저궤도 위성 하향 데이터링크 교란을 위한 이동 경로 분석

김정훈[1], 박영주[1], 이동근[1], 주증민[1], 김상원[1], 김종규[1], 방종현[1]

[1]국방과학연구소

loveguitar@hanmail.net, longpole@naver.com, tbomg00@hanmail.net, gangsang@gmail.com,
youthmic@hanmail.net, gmp1905@naver.com, bjh4138@naver.com

Appropriate moving path analysis for disturbing down data link of LEO Satellite

Kim Jung Hoon, Park Young Ju, Lee Dong Keun, Joo Jeung Min,

Kim Sang Won, Kim Jong Kyu, Bang Jong Hyeon

Agency for Defense Development[1]

요 약

본 논문에서는 저궤도 위성에서 수집된 대용량 데이터를 지구국으로 다운링크할 때 그 중간에 위치한 간섭원에서 의도적 교란 신호를 발생하여 링크환경에 교란을 주기위한 적절한 이동경로를 분석하고 제시한다.

Ⅰ. 서 론

최근 저궤도에서 정보 수집 임무를 수행하는 위성의 수가 증가하고 있는 실정이다. 특히 SAR, EO, IR 등의 정보 수집위성은 수집된 대용량의 데이터를 지구국으로 최대한 빨리 전송해야 하며, 이러한 저궤도 위성은 짧은 링크시간을 극복하기 위해 광대역 주파수를 이용하여 고속 전송을 사용하고, 이를 위해 X band(8.025~8.4GHz)와 Ka band(25.5~27GHz)를 활용하고 있다.[1]. 최근 연구에서 수많은 저궤도 위성들로 인한 비의도적 지구국 간섭 가능성[2] 및 교란 장비에 의한 의도적 교란 연구가[3]~[7] 수행되었다. 본 논문에서는 저궤도 위성과 지상국 사이에서 간섭원에 의한 의도적 교란 수행시 적절한 이동 경로를 분석하고 제시한다.

Ⅱ. 저궤도 위성 대용량 데이터 링크 특징 및 연구 배경

저궤도 위성 대용량 데이터 통신을 위해 넓은 주파수 대역폭(X band: 375 MHz, Ka band: 1.5 GHz)을 사용하지만, Power flux density(PFD) 규정[1]으로 인해 송신출력(EIRP)을 높이는 데 한계가 있다. 지구국은 낮은 PFD를 극복하기 위해 고이득의 수신 안테나를 사용하며, 안테나의 주빔폭 요구 성능은 1° 이하이나 통상 0.4° 를 만족한다. 또한, 링크통신 변조 방식은 현재 변/복조 방식을 고정 사용하고 있으나 위성-지구국 간 고각에 따른 가변 변조[8]~[9]도 이용 가능한 것으로 확인된다.

저궤도 위성 링크를 교란으로부터 보호하기 위해 주파수 도약 및 확산 스펙트럼 변조, 주파수 도약, 빔 지향, 오류 정정 코드를 포함한 항재밍 기법에 관한 연구가 진행되고 있다[10].

간섭원의 간섭 경로가 포물선으로 이동할 때 링크 영향성은 분석된바 있으나[11], 지구국 수신안테나의 빔패턴을 고려한 간섭원의 적절한 이동 경로에 관한 내용은 알려진 것이 없다. 따라서 본 논문에서는 제한된 송신출력을 갖는 간섭원에서 저궤도 위성-지구국 링크를 교란하기 위해 지구국 위치, 수신 안테나의 빔패턴과 교란 장치의 상대 위치를 분석하여 효율적인 교란이 가능한 교란 이동 경로를 분석한다.

Ⅲ. 저궤도 위성과 간섭원 경로 분석

그림 1은 East-North-Up(ENU) 좌표계를 이용한 위성, 교란장치의 이동중 간섭 상황을 보여준다.

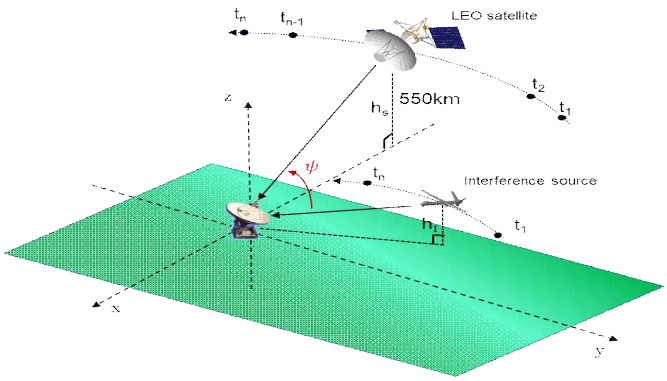

그림 1. 저궤도 위성 하향 링크 간섭상황

저궤도 위성(LEO sateellite)은 고도 h_s에서 t_1~ t_n 시간 동안 궤도를 따라 이동하며 지구국으로 대용량 데이터를 송신하고, 같은 시간 동안 간섭원(Interference source) 은 고도 h_I에서 이동하며 간섭신호를 지구국으로 송신한다.

위도, 경도 기반의 GCS(Geographic coordinate system) 좌표의 지구국 정보와 저궤도 위성, 간섭원의 ENU 좌표를 지구 중심 좌표계(ECEF: Earth-centered Earth-fixed coordinate systme)으로 변환하면 간섭원과 저궤도 위성의 각도(ψ)를 계산할 수 있다. 간섭원은 위성-지구국 간 링크 성능을 저하시키기 위해 간섭원의 신호가 지구국 안테나의 널(Null)이 아닌 side lobe의 n번째 peak 지점의 angle로 입사되어야 한다.

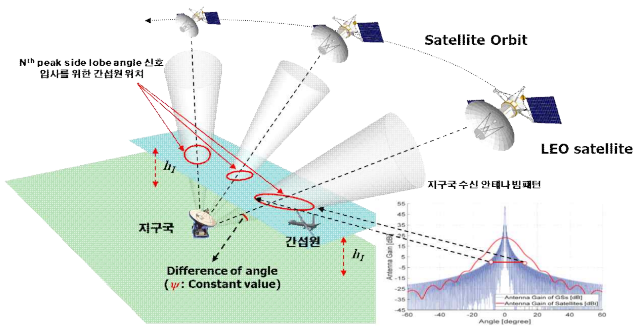

그림 2. Side lobe n^{th} Peak angle(ψ)를 입사를 위한 간섭원의 위치

그림 2는 고도 h_l에서 이동하는 간섭원이 지구국의 n번째 peak side lobe로 간섭신호를 보내기 위한 위치들을 표시하고 있다. 이때 지구국 수신안테나의 메인 lobe와 간섭원의 각도(ψ), 고도 h_l를 고정하면 간섭원의 위치는 포물선으로 나타난다(그림 3 참조).

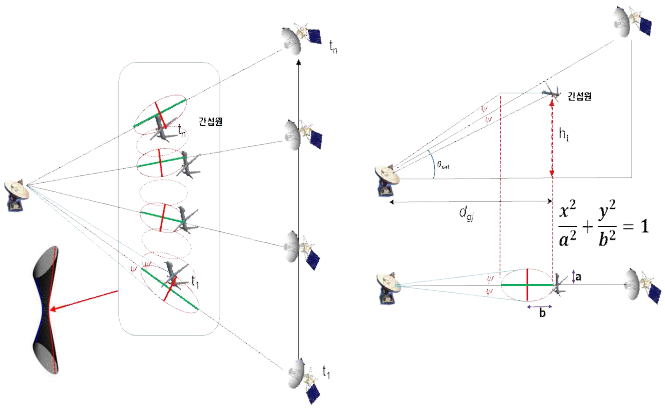

그림 3. 위성 링크환경에서 각도(ψ), 고도 hl를 고정한 간섭원의 위치

그림 4는 데이터 통신 중심 주파수가 8.2GHz, 위성 고도 550km, 위성출력 EIRP 38.4dBm, 간섭원의 EIRP=80dBm, 고도 10km, 지구국 수신안테나의 메인 lobe(그림 2참조)와 간섭원의 각도 $\psi = 3^\circ$, 위성 최고 고각이 30° 인 궤도를 가정하여 도출된 결과를 보여준다.

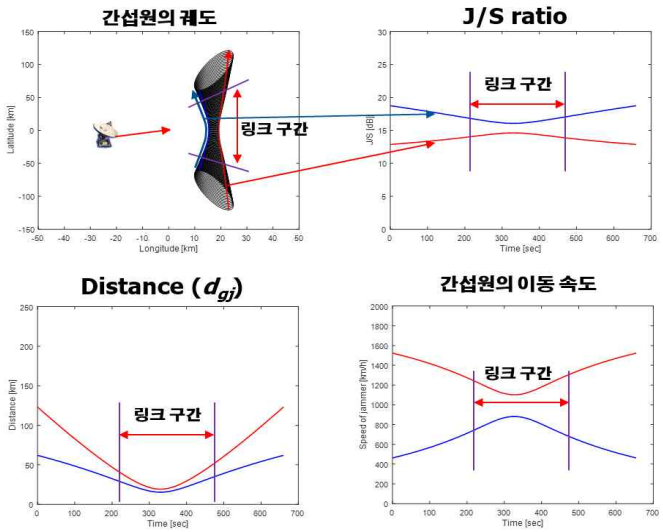

그림 4. 간섭원 경로에 따른 링크 환경 분석 결과

분석은 실제 링크 연결이 이루어지기 전후를 포함하여 총 11분을 수행하였고, 통산적으로 저궤도 위성은 고각 5° 이상에서 최초 링크 연결이 되된다. 최고 고각 30° 에서 링크 연결 시간은 약 4분 45초를 갖으며, 신호 간섭이 가능한 이 링크 구간에서 간섭원 이동 궤적에 따른 간섭원과 지구국의 지표 거리(d_{gj}), JSR, 이동 속도가 산출되었다.

IV. 결론

본 논문에서는 저궤도 위성 대용량 통신 링크에 영향을 주는 간섭원의 각도(ψ: 수신안테나와의), 고도 h_l를 고정 후 이동 경로를 가정하여 지구국의 지표 거리(d_{gj}), JSR, 이동 속도를 분석하였고, 그 결과 간섭원 플랫폼의 성능 및 환경에 따른 간섭 가능성을 분석할 수 있었다. 추후 링크 시간 동안 간섭원의 고도를 가변하는 연구를 수행할 예정이며 이 경우 좀 더 간섭이 가능한 이동 경로를 선택할 수 있을 것으로 예상된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 2024년 정부의 재원으로 수행된 연구 결과임(912916201).

참 고 문 헌

[1] Recommendation ITU-R SF.358-5, “Maximum permissible values of power flux-density at the surface of the earth produced by satellites in the fixed-satellite service using the same frequency bands above 1 GHz as line-of-sight radio-relay systems” 5th Ed.

[2] Choo, M., Hwang, I., Bae, M., Seo, I., and Ryu, Y., “Interference analysis between LEO Satellites for X-Band Downlink” JKSAS Journal, Vol. 49, No. 6, 2021, pp. 489~496.

[3] Kim, J., Park S., Lee, D., Joo, J., and Shin, W., “Analysis of downlink jamming of LEO satellite with high-capacity data,“ Proceeding of the 2022 KIEES Summer Conference, 2022, p. 490.

[4] Kim, J., Rim, J., Park, Y., Lee, D., Joo, J., and Kim, S., “Design of Jamming Simulator for LEO Satellite Datalink,” KSAS 2022 Fall Conference, 2022, pp. 1763~1764.

[5] Kim, J., Park, Y., Lee, D., Joo, J., and Kim, S., “Design of High Capacity Datalink Simulator for LEO Satellite Datalink,” KICS 2023 Winter Conference, 2023, pp. 1241~1242.

[6] Kim, J., Park, Y., Lee, D., Joo, J., Kim, S. and Kim, J, “Implement of High Capacity Datalink Simulator for LEO Satellite Datalink,” KIEES 2023 Winter Conference, 2023, p. 300.

[7] Kim, J., Park, Y., Lee, D., et al., “Implement of jamming simulator for down datalink in LEO Satellite,” KICS 2023 Autumn Conference, 2023, pp. 710~711.

[8] https://www.tesat.de/images/tesat/products/IDT_Data-Sheet.pdf

[9] https://www.safrandatasystemsus.com/applications/science-space-agencies/cortex-hdr-high-rate modems

[10] Kim, J., Park, Y., Lee, D., et al., “Frequency hopping performance analysis for Anti-jamming at High-capacity downlink in LEO Satellite,” KICS 2024 Winter Conference, 2024, pp. 583~584.

[11] Kang, H., Kang, E., Joo, J., and Choo, H., “Downlink Analysis of Low-Earth Orbit Satellites Considering Interference Sources oving along Parabolic Curved Paths,” 2024, ICGHIT Conference, pp. 85~88.