

금성 관측 CLOVE 임무를 위한 S-band 및 X-band 데이터링크 분석

이창민, 정찬희, 이연주, 윤지중*

한국항공대학교, 한국항공대학교, 행성대기그룹(PAG) 기초과학연구소(IBS), *한국항공대학교

changmin3702@kau.kr, chanhee1126@kau.kr, yeonjoolee@ibs.re.kr, *z.yoon@kau.ac.kr

Analysis of S-band and X-band Data Links for

Venus Observation CLOVE Mission

Lee Chang Min, Jeong Chan Hee, Lee Yeon Joo, Yoon Zizung*

Korea Aerospace UNIV., Korea Aerospace UNIV., Planetary AtmospheresGroup(PAG)/

Institute for Basic Science(IFS), *Korea Aerospace UNIV.

요약

본 논문은 저궤도 소형 위성을 활용한 금성 관측 임무에서 S-band와 X-band 데이터 링크의 성능을 분석하고 조건 링크마진과 데이터 전송량을 만족하는 Bit Rate 를 제안한다.

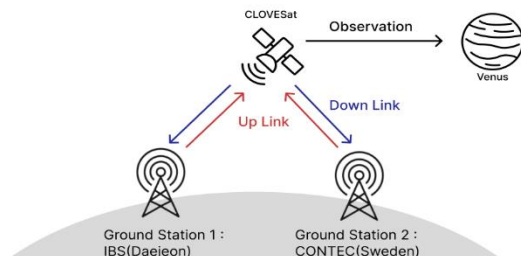
1. 서론

본 논문은 소형 저궤도 위성을 활용한 금성 관측 임무 수행시 RF통신 데이터 링크를 분석한다. 소형 위성은 설치와 운용 비용이 저렴하고, 지구 저궤도를 이용해 데이터 송수신의 지연 시간을 최소화할 수 있다는 장점이 있다[1]. 소형 위성은 주로 S-band(2~4GHz)와 X-band(8~12GHz)의 통신대역을 다루며, S-band는 적은 전력으로도 높은 신호 대 잡음비(SNR)를 달성할 수 있으며[2], X-band는 더 높은 주파수 범위에서 더 큰 안테나 이득을 제공한다[3].

본 연구의 대상은 기초과학연구소(IFS)에서 추진하는 CLOVE mission으로, 금성의 장기 변동성을 관측하는 것을 목표로 한다. 본 논문은 소형 위성을 통해 수집된 금성의 과학 데이터를 지상국으로 안정적으로 전송하기 위해 필요한 여러 조건들을 Bit Rate과의 관계를 통해 분석하고 효과적인 데이터 링크 설계방안을 제안한다.

II. 본론

1. 시뮬레이션 설정



[그림 1 시뮬레이션 시스템 구축]

본 연구는 위성 임무 분석 시뮬레이션인 'FreeFlyer'를 사용하여 금성관측 임무를 구현하고 결과를 분석하였다. 임무 구성은 그림 1과 같이 지상국은 IBS와 스웨덴의 CONTEC이며 위성은 저궤도 소형 위성으로 LOS(Line Of Sight)내에서만 통신이 가능하도록 설정하였다.

2. LOS의 링크마진을 통한 Bit Rate 결정

LOS기간 동안 통신의 성능과 안정성을 보장하기 위해 최소 링크마진을 기준으로 Bit Rate의 값을 결정한다.

$$\text{링크마진}(M) = EIRP - L + G_{RXmax} - L_{antLNA} - S \quad (1)$$

$$EIRP = P_{TX} + G_{TXmax} - L_{TXant} \quad (2)$$

P_{TX} 는 송신기의 최소 출력 신호의 강도이며,

$$SNR = \frac{P_{RX}}{N} \quad (3)$$

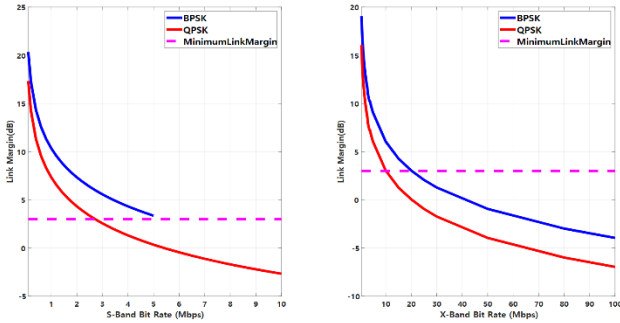
$$C(\text{BitRate}) = B \log_2(1 + SNR) \quad (4)$$

SNR공식과 샤논 공식을 활용하여, Bit Rate에 의해 P_{TX} 이 결정된다. 따라서 Bit Rate는 모든 조건이 고정되어 있을때, 링크마진과 송신 데이터 전송량을 결정하는 핵심 요소이다. 본 임무에서는 맑은 날의 조건에서 SRS-4(S-Band)와 XLink(X-Band)의 제원을 통해 Bit Rate값을 추정한다.

SRS-4		XLink
2200~2290MHz	Frequency(T)	8025~8400MHz
BPSK/QPSK/8PSK	Modulation(T)	BPSK/QPSK/OQPSK
100Kbps~10Mbps	Bit Rate(T)	500Kbps~100Mbps
10.8W	Power(T)	16W
70mm×70mm	Dimension(L×W)	60mm×40mm
6dB	Antenna Gain	10dB

[표 1 S-Band와 X-Band Transceiver 제원]

최소 링크 마진 값은 3dBm[4] 대기Loss는 2.23dB, FSPL을 제외한 기타 Loss는 4dB으로 설정하여 Bit Rate별 링크 마진 값의 계산을 두가지 변조방식(BPSK, QPSK)을 통해 적절한 Bit Rate 구간을 분석한다.



[그림 2 Bit Rate 에 따른 S, X-Band 링크 마진의 최소값 그래프]

링크마진 분석 결과 SRS-4의 BPSK는 모든 Bit Rate구간에서 최소 링크마진을 충족하여 임무에 전 구간 적합하며, QPSK는 3Mbps~10Mbps구간에서 최소 링크마진을 만족하지 못하여 임무에 적합하지 않다. XLink의 BPSK는 20Mbps 이상, QPSK는 10Mbps 이상의 구간에서 최소 링크마진을 만족하지 못하므로 임무에 적합하지 않음을 분석할 수 있다.

3. Bit Rate별 데이터 전송량

Bit Rate에 따른 일별 데이터 전송량과 임무의 최소 전송 요구량인 400MB를 비교하기 위해 데이터 전송 계산식

$$\text{데이터 양(Byte, MB)} = \frac{\text{비트레이트}(C, \text{Kbps}) \times \text{시간}(T, \text{s})}{8 \times 1024} \quad (5)$$

을 활용하여 S-band와 X-band의 Bit Rate구간의 데이터 전송량을 계산한다. 또한 'FreeFlyer' 시뮬레이션을 통해 일별 LOS 시간을 계산하고 데이터 전송 시간을 분석한다.

1 Day LOS Time	Ground Station1 (IBS)	Ground Station2 (CONTEC)	All Ground Station
Max	3450s	6735s	10174s
Ave	3162s	6472s	9634s
Min	2817s	5760s	8937s
Frequency	5.13	10.67	15.8
Per (Ave)	616.37s	606.56s	609.75s

[표2 각 지상국과 통합 측정 일별 LOS 시간 통계]

표2를 통해 두 지상국(IBS, CONTEC)의 각각 일별 LOS 시간과 두 지상국의 일별 LOS시간을 더한 통합 시간의 최대, 평균, 최소 시간과 일별 평균 방문 횟수 그리고 1회당 평균 LOS 시간을 확인할 수 있다. 각 조건에서의 LOS 평균 시간에 따른 최소 Bit Rate는 Ground Station1(IBS)는 1036.3Kbps, Ground Station2(CONTEC)은 506.3Kbps, 통합 지상국 LOS 시간에 따른 Bit Rate는 340.13Kbps이다.

본 논문에서는 데이터 전송 시간을 통합 일별 최소 LOS 시간으로 설정하며, 통합 지상국의 1회당 평균 LOS 시간을 통해 분석을 진행한다.

1Day LOS Time Type	Min.Req Bit Rate	Maximum Data Budget (S-band / X-band)
Max	322.08Kbps	400MB~12.42GB / ~124.20GB
Ave	340.13Kbps	400MB ~11.76GB / ~117.60GB
Min	366.66Kbps	400MB ~10.91GB / ~109.01GB
Per (Ave)	340.13Kbps	25.32MB ~744.30MB / ~7.44GB

[표3 일별 LOS 시간에 따른 최소 Bit Rate와 최대 데이터 통신량]

이에 따라 임무의 최소 데이터 전송 요구량 400MB를 만족하기 위해 필요한 SRS-4와 XLink의 Bit Rate 최소값은 340.13Kbps이며, SRS-4의 Bit Rate구간 중 100Kbps~340.13Kbps구간은 임무에 적합하지 않으며 XLink의 Bit Rate구간은 모든 구간이 적합함을 분석할 수 있다.

III. 결론

본 논문은 소형 저궤도 위성을 활용한 금성 관측 임무에서 S-band와 X-band 데이터 링크의 성능을 이상적인 환경에서 분석하였다. 'FreeFlyer' 시뮬레이션을 통해 각 주파수 대역에서의 링크 마진과 Bit Rate에 따른 데이터 전송 능력을 평가하였으며, 표4와 같은 결론을 도출하였다.

SRS-4	Modulation	XLink
340.13Kbps~5Mbps	BPSK	500Kbps~20Mbps
340.13Kbps~3Mbps	QPSK	500Kbps~10Mbps

[표 4 최적의 BAND 및 변조방식 별 Bit Rate 구간]

1. SRS-4 (S-band)

BPSK는 모든 Bit Rate구간에서 최소 링크마진을 충족하여 임무 수행에 적합하였으나, QPSK는 3Mbps이상에서 최소 링크마진을 만족하지 못해 해당 구간은 임무 수행에 적합하지 않다. 또한 최소 데이터 전송 요구량인 400MB를 만족하기 위해 필요한 최소 Bit Rate가 340.13Kbps이므로 100Kbps~340.13Kbps 구간은 임무에 적합하지 않다.

2.XLink (X-band)

BPSK는 20Mbps이상, QPSK는 10Mbps이상의 구간에서 최소 링크 마진을 만족하지 못해 해당 구간은 임무 수행에 적합하지 않다. 또한 최소 데이터 전송 요구량은 모든 Bit Rate구간에서 만족해 임무에 적합하다.

이상의 분석은 이상적인 환경에서 수행된 것이며, Bit Rate에 의한 성능 분석에 중점을 두었다. 향후 연구에서는 SDR(Software Defined Radio)를 활용하여 환경에 따른 대역폭 구간 변화를 시뮬레이션 및 분석하며, 다양한 기상 조건과 변조 방식의 전력 효율과 밴드 특성을 반영한 통신 전력 변화 상황을 고려한 연구를 수행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Institute for Basic Science (IBS-R035-C1).

본 과제(결과물)은 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 첨단분야 혁신융합대학사업(차세대통신)의 연구 결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] 김은정, 소형위성 및 소형위성 발사체 산업 현황. 한국항공우주연구원, 1.
- [2] Yoon, Z., Frese, W., & Bukmaier, A. (2014). System Design of an S-Band Network of Distributed Nanosatellites. *CEAS Space, 16*(6), 61-71.
- [3] Serup, D. e, Williams, R. j, & Zhang, S. (2021). Dual S- and X-Band Shared Aperture Antenna for Nano-Satellite Applications. *IEEE, 15*, 1-5.
- [4] K.-M. Cheung, "The role of margin in link design and optimization," in Proc. *IEEE Aerospace Conference*, Mar. 2015, pp. 1-8, doi: 10.1109/AERO.2015.7119220.