

지상기지국을 활용한 저궤도 위성의 임무 연속성 보장 방안 연구

Research on Methods to Ensure Mission Continuity of Low Earth Orbit Satellites Using Ground Stations

윤 홍^{*1)}, 박종범^{**2)}

Hong Yoon^{*1)}, Jong Beom Park^{**2)}

[초 록]

저궤도 위성은 제밍 공격에 의해 데이터 전송률 감소 및 지연시간 증가 등의 문제점을 가지고 있다. 이를 해소하기 위해서 본 논문에서는 제밍으로 임무수행 위치에 도달한 위성이 임무지시 메시지(Upload Link, TC/TM) 수신에 실패한 경우, 경로상 다음 순서에 임무수행 위치 도달하는 위성에 임무수행 위치 이전 지상기지국을 활용하여 실패한 임무지시 메시지를 전달한다. 만일, 다음 위성이 임무수행 위치에 도달하여 여전히 새로운 임무지시 메시지 수신하지 못하여 정상적인 동작이 제한되는 문제를 해결하는 GSMCR(Ground Station Assisted Mission Cache and Relay Algorithm)방식과 기존방식을 제안하고 기존방식과 비교 분석하였다. 100회 위성 방문과 1,000회 몬테카를로 모의실험 결과를 통해, GSMCR은 시간적 제밍률 50% 환경에서 평균 지연시간이 약 33% 감소, 수신 데이터량(17%), 전송률(75%) 향상을 확인하였다.

[ABSTRACT]

Low Earth Orbit (LEO) satellites are vulnerable to jamming attacks, which can significantly reduce the data transmission rate and increase communication delay. To address these issues, this paper proposes the Ground Station Assisted Mission Cache and Relay (GSMCR) algorithm and compares its performance with that of the conventional method. In the proposed approach, when a satellite fails to receive mission command messages (Upload Link, TC/TM) after arriving at the mission execution area due to jamming, the undelivered mission command messages are forwarded through an overseas ground station located before the mission execution area to the next satellite scheduled to reach the same mission area along the orbital path. Consequently, even if the subsequent satellite also fails to receive new mission command messages upon arriving at the mission execution area because of continued jamming, it can perform its mission using the pre-delivered mission command messages, thereby preventing operational degradation and ensuring mission continuity. Monte Carlo simulations based on 100 satellite passes and 1,000 simulation runs demonstrate that, under a 50% temporal jamming rate, GSMCR reduces the average communication delay by approximately 33% while increasing the amount of successfully received data by approximately 17% and the data transmission rate by approximately 75%, compared with the conventional method.

Key Words : ISR satellite(감시 정찰 위성), Resilience(복원력), Satellite Communication(위성통신)

1. 서 론

감시·정찰 위성의 의미는 국가 안전을 강화하고 필요한 정보와 자원을 제공 받기 위한 필수적인 도구로서 위성시스템을 이용한 우주영역 관리를 통해 잠재적인 위협을 탐지하고 모니터링하는 능력을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 정보를 수집하여 보다 치밀한 작전을 수행할 수 있다.

특히, 정찰위성의 경우에는 감시지역을 실시간으로 모니터링 할 수 있어 고해상도 이미징과 추적 기능을 제공하여 지상, 공중 및 해상에서 잠재적인 위협을 신속하게 탐지할 수 있다. 그리고 식별·분석된 정보를 제공하여 작전을 지원할 수 있어 MUM-T를 활용하는 등 작전환경은 모자이크전으로 진화하고 있으며, 이러한 기술 적용의 기반을 제공하는 위성통신망이 강조되고 있다 [1].

저궤도 위성은 미사일, 드론, 각종 무기체계와 연동을 지원 및 상대의 위협을 신속하게 파악할 수 있다. 따라서, 적의 잠재적인 위협을 효과적으로 모니터링, 탐지 및 대응할 수 있을 뿐만 아니라 정밀하게 무기체계를 운용하는데 보조역할을 수행할 수 있다. 이러한 위성은 모든 나라에서 운용하려고

1) 국군방첩사령부 보안감사단

(Defense Counterintelligence Command, Security Auditor unit)

2) 한양여자대학교 IT 콘텐츠융합과

(Hanyang Women's University, IT Contents Convergence)

* Corresponding author, E-mail: yhlove00@naver.com

Copyright © The Korean Institute of Defense Technology

Received : June 5, 2026 Revised : June 17, 2026

Accepted : June 30, 2026

하고 있으나 기술적 수준 차이로 인한 진입장벽이 높으며 우리도 걸음마 단계를 시작하는 시점에서 시스템 운용 간 발생 예상되는 위협 분석과 대응 방안 연구가 진행되어야 한다. 본 논문은 I 장 서론에 이어 II장에서는 저궤도 위성의 특성을 알아보고, III장에서는 저궤도 위성시스템 운용간 업로드 통신이 제한되는 상황 발생을 대비하여 지상기지국 기반 임무수행(TC/TM) 메시지를 우회 전송하는 GSMCR(Ground Station Assisted Mission Cache and Relay Algorithm) 방식을 제안하고 모의실험을 수행한다. 마지막 IV장 결론에서는 앞서 언급했던 위협을 극복하고 보다 효과적인 위성체계 개발을 위해 미래 연구 분야 등에 대해서 알아본다.

2. 저궤도 위성 특성

저궤도 위성은 지상과의 거리가 비교적 가까워 고해상도의 지상 영상정보를 고속으로 전달할 수 있으며, 낮은 통신 지연 시간을 가지고 있다. 하지만 초당 7~12Km/s로 이동하고 있어 실질적인 동작 시간이 짧은다는 문제점도 함께 존재한다[2].

2.1 저궤도 정찰 위성 특징 분석

저궤도 통신망은 고속 데이터 전송과 지연시간이 적다는 특성을 가지고 있다. 현재 사용하는 통신방식을 기준으로 설명하면 끊김 현상 막기 위해서 저궤도 위성에서는 4세대(LTE:Long-Term Evolution) 이동통신망 규격에서의 지연율(시간)에 해당하는 50ms를 제공하고 있으나, 정지궤도와 중궤도 통신 위성통신에서의 지연율(시간)은 각각 500ms와 100ms로 해저 광케이블의 지연율(시간)인 70ms와 비교할 때 매우 낮은 수준이기 때문에 실시간 통신으로 서비스를 제공하기 위해서는 저궤도 위성통신망을 사용한다[3].

또한, 저궤도 위성의 기술 발전으로 인해 위성 소형화와 로켓 발사 비용 감소로 이어지면서 저궤도 위성 사업이 발전하고 있다. 저궤도 위성 발사 비용은 정지궤도 위성보다 상대적으로 저렴하고 낮은 지구궤도를 돌기 위해 원심력과 각속도 그리고 중력 평형을 유지하기 위해서는 빠른 속도로 원운동을 해야 한다. 빠른 속도와 낮은 궤도로 인해 저궤도 위성 운용 시에는 위성 개체 수가 많이 필요하다. 한 지역에 고정된 서비스를 하는 정지궤도와 달리 특정 영역을 빠른 속도로 이동하기 때문에 연속성 보장을 위해서는 여러 대의 위성을 이용해야 하고, 낮은 궤도로 인해 위성별 정보수집영역이 한정되어 있어 정밀 영상을 수집하기 위해서는 자세교정 및 영상촬영 시스템 설정 변경이 필요하다[4][5].

최근 로켓발사 비용의 절감으로 인해 초소형 위성과 위성군(Satellite Constellation)의 배치, 운용, 궤도 선정 등 다양한 방안이 제시되고 있으며, 많은 국가와 민간기업들은 지구관측 및 통신 등 상업적 활용 이외에도 감시·정찰 등 군사적인 목적으로 사용하는 방법에 주목하고 있다.

위성군을 군사적인 목적으로 운용하기 위해서는 임무 수행에 맞는 궤도와 적합한 배치 형태를 기반으로 구성 설계해야

한다. 위성군의 배치 형태와 재방문 주기는 기하학적 분석을 통해 산출되며, 워커 델타(Walker Delta) 배치 표준 설계법을 이용하면 지구 커버리지를 균일하게 확보할 수 있다. 위성수(N)와 궤도면 수(P)에 따라 재방문 주기가 결정되는데 우리군에서 운용하는 저궤도 위성은 EO/IR 및 SAR의 상호보완성을 고려하여 설계한다. 특히, 구름이나 빛의 유무와 상관없이 전천후 관측이 가능한 SAR 위성의 특성이 군사적 필수 조건이 되며, 고해상도 식별에 특화되어 있는 EO/IR을 조합하여 SAR로 광역 탐지 후 EO/IR로 정밀 타격 정보를 확인하는 교차 검증(Cross-cueing) 방식이 현대 ISR(정보·감시·정찰) 체계의 기준으로 자리잡고 있다. 일반적으로 위성군의 주된 임무는 통신, 항법, 지구관측에서 사용되며, 단일 위성 시스템의 시간적, 공간적 한계를 극복할 수 있다는 장점이 있다. 많은 위성을 저궤도에 배치하는 경우에는 관측 공백시간을 줄임으로써 효과적인 운용이 가능하다. 저궤도 위성군을 운용하면 감시지역을 보다 세밀하고 정확하게 운용하는 다양한 연구가 시행되고 있다[5][6].

2.3 저궤도 위성 운용방식

저궤도에서 정찰위성을 운용하여 감시·정찰(ISR¹⁾) 임무를 수행하는 것은 여러 대의 위성 운용을 통해 관심영역을 주기적으로 탐지 및 식별하기 위해서이다. 관심영역을 주기적으로 탐지하면서 해당 영역의 상황을 분석하기 위해서는 각 지점들에 대해 주기적인 감시 정찰이 필요하다. 저궤도 정찰위성의 임무를 수행하기 위해서는 군집위성 재방문주기, SAR²⁾ 군집위성을 운용하여 전리파를 생성하고 넓은 영역을 연속적인 영상촬영 수행, 기상환경 및 주·야에 제한이 없어야 한다. 지구관측을 위한 SAR 위성의 영상관측 모드에는 <표 1>와 같이 세가지 모드로 운용한다[7][8].

표 1. SAR 위성의 영상관측 모드

Table 1. SAR satellite image observation mode

모드	운용방식
스트립맵(Stripmap)	위성 지향변화 없이 지상궤적과 평행 유지, 넓은 범위 관측
스폿(Spotlight)	위성 진행방향 조정, 고정검출 시간을 증가, 고해상도 영상 획득
스캔(ScanSAR)	여러 개의 전자 빔을 조정, 관측대상지역에 각 빔에 해당하는 관측범위를 생성하여 광범위 탐지

또한, SAR 군집위성은 평시에는 일반상황(스트립맵 모드)으로 광역 탐지를 수행하고, 위협 징후 포착 시 특정상황(스폿 모드)으로 전환하여 고해상도 집중 감시를 실시한다. 위성군 운용 시 저궤도 통신 가시권 내에서 지상기지국으로부터 제어 메시지를 수신하여 자세 제어 및 센서 설정을 실시간으로 변경한다. 그리고, 촬영된 영상데이터는 지상기지국으로

- 1) ISR(Intelligent Surveillance and Reconnaissance), 감시·정찰은 전장에서 눈과 귀 역할을 담당하는 무기체계를 의미
- 2) 합성개구레이다(Synthetic Aperture Radar), 레이더 펄스를 이용해 대상물(주로 지상)의 형상을 이미지화하기 위한 기술

즉시 전송되며, 여러 지상기지국을 활용하면 가시권 밖에서도 데이터 전송이 가능하며 제한된 위성 자원을 효율적으로 배분하여 감시 공백을 최소화할 수 있다[7].

SAR 군집위성은 스트립 맵과 스폿(고해상도) 모드를 선택하여 평시와 위협이 예상되는 시점을 기준으로 혼합 운용할 수 있다. 위협 수위가 높아진 특정시점에는 감시지역을 세분화하여 특정 지역만을 세밀히 관찰할 수 있는 방식을 사용할 수 있다.

2.4 감시·정찰 위성 운용간 통신 제한 상황

일반적으로 저궤도 위성체계는 적의 위협상황을 실시간으로 수집하기 때문에 아축 위성통신망을 운용하지 못하도록 무력화하려는 공격이 예상되며 이에 대한 대응방안이 필요하다. 대표적인 통신망 무력화 방식으로는 크게 두 가지 형태로 나뉠 수 있으며, 지상기지국에서 사용하는 위성통신용 안테나 등을 파괴하는 물리적인 방식과 위성파와 지상기지국간의 무선통신 대역을 사용할 수 없도록 하는 비물리적 방식이 존재한다. 먼저 위성통신용 안테나 파괴는 예비장비를 이용하여 복구가 가능한 부분으로 일시적인 통신 제한 사항이 발생한다. 하지만, 전자파 공격장비를 이용한 위성용 무선통신 대역을 마비시키는 제밍은 상대의 신호 수신을 방해할 목적으로 특정 신호를 해당 수신기로 송신하는 행위이며, 제밍하려는 주파수의 개수에 따라 싱글 톤제밍과 멀티톤제밍으로 나뉘며 대역신호를 발생시키는 대역제밍, 시분할을 통해 전대역에 걸쳐 펄스를 발생시키는 펄스제밍, 대상 대역을 모니터링한 이후 신호를 복사·가공(잡음/위상차 포함)하여 높은 전력으로 재전송하는 주파수 추적 제밍 등 각 특성을 고려한 다양한 방식이 존재한다. 근본적으로 회피하기 위해서는 주파수 도약을 활용한 항제밍 기술은 전송률 적응기법, 전이중통신 등을 활용하는 방향으로 진화하고 있다. 이러한 항제밍에 대한 연구를 지속적 수행하고 있지만, 인위적인 공격이외에도 감시지역에서의 환경적인 문제 등으로 위성통신망이 제한되는 상황을 대비하여 저궤도 감시·정찰위성들은 효율적으로 운용하기 위해 본 논문에서는 다수의 지상기지국을 활용하여 업 링크에 대한 효율적인 방법에 대해서 분석한다[9].

표 2. 저궤도 위성 주파수
Table 2. LEO Satellite Frequency

구분	S밴드	X밴드	Ka밴드
주파수 범위	2 - 4 GHz	8 - 12 GHz	26.5 - 40 GHz
전송속도(bps)	100K ~ 10M	300M ~ 600M	1G ~ 100G
파장길이	긴 (회절성 우수)	보통	짧음 (직진성 강함)

저궤도 감시·정찰위성은 <그림 2>에서와 같이 임무지시, 정보수집 임무수행, 그리고 수집정보를 제공하는 과정을 수행한다. 고도 300 ~ 400Km 구간에 감시·정찰업무를 수행을 위해 아래 <표 1>과 같이 목적에 따라 S 밴드, X 밴드, Ka 밴드의 주요 특성과 성능을 비교한 표로 각 위성 통신에서 각 대역은 고유한 목적에 따라 구분되어 사용하고 있다.

Tc/Tm 메시지는 S밴드를 사용하고 업/다운로드의 속도는 수십Kbps/Mbps 이상이며, 영상데이터 정보를 수집하는 모드에 따라 위성의 영상촬영 자세(입사각)와 범위 지정에 따라서 분석할 수 있는 해상도도 달라진다. 그리고 영상데이터 정보를 수집을 완료한 이후에는 영상정보를 지상기지국으로 X밴드를 사용하여 영상정보를 300 ~ 600Mbps 이상의 속도로 지상기지국에 제공한다.

저궤도 위성통신망의 통신이 원활하지 못한 경우에는 <그림 1>에서와 같은 문제점이 발생할 수 있다. 첫 번째 임무지시 단계에서 사용하는 업링크 통신이 제한되는 경우에는 위성이 변경된 영상수집 모드 및 세부 정보전달이 불가하여 정보 습득이 제한되고 위성군 내 다음 위성의 방문주기에 정보수집이 가능하다. 만일, 지속적으로 통신 제한되는 상황이 발생한다면 특정지역 감시가 이루어지지 않을 수도 있다.

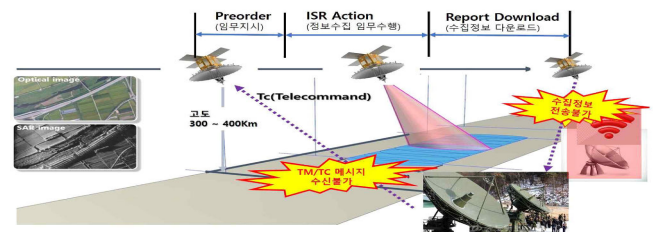


그림 1. 저궤도 위성 제밍과 통신불가

Fig. 1. LEO satellite jamming attacks and inability to communicate

한편, 수집정보에 대한 다운로드 통신이 제한되는 경우에는 위성에서 수집한 대용량의 데이터를 지상기지국으로 전송이 제한되며 위성이 이동하여 궤도상 다음 지상기지국을 이용하여 정보수집 임무수행 기간동안 획득한 영상을 전달할 수 있다.

3. 제안하는 다수 지상기지국 활용한 복원력 향상 방안

저궤도 감시·정찰 위성 보유 및 운용하는 국가는 안보 전략에 있어 필요한 정보를 확보할 수 있다. 하지만, 앞서 언급한 바와 같이 지상기지국과의 짧은 통신시간 등으로 인해 위성궤도 상 여러 개의 지상기지국과 위성을 운용한다. 그리고, 본 논문에서 제시하는 위성모델은 현재 운용중인 425위성 모델과는 다른 모델로 5대 모두 동일한 위성궤도를 가진다.

<그림 1>에서와 같이 위성이 임무지시 메시지를 수신하지 못해서 감시·정찰 임무를 수행 못하는 경우를 대비하여야 한다. 특히, 특정상황에서는 특정 감시지역을 세밀하게 정찰하기 위해서는 스폿모드로 전환해야 한다. 이때 지속적인 제밍으로 특정 감시지역에 도달한 위성이 임무지시 메시지(TC/TM)를 수신하지 못한 경우, 경로상 다음 순서에 감시지역 위치하는 위성과 통신이 가능한 지상기지국을 통해 실패한 임무지시 메시지를 전달하여 다음에 특정 감시지역으로 도달하는 위성이 여전히 새로운 임무지시 메시지 수신하지 못하는 경우 미리 수신한 임무지시 메시지를 기반으로 문제를 해결하는 GSMCR(Ground Station Assisted Mission Cache and Relay Algorithm)방식을 제안한다.

3.1 저궤도 위성 통신 제한 상황 극복 방안

저궤도 위성통신망에서 사용하는 업 링크 대상으로 재밍이 발생하는 경우를 대비하여 궤도상 지상기지를 활용하는 방법에 대해서 고려하였다. 저궤도 위성의 정보(감시·정찰)는 중요한 국가 자산이므로 독립망으로 구성된 (국내)기지국과 (해외)기지국간 전송은 스토리지 기반으로 구성된 망교환장비와 모든 통신 데이터를 암호화 알고리즘(SEEED-256, AES-256 이상) 기반의 VPN 장비로 연결하고 유선선로 속도는 1Gbps 제공하는 형태를 가진다. 특히, 데이터가 전송 도중 탈취 발생하더라도 해독이 불가능하도록 군전용 암호장비를 통해서 기지국 위성간 암호화(End-to-End Encryption)를 수행한다. 그리고 모든 통제는 <그림 2>와 같이 통제센터에 해당하는 지상기지국_1에서 관리한다. 따라서, 지상기지국_1에서 실패한 임무지시 메시지(TC/TM)가 특정상황인 경우에는 지상기지국_1 → 지상기지국_5를 통해 저궤도-2로 전송한다.

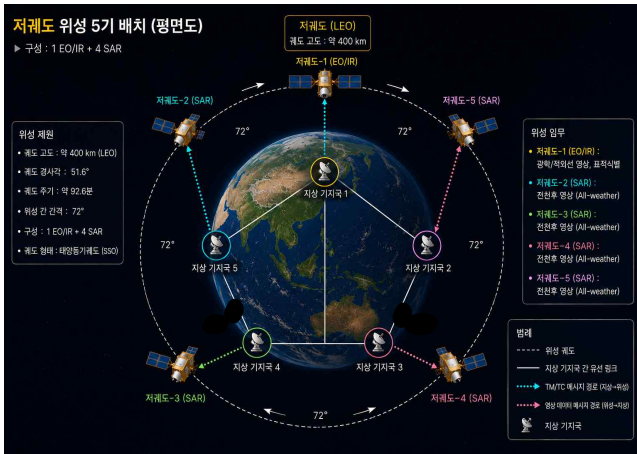


그림 2. 저궤도 위성 배치 및 운용

Fig. 2. LEO Satellite Deployment and Operation

그리고, 현재 많이 연구되고 있는 ISR Action 시간 동안 지상 기지국들과 데이터 중계하는 부분과 중궤도 및 정지궤도의 위성과의 통신을 수행하는 것들은 고려하지 않도록 한다.

3.2 모의실험

저궤도 위성의 고도는 400km 기준으로 지상 기지국과의 통신 가능 범위와 통신 가능한 영역의 계산은 지상 기지국에서 위성을 안정적으로 포착하기 위한 최소 고도각(Minimum Elevation Angle)을 일반적으로 적용되는 10도로 가정한다.

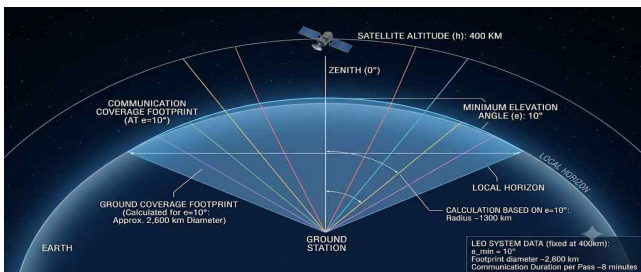


그림 3. 지상기지국 ↔ 저궤도 위성 통신 영역

Fig. 3. Ground station ↔ Low Earth orbit satellite communication range

또한, 통신 가능 영역(Footprint)는 최소 고도각 10도를 기준으로 지상 기지국을 중심 통신 가능 영역은 약 2,600km로 환산하였으며, <그림 3>에서와 같이 통신 가능 각도 범위는 천정각(Zenith, 0도)를 기준으로 위성이 통신 가능한 각도 범위를 도출하였다.

모의실험 환경은 <표 3>과 같이 구성하며 통신구간은 임무지시(Preorder), 정보수집 임무수행(ISR Action), 수집정보 다운로드(Report Download)로 구성한다. 임무지시는 S밴드를 이용하고 위성에서 수집된 데이터를 지상기지국으로 전송하는 수집정보 다운로드 X밴드를 이용한다.

표 3. 모의실험 환경

Table 3. Simulation parameters

파라미터	값
위성고도	400KM
위성속도	7.5Km/s
전송속도(S/X 밴드)	10Mbps/500Mbps
지상기지국 통신범위	2600Km
통신가능 최소고각	10도
위성/지상기지국 수	5/5개
위성방문수	100회
TC/TM // 수집정보 데이터	10Mbyte // 2Gbyte
일반상황	전반적인 수집정보(기존 설정 위치정보)
특정상황	특정지역에 대한 수집정보
유선구간 지연시간	233.4ms(망교환장비 53.4ms + 전송구간 180ms)

실험환경에서 저궤도 위성은 주파수 호핑 방식을 사용하고 있어 재밍은 멀티톤 방식을 사용하고 지속적인 잡음을 시간적인 확률로 0 ~ 50%까지 발생한다. 그리고 위성 방문 100회를 하나의 실험 단위로 정의하고, 일반상황과 특정상황을 1:2 비율로 랜덤하게 배치하며 특정상황이 한번 발생하면 위성 4회 방문시까지 연속해서 확인하며 재밍을별로 1000회의 몬테카를로 반복을 수행하여 평균 지연시간, 표준편차, 95% 신뢰구간 및 전송율을 산출한다[10].

업 링크 재밍에 의해 위성이 임무지시(특정상황)를 수신하지 못하는 경우, 기본 설정되어 있는 일반상황에 해당하는 수집정보이므로 임무 실패로 간주한다. 만일, 임무지시(일반상황)이면 정상적인 임무수행으로 판단한다.

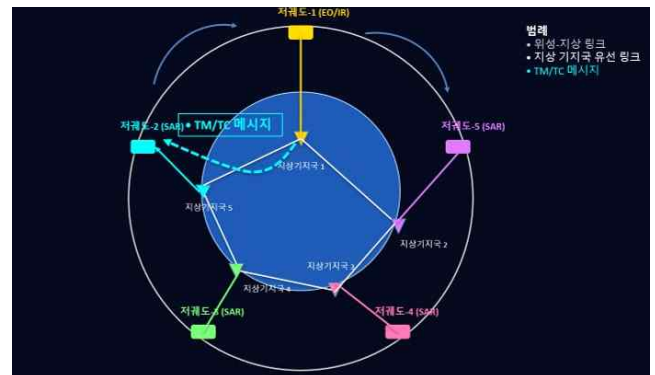


그림 4. GSMCR 저궤도 위성 운용 방식

Fig. 4. GSMCR LEO Satellite Operation Method

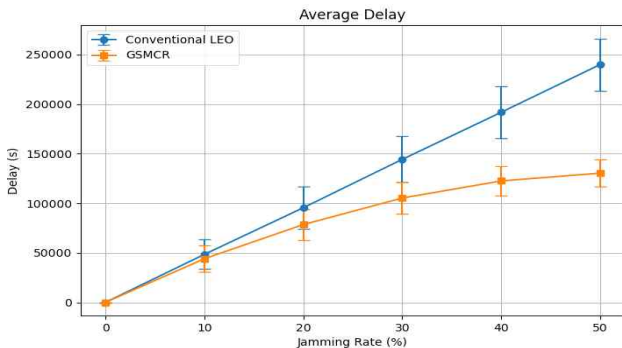


그림 5. GSMCR 평균 지연시간

Fig. 5. GSMCR Average Delay

평균 지연시간 그래프에서는 재밍율이 증가할수록 기존 저궤 위성 운용 방식의 지연시간이 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있다. 기존 방식은 지상기지국_1에서 전송한 TC/TM 메시지가 재밍으로 인해 전달되지 못할 경우 해당 임무 수행이 실패하며, 다음 위성 방문 시까지 추가 대기시간이 발생한다. 따라서 재밍율이 증가할수록 실패 횟수가 누적되어 전체 임무 완료 시간이 크게 증가한다.

반면 GSMCR은 지상기지국_1에서 전송에 실패한 임무지시를 지상기지국_5를 통해 후속 위성에 미리 전달함으로써 연속적인 재밍 상황에서도 임무 수행을 지속할 수 있다. 특히 연속적으로 발생하는 경우에 효과적으로 지연시간 증가율이 상대적으로 완만하게 나타난다. 재밍율 50% 환경에서는 기존 방식 대비 약 33% 이상의 지연시간 감소 효과를 확인할 수 있었으며, 이는 제안 알고리즘이 임무 연속성 확보에 효과적임을 보여준다.

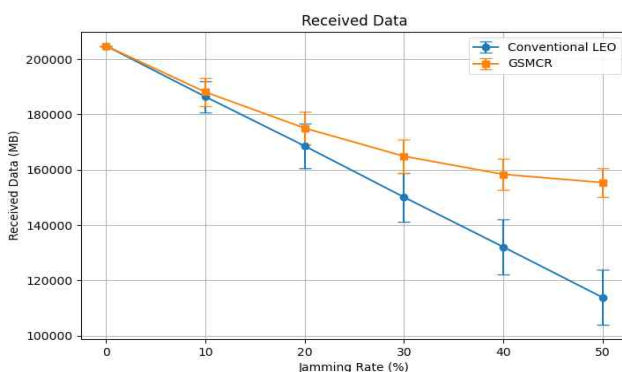


그림 6. GSMCR 수신 데이터

Fig. 6. GSMCR Reception Data

전송율 그래프에서는 재밍율 증가에 따라 두 방식 모두 감소하는 경향을 보이나, GSMCR이 전 구간에서 더 높은 전송율을 유지하는 것을 확인할 수 있다. 전송율은 단위 시간당 성공적으로 수신한 데이터량으로 정의되며, 지연시간 증가와

데이터 손실에 직접적인 영향을 받는다.

기존 방식은 재밍으로 인한 임무 실패가 발생할 때마다 ISR 데이터가 손실되고 추가 대기시간이 발생하기 때문에 전송율이 급격히 감소한다. 특히 재밍율이 30% 이상으로 증가하는 구간에서는 실패 횟수가 누적되면서 전송율 감소폭이 더욱 커지는 경향을 보인다.

반면 GSMCR은 임무지시 메시지를 사전에 캐시하고 후속 위성에 우회 전달함으로써 데이터 수집 성공률을 높인다. 또한 연속적인 재밍 상황에서도 임무를 유지할 수 있어 수신 데이터량 감소를 최소화하고 지연시간 증가를 억제한다. 그 결과 재밍율 50% 환경에서도 기존 방식보다 약 75% 높은 전송율을 유지하는 것으로 나타났다. 이는 GSMCR이 제한된 통신 환경에서도 ISR 정보 획득 효율을 향상시키는 효과적인 운용기법임을 의미한다.

4. 결론

본 논문에서는 다수의 저궤 위성과 지상기지국간 통신과 정에서 재밍에 의해 업로드 통신이 제한되는 경우를 대비하여 다음에 방문하는 위성에 실패한 임무수행 메시지를 전달하여 지속적인 재밍 상황을 극복할 수 있는 GSMCR(Ground Station Assisted Mission Cache and Relay Algorithm) 방식과 이러한 기능이 부재한 일반적인 방식을 비교 분석하였다. 저궤 위성은 제한된 가시시간 내에 임무지시(TC/TM)를 수신하고 ISR 임무를 수행하고 데이터를 지상기지국으로 전송해야 하므로 재밍에 의한 통신 장애는 임무 실패와 정보 획득 감소를 초래할 수 있다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 지상기지국 기반 임무 캐시 및 릴레이 기법인 GSMCR 알고리즘을 제안하였으며, 모의실험은 100회의 위성 방문과 1,000회의 몬테카를로 반복 수행을 기반으로 시간적인 확률을 기반한 재밍율(0~50%) 환경에서 진행하였다. 실험 결과, 기존 운용방식은 재밍율 증가에 따라 지연시간이 급격히 증가하고 수신 데이터량 및 전송율이 크게 감소하는 것으로 나타났다. 반면 GSMCR은 지상기지국_5를 활용하여 임무지시 메시지를 사전에 전달함으로써 연속적인 재밍 상황에서도 임무 수행 연속성을 유지하였다. 특히 재밍율 50% 환경에서 평균 지연시간은 기존 방식 대비 약 33% 감소하였으며, 수신 데이터량은 약 17% 증가하고 전송율은 약 75% 향상되는 결과를 확인하였다.

이는 제안한 GSMCR 알고리즘이 저궤도 감시·정찰 위성체계의 통신 생존성과 임무 성공률을 향상시킬 수 있음을 의미한다. 또한 별도의 위성 간 링크를 추가하지 않고 기존 지상기지국 인프라를 활용함으로써 구현 복잡도와 운용 비용을 최소화할 수 있다는 장점이 있다. 향후 연구에서는 실제 위성 궤도 정보, 가변 재밍 환경, 다중 지상기지국 협업 구조 및 위성군(Satellite Constellation) 기반 운용 환경을 반영한 확장 연구가 필요하다. 또한 인공지능 기반 재밍 예측 및 동적 임무 재할당 기법을 적용하여 보다 높은 수준의 자율적 위성 운용체계를 구현하는 추가적인 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 한양여자대학교 교내연구비 지원(2024년)으로 수행하였습니다.

References

- [1] Bryan Clark, Dan patt, Harrison Schrammi, "MOSAIC WARFARE", CSBA, pp. 1-86, 2020.
- [2] Seunghoon Jung, HyoJung Kim "A Study on the Defense Cloud Environment Method considering the MUM-T Mosaic Warfare" ITPM, vol.15, no.3, pp. 3259-3267, 2023,
- [2] 3GPP, "Study on new radio (NR) to support nonterrestrial networks," Tech. Rep. TR 38.811, Rel. 15, v15.1.0, 2019
- [3] Richard Varvill, "SKYLON Users' Manual," Reaction Engines Limited, Oxon, UK, 2014 Engineering and Design of Space
- [4] Ruf, C. S., Chew, C., Lang, T., Morris, M. G., Nave, K., Ridley, A., & Balasubramaniam, R., "A new paradigm in earth environmental monitoring with the CYGNSS small satellite constellation", Scientific reports, 8(1), 2018
- [5] 3GPP, "Study on new radio (NR) to supportnonterrestrial networks," Tech. Rep. TR 38.811, Rel. 15, v15.1.0, 2019
- [6] Ignatenko, V., Laurila, P., Radius, A., Lamentowski, L., Antropov, O., & Muff, D. "ICEYE Microsatellite SAR Constellation Status Update: Evaluation of first commercial imaging modes." IGARSS 2020-2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE, 2020.
- [7] Furkan Korkmaz, Michail Antoniou, "A New Concept of Contiguous-Swath SAR Imaging with High Resolution: Strip-Spot SAR", Sensors, vol. 22, 9153, 2022
- [8] Jinyoung Shin, Youngmin Hwang, "Design of Micro-Satellite Constellation for Reconnaissance of Korean Peninsula" JKSSAS, vol.50, no.6, pp. 401-412, 2022
- [9] D. Lee, B. Ko, and S. Kim, "Anti-Jamming Communications", KICS Info. & Commun.Mag., vol. 24, no. 10, pp. 24-33, 2022
- [10] Montenbruck, O., Gill, E., Satellite Orbit Models Methods Application, 1sted., Springer-Verlag, NewYork, 2000.

[저 자 소 개]



운 홍 (Hong Yoon)
2001년 2월 한국항공대학교 학사
2003년 2월 한국항공대학교 석사
2007년 8월 한국항공대학교 박사
2008년 12월 PR 프로모션 연구소장
2009년 1월 ~ 현재 국군방첩사령부 제직
email : yhlove00@naver.com



박종범(Jong Beom Park)
1992년 2월 광운대학교 학사
1994년 8월 광운대학교 석사
2001년 8월 광운대학교 박사
현한양여자대학교 IT콘텐츠융합과 교수
email : jbpark@hywoman.ac.kr