 안전하게 서버로 송신될 수 있는 구조이다. 제안한 구조에서는 로봇과 원격 PC가 인터넷에 연결만 되어있다면 물리적인 위치에 관계 없이 데이터를 교환할 수 있다.

이 방법을 통해, 사용자는 전 세계 어디에서나 인터넷 연결만으로 로봇의 상태를 실시간으로 확인하고 제어할 수 있는 혁신적인 가능성을 열어준다. 이는 로봇의 활용 범위를 크게 확장시키며, 특히 재난 구조, 탐사, 대규모 농업 등 다양한 분야에서의 로봇 활용 가능성을 제시한다. 이 기술은 저사양 로봇과 서버 간의 실시간 통신의 활동 범위를 확장해 로봇의 활동 범위를 넓게 해준다. 그림 2에서는 이 구조를 시각적으로 설명하고 있다. 로봇은 VPN 클라이언트로 작동하여 VPN 서버에 연결되며, 이 서버는 로봇과 원격 PC 사이의 통신을 중계한다. 이러한 네트워크 구조는 로봇과 원격 PC 간의 물리적 거리에 대한 한계를 완화시킬 수 있다.

IV. 구현

본 논문에서는 Kyle Manna가 개발한 VPN 도커 컨테이너 이미지를 활용하여 서버에 VPN 서버를 구축하고, VPN 접속을 위한 인증서를 생성하여 로봇으로 파일을 이동시키고 VPN 서버에 연결할 수 있도록 하였다[5]. 이후, 로봇과 원격 PC의 ROS2 환경에서 사용할 미들웨어로 eProxima의 RTPS 라이브러리인 `rmw_fastrtps_cpp`를 지정한다[3]. 이후, `fastrtps_xml` 파일에 서버와 로봇에 할당된 VPN IP를 초기 연결 대상 목록(initial peers list)에 추가함으로써, VPN 네트워크 환경에서도 ROS2 노드 간의 통신을 구현했다.

로봇의 기본 센서 연결 과정을 통해 노드 생성 및 토픽 발행이 시작되면, 토픽 리스트 명령어를 통해 송수신되는 토픽을 확인할 수 있다. Cartographer [4]와 로봇 제어 명령을 통한 실시간 지도 작성 또한 정상적으로 수행되는 것을 확인하였고 이는 그림 3에 나타났다. VPN

을 통한 토픽 송수신 검증을 위해 `tshark`로 송수신되는 패킷을 확인한 결과, 정상적으로 RTPS 패킷들이 VPN을 통해 송수신되는 것을 확인했으며

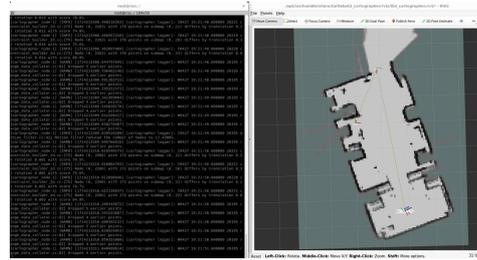


그림 3 VPN을 통한 Cartographer
Fig. 3. Cartographer over VPN

V. 결론

본 논문에서는 ROS2의 기존 통신 제약을 극복하기 위해 VPN 기술을 활용하는 새로운 접근 방식을 제시했다. 이 방법은 로봇과 원격 PC 간에 안전한 통신 채널을 구축하고, 물리적 네트워크 환경이 다르더라도 ROS2 기반 시스템 간의 효과적인 통신을 가능하게 한다. 이러한 접근법은 글로벌 네트워크를 통한 원격 모니터링 및 제어의 필요성이 증가하는 현대 사회에서 로봇 시스템의 활성화에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

그러나 VPN 기술을 도입함으로써 해결할 수 있는 문제들과 더불어 새로운 도전 과제들도 발생한다. 특히, VPN을 통한 데이터 전송 시 발생할 수 있는 네트워크 속도의 저하와 이로 인한 시스템 응답 시간의 증가는 로봇의 실시간 작동에 영향을 줄 수 있다. 실제 실험에서도 인터넷 속도가 느려지면 토픽들이 정상적으로 송수신되는 것을 확인했다. 이와 함께, VPN 자체의 보안 취약점 또한 추가적인 보안 위험을 초래할 수 있으며, 이는 시스템 전체의 안정성을 해칠 위험이 있다.

이에 따라, 향후 연구에서는 VPN 기술을 활용한 ROS2 통신의 효율성을 높이는 방법에 대한 연구가 필요하다. VPN 설정의 최적화, 네트워크 트래픽 관리 기술의 개선을 포함한다. 또한, 네트워크 속도 저하 문제를 해결하기 위한 기술적 개선뿐만 아니라, 추가적인 보안 기술의 적용을 통해 데이터 무결성과 시스템의 안전을 보장하는 연구로 ROS2를 사용하는 로봇 시스템의 신뢰성을 높이고, 보다 넓은 응용 분야에서의 사용을 가능하게 할 것이다.

참고 문헌

- [1] Maruyama, Yuya, Shinpei Kato, and Takuya Azumi. "Exploring the performance of ROS2." Proceedings of the 13th international conference on embedded software. 2016.
- [2] Ferguson, Paul, and Geoff Huston. "What is a VPN?." (1998): 01-22.
- [3] Kwon, Giil, et al. "DEVELOPMENT OF REAL-TIME DATA PUBLISH AND SUBSCRIBE."
- [4] Basten, Christopher J., Bruce S. Weir, and Zhao-Bang Zeng. "QTL Cartographer, version 1.17." Department of Statistics, North Carolina State University, Raleigh, NC (2002).
- [5] Merkel, Dirk. "Docker: lightweight linux containers for consistent development and deployment." Linux j 239.2 (2014): 2.