

다영역 임무장비의 가변적 협업 및 통합 운용 체계 연구

배명남, 홍상기, 이강복

한국전자통신연구원

{mnbae, sghong, kblee}@etri.re.kr

A Study on the Collaboration and Integrated Operation Architecture for Multi-Domain Mission Equipments

Bae Myung Nam, Hong Sang Gi, and Lee Kang Bok

Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)

요 약

본 논문은 전장 환경의 동적인 변화 및 신규 임무 부여에 대응하여, 다수 장비 간 유기적인 협업을 지원하는 소프트웨어 재구성 체계를 제안한다. 상황 변화에 따른 임무의 변경, 교체 및 재구성이 가능한 유연한 소프트웨어 구조를 기술하며, 이를 구현하기 위해 JTNC SCA 코어 프레임워크를 기반으로 ROS2(DDS)를 통신 미들웨어로 사용한다. 이 체계는 브로커 없는 탈중앙화 통신 구조를 통해 실시간 저지연 데이터 처리를 보장하며, 이중 임무 소프트웨어 간의 상호운용성을 보장한다. 이를 통해 다중 임무 영역에 분산 운용되는 다양한 임무 장비들을 단일 네트워크로 통합함으로써, 실시간 상황 공유 기반의 효율적인 연합 작전 및 상호 협업 환경을 제공한다.

I. 서 론

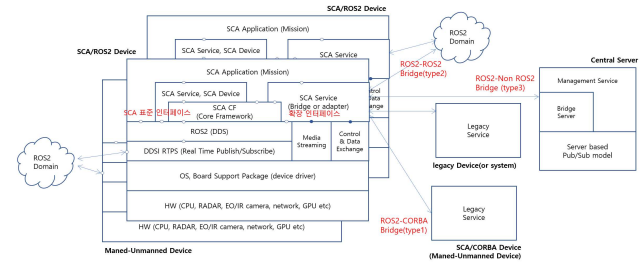
다영역(공중,지상,해상)의 현장 데이터를 실시간으로 통합하여 AI 기반의 신속하고 정확한 지휘결정 및 대응할 수 있도록, 운용되는 장비와 임무 간 상호운용과 연동을 통해 통합되어야 한다[1]. 또한, 개별 장비 운용 과정에 현장 상황이나 센서, 대응 체계, 통신 등 하드웨어가 변경되어도 핵심 소프트웨어의 재구성을 통해 임무를 지속 수행할 수 있어야 한다. 즉 다양한 임무 소프트웨어가 재구성된 하드웨어/소프트웨어 환경에서도 원활하게 상호작용할 수 있도록 보장하는 상호운용성 확보가 연합작전에서 매우 중요하다[2].

최근 이동형 임무장비에는 ROS2[3]가 도입되어 단일 영역 내 실시간 통신을 위한 강력한 인프라를 제공하고 있으며, 이는 국제 표준인 OMG DDS를 기반으로 하여 멀티캐스트 방식의 PUB/SUB 모델을 통한 효율적인 임무 메시지 처리, RTPS(Real-Time Publish-Subscribe) 기반의 저지연 실시간 메시지 전달, 브로커없는 탈중앙화 통신 구조, 로보틱스 및 AI 연계를 위한 개발 생태계를 제공하고 있다.

본 논문에서 기술하는 장비 소프트웨어 구성 체계는 다영역 전장에서 실시간 협업이 가능한 차세대 지휘통제 개념의 실현에 활용하고, 유연하고 확장성있는 전장 네트워크를 구축함으로써 임무장비간 효율적이고 지능적인 연합작전을 지원할 수 있다.

II. 본론

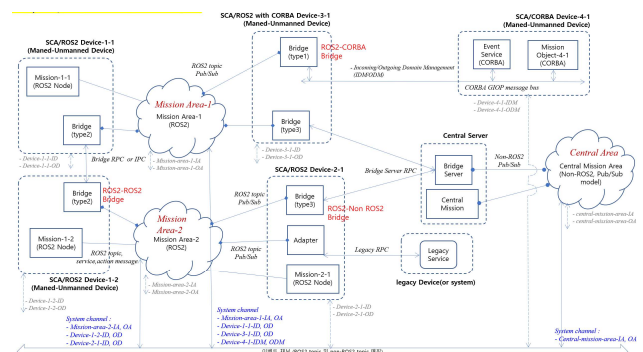
본 체계는 유무인 복합 체계(MUM-T)로 JTNC SCA를 기반으로 하며, 기존 CORBA를 ROS2(DDS, DDSI RTPS) 미들웨어로 대체하여 장비에 탑재한 임무 소프트웨어 요소 (SCA Application, Device, Service)들을 통합적으로 제어(요소의 실행,시작,연결,중지,종료 등)할 수 있다. 이를 통해 장비간 상호운용성과 협업을 보장하며, 기존 레거시 장비 호환성 확보를 통해, 이중-동종의 다수 임무영역을 하나의 연합된 임무영역으로 통합할 수 있다.



(그림 1) 장비 소프트웨어 구성 체계

SCA 코어 프레임워크는 ROS2(DDS)를 기반으로 소프트웨어 요소인 Mission Application과 관련 Device, Service 모듈을 상호 연결하여 임무를 수행한다. 만일, 임무 수행 중에 다른 임무영역 내 장비를 연계하여 협업이 필요하면 브릿지나 어댑터가 중재하며, 유연한 연동과 확장성을 위해 Pub/Sub 방식을 사용한다.

브릿지와 어댑터는 SCA Service로 구현되며, 서로 다른 임무영역에 있는 장비들과 연동될 수 있도록 하는 일종의 변환 Service이다.

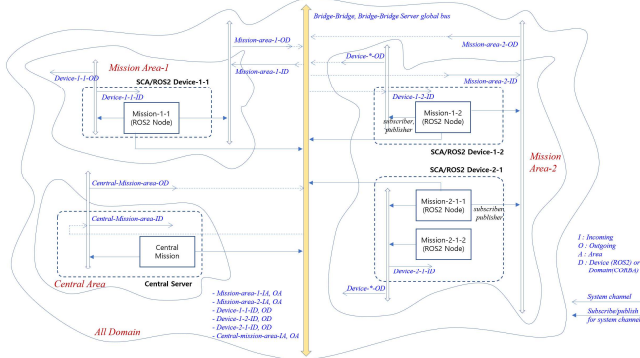


(그림 2) 이중/동종 영역 간 장비연합과 임무협업 구성도

임무 연합 및 협업 과정에서 각 장비는 SCA 프로파일에 따라 수행해야 할 임무 소프트웨어를 구성하며, 전장 상황 변화에 따라 임무 상태를 실시

간 송수신할 수 있어야 한다. 이를 위해, 장비별, 임무영역별, 전체 연합영역 단위의 계층적 송수신 채널을 운영한다. 이 구조를 통해, 단일/연합영역에 대한 일괄 제어 및 상태 전파가 가능하다. 결과적으로 전체 협업 시스템은 개별 장비의 하드웨어 이상이나 구성 변경을 즉각 파악할 수 있으며, 임무 소프트웨어의 실행 상태와 재구성 내역 역시 필요한 장비에게 적절하게 공유할 수 있다. 이를 바탕으로, 특정 장비는 타 영역의 동작 상태와 다중 임무의 재구성 현황을 실시간으로 파악하여 전장 변화에 신속하게 대응할 수 있다.

유무인 복합 체계에서 장비와 임무 영역 간의 연합을 지원하는 시스템 제어 채널 구성 예는 다음과 같다.

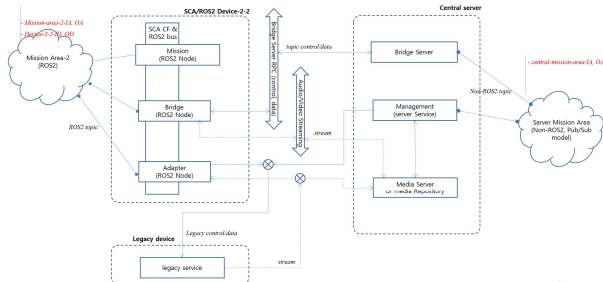


(그림 3) 장비 및 임무영역 간 시스템 제어 논리 채널 구성

예에서, 장비는 임무영역별 상황 공유용 임무영역 채널(Mission-area-*IA와 OA, Central-mission-area-IA/OA)), 단위 장비별 상황 공유용 장비 채널(device-*ID와 OD)을 구성한다. 채널은 기본적으로 Pub/Sub형태인 ROS2 토픽 혹은 이벤트 서비스(CORBA)로 구현하며, 협업 중인 모든 임무(Mission) 및 운용관제에서 구독(subscribe)하여 해당 토픽 메시지를 사용할 수 있다. 기존 JTNC SCA 규격에 따라, CORBA 이벤트로 구현되었던 도메인 관리 채널(IDM/ODM Channel)은 ROS2의 장비 채널 토픽(device-*IDM, -ODM)으로 매핑하여 사용한다.

연합 작전에 참여하는 유무인장비들은 해당 목적별 토픽을 구독(subscribe)하여, 특정 임무영역의 상황, 소속/타 임무영역내 장비의 상황, 서버 상태, 수행 중인 임무내 개별 소프트웨어 요소의 운용 상태를 수신할 수 있으며, 동시에 특정 임무영역, 장비, 임무 요소를 식별하는 해당 토픽에 자신의 임무 상황을 공개(publish)하여 전파할 수 있다. 그 결과 연합체계 내 모든 구성 요소가 유기적으로 협력하는 환경을 제공할 수 있다.

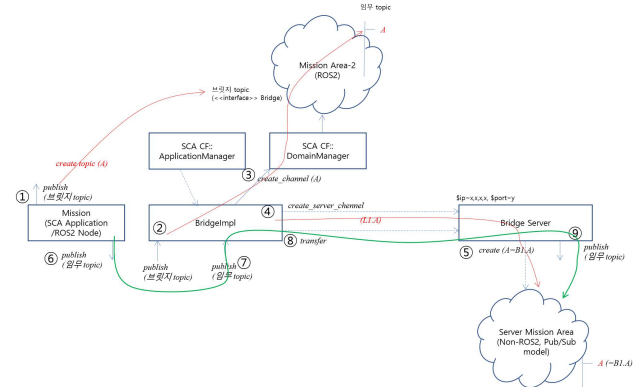
시스템 제어 채널과 별개로 운영하는 임무 채널은 레거시 장비, 타 임무영역 장비, 서버를 포함하는 유인 장비 간의 연계를 담당한다. 이 과정에서, 스트림 정보를 통합하여 전달하는 통로 역할도 함께 수행한다.



(그림 4) 어댑터와 브릿지를 사용한 장비간 임무 채널 구성

현장 레거시 장비와 서버의 원격 관제를 연결하기 위해 RTPS를 보완하는 gRPC 등의 통신 방식을 도입하며, 이 가정에서 어댑터와 브릿지 서버 구조를 활용하여 연동을 구현한다. 특히, 스트림에 대한 전송 효율성을 높이기 위해 RTSP, WebRTC 같은 표준 스트리밍 프로토콜을 내재화하여

일반 데이터와 스트리밍을 동시에 안정적으로 전송할 수 있도록 구성한다. 장비가 운용되는 ROS2 영역과 서버 영역간의 브릿지와 브릿지 서버 간 연동과정을 구체화하면 다음과 같다.



(그림 5) 브릿지 기반 타 임무영역 연동 구성

먼저, 임무 토픽 생성 단계에서 임무 소프트웨어가 브릿지에 토픽 생성을 요청하면, 브릿지는 해당 영역 내에 실제 채널을 구성하고 스스로를 구독자로 등록한다. 동시에 브릿지는 브릿지 서버에도 동일 토픽 생성을 요청하여 서버 영역 내에 대응하는 채널을 마련함으로써 두 영역을 연결하는 채널을 신규 구성한다.

실제 데이터 전파 시에는 임무 장비가 특정 토픽 메시지를 발행하면, 이를 구독 중이던 브릿지가 즉각 수신하여 브릿지 서버로 전달하며, 브릿지 서버는 받은 메시지를 다시 서버 영역 내에 발행하여 관계 서비스들이 정보를 공유받는 절차로 동작한다. 타 ROS2 영역과의 연동 역시 유사한 방식으로 진행되나, 브릿지 서버 대신 각 영역의 브릿지가 직접 소통하는 탈중앙화 구조로 동작한다.

III. 결론

본 논문은 SCA 프레임워크와 ROS2(DDS)를 결합하여 이종 장비 간 연합 및 협업이 가능한 소프트웨어 구조를 제안하며, 모듈화를 통해 임무 상호운용성을 보장한다. 이 체계를 통해 임무 장비는 주변 장비의 상태 변화나 임무 영역의 전환, 전장 상황의 변동에 맞춰 자신의 역할을 유연하게 조정하며 유기적으로 협력할 수 있다. 결과적으로 복잡한 전장 환경에서도 지능적이고 적응력 있는 장비 운용이 가능해져, 임무 수행의 효율성과 안정성을 동시에 확보할 수 있다.

향후에는 지상 및 공중 감시장비 운용 중에, 장비 간 연결이 절체될 때 현장 데이터의 실시간성을 보장하는 방안과, 하드웨어 고장이나 센서 교체 상황에서도 임무를 신속하게 재구성할 수 있는 효율성 연구를 추진하고자 한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 대한민국 정부(산업통상자원부 및 방위사업청) 재원으로 민간 협력진흥원에서 수행하는 민간기술협력사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다. (과제번호 23-CM-TC-13)

참 고 문 헌

- [1] U.S. Dept. of Defence, "The Joint All-Domain Command & Control(JADC2) Strategy," Mar. 2022, (<http://www.defence.gov/>).
- [2] Joint Tactical Networking Center (JTNC), "Software Communications Architecture (SCA) Specification," Ver. 4.1, 2015.
- [3] Open Robotics, "Robot Operating System," (<https://www.ros.org/>).