고고도 플랫폼 무선국의 공중 간섭영역에 따른 간섭확률

강현덕, 손호경
한국전자통신연구원
henry@etri.re.kr, hgson@etri.re.kr

Probability of Interference for HAPS considering Spherical Segment of intefering HAPS

Hyunduk Kang, Ho-kyung Son
Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

본 논문에서는 고고도 플랫폼 무선국의 공중 간섭영역에 따른 간섭확률 산출 방안을 제안하고, 고고도 플랫폼 무선국 고도, 밀도 및 인접 고고도 플랫폼 무선국 호거리에 의한 공중 간섭영역에 따른 분석결과를 제시하였다.

Ⅰ. 서 론

고고도 플랫폼 무선국(High Altitude Platform Station: HAPS)은 성층권내의 20km이상 50km이하의 고도에서 준정상상태(quasi-stationary) 위치에 머물며 제공되는 무선 통신 플랫폼으로 위성보다 낮은 고도에서 운영되어 낮은 지연 시간과 넓은 서비스 커버리지를 동시에 제공할 수 있다. 지상 기지국과 달리 지형적 한계를 극복할 수 있어 오지나 도서 지역 등 서비스 취약지에서 효과적인 통신 수단으로 주목받고 있으며, 직선 시야(Line-of-Sight) 전파 특성을 활용하여 넓은 영역에서 높은 주파수 효율과 안정적인 품질을 확보할 수 있다는 장점이 있다. [1], [2]. 본 논문은 고고도 플랫폼 무선국의 공중 간섭영역에 따른 간섭확률 산출 방안을 제안하고, 고고도 플랫폼 무선국 고도, 밀도 및 고고도 플랫폼 무선국 간섭영역에 따른 분석결과를 제시하였다.

Ⅱ. 본론

고고도 플랫폼 무선국의 서비스 영역과 간섭영역은 그림 1에 나타난 바와 같이 3차원 R^3 공간상의 $0(\in R^3)$에 중심을 둔 구의 표면을 고려하고, 고고도 플랫폼 무선국은 반경 $R_E(=6371km)$를 가지는 구형태의 지구중심을 중심으로 하고 지구중심으로 부터 반경 R_H를 갖는 공간상으로 연결한 가상의 구(HAPS Sphere로 명명)의 표면상에 존재한다고 가정한다. 이 구는 다음과 같이 표현할 수 있다 [3].

$$S^2_{R_H} = \{x \in R^3 \ : \ \|x\|_2 = \ R_H\} \tag{1}$$

포인트 벡터 $x \in S^2_{R_H}$는 구 좌표계에서 고정된 거리 R_H와 방위각 $0 \le \psi \le 2\pi$과 고도각 $0 \le \theta \le 2\pi$으로 정의될 수 있다.

$S^2_{R_H}$로 정의되는 구의 표면상의 유한한 개수의 요소를 가지는 포인트 프로세스 $\Phi = \{x_1, \cdots, x_N\}$를 고려하면, $S^2_{R_H}$ 상의 포인트 개수 $N = \Phi(S^2_{R_H})$은 평균 $4\pi R_H^2 \lambda$과 밀도 λ를 갖는 포아송 랜덤 변수로 정의될 수 있다.

$$P(N=n) = \exp(-4\pi R_H^2 \lambda) \frac{(4\pi R_H^2 \lambda)^n}{n!} \tag{2}$$

여기서 $4\pi R_H^2$는 구의 표면적이다.

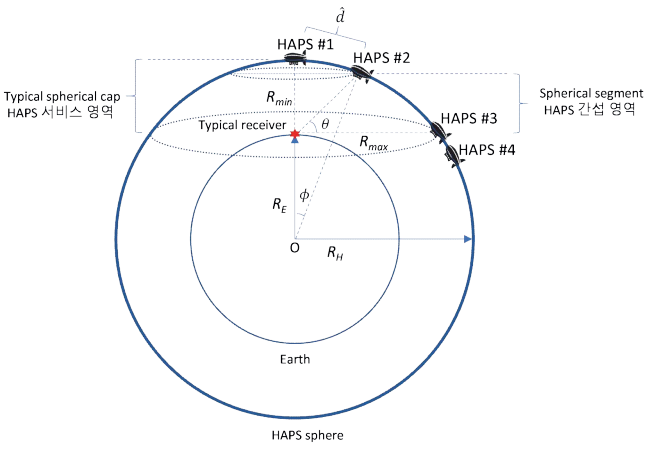

그림 1 고고도 플랫폼 무선국 서비스 영역 및 간섭영역 정의

주어진 N에 대하여, $\{x_1, \cdots, x_N\}$는 Binomial point process (BPP)이며, $i \in [N]$에 대한 x_i 는 구의 표면상에 독립적이며 균일하게 (independent and uniformly) 분포된다. 3차원 공간상의 좌표 $(0,0,R_E)$에 위치한 대표 공중망 사용자(Typical receiver)를 고려하고 대표 공중망 사용자를 기준으로 특정 고도각 θ $(0 \le \theta \le \pi/2)$상에 고고도 플랫폼 무선국이 존재한다고 가정한다. 즉, 대표 공중망 사용자에서의 지평선과 고고도플랫폼 무선국

의 LOS(Line Of Sight)를 직선 사이의 각을 이용하여 대표 공중망 사용자가 이용하는 고고도 플랫폼 무선국을 특정할 수 있다. 고고도 플랫폼 무선국의 고도는 R_E와 R_H사이의 거리로 정해진다. 대표 공중망 사용자(Typical receiver)와 고고도 플랫폼 무선국 사이의 거리 R ($R_{\min} \le R \le R_{\max}$)은 최소거리 $R_{\min}$과 최대거리 $R_{\max}$ 사이에서 정해지며 R_E와 R_H를 이용하여 각각 $R_{\min} = R_H - R_E$ 및 $R_{\max} = \sqrt{R_H^2 - R_E^2}$로 나타낼 수 있다.

HAPS#1의 경우 대표 공중망 사용자의 천정(zenith)에 위치한 경우를 나타내며, HAPS#1 기준 대표 공중망 사용자는 천저(nadia)에 위치한 경우를 나타낸다. 가장 근접한 인접 고고도 플랫폼 무선국 HAPS#2의 경우 HAPS#1과의 호거리(arc distance), $\hat{d}$ 만큼 떨어져 있다. HAPS#3의 경우 대표 공중망 사용자 기준 지평선 상에 위치한 경우를 나타낸다. HAPS#4의 경우 대표 공중망 사용자의 시야에서는 관찰되지 않는 지평선 아랫부분에 위치한 경우를 나타낸다. 대표 공중망 사용자 관점에서 고고도 플랫폼 무선국의 서비스 영역은 지평선 부분 위의 공중영역을 의미하며, 그림 1에서는 대표 구형 캡(Typical spherical cap)이 서비스 영역으로 정의되며, 다음의 수학식으로 표현할 수 있다.

$$A_S = 2\pi R_{\min} R_H \tag{3}$$

또한, 대표 공중망 사용자 관점에서의 인접 고고도 플랫폼 무선국에 의한 간섭영역은 가장 가까운 호거리, $\hat{d}$에 위치하는 인근 고고도 플랫폼 무선국을 포함하는 구형 구역(Spherical segment)으로 정의되며, 다음의 수학식으로 표현할 수 있다.

$$A_I(\hat{d}) = 2\pi R_H \left(\cos\left(\frac{\hat{d}}{R_H} \right) R_H - R_E \right) \tag{4}$$

대표 공중망 사용자 관점에서의 인접 고고도 플랫폼 무선국에 의한 간섭영역 $A_I(\hat{d})$는 고고도 플랫폼 무선국 서비스영역 A_S의 부분집합(subset)으로 표현될 수 있다. 즉, $A_I \in A_S$ 이며, 여기서 $0 \le A_I(\hat{d}) \le A_S$ 이다. 고고도 플랫폼 무선국이 고고도 플랫폼 무선국 서비스 영역 상에 랜덤하고(randomly) 균일하게(uniformly) 분포한다고 가정하면 간섭영역에 따른 간섭확률($\Pr\{HI\}$: 간섭영역에 하나 이상의 인접 고고도 플랫폼 무선국이 존재할 확률)은 다음의 수학식으로 산출될 수 있다.

$$1 - e^{-\rho \cdot A_I(\hat{d})} \tag{5}$$

여기서 $\rho = N/A$는 고고도 플랫폼 무선국 간섭 영역에서의 고고도 플랫폼 무선국 분포 밀도, 즉, 단위면적당 고고도 플랫폼 무선국 개수를 나타낸다.

그림 2는 고고도 플랫폼 무선국 고도가 20km일때 간섭영역에서의 고고도 플랫폼 무선국 분포 밀도에 따른 간섭확률을 나타낸다. 고고도 플랫폼 무선국의 분포 밀도가 높을 수록, 인접 무선국 호거리가 가까울 수록 간섭확률이 높은 것을 알 수 있다. 그림 3은 고고도 플랫폼 무선국 고도가 22km일때 간섭영역에서의 고고도 플랫폼 무선국 분포 밀도에 따른 간섭확률을 나타낸다. 무선국의 고도가 낮을 수록 간섭확률의 높은 것을 알 수 있다.

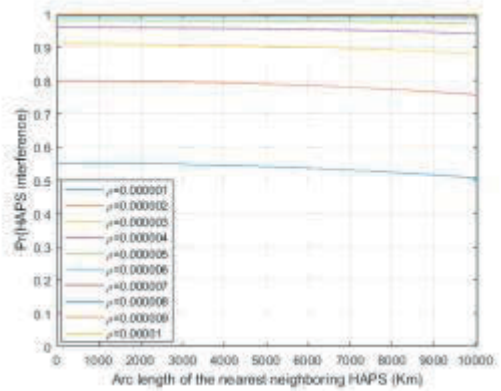

그림 2 고고도 플랫폼 무선국 분포 밀도 및 인접 무선국 호거리에 따른 간섭확률 (고도 20km)

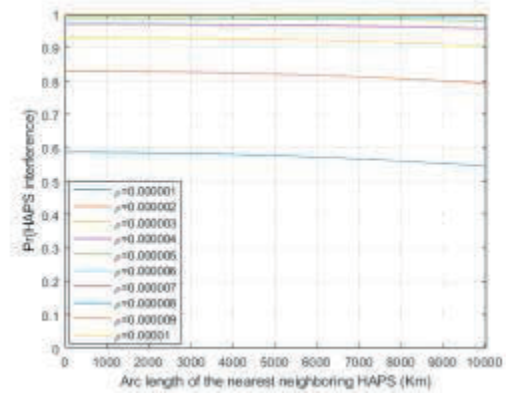

그림 3 고고도 플랫폼 무선국 분포 밀도 및 인접 무선국 호거리에 따른 간섭확률 (고도 22km)

Ⅲ. 결론

본 논문에서는 고고도 플랫폼 무선국의 공중 간섭영역에 따른 간섭확률 산출 방안을 제안하였으며, 무선국 고도, 밀도 및 인접 무선국 호거리에 의한 간섭영역에 따른 분석결과를 제시하였다. 무선국의 고도가 낮을 수록, 분포 밀도가 높을 수록, 인접 무선국 호거리가 가까울 수록 간섭확률이 높은 것을 알 수 있었다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 2025년도 수행된 연구임(No. RS-2023-00217885, 주파수 이용효율 향상을 위한 통합형 간섭분석 기술 개발).

참 고 문 헌

[1] D. Zhou, S. Gao, R. Liu, F. Gao and M. Guizani, "Overview of development and regulatory aspects of high altitude platform system," in Intelligent and Converged Networks, vol. 1, no. 1, pp. 58-78, June 2020, doi: 10.23919/ICN.2020.0004.

[2] G. Karabulut Kurt et al., "A Vision and Framework for the High Altitude Platform Station (HAPS) Networks of the Future," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 23, no. 2, pp. 729-779, Secondquarter 2021, doi: 10.1109/COMST.2021.3066905.

[3] H. Kang and H-K. Son, "Service Availability of HAPS considering its elevation angle, density, and altitude," 2023 14th International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), Jeju Island, Korea, Republic of, 2023, pp. 1263-1266, doi: 10.1109/ICTC58733.2023.10393260.