

기술논문

신호정보수집 위성 기술 동향

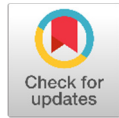
한종운, 이유선, 최동원, 박종환, 김홍래[†]

(주)솔탑

Trend of Satellite Technologies for Signal Information Acquisition

Jong-woon Han, Yoo-seon Lee, Dongwon Choi, Jonghwan Park, Hongrae Kim[†]

Soletop Co., Ltd., Daejeon 34051, Korea



Received: October 13, 2022
Revised: October 28, 2022
Accepted: November 4, 2022

[†]Corresponding author :

Hongrae Kim
Tel : +82-42-334-2001
E-mail : hrkim@soletop.co.kr

Copyright © 2022 The Korean Space Science Society. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Jong-woon Han
<https://orcid.org/0000-0001-5748-2598>
Yoo-seon Lee
<https://orcid.org/0000-0002-0611-9382>
Dongwon Choi
<https://orcid.org/0000-0003-4601-0135>
Jonghwan Park
<https://orcid.org/0000-0002-2255-0922>
Hongrae Kim
<https://orcid.org/0000-0002-4317-3919>

요약

신호정보위성은 수집된 신호를 바탕으로 신호원의 위치와 신호의 종류를 식별하는 위성이다. 이러한 신호정보위성은 영상정보위성에 비해 정확도가 떨어지지만 감시정찰자산으로 중요한 의미를 내포하고 있다. 냉전시대부터 현재에 이르기까지 신호정보위성의 기술 동향을 다룬다. 또한 본 논문에서는 저궤도 위성 기반 신호정보수집이 정지궤도 위성 기반 신호정보수집에 비해 갖는 장단점을 분석하였다.

Abstract

A signal information satellite is a satellite that estimates the location of a signal source on the earth and identifies the type of signal based on the collected signals. These signal information satellites are less accurate than image information satellites, but they have important implications as surveillance and reconnaissance assets. This paper covers the technological trends of signal information satellites from the Cold War era to the present. In addition, this paper shows the advantages and disadvantages of low earth orbit (LEO) satellite-based signal information collection compared to geostationary orbit (GEO) satellite-based signal information collection.

핵심어 : 신호정보, 저궤도 위성, 소형위성

Keywords : signal intelligence (SIGINT), low earth orbit (LEO) satellite, small satellite

1. 서론

신호정보(signal intelligence)는 통신감청(communication intelligence, COMINT)와 함정이나 지상의 레이더 등에서 발생하는 신호를 획득하는 전자정보(electronic intelligence, ELINT)를 의미한다[1].

미국과 소련이 1960년대부터 상호 감시를 위해서 위성시스템을 구축했으나, 구소련의 붕괴로 냉전시대가 무너지면서 군비경쟁에 안정적인 비용투입이 어려워 신호정보위성의 유지

가 어려워졌고, 동시에 상호 감시 필요성이 감소되었다[2,3]. 하지만 최근 신호정보가 상호 감청 외에도 국가간 분쟁 문제 해결(국경 분쟁, 불법 조업 감시)에 활용되고 있고, 숲 등에서 불법 사냥, 생활 신호 획득을 통한 도서지역 감시 등에도 사용될 수 있다. 이런 이유로 최근 많은 연구개발이 수행되고 있고 상용으로 신호정보를 서비스하는 곳도 생겨났다[4,5].

본 논문에서 냉전시대부터 현재까지 신호정보위성의 추세를 살펴보고 기술적인 사항과 성능을 살펴본다. 특히 미국, 러시아, 중국, 프랑스 등에서 발사한 대형위성 기반의 신호정보위성을 분석하였고, 뉴스페이스 시대에 맞춰 새로운 기업들이 신호정보취득을 위해 어떤 기술을 적용하였고, 고객들에게 어떤 서비스를 제공하는지를 살펴본다.

본 연구에서는 향후 본 연구팀의 목표로 고려하고 있는 저궤도 초소형위성 기반 신호정보 수집의 장단점을 무인기 기반의 신호정보 수집 임무와 정지궤도 위성 기반 신호정보 수집 임무와 비교하여 분석하였다. 또한 저궤도 초소형위성 기반 신호정보 수집을 위해서 어떤 기술들이 필요한지에 대해 알아보려고 한다.

2. 신호정보의 정의 및 필요성

본 논문에서는 다루는 신호정보란 각종 통신장비 및 전자장비에서 방출되는 전자기파를 기반으로 취득하는 정보를 의미한다. 이러한 정보를 생산하기 위해서는 신호를 수집하여 처리하고 분석하는 등의 제반활동이 포함된다. 신호정보는 전자기파의 종류에 따라 통신정보, 전자정보 등으로 분류된다. 통신정보(COMINT)는 사람과 사람간의 통신 내용을 바탕으로 취득한 정보를 의미하고 전자정보(ELINT)는 특정 시설로부터 방출되는 통신/비통신 전자기적 신호를 감지하고 분석하는 것을 의미한다. 전자정보는 레이더 신호부터 미사일 및 위성통신 등과 같이 지상통제소간 교신 내용을 포함한다.

신호정보수집은 크게 관심 위성의 주변으로 이동하여 신호를 수집하는 임무와 지상의 불특정한 신호를 수집하여 신호원의 위치를 파악하는 임무로 분류되게 된다. 전자는 목표하는 위성에 접근하여 근접 운용을 통해 신호를 획득하는 개념이며, 정지궤도에서 주로 활용되는 개념이다. 후자는 지상의 불특정한 신호원의 위치를 파악하기 위해 식별하게 위해 단일/편대비행 운용하는 개념이다. 2개의 임무 운용 모드가 같이 수행된다면 효과적으로 RF 측면에서 이상징후를 대응할 수 있게 된다.

전자의 대표적인 임무는 Mentor 4/Advanced Orion 위성이며, 동경 100도에 배치되어 있다가 이동하여 원하는 정보를 취득하였다. 점차 중국쪽으로 이동하여 중국의 RF 신호를 감시하거나 Fig. 1과 같이 Thuraya2 위성근처로 이동하여 아프가니스탄 및 파키스탄에서 발생하는 위성전화를 감청하여 정보를 수집하였다[6].

후자의 대표적인 임무로는 최근 발사된 HawkEye360이 대표적이다. 3개 위성이 편대비행하며 운용되고, 3개의 위성이 동일한 신호를 취득한 내용을 바탕으로 TDOA(time difference of arrival)/FDOA(frequency difference of arrival) 알고리즘을 이용하여 지상신호원의 위치와 속도를 추정한다[5].

신호정보위성은 위성영상으로부터 획득하지 못하는 정보를 획득하여 의사결정에 도움을 줄 수 있다. 위성영상은 정밀하고 고해상도 영상을 획득하지만 Fig. 2와 같이 좁은 대역폭으로 인해 광대역으로 발생하는 징후를 인지하기 쉽지 않다. 신호정보체계는 위성영상정보의

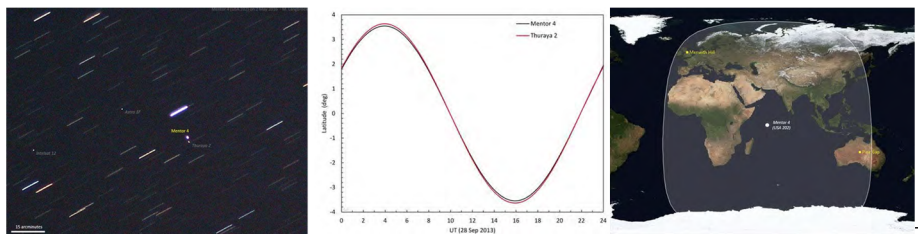


Fig. 1. 신호정보위성과 영상위성 관측폭 비교[6].

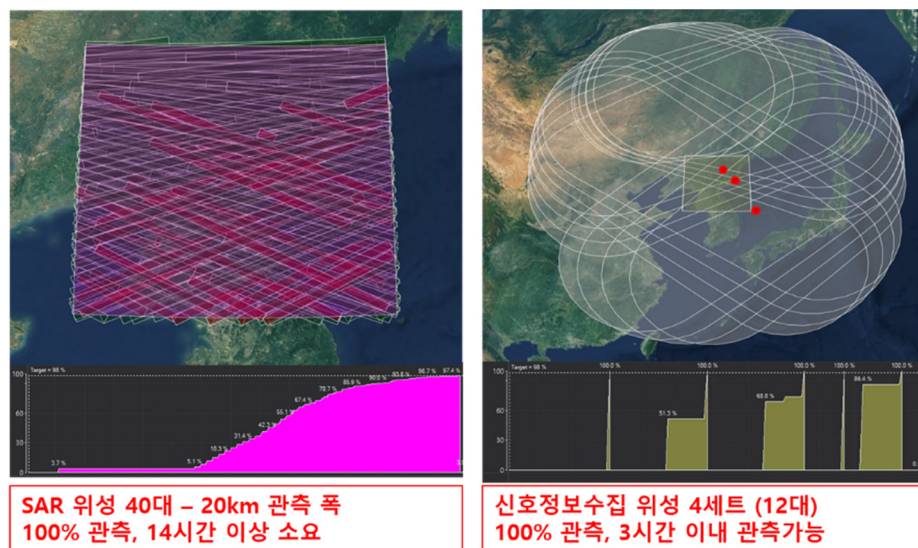


Fig. 2. 신호정보위성과 영상위성 관측폭 비교.

한계를 극복하고 탐지 및 공격에 이르는 합동작전에 활용하여 사용자의 의사결정을 신속하고 정확하게 할 수 있도록 도움을 준다.

특히, 한반도의 특성상 3면이 바다이고, 여러 국가와 exclusive economic zone에 대한 분쟁이 때문에 광역으로 감시가 필요하다. 특히 불법 어선, 선박 및 밀수 교류 감시 시 기존 자산인 무인기 등을 운용하기에는 날씨, 운용 거리 등에 한계가 있다. 뿐만 아니라 좁은 관측폭을 갖는 위성영상으로는 관심 지역에 대한 광대역 관측이 어렵기 때문에 신호정보위성을 통한 광범위한 관측이 필요하다.

3. 기존 신호정보위성 추세

3.1 미국의 신호정보 위성

미국 정부에서 운용한 SIGINT 위성 프로그램은 발사 년도 순으로 분류하면 Table 1과 같다. 동일한 시리즈로 여러 개 발사되기도 하였으나 시리즈별로 위성을 분류하였다. 신호정보 수집 위성은 주로 냉전시대에 주변국을 감시하기 위한 주요한 감시정찰 수단이었으나, 냉전 시대가 종료된 후에도 지속적으로 주요 지역에 대한 감시정찰 수단으로 운용하고 있는 것으로 알려졌다. 초기 형상을 제외하고는 대부분의 위성이 메쉬 소재 기반의 대형전개형 안테나를 사용하고 있으며[7], 점차 안테나가 대형화하는 추세였고, 적국을 감청하는 목적으로

Table 1. (Continued)

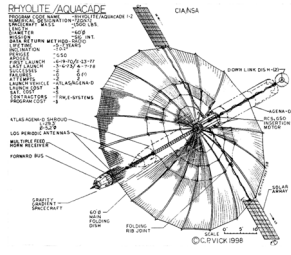
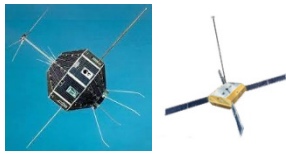
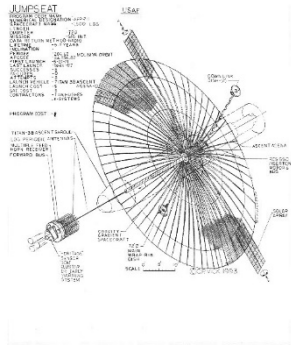
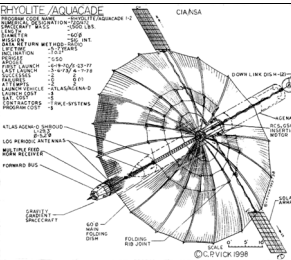
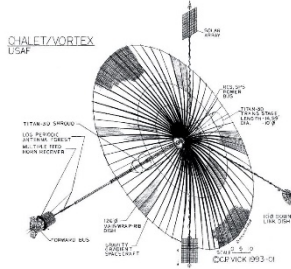
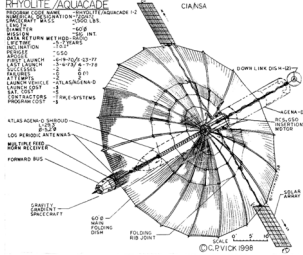
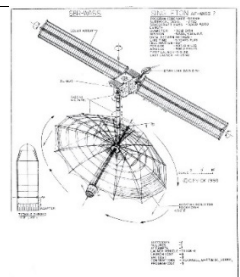
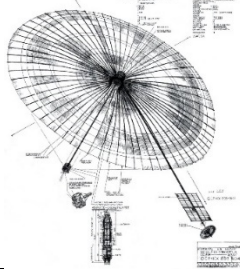
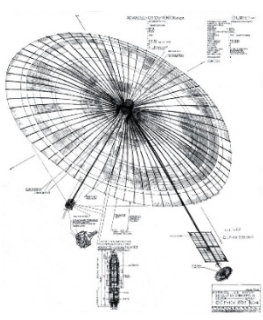
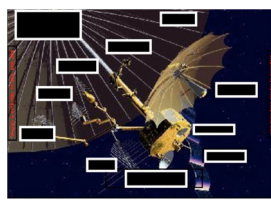
발사년도	프로그램 이름 (위성이름)	위성형상	특징
1970- 1973	Rhyolite		궤도: GEO 임무: 러시아와 중국의 미사일 통신 감시를 목적으로 발사됨. 인도-파키스탄 전쟁, 베트남 전쟁, 러시아의 ICBM 시험의 신호 수집에도 운용됨 운영기관: National Reconnaissance Office
1970- 2022	NOSS		궤도: LEO 임무: 해양감시를 주 목적으로 발사되었으며, 주로 선박과 비행기의 radio transmission 데이터를 수집 운영기관: US Navy
1971- 1983	Jumpseat		궤도: HEO 임무: 러시아탄도 미사일 경고 레이더 모니터링, microwave line-of-sight communications beams 차단, Molniya 궤도에서 운용되는 러시아 통신 위성의 상향/하향 링크 수집 운영기관: US Air Force
1975- 1978	Rhyolite-M		궤도: GEO 임무: 총 4대가 운용되었으며 40 m급의 안테나를 탑재하여 SIGINT 임무 수행 운영기관: CIA
1978- 1989	CHARLET/VORTEX		궤도: IGSO 임무: CANYON과 마찬가지로 대형안테나와 다중피더 보유 (38 m 크기의 안테나 보유) 운영기관: US Air Force

Table 1. (Continued)

발사년도	프로그램 이름 (위성이름)	위성형상	특징
1985- 1989	Aquacade		궤도: GEO 임무: Rhyolite 위성을 대체하는 위성. Aquacade 4의 경우에는 캄차카 반도 주변의 탄도미사일 차량과 러시아의 마이크로파 전송 등의 신호정보 수집에 이용됨 운영기관: National Reconnaissance Office
1990 -	SB-WASS		궤도: LEO 임무: NOSS 위성의 대체위성으로 적외선 센서를 이용하여 항공기와 선박 추적 임무 수행 운영기관: US Navy
1994- 1998	Mercury (Advanced Vortex)		궤도: IGSO 임무: Microwave를 주로 감청하며 민감도가 높아 휴대폰 및 기타신호 수집에 이용됨. 두 개의 위성을 동시 사용해 신호원 위치 추정 운영기관: USAF
1994- 1997	Trumpet		궤도: GEO 임무: Jumpseat 위성을 계승하는 프로젝트로 Jumpseat 위성과 동일하게 러시아 탄도 미사일 경고 레이더 모니터링, microwave line-of-sight communications beams 차단, Molniya 궤도에서 운용되는 러시아 통신 위성의 상향/하향 링크 수집 운영기관: US Air Force
1995- 2020	Mentor		궤도: GEO 임무: 5,200 kg 정도의 100 m 안테나를 가지고 있는 위성임. VHF부터 핸드폰 등을 감청하는 목적임 운영기관: NRO

SIGINT, signal intelligence; COMINT, communication intelligence; ELINT, electronic intelligence; LEO, low earth orbit; TDOA, time difference of arrival; GEO, geostationary orbit.

발사된 위성이 대부분이기 때문에 정지궤도에서 운용되었다. 대형전개형 안테나를 이용하여 안테나이득을 높이는 형태로 시스템이 구성되었고[8], 최근 발사된 위성 Trumpet의 안테나의 크기는 최대 150 m까지 증가하게 되었다. 대부분의 신호정보위성이 광대역으로 신호를 취득하는 것이 목표이기 때문에 log-periodic antenna를 다수 이용하여 안테나를 구성한 특징을 갖는 것을 Table 1을 통해서 알 수 있다.

3.2 러시아 위성

러시아의 신호정보위성은 Table 2에 정리하였으며, 초기에는 미국과 다르게 평판형 안테나를 이용하는 형태가 대부분이었고, 러시아에서 발사가 가능한 Molniya 궤도로 운용되었음을 알 수 있다. 최근 발사된 Pion-NKS의 경우 신호정보 외에 SAR 운용이 가능하도록 위성을 설계한 것이 특징이다. Pion-NKS는 2021년 6월에 소유주로 발사되었다.

Table 2. History of Russian SIGINT Satellites




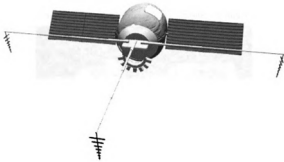
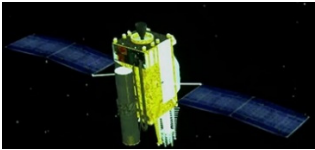
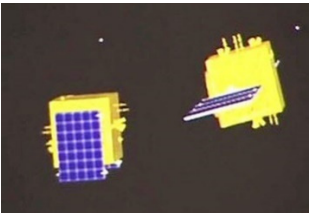

발사년도	프로그램 이름 (위성이름)	위성형상	특징
1960- 1992	Tselina		궤도: Molniya Orbit 임무: Tselina-O, D, R, 2 등 지속적으로 발전된 형태로 운용됐으며, 우주에서의 신호수집을 목표로 운용됨.
1970- 2006	US-A/P/PM (Upravlenkiye Sputnik Passivny)		궤도: Molniya Orbit 임무: 레이더를 이용해 군함발견 및 전파를 탐지하며 위치결정을 통하여 군함 및 잠수함의 대함 미사일 표적데이터 제공.
2009- 2021	Lotos		궤도: Molniya Orbit 임무: Tselina-2 대체하는 위성이며 장파장 신호 포착 능력을 향상했으며, 넓은 범위의 주파수 감지를 통해 위치결정 능력을 향상함. 정보를 디지털 신호로 변환하여 전송함.

Table 2. (Continued)

발사년도	프로그램 이름 (위성이름)	위성형상	특징
2013-	Pion-NKS		궤도: Molniya Orbit 임무: US-PM 과 US-A 를 대체하는 위성으로 SAR 페이로드를 탑재하여 신호 수신을 시간 공유 방식으로 동작하여 목표를 동시에 관찰 가능함.

SIGINT, signal intelligence.

Table 3. History of Chinese SIGINT Satellites

발사년도	프로그램 이름 (위성이름)	위성형상	특징
2002	Shenzhou		궤도: LEO 임무: 3개의 안테나를 이용하여 300-1,000 MHz 대역의 신호를 취득하여 신호발신지의 위치를 추정하는 TDOA 임무 수행. 7개의 안테나를 이용하여 AOA 수행
2015- 2021	Qianshao- 3(TJS)		궤도: GEO 임무: Ka-band 시험용으로 발사되었다고 발표되어 있으나 메쉬 안테나 외 여러 안테나들의 배치로 미루어 봤을 때 군용 SIGINT 용도로 의심됨 운영기관: CAST
2018- 2021	Yaogan-32- 01-01, 02		궤도: SSO 임무: 임무 목적은 공식적으로 발표된 바 없으나 발사 방송에서 유출된 정보를 기반으로 SIGINT 위성이라 추측됨 운영기관: CAST
2019- 2021	Ningxia		궤도: LEO 임무: 세계 최초의 상업적 용도의 EM spectrum signal monitoring 위성 운영기관: DFH Satellite

SIGINT, signal intelligence; LEO, low earth orbit; TDOA, time difference of arrival; GEO, geostationary orbit.

3.3 중국 위성

중국도 미국/러시아와 마찬가지로 비슷하게 신호정보획득 능력을 확보를 위해 노력해 온 것으로 알려졌다. 냉전시대에는 마오쩌둥의 지지를 받아 701 프로젝트를 통해 1970년대 신호정보 위성을 획득하기 위해 노력해 왔으나 정치적인 이유로 실패로 끝났다. 그 이후 중국의 경우 공식적으로 SIGINT 위성을 발사하고 운용한 사례를 발표한 바 없으나, 사진으로 보여지는 위성의 형태 혹은 메쉬를 이용한 대형전개형 안테나를 운용하는 등 안테나의 형태를 바탕으로 SIGINT 위성임이 추측 가능하다. 중국에서 발사된 위성들 중 신호정보 위성으로 추측되는 위성들은 Table 3과 같다.

3.4 프랑스 위성

프랑스 위성은 2000년대 초부터 저궤도에서 신호정보수집 위성을 운용하는 것을 목표로 개발해왔다. 2021년에 발사한 CERES는 3대의 위성이 편대를 이루어 운용되며 지상신호를

Table 4. History of French SIGINT Satellites

발사년도	프로그램 이름 (위성이름)	위성형상	특징
1999	Clementine		궤도: LEO 임무: 20 MHz-1 GHz 범위의 대상 지역의 저주파 전자 신호 수집 운용기관: DGA
2004	Essaim		궤도: LEO 임무: 지구 저궤도에서 4대의 120 kg 급 Microsatellites 군집을 통한 신호정보 수집 및 매핑 운용기관: DGA
2021	CERES		궤도: LEO 임무: 3대의 군집형태로 이루어진 ELINT 위성 시스템으로 지상 신호 감지 및 위치 추정 운용기관: DGA

SIGINT, signal intelligence; LEO, low earth orbit; ELINT, electronic intelligence.

감지하고 위치를 추정하는 임무를 수행하고 있다. CERES의 경우 0.5 GHz에서 40 GHz까지 신호를 취득할 수 있도록 시스템이 구성되어 있으며, ELINT 임무를 수행할 수 있도록 되어 있다. PRF의 경우 50~500 kHz, 펄스폭은 50 ns~500 us까지 관측이 가능한 것으로 알려져 있다. 또한 신호의 특징 외에 신호원의 위치 등을 추정할 수 있도록 시스템이 구성되어 있다 (Table 4).

4. 최근 신호정보위성 추세

앞의 위성들은 대부분 군사적 목적으로 정부에서 투자한 전통적인 위성 프로그램에 해당된다. 최근 뉴스페이스 시대에 맞춰 민간에서의 신호정보 위성이 많이 발사되어 서비스 중에 있다. 대부분 AIS 신호 획득 및 배포 또는 해안 감시에 그 목적을 두고 운용하고 있다. 현재까지 발사된 신호정보위성 및 서비스 형태는 Table 5와 같다. AIS 정보 획득 및 배포에 있어서 Spire가 현재까지 오랜 기간 서비스하고 있으며, RF 정보 획득 및 RF 방출 위치 추정에 대한 서비스는 HawkEye360에서 수행하고 있다.

전술한 바와 같이 대부분 AIS 탑재체에 초점이 맞춰져 있으며, 'RF 스펙트럼 모니터링'용으로 제한적인 주파수에 대해서 취득 가능하도록 개발되었다. 대부분의 신호정보취득을 위해 Cognitive Radio인 SDR(Software Defined Radio)을 이용하고 있다. HawkEye 360은 다양한 안테나를 탑재하고 있어 VHF, UHF, S-band, L-band 등까지 취득이 가능하도록 안테나 탑재를 하고 있는 것으로 보인다.

HawkEye360에서 서비스하고 있는 서비스 모델을 살펴보면 다음과 같다.

- 서비스 가능 주파수

- VHF Marine Communications (48 Channels), 156.050-157.425 MHz
- VHF Ch. 70 Digital Selective Calling (DSC), 156.525 MHz
- UHF Push-to-Talk, 462.5625-462.7250 MHz and 467.550-467.725 MHz
- L-Band Mobile Satellite Devices - GEO-Mobile Radio (GMR), 1,626.5-1,660.5 MHz
- GPS Interference, 1,547-1,576 MHz
- S-band 3.05 GHz Marine Radar
- X-band 9.375-9.454 GHz Marine Radar

- 임무 관련 서비스

- RF 신호 데이터 탐색: 지도상 표출, 히트맵 표시 등
- 해안 감시 정보: 선박 등록, 선박 추적, 선박 랑데부 탐지, 다크쉽 탐지

- 데이터 서비스(RF GEO, Fig. 2)

- RF 신호 탐지 및 위치 서비스

- 데이터 분석(SEAker)

- 선박 활동 감시

Table 5. 최근발사된 초소형 SIGINT 위성

발사년도	위성이름	위성형상	특징
2018-	Hawk Series		궤도: LEO 국가: 미국 임무: 3대의 편대비행을 이용하여 지상 위치원 추정 및 RF 스펙트럼 관측. 최근에는 광대역 관측을 위해 Spiral 안테나 이용 중. 운영기관: HakwEye360
2015-	Lemur Series		궤도: LEO 국가: 미국 임무: 상용서비스 중이며, AIS 및 ADS-B 데이터 수신 후 배포 중에 있음. 운영기관: SPIRE
2021-	Bravo/Charlie		궤도: LEO 국가: 미국 임무: RF 스펙트럼 모니터링 운영기관: SpaceQuest, Aurora Insight
2014-	Perseus-M		궤도: LEO 국가: 미국 임무: AIS 수집 운영기관: Aquila Space
2012-	ExactView Series		궤도: LEO 국가: 캐나다 임무: AIS 수집 운영기관: exactEarth / COM DEV / Myriota

Table 5. (Continued)

발사년도	위성이름	위성형상	특징
2017-	NORSAT Series		궤도: LEO 국가: 노르웨이 임무: AIS 수집 운영기관: Norsk Romsenter
2017-	HEAD Series		궤도: LEO 국가: 중국 임무: AIS 수집, 45 kg 중량, VEDS 및 ADS-B 탑재할 계획임. 운영기관: Head Aerospace
2019-	UnseenLab		궤도: LEO 국가: 프랑스 임무: AIS 및 RF 스펙트럼 모니터링
2021-	KSM Series		궤도: LEO 국가: 룩셈부르크 임무: AIS 및 RF 스펙트럼 모니터링

SIGINT, signal intelligence; LEO, low earth orbit.

HawkEye 360의 경우에는 우크라이나의 사례를 통해서 GPS Jamming 위치에 대한 추정 결과를 보여줬으며, 인도-중국 접경지역인 갈완 지역에 군사기지 설치 등의 활동을 RF 신호 탐지 및 위성영상의 융합을 통해 분석한 사례도 있다. 이런 형태의 서비스는 각 중앙정부 또는 지방정부에서 관할지역을 효과적으로 관리할 수 있는 수단이 될 수 있음을 보여주었다 (Figs. 3 and 4).

	RFGeo Historic <i>Understand RF activity changes over time</i>	RFGeo Tasked <i>Control where, when, and what to collect</i>	RFGeo Regional Awareness Subscription (RAS) <i>Monitor daily RF activity for key regions</i>
Description	Global historic catalog of RFGeo signal data 90 days past collection	Custom tasked collection request for customer-defined time, location, and signals of interest	Daily RF monitoring for pre-defined SOIs and regions around the world; 6-month or 12-month subscription
Ordering	API or HawkEye 360 Mission Management team	API or HawkEye 360 Mission Management team	API of HawkEye 360 Mission Management team
SOIs	Any from HawkEye 360's SOI catalog	Any from HawkEye 360's SOI catalog	<ul style="list-style-type: none"> VHF Marine Radios X-band L-band
Area of Interest	Global availability	Global availability	<ul style="list-style-type: none"> Mediterranean Sea Middle East
Delivery Methods	<ul style="list-style-type: none"> GeoJSON Mission Space RF analysis platform ArcGIS Pro Add-In 	<ul style="list-style-type: none"> GeoJSON Mission Space RF analysis platform ArcGIS Pro Add-In 	<ul style="list-style-type: none"> GeoJSON Mission Space RF analysis platform ArcGIS Pro Add-In

Fig. 3. HawkEye 360 RFGeo service type.

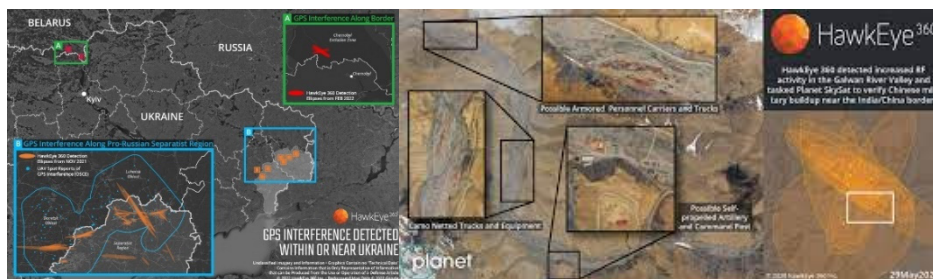


Fig. 4. HawkEye 360 Analysis Cases (Left, Ukraine GPS Jamming; Right, India-China Border).

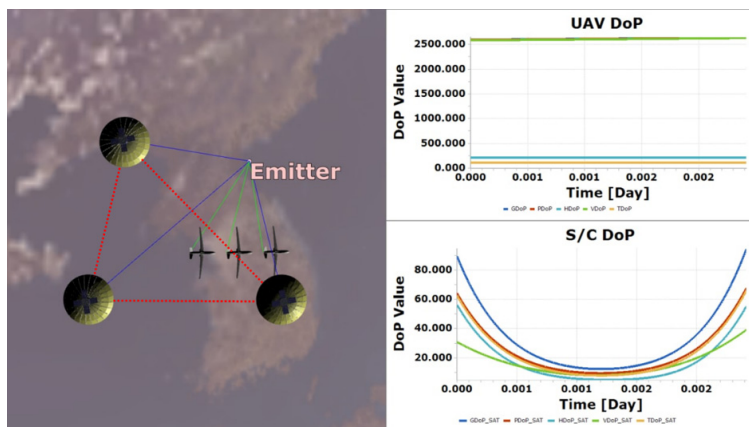


Fig. 5. Comparison of DOP and configuration between aerial vehicles and satellites. DOP, dilution of precision.

5. 저궤도 위성 신호정보 수집의 장단점

5.1 무인기와 비교

전쟁상황에서 무인기 기반 신호정보수집은 위성에 비해 높은 기동력과 적진의 근접 관측이 가능하기 때문에 장점이 많다. 하지만 평시에는 주변국의 공역을 비행하기 어렵기 때문에

신호정보에 대한 감시정찰의 제약사항이 많다. 이로 인해 유인기 또는 무인기로는 위성에 비해 낮은 고각으로 관측해야 한다. 낮은 고각으로 운용시에는 주변의 여러 잡음으로 인해 신호대잡음비(Signal-to-Noise Ratio, SNR)가 좋지 않게 될 수 있고, 위치 추정을 위한 기하학적 배치가 불리하여 상대적으로 낮은 위치 추정 정밀도를 갖는다. 이에 반면 위성은 높은 DOP(dilution of precision)를 생성함과 동시에 신호가 대기 및 지형을 통과하는 거리가 무인기에 비해 짧아서 훨씬 유리하다(Fig. 5).

5.2 정지궤도와 비교

냉전시대 때 대부분의 신호정보 위성이 Molyina 궤도 또는 정지궤도(GSO 또는 GEO)에서 운용되었다. 이는 정확한 위치를 찾아내는데 목적을 두기 보다, 감시공백을 없애고 연속적으로 신호를 감청하기 위한 목적이 있었다. 저궤도 위성은 AoI 관측을 연속적으로 할 수 없는 단점이 존재하지만 상대적으로 작은 안테나로 신호를 취득할 수 있다는 장점이 있다.

현재 한반도에서 정지궤도로 위성을 직접 발사하는 것이 불가능하고, 타국 발사체로 발사한다고 하더라도 정치적인 이유로 불가할 가능성이 높다. 이러한 제약조건은 기존의 대부분의 신호정보 위성을 운용하고 있는 국가들이 자국발사체를 보유하고 있는 것과 연관이 있다.

전술한 바와 같이 동일한 신호세기의 지상신호를 저궤도와 정지궤도에서 각각 수신시 6 dB 이상의 SNR을 얻기 위해서 전개형 안테나에 필요한 안테나 이득과 안테나 크기는 다음 Table 6와 같다. 이때 저궤도 위성은 최대 45° 자세를 틀어서 본다고 가정하고, 정지궤도는 바로 직하방향을 본다고 가정하였으며, 공통적으로 Noise Figure를 6 dB로 설정하고 자유공간 손실만 고려하여 계산한 결과이다. 안테나 효율은 30%를 가정하여 안테나 크기를 계산하였다. 분석 결과를 통해 정지궤도에서는 신호 종류에 따라 30 m 크기의 안테나가 필요한 것을 알 수 있다. 신호의 종류가 더 다양하다고 하였을 때, 요구되는 안테나는 훨씬 더 클 수 있다.

또한 동일하게 3개 위성을 이용하여 동일한 규격으로 위성간 시간동기(100 ns 이하)와 위치 오차(30 m)가 가능하고 동일한 편대형상을 갖는다고 가정하면 저궤도와 정지궤도위성이 갖는 GDOP는 Fig. 6과 같이 획득된다. 저궤도에서는 관측범위 내에서 20 km 이내의 위치 추정오차를 갖는데 정지궤도에서는 300 km 정도 획득됨을 알 수 있다. 또한 위성이 일자로 배

Table 6. Gain and antenna size required for SIGINT on GEO and LEO

SNR > 3 dB 이상 요구	UHF Push-to-Talk	L-band SAT COM	X-band Radar
안테나 이득	(400 MHz-0 dBW, 10 kHz)	(1.6 GHz, EIRP = 0 dBW, 200 kHz)	(9 GHz, EIRP = 30 dBW, 100 MHz)
LEO (500 km w/ 45도 자세)	-11.738 dBi	13.314 dBi (0.51 m)	26.221 dBi (0.4 m)
GEO (35,786 km)	22.959 dBi (5.49 m)	48.010 (27.39 m)	60.918 (19.39 m)

SIGINT, signal intelligence; GEO, geostationary orbit; LEO, low earth orbit; SNR, signal-to-noise ratio.

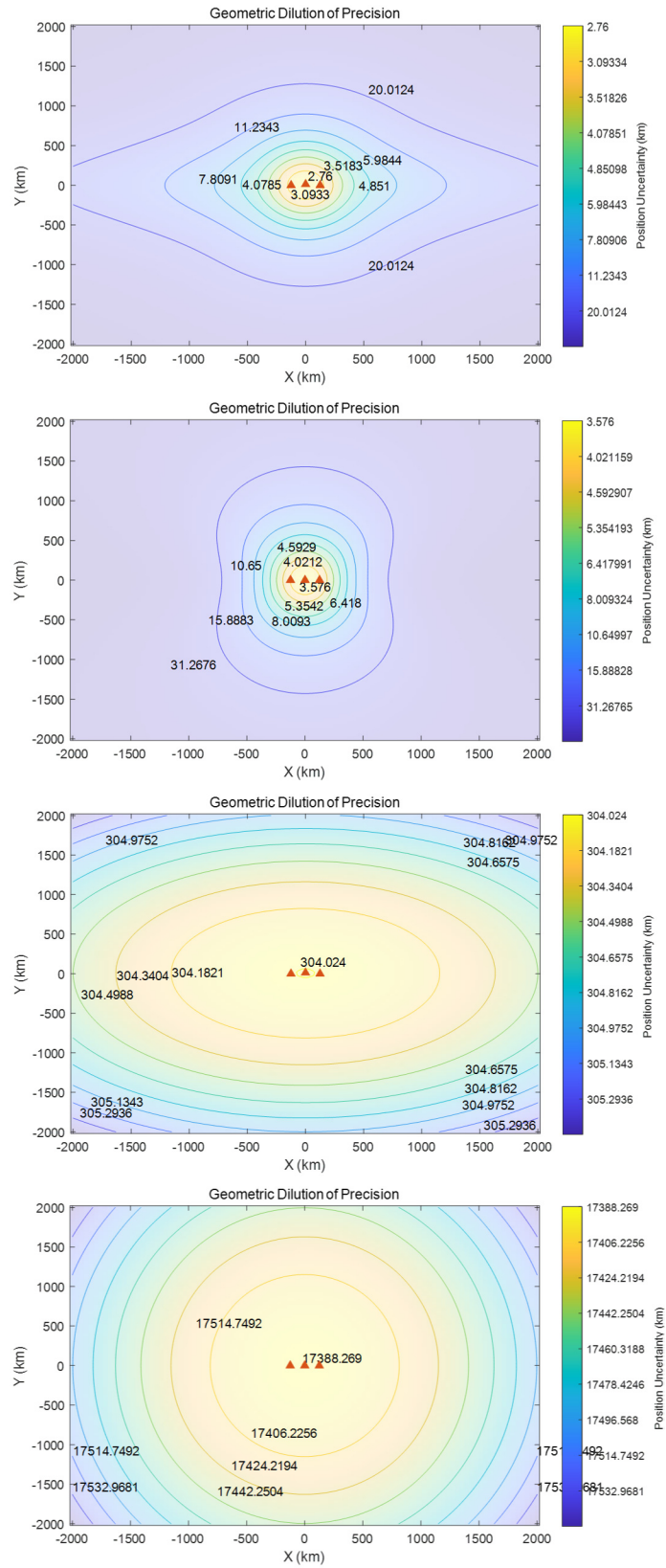


Fig. 6. Comparison of DOP between LEO Satellite and GEO Satellites. DOP, dilution of precision; LEO, low earth orbit; GEO, geostationary orbit.

치되는 형상에서 정지궤도 위성의 경우 수만 km까지 오차가 발생할 수 있고, 이는 저궤도 위성에 비해 신호원 위치 추정의 정확도가 낮을 수 있다는 것을 의미한다.

정지궤도가 갖는 장점은 지속적인 관측이 가능하다는 점이 있다. 저궤도 위성은 특성상 관측시간이 짧아 지속적인 관측이 불가능하며 군집운용을 통해 이를 보완이 가능하나, 정지궤도만큼 지속적인 관측을 위해서는 위성이 수십 개가 필요하다.

다만 저궤도 위성 발사는 국내에서도 가능하고 궤도확보에 제약이 없다. 또한 상대적으로 작은 크기의 안테나만을 가지고도 신호정보를 취득 가능하고, 지상신호원 위치 추정 정확도가 높다는 장점을 갖는다는 것을 알 수 있다. 때문에 위성 발사를 위해서는 요구되는 성능, 임무, 개발 비용, 운용 비용 등 종합적으로 절충분석이 필요하다.

5.3 연구 필요 기술

저궤도 위성 기반 신호정보수집을 위해서는 다음과 같은 기술 연구가 필수적이다.

- 신호정보위성 운용개념
- 신호원 위치 추정 알고리즘 연구
- 신호 식별 알고리즘 연구
- 광대역 안테나
- 대형전개형 안테나
- 신호수집장치

국내 상황에 맞는 신호정보위성의 운용개념이 필요하며, 이에 따른 시스템 아키텍처, 임무 및 지원 방안, 궤도 운용, 자세 운용, 데이터 흐름에 대한 연구가 필요하다. 국내에서 무인기를 이용한 연구는 많이 수행되어 왔으나 위성에 대한 연구사례가 부족한 분야이기 때문에 향후 '설계 참조 임무(design reference mission)'에 대한 연구가 진행되어야 한다.

광대역으로 수신가능한 안테나에 대한 연구개발이 필요하다. 우선적으로 관측대상이 되는 신호원의 종류와 주파수가 Fig. 7과 같이 넓은 범위를 갖기 때문에 광대역으로 수집가능해야 한다. 하지만 저궤도 위성의 경우 대기 항력등으로 인해 안테나를 무한정 크게 탑재하지 못하는 단점으로 인해 넓은 주파수를 커버하도록 다수의 피더 장착에 한계가 있다. 저궤도 위성에서는 가능한 최소의 피더를 구성하여 시스템 복잡도를 낮춰야 한다.

또한 안테나 피더만 가지고 신호식별을 위한 신호 획득에 어려움이 있으므로 저궤도에서 운용가능한 수준의 대형안테나 연구가 필요하다. 특히, 대형 전개형 안테나의 경우 국내 연구사례가 부족한 분야로 많은 연구가 요구된다. 대형 안테나 피더로 선택가능한 형태는 원뿔안테나 또는 로그주기안테나가 활용 가능하다.

또한 다양한 방법으로 신호를 수집하여야 하기 때문에 넓은 대역폭으로 신호를 저장할 수 있는 Cognitive Radio 기술이 필수적이다. 특히 다양한 주파수 및 대역폭으로 신호를 탐색하고 이를 디지털신호로 취득하는 기술이 필요하며, 해당 기술을 신호수집장치로 개발하여 우주용 탑재체로 활용 가능해야 한다.

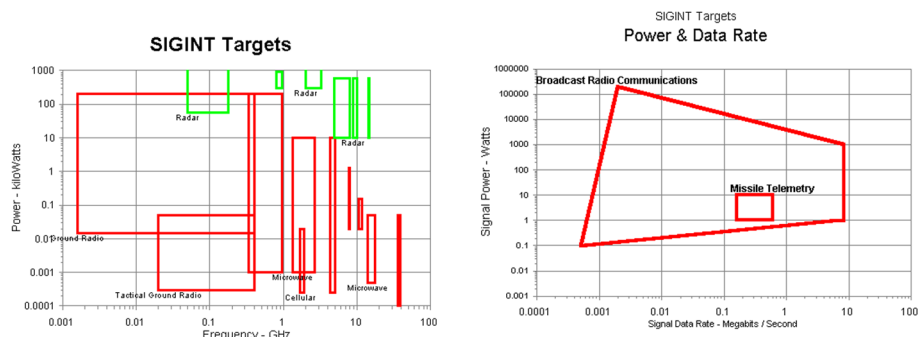


Fig. 7. SIGINT target area [7]. SIGINT, signal intelligence.

운용 및 핵심 하드웨어 기술을 바탕으로 취득된 신호정보는 지상신호원에 대한 위치 추정 이 가능해야 한다. 이러한 TDOA/FDOA 알고리즘은 무인기에서도 많이 수행되어 왔으나, 위성에서 광범위한 영역에서 취득되는 신호정보를 TDOA/FDOA 알고리즘을 통해 다수의 신호 원의 위치를 찾아내는 것은 무인기와 다른 상황이며, 국내에서 연구사례가 많지 않다. 게다가 TDOA/FDOA를 위해서는 위성 간 시간동기, 위성동기 등이 이루어져야 정확한 추정이 가능한데 이러한 측면에서도 연구가 지속될 필요가 있다.

마지막으로 취득된 RF 신호를 바탕으로 신호원의 특성을 파악하는 기술이 필요하다. 해당 기술은 국내에서도 딥러닝 기술을 이용하여 많이 연구되고 있다. 딥러닝 기술은 위성영상과 유사하게 사전학습을 통해 식별이 가능한 모델을 만드는 데 활용된다. 딥러닝 신호식별 기술은 수신된 신호를 바탕으로 신호원의 변복조 및 속도를 추정하게 된다. 이를 바탕으로 사전에 구축된 데이터베이스에 근거하여 신호원이 무엇인지 매칭하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있다. 이러한 딥러닝 신호 식별 기술은 많이 연구되고 있으나 위성에서 수신된 신호처리에 대한 기술은 위성이 운용되기 전에 확보되어야 하는 기술이다.

6. 결론

본 논문에서는 저궤도 위성 기반 신호정보위성의 필요성을 설명하였고, 기존에 발사된 신호정보 위성과 최근 신호정보위성의 추세를 살펴보았다. 과거에서 현재까지 꾸준히 주요 국가들이 신호정보위성을 운용 및 유지 증임을 확인할 수 있었다. 기존 신호정보위성이 정지궤도 위성 기반 신호정보 취득을 하는데 반면, 최근에는 저궤도 군집위성으로 운용하는 형태로 추세의 변화를 확인하였다.

또한, 저궤도 위성 기반 신호정보획득의 장단점을 무인기 기반 신호정보자산과 정지궤도 위성 기반 신호정보자산과 비교하여 분석을 수행하였다. 저궤도 위성 기반 신호정보체계를 이용 시 무인기 및 정지궤도에 비해 갖는 단점들이 존재하지만 정확한 신호 위치 추정과 신호 획득에 용이함을 알 수 있었다.

마지막 향후 국내 연구 기반 수립을 위해 저궤도 위성 기반 신호정보수집 위성에 필요한 필수 기술에 대해서 정리하였으며, 향후 국내에서도 신호정보수집 위성 기술에 대한 연구 기반이 확장되기를 기대한다.

감사의 글

이 연구는 2021년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 미래도전국방기술 연구개발사업(No. 915032201).

References

1. O'Donoghue NA, Emitter Detection and Geolocation for Electronic Warfare (Artech House, Norwood, MA, 2019).
2. Aid MM, Wiebes C, Secrets of Signals Intelligence during the Cold War and Beyond (Psychology Press, London, UK, 2001).
3. Desmond B, Signals Intelligence in the Post-cold War Era: Developments in the Asia-Pacific Region (Institute of Southeast Asian Studies, Singapore, 1993).
4. Whittaker PE, Hodgart MS, Small satellite SIGINT payload, Proceedings of the IEEE 2000 National Aerospace and Electronics Conference (NAECON 2000), Dayton, OH, 10–12 Oct 2000.
5. Sarda K, CaJacob D, Orr N, Zee R, Making the invisible visible: precision RF-emitter geolocation from space by the hawkeye 360 pathfinder mission, in Small Satellite Conference, Sorrento, Italy, 28 May–1 Jun 2018.
6. The Space Review, A NEMESIS in the sky (2016) [Internet], viewed 2022 Dec 4, available from: <https://www.thespacereview.com/article/3095/1>
7. Global Security, SIGINT Targets (2022) [Internet], viewed 2022 Dec 4, available from: <https://www.globalsecurity.org/space/systems/sigint-targets.htm>
8. Imbriale WA, Gao S, Boccia L, Space Antenna Handbook (John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2012).

Author Information

한 중 훈 jwhan@soletop.co.kr



한국과학기술원에서 항공우주공학 전공으로 2017년 학사학위를 취득하였다. 2021년부터 (주)솔탑 주임연구원으로 재직 중이며, 관심분야는 초소형위성 임무 분석 및 시스템 설계이며, 현재 초소형위성개발 사업에 참여하고 있다.

박 중 환 jhpark@soletop.co.kr



단국대학교에서 통신 및 전자파 석사를 취득했다. 2007년부터 (주)극동통신/(주)하이계인안테나에 재직하면서 다양한 안테나 개발 과제에 참여하였다. 2022년부터 (주)솔탑에 입사하여 위성시스템연구소의 수석연구원으로 재직 중이다. 현재 각종 초소형위성용 안테나 프로젝트에 참여하고 있다.

이 유 선 yslee@soletop.co.kr



2021년 일본문리대학교 항공우주공학과 학사학위를 취득하였다. 2021년부터 2022년까지 (주)에어로매스터에 재직하였고, 2022년 (주)솔탑에 입사하여 연구원으로 재직중이다. 관심분야는 초소형위성 시스템 개발이며, 현재 초소형위성 개발 사업에 참여하고 있다.

김 흥 래 hrkim@soletop.co.kr



한국항공대학교에서 항공우주공학 박사학위를 취득했다. 2015년부터 (주)솔탑에 입사하여 초소형위성연구팀의 팀장으로 재직중이다. 관심분야는 초소형위성 임무 및 시스템 개발으로 2U 위성에서부터 마이크로위성에 대한 프로젝트에 다양하게 참여하고 있다.

최 동 원 dwchoi@soletop.co.kr



2010년 단국대학교 통신 및 전자파 석사학위를 취득하였다. 2010년부터 2012년까지 엠티지에 재직하였고, 2012년부터 2014년까지 브이투알에 재직하였고, 2014년부터 2016년까지 엠티지에 재직하였고, 2022년 (주)솔탑에 입사하여 선임 연구원으로 재직 중이다. 관심분야

는 통신 및 전자파이며, 현재 초소형위성 개발 사업에 참여하고 있다.