

HAPS와 위성간 주파수 공유를 위한 HAPS 운용 시나리오

구본준*, 안도섭**, 김 남***

Scenarios of HAPS Operation for frequency sharing between HAPS and Satellite

Bon-Jun Ku*, Do-Seob Ahn**, Nam Kim***

요 약

본 논문에서는 성층권 통신시스템과 위성 시스템간의 주파수 공유를 위한 HAPS 운용 시나리오를 제안한다. 지금까지 간섭 분석을 위해 고려된 시나리오는 모든 HUT가 활성화된 상태를 가정한 것이다. 그러나 가입자의 활성화 상태에 따라서 통신 링크를 형성하는 실제적인 운용 시나리오를 고려할 경우 타 망으로의 간섭 신호를 원래보다 더 경감시킬 수 있다. 유해한 간섭 영향을 줄이기 위하여 HAPS의 운용 측면을 고려한 HAPS 플랫폼의 시간분할 다중빔 운용 시나리오에 대해서 제안하고 운용률에 따른 간섭 영향을 평가한다.

Key Words : HAPS, fixed service, fixed-satellite service, frequency sharing, interference, time division multibeam

ABSTRACT

In this paper, HAPS operation scenario is proposed to minimize the interference from HAPS user terminal(HUT) to geostationary earth orbit(GEO) satellite receiver. The conventional scenario has been assumed for fully operated situation of HUT. However, all the HUTs could not be fully operated in a real system operation. Therefore, in order to reduce the interference to other systems, multibeam operation scenarios such as time division and adaptive time division methods are proposed and the interference effect of HUT to satellite receiver is evaluated according to various operation rate of HUT.

I. 서 론

국제전기통신연합 무선통신 부문(ITU-R: International Telecommunication Union – Radiocommunication)에서는 고고도 플랫폼국(HAPS: High Altitude Platform Station)을 사용하는 고정업무와 고정위성업무간의 주파수 공유 연구가 수행되어 왔다. ITU-R 연구 결과로서 이격거리를 이용한 주파수 공유 방법과 전력제어를 이용한 주파수 공유 방법이 제안되었다[1].

이격거리를 이용한 주파수 공유 방법은 HAPS망

의 서비스 영역과 고정위성업무망의 서비스 영역의 각 중심(위성 지구국의 위치)간의 적절한 이격거리를 통한 공유 방법을 말한다. 주요 결과로 두 망은 동일 영역에 동일 주파수를 공유할 수 없으며 적어도 서비스 영역이 중첩되지 않을 경우에만 우주국 수신기로의 총 간섭이 수용 가능함을 보여주었다. 이격거리를 이용한 주파수 공유 방법은 HUT로부터 정지궤도 위성의 우주국 수신기로의 유해한 간섭을 줄이기 위한 단순한 방법이지만 매우 긴 이격거리가 필요하게 되어 공유 관점에서는 바람직하지 않은 단점을 갖고 있다.

* 한국전자통신연구원 위성무선융합연구부 위성휴대전송연구팀(bjkoo@etri.re.kr),

** 한국전자통신연구원 위성무선융합연구부 (ahnds@etri.re.kr), *** 충북대학교 (namkim@chungpook.ac.kr)

※ 본 논문은 지식경제부 및 한국산업기술평가위원회의 정보통신 산업원천기술개발사업(스택트럼 공학 및 밀리미터파대 전파자원 이용기술 개발) 지원으로 수행되었음 (2008-F-02)

논문번호 : 논0902-04, 접수일자 : 2009년 10월 13일, 최종게재논문통보일자 : 2009년 12월 28일

두 망간의 공유를 위해 공간적으로 분리시키는 방법과 달리 전력제어를 이용한 주파수 공유 방법을 적용하여 동일 영역에서 동일 주파수 대역을 사용하는 주파수 공유 연구가 제안되었다. 전력제어를 이용한 주파수 공유 방법은 HAPS 서비스 영역에 존재하는 각 HAPS 사용자 터미널의 적절한 전력레벨을 결정함으로써 우주국 수신기로의 유해한 간섭 신호의 레벨을 경감시킬 수 있는 방법이다. 그러나 이 방법은 HAPS 시스템 측면에서 줄어든 신호 레벨로 인해 HAPS 시스템의 성능 열화를 가져올 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 동일 영역과 동일 주파수 대역을 사용하는 환경에서 HUT로부터 고정위성업무 우주국 수신기로의 간섭 영향을 최소화하면서 HAPS 시스템의 성능을 극대화할 수 있는 효율적인 주파수 공유 방법이 제안되었다[2]. 적응형 빔형성 기법을 HUT에 적용함으로써 HAPS 플랫폼 방향으로는 원하는 링크를 형성하면서 우주국 수신기 방향으로는 널을 형성하여 간섭을 완화시킬 수 있었다. 그러나 우주국 수신기 이외의 방향에서 HUT의 사이드로브 레벨 증가로 인해 간섭 영향이 증가하는 특성을 갖는다.

본 논문에서는 HUT의 사이드로브 레벨에 의한 간섭영향의 완화를 위하여 지금까지 간섭 분석을 위해 고려된 시나리오인 모든 HUT가 활성화된 상태를 가정한 것 대신 가입자의 활성화 상태에 따라서 통신 링크를 형성하는 실제적인 운용 시나리오를 제안한다. 또한, 운용 시나리오의 효율성을 추정하기 위하여 HUT의 운용율에 따른 간섭영향을 평가한다.

II. 시나리오 모델

본 절에서는 HUT로부터 우주국수신기로의 간섭 레벨을 계산하기 위한 시나리오 모델을 정의한다. 그림 1은 3축을 갖는 3차원 구조의 HAPS와 정지궤도 위성의 간섭 시나리오 모델을 보여준다. 지구 중심을 원점으로 z 축이 북극점을 지나고 x 및 y 축이 적도면상에 z 축과 서로 직각을 이루는 3차원 좌표에서 정지궤도 위성과 HAPS 플랫폼은 동일 경도상에 위치한다고 가정한다. y 축은 정지궤도 위성을 향하고 y 축(위도가 0° 인 적도면)으로부터 HAPS 플랫폼까지의 각도는 HAPS 플랫폼 위도이다.

HAPS 시스템은 HAPS 플랫폼과 HAPS 서비스

영역내에 분포된 수 많은 HUT로 구성된다. HAPS 서비스 영역은 지상에서 HAPS 플랫폼을 바라다보는 양각에 따라 UAC(Urban area coverage), SAC(Suburban area coverage), RAC(Rural area coverage)로 구분된다. HAPS nadir는 UAC, SAC 및 RAC의 중심에 위치하고, UAC는 SAC 및 RAC로 둘러 쌓여져 있다.

위성 시스템은 정지궤도 상에 우주국 수신기와 지상에 위성지구국으로 구성된다. 최악의 간섭시나리오를 가정하기 위하여 HAPS 플랫폼은 정지궤도 상의 위성과 동일 경도상에 위치한다고 가정한다. 우주국의 위성수신기는 고도 36,000 km의 정지궤도상에 위치한다. 위성 지구국은 최악의 시나리오를 가정할 경우 HAPS nadir에 위치한다. 원하는 신호의 경로는 실선으로 표현된다. 상향링크 상에서의 간섭 시나리오를 고려하므로 HAPS 시스템에서 HUT로부터 HAPS 플랫폼으로 원하는 신호의 경로이며, 위성 시스템에서 위성 지구국으로부터 위성수신기로의 방향이 원하는 신호의 경로이다. 반면, 간섭 경로는 점선으로 표현된다. 이격각도 ϕ_h 는 HUT 송신 안테나의 주빔으로부터 우주국 위성수신기로의 이격각이며 ϕ_s 는 우주국 수신 안테나의 주빔으로부터 HUT로의 이격각이다.

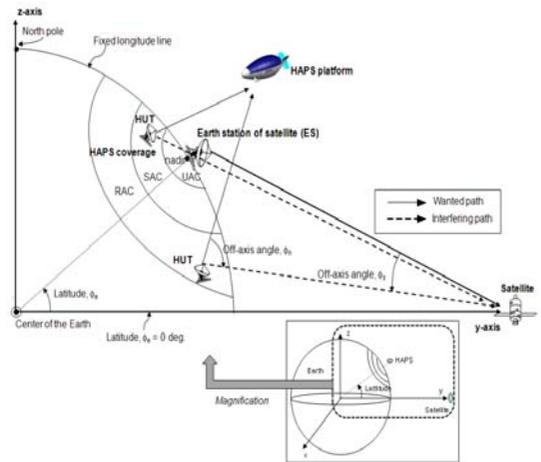


그림 1 간섭시나리오 모델

III. 시스템파라미터

HAPS 서비스 영역은 HUT의 양각에 따라서 UAC,

SAC, 및 RAC로 구분되는데 이와 같은 구분은 각 영역별로 HAPS와 HUT간 거리가 다르므로 인해 서로 다른 경로손실이 발생하는 것에 기인한다. 이러한 이유로 영역별 경로손실을 보완하기 위해 필요한 HUT 및 플랫폼 시스템 파라미터를 구분하여 정의한다[3]. 각 서비스 영역은 각각 최대 100개의 HUT를 포함할 수 있으며 HUT는 대역폭 2 MHz, 서비스 영역별로 서로 다른 값을 갖는 전송전력밀도 P_t 및 최대 안테나 이득 G_{max} 의 파라미터를 갖는다. 표 1은 간섭 분석을 위하여 고려된 HUT 송신 파라미터를 정의한 것으로 HUT는 각 영역에서 임의의 위치에 분포될 수 있다고 가정한다.

표 1 HUT 송신 파라미터

영역 (HUT수)	전력밀도, P_b (dBW/MHz)	안테나이득, G_{max} (dBi)	대역폭 B , (MHz)
UAC (100)	-8.2	23	2
SAC (100)	-7	38	2
RAC (100)	-1.5	38	2

간섭 계산을 위하여 HUT용 안테나 빔패턴은 권고서 ITU-R F.699를 적용한다. 본 권고서는 주파수 공유 및 간섭 연구시 많이 적용되는 고정업무용 지상 단말기 안테나 빔패턴을 언급하고 있다. HUT 주빔의 최대이득에서 시작되는 off-axis 각도 ϕ_h 에 따른 HUT 안테나빔패턴 $G_h(\phi_h)$ 는 다음과 같다.

$$G_h(\phi_h) = \begin{cases} G_{max} - 2.5 \times 10^{-3} (\frac{D}{\lambda} \phi_h)^2, & 0^\circ < \phi_h < \phi_m \\ 2 + 16 \log \frac{D}{\lambda}, & \phi_m \leq \phi_h < \frac{100\lambda}{D} \\ 62 - 10 \log \frac{D}{\lambda} - 25 \log \phi_h, & \frac{100\lambda}{D} \leq \phi_h < 48^\circ \\ 10 - 10 \log \frac{D}{\lambda}, & 48^\circ \leq \phi_h \end{cases} \quad (1)$$

여기에서 G_{max} 및 D 는 표 3.6에서 정의된 최대 안테나 이득 및 HUT 안테나 직경을 나타내며, λ 는 미터 단위의 파장, ϕ_m 은 다음과 같이 주어진다.

$$\phi_m = \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{max} - 2 + 16 \log \frac{D}{\lambda}} \quad (2)$$

정지궤도 위성 시스템은 우주국의 정지궤도 위성 수신기와 지상의 위성지구국으로 구성된다. 위성시스템에서 간섭 기준은 권고서 ITU-R SF.1481에 정

의된 -150.5 dB (W/MHz)를 적용한다[4]. 위성 수신기 주빔의 최대이득 각에서 시작되는 off-axis 각도 ϕ_s 에 따른 정지궤도 위성수신기의 안테나 빔패턴 $G_s(\phi_s)$ 는 다음과 같다

$$G_s(\phi_s) = \begin{cases} G_{max} - 3(\frac{\phi_s}{\phi_{3dB}})^2, & \phi_{3dB} \leq \phi_s \leq 2.58\phi_{3dB} \\ G_{max} - 26, & 2.58\phi_{3dB} < \phi_s \leq 6.32\phi_{3dB} \\ G_{max} - 26 + 26 \phi_s, & 6.32\phi_{3dB} < \phi_s \leq 6.32\phi_{3dB} \times 10^{0.04(G_{max}-26)} \\ 0, & 6.32\phi_{3dB} \times 10^{0.04(G_{max}-26)} < \phi_s \leq 90^\circ \\ 10 - 10 \log 2.58\phi_{3dB}, & 90^\circ < \phi_s \leq 180^\circ \end{cases} \quad (3)$$

여기에서 위성수신기의 최대 안테나 이득 G_{max} 는 51.8 dBi 이고 3 dB 빔폭의 1/2에 해당하는 값은 다음과 같다.

$$\phi_{3dB} \approx 10^{(44.5 - G_{max})/20} \quad (4)$$

그림 2는 HAPS와 위성시스템간의 간섭 전력을 추정하기 위한 기하학적 배치를 보여준다. 그림 1의 3차원 좌표계를 참조하면 i 번째 HUT인 HUT i 의 좌표는 (x_i, y_i, z_i) 로 표현된다. 또한 HAPS 플랫폼, GEO 수신기 및 위성지구국의 좌표는 각각 $(0, y_h, z_h)$, $(0, h_s, 0)$, 및 $(0, y_e, z_e)$ 로 표현된다. 각도 ϕ_{hi} 는 i 번째 HUT 단말기의 송신 안테나 주빔으로부터 위성으로의 이격 각도를 나타내고 각도 ϕ_{si} 는 수신 위성안테나의 주빔으로부터 i 번째 HUT로의 이격각도를 나타낸다.

GEO 수신기로 유입되는 간섭 전력밀도를 계산하기 위해서는 식 (5)를 이용한다.

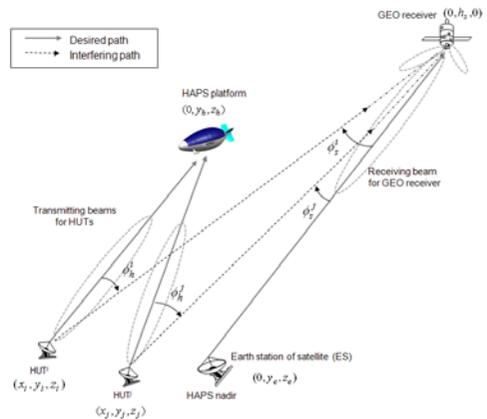


그림 2 HAPS 및 우주국 수신기 배치도

$$P_r = \sum_i (P_i^i + G_h(\phi_h^i) + G_s(\phi_s^i) - L_a(\theta_i) - 10 \log B - 20 \log \frac{4\pi d_{SH}}{\lambda} - 60) \text{ dB(W/MHz)} \quad (5)$$

- P_i i 번째 HUT의 송신 출력 전력밀도 (dB(W/MHz))
- $G_h(\phi_h)$ i 번째 HUT의 송신 안테나 주빔으로부터 이격각도 ϕ_{hi} 에 대한 송신안테나 이득 (dB)
- $G_s(\phi_{si})$ 위성 안테나의 주빔으로부터 이격각도 ϕ_{si} 에 대한 수신안테나 이득 (dB)
- $L_a(\theta_i)$ i 번째 HUT의 양각이 θ_i 일 때 해당되는 대기감쇠 (dB)
- λ 파장 (m)
- d_{SH} HUT와 위성간 거리 (km)
- P_r 모든 HUT로부터 GEO 수신기로의 총간섭 전력 (dB(W/MHz))

식 (6)에서 간섭 전력밀도 P_r 을 계산하기 위하여 300개의 HUT가 HAPS 서비스 영역내에 임의로 분포된다고 가정한다. 먼저 HUT와 GEO 수신기와 이격 각도에 따른 안테나 이득을 계산한다. 이격 각도 ϕ_{hi} 및 ϕ_{si} 는 다음과 같다.

$$\phi_{h_i}^i = \cos^{-1} \left(\frac{(I_{hs}^i)^2 + (I_{hp}^i)^2 - (I_{gs}^i)^2}{2(I_{hs}^i)^2(I_{hp}^i)^2} \right) \quad (6)$$

$$\phi_{s_i}^i = \cos^{-1} \left(\frac{(I_{hs}^i)^2 + (I_{se}^i)^2 - (I_{he}^i)^2}{2(I_{hs}^i)^2(I_{se}^i)^2} \right) \quad (7)$$

- I_{hp} HUT i 와 HAPS 플랫폼간 거리(km)
- I_{hs} : HUT i 와 우주국수신기간 거리(km)
- I_{ps} : HAPS 플랫폼과 우주국수신기간 거리(km)
- I_{se} : GEO 수신기와 위성지구국간거리(km)
- I_{he} : HUT i 와 위성지구국간 거리(km)

그 경로 거리는 HUT, HAPS 플랫폼, GEO 수신기 및 위성 지구국의 좌표로부터 구할 수 있다.

식 (5)에서 전파손실항 $L_a(\theta)$ 가 고려된다. HUT의 높이가 0 km라고 가정하면 대기손실 $L_a(\theta)$ 는 주파

수 47.9 GHz 에서 48.2 GHz까지의 대역에서 식 (8) 과 같이 정의된다. 이 손실값은 i 번째 HUT의 양각 θ_i 와 HAPS 플랫폼의 위도 ϕ_e 에 따라 결정된다[5].

$$L_a(\theta_i) = \begin{cases} \frac{57.90}{1 + A_1\theta_i + A_2\theta_i^2 - A_3\theta_i^3 + A_4\theta_i^4}, & 0^\circ \leq \phi_e < 22.5^\circ \\ \frac{53.06}{1 + B_1\theta_i + B_2\theta_i^2 - B_3\theta_i^3 + B_4\theta_i^4}, & 22.5^\circ \leq \phi_e < 45^\circ \\ \frac{53.21}{1 + C_1\theta_i + C_2\theta_i^2 - C_3\theta_i^3 + C_4\theta_i^4}, & \phi_e \geq 45^\circ \end{cases} \quad (8)$$

여기에서 A1에서 C4까지의 모든 상수는 [5]를 참조한다.

HAPS 서비스 영역에 배치되는 HUT의 위치는 임의적이기 때문에 임의의 HUT의 위치에 따른 누적분포함수를 구하기 위하여 1,000번의 시뮬레이션을 수행한다. 각 시뮬레이션에서 간섭전력레벨이 계산되고 1,000개의 간섭전력레벨 값들을 통하여 누적분포함수를 계산한다. 그림 3은 계산된 누적분포함수를 나타낸다. x축 상의 I_0 보다 적거나 같은 간섭누적확률 I 를 나타낸다. 고위도에서 HUT가 GEO 수신기를 직접적으로 바라다볼 확률이 높음으로 인하여 HAPS 플랫폼이 높은 위도에 위치할수록 간섭전력레벨이 증가함을 알 수 있다. 예를 들어 HAPS 플랫폼이 위치한 위도가 50°보다 클 경우, 간섭 기준을 초과하는 GEO 수신기로의 총 간섭 확률은 100%이다. HAPS 플랫폼의 위치 위도가 30°라고 가정하는 경우 간섭 기준을 만족하는 총 간섭 확률은 10% 정도이다. 이는 두 시스템간 동일 서비스 영역을 공유하기 위해서는 적절한 간섭경감기법이 필요하다는 것을 의미한다.

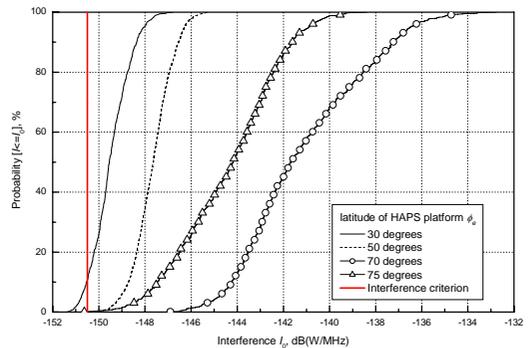


그림 3 HAPS 플랫폼의 위도에 따른 간섭누적분포

그림 7은 시간 분할 방식의 다중빔 시나리오에 따른 간섭 영향을 보여준다. 여기에서 HUT 안테나 빔 패턴은 ITU-R 권고서의 규격을 적용하였으며, HAPS 플랫폼의 위치는 위도 38°에 위치하는 것으로 가정하였다. 시간분할 횟수 N_{TD} 가 1인 경우는 모든 HUT가 활성화 되어 송수신을 하는 것으로 가정하는 것으로 그 횟수가 증가할 때 마다 활성화되는 HUT의 수는 감소하게 된다. 그림 7에서와 같이 시간분할 횟수가 4인 경우 대부분 위성수신기로의 유해한 간섭을 발생시키지 않은 것으로 볼 수 있다.

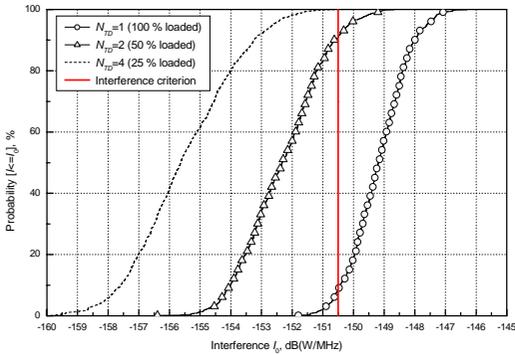


그림 7 HUT 시간분할 운용율에 따른 간섭영향

V. 결 론

본 논문에서는 HAPS와 고궤위성업무용 우주국 수신기와의 주파수 공유를 위한 HUT 운용 시나리오를 제안하였다. 간섭 전력 추정을 위하여 간섭 시나리오를 정의하고, HUT에 의한 우주국 수신기로의 간섭영향을 살펴보았다. 또한, HAPS 시스템이 시간분할 다중빔 운용 시나리오를 적용하게 되면 기존 주파수 공유 방법과 더불어 간섭을 완화할 수 있는 효과를 가져옴을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] Recommendation ITU-R SF. 1843, "Methodology for determining the power level for HAPS ground terminals to facilitate sharing with space station receivers in the bands 47.2-47.5 GHz and 47.9-48.2 GHz," ITU, 2007.
 [2] Bon-Jun Ku, Dae Sub Oh, Nam Kim, and Do-Seob

Ahn, "Antenna beam pattern characteristics of HAPS user terminal," IEICE trans. commun., vol. E92-B, no. 11, pp.3394-3396, 2009.

[3] Recommendation ITU-R F. 1500, "Preferred characteristics of systems in the fixed service using high altitude platforms operating in the bands 47.2-47.5 GHz and 47.9-48.2 GHz," ITU, 2000.
 [4] Recommendation ITU-R SF. 1481-1, "Frequency sharing between systems in the fixed service using high-altitude platform stations and satellite systems in the geostationary orbit in the fixed-satellite service in the bands 47.2-47.5 and 47.9-48.2 GHz," ITU, 2002.
 [5] Recommendation ITU-R F. 1501, "Coordination distance for systems in the fixed service (FS) involving high-altitude platform stations (HAPSs) sharing the frequency bands 47.2-47.5 GHz and 47.9-48.2 GHz with other systems in the fixed service," ITU, 2000

저자

구 본 준(Bon-Jun Ku) 정희원



1995년 2월: 경북대학교
공학사
1999년 2월: 경북대학교
공학석사
2010년 2월 : 충북대학교
공학박사
1999년~현재 : 한국전자통신
연구원 위성무선융합
연구부 위성휴대전송

연구팀 선임연구원

<관심분야> 위성통신, 성층권통신

안 도 섭(Do-Seob Ahn) 정희원



1988년 2월: 경북대학교
전자공학과 석사
1990년 2월: 경북대학교
공학석사
1990년~현재 : 한국전자통신
연구원 위성휴대전송
연구팀장

<관심분야> 위성통신, 성층권통신 시스템

김 남(Nam Kim)

정회원



1981년 2월 : 연세대학교
전자공학과(공학사)
1983년 2월 : 연세대학교
전자공학과(공학석사)
1988년 8월 : 연세대학교
전자공학과(공학박사)
1989년~현재 : 충북대학교
전자정보대학 교수

<관심분야> : 광정보처리, 광통신, 이동 통신
및 전파전파, 마이크로파 전송
선로 해석, EMI/EMC 및 전자파
인체보호 규격