

HAPS와 FSS간의 주파수 공유를 위한 위성과 HAPS 지상국간의 간섭 분석

최 문 환* · 강 영 흥*

*군산대학교

Analysis on the Interference from Satellites to HAPS ground station for Sharing between HAPS and FSS

Mun-hwan Choi* · Young-heung Kang*

*Kunsan National University

E-mail : mhchoi@kunsan.ac.kr

yhkang@kunsan.ac.kr

요 약

WRC-2000에서는 성층권 무선 중계 시스템(HAPS: High Altitude Platform Station)을 위한 주파수 대역으로 27.5 ~ 28.35GHz 대역 및 31.0 ~ 31.3GHz 대역을 할당하였다. 그러나, 이 대역은 기존의 고정 위성 서비스(FSS: fixed satellite service)에 이미 할당된 대역이기 때문에 기존의 FSS/GSO 시스템과 FS/HAPS 시스템간의 간섭 영향 분석이 절실히 요구되는 실정이다. 이러한 간섭 분석에 있어서 필요한 주파수 운용 조건은 크게 Reverse mode와 Forward mode로 나누어진다. 본 논문에서는 FSS/GSO 시스템과 FS/HAPS 시스템간의 간섭 영향 분석에 대하여 Forward mode 운용 조건을 고려할 때, 다수의 GSO 위성들로부터 HAPS 지상국으로의 간섭 영향으로서 I/N 기준값, HAPS 커버리지의 위도, 위성 간격 등에 따른 간섭 분석을 행하였다. 이러한 간섭분석 결과는 향후 HAPS와 고정 위성간의 주파수 공유를 위한 기준설정에 활용될 것이다.

ABSTRACT

The bands 27.5 ~ 28.35GHz and 31.0 ~ 31.3GHz were allocated to the High Altitude Platform Station in WRC-2000. However, since these bands were already allocated to the existing fixed-satellite service, the analysis on the interference effects between the existing FSS/GSO system and FS/HAPS system should be needed. To do study on the interference effects between above two systems, we can consider two frequency operational conditions, one is the Reverse mode and the other Forward mode. In this paper, we considered the Forward mode as the frequency operational condition and analyzed the interference effect from a number of GSO satellites to HAPS ground station due to the I/N values, the latitude of HAPS and the satellite separation. In future, these results will be vital data to share between HAPS and GSO systems.

키워드

성층권 무선 중계 시스템, 정지궤도 위성 시스템, Forward mode, 주파수 공유, 간섭 분석

1. 서 론

성층권 무선 중계 시스템(HAPS; high altitude platform station)은 고도 20km~50km의 성층권에

무선 중계기를 탑재한 비행선을 일정 위치에 유지시켜 초고속 무선 멀티미디어 서비스를 지원하는 차세대 초고속 무선 통신 인프라이다.[1]

WRC-97에서는 47.2~47.5 GHz 및 47.9~48.2

GHz 대역에서 HAPS를 이용하여 고정 서비스(FS: fixed service)를 제공하기 위한 조항을 제정하였지만, 이 대역은 강우감쇠의 영향을 받기 쉽기 때문에 ITU-R은 대체 주파수로 18~32GHz 대역을 연구해 왔다. 그 결과 WRC- 2000에서는 일부 국가에서 고정 서비스를 제공하는 HAPS의 운용 주파수로 27.5~28.35GHz 대역과 31.0~31.3 GHz 대역을 허용하였다.[2],[3]

그러나, 이 대역은 기존의 고정 위성 서비스(FSS: fixed satellite service)에 할당된 주파수이므로 기존의 FSS/GSO 시스템과 FS/HAPS 시스템간의 간섭 영향 분석이 필요한 실정이다. 한편, 위성 시스템과 타 시스템간의 간섭 분석을 행하는데 있어서는 주파수 운용 조건을 Reverse mode 와 Forward mode로 구분하여 간섭 분석 모델을 설정해야 한다. 이에 관한 연구로서 ITU- R SF. 1601에서는 Reverse mode 운용 조건하에서 FS/HAPS downlink로부터 FSS/GSO uplink로의 간섭을 평가하기 위한 간섭 분석 모델을 제시하고 있지만[4], Forward mode 운용 조건하의 간섭 분석은 미비한 실정이다.

이에 본 연구에서 Forward mode로 주파수 운용을 할 때 다수의 GSO 위성들에 의한 HAPS 지상국에 미치는 간섭 영향을 분석함으로써 향후 HAPS 지상국 설계에 도움을 주기 위한 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

II. 간섭 분석 모델

모든 GSO 위성으로부터의 한 HAPS 지상국에 미치는 총 간섭 전력은 각각의 visible 위성으로부터의 간섭을 합하여 구할 수 있다.

$$I = f(\theta) \times g(\delta) \times \frac{\lambda^2}{4\pi l} \quad (1)$$

여기서,

$$f(\theta) = 10^{-\frac{F(\theta)}{10}}$$

$$g(\delta) = 10^{-\frac{G(\delta)}{10}}$$

λ : 캐리어의 파장

l : feeder 손실

한편, $F(\theta)$ 는 GSO 위성으로부터 지구 표면으로의 전파 도래각 θ 에 따른 전력속밀도로 31 GHz 대역에서 다음과 같이 정의되고 있다.

$$F(\theta) = \begin{cases} -115 & \text{dBW/m}^2/\text{MHz} \\ & \text{for } 0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ \\ -115 + 0.5(\theta - 5) & \text{dBW/m}^2/\text{MHz} \\ & \text{for } 5^\circ \leq \theta \leq 25^\circ \\ -105 & \text{dBW/m}^2/\text{MHz} \\ & \text{for } 25^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \end{cases} \quad (2)$$

또한 HAPS 지상국들이 동일한 안테나 패턴을

갖을 때 $G(\delta)$ 는 간섭을 미치는 위성 방향으로의 HAPS 지상국 안테나 이득으로서 ITU-R Rec. F. 1245-1[5]에 다음과 같이 규정되어 있다.

$$G(\delta) = \begin{cases} G_{\max} - 2.5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda}\right)^2 \text{ dB} & \text{for } 0^\circ < \delta < \delta_m \\ 39 - 5 \log \frac{D}{\lambda} - 25 \log \delta \text{ dB} & \text{for } \delta_m \leq \delta < 48^\circ \\ -3 - 5 \log \frac{D}{\lambda} \text{ dB} & \text{for } 48^\circ \leq \delta \leq 180^\circ \end{cases} \quad (3)$$

여기서,

G_{\max} : 안테나의 최대 이득(dB)

δ : off-axis 각

D : 안테나 직경

λ : 파장

$$\delta_m = \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{\max} - G_1}$$

$$G_1 = 2 + 15 \log \frac{D}{\lambda}$$

그림 1은 정지궤도와 HAPS 지상국간의 기하학적 표현을 보여준다. 간섭 영향을 계산하기 위해 필요한 중요 파라미터들은 다음과 같다.

θ : 수평선상에서 위성의 양각

β : S과 HAPS 지상국, p가 이루는 spherical arc

Ω : 위성 S로부터 바라보는 β 에 의해 이루는 각

만일 HAPS 지상국 안테나의 양각을 0° 로 가정하면 South로부터 정지궤도 수평선상에 교차하는 방위각 편이(azimuth displacement) A는 다음과 같이 계산된다.

$$|A| = \cos^{-1}(\tan \varphi / (K^2 - 1)^{1/2}) \quad (4)$$

여기서,

$$K = R/a$$

a : 지구의 반경

R : 정지궤도 반경

φ : HAPS 지상국의 위도

HAPS 지상국과 수평면, 그리고 정지궤도 교차점간의 상대 경도차는 다음과 같이 표현된다.

$$\lambda = \sin^{-1}(\sin A (1 - K^{-2})^{1/2}) \quad (5)$$

visible 정지궤도는 0° 방위각 라인상의 대칭이므로 HAPS 지상국에서 보이는 모든 위성은 2λ 에 해당하는 경도 간격 내에 놓이게 된다. 각 visible 위성에 대한 방위각 A_2 는 다음과 같다.

$$A_z = \tan^{-1}(\tan \lambda_r / \sin \varphi) \quad (6)$$

여기서, λ_r 는 위성과 HAPS 지상국간의 경도차이다. 그림 1의 간섭 계산에 필요한 파라미터 값들은 다음과 같이 계산된다.

$$\theta = \frac{\pi}{2} - (\beta + \Omega) \quad (7)$$

$$\beta = \cos^{-1}(\cos \varphi \cos \lambda_r) \quad (8)$$

$$\Omega = \tan^{-1}(\sin \beta / (K - \cos \beta)) \quad (9)$$

최종적으로 위성 PFD 레벨의 도래각과 지상국 수신기의 앙각간의 이루는 각 δ 는 그림 2를 근거로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\delta = \cos^{-1}(\sin \theta \sin \theta_H + \cos \theta \cos \theta_H \cos(A_z - \tau)) \quad (10)$$

III. HAPS 시스템

20km 고도의 고정점에서 각 HAPS 비행선은 367개의 스팟 빔을 이용해서 110km 직경(앙각 : 20°)의 지역을 서비스한다. 이와 같이 넓은 지역을 커버하기 위해서는 수많은 HAPS 비행선을 고정 배치해야 하며, 지상에서의 서비스 커버리지는 육상 이동 시스템의 tier개념으로 고려할 수 있다.

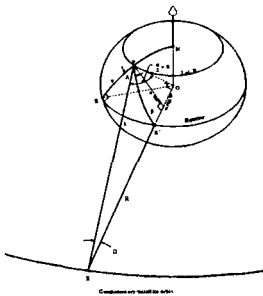


그림 4 GSO 위성과 HAPS 지상국간의 geometry

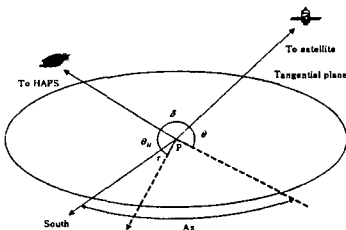


그림 5 위성에 대한 off-beam 각을 결정하기 위한 geometry

IV. 시뮬레이션

HAPS 비행선의 고도를 20km로 구현할 때 지상국의 앙각을 20° 이상으로 유지하기 위해서 서비스 반경은 55km로 367개의 다중 셀로 구성이 된다. 본 논문에서는 이러한 367개의 지상국의 분포를 Monte Carlo 시뮬레이션에 의한 일양 분포(uniform distribution)로 가정한다.

i번째 tier의 j번째 서비스 반경 R내의 지상국의 극좌표 (r_{ij}, θ_{ij}) 의 pdf는 다음과 같다.

$$F(r_{ij}) = \frac{2r_{ij}}{R^2}, \quad 0 \leq r_{ij} \leq R \quad (11)$$

$$F(\theta_{ij}) = \frac{1}{2\pi}, \quad 0 \leq \theta_{ij} \leq \pi \quad (12)$$

식 (11) 및 식 (12)에 근거하여 지상국 N개의 독립 랜덤 변수 μ_{ij} 및 ν_{ij} 는 [0, 1]의 일정한 분포값을 발생시키고 지상국 극좌표 (r_{ij}, θ_{ij}) 는 다음과 같다.

$$r_{ij} = R\sqrt{\mu_{ij}} \quad (13)$$

$$\theta_{ij} = 2\pi\nu_{ij} \quad (14)$$

식 (13) 및 식 (14)에 의해서 서비스 커버리지 반경 55km 이내의 367개의 지상국 분포 예를 그림 3에 보인다.

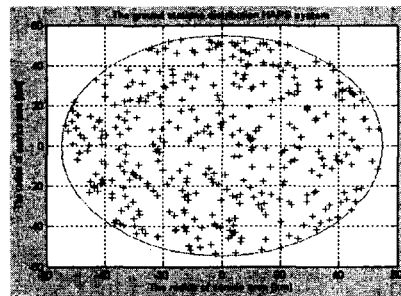


그림 6 지상국의 일양 분포 예

그림 3의 지상국 분포로부터 각 지상국에 미치는 GSO 위성들의 간섭은 그림 1 및 그림 2를 이용하여 식 (1)에 의해 시뮬레이션 된다. 여기에 필요한 시스템 파라미터 값들은 표 1과 같다.

표 1의 값들을 이용해 HAPS 서비스 tier가 0, 즉 중심 서비스 커버리지 내의 지상국들에 미치는 GSO 위성들의 간섭 분포의 시뮬레이션 예를 그림 4에 나타낸다. 여기서 위성들의 간격은 3°, 서비스 커버리지의 중심은 위도 40°, 경도 0°로 가정하였다.

표 1 시뮬레이션 파라미터

| 파라미터 | 값 |
|-----------------|-------|
| 주파수 | 31GHz |
| HAPS 서비스 반경 | 55km |
| HAPS 지상국의 수 | 367 |
| HAPS 서비스 tier 수 | 10 |
| 지상국 안테나 최대 이득 | 30dBi |

그림 4에서 알 수 있듯이 대부분의 간섭 분포는 $-150\text{dB}/\text{MHz}$ 이내에 분포하고 있지만 $-126\text{dB}/\text{MHz}$ 의 큰 간섭이 발생하는 것을 알 수 있다.

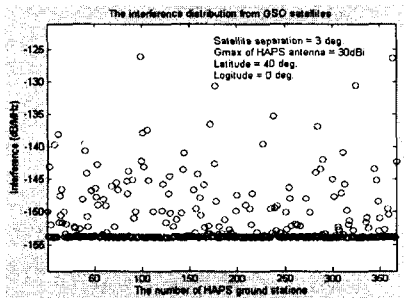


그림 7 GSO 위성들에 의한 HAPS 지상국들의 간섭 분포 예

V. 간섭 평가

본 연구에서는 간섭 전력 대 시스템 잡음비인 I/N 비를 다음 식을 이용하여 계산한다.[7]

$$I/N = I - 10 \log(293 \times k \times 10^{NF/10} \times 10^6) \quad (15)$$

여기서,

k : 볼츠만 상수 = $1.38 \times 10^{-23} (J/K)$
 NF : 잡음 지수

기준값을 초과하는 GSO 위성들로부터 HAPS 지상국에 미치는 간섭 분포를 HAPS 서비스 커버리지 tier 수에 따른 시뮬레이션 결과값을 그림 5에 보인다. 여기서 위성 간격을 12° , HAPS 서비스 중심 커버리지의 위도는 40° , 경도는 0° 로 가정하였다.

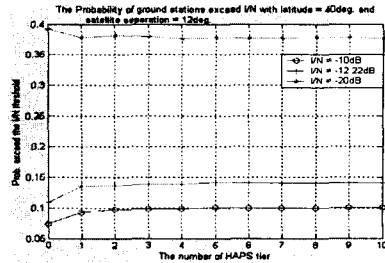


그림 8 I/N 기준값에 의한 초과 지상국 확률 분포

그림 5로부터 알 수 있듯이 tier가 2 이상부터 동일한 간섭 분포를 보이며 I/N 이 -10dB 기준을 초과하는 지상국들은 10%에 불과하지만 I/N 이 -12.22dB 기준에서는 14%, $I/N = -20\text{dB}$ 기준에서는 7%의 간섭 기준 초과 분포를 보이고 있다. 따라서 이들 결과로부터 향후 I/N 기준 설정에 따라 HAPS 지상국들의 이용률을 쉽게 예상할 수 있다.

그림 6은 위성 간격을 12° 로 가정하여 간섭 기준이 $I/N = -10\text{dB}$ 로 비교적 낮을 때의 HAPS 중심 서비스 커버리지의 위도에 따른 간섭 초과 확률 분포를 보인다. 그림 6으로부터 위도가 높을수록 간섭 초과 확률이 크게 되며, 위도가 $10^\circ, 30^\circ, 50^\circ$ 증가함에 따라 그 확률도 7%, 8%, 14%로 증가하고 있다. 따라서 위도가 높은 지역에서는 GSO 위성에 의한 간섭이 크게 되므로 이를 고려한 HAPS 서비스 커버리지 등을 설계해야 할 것이다.

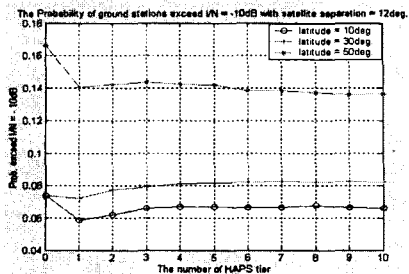


그림 9 HAPS 커버리지의 위도에 따른 간섭 초과 확률

그림 7은 GSO 위성들간의 간격을 $3^\circ, 6^\circ, 9^\circ, 12^\circ$ 로 증가시킬 때 $I/N = -10\text{dB}$ 의 간섭 기준을 초과하는 지상국들의 분포를 시뮬레이션한 결과이다. 그림 7로부터 위성 간격이 클수록 간섭 초과 확률은 낮아져 위성 간격이 $3^\circ, 6^\circ, 9^\circ, 12^\circ$ 로 증가하면 간섭 초과 확률은 20%, 14%, 12%, 10%로 낮아지고 있음을 알 수 있다. 이 결과로부터 위성들의 배치에 따라라도 HAPS 지상국들은 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

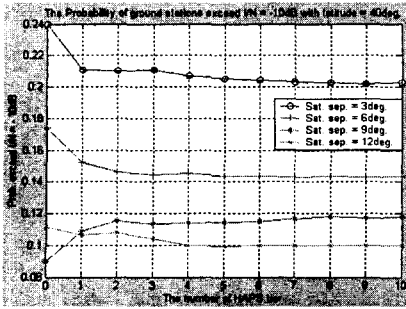


그림 10 위성간격에 따른 간섭 초과 확률

VI. 결 론

본 연구에서는 HAPS 시스템과 타 시스템간의 간섭 분석 연구의 하나로써 GSO 위성들에 의한 HAPS 지상국의 간섭 영향을 분석하였다. 시뮬레이션 결과로부터 I/N 간섭 기준에 따라 HAPS 지상국의 가용율을 쉽게 예상할 수가 있으며, HAPS 셀 커버리지의 위도가 높을수록 간섭의 영향이 크게 되므로 높은 지역에서의 HAPS 서비스 커버리지 설계에 GSO 위성들의 간섭을 고려해야만 할 것이다.

한편, GSO 위성들에 의한 HAPS 지상국에 미치는 간섭 영향을 줄이기 위해서는 주파수 운용을 Reverse mode로 설정하던지, 간섭 경감 기법을 도입하는 것이 바람직하다.

참고 문헌

- [1] B.S. Kim, J.M. Park, B.J. Ku, Y.H. Kang and D.S. Ahn, Analysis on the interference effects into the radio-relay station from the HAPS system, CIC 2001, Seoul, Korea, Oct. 30 - Nov. 2, 2001
- [2] Masayuki OODO, Ryu MIURA, A study of frequency sharing and contribution to ITU for wireless communication systems using stratospheric platforms, Journal of the Communications Research Laboratory, Vol.48 No.4, 2001
- [3] Doc.4-9S/219-E, Interference from the down-link of the fixed service using high altitude platform stations to the uplink of the fixed-satellite service in the band 27.5GHz ~ 28.35GHz, 28 March, 2002
- [4] Rec. ITU-R F.1245-1, Mathematical model of average and related radiation patterns for link-of-sight point-to-point radio-relay system antennas for use in certain coordination studies and interference assessment in the frequency range from 1GHz

to about 70GHz

- [4] Rec. ITU-R F.1107, Probabilistic analysis for calculating interference into the fixed service from satellites occupying the geostationary orbit
- [6] 박종민, 구본준, 안도섭, 김봉석, 강영홍, 주파수 공유를 위한 HAPS 시스템이 무선 중계국에 미치는 간섭 영향 분석, 한국통신학회 논문지, 제 27권 제 7B호, pp. 719 ~ 725, 2002년 7월