

상·하향링크 AWGN 채널 하에서 OBP 기반 군 위성통신시스템의 성능 분석

김성규*, 유상조*, 정효영*, 김수일**, 김기선*

*광주과학기술원, **국방과학연구소

*{seongkyu, asapyoo, rain, kskim}@gist.ac.kr, **sikim@add.re.kr

Performance Analysis of an OBP Military Satellite Communication System under Up and Downlink AWGN Channels

Seongkyu Kim*, Sangjo Yoo*, Hyoyoung Jung*, Suil Kim**, Kiseon Kim*

*Gwangju Institute of Science and Technology, **Agency for Defense Development

요약

군 위성통신 시스템은 항재밍 성능을 향상시키기 위해 OBP(On-Board Processing) 기반 능동위성중계기를 사용한다. 본 논문에서는 상향링크와 하향링크 채널이 모두 백색 가우시안(additive white Gaussian noise, AWGN)잡음인 환경에서 상·하향링크 채널의 신호 대 잡음비(signal to noise ratio, SNR)를 다양하게 하여 end-to-end BER 성능을 분석한다. 변조 방식으로는 NC-BFSK(Non-coherent - Binary Frequency Shift Keying) 변조방식을 가정한다. 시뮬레이션 결과는 지상 송신터미널과 위성 중계기 송신 신호를 증폭하여 얻을 수 있는 end-to-end BER 성능 이득에 한계가 있음을 보여준다. 본 논문의 결과는 추후에 군 위성통신시스템의 항재밍 성능 향상 연구에 활용될 수 있다.

I. 서론

네트워크 중심전(Network Centric Warfare, NCW)으로 대변되는 현대 전쟁에서, 군 위성통신시스템은 전장의 부대들을 실시간으로 연결하여 정보/상황을 공유하며 이를 통한 군의 정보 우위를 달성할 수 있는 수단으로써의 그 역할이 증대되고 있다. 군 위성통신링크는 전자전 공격위협에 대비하여 보안성, 신뢰성, 생존성을 확보하여야 하며, 군 위성 탑재체의 OBP(onboard processor)기술은 이를 지원하기 위한 핵심적인 역할을 담당하고 있다.

OBP는 신호 처리 방식에 따라 크게 비재생 중계형 OBP와 재생 중계형 OBP로 구분될 수 있다 [1]. 먼저, 비재생 중계형 OBP는 지상 송신 터미널로부터 수신된 신호에서 노이즈 및 재밍 신호를 제거한 후, 단순 증폭하여 지상 수신 터미널로 신호를 전송한다. 이에 비해, 재생 중계형 OBP는 수신된 신호를 복조하여 정보비트를 복원 한 후, 해당 신호를 다시 변복조, 코딩, 증폭하여 지상 수신 터미널로 신호를 전송하게 된다. 재생 중계형 OBP는 비재생 중계형 OBP에 비해 높은 복잡도를 가지나, 신호처리 기술에 의한 항재밍 효과가 우수하여 최근 관련 연구가 활발히 이루어지고 있다. [2]에서는 지상터미널로부터 수신된 신호를 OBP에서 재밍 널링기법을 통해 재밍 신호를 제거하여 성능 분석을 진행하였다. [3]에서는 부분대역 재밍 환경에서 세 가지 변조방식을 통해 상향링크 위성통신시스템의 성능 분석을 진행하였다.

한편, 백색 가우시안(additive white Gaussian noise, AWGN)잡음이 존재하는 상·하향 위성링크에서, 재생 중계형 OBP가 탑재된 위성 통신시스템의 end-to-end 비트 오류율(bit error rate, BER) 성능은 상향링크 AWGN에 의해 제한되어 error floor를 보이게 된다. 이는 최적의 OBP 복잡도라도 상향링크 AWGN에 의한 성능 저하를 피할 수 없기 때문이다. 이러한 성능 한계는 전력이 제한되어 있는 지상 송신 터미널과 위성 중계기에서 송신 신호를 증폭하여 얻을 수 있는 end-to-end BER 성능 이득에 한계가 있음을 시사한다.

본 논문에서는 그림 1과 같이 상·하향 링크 채널이 AWGN일 때, OBP

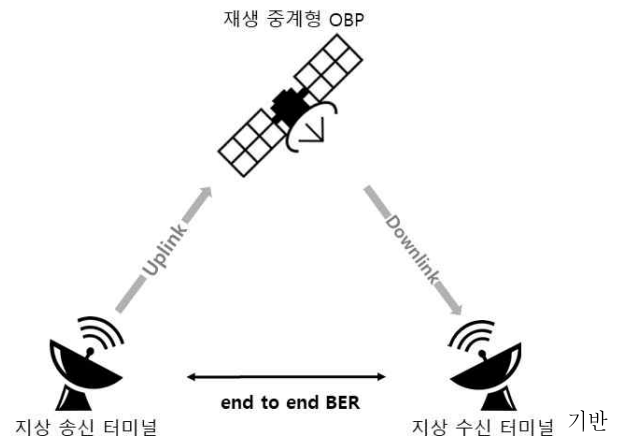


그림 1. 시뮬레이션 환경

능동위성중계 시스템의 end-to-end BER 성능을 다양한 uplink 및 downlink SNR조건에서 분석하고자 한다. 이를 통해 통신의 신뢰성 보장을 위해 요구되는 end-to-end BER을 만족시키기 위한 uplink 및 downlink SNR을 분석하고자 한다.

II. 본론

2.1. OBP 위성통신 시스템 모델

본 논문에서는 그림 2와 같은 상·하향 OBP 위성 통신 시스템을 구성하였다. 송신 정보 비트열은 NC-BFSK(Non-coherent - Binary Frequency Shift Keying) 방식으로 변조 후 FDMA(Frequency Division Multiple Access)를 차레로 거친다. NC-BFSK는 진폭이 같은 2개의 이산 값을 가진 주파수로 편이 변조하는 방식으로 기저대역 정보비트에 따라 반송파 순시 주파수가 이산적으로 변화되며 수신 위상을 알 필요 없이 복조가 가능하므로 비동기 검파 방식을 사용한다. FDMA는 가용 스펙트럼을 정해진 대역폭 내에서 여러 무선 채널로 분할하여 나누어진 대역을 각각의 채

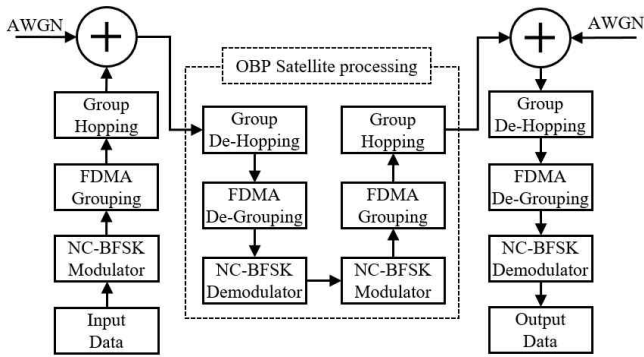


그림 2. 재생 중계형 OBP 기반 위성통신 시스템 모델

널에 할당하는 다중접속 방식이다. 그리고 무선 채널 접속 시 PN(Pseudo random Number) 시퀀스를 통해 일정한 규칙을 갖는 코드 시퀀스를 가지고 저속 주파수 도약 (slow frequency hopping, SFH) 을 거치게 된다. SFH은 한 번의 도약 구간에 여러 심벌들을 전송하는 주파수 도약 방식이다. uplink과 downlink채널에는 AWGN을 가정하였다.

OBP 위성 중계기에 수신된 신호는 동기화된 주파수 도약 패턴에 따라 역도약을 거치고, demultiplexing된 이후, 복조 과정을 거치면서 송신정보 비트를 복원하게 된다. 해당 정보를 지상 수신 터미널로 전송하기 위해, 변조, 주파수 도약, multiplexing, 증폭 과정을 거쳐 downlink로 신호를 전송한다.

지상 수신 터미널에서는 자신에게 할당된 수신 신호를 추출한 후, 반송파의 위상을 이용하지 않고 주파수만을 이용하는 에너지 검출 기반의 비동기 검출 방식을 통해 정보비트를 복원하게 된다. 지상 수신 터미널에 수신된 NC-BFSK의 end-to-end BER 성능은 다음과 같다.

$$P_e = \frac{1}{2} \left[\exp\left(-\frac{1}{2} \frac{E_b}{N_{0,DL}}\right) + \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{E_b}{N_{0,UL}}\right) - \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{E_b}{N_{0,DL}} + \frac{E_b}{N_{0,UL}}\right)\right) \right], \quad (1)$$

여기서 $E_b/N_{0,DL}$ 는 downlink SNR, $E_b/N_{0,UL}$ 는 uplink SNR, E_b 는 신호 에너지 그리고 N_0 는 AWGN의 전력밀도이다.

III. 성능분석 결과

그림 3은 상·하향링크 채널이 AWGN일 때, 상향링크와 하향링크의 SNR에 따른 위성통신 시스템의 end-to-end BER 그래프이다. 시뮬레이션은 하향링크 SNR 값이 0:2:18dB이고, 상향링크 SNR 값을 5, 10 그리고 13dB 가정하였다. 상향링크 SNR 값에 대한 BER 그래프를 각각 빨간색, 파란색 그리고 검은색으로 나타내었다. 상향링크만 AWGN이 존재하는 채널로 고려한 경우 BER 그래프를 점선으로 나타내었으며 uplink BER 이라고 하였다. AWGN이 존재하는 상·하향링크 채널을 모두 고려했을 경우의 BER 그래프는 실선으로 나타내었으며 end-to-end BER이라고 하였다.

상향링크 SNR 값이 5, 10, 그리고 13dB 일 때, end-to-end BER 값은 하향링크 SNR 값이 증가함에 따라 BER 값이 감소하다가 하향링크 SNR 값이 각각 10, 12, 그리고 14dB 이상에서 BER 값이 수렴하는 error floor 를 보이게 된다. 표 1은 downlink SNR이 18dB 일 때, uplink SNR이 5, 10 그리고 13dB에 대하여 error floor가 나타나는 이론값과 시뮬레이션 값이며, 이 시스템에서 얻을 수 있는 최대 BER 성능이라 할 수 있다.

따라서 상향링크 SNR 값이 13dB일 때, 10^{-3} 이하의 BER 성능을 보장하기 위해서 전력 효율적인 하향링크 SNR은 약 11~14dB과 같다. 결과적으로 OBP 기반의 능동위성중계 시스템에서 하향링크 신호 증폭만으로 얻을 수 있는 BER 성능 이득에는 한계가 있음을 보여준다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 OBP 기반 능동위성중계 시스템에서 AWGN이 존재하는 상·하향 위성링크 채널일 때, 상향링크와 하향링크의 SNR에 따른 위성통신 시스템의 end-to-end BER 성능을 비교 분석하였다. 시뮬레이션 결과, 상향링크 SNR과 하향링크 SNR 한쪽 신호만 증폭하게 되면 BER 성능이 제한되어 error floor를 보인다. 따라서 지상 송신 터미널과 위성 중계기에서 송신 신호를 증폭하여 얻을 수 있는 end-to-end BER 성능 이득에는 한계가 있음을 확인하였다.

그러므로 BER이 error floor가 나타나지 않도록 상·하향링크의 SNR을 고려하여 지상 송신 단말기와 OBP 위성 단말기의 송신 신호 증폭이 요구된다. 본 연구 결과는 추후에 위성통신시스템에서 무선채널의 재밍 환경에 따라 상·하향 링크의 SNR을 효율적으로 추후에 다양한 재밍 환경에서 다양한 변복조 기법을 적용함으로써 군 위성통신의 항재밍 향상 연구에 밑바탕이 될 수 있다.

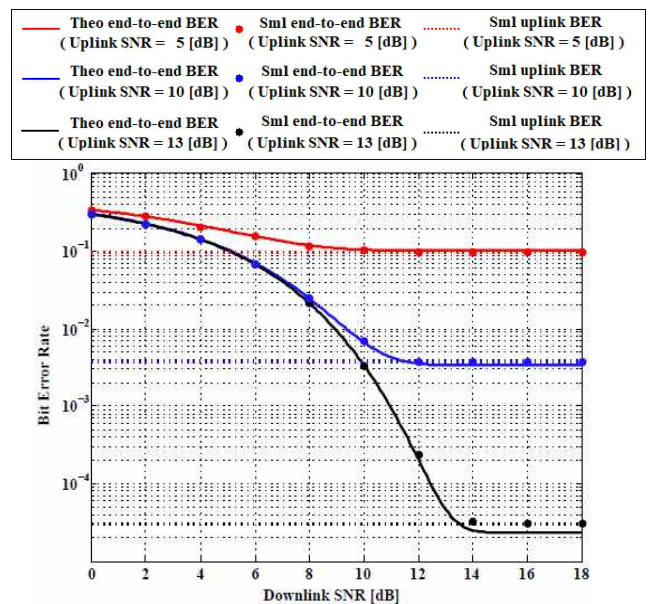


그림 3. 상·하향링크 SNR에 따른 위성통신시스템 end-to-end BER

Downlink SNR [dB]	Uplink SNR [dB]					
	5		10		13	
	이론 값	실험 값	이론 값	실험 값	이론 값	실험 값
18	0.1029	0.0984	0.003369	0.0037	0.000116	0.0003

표 1. 그림3의 Downlink SNR=13dB에서 end-to-end BER

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 광주과학기술원 전자전특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 문우식 외 3인, “군 위성 탑재 OBP (On-Board Processing) 기술,” 한국통신학회지, 제 32권, 제 10호, pp. 18-23, 2015
- [2] 문우식 외 3인, “부분대역 재밍 환경에서 널링 기반의 항재밍 성능 평가,” KICS 동계종합학술대회, pp. 637-638, 2013
- [3] 박우철 외 3인, “위성시스템의 BER 성능 분석을 활용한 항재밍 기법,” 한국통신학회지, 제 35권, 제10호, pp. 153 5-1543, 2010