

무인 항공시스템의 위성링크와 위성방송시스템 간 간섭 분석

이희수*, 오왕록^o

Interference Analysis Between UAS's Satellite Data Link Systems and Satellite Broadcasting Systems

Huisoo Lee*, Wangrok Oh^o

요약

동일 주파수를 사용하는 무인기 위성링크와 통신 위성의 수가 크게 증가함에 따라 상호 간섭이 발생할 수 있고 무인기의 소형경량화에 따라 무인기에 장착되는 위성안테나의 크기가 줄어들어 인접 위성 간섭이 무인기 위성링크 성능에 영향을 줄 수 있다. 또한 한반도의 지리적 특수성으로 인하여 인접국의 위성방송시스템이 밀집해 있어 무인기 위성링크와 타 위성시스템들 간 간섭 분석이 필요하다. 본 논문에서는 위성방송시스템과 무인기 시스템의 위성 제어 (TC, Tele-Control) 링크 간의 간섭에 대한 분석을 수행하였으며 이를 통해 인접 위성 간섭 하에서 무인 항공시스템의 위성링크의 안정성을 확보할 수 있는 설계 방안을 제안하였다.

Key Words : UAS, satellite datalink, satellite broadcasting, interference analysis

ABSTRACT

As the number of UAS's (Unmanned Aerial Systems) satellite data link systems which use same frequency band with commercial communications satellites, the interferences between two systems are increasing. On the other hand, due to the requirements on the size and the weight of UAS, the size of satellite antennas is decreasing and thus, the interferences to the UAS's satellite data link from other systems become more severe. In the vicinity of the Korean peninsula, satellite broadcasting systems of neighboring countries are densely packed and thus interference analysis between UAS's satellite links and other satellite systems should be preceded. In this paper, we analyze the interference between satellite broadcasting systems and satellite control (TC, Tele-Control) links of UAS and we propose a scheme to derive system parameters for the TC links of UAS.

I. 서론

세계 1차 대전 중 사용되기 시작한 무인기는 1990년대 이후 군사적 목적으로 주목받았고, 2000년대 이후 군사적 용도 이외에 물류 및 통신을 비롯한 산업

전반에서 활용도가 높아지고 있다. 무인기 시스템 활용 분야가 넓어짐에 따라 가시권 (LOS, Line Of Sight) 영역을 넘어서는 넓은 영역에 대한 감시 정찰 및 물류 배송 등이 가능하도록 항공기 전용 위성링크에 대한 연구가 국내외에서 활발하게 진행되고 있다.

* 본 논문은 2022년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다. (2021RIS-004)

• First Author : Agency For Defense Development, leehuisoo@add.re.kr, 정회원

^o Corresponding Author : Dept. of Information Communications Eng., Chungnam National University, kingrock@cnu.ac.kr, 종신회원
 논문번호 : 202204-057-A-RE, Received April 21, 2022; Revised May 24, 2022; Accepted June 23, 2022

무인기 시스템의 위성링크는 가시권 영역에서 무인기 주 링크로 운용되는 가시선 링크의 보조 링크로, 비가시권 (BLOS, Beyond Line Of Sight) 영역에서 주 링크로 활용되며 넓은 영역에 대한 정찰을 수행하는 무인기의 임무 수행에 필수 요소로 자리매김하고 있다.

최근 민수 및 군에서 운용하는 무인기의 수가 크게 늘고 있고, 여러 나라에서 운용하고 있는 통신 위성의 수가 운용 적정 수를 초과하고 있어 국내외에서 다양한 위성시스템 간 간섭에 대한 다양한 연구가 수행되고 있다¹⁻⁴⁾. 운용하고 있는 무인기와 통신 위성의 수가 늘어남에 따라 무인기의 위성링크와 위성 방송 통신 시스템과의 상호 간섭이 발생할 수 있으며 이는 무인기 위성링크 설계에 중요한 고려 요소이다. 더욱이 무인기의 소형화 및 경량화 추세에 따라 무인기에 장착되는 위성안테나의 크기가 줄어드는 추세이며 이로 인하여 인접 위성으로부터의 간섭이 더욱 증가하고 있다. 또한 한반도의 지리적 특성으로 인하여 위성 방송시스템들이 밀집해 있어 무인기 위성링크와 타 위성시스템들 간 간섭을 분석하고 이에 부합하는 위성 안테나 설계 요구 조건들을 도출해야 안정적인 무인기 위성링크 설계가 가능하다.

본 논문에서는 위성방송시스템과 무인기 시스템의 위성 제어 (TC, Tele-Control) 링크 간 간섭에 대한 분석을 수행하였으며 이를 통해 인접 위성 간섭 하에서 무인 항공 시스템의 위성링크의 안정성을 확보할 수 있는 설계 방안을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서 시스템 모델과 간섭 분석 기법을 제안하고 간섭분석을 수행한다. 마지막으로 III장에서 결론을 맺는다.

II. 본 론

2.1 시스템 모델

무인기의 위성링크는 일반적으로 그림 1과 같이 도식화할 수 있다. 무인기의 위성링크는 위성 제어링크와 위성 상태 (TM, TeleMetry) 링크로 구성되고 운용 주파수는 대부분의 국가에서 Ku-Band를 사용하며 일부 국가에서 Ka-Band를 사용하는 경우도 있다.

국내외에서 방송 및 통신 서비스를 위한 다수의 정지궤도 위성들을 운용하고 있으며 2000년대 이후 위성 활용도가 높아짐에 따라 운용 위성의 개수가 크게 증가하고 있다. 2020년 기준 약 550 여기의 정지궤도 위성들이 운용 중이며 이는 국제전기통신연합 (ITU-R, International Telecommunication Union Radio-communication)에서 권고하고 있는 적정 운용

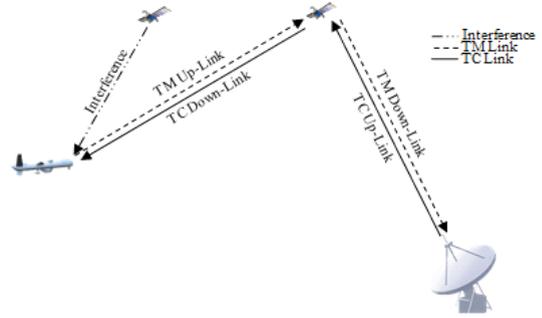


그림 1. 시스템 모델
Fig. 1. System model

표 1. 한반도 주변을 지향하고 있는 Ku-Band 정지궤도 위성
Table 1. GEO satellites oriented near the Korean Peninsula using Ku-band

위성 명	위 치	서비스 구분
ChinaSat 10	E110°	방송 및 통신
KoreaSat 5A	E113°	
KoreaSat 6	E116°	
Thaicom 4	E119°	

위성 수 350개를 크게 넘어서는 수치이다. 정지궤도 위성들 중 한반도 및 주변을 지향하는 위성은 적도상 공 E 110° ~ E 120° 사이에 중점적으로 위치해 있으며, 현재 운용 중인 한반도 및 주변국을 지향하는 대표적인 Ku-Band 중계기 현황을 요약하면 표 1과 같다⁵⁾.

표 1에서 KoreaSat 6의 한반도 빔과 Thaicom 4의 3번 방송 빔 패턴은 그림 2와 같으며, 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 두 빔의 중첩이 발생하는 영역이 한반도 주변에 넓게 분포하여 같은 주파수를 활용하는 시스템이 있을 경우 상호 간섭으로 인한 성능 열화가 발생할 수 있다.

상호 간섭이 발생할 수 있는 환경에서 운용되는 위성링크 시스템 설계 시에는 기 운용 중인 시스템으로부터 유입되는 간섭을 고려하여야 하며 이를 위해 간섭분석이 반드시 선행되어야 한다. 일반적인 통신 시스템 간 간섭 분석은 실측 기반으로 수행되나 위성시스템 간 간섭 분석은 서비스 영역이 넓은 지정학적 특성으로 인해 실측이 쉽지 않을 뿐만 아니라 많은 시간과 비용이 소요된다.

본 논문에서는 무인기 위성링크와 위성 서비스 영역이 넓은 방송시스템 간 간섭을 모의실험을 통해 분석하는 방안을 제안한다. 제안하는 간섭 분석 기법은 모의실험을 통해 수행할 수 있는 장점이 있어 실측 기

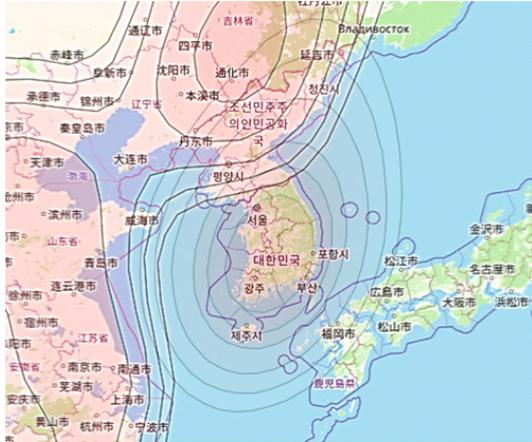


그림 2. 한반도 인근을 지향하고 있는 정지궤도 신호 간 상호간섭
 Fig. 2. Mutual interference between GEO satellites oriented near the Korean Peninsula

반 간섭 분석의 문제점들을 해결할 수 있다. 또한 제안하는 기법은 약간의 수정을 통해 다양한 위성통신 시스템 간의 간섭 분석에 활용할 수 있는 장점이 있다.

무인기의 위성링크는 그림 1과 같이 탑재 위성장비와 지상 위성장비로 구성된다. 지상 위성장비는 크기에 대한 제약이 없으나, 탑재 위성장비는 비행체 탑재를 고려해야 하므로 크기에 대한 제약이 크다. 지상 위성장비는 크기에 대한 제약이 없어 좁은 빔 패턴을 제공하는 대형 안테나를 사용할 수 있어 인접위성 간섭에 의한 영향이 적은 반면 탑재 위성장비는 소형/경량화에 대한 요구사항으로 인하여 소형 안테나 채택이 불가피하고 이로 인하여 인접위성간섭에 의한 영향을 크게 받는다. 본 논문에서는 제안하는 간섭 분석 기법을 활용하여 주어진 간섭 환경에서 최소 요구 성능을 만족하는 탑재 위성장비의 요구조건을 도출하는 방안을 제안한다.

2.2 간섭분석

위성시스템에서의 간섭은 내부 시스템 간섭과 외부 시스템 간섭으로 분류할 수 있다. 외부 시스템 간섭은 위성 망 간 간섭과 위성 망과 지상망과의 간섭으로 분류할 수 있다.

상향 링크 (UL, Uplink) 간섭은 지상에서 위성으로 송출하는 경우와 무인기 탑재장비에서 위성으로 송출하는 경우 발생할 수 있다. 지상 장비에서 위성으로 송출하는 상향링크는 위성안테나의 크기에 대한 제한 없기 때문에 상대적으로 좁은 빔 패턴을 형성할 수 있

어 간섭 인가 양이 적고, 탑재장비에서 위성으로 송출하는 상향 링크는 탑재장비의 상대적으로 작은 출력으로 신호를 송출하여 간섭 인가 양이 적기 때문에 간섭 인가 양이 미미하다. 따라서 본 논문에서 제안하는 간섭 분석 기법은 위성 망간 간섭 중 위성 하향 링크 (DL, Down link) 간의 간섭으로 제한하였다.

위성 하향링크 간섭이 없는 경우 무인기에서 수신한 위성 제어링크의 수신 반송파 대 잡음비, $(C/N)_T$ 는 식 (1)와 같이 나타낼 수 있다. 여기에서 $(C/N)_U$ 은 지상송출 상향링크 신호의 위성에서의 신호 대 잡음비이며 $(C/N)_D$ 은 위성에서 송출한 하향링크 신호의 무인기 수신기에서의 반송파 대 잡음비이다.

$$\left(\frac{C}{N}\right)_T^{-1} = \left(\frac{C}{N}\right)_U^{-1} + \left(\frac{C}{N}\right)_D^{-1} \quad (1)$$

인접위성에서 지상으로 송출한 하향링크 신호를 간섭신호로 정의하면 무인기 위성 탑재장비에서 반송파 신호 대 잡음비는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \left(\frac{C}{N}\right)_T^{-1} &= \left(\frac{C}{N}\right)_U^{-1} + \left(\frac{C}{N}\right)_D^{-1} + \left(\frac{C}{I}\right)_D^{-1} \\ &= \left(\frac{C}{N}\right)_U^{-1} + \left(\frac{C}{N+I}\right)_D^{-1} \end{aligned} \quad (2)$$

여기에서 $(C/I)_D$ 는 위성에서 무인기로 송출한 제어링크 신호와 간섭위성에서 송출한 간섭신호 간의 신호 대 잡음비이며 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$(C/I)_D = P_W + G_m - P_T - G(\varphi) \quad \text{[dB]} \quad (3)$$

식 (3)에서 P_W 는 무인기와 연동된 위성에서 송출하는 하향링크 등가 등방성 방사 전력 (Down link Effective Isotropic Radiated Power), G_m 은 무인기 수신 안테나의 이득, P_T 는 간섭위성에서 송출하는 하향 등가 등방성 방사 전력, $G(\varphi)$ 는 On-axis에서 φ 이격 시의 수신 안테나 이득을 나타낸다. 본 논문에서는 표 1의 KoreaSat 6을 연동위성으로 Thaicom 4를 간섭위성으로 고려하였으며 이에 따라 $\varphi = 3^\circ$ 설정하여 전산 실험을 수행하였다.

안테나의 3 dB 빔폭 (3 dB Beamwidth)은 지향성 안테나의 최대 이득 값에서 절반으로 떨어지는 방향들의 각도로 정의하며 식 (4)와 같이 나타낼 수 있으며

$$\theta_{3dB} = k \frac{\lambda}{d} \quad (4)$$

여기에서 k 는 비례상수이고 λ 는 파장, d 는 안테나의 직경이다. 식 (4)에서와 같이 안테나의 직경이 작아짐에 따라 빔 폭이 넓어지고, 빔 폭이 넓어질수록 인접위성의 간섭신호가 크게 수신된다. 안테나 중심 방향 (boresight) 기준 θ 의 입사각을 가지는 신호에 대한 안테나 수신 이득 $G(\theta)$ 은 식 (5)와 같고,

$$G(\theta) = G_{max} - 12 \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2, \quad 0 \leq \theta \leq \theta_{3dB} \quad (5)$$

여기에서 G_{max} 는 안테나의 최대 이득 값이며 식 (6)과 같이 나타낼 수 있으며

$$G_{max} = \eta \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (6)$$

여기에서 η 는 안테나 효율이다. 인접위성에서 서비스 중인 위성방송시스템으로부터의 간섭 유입량을 확인하기 위해서는 무인기 탑재 위성통신시스템의 G_{max} 및 $G(3^\circ)$ 도출이 필요하다. 식 (5)를 통해 $0 \leq \theta \leq \theta_{3dB}$ 의 범위 내에서 제한적으로 $G(\theta)$ 값을 도출할 수 있어 전산 실험을 통해 $G(3^\circ)$ 및 G_{max} 를 그림 3과 같이 확인하였다. 이때 위성안테나는 접시형 안테나로 안테나 효율 $\eta = 0.6$ 으로 설정하여 모의실험을 수행하였다.

그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이 $d = 300\text{mm}$ 인 경우 $\varphi = 3^\circ$ 인 인접위성의 하향 등가 방사전력 P_I 대비 약 4.6 dB 감쇄된 신호가 간섭신호로 인가됨을 확인할 수 있다. 안테나 직경 d 에 따른 G_{max} 및 $G(3^\circ)$ 의 모의실험 결과는 정리하면 표 2와 같다.

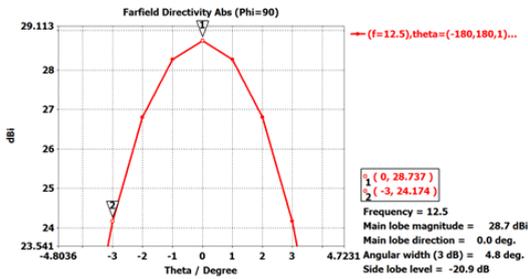


그림 3. $d = 300\text{mm}$ 접시형 안테나의 G_{max} 및 3dB 빔폭 Fig. 3. G_{max} and 3 dB beamwidth of a parabola antenna where $d = 300\text{mm}$

표 2. 안테나 크기에 따른 G_{max} 와 $G(3^\circ)$
Table 2. G_{max} and $G(3^\circ)$ according to antenna size

d [mm]	300	400	500	600
주파수 [GHz]	12.5			
G_{max} [dBi] (이론)	29.66	32.15	34.10	35.67
G_{max} [dBi] (모의실험)	28.73	32.70	34.90	36.30
$G(3^\circ)$ [dBi]	24.17	24.70	22.88	22.23
$G_{max} - G(3^\circ)$ [dB]	4.56	8.00	12.10	14.70

표 2 및 그림 3에서와 같이 안테나의 직경 d 가 커질수록 G_{max} 와 $G(3^\circ)$ 값의 차이가 증가하며 인접 위성의 하향 신호에 의한 간섭신호의 영향이 감소하는 것을 식 (2) 및 (3)을 통해 확인할 수 있다.

2.3 모의실험

위성방송시스템과 무인기 위성링크 간 간섭 분석을 위해서는 간섭 상황에서 무인기 위성 제어링크의 최저 동작 기준을 설정하여야 한다. 일반적으로 무인기 위성 제어링크는 정보 보호 및 전자 보호 등의 목적으로 직접 시퀀스 확산 스펙트럼 (DSSS, Direct Sequence Spread Spectrum) 방식을 적용하는 것을 고려하여 최저 동작 기준 수신 반송파 대 잡음비 (Carrier-to-Noise Ratio, CNR)를 '-2 dB'로 설정하여 모의실험을 수행하였다. 그리고 무인기 제어링크의 송신기는 연동위성의 빔 중심에 있다고 가정하였다.

인접위성에 의한 간섭신호가 없을 경우, 위성 제어링크의 지상 송출 등가 등방성 방사 전력 (Equivalent Isotropically Radiated Power)이 48 dBw인 경우 하향링크 패턴 손실에 따른 무인기 수신 반송파 대 잡음비, C/N_T 는 그림 4와 같다.

그림 4에서 볼 수 있는 바와 같이 위성의 빔 중심 방향에서 멀어질수록 무인기 제어링크의 수신신호 반송파 대 잡음비 C/N_T 는 감소하며 동일한 하향 패턴 손실 지점에서는 무인기 수신 위성 안테나의 직경 d 가 증가할수록 위성 제어링크의 무인기 수신 반송파 대 잡음비 C/N_T 가 커지는 것을 확인할 수 있다. 또한 인접위성에 의한 하향링크 간섭이 없을 경우 무인기의 운용반경에 따른 최소 탑재안테나의 직경 d 는 그림 4를 통해 도출이 가능하다. Koreasat 6의 한반도 빔의 경우 그림 2에서와 같이 한반도 전역을 운용반경으로 포함하기 위해 위성 빔 중심으로부터 10 dB 감쇄 지점까지 링크를 유지할 수 있어야 한다. 위성 간섭신호가 없는 경우 지상송출 전력이 48 dBw인 경우 탑재 안테나 직경이 300 mm 이상 이면 한반도 전

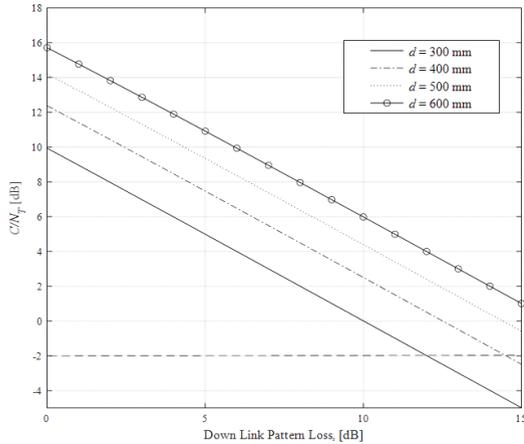


그림 4. 하향 패턴 손실에 따른 수신 반송파 대 잡음비, C/N_T
 Fig. 4. Carrier-to-noise ratio, C/N_T according to down link pattern loss

역에서 무인기 위성 제어링크를 유지할 수 있다. 간섭신호가 없는 경우에는 무인기 수신 신호의 반송파 대 잡음비 C/N_T 는 그림 4와 같이 하향 패턴 손실에만 영향을 받지만 간섭신호가 존재할 경우에는 식 (2)에서와 같이 간섭신호의 신호 대 잡음비 C/I_D 의 영향을 받게된다. 인접위성에 의한 간섭신호가 있는 경우 무인기가 연동 위성의 빔 중심대비 10 dB 감쇄지점에 위치해 있을때 간섭신호의 하향 송출전력에 따른 무인기 제어링크의 수신 반송파 대 잡음비, C/N_T 는 그림 5와 같다. 이때 위성 제어링크의 지상 송출 등가 등방성 방사 전력은 48 dBw 로 설정하였다.

그림 5에서 볼 수 있는 바와 같이 연동위성의 빔 중심 대비 10 dB 감쇄 지점에서의 무인기 위성 제어링크에 대한 간섭 영향성은 간섭신호의 하향 송출전력이 45 dBw 이하에서는 미미하나 간섭 신호원의 하향 송출전력이 45 dBw 이상일 경우 성능열화의 주된 요소임을 확인 할 수 있다.

본 논문에서 간섭신호로 고려하는 위성방송시스템은 넓은 지역에 서비스를 제공하기 위해 높은 하향 송출 출력을 사용한다. 일반적인 위성방송시스템의 하향 송출전력이 60 dBw 수준임을 고려하면 위성 방송시스템이 무인기 위성 제어링크의 성능 큰 영향을 미칠 수 있음을 확인 할 수 있다. 이와 같은 간섭상황에서 무인기 위성 제어링크의 수신 반송파 대 잡음비를 높이기 위해 무인기 제어링크 지상 송출전력을 높여서 운용 할 수 있지만 이는 위성 제어링크가 타 시스템에

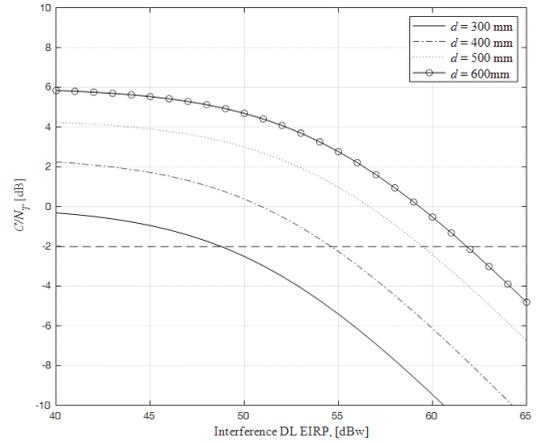


그림 5. 간섭신호 하향 송출 전력에 따른 수신 반송파 대 잡음비, C/N_T
 Fig. 5. Carrier-to-noise ratio, C/N_T according to interference signal down link EIRP

간섭 원으로 작용할 수 있어 지상 송출전력을 필요 이상으로 높게 운용하는 것은 불가능하다.

그림 5에서 볼 수 있는 바와 같이 본 논문에서 설정한 위성 제어링크의 최저 동작 반송파 대 잡음비 -2 dB와 운용지역 (하향 패턴 손실 -10 dB) 및 위성방송시스템의 하향 송출전력 (60 dBw)을 고려하며 탑재 위성안테나 크기 d 는 최소 600 mm 이상이 되어야 한다.

연동위성의 하향 패턴 손실이 위성링크의 주요 성능 지표임을 고려하면 간섭위성의 하향 패턴 손실 또한 간섭 양의 중요 척도임을 예상할 수 있다. 이를 고려하여 연동위성의 하향패턴 손실은 10 dB, 무인기 위성 제어링크의 지상 송출 등가 등방성 방사 전력을 48 dBw 그리고 간섭신호 (위성방송시스템)의 위성 하향 송출 전력이 60 dBw일 때 간섭위성의 하향 패턴 손실에 따른 무인기 위성링크의 반송파 대 잡음비는 그림 6과 같다.

표 1의 KoreaSat 6을 연동위성으로 Thaicom 4를 간섭위성으로 고려하면 무인기의 운용영역에 따라 탑재위성안테나 직경에 대한 최소 요구조건을 도출 할 수 있다. 무인기의 운용영역을 한반도 전역 (연동위성의 하향 패턴 손실 10 dB, 간섭위성의 하향 패턴손실 2 dB 고려)으로 가정할 경우, 제어링크의 안정성을 확보하기 위해 최소 500 mm 이상의 탑재안테나 직경이 필요함을 그림 6에 나타난 모의실험 결과로 도출할 수 있다.

무인기의 운용 영역을 한반도 전역이 아닌 남한으로 한정하여 연동위성의 하향 패턴손실을 4 dB, 무인

III. 결론

본 논문에서는 위성방송시스템과 무인기 시스템 위성 제어링크 간의 간섭 분석을 수행하였다. 이를 통해 인접위성 간섭 하에서 무인 항공시스템의 위성링크의 안정성을 확보할 수 있는 설계 방안을 제안하였다. 제안한 분석 기법을 통해 도출한 결과를 활용 인접 위성 간섭이 존재하는 환경에서 무인기 시스템의 위성 제어링크의 안정성을 확보 가능한 탑재 위성 안테나 크기도 도출 가능하다. 제안하는 간섭 분석 기법은 연동 위성과 간섭위성의 빔 패턴이 확보될 경우 모의실험을 통해 수행할 수 있는 장점이 있어 실측 기반 간섭 분석의 문제점들을 해결할 수 있다.

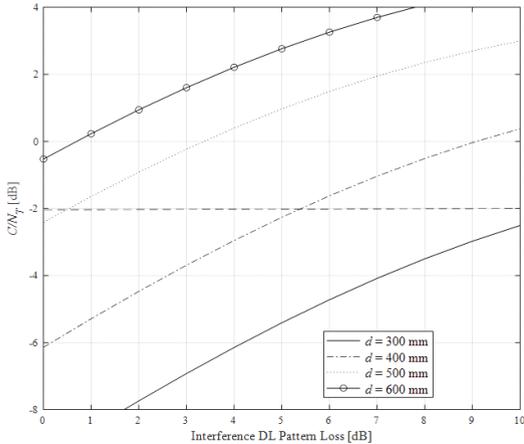


그림 6. 간섭신호 하향 패턴 손실에 따른 수신 반송파 대 잡음비, C/N_T
 Fig. 6. Carrier-to-noise ratio, C/N_T according to interference signal down link pattern loss

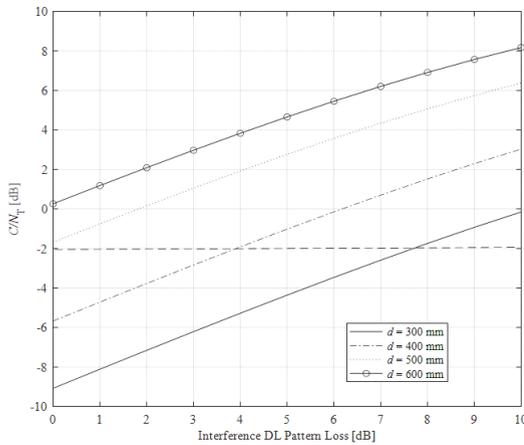


그림 7. 간섭신호 하향 패턴 손실에 따른 수신 반송파 대 잡음비, C/N_T
 Fig. 7. Carrier-to-noise ratio, C/N_T according to interference signal down link pattern loss

기 위성제어링크의 지상 송출 등가 등방성 방사전력을 48 dBw 그리고 간섭신호의 하향 송출 전력을 60 dBw로 가정할 경우 간섭신호의 하향 패턴 손실에 따른 무인기 위성 제어링크의 반송파 대 잡음비는 그림 7과 같다. 그림 2에서와 같이 간섭위성 하향 패턴 손실을 8 dB로 가정할 경우 탑재안테나 직경은 300 mm 까지 축소 가능하다.

References

- [1] F. Vatalaro, G. E. Corazza, C. Caini, and C. Ferrarelli, "Analysis of LEO, MEO, and GEO global mobile satellite systems in the presence of interference and fading," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 13, no. 2, pp. 291-300, 1995. (<https://doi.org/10.1109/49.345873>)
- [2] K. An, M. Lin, W. Zhu, Y. Huang, and G. Zheng, "Outage performance of cognitive hybrid satellite - terrestrial networks with interference constraint," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 65, no. 11, pp. 9397-9404, 2016. (<https://doi.org/10.1109/TVT.2016.2519893>)
- [3] Z. P. Henarejos, M. A. Vazquez, and A. I. Perez-Neira, "Deep learning for experimental hybrid terrestrial and satellite interference management," *2019 IEEE 20th Int. Wkshp. Sign. Process. Advances in Wirel. Commun.*, pp. 1-5, Jul. 2019. (<https://doi.org/10.1109/SPAWC.2018.8815532>)
- [4] H. K. Kim, Y. K. Jo, J. S. Kim, and H. S. Jo, "Interference analysis between inter satellite service and submillimeter-wave 5G mobile communication Service," in *Proc. Symp. KICS*, pp. 524-525, Jun. 2017.
- [5] "Satellite Coverage maps.- Sat Footprint Intelsat," last modified Dec. 11, 2021, "<http://www.satbeams.com>"

이 희 수 (Huisoo Lee)



2008년 2월 : 충남대학교 정보통신공학과 학사
2010년 2월 : 충남대학교 정보통신공학과 석사
2010년 3월 : 국방과학연구소 연구원
2017년 9월~현재 : 충남대학교

전자전과정보통신공학과 박사과정

<관심분야> 위성통신시스템, 항재밍 알고리즘

[ORCID:0000-0003-4452-1097]

오 왕 록 (Wangrok Oh)



1994년 2월 : 포항공과대학교 학사
1997년 2월 : 포항공과대학교 석사
2003년 8월 : 포항공과대학교 박사
1997년~2000년 : 포항공과대학교 정보통신연구소 전임연구원
2003년~2006년 : 포항공과대학교 정보통신연구소 전임연구원

2006년~2010년 : 충남대학교 정보통신공학과 조교수

2010년~2015년 : 충남대학교 정보통신공학과 부교수

2015년~현재 : 충남대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야> 통신시스템 설계 및 구현, 오류정정부호, MIMO 시스템

[ORCID:0000-0001-8205-5432]