

# 지상-위성 네트워크에서 간섭 영향 분석

최형수\*, 콰우빈\*, 조정인\*,  
이민지\*, 한동주\*, 임병주\*

## Analysis of Interference in Integrated Satellite-Terrestrial Network

Hyeongsu Choe\*, Woobin Kwak\*,  
Jeongin Cho\*, Minji Lee\*, Dongju Han\*,  
Byungju Lim\*

### 요약

지상 네트워크와 위성 네트워크의 주파수 공존으로 인하여 간섭의 문제가 발생하고 있다. 본 논문은 지상-위성 네트워크에서 서비스 간의 간섭을 수학적 모델링을 통해 분석하고 위성 서비스를 보호하기 위한 지상 송신기 방출 전력 제한 및 간섭 기준에 대해 제시한다.

**Key Words** : Interference analysis, satellite service, terrestrial network

### ABSTRACT

Interference is introduced in a integrated terrestrial-satellite network due to sharing of radio resource in two different systems. In this paper, we analyze the impact of interference from terrestrial network to satellite services and discuss the regulation of interference power at a satellite and of transmit power at a terrestrial transmitter for protecting satellite services.

## I. 서론

최근 위성의 발사가 용이해짐으로 인해 위성을 활용한 다양한 서비스들이 제공되고 있다. 그 중에서 데이터 통신을 위한 fixed satellite service (FSS)는 특정 위치의 지상 게이트웨이와 무선 통신 링크를 형성하며, Earth exploration satellite service (EESS)는 지구의 대기 상태 등을 모니터링하여 다양한 현상을 감지하고 측정한다. World radiocommunication conference (WRC)에서 서비스간 간섭의 영향을 규제하기 위해 주파수 대역을 할당하였지만, 현재 지상에서 사용하고 있는 이동 통신의 트래픽이 증가하며 추가적인 대역을 할당함으로써 지상 통신과 위성 통신 간의 간섭 문제가 발생할 가능성이 있다. 그에 따라, 최근에 위성 간 간섭 뿐만 아니라 지상 통신 시스템인 IMT-2020과 위성 시스템 간의 동일 주파수 대역에서의 대역 내 간섭 (co-channel interference) 및 인접 대역 간섭 (out-of-band interference)에 대한 연구가 진행되어 왔다<sup>1)</sup>. 하지만 지상 네트워크의 기지국 설치 위치 및 다양한 지상 네트워크 변수에 의해 위성에 미치는 간섭의 영향이 달라진다.

본 논문에서는 지상 네트워크와 위성 네트워크의 주파수 대역 공존으로 인하여 발생하는 대역 내 간섭 및 인접 대역 간섭의 영향을 분석하고 위성 서비스를 보호하기 위한 간섭 규제에 대해 논의한다. 또한 위성 서비스에 미치는 간섭을 제어하기 위한 기법을 제안하고 해당 기술들을 통해 효과적으로 간섭을 제어할 수 있음을 보여준다.

## II. 지상-위성 통신 주파수 밴드

WRC에서 무선 통신에 필요한 무선 주파수 스펙트럼을 규정하고 필요에 따라 주파수 스펙트럼 사용에 대한 규제를 한다. WRC에서는 5G 이동통신 및 위성 통신을 위한 주파수 대역을 표 1과 같이 지정하였다. 이러한 주파수 할당은 지상-위성간 공존 문제를 야기하며, 위성 서비스는 다음과 같은 형태로 간섭을 겪는다.

FSS는 같은 주파수 대역 사용으로 인해 대역 내 간섭이 발생하는 반면 passive 센서를 사용하는 EESS는

\* 이 논문은 부경대학교 자율창의기술연구비(2023년)에 의하여 연구되었음

• First Author : Pukyong National University, Department of Electronic Engineering, sam000208@naver.com, 학생회원

◦ Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-5155-392X) Pukyong National University, Department of Electronic Engineering, limbj@pknu.ac.kr, 조교수, 정회원

\* Pukyong National University, Department of Electronic Engineering, 12345dnqls@naver.com; cojo21@naver.com; vminji@naver.com; gksehdhwn@naver.com

논문번호 : 202405-079-B-LU, Received May 1, 2024; Revised May 13, 2024; Accepted May 13, 2024

표 1. IMT-2020 및 위성 서비스 주파수 대역  
Table 1. Frequency Band for IMT-2020 and Satellite Services

Service	Frequency Band[GHz]
IMT-2020	24.25-28.5
	31.8-33.4
	37-43.5
	45.5-50.2
	50.4-52.6
	66-76
	81-86
EESS(passive)	23.6-24
	31.5-31.8
	36-37
	50.2-50.4
FSS(Earth-to-Space)	24.65-27
	27-29.5
	42.5-43.5
	47.2-50.2
	50.4-51.4
	81-86
FSS(Space-to-Earth)	37.5-42.5
	71-76

대역이 겹치지 않지만 인접 대역에서 발생하는 대역 외 간섭의 영향을 받는다. EESS 시스템을 효과적으로 보호하기 위하여 수신 간섭 제한 기준 및 지상 네트워크 송신 방출 전력 규제를 정의하였다. 예를 들어, 24.25-28.5GHz 대역을 사용하는 IMT-2020은 23.6-24GHz 대역을 사용하는 EESS 시스템에 대역 외 간섭의 영향을 미치는데, EESS 시스템을 보호하기 위하여 수신기 간섭 기준을 -166dBW/200MHz로 정의하였다. 또한 IMT-2020 시스템의 송신기 방출 전력을 제한을 기지국 및 단말기에 대해 -33dBW/200MHz 및 -29dBW/200MHz로 정의하였다<sup>3,4)</sup>. IMT-2020과 대역을 공유하는 FSS 시스템 보호를 위하여 수신기 간섭 기준을 INR (interference-to-noise ratio)=-12.2dB로 설정했다.

이와 같이 지상 네트워크인 IMT-2020은 위성 시스템에 간섭의 영향을 미치고 위성 시스템의 종류에 따라 간섭 규제가 정의된다. 본 논문에서는 지상 시스템이 위성에 주는 간섭을 분석하고 그 간섭을 제어하기 위한 기술에 대해 논의한다.

### III. 지상 네트워크가 위성에 미치는 간섭 분석

지상 네트워크와 위성 네트워크의 대역 공존으로 인하여 그림 1과 같이 FSS 시스템에는 대역 내 간섭 그리고 EESS 시스템에는 대역 외 간섭이 발생한다. 두 유형의 간섭 모두 지상 송신 신호의 방출 전력에 직접적인

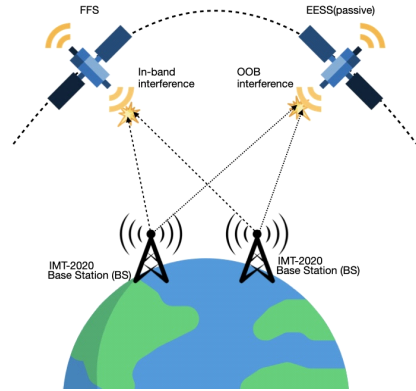


그림 1. 지상-위성 통합 네트워크에서 발생하는 간섭  
Fig. 1. Interference between IMT-2020 and satellite services

영향을 받는다.

지상 네트워크는 OFDM과 같은 다중 캐리어 신호로 데이터를 송수신하며 송신단에서는 송신 필터와 DAC의 interpolation 필터를 거쳐서 신호를 최종적으로 송신한다. 이때 지상 네트워크에서 송신되는 신호의 PSD는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_S(f) = \frac{P_{BS} |G_{IF}(f)|^2}{KMT_s} \sum_{k=0}^{K-1} |G_{ps}(f - k\Delta_f)|^2 \quad (1)$$

식 (1)에서  $K$ 는 부반송파의 수,  $M$ 은 OFDM 심볼 길이,  $T_s$ 는 샘플링 간격이다.  $P_{BS}$ 는 지상 기지국의 총 전송 전력을 나타내며  $G_{IF}(f)$ ,  $G_{ps}(f)$ 는 각각 interpolation 필터와 송신 필터의 주파수 응답을 나타낸다.

지상 네트워크의 주파수 대역과 FSS의 주파수 대역이 겹쳐서 발생하는 대역 내 간섭의 경우  $|G_{IF}(f)|=1$ 로 모델링할 수 있고, FSS 시스템에 미치는 지상 네트워크의 대역 내 방출 전력은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_{BS}^{In} = \int_{-\frac{W}{2}}^{\frac{W}{2}} P_S(f) df = \frac{P_{BS}WT_s}{M} \sum_{n=0}^{M-1} |g_{ps}[n]|^2 \quad (2)$$

여기서  $W$ 는 FSS 시스템의 대역폭,  $g_{ps}[n]$ 은 펄스 성형 계수이다.

지상 송신기에서 대역 외 간섭은 interpolation 필터의 stopband attenuation에 의해 결정되며 지상 송신기 방출 전력은 다음 수식 (3)과 같이 계산된다.

$$P_{BS}^{Out} = \frac{P_{BS} \zeta \delta_{sb}^2 W T_s}{M} \sum_{n=0}^{M'-1} |g_{ps}[n]|^2 \quad (3)$$

여기서  $\delta_{sb}$ 는 FIR 필터의 stopband ripple이며  $\zeta \in [0, 1]$ 이다. 따라서 지상 네트워크가 위성에 미치는 통합 간섭 모델을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$I = \sum_{x_k \in \Phi} P_{BS}^{\Omega} V^r V_k^t h_k \left(\frac{\lambda_c}{4\pi}\right)^2 \|x_k - u\|^{-\alpha} \quad (4)$$

여기서  $x_k$ 는  $k$ 번째 지상 송신기의 위치 좌표,  $u$ 는 위성의 위치 좌표이고,  $\Phi$ 는 위성의 footprint에 존재하는 지상 송신기의 집합을 나타낸다. 위 수식에서 위성에서의 총 간섭은 위성 통신 커버리지 내에 위치한 모든 지상 노드로부터의 간섭 합으로 표현된다. 식 (4)에서 위성 수신기와 지상 송신기  $k$ 의 안테나 이득을 각각  $V^r$ 와  $V_k^t$ 로 나타내며,  $P_{BS}^{\Omega}$ 에서  $\Omega \in \{In, Out\}$ 이고  $h_k$ 은 지상 송신기  $k$ 에서 위성으로의 페이딩 채널을 나타내며,  $\alpha$ 는 경로 감쇄 지수다.

#### IV. 간섭 제어 기술

식 (4)에서 간섭을 제어하기 위해서는 지상 송신기의 방출 전력을 제한해야한다. 대역 내 간섭의 경우 전송 전력을 낮추거나 정밀한 빔포밍을 통해 해결할 수 있다. 대역 외 방출 전력의 경우 식 (3)의 stopband attenuation을 조절함으로써 간섭 제어가 가능하고 결과적으로 FIR 필터 설계에 따라 대역 외 방출 전력이 결정되게 된다. 지상 송신기의 대역 외 방출 전력을 제한하고자 한다면 FIR 필터의 stopband attenuation을 아래와 같이 설계되어야 한다.

$$\delta_{sb} = \sqrt{\frac{M P_{BS}^{Out}}{\zeta P_{BS} W T_s \sum_{n=0}^{M'-1} |g_{ps}[n]|^2}} \quad (5)$$

위 수식을 통해 위성 수신기의 간섭 규제 조건을 만족하는 대역 외 방출 전력  $P_{BS}^{Out}$ 을 통하여 FIR 필터 설계 조건을 찾을 수 있다. 식 (5)는 FIR 필터 order에 의해 결정되므로 위성 수신기의 서비스를 보호하기 위해서는 적절한 FIR 필터 설계를 통해 대역 외 방출 전력을 제한해야만 한다.

#### V. 시뮬레이션

시뮬레이션을 통해 지상 네트워크가 위성 서비스에 미치는 간섭의 영향을 분석한다. 23.6-24GHz 대역을 사용하는 EESS 시스템의 경우 위성은 고도 823 km에 위치되어 있고, 27-27.5GHz 대역을 사용하는 FSS 시스템의 경우 위성은 고도 35,786 km에 위치하고 있다<sup>[6]</sup>. 위성과 지상간의 line-of-sight (LoS) 채널을 고려하기 위해서 Nakagami-m 페이딩 채널의  $m = 10$ 을 사용하였다. 지상 송신기의 위치는 Poisson point process (PPP)를 통해 랜덤하게 분포하였고 5,000번의 랜덤 분포를 통해 위성에 미치는 간섭의 영향을 분석하였다.

그림 2는 지상 네트워크의 단말 밀도에 따라 FSS 시스템에 미치는 영향을 나타낸다. 단말 밀도가 증가함에 따라 위성에 간섭의 영향을 미치는 단말 개수가 증가하기 때문에 INR은 증가하는 것을 확인할 수 있다. 다만, ITU-R에서는 FSS 시스템 보호를 위하여 간섭 기준을 -12.2dB로 설정하였기 때문에 지상 네트워크 설치 단말 수를 제한해야만 한다. 뿐만 아니라 지상 송신과 위도 위성에 미치는 간섭에 큰 영향을 미치므로, 간섭 기준을 위하여 전력 제한 기준도 필요하다.

그림 3은 송신단 FIR 필터의 stopband attenuation에 따라 EESS 시스템에 미치는 영향을 나타낸다. 지상 네트워크의 단말 수가 늘어날수록 간섭의 영향이 커지게 되고, FIR 필터의 stopband attenuation을 낮게 설계할수록 간섭의 영향을 줄일 수 있다. 일반적으로 더 낮은 stopband attenuation을 가지는 필터를 설계하기 위해서는 높은 FIR 필터 order가 요구 된다. 따라서 지상 네트워크에서 적절한 필터를 설계하여 대역 외 간섭을

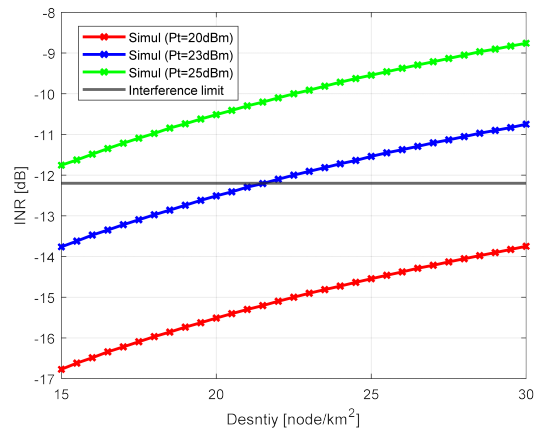


그림 2. 지상 단말 밀도에 따른 FSS 위성에 미치는 영향  
Fig. 2. Interference at FSS system with respect to the density of terrestrial nodes

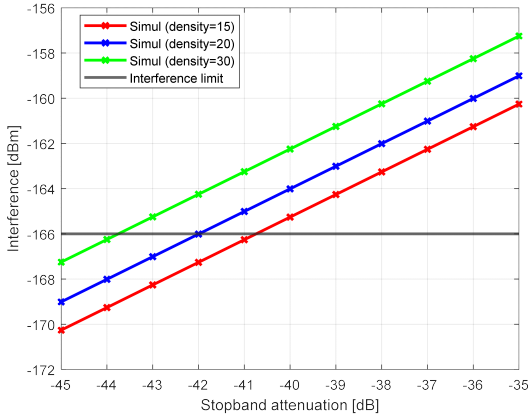


그림 3. FIR 필터 성능에 따른 EESS 위성에 미치는 영향  
Fig. 3. Interference at EESS system with respect to stopband attenuation of FIR filter

제어함으로써 지상-위성 네트워크의 공존을 가능하게 만들 수 있다.

## VI. 결론

본 논문에서는 지상-위성 네트워크간 대역 내 간섭 및 대역 외 간섭을 분석하고 지상 단말의 개수 및 FIR 필터의 stopband attenuation을 조절함으로써 간섭을 제어할 수 있음을 보였다. 이를 통해 위성 서비스를 보호하기 위한 지상 기지국의 설치 개수를 규제할 수 있고, FSS 위성을 보호하기 위한 지상 송신기의 전력 파워 규제 기준을 논의할 수 있다. 또한 EESS 위성을 위한 지상 송신기 FIR 필터 설계 기준을 제시할 수 있다. 본 논문을 통해 기존 위성 시스템을 보호하기 위한 지상 네트워크 설계 및 규제 조건을 확립할 수 있고 원활한 지상-위성 통합 네트워크를 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

## References

- [1] W. A. Hassan, H.-S. Jo, S. Ikki, and M. Nekovee, "Spectrum-sharing method for co-existence between 5G OFDM-based system and fixed service," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 77460-77475, 2019.
- [2] J. Ryu, et al., "Interference analysis between satellites for LEO satellite constellation networks," *J. KICS*, vol. 47, no. 8, 2022.
- [3] *Compatibility between the Earth exploration-satellite service (passive) and relevant active services*, RESOLUTION 750 (REV.WRC-19), 2019.
- [4] *Terrestrial component of International Mobile Telecommunications in the frequency bands 37-43.5 GHz and 47.2-48.2 GHz*, RESOLUTION 243 (WRC-19), 2019.
- [5] Y. Cho, H.-K. Kim, M. Nekovee, and H.-S. Jo, "Coexistence of 5G with satellite services in the millimeter-wave band," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 163618-163636, 2020.