

항재밍을 위한 위성데이터링크 웨이브폼 및 중계기 구조

정희원 김기근^{*o}, 이민우^{**}, 종신회원 임재성^{***}

Satellite Data Link Waveform and Transponder Structure for Anti-Jamming

Kikeun Kim^{*o}, Minwoo Lee^{**} *Regular Members*, Jae-sung Lim^{***} *Lifelong Member*

요약

본 논문에서는 전술데이터링크인 Link 16의 버스트 전송 환경을 위성채널 특성에 맞게 GMSK 변조방식과 LDPC/RS 에러정정 코드를 적용한 위성 데이터링크용 웨이브폼을 연구한다. 그리고 기존의 재밍 제거능력이 있는 위성 중계기에서 신호가 있는 채널만 선택적으로 스위칭을 하여 상향링크와 하향링크에서 도약을 다르게 할 수 있으면서, 신호 대역외에 있는 모든 재밍은 제거할 수 있어 중계기 전력 탈취영향을 줄일 수 있는 DSM형 중계기를 제안한다. 제안한 웨이브폼 및 중계기 구조를 BER 및 부분대역 재밍 환경에서 성능을 분석하였다. 분석결과 제안한 웨이브폼은 기존 데이터링크보다 우수하여, 2.5dB 신호대 잡음비를 갖으며 worst case 부분대역 재밍환경에서 52dB 처리이득을 요구함을 알 수 있었다. 또한 DSM형 중계기는 기존보다 최대 2dB 항재밍 이득을 갖게 됨을 알 수 있었다.

Key Words : Satellite data link, 위성데이터링크, GMSK, LDPC, DSM, Anti-jamming capability

ABSTRACT

In this paper, satellite data link waveform is proposed which is based on the waveform of Link-16 but LDPC code is studied instead of CCSSK code in order to be optimized to satellite nonlinear channel environment and transmission characteristics. And the DSM (Demux, Selective CH switch, and Mux) transponder structure is suggested which can remove all of the jamming signal out of the transmission signal band and convert uplink hopping frequency to desired ones of downlink. The results of BER and anti-jamming performance analysis shows that the required Eb/No and processing gain in the worst case partial band jammer of the proposed waveform are 2.5dB and 52dB respectively and the anti-jamming capacity improvement of DSM transponder is maximum 2dB.

I. 서론

정지궤도를 이용한 통신위성은 광역의 전장에서 별도의 중계장비 없이 네트워크를 구성할 수 있다는 장점으로 인해 군 통신에서 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 위성통신은 특성상 개방된 전송채널을 이용하므로 적에 의한 의도적인 재밍 및 위치추적과 정보신

호의 탐지에 노출되어 있다. 이에 대응하기 위해 기존 군 위성통신에서는 광대역에서 고속으로 주파수 도약 통신방식을 적용하여 왔다. 이러한 항재밍 능력은 특히 전술 작전 수행을 위한 각종 데이터를 각 체계에 신속하고 정확하게 제공하여야 하는 전술 데이터링크(TDL: Tactical Data Link)나 핵전에서도 생존성을 보장하려는 위성통신 링크에서는 필수적이다.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2011-(C1090-1121-0011))

* 국방과학연구소(kikeun@add.re.kr), (° : 교신저자)

** 아주대학교 NCW학과(iminu@ajou.ac.kr), *** 아주대학교 국방전술네트워크(jaslim@ajou.ac.kr)

논문번호 : KICS2011-07-311, 접수일자 : 2011년 7월 19일, 최종논문접수일자 : 2011년 11월 30일

최근에는 음성이나 단문 메시지로 충분했던 기존의 전술 작전환경이 네트워크 중심전을 대비하기 위해 각각의 체계가 이러한 데이터링크를 통해 네트워크를 구성하는 개념으로 진화하고 있다. 이때 기존 LOS(Line Of Sight)로 제한되는 작전환경은 Multi-hop relay, 공중중계, 위성중계 등의 수단으로 대폭 연장된다. 이로써 PTP(Point To Point)로 상호간 연결되는 점대점의 링크들은 다양한 종류의 서비스를 받기위해 언제 어디서나 네트워크 할 수 있게 된다. 이러한 네트워크는 전략/전술 지휘소의 소요 정보를 단문 C2 (Command and Control) 메시지에서부터 영상급 ISR(Intelligence, Surveillance and Reconnaissance) 정보까지 다양한 특성의 트래픽을 전달할 수 있으며 지원할 수 있는 전송방안으로는 광범위한 지역을 동시에 지원할 수 있는 위성통신이 대안이 되고 있다.

위성통신은 가용 통신용량이 제한되어 대형 기지국으로 대륙간 전송로 위주로 사용되던 것이, 최근 위성의 주파수 사용 효율이 개선된 변조 및 에러정정방식이 많이 연구되었고 DAMA (Demand Assign Multiple Access)방식의 개선과 함께, 패킷 서비스에 적합한 TDMA (Time Division Multiple Access) 방식의 연구가 활발하게 진행되고 있다.

위성통신이 군에 사용되기 위해서는 통신방해와 신호탐지를 극복 할 수 있는 항재밍 능력을 갖추어야 하는데, 현재에는 주파수 도약방식이 주로 사용되고 있다. 또한, 통신방식은 광대역에서 고속으로 주파수 합성시 전송이 용이한 FSK (Frequency Shift Keying) 방식이 사용되어 왔다.^[1] 최근에는 전술 데이터링크로 고속 데이터 전송이 가능하면서도 항재밍 성능 및 운용성이 이미 입증된 Link-16을 기반으로 위성의 통신방식을 개선하는 방안이 다양하게 제안되고 있다.^[2-5]

위성통신의 에러정정 방식에서는 병렬처리로 고속 에러정정이 가능하고 minimum distance가 블록크기에 비례하여 증가함으로써, 고속 데이터 전송 환경과 긴 코드 길이에서 Shannon의 이론적 제한치에 근접하는 LDPC (Low Density Parity Check)가 국제 위성방송 및 통신 표준인 Digital Video Broadcasting (DVB-S2)에서 표준으로 자리잡고 있다. 군용 통신 분야에서는 기존의 Link-16 전송방식이 5비트 단위 심벌을 32chips의 CCSK (Cyclic Code Shift Keying)코드워드 변환함으로써, 대역확산 효과와 버스트 신호 환경에서 고속 동기의 이득을 얻는다. 본 연구에서는 주파수 자원이 한정된 위성에서, Link-16과 같이 고속 데이터 전송을 위해 CCSK 확산을 사용하지 않고, 상용 위성의 LDPC 코딩방식을 사용할 것을 고려하였

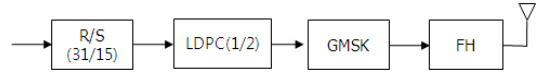


그림 1. 위성데이터링크 송신기 구조

다. 그리고 기존의 Link-16기반 데이터링크 통신방식에서 LDPC 에러정정 코드를 적용한 방식과 항재밍 성능을 비교하였다. 이때 변조방식은 CPM (Continuous Phase Modulation)의 일종이어서 일정한 진폭을 가지므로 송신출력이 제한되는 중계기의 비선형 증폭기에서 신호특성이 좋고, 가우시안 필터의 BT 곱 (Bandwidth Time Product)를 조정하여 대역폭을 현저하게 줄임으로써 주파수 도약의 처리이득 개선이 가능한 GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)를 사용하였다.^[6]

기존의 DRT (Dehop Rehop Transponder) 형 중계기는 여파기의 대역폭이 고정되어 있어, 각 대역에서 신호 유무와 무관하게 간섭 신호가 제거되지 않고 중계되는 단점이 있다. 본 연구에서는 이를 개선하기 위해, 도약 주파수 차이를 사용하여 신호가 있는 대역에서만 상향 및 하향 링크 간에 선택적으로 주파수 스위칭을 갖는 중계기 구조를 제안한다.

본 연구의 위성데이터링크 웨이브폼 성능을 확인하기 위해 기존 Link-16의 개선 방식과 비교하여 BER 성능을 평가하였다. 그리고 worst case 부분대역 재밍 환경에서 요구 신호대 재머 전력비를 분석하여 요구하는 처리이득을 도출하였다. 또한 제안하는 DSM (Demux, Selective CH switch, and Mux)형 중계기의 재머에 의한 중계기 송신 출력 탈취 영향을 부분대역 환경에서 채널수를 가변하면서 기존 방식과 비교하여 성능 개선 원인을 고찰하였고 웨이브폼 및 중계기 구조 성능을 확인하기 위해 주파수 도약 시스템 환경을 모델링하여 부분대역 재밍 환경에서 DSM 중계기의 이득 및 제안 전송방식의 요구 신호대 재머 전력비를 분석, 성능개선 결과를 제시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존 Link 16 웨이브폼의 개선 연구결과 결과를 고찰하고 제안하는 웨이브폼을 기술한다. 그리고 DSM형 중계기에 대해 기술한다. III장에서는 제안하는 방식과 개선된 Link-16방식의 BER 성능을 비교분석하고, DSM형 중계기의 항재밍 성능 개선결과를 분석한다.

II. 위성데이터링크 웨이브폼

정지궤도를 사용하는 위성통신은 광역의 통신영역을 제공하면서 주로 단말을 고정 운용시에는 열잡음

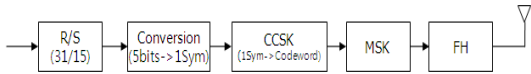


그림 2. Link-16 송신기 구성도

환경을 갖는다. 그러나 광역 통신 지원은 또한 광역의 어디에서나 통신방해가 가능하다는 것으로 이에 대한 대책이 절대적으로 필요하다. 이때 위성 데이터링크의 웨이브폼을 위해 항재밍 성능이 입증되어 온 Link-16 웨이브폼이 대안이 될 수 있다. 그림 2는 이러한 Link-16 송신기 구성도이다.

최근에는 검증된 Link-16 웨이브폼의 개선에 대한 연구가 이루어지고 있다. Kao는 수신된 신호의 CCSK 코드워드가 코드워드 셋과의 cross-correlation이 기준치보다 낮아 어느 코드워드가 수신되었는지 추정이 어려우면 5비트 심벌을 모두 버리는 EED (Errors-and-Erasures Decoding) 기능을 갖는 RS decoder를 제안하였다.^[2] 그리고 Robertson은 다양한 RS 코드율과 convolutional code를 적용한 concatenated code를 제안하였다.^[3]

반면 Cham은 전송속도 개선을 위해 CCSK 대신 32-ary biorthogonal keying을 제안하였다.^[4] 그리고 우리는 concatenated code를 쓰면서 MSK 대신에 GMSK를 제안하였다.^[5]

본 논문에서는 기존 Link-16 웨이브폼의 성능을 개선하면서 전송속도도 높일 수 있는 방식으로 기존 CCSK로 확산을 하지 않고 concatenated code의 inner code로 LDPC 에러정정 방식을 사용한 것이다. 이러한 방식은 LDPC의 error floor를 낮추고 LDPC의 에러정정 성능을 데이터 전송 요구에 맞게 최적화하기 위해 RS와 LDPC를 사용한 구조이다. 또한 심벌간 위상 천이가 없이 연속적이어서 ISI의 영향이 작은 특징을 갖는 기존 MSK 변조방식에서 대역외 신호를 억압하는 가우시안 여파기로 신호대역폭을 제한하여 대역효율을 약 1.4dB 개선할 수 있는 GMSK 변조 방식을 사용하였다.^[5]

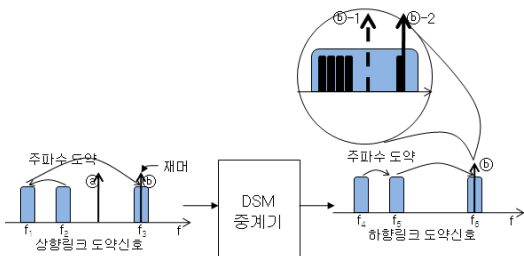


그림 3. 본 연구의 위성데이터링크 송신기

2.1 제안 위성데이터링크 중계기 구조

위성통신은 정지궤도의 중계기를 거쳐서 통신링크를 구성하므로 동일한 통신방식이라도 중계기가 통신방해에 효과적으로 대응할 수 있는 구조이면 항재밍 성능이 추가로 개선될 수 있다. 고신뢰도를 요구하는 우주 전자부품으로 구성되는 중계기는 수동중계기 (Bent Pipe)가 주로 사용되어 왔으나 항재밍 능력이 없다. 중계기 신뢰도를 유지하면서도 이러한 단점을 극복하고자 주파수로 구분된 여러 채널이 같은 도약 주파수로 도약을 하고 중계기에서 여파기로 신호외의 간섭신호나 잡음을 제거해주는 재머 제거 중계기가 제안되고 그 성능이 분석되었다.^[1,5,11]

그러나 이 경우 신호가 없는 경우라도 여파기에는 잡음이나 우연히 통과되는 재밍신호가 존재하게 되어 부분적인 성능 감쇄를 피할 수 없다. 본 논문에서는 이러한 경우에도 재밍신호를 제거할 수 있는 DSM형 중계기를 제안한다.

이 중계기는 입력신호를 다상여파기(polyphase filter)로 등간격으로 입력신호들을 주파수 대역에서 자른 후 할당된 주파수 빈과 시간 슬롯을 다른 주파수로 스위칭한 후 원 신호를 합성하여 송신하는 구조이다. 여기서 수신 주파수와 송신 주파수와의 차이는 상향링크와 하향링크 도약 주파수 차이이며, 스위치로 구현이 될 수 있다. 이러한 구조에서는 스위칭이 안된 주파수 빈과 시간 슬롯에 있는 재머와 잡음 신호는 제거가 되므로 중계신호와 완벽하게 겹쳐지지 않은 모든 재머신호는 제거할 수 있다.

재머제거 효과를 그림 3과 같이 예를 들어 보면 상향링크로 주파수 2, 1, 3의 순으로 주파수 분할 다원 접속(FDMA: Frequency Time Division Multiple Access)되어 있는 채널들이 수신되고 이때 재머 ㉠가 신호와 다른 대역에 재머 ㉡가 신호와 겹쳐져 있다고 가정하자.

이를 수신한 DSM 중계기는 2, 1, 3 주파수에 있는 신호만 해당 시간 슬롯에 4, 5, 6으로 선택적으로 스위칭하면서 재머 ㉠를 제거한다. DSM의 출력에서 재

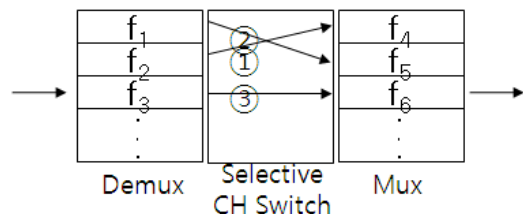


그림 4. 제안하는 DSM형 중계기 구조

밍된 FDMA 신호들을 자세히 보면 그림의 ㉔-1처럼 신호와 무관한 재머는 제거가 가능하고 ㉔-2와 같은 재머는 신호와 겹쳐져 있어 남게 된다. 이때 채널간 도약 주파수 시퀀스는 직교성을 유지해야 하며, 스위칭 정보는 망제어기를 통해 실시간으로 받거나 각 도약신호의 동기를 위한 프리앰블을 검출하여 신호 유무를 알 수 있다고 가정한다. 이러한 구조에서는 전체 도약대역폭을 모두 통신용으로 사용 가능하므로 주파수 도약을 하는 통신방식의 단점인 낮은 주파수 사용률을 극대화 할 수 있다.

III. 분석 및 고찰

3.1 위성 데이터링크 웨이브폼 BER 성능분석

GMSK 변조방식을 동기검파를 하였을 경우에 대한 BER 성능은 Kazuaki Murota 등에 의해 아래 식과 같이 표현할 수 있다.^[7]

$$P_c = Q\left(\sqrt{\frac{2\alpha E_c}{N_o}}\right) \quad (1)$$

$$\alpha = \begin{cases} 0.68, & \text{GMSK with } BT=0.25 \\ 0.85, & \text{MSK with } BT \rightarrow \infty \end{cases}$$

여기서 BT는 일반적으로 1, 0.5, 0.25 등을 사용할 수 있지만 대역폭 효율 개선을 위해 본 논문에서는 0.25를 사용하였다.

그리고 E_c 는 칩의 평균 에너지이고, N_o 는 잡음 전력밀도이고, 함수 Q 는 다음과 같이 정의된다.

$$Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) \quad (2)$$

그리고 (n, k) RS 디코딩을 사용하는 웨이브폼이므로 심벌 에러율은 다음 식과 같이 다시 쓸 수 있다.^[8]

$$P_s \approx \frac{1}{n} \sum_{i=t+1}^n i \binom{n}{i} P_c^i (1-P_c)^{n-i} \quad (3)$$

여기서 t 는 $(n-k)/2$ 로 최대 정정 에러 비트 수를 나타내며, Link 16의 경우는 $n=31, k=15$ 이다.

$$P_b = \frac{J}{n} \left[|E_j| P_s^J (1-P_s)^{n-J} + \sum_{i=J+1}^{N_o-1} |E_j| \binom{n-J}{i-J} P_s^i (1-P_s)^{n-i} \right] + \frac{M}{n} \left[|E_j| \binom{n-J}{N_o-J} P_s^{N_o} (1-P_s)^{n-N_o} + \sum_{i=N_o+1}^n \binom{n}{i} P_s^i (1-P_s)^{n-i} \right] \quad (4)$$

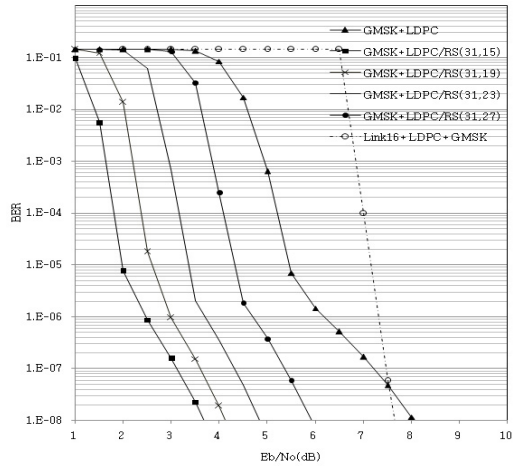


그림 5. Link-16 위성링크 및 위성링크 BER 성능비교

이를 LDPC code(1/2)에 의해 다음과 같은 BER 성능을 갖는다.^[9] 이때 GMSK는 이진 변조로 심벌 에러가 비트에러와 동일하다.

앞의 식을 사용하여 본 연구의 위성링크 웨이브폼을 기존 Link-16 개량 웨이브폼에서 convolutional code 대신에 LDPC($J=3, E_J=192, N_o=38, M=143.93, n=1008, \text{Rate}=1/2$)를 적용한 방식과 BER 성능을 비교하였다. 이때 코딩율을 낮추어 전송속도를 높일 수 있는 가능성도 확인하기 위해 RS code는 k 가 15~27로 최대 에러정정 비트 길이는 줄어들더라도 전송율을 개선됨을 보였다. 성능분석 결과 Link-16 기반으로 한 방식이 성능이 가장 좋지 않아서 다른 모든 경우에 보다 낮은 비트 에너지에서 waterfall 형상을 보이고 있음을 알 수 있었다. 그리고 RS 코딩을 사용한 경우 코딩율이 높아질수록 약 1dB씩 성능은 개선이 되어 RS(31,15)의 경우에는 2.5dB면 데이터 통신을 할 수 있는 $1E-6$ 의 BER을 얻을 수 있음을 알았다. 그러나 Link 16기반은 CCSK 코드워드를 복원하는 과정에서 동기를 이루어 버스트 전송환경에서는 적합한 방식이 될 것이다.

3.2 DSM 중계기 성능개선

DSM형 중계기는 상향링크 재밍 신호가 통신채널을 재밍하지 않는 경우는 제거가 되는 구조 이므로 재머에 의한 위성 중계기의 전력탈취 효과를 줄일 수 있다. 그 효과의 정량적인 양은 기존 FDMA 신호의 최대 대역폭 (그룹대역폭= WG) 대신 개별 채널의 대역폭(= WS)로 모델링하면 된다.

이를 상향링크가 재밍을 당하였을 때 채널 대역폭 만큼의 위성 전력 탈취현상을 고려한 위성의 이득

(GSATJ)은 다음과 같다.^[1]

$$G_{SATJ} = \frac{P_{SAT} \cdot 10^{Backoff \cdot 0.1}}{n \cdot C_{UP} + \left(N_{O_{UP}} + \frac{J_{UP}}{W_{J_{UP}}} \right) \cdot n \cdot W_C} \quad (5)$$

여기서 n : 채널 수, CUP : 위성에서 수신 반송파 전력[W], PSAT : 중계기 송신 전력[W], Backoff : 위성 TWTA Backoff값, NOUP : 위성에서 열잡음 전력 밀도 (W/Hz), JUP : 위성에서 수신 상향링크 재머 전력[W], $W_{J_{UP}} = \rho_{UP} \cdot W_{FH}$: 상향링크 재머의 대역폭 [Hz], ρ_{UP} : 상향링크 재머의 도약대역에 대한 재밍 신호대역 비율 이다.

이때 기존 방식에서는 WC 대신 허용 사용자 수에 따라 대역폭이 고정되는 WG로 대체하게 된다. 즉 위성 송신전력을 상향링크 잡음과 재머 전력이 차지하는 비율이 커지게 된다.

이러한 DSM 중계기의 성능개선 효과를 확인하기 위해 도약대역폭을 500MHz, 그룹대역폭을 10MHz, 채널대역폭은 양방향으로 전술형 영상정보 서비스가 가능한 108kbps (LET ((Link-16 Enhanced Throughput) Message type 3기준)를 가정하여, 사용자가 1, 10, 50 인 경우에 대해 부분대역 재머 환경에서 GSAT을 비

교 하였다.

그림 6에서 식 5에서 처럼 Backoff된 출력으로 정규화된 위성 이득을 분석하여 도시하였다. 이때 부분대역 환경에서 재밍을 당하는 경우에서의 이득이며, 이득이 작다는 것은 위성중계기의 신호가 차지하는 전력이 적게 되고, 이는 하향링크 신호대 잡음비가 줄어들다는 뜻이다.

분석결과 모든 경우에 DSM형 중계기가 가장 높은 이득을 갖게 되며, 부분대역 재머 비율이 낮을수록 중계기 이득이 줄어들음을 알 수 있었다. 이는 재밍을 당한 경우만을 고려하였으므로 비율(ρ)이 낮은 경우 재밍신호 전력 밀도가 높아지기 때문에 전력 탈취효과가 크게 나타나기 때문이다. 그리고 이러한 경우 하향링크 신호대 잡음비가 낮은(소형 단말이 수신하는 경우)에는 전력탈취 효과로 성능이 상대적으로 많이 영향을 받을 수 있음을 알 수 있다.

3.3 부분대역 재밍환경에서 BER성능 비교

부분대역 재머는 도약주파수 대역의 일부분(ρ , ($0 < \rho < 1$))을 재밍하는 방식으로 도약대역 WFH에 재밍

대역 WJ의 경우 $\rho = \frac{W_J}{W_{ss}}$ 이며,

스펙트럼 분포는 다음 그림과 같다.

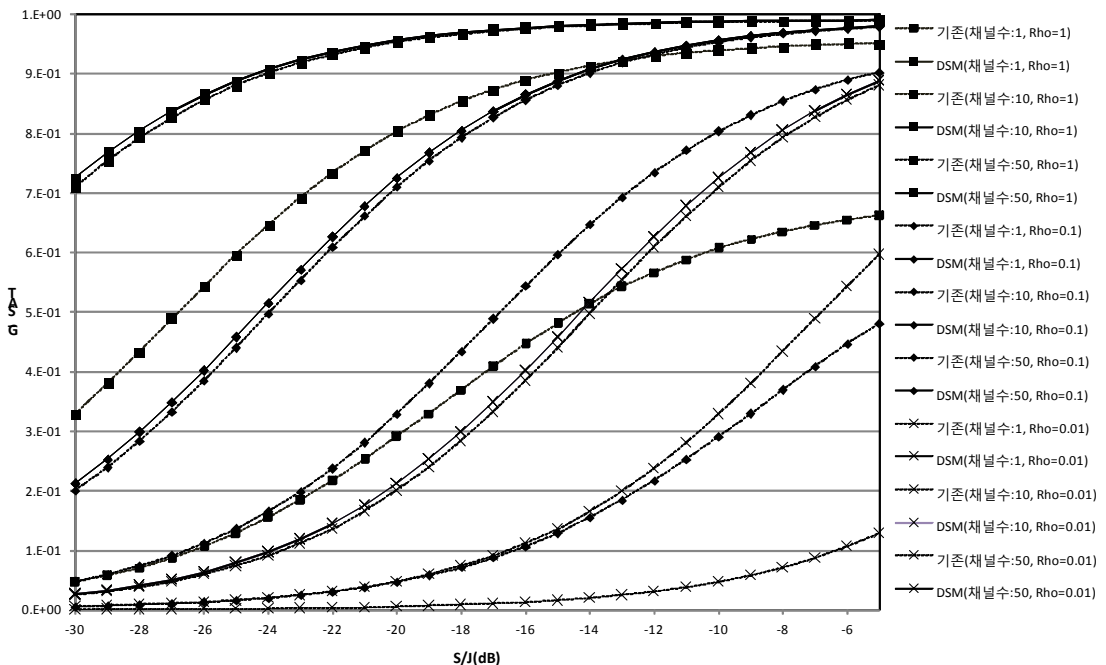


그림 6. DSM중계기와 기존 중계기와의 재머에 의한 전력탈취 영향 비교

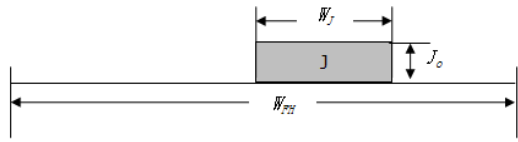


그림 7. 부분대역 재밍 환경 스펙트럼 예

이때 재밍 전력 J는 재밍대역에서의 밀도가 ρ비율로 아래 식과 같이 증가하게 되어 재머는 재밍 효율을 높일 수 있다.

$$\frac{J}{\rho W_{FH}} = \frac{J_o}{\rho}, \quad \frac{E_b}{J_o/\rho} = \frac{\rho E_b}{J_o} \quad (6)$$

BER 성능은 재밍을 당한 때와 당하지 않은 때로 분리하여 평균적으로 다음과 같이 구할 수 있다.^[1]

$$P_j = \rho P_b(E_b/(N_o + J_o)) + (1 - \rho) P_b(E_b/N_o) \quad (7)$$

여기서 P_b는 식 4를 사용할 수 있다. 식 7을 이용하여 본 연구 웨이브폼의 항재밍 성능을 분석하였다. 제안하는 웨이브폼을 ρ가 1~0.00001일 때 각각 계산하여 그림 8과 같은 결과를 얻었다.

이때 열잡음에 의한 신호대 잡음비는 재밍 신호에 의한 영향을 확인하기 위해 20dBHz의 신호대 잡음비를 가정하였다.

분석결과 음성통신을 보장하기 위해서는 worst case ρ가 0.01의 재머인 경우로 RS(31,15)에서 22dB

신호대 재머 전력비가 요구되며, 데이터 통신을 위해서는 worst case ρ가 0.00001의 재머인 경우로 RS(31,15)에서 52dB 신호대 재머 전력비가 요구되며, 낮은 효율의 RS code에서는 그림 5의 결과와 유사하게 약 1dB씩 신호 전력을 더 요구함을 알 수 있었다.

그러므로 worst case 재머에 대응하여 데이터 통신을 위해서는 처리이득이 52dB 이상이 필요하며, 이러한 높은 처리이득을 갖는 것은 주파수 도약방식이 유일한 해결 방안이다.

다음은 제안한 DSM 중계기 구조의 성능개선 효과를 확인하기 위해 도약대역폭을 500MHz, 그룹대역폭을 10MHz에서 데이터 속도가 108kbps인 사용자가 1, 10, 50인 경우에 대해 부분대역 재밍 환경에서 BER 성능을 분석하여 그림 8과 같이 비교하였다.

이때 적용한 웨이브폼은 GMSK 변조와 LDPC/RS(31,15)이다. 분석결과 최대 약 2dB의 이득 개선이 있으며, 사용자가 많아지면서 성능이 유사하여 개선이 없어지는 것을 알 수 있었다.

또한 제안 방식은 처리이득으로 52dB를 요구한 분석결과에 대해, 도약대역폭에 따라 34dB의 처리이득과 함께 데이터 전송시 1E-6의 BER 조건에서 재머보다 18dB의 추가 전력이 필요함을 그림 9의 결과에서 보여 준다. 즉 500MHz 대역에서 주파수 도약을 하더라도 전술 영상을 보내기 위해서는 worst case 재밍 환경에서는 재머보다 18dB 송신 전력을 높여야 한다. 그러나 기존 중계기에서는 전력탈취를 당해 추가 전력이 필요한 것이다. 그러나 18dB의 추가 송신전력

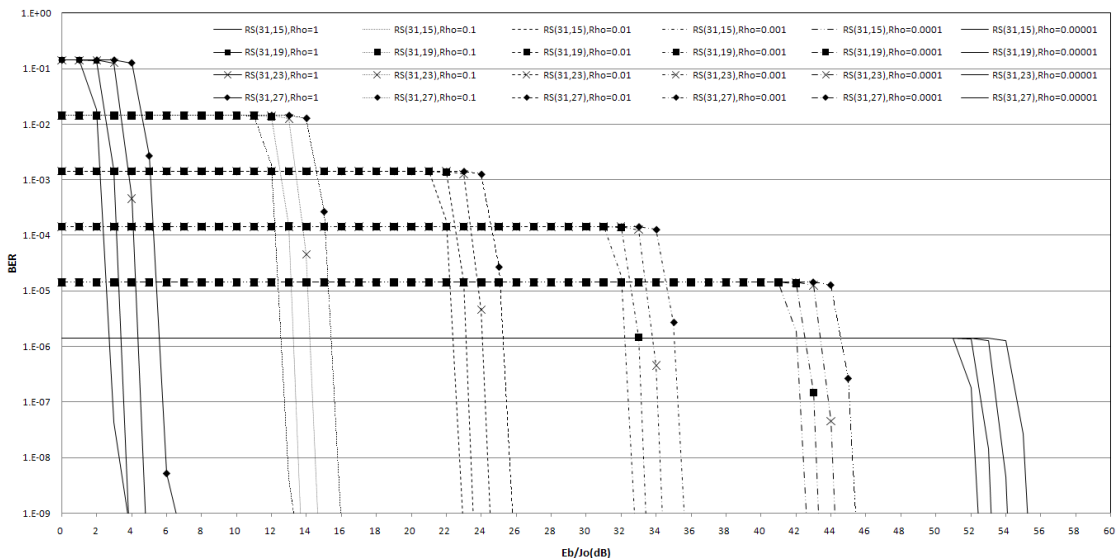


그림 8. 본 연구의 위성 데이터링크 웨이브폼 항재밍성능

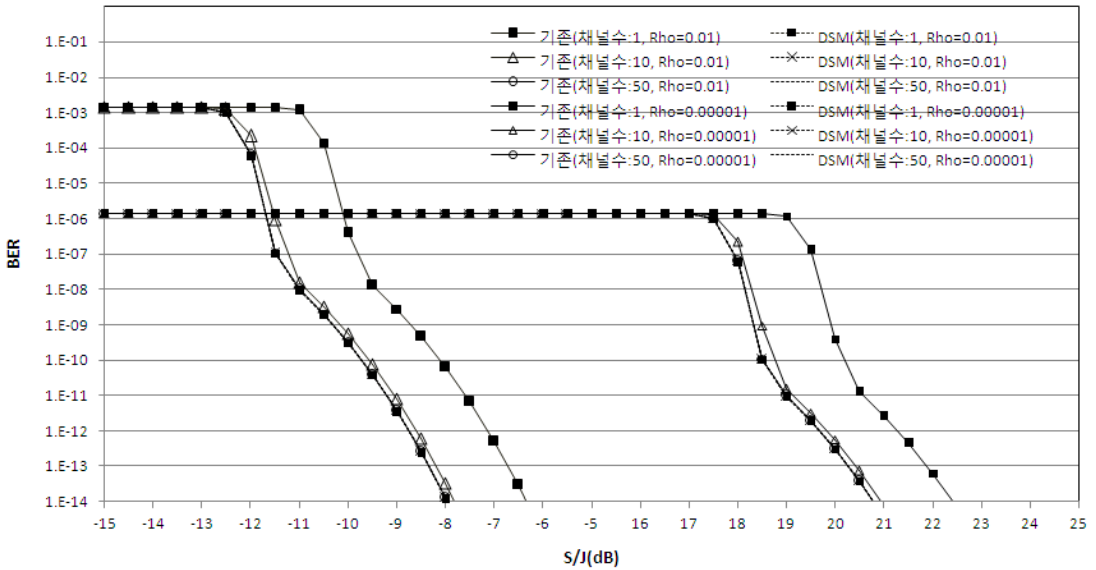


그림 9. 부분대역 재밍 환경에서 DSM중계기 성능

요구를 극복할 수 있는 전송방식 개선 연구가 필요한 것으로 판단된다.

IV. 결 론

음성이나 단문 메시지로 충분했던 기존의 전술 작전환경이 네트워크 중심전에서는 각각의 체계가 데이터링크를 통해 네트워크를 구성하는 개념으로 진화하고 있다. 이때 네트워크를 지원할 수 있는 전송방안으로 주파수 사용 효율이 개선된 변조 및 에러정정방식 연구 결과와 함께 위성통신이 중요한 역할을 하고 있다.

그러나 위성통신의 특성상 개방된 전송채널을 이용하므로 적에 의한 의도적인 재밍 및 위치추적과 정보신호의 탐지에 노출되어 있다. 이에 대응하기 위해 기존 군 위성통신에서는 광대역에서 고속으로 주파수 도약 통신방식을 적용하여 왔다.

특히 전술 작전 수행을 위한 각종 데이터를 각 체계에 신속하고 정확하게 제공하여야 하는 전술 데이터링크나 핵전에서도 생존성을 보장하려는 위성통신 링크에서는 필수 능력이다.

본 논문에서는 일정한 진폭을 유지할 수 있어 위성의 비선형 채널 환경에 적합하면서, 대역폭을 제한하는 GMSK 변조방식과 LDPC와 RS 에러정정 코드를 적용한 위성 데이터링크용 웨이브폼을 연구한다. 본 연구의 웨이브폼 성능을 검증하기 위해, 현재 항재밍 특성이 가장 우수한 것으로 알려진 Link 16을 개선한 것과 항재밍 성능을 비교하였다.

또한 기존의 재머 제거 능력이 있는 위성 중계기에서 신호가 있는 채널만 선택적으로 스위칭을 하여 상향링크와 하향링크에서 도약을 다르게 할 수 있으면서, 신호 대역 외에 있는 모든 재머를 제거함으로써 중계기 전력 탈취영향을 줄일 수 있는 DSM형 중계기를 제안한다. 제안한 웨이브폼 및 중계기 구조를 BER 및 항재밍 성능을 분석하였다.

분석결과 본 연구의 웨이브폼은 성능 개량된 Link-16 보다 항재밍 특성이 우수하며 2.5dB 신호대 잡음비에서 그리고 worst case 부분대역 재밍환경에서는 52dB 처리이득을 갖는 경우 데이터 통신을 지원할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 DSM형 중계기는 기존보다 최대 2dB 이득을 갖게됨을 알 수 있었다. 이때 실질적인 도약 주파수 파라메터를 적용하여 제안하는 데이터링크의 적용 가능성을 확인하였다. 이러한 중계기 구조에서는 전체 도약대역폭을 모두 통신용으로 사용 가능하므로 주파수 도약을 하는 통신방식의 단점인 주파수 사용률을 극대화 할 수 있어서 네트워크 중심전의 주요 전송로 역할을 가능하게 한다.

참 고 문 헌

- [1] 김기근, 김도선, 최영균, “주파수 도약방식 위성통신 시스템의 항재밍 성능 분석,” 한국통신학회 논문지 Vol.26 No.1, 2001.
- [2] Chi-Han Kao, Clark Robertson, and Frank Kragh, “Performance of a JTIDS-type Waveform

with Errors-and-Erasures Decoding in Pulsed-Noise Interference,” IEEE Military Communications Conference, Boston, Oct., 2009.

- [3] Joannis Koromilas, R. Clark Robertson, and Frank Kragh, “Performance analysis of the LINK-16/JTIDS waveform with concatenated coding in both AWGN and pulsed noise interference,” IEEE Military Communications Conference, San Jose, Nov., 2010.
- [4] Kok Kiang Cham and R. Clark Robertson, “Performance analysis of an alternative link-16 JTIDS waveform transmitted over a channel with pulse-noise interference,” IEEE Military Communications Conference, San Diego, Nov., 2008.
- [5] 김기근, 노홍준, 임재성, “Link-16 전송방식을 개선한 위성데이터링크 웨이브폼,” Telecommunications Review, 제20권 2호, 4월, 2010.
- [6] Naofal Al-Dhahir and Gary Saulnier “A High-Performance Reduced-Complexity GMSK Demodulator”, IEEE Transactions on Communications, Vol.46, No.11, pp.1409-1412, Nov, 1998.
- [7] Kazuaki Murota and Kenkichi Hirade, “GMSK Modulation for Digital Mobile Radio Telephony,” IEEE Transactions on Communications, Vol.Com-29, No.7, pp.1044-1050, July, 1981.
- [8] John G. Proakis and M Salehi, Digital Communications, Prentice Hall Inc.
- [9] Hua Xiao and Amir H. Banihashemi, “Error Rate Estimation of Low-Density Parity-Check Codes on Binary Symmetric Channels Using Cycle Enumeration,” IEEE Trans. Comm, Vol. 57, No.6, June 2009.
- [10] M. Simon and C. Wang, “Differential Detection of Gaussian MSK in a Mobile Radio Environment,” IEEE Transactions on VT, Vol. VT-33, No.4, pp. 307-320, Nov, 1984.
- [11] S.M. Sussmun, P.Kotiveeriah, “Partial Processing Satellite Relays for Frequency hop Antijam Communications,” IEEE Trans. on COMM., vol. COM-30, No.8, pp 1929-1937, Aug 1982.

김기근 (Kikeun Kim)

정회원



1992년 2월~현재 국방과학연구소 연구원
2008년 3월~현재 아주대학교 컴퓨터공학과 박사과정
<관심분야> 위성 IP network, 위성 데이터링크

이민우 (MinWoo Lee)

정회원



1998년 7월~현재 해군 소령
2008년 3월~현재 아주대학교 NCW학과 통합과정
<관심분야> 위성 IP network, 위성 자원 관리

임재성 (Jae-sung Lim)

중신회원



1983년 2월 아주대학교 전자공학과 학사
1985년 2월 KAIST 영상통신 석사
1994년 8월 KAIST 디지털통신 박사
1998년 3월~현재 아주대학교 정보통신전문대학원 교수
2006년 8월~현재 아주대학교 국방전술네트워크 연구센터장
<관심분야> 이동통신, 무선네트워크, 전술통신