

저궤도 전술 위성군을 위한 위성관제링크 기술

이재생, 장용업, 정길수

국방과학연구소

jslee15@add.re.kr yujang@add.re.kr ksjeong@add.re.kr

Satellite Control Link Technology for LEO Tactical Swarm Satellite

Jae Seang Lee, Yong-up Jang, Kil-soo Jeong

Agency for Defense and Development

요약

미래의 모든 군의 센서를 단일 네트워크로 연결하기 위해 기존전력의 제한사항들을 극복할 수 있는 대안으로서 저궤도 전술 위성군의 개발이 필수적이며, 이를 위한 위성관제링크 기술 역시 변환된 환경에 맞게 개발될 필요가 있다. 본 논문에서는 저궤도 전술 위성군에 필요한 원격 재구성 가능한 위성관제링크 기술들을 소개하고 개발방안을 알아본다.

I. 서론

우주산업기술은 발사체 재활용, 탑재체 핵심 부품의 소형화, 위성 표준 플랫폼화 등의 혁신을 바탕으로 기존의 정부주도에서 민간영역으로 확대되는 새우주(New Space)시대로 변화해가고 있다. 미국의 민간기업인 SpaceX의 Starlink 프로젝트 뿐만아니라 OneWeb, Kuiper, Telesat 등의 다양한 기업들의 프로젝트들을 통해서 저궤도 위성군을 활용한 글로벌 인터넷 망 구축 사업이 활발하게 진행되고 있다. [1]-[4]

군에서도 미래 전장환경이 네트워크 중심전에서 모자이크전으로 발전하는 추세에 따라 전장의 복합 체계가 하나의 체계처럼 움직일 수 있는 초연결 네트워크를 필요로 한다. 이를 위해 미군은 무기체계를 포함한 군의 시스템을 네트워크로 연결하는 네트워크 중심전 전략을 발전적으로 승계하는 전략으로서 합동전역지휘통제(JADC2 : Joint All-Domain Command and Control)를 발전시켜 나가고 있다.[5][6] 모든 군의 센서를 단일 네트워크로 연결하기 위해 기존전력의 제한사항들을 극복할 수 있는 대안으로서 저궤도 전술 위성군의 개발이 필수적이며, 이를 위한 위성관제링크 기술 역시 변환된 환경에 맞게 개발될 필요가 있다.

II. 원격 재구성 가능한 위성관제링크 기술 개발방안

수백대의 위성군의 전술적 운용을 고려하기 위해서 위성 전 수명 주기 동안 적의 전자전 공격에 효과적인 대처가 가능해야 하는데, 그림 1.의 왼쪽 그림과 같이, 현재는 적 전자전 공격 시 위성관제링크의 생존성이 낮으며, 고정된 하드웨어 기반의 웨이브폼 탑재로 인해, 전자전 공격시 통신이 단절이 될 수 있다. 이를 극복하기 위해 그림 1.의 오른쪽 그림과 같이 적의 다양한 전자전 상황에서도 재밍감지 및 간섭신호 정보 보고를 통해 재밍여부를 판단하고, 재밍된 상향링크의 일반 관제 웨이브폼을 항재밍 웨이브폼으로 원격으로 재구성을 수행하고, 이러한 웨이브폼 재구성 명령을 다른 위성들에게 전파를 하는 시나리오를 고려할 수 있다.

이러한 위성관제 시나리오에서, 적의 다양한 전자전 상황에도 운용이 가능하기 위해서 원격 재구성이 가능하도록 SDR(Software Defined Radio)기반의 소프트웨어 플랫폼 및 재구성 웨이브폼 개발이 필요하고, 채널

환경 및 궤도특성을 반영한 TM 메시지 프레임 설계가 필요하다. 또한, 위성관제링크를 운용에 적합한 최적 궤도설계방안이 필요하다.



그림 1. 재밍 시 기존 위성관제(좌)와 원격 재구성 가능한 위성관제(우)

이를 통해 적 전자전 공격 시, 위성관제의 생존성을 높일 수 있고, 군 작전 환경 변화에 능동적 대처가 가능하다. 또한 저궤도 위성군 지상기반 자율관제 운용기술도 확보가 가능하다.

SDR 기반의 SW플랫폼 및 재구성 웨이브폼 개발을 위해서, 그림 2와 같이 FPGA 기반 하드웨어 플랫폼 구조에 적합하도록 재구성 플랫폼을 통한 웨이브폼 원격 업로드 기능이 구현되어야 하고, FPGA Configuration 기반 웨이브폼 재구성과 모듈 설정 변경을 위해 웨이브폼 부분 변경 기능이 가능해야 한다. 또한 이러한 웨이브폼 탑재 수량 지원 가능 구조를 통해 향후 다양한 웨이브폼을 추가할 수 있는 기능이 구현이 되어야 한다. 또한, 전자전에 효과적으로 대응할 수 있도록 상하향 비대칭 대전자전 웨이브폼을 적용한다.

초당 수km 이상 고속 이동하는 위성체의 상하향 링크의 신뢰도 높은 링크 설계를 위해서 위치, 고도, 속도, 진행방향 및 TOD 정보를 탑재한 TM메시지 설계가 필요한데, 생성된 명령어 씨퀀스를 위성-지상체간 정의된 규약(예 : CCSDS 형태)로 가공하여 위성관제링크로 보낼 수 있는 형태로 가공하는 기술인 위성체 버스 모사 및 TM/TC 처리 기술은 과거에는 CCSDS

처리를 관제컴퓨터에서 수행하는 방법을 사용하였으나, CCSDS 처리의 상당 부분을 하드웨어 모듈에서 수행하여 Computing 부담을 줄이고, 범용적으로 사용하는 방향으로 변화하고 있다. 하지만 하드웨어 모듈이 CCSDS의 Frame Sync detection, De-randomize, RS encoding-decoding은 여전히 수행한다. 원격 재구성 가능한 위성관제링크 개발에서는 그림 3.에서와 같이 CCSDS를 준용한 TM 메시지 프레임 구조를 고려하여 진행한다.



그림 2. SDR 기반 SW플랫폼 및 재구성 웨이브폼

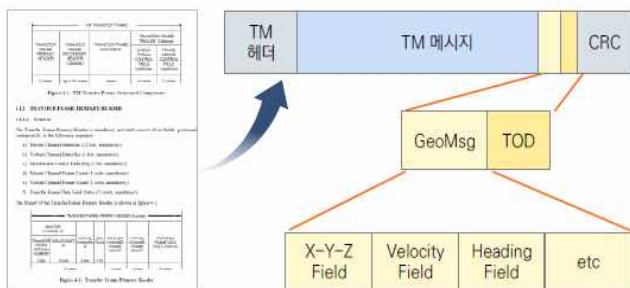


그림 3. CCSDS를 준용한 TM 메시지 프레임 구조

지상국을 통한 위성관제를 위한 위성관제 기술에서 기존에는 단일관제소-단일위성의 관제 개념에서 다중 관제소-다중 위성 관제 개념으로 발전 중이며, 민간분야에서는 안테나와 관제소를 소유하기보다는 아마존, 마이크로소프트사 등 기업이 제공하는 분산 위성 안테나 시스템 및 클라우드 서비스를 활용하여 관제하는 방향으로 진화하고 있다. 보안이 중요한 전술 위성군에는 그대로 적용하기는 어려우며, 기존 군 위성 관제소에 기반해서, 관제업무 분석 및 업무별 자율화 가능성을 고려하여 통합 관제 운용 개념을 발전시킬 필요가 있다.

또한, 기존의 단일/소수 위성 관제기능에서 수백대의 위성들로 이루어진 저궤도 전술 위성군을 관제하기 위해서는 위성군의 궤도에 따른 커버리지 분석 등 최적궤도 설계가 필요하다. 이를 위해 그림 4.와 같이 통신 커버리지 조사 및 분석, 통신/관제 링크버지트 조사 및 분석을 통해 전술 위성군 운용개념을 수립하고, 위성군 설계기법을 분석하기 위해 위커-델타 위성군 등을 비교분석한다. 위성군 운용궤도 선정 및 성능분석을 위해 단말기 성능을 적용한 고도 설정이 필요하고, 수요지역 범위를 적용한 궤도 경사각 설정이 필요하다. 또한 최소 궤도 평면수 및 위성 수 설정이 필요하고, 이를 바탕으로 지상관제국, 사용자 등을 적용한 통신 커버리지 분석이 필요하다. 마지막으로, 커버리지 분석을 통한 궤도성능 분석 및 통신시나리오 타당성 검증을 통해 위성군의 최적궤도 제시가 필요하다.

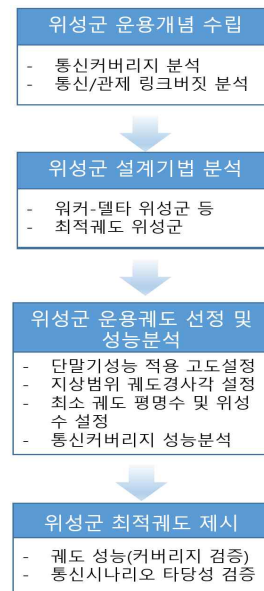


그림 4. 저궤도 전술 위성군 위성관제링크 최적궤도 설계방안

III. 결 론

본 논문에서는 미래 저궤도 전술 위성군에 필요한 원격 재구성 가능한 위성관제링크의 기술들을 소개하고 개발방안을 알아보았다. 적의 다양한 전자전 상황에도 운용이 가능하기 위해서 원격 재구성이 가능하도록 SDR(Software Defined Radio)기반의 소프트웨어 플랫폼 및 재구성 웨이브폼 개발이 필요하고 채널 환경 및 궤도특성을 반영한 TM 메시지 프레임 설계가 필요하다. 또한, 위성관제링크 운용에 적합한 최적 궤도설계방안이 필요하다. 이를 통해 적 전자전 공격 시, 위성관제의 생존성을 높일 수 있고, 군 작전환경 변화에 능동적 대처가 가능하다. 또한 저궤도 위성군 지상기반 자율관제 운용기술도 확보가 가능하다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022년 정부의 재원으로 수행된 연구 결과임. (915008101)

참 고 문 헌

- [1] J. Garrity and A. Husar, "Digital connectivity and LEO satellite constellations," ADB, Apr. 2021.
- [2] <https://www.spacex.com>
- [3] <http://www.satmagazine.com/story.php?number=1604295635>
- [4] <https://www.cnn.com/2019/12/14/spacex-oneweb-and-amazon-to-launch-thousands-more-satellites-in-2020s.html>
- [5] Congressional Research Service, "Joint All-Domain Command and Control: Background and Issues for Congress", Aug. 2021
- [6] U.S. Government Accountability Office, "Action is Needed to Provide Clarity and Mitigate Risks of the Air Force's Planned Advanced", Apr. 2021.