

# 저궤도 위성 네트워크에서 수신 신호 세기에 따른 연결성 분석

임현수, 한상민\*, 유지나\*, 김재현

아주대학교 전자공학과, \*아주대학교 AI융합네트워크학과

{gustn2995, \*hsm960622, \*jinall14, jkim}@ajou.ac.kr

## Connectivity Analysis of Received Signal Strength in LEO Satellite Network

Hyunsu Lim, Sangmin Han\*, Jina Yu\*, Jae-Hyun Kim

Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou Univ.

\*Department of Artificial Intelligence Convergence Network, Ajou Univ.

### 요약

3rd generation partnership project (3GPP)에서는 저궤도 위성 및 지상 단말기 간 연결성 확보를 목표로 하고 있다. 본 논문에서는 MATLAB Satellite Communication toolbox 프로그램을 사용하여 저궤도 위성 및 지상국 사이의 연결성을 확인한다. 기존 저궤도 위성 및 지상국의 연결 조건인 최소 고도각과 함께, 잡음 전력밀도에 대한 비트 에너지의 비 (energy per bit to noise density ratio,  $E_b/N_0$ )도 연결 조건으로 한다. 이 때,  $E_b/N_0$ 의 크기를 threshold 10 dB로 하여 10dB 이상일 때 저궤도 위성 및 지상 단말기가 연결되도록 한다. 분석 결과, 최소 고도각만 연결 조건으로 한 경우보다 최소 고도각에 추가로  $E_b/N_0$ 까지 연결 조건으로 한 경우에 저궤도 위성 및 지상국 사이에서 신뢰성 있는 연결 시간이 감소한 것을 확인할 수 있다.

### I. 서론

현재 5G를 넘어 6G에 대한 논의가 이루어지면서 지상뿐만 아니라 우주까지 통신 설비 활용 논의가 이루어지고 있다. 이에 이동통신 표준화 단체 (3rd generation partnership project, 3GPP)에서 고도 300 ~ 1,500 km인 저궤도(low earth orbit, LEO) 위성 네트워크를 연구하고 있다 [1]. 저궤도 위성은 빠른 이동성을 가지고 있으므로 저궤도 위성 및 지상국의 지속적인 연결성을 분석하는 것은 중요하다. 일반적으로 저궤도 위성 네트워크에서는 최소 고도각만 이용하여 저궤도 위성 및 지상국 사이의 연결성을 분석하고 있다. 하지만 저궤도 위성 네트워크의 신뢰성을 위해서는 위성 및 지상 단말기 간 하향링크에 있어 수신 신호 세기 역시 고려되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 저궤도 위성 및 지상 단말기 사이의 고도각과 수신 신호 세기에 따른 연결성을 확인한다. 고도 및 최대 고도각에 따른 잡음 전력밀도에 대한 비트 에너지의 비 (energy per bit to noise density ratio,  $E_b/N_0$ )를 이용하여 위성 및 지상국 사이의 연결성을 분석한다 [2].

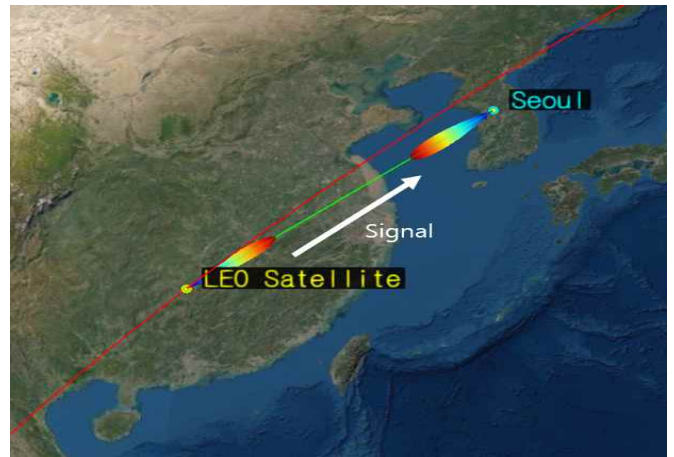


그림 1 저궤도 위성 및 지상국 간 하향링크 연결

### II. 본론

#### 1. Required $E_b/N_0$ 설정 및 시스템 모델

본 논문에서는 저궤도 위성 및 지상국 간 최소 수신 신호 세기, Required  $E_b/N_0$ 를 사용한다. 그림 1과 같이 저궤도 위성 및 지상국이 하향링크 상 황에서의  $E_b/N_0$ 를 구하기 위해 다음과 같은 식을 사용한다.

$$RIP_{Rx} [dBW] = EIRP_{Tx} [dBW] - FSPL [dB], \quad (1)$$

$RIP_{Rx}$ 는 수신 등방 전력,  $EIRP_{Tx}$ 는 송신기 안테나의 등방 등방 복사전 력이다. free space path loss (FSPL)는 채널 모델 중 신호 세기가 좋은 urban scenario로 가정하여 다음과 같이 계산한다.

$$FSPL [dB] = 20 \log_{10}(f) [Hz] + 20 \log_{10}(range) [m] + 32.45, \quad (2)$$

$f$ 는 반송파 주파수,  $range$ 는 저궤도 위성 및 지상국 사이의 거리다. 수식 (1)에서 구한  $RIP_{Rx}$ 를 이용하여 carrier to noise density ratio ( $C/N_0$ )를 구한다.

$$C/N_0 [dB] = RIP_{Rx} [dBW] + (G/T)_{Rx} [dB/K] - 10 \log_{10} k_B [J/K] - LOSS_{Rx} [dB], \quad (3)$$

$G/T_{Rx}$ 는 수신기 이득 대 잡음 온도 비율,  $k_B$ 는 볼츠만 상수,  $LOSS_{Rx}$ 는 수신기와 복조기 사이 손실이다. 잡음 온도  $T$ 는 일정하다고 가정한다.

$G/T_{Rx}$ 는 다음과 같이 계산한다.

$$(G/T)_{Rx} [dB/K] = (G_{Rx}) [dB] - 10 \log_{10} T [K], \quad (4)$$

$G_{Rx}$ 은 수신기 안테나 이득이다. 수식 (3)을 이용하여  $E_b/N_0$ 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$E_b/N_0 [dB] = C/N_0 [dB] - 10 \log_{10}(BITRATE) [Mbps] - 60, \quad (5)$$

표 1 Simulation Parameters

		Parameter	Value
Satellite	LEO Satellite	Inclination	53°
		$\theta_{min}$	25°
	Satellite Transmitter [3]	Frequency	3 GHz
		Power	170 dBW
		Dish diameter	1 m
Ground Station	Ground Station Condition	Location	Seoul
	Ground Station Receiver	Antenna Type	Gaussian Antenna

수식 (5)에서  $BITRATE$ 는 링크 비트 전송률이다.

앞서 언급된 수식 및 모델을 적용하기 위해 시뮬레이션에서 설정된 파라미터 값은 표 1과 같다. 저궤도 위성에서 지상 단말기로 전송되는 신호의 반송파 주파수는 3 GHz, 파워는 170 dBW로 설정한다. 지상 단말기와 저궤도 위성의 통신 링크는 line-of-sight (LOS)로 가정하고, SpaceX의 Starlink 위성에 설정된 최소 고도각 (minimum elevation angle,  $\theta_{min}$ )에 따라 최소 고도각은 25°로 설정한다 [4]. 즉 저궤도 위성과의 지상국 간 고도각이 25° 이상일 때 저궤도 위성 LOS 통신 링크가 연결된다. 또한, 최소 수신 신호 세기 (Required  $E_b/N_0$ )를 10 dB를 설정하여 지상국과 저궤도 위성 간 통신에서의 수신 신호 세기가 10dB보다 높은 경우 저궤도 위성 네트워크가 형성되도록 설정한다.

## 2. 모의실험 결과

본 논문에서는 MATLAB Satellite Communications Toolbox를 활용하여 지상 단말기와 저궤도 위성과의 연결성을 확인한다. 저궤도 위성의 고도를 350 km, 450 km, 550 km, 지상 단말기와 저궤도 위성 간 최대 고도각을 40°, 90°로 설정하여 총 6가지 경우에 대해 수신 신호의  $E_b/N_0$ 를 확인한다. 그림 2는 저궤도 위성과 지상국이 연결되었을 때의 고도 및 최대 고도각에 따른  $E_b/N_0$ 를 그래프로 나타낸 것으로, 각 경우마다 Required  $E_b/N_0$ 를 만족하는 시간이 다른 것을 확인할 수 있다. 표 2는  $\theta_{min}$ 만을 연결 조건으로 설정했을 때 지상 단말기와 저궤도 위성이 연결되는 시간과,  $\theta_{min}$  외에 Required  $E_b/N_0$  조건을 추가하였을 때 지상 단말기와 저궤도 위성이 연결되는 시간을 비교한 표이다. 전체적으로  $\theta_{min}$ 과 함께 Required  $E_b/N_0$ 도 연결 조건으로 설정했을 때 지상 단말기와 저궤도 위성의 연결 시간이  $\theta_{min}$ 만 조건으로 설정했을 때보다 짧아진 것을 확인할 수 있다. 또한, 고도 550 km,  $\theta_{max}$ 가 40°인 경우에는 지상국과 저궤도 위성이 연결되지 않았다. 이와 같은 경우에서 연결성을 확보하기 위해서는 위성 안테나의 파워 세기를 증가시켜야 한다.

## III. 결론

본 논문에서는 MATLAB Satellite Communications Toolbox를 이용하여 수신 신호 세기가 저궤도 위성과 지상 단말기 사이의 통신 성능에 어떠한 영향을 주는지 확인했다.  $\theta_{min}$ 를 25°로 설정했을 때의 연결 시간보다 설정된  $\theta_{min}$ 에 추가적으로 Required  $E_b/N_0$ 를 10 dB로 설정했을 때의 연결 시간이 더 감소하는 것을 확인할 수 있다. 본 논문의 결과를 통해,

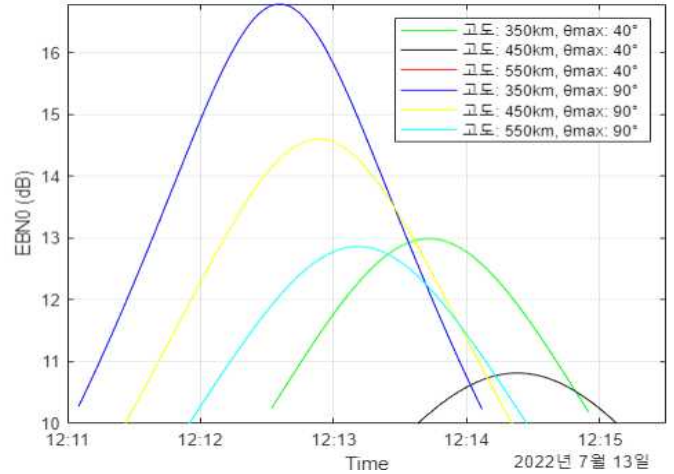


그림 2 고도 및 최대 고도각에 따른  $E_b/N_0$

표 2 조건 별  $\theta_{min}$ 에 따른 연결시간 및  $E_b/N_0$ 에 따른 연결시간

Orbit condition	$\theta_{min}$ 에 따른 연결시간 [5]	$E_b/N_0$ 에 따른 연결시간
altitude: 350 km, $\theta_{max}$ : 90°	183 seconds	182 seconds
altitude: 450 km, $\theta_{max}$ : 90°	232 seconds	174 seconds
altitude: 550 km, $\theta_{max}$ : 90°	280 seconds	152 seconds
altitude: 350 km, $\theta_{max}$ : 40°	147 seconds	143 seconds
altitude: 450 km, $\theta_{max}$ : 40°	185 seconds	90 seconds
altitude: 550 km, $\theta_{max}$ : 40°	222 seconds	0 seconds

고도가 높고 최대 고도각이 낮은 위성으로부터의 신호 세기는 통신 링크에서의 신뢰성을 보장하지 못하는 것을 알 수 있다. 즉, 이 조건에서의 위성과 지상 단말기 사이의 연결성을 확보하기 위해서는 더 높은 위성 안테나의 송신 파워가 필요하다. 본 논문의 연구 결과는 추후 진행될 수 있는 신뢰성 있는 저궤도 위성 네트워크를 구성하기 위한 지상 단말기- 위성 연결성 최적화 연구 시에 활용될 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] X. Lin et al, "On the path to 6G: Embracing the next wave of low Earth orbit satellite access," IEEE Communications Magazine, vol. 59, issue 12, pp. 36-42, Dec. 2021.
- [2] 조태중, "위성통신 시스템에서 수신기 모델 성능을 시험하기 위한 인위 잡음 발생 방법," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol. 20, no. 4, pp. 59-64, Aug. 2020.
- [3] 추무궁, 황인영, 배민지, 서인호, 류영재, "저궤도 위성 간 X-대역 하향 링크에서의 간섭 영향성 분석," 한국항공우주학회지, vol. 49, no. 6, pp. 493, Jun. 2021.
- [4] Nils Pachler, Inigo del Portillo, Edward F. Crawley, Bruce G. Cameron, "An Updated Comparison of Four Low Earth Orbit Satellite Constellation Systems to provide Global Broadband," IEEE International Conference on Communications Workshops, Jun. 2021.
- [5] Irfan Ali, Naofal Al-Dhahir, John E. Hershey, "Predicting the Visibility of LEO-Satellites," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 35, no. 4, pp. 1183-1189, Oct. 1999.