
달 탐사 통신 시스템에서 태양 폭발의 영향

김상구* · 홍희진* · 오장훈* · 윤동원** · 현광민***

The Effect of Solar Burst in Communications System for Lunar Exploration

Sanggoo Kim* · Heejin Hong* · Janghoon Oh* · Dongweon Yoon** · Kwangmin Hyun***

본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 우주기초원천기술개발사업(NSL, National Space Lab)으로부터 지원받아 수행되었습니다(2008-2003282).

요 약

달 탐사 통신 시스템에 영향을 미치는 요소 중 하나인 태양활동은 오는 2013년 가을에 11년 주기로 나타나는 태양 활동 극대기를 맞이하며, 이에 따라 태양 폭발 빈도와 강도가 증가할 것으로 예상되고 있다. 태양 폭발은 지구 자기권에 영향을 미쳐 과학, 방송, 통신, 군사 위성 또는 탐사선 등의 오작동, 통신 두절, 장비 고장 등을 발생시키는 원인이 될 수 있으며, 이러한 문제점은 막대한 물리적, 경제적 손실을 가져올 수 있다. 따라서 태양 폭발이 달 탐사선에 미치는 영향에 대한 분석을 수행하여 예상되는 손실을 최소화해야 할 것이다. 본 논문에서는 탐사선의 생존성을 높이고 안정적인 통신 채널 운용을 위하여 태양 폭발에 따른 지상국 - 달 탐사선 간의 통신 모델과 그 성능을 분석한다.

ABSTRACT

Since the solar activity, one of the factors influencing on lunar communication systems, is to reach its maximum occurring at 11-year solar cycle in autumn 2013, the solar burst frequency and strength are expected to increase. The solar burst has an effect on earth magnetosphere and causes malfunction, loss of communication, and breakdown of various types of satellites and probes. These problems give rise to huge economic and physical loss. Therefore, we should analyze the effect of solar burst on lunar communications and minimize the expected loss. In this paper, we perform the analysis of the link model and link performance between a land station and a lunar orbiter under the solar burst for orbiter's survivability and stable communication channel operations.

키워드

우주 통신, 태양 폭발, 링크 성능, 달 탐사, 링크 모델

Key word

Space communications, solar burst, link performance, lunar exploration, link model

* 정회원 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과

접수일자 : 2013. 01. 30

** 정회원 : 한양대학교 융합전자공학부, 교신저자 (dwoon@hanyang.ac.kr)

심사완료일자 : 2013. 02. 04

*** 정회원 : 강릉원주대학교 정보통신공학과

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.2.309>

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

2011년 수정된 제 2차 우주개발진흥 기본계획에 따르면 우리나라는 2023년에 달 탐사선, 2025년에 달 착륙선을 발사를 목표로 하고 있다[1]. 이를 위하여 위성, 탐사선 등에 가장 기본적으로 탑재되는 통신 시스템에 영향을 미치는 요소인 강우감쇠, 채널의 비선형 특성, 태양활동 등에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다[2, 3]. 이러한 요소들 중에서 태양활동은 흑점, 플레어, 태양폭발을 발생시킴으로써 지구 자기권에 영향을 미쳐 위성, 탐사선의 오작동, 통신 두절, 장비 고장 등의 원인이 될 수 있다[4,5].

특히, 미국 해양대기청에 따르면 1960년도부터 1999년까지 40년간의 태양 폭발 발생 건수는 155,396회로 평균적으로 시간당 0.44회 발생하였으며, 극대기에는 시간당 0.83회, 극소기에는 시간당 0.27회가 발생한 것으로 보고되었다[6-8]. 또한 태양활동 극대기에는 평균적으로 3.5일에 한번 정도 무선통신에 영향을 줄 수 있는 약 1000 SFU (Solar Flux Unit) 이상의 태양 폭발이 일어났으며, 실제로 수신기의 측정 임계값인 100,000 SFU 이상의 태양 폭발도 발생되었을 것으로 예상되고 있다 [9,10].

이러한 높은 강도의 태양 폭발은 위성 및 탐사선의 운용에 직접적인 영향을 줄 수 있으며, 우리나라가 달 탐사선을 발사하고 운용하고 있는 시점에 태양 활동 극대기에 도달하는 경우 달 탐사선에도 심각한 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 탐사선의 생존성과 안정적인 통신 채널 확보 및 운용을 할 수 있도록 태양 폭발에 대한 영향을 반영한 링크 모델을 설계하고 링크 성능에 대한 분석이 필요하다. 이 결과를 이용하여 태양 폭발이 달 탐사선에 미치는 영향에 대한 분석을 수행하여 예상되는 물리적, 경제적 손실을 최소화할 수 있도록 설계해야한다.

본 논문에서는 태양 폭발이 지상국 - 달 탐사선 간의 통신 링크에 미치는 영향을 고려한 링크 성능을 계산하고, 태양 폭발에 따라 발생할 수 있는 여러 상황에 대한 시나리오를 작성하여 상황에 따라 통신 링크 유지를 위한 대처 방법을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 태양 폭발에 따른 영향을 반영하기 위한 통신 링크 모델을 설계하고, III장에서 태양 폭발에 따른 시나리오 작성 및 통신 링크 유지 방안을 제시하고, IV장에서 결론을 맺는다.

II. 통신 링크 모델 설계

본 절에서는 태양 폭발 강도에 따른 영향을 분석하기 위한 지상국 - 달 탐사선 간의 링크 모델을 설계한다. 표 1과 2에는 링크 성능 분석을 위해 CCSDS (The Consultative Committee for Space Data Systems) 및 해외 운용 사례를 이용하여 각 세부 성능 변수들을 규격화함으로써 주파수 대역별 지상국 - 달 탐사선 간의 상/하향 통신 링크 모델을 설계하였다 [11,12].

표 1. 지상국 - 달 탐사선 간의 상향링크 모델
Table. 1 Uplink model for lunar exploration

구 분	단위	S 대역	X 대역
거리	km	384303	
전송 주파수	MHz	2115	7145
송신 전력	W	18400	18200
	dBW	42.7	43.0
송신 안테나 크기	m	34	
송신 안테나 효율		0.7	
송신 지향성 안테나 이득	dBi	56.7	68.0
송신 안테나 회로 손실	dB	0.6	0.4
송신 지향 손실	dB	1.6×10^{-4}	0.0022
자유 공간 손실	dB	211	222
대기 감쇠	dB	0.033	0.039
전리층 손실	dB	0.2	0.2
강우 감쇠	dB	0.0	1.0
달 전속 밀도 손실	dB	5.34	5.4
수신 안테나 크기	m	0.5	
수신 안테나 효율		0.7	
수신 지향성 안테나 이득	dBi	20.04	31.33
수신 안테나 회로 손실	dB	0.6	0.4
수신 지향 손실	dB	3.6×10^{-8}	4.8×10^{-7}
등가 시스템 잡음 온도	K	500	
목표 전송속도	kbps	256, 2000	
변조 방식		BPSK	
채널 부호화 방식		Uncoded	
목표 비트 당 오류		10^{-5}	

표 2. 달 탐사선 - 지상국 간의 하향링크 모델
Table. 2 Downlink model for lunar exploration

구분	단위	S대역	X대역	Ka대역
거리	km	384,303		
전송 주파수	MHz	2,295	8,420	32,000
최대 대역폭	MHz	100	100	500
송신 전력	W	20.0		
	dBW	13.0		
송신 안테나 크기	m	0.5		
송신 안테나 효율		0.7		
송신 파라볼라 안테나 이득	dBi	20.04	31.33	42.93
송신 안테나 회로 손실	dB	0.6	0.4	0.25
송신 지향 손실	dB	3.9×10^8	4.8×10^7	6.9×10^6
자유 공간 손실	dB	211	222	234.2
대기 감쇠	dB	0.033	0.039	0.154
전리층 손실	dB	0.2	0.2	0.2
강우 감쇠	dB	0.0	1.0	19.2
달 전속 밀도 손실	dB	5.34	5.4	3.96
수신 안테나 크기	m	34.0		
수신 안테나 효율		0.7		
수신 지향성 안테나 이득	dBi	56.7	68.0	79.6
수신 안테나 회로 손실	dB	0.6	0.4	0.25
수신 지향 손실	dB	1.6×10^4	0.0022	0.03
등가 시스템 잡음 온도	K	39.32	23.82	38.06
목표 전송속도	Mbps	52		
변조 방식		OQPSK, 8PSK, 4+12 APSK, 4+12+16 APSK		
채널 부호화 방식		Uncoded, Turbo Code(1/3, 1/6)		
목표 비트 당 오류율		10^{-5}		

지상국에서 달 탐사선으로 Telecommand 신호를 전송하는 상향링크의 경우 목표 전송속도는 2Mbps로 가정하고, 달 탐사선에서 지상국으로 신호를 전송하는 하향링크의 경우, NASA의 DSN 규격과 상호 호환되기 위한 최대 전송 속도인 52Mbps로 가정한다[13]. 링크 모델에

서 설정된 등가 시스템 잡음 온도를 적용하면 잡음전력 밀도(N_0)는 식 (1)과 같이 나타낸다[14].

$$[N_0] = k + [T] \quad (dBW) \quad (1)$$

여기서 k 는 볼츠만 상수로 그 값은 $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ 이고, T 는 등가잡음 온도로서 회로에서 발생하는 다양한 잡음과 우주공간에서 발생하는 우주 배경 복사(Cosmic Microwave Background: CMB)로 표현된다. 식 (1)에서 우주 배경 복사 이외에 추가적으로 태양 폭발에 의한 영향을 고려할 수 있다. 태양 폭발에 의한 태양 플럭스를 F 라 하면, 달 탐사선에서 수신하는 수신 전력 P_R 은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다[7,9].

$$P_R = \frac{1}{2} GB \frac{\lambda^2}{4\pi} F \quad (W) \quad (2)$$

여기서, G 는 안테나 이득, B 는 대역폭, λ 는 파장, F 는 태양 플럭스이며 단위는 SFU로 표현된다. 이 때, 태양 잡음 전력이 열잡음 전력과 동일하다고 가정하면, 식 (2)는 다음과 같이 나타낼 수 있다[8,15].

$$kT_F B = \frac{1}{2} GB \frac{\lambda^2}{4\pi} F \quad (3)$$

여기서, T_F 는 태양 플럭스에 의한 잡음 온도를 의미하며, 식(1)에서 등가 잡음 온도와 같은 표현으로 나타내기 위하여 T_F 에 따라 식 (3)을 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_F = \frac{1}{2} G \frac{\lambda^2}{4\pi k} F \quad (4)$$

따라서 태양 플럭스 양과 등가 잡음온도 간에는 선형 관계로 표현되어 플럭스가 증가하는 경우 등가 잡음도 증가하게 된다. 식 (4)를 식 (1)의 잡음온도에 더하면 태양 플럭스를 고려한 총 잡음전력밀도는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$[N_0] = k + [T] + [T_F] \quad (5)$$

그러므로 식 (5)의 총 잡음전력밀도를 이용하여 링크 마진을 계산하면 태양 플럭스의 크기에 따른 통신 링크 성능의 변화를 분석할 수 있다.

Ⅲ. 태양 폭발 시나리오에 따른 통신 링크 유지 방법

태양 폭발에 따른 통신 링크 성능 분석을 위하여 태양 폭발의 강도, 발생 빈도, 지속 시간 등의 특성에 대한 분석이 필요하다. 태양 폭발의 발생 빈도는 기존 연구에 의하여 예측 가능하지만 폭발 강도와 지속 시간은 예측이 어려운 문제점이 있으므로, 본 논문에서는 단발성 폭발과 연발성 폭발의 두 가지 시나리오로 나누어 통신 링크에 미치는 영향을 분석하고 안정적으로 통신 채널을 확보할 수 있는 방안을 제시한다.

단발성 폭발의 경우 수분동안 영향을 미칠 수 있으며, 2003년 8월 30일 13시 27분경에 발생한 태양 폭발을 예로 들면 약 2~3분 동안 그 영향이 지속되었음을 확인할 수 있다[7]. 이러한 경우, 단기 등가잡음 증가로 인한 통신 오류가 발생하므로 오류가 발생한 부분에 대해 일정 시간이 흐른 후 통신 채널이 안정화된 것을 확인한 후 Telecommand를 통하여 탐사선에 재전송을 요구하는 ARQ 기법을 고려할 수 있다. 달 탐사선은 탐사 데이터를 일괄적으로 전송하기 때문에 지상국 - 달 탐사선과 같은 원거리 하향링크에 효과적인 Deferred NAK (Negative Acknowledgment) ARQ(Automatic Repeat Request) 기법이 적합하고, 상대적으로 높은 신뢰성을 요구하는 상향링크의 경우에는 Go-Back-N ARQ가 적합하다[16-18]. 지상국 - 달 탐사선 링크 사이의 전송 절차는 달 탐사선을 기준으로 표 3, 지상국을 기준으로 표 4와 같이 정리하여 나타내었다.

두 번째로, 연발성 폭발의 경우에는 수 시간에 수일 까지 영향을 받을 수 있어 지속 시간에 대한 예측이 어렵기 때문에 폭발 강도에 따라 적절하게 통신이 가능도록 변조방식과 채널부호화 파라미터들을 조정하여 통신 채널을 운용하여야 할 필요가 있다. 이 경우 태양 플럭스의 강도와 통신 채널 파라미터들의 관계를 분석할 필요가 있다. 먼저 태양 폭발에 따른 링크 성능 분석을 위하여 각각의 대역, 변조 방식, 터보 부호화율에 따른 링크 마진을 도출한다.

표 3. 달 탐사선 통신 절차
Table. 3 Communication procedure of lunar orbiter

1. 지상국으로 부터 신호 수신 대기
2. 지상국으로 부터 수신되는 신호의 종류에 따라 구분
 - 1) 지상국의 링크확인 신호이면 지상국으로 링크 확인 신호에 대한 ACK 전송
 - 2) 탐사 데이터 전송 요구 신호이면 Metadata부터 탐사 데이터 전송(마지막은 EOF 전송)
 - ① NAK 신호 수신시 오류 발생한 탐사 데이터 모두 전송 (Deferred NAK ARQ)
 - ② FIN 신호 수신시 FIN에 대한 ACK 신호 전송
 - 3) 지상국으로 부터 Telecommand 신호 수신시 시퀀스 번호 확인
 - ① EOF 수신시 EOF에 대한 ACK 신호 전송 후 FIN 신호 전송
 - ② 오류 발생시 이전과 동일한 ACK 전송 (Go-Back-N ARQ)

표 4. 지상국 통신 절차
Table. 4 Communication procedure of earth station

1. 지상국 - 달 탐사선 간 통신 링크 확인 신호 전송
2. 달 탐사선으로 부터 수신 신호 대기
 - 1) 타이머 시간내 ACK 미수신시 일정 시간 대기 후 재전송
3. 달 탐사선으로 부터 수신된 신호의 종류 구분
 - 1) 통신 링크 확인 신호에 대한 ACK
 - ① 데이터 전송 명령 신호 전송
 - 2) 탐사 데이터의 Metadata
 - ① 수신 데이터의 시퀀스 번호 확인 (EOF 미수신시 ① 반복)
 - ② EOF 수신시 ACK(EOF) 신호 전송
 - ③ 수신 Data의 시퀀스 번호에 대한 오류 확인 (CRC 이용)
 - ④ 오류 미발견시 달 탐사선으로 FIN 신호 전송하여 통신 종료
 - ⑤ 오류 발견시 오류가 발생한 데이터의 NAK 신호 전송 (③으로 회귀)
 - 3) ACK(FIN) 수신 or 전송할 Telecommand 존재
 - ① Telecommand 전송, Timer 시작
 - ② 달 탐사선으로부터 중복된(이전 수신된 동일한 시퀀스 번호의) ACK 수신시 오류가 발생한 Telecommand 부터 재전송 (Go-Back-N ARQ)
 - ③ 달 탐사선으로 부터 중복되지 않은 ACK 수신시 다음 Telecommand 전송
 - ④ 달 탐사선으로 부터 FIN 신호 수신 FIN에 대한 ACK 전송 후 통신 종료

식 (5)를 표 1에 반영하여 S 및 X 대역에서 태양 플럭스의 크기에 따른 상향 링크 마진을 그림 1에 나타내었다. 상향링크에서 부호화되지 않은 BPSK(Binary Phase Shift Keying)의 경우, S 및 X 대역에서 태양 플럭스가 각각 4.19×10^6 과 2.99×10^8 SFU 이하에서 링크마진이 양의 값이 되어 2Mbps의 목표 전송 속도로 통신 가능함을 확인 할 수 있다. 태양 폭발의 강도가 순간적으로 증가하게 되면, 전송속도를 256kbps로 낮추어 통신함으로써 S, X 대역에서 각각 3.27×10^7 , 2.34×10^9 SFU 까지 통신 가능하여 높은 강도의 태양 폭발 상황에서도 통신 링크를 확보 할 수 있다.

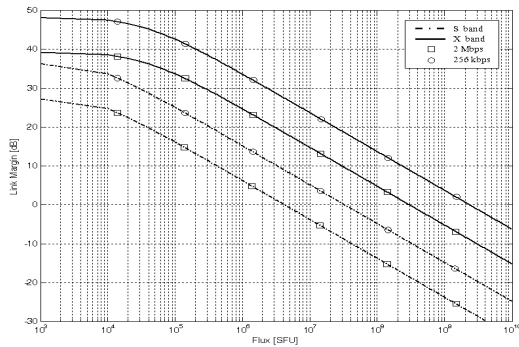


그림 1. 태양 플럭스에 따른 상향 링크 마진(Uncoded)
Fig. 1 Uplink margins for Solar flux (Uncoded)

하향 링크에서 S, X, Ka 대역에서 태양 플럭스의 크기에 따른 링크 마진을 그림 2~4에 변조 방식 및 터보 부호화에 따라 각각 나타내었다.

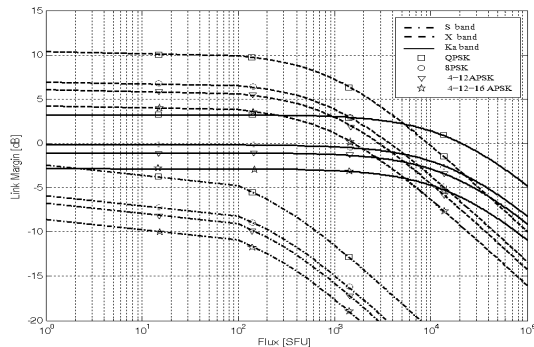


그림 2. 태양 플럭스에 따른 하향 링크 마진(Uncoded)
Fig. 2 Downlink margins for Solar flux(Uncoded)

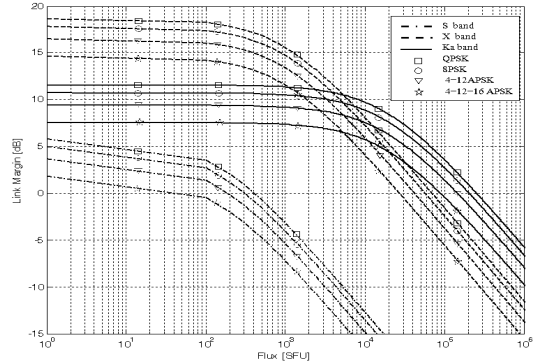


그림 3. 태양 플럭스에 따른 하향 링크 마진
(Code rate: 1/3)

Fig. 3 Downlink margins for Solar flux
(Code rate: 1/3)

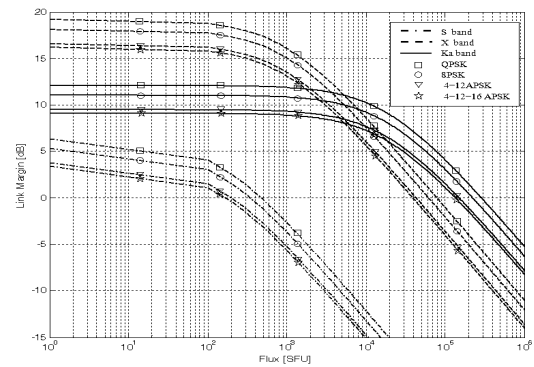


그림 4. 태양 플럭스에 따른 하향 링크 마진
(Code rate: 1/6)

Fig. 4 Downlink margins for Solar flux
(Code rate: 1/6)

그림 2~4에서 X 대역의 시스템 등가 잡음 온도가 Ka 대역보다 더 작지만 주파수가 낮을수록 태양 폭발의 강도에 따른 잡음 온도의 영향이 점점 커지기 때문에 X, Ka 대역에서 성능이 바뀌게 된다. 그림 2의 S 대역 하향링크에서 부호화되지 않은 경우, 모든 변조방식에서 링크 마진이 음의 값이 되어 목표 전송속도인 52Mbps를 만족시킬 수 없었으며, 1/3 터보 부호화된 경우, 변조방식이 OQPSK(Offset Quadrature Phase Shift Keying)에서 4+12+16 APSK(Amplitude Phase Shift Keying)까지 각각 405, 310, 190, 80 SFU 이하에서 링크 마진이 양의 값이 되어 통신 가능함을 확인 할 수 있다. 1/6 터보 부호화된

경우, 링크 마진이 170~475 이하에서 통신 가능함을 확인할 수 있다. X 대역의 경우, 각 변조 방식 및 터보 부호화에 따라 링크 마진이 1,600~78,700 SFU 이하에서 통신 가능함을 확인하였다. Ka 대역의 경우, 부호화되지 않은 8PSK, 4+12 APSK, 4+12+16 APSK에서 목표 전송 속도를 만족시키지 못하였으며, 1/3 및 1/6 터보 부호화된 각각의 변조방식에서 89,300~288,100 SFU 이하에서 통신 가능함을 확인할 수 있다. 달 탐사 통신 시스템에서 상향링크에서는 태양 플럭스에 크게 영향을 받지 않는 반면, 하향 링크에서는 태양 플럭스에 따라 영향을 받으며, 태양 플럭스가 심해지면 통신 장애가 일어날 수 있음을 확인할 수 있다.

연발성 폭발의 경우에는 그 강도와 지속 시간이 일정하지 않으므로, 위 결과에 따라 적응적 변조 및 부호화 방식(AMC: Adaptive Modulation and Coding)을 적용하고 목표 전송속도를 낮춤으로서 문제를 해결 할 수 있다. 그림 5에는 S, X, Ka 대역에서 태양 플럭스 강도에 따른 가능한 최대 전송속도를 나타내었다.

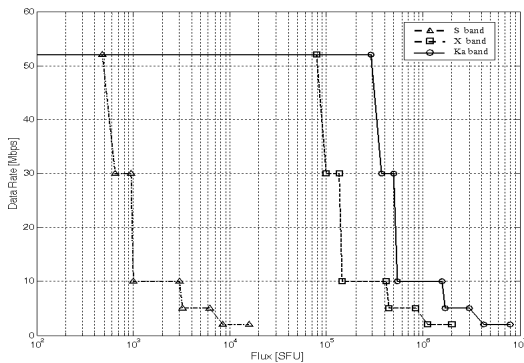


그림 5. 태양 플럭스에 따른 최대 전송 속도
Fig. 5 Maximum data rate for solar burst

그림 5에서 태양 플럭스의 강도에 따라 적응적 변조 및 채널 부호화 방법을 이용하고, 전송 속도를 조절하여, S, X, Ka 대역에서 태양 플럭스가 최대 1.59×10^4 , 2×10^6 , 8×10^6 까지 2Mbps로 전송 가능함을 확인할 수 있다. 따라서 달 탐사선은 사용 대역에 따라 태양 폭발을 고려하여 적응적 변조 및 채널 부호화 방법을 이용한 최대 전송속도를 선택하여 전송 가능함을 확인할 수 있다.

그러나 Ka 대역은 S, X 대역과 비교하여 상대적으로 강우감쇠가 심하므로, 폭우가 내릴 경우에 가능한 전송 속도가 떨어질 가능성이 존재하기 때문에 강우 감쇠의 영향을 덜 받는 X 대역을 사용하거나, Ka 대역에서 추가적인 링크 마진을 고려하여 설계하여야 한다.

또한, 장기적으로 나타나는 연발성이기는 하지만 단기적으로 단발성 폭발이 공존하기 때문에 이 경우 적응적 변조 및 채널 부호화 방법과 ARQ의 적절한 조합을 통하여 안정적으로 통신 채널을 운용할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 달 탐사 통신 시스템에서 태양 폭발이 지상국-달 탐사선 통신 링크에 미치는 영향을 반영한 링크 성능을 분석하였다. 상향링크에서는 상대적으로 낮은 전송 속도와 안정적인 지상국 시스템 구성으로 태양 플럭스에 크게 영향을 받지 않지만, 하향링크의 경우에는 태양 플럭스의 양에 따라 터보 부호화율을 높이더라도 목표 전송 속도를 만족시키지 못하여 통신 장애가 일어날 수 있음을 확인하였다. 즉, 단기/단발 태양 폭발인 경우 ARQ 방식을 이용하여 단기적인 데이터 전송 오류를 해결하고, 연발성 폭발의 경우에는 적응적 변조 및 채널 부호화 방법과 ARQ를 동시에 적용하여 안정적인 통신 채널을 확보할 수 있다. 본 논문의 결과는 향후, 달 탐사선 운용시 태양 폭발의 영향에 대한 정량적 연구 자료와 단발성 및 연발성 태양 폭발시 안정적인 통신 링크 유지 방안으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 우주기초원천기술개발사업(NSL, National Space Lab)으로부터 지원받아 수행되었습니다 (2008-2003282).

참고문헌

- [1] 교육과학기술부, "제2차 우주개발 진흥기본계획," 2011.
- [2] 오대호, 김영완, 고남영, "통신해양기상위성의 통신 서비스 링크 설계," 한국정보통신논문지, 제10권, 제1호, pp. 184-190, 2006. 01.
- [3] 우병훈, 강희조, "Ka-대역 위성 통신의 강우에 의한 전파 감쇠 예측 모델," 한국정보통신논문지, 제6권, 제7호, pp. 1038-1043, 2002. 11.
- [4] 전파연구소, "태양폭발 등 우주전파환경 변화에 대비한 대응방안 연구," 2006.
- [5] 전파연구소, "우주전파환경 변화에 대한 무선통신 보호방안 연구," 2008.
- [6] J. P. Castelli, J. Aarons, D. A. Guidice, and R. M. Straka, "The solar radio patrol network of the USAF and its application," *Proceedings of the IEEE*, vol. 61, pp. 1307 - 312, 1973.
- [7] D. E. Gary, L. J. Lanzerotti, G. M. Nita, D. J. Thomson, "Effects of solar radio bursts on wireless systems," *Effects of Space Weather on Technology Infrastructure*, NATO Science, vol. 176, pp. 203-213, 2005.
- [8] L. J. Lanzerotti, "Solar and Solar radio effects on technologies," *Solar and Space Weather Radiophysics, Astrophysics and Space Science Library*, vol. 314, pp. 1-16, 2005.
- [9] B. Bala, L. J. Lanzerotti, D. E. Gary, D. J. Thomson, "Noise in wireless systems produced by solar radio bursts", *Radio Science*, vol 37, no. 2, pp. 10-18, 2002
- [10] 방송통신위원회 전파연구소, "우주전파환경 연구 기반 강화 I," 2008.
- [11] W. Lee, K. Cho, D. Yoon, and H. Hyun, "Design and Performance Analysis of Downlink in Space Communications System for Lunar Exploration," *J. Astron. Space Sci.*, vol 27, no. 1, pp. 11-20, Mar. 2010.
- [12] CCSDS 401.0-B, "Radio Frequency and Modulation Systems-Part 1: Earth Stations and Spacecraft. Recommendation for Space Data System Standards," Blue Book, Dec. 2007.
- [13] S. D. Slobin, "34-m BWG Stations Telecommunications Interfaces," Document no. 810-005, Rev. F, Jet Propulsion Laboratory, NASA, Jun. 2010.
- [14] 이우주, 윤동원, 이재윤, "달 탐사를 위한 우주통신에서 텔레메트리 링크에 대한 최대 전송 속도 성능 분석," 한국항공우주학회지 제 39권 제 1호, 한국항공우주학회, pp. 42-49, 2011. 01.
- [15] 김상구, 홍희진, 오장훈, 윤동원, 현광민, "태양폭발을 고려한 지상국-달 탐사선 간의 통신 링크 분석," 2012년도 한국전자과학회 종합학술발표회, 22권, 제 1호, 한국전자과학회, p. 160, 2012. 11.
- [16] 지승훈, 홍희진, 장연수, 김상구, 윤동원, "달 탐사를 위한 링크별 ARQ 적용 방안," 대한전자공학회 추계 학술대회, 대한전자공학회, pp. 297-298, 2010. 11.
- [17] CCSDS 202.0-B-2, "Telecommand part 1-data routing service, Nov. 1992.
- [18] CCSDS 102.0-B-3, "Packet telemetry," Nov. 1992.

저자소개

김상구(Sanggoo Kim)



2007년 한국외국어대학교
전자공학과 학사
2009년 한양대학교 전자컴퓨터
통신공학과 석사

2009년~현재 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과
박사과정

※ 관심분야: 차세대 이동통신, 우주통신, 자동차 IT

홍희진(Heejin Hong)



2009년 한양대학교 전자컴퓨터
통신공학과 학사
2011년 한양대학교 전자컴퓨터
통신공학과 석사

2011년~현재 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과
박사과정

※ 관심분야: 차세대 이동통신, 우주통신, 레이터
신호처리

오장훈(Janghoon Oh)

한국정보통신학회 논문지
제16권 제9호 참조

윤동원(Dongweon Yoon)

한국정보통신학회 논문지
제16권 제9호 참조



현광민(Kwangmin Hyun)

1989년 한양대학교
전자통신공학과 학사

1992년 한양대학교
전자통신공학과 석사

2004년 한양대학교 전자통신전파공학과 박사

1995년~1996년 (사)고등기술연구원

1997년~2001년 (주)케이엠더블유

2004년~2005년 인텔 코리아

2005년~현재 강릉원주대학교 정보통신공학과
부교수

※ 관심분야: 디지털통신, 이동통신, 통신신호처리