

주파수 도약방식 위성통신 시스템의 항재밍 성능 분석

정희원 김기근*, 김도선*, 최영균*

An Analysis of Anti-jamming Capability of Frequency Hopping Satellite Communication Systems

Ki-keun Kim*, Do-sun Kim*, Young-kyun Choi* *Regular Members*

요약

본 논문에서는 도약방식을 사용하는 위성통신 시스템 구조인 Regenerative OBP, Dehop/Rehop Transponder (DRT)와 Frequency Hopping-Code Division Multiple Access Transponder(FH-CDMA)에서 부분대역 재머에 대한 성능을 비교 분석하였다. 분석 결과 DRT는 전력탈취 현상을 무시할 수 있으며, Regenerative OBP가 DRT에 비해 항재밍 성능이 최대 약 5dB정도 이득이 있음을 알 수 있었다. 또한 FH-CDMA는 상향링크 재머나 잡음에 의한 전력탈취 때문에 최대 15dB이상의 BER 성능 열화를 보였다. 그리고 열화되는 링크 분석을 통해 상향링크 재머가 있는 환경에서 효과적인 항재밍 성능을 얻기 위해 Regenerative OBP는 상향링크를, DRT는 상향이나 하향링크를, FH-CDMA는 하향링크를 개선하는 시스템 설계를 제안하였다.

ABSTRACT

In this paper, anti-jamming capabilities of Regenerative OBP, Dehop/Rehop Transponder(DRT) and FH-CDMA Transponder(FH-CDMA) which utilizes frequency hopping techniques under a partial-band jammer are analyzed. As the results of analysis, we can see that performance of Regenerative OBP is about 5dB better than DRT and BER degradation of FH-CDMA is up to 15dB worse than DRT because of the power-robbing effect due to jammer or noise. Consequently, we suggest that for uplink-Jammer, uplink of Regenerative OBP, up link or downlink of DRT, and downlink of FH-CDMA be improved in order to gain effective anti-jamming performance.

I. 서론

정지궤도를 이용한 통신위성은 물리적 공격에 안전하다는 특징으로 인해 군용 위성통신에 많이 사용되고 있다. 그러나 위성통신의 특성상 개방된 전송채널을 이용하므로 적에 의한 의도적인 재밍 및 전파 탐지를 이용한 위치추적과 정보신호의 탐지등을 고려하여 군 위성통신 시스템을 설계해야 하는데, 이를 위해서 항재밍 능력을 최대화하는 관점에서 요구 확산대역폭 제한이 적은 주파수 도약형이 사용되어 왔다.

그런데 이러한 주파수 도약방식을 수동중계 위성

(Frequency Hopping-Code Division Multiple Access Transponder : FH-CDMA Transponder)에 적용하는 경우 TWTA의 전력 탈취등에 의해 항재밍 능력에 제한이 따르게 되어 중계기내의 대전자전 기능을 위한 처리장치가 요구 된다. 이를 위해 현재 최적의 항재밍을 제공하는 중계기 구조는 각 가입자가 도약을 하고 중계기내에서 가입자 신호가 완전히 복원되어 재밍신호가 제거되는 Regenerative OBP형으로 미국 MILSTAR 위성체계에서 구현되어 92년부터 운용중에 있다. 그러나 이러한 위성 체계는 막대한 예산이 소요되어 미국에서 초차 냉전 후 위협요소가 감소된 세계정세 변화 대응 뿐만 아

* 국방과학연구소

논문번호: 00044-0207, 접수일자: 2000년 2월 7일

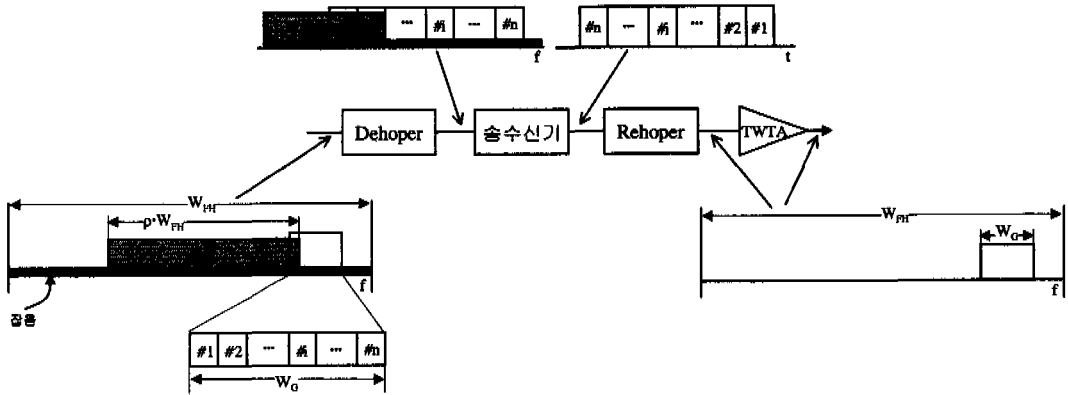


그림 1. Regenerative OBP 구조와 신호 특성

나라 시스템 구축 비용을 줄이기 위해 새로운 MILSTAR 3을 계획중이다^[1]. 한편 이러한 방식의 대안으로 중계기에서 신호처리를 하지 않고 단순히 채널의 대역의 재밍 신호만 제거하여 주는 구조로 구축비용과 대전자전 능력면에서 보다 효율적인 Dehop/Rehop Transponder방식이 제안되었다^[2].

본 논문에서는 이러한 도약 방식을 사용하는 중계기 구조인 Regenerative OBP, Dehop/Rehop Transponder와 FH-CDMA Transponder에서 저속 도약의 경우에 대한 항재밍 성능을 분석하고 성능 차이를 주는 주요인을 분석하기 위해 상하향링크에 부분대역 재머가 있는 환경에서 각 방식에 대한 BER을 분석하고 그 결과를 고찰하였다.

II. 모델링 및 BER 분석

1. 전력탈취 현상

통신위성은 일반적으로 다수의 반송파를 동시에 송신해야하므로 송신 전력이 제한되게 된다. 또한 송신되는 신호가 반송파 뿐만 아니라 잡음이나 상향링크 재밍 신호등이 섞이면 각 송신신호 요소의 전력 비에 의해 위성 송신 전력이 나뉘게 되며, 이를 전력 탈취 현상이라 한다. 이러한 현상은 위성의 반송파 송신 전력을 줄이게 하므로 하향링크 신호대 잡음비를 감소 시킨다. 이때 발생되는 전력 탈취 양은 중계기 방식별로 차이가 있으므로 이를 분석하여 보기로 한다.

1.1. Regenerative OBP

일반적으로 도약하는 신호를 위한 Regenerative OBP는 상향링크의 n 개 채널은 주파수 분할 다원화하여 같은 시퀀스로 도약을 하게 된다. 이러한 도

약 구조는 그룹도약이라 하며, 중계기의 수신부 구조를 간단하게 한다. 그리고 중계기에서는 신호를 수신한 후 데이터를 복원한다. 또한 하향링크로 송신시에는 시간 분할 다원화되어 주파수 도약하기 때문에 TWTA의 Backoff를 하지 않는다. 이러한 중계기는 그림 1과 같은 구조를 갖는다.

그림에서 중계기의 Dehoper입력 단에서는 상향링크의 n 개 가입자가 도약 대역폭 W_{FH} 내에서 그룹도약하며, 부분대역 ρ 에 재머가 있게 된다. 그리고 잡음이 전 도약 대역폭에 걸쳐 있다. 이러한 신호는 Dehoper를 거쳐 도약신호를 수신한 후 송수신기에 입력된다. 송수신기는 신호 대역의 잡음과 재머 신호는 거르고, 모든 n 개의 채널의 데이터를 복원하여 타임 슬롯으로 만든 후, Rehoper가 이 신호를 도약시켜 송신하게 된다. 이때 송신하는 신호는 도약 채널내에 있는 재머 신호와 잡음이 유발한 에러를 포함한 반송파만의 신호가 되므로 위성 TWTA에서는 전력 탈취현상이 없게 된다.

1.2. Dehop/Rehop Transponder

DRT(Dehop/Rehop Transponder) 방식은 Regenerative OBP에서 중계기의 송수신기를 채널 여파기로 대체한 구조로 항재밍 성능을 크게 희생하지 않으면서 간단한 중계기 구조로 구현할 수 있다는 장점이 있다. 이 구조의 상향링크는 Regenerative OBP의 상향링크 신호와 같이 그룹도약을 하며 그림 2와 같은 구조를 갖는다. 그림에서 DRT의 상향링크의 n 개 채널은 주파수 분할 다원화하여 같은 시퀀스로 도약하며, Dehoper에서 도약신호를 IF로 복원한후 채널여파기로 채널 대역의 신호는 제거한 후, Rehoper에 의해 재도약 되어 하향링크로 송신된다. 이때 위성 송신신호는 채널 대역내 재머와 잡

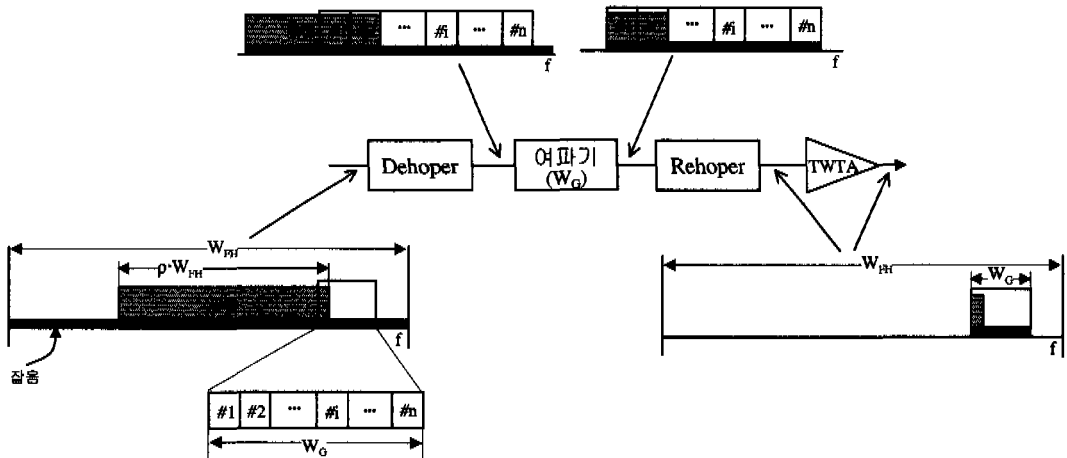


그림 2. DRT 구조와 신호 특성

음신호가 포함되어 이 신호들 간에 비에 의해 전력 탈취를 당하게 된다.

1.3. FH-CDMA Transponder

FH-CDMA Transponder는 단순히 주파수 변환만 하여주는 transparent형으로 각 채널은 코드 분할 다원화되어 도약 대역폭 내에서 도약을 하게 된다. 그러므로 증계기는 도약대역폭 외의 신호를 여파기로 제거하게 되어 제거되는 재머 신호는 없게 된다.

이 때 송신 신호는 전 재머 신호와 도약대역폭 내의 잡음 및 반송파로 이루어져 많은 전력 탈취 현상이 나타나게 된다. 이러한 증계기 구조는 다음 그림과 같다.

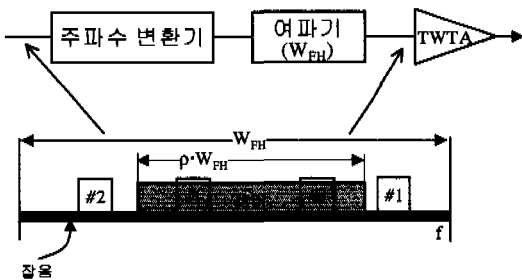


그림 3. FH-CDMA Transponder 구조와 신호 특성

2. BER 분석

위성 시스템의 BER을 분석하기 위해 다음 그림4와 같이 일반적인 위성링크를 모델링하였다.

그림에서 상하향링크 각각에 재머 및 잡음이 부가되고 위성은 증계기 처리기와 P_{SAT} 출력 및 G_{SAT} 이득을 갖는 것으로 모델링된다.

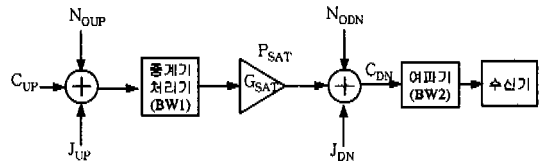


그림 4. BER분석을 위한 위성링크 모델

이 때 증계기는 최대 가용 출력을 사용하기 위해 자동으로 이득이 가변되는 것으로 가정하였다. 그리고 각 분석을 위한 파라메타는 다음과 같다.

M : FSK Multirate size

R_b : 데이터 rate(bps)

R : 심벌 rate(sps)

n : 채널 수

W_{FH} : 도약 대역폭(상, 하향 동일)[Hz]

W_s : 채널대역폭[Hz]

$W_G = n \cdot W_s$: 그룹대역폭[Hz]

Backoff : 위성 TWTA Backoff값[dB]

C_{UP} : 위성에서 수신 반송파 전력[W]

C_{DN} : 단말에서 수신 반송파 전력[W]

N_{UP} : 위성에서 열잡음 전력 밀도(W/Hz)

N_{ODN} : 단말에서 열잡음 전력 밀도(W/Hz)

G_{SAT} : 증계기 이득

P_{SAT} : 증계기 송신 전력[W]

J_{UP} : 위성에서 수신 상향링크 재머 전력[W]

J_{DN} : 단말에서 수신 하향링크 재머 전력[W]

ρ_{UP} : 상향링크 재머의 도약대역에 대한 재밍 신호대역 비율

ρ_{DN} : 하향링크 재머의 도약대역에 대한 재밍

신호대역 비율

$$W_{UP} = \rho_{UP} \cdot W_{FH} : \text{상향링크 재머의 대역폭[Hz]}$$

$$W_{DN} = \rho_{DN} \cdot W_{FH} : \text{하향링크 재머의 대역폭[Hz]}$$

$k = \log_2(M)$ 일 때 신호대 잡음비 S/N에 따른 비동기 수신시 MFSK BER 함수 BER(S/N)는

$$BER(S/N) = \frac{2^{k-1}}{2^k - 1} \left[\sum_{i=1}^{M-1} (-1)^{i+1} \frac{(M-1)!}{i!(M-1-i)!} \frac{1}{i+1} e^{-\frac{kS/N}{i+1}} \right]$$

이다.

2.1. Regenerative OBP

Regenerative OBP의 BER을 구하기 위한 그림 4의 모델에서 중계기 처리기는 송수신기에 해당하며, 대역폭 BW1과 BW2는 모두 채널대역폭(W_s)으로 모델링된다. 이 때 상향 및 하향링크 신호 에너지대 잡음전력 밀도비가 각각 E_{bUP}/N_{OUP} 과 E_{bDN}/N_{ODN} 이고, 부분대역 재밍 신호가 도약대역폭에 각각 ρ_{UP} 과 ρ_{DN} 비로 있을 때 상향 및 하향 각 링크의 BER P_{bUP} 과 P_{bDN} , 전체 링크의 BER P_b 는 다음 식과 같다.

$$P_{bUP} = \rho_{UP} \cdot BER \left(\frac{E_{bUP}}{N_{OUP} + \frac{J_{UP}}{W_{UP}}} \right) + (1 - \rho_{UP}) \cdot BER \left(\frac{E_{bUP}}{N_{OUP}} \right) \quad (1)$$

$$P_{bDN} = \rho_{DN} \cdot BER \left(\frac{E_{bDN}}{N_{ODN} + \frac{J_{DN}}{W_{DN}}} \right) + (1 - \rho_{DN}) \cdot BER \left(\frac{E_{bDN}}{N_{ODN}} \right) \quad (2)$$

$$P_b^{Regenerative\ OBP} = P_{bUP} + P_{bDN} - 2 \cdot P_{bUP} \cdot P_{bDN} \quad (3)$$

2.2. Dehop/Rehop Transponder

DRT의 BER을 구하기 위한 그림 4의 모델에서 중계기 처리기는 여파기로 모델링되며, 대역폭 BW1은 그룹대역폭(W_G)이고, 수신단말의 여파기 대역폭 BW2는 채널 대역폭(W_s)으로 모델링 된다. 이때 상향링크가 각각 재밍을 당한 때와 당하지 않은 때를 구분하여 네가지의 경우로 나누어 해석할 수 있다.

이를 상향링크가 재밍을 당한 때와 당하지 않은 때로 나누어 구하였다.

먼저 상향링크에 재밍을 당하였을 때 그룹대역폭 만큼의 위성 전력 탈취현상을 고려한 위성의 이득(G_{SAT})은 다음과 같다.

$$G_{SAT} = \frac{P_{SAT} \cdot 10^{Backoff/10}}{n \cdot C_{UP} + \left(N_{OUP} + \frac{J_{UP}}{W_{UP}} \right) \cdot W_G} \quad (4)$$

여기서 도약대역폭이 그룹대역폭보다 10배이상으로 충분히 큰 경우 모든 그룹내 채널은 동시에 재밍을 당하거나 동시에 재밍을 당하지 않는 것으로 가정할 수 있다는 결과를 적용하였다^[3]. 이때 하향링크 반송파 전력(C_{DN})과 신호 에너지(E_{bDN})는 다음과 같다.

$$C_{DN} = G_{SAT} \cdot C_{UP} \quad (5)$$

$$E_{bDN} = \frac{C_{DN}}{R} \quad (6)$$

또한 하향링크 잡음 성분은 상향링크 재머와 잡음성분이 중계기 이득을 받아 수신된 성분과 단말 수신단의 잡음 또는 하향링크 재머 성분으로 구분할 수 있으므로 다음과 같이 신호 에너지대 잡음전력 밀도비를 각각 구할 수 있다.

먼저 상향링크 모두에 재밍을 당한 때의 신호 에너지대 잡음전력 밀도비(E_b/N_{OII})는 다음과 같다.

$$\frac{E_b}{N_{OII}} = \frac{E_{bDN}}{\left(N_{OUP} + \frac{J_{UP}}{W_{UP}} \right) G_{SAT} + N_{ODN} + \frac{J_{DN}}{W_{DN}}} \quad (7)$$

그리고 상향링크는 재밍을 당하였으나 하향링크는 재밍을 당하지 않은 때의 신호 에너지대 잡음전력 밀도비(E_b/N_{OIN})는 다음과 같다.

$$\frac{E_b}{N_{OIN}} = \frac{E_{bDN}}{\left(N_{OUP} + \frac{J_{UP}}{W_{UP}} \right) G_{SAT} + N_{ODN}} \quad (8)$$

또한 상향링크가 재밍을 당하지 않았을 때의 중계기 이득(G_{SATN})은 다음과 같다.

$$G_{SATN} = \frac{P_{SAT} \cdot 10^{Backoff/10}}{n \cdot C_{UP} + N_{OUP} \cdot W_G} \quad (9)$$

이때 반송파 전력(C_{DNN})과 신호 에너지(E_{bDNN})는 다음과 같다.

$$C_{DNN} = G_{SATN} \cdot C_{UP} \quad (10)$$

$$E_{p_{DN}} = \frac{C_{DN}}{R} \quad (11)$$

또한 하향링크 잡음 성분은 상향링크 잡음성분이 중계기 이득을 받아 수신된 성분과 단말 수신단의 잡음 또는 하향링크 재머 성분으로 구분할 수 있으므로 다음과 같이 신호 에너지대 잡음전력 밀도비를 각각 구할 수 있다.

먼저 하향링크만 재밍을 당한 신호 에너지대 잡음전력 밀도비($E_b/N_{O,NI}$)는 다음과 같다.

$$\frac{E_b}{N_{O,NI}} = \frac{E_{p_{DN}}}{N_{O,UP} \cdot G_{SAT,N} + N_{O,DN} + \frac{J_{DN}}{W_{J,DN}}} \quad (12)$$

그리고 상하향링크 모두 재밍을 당하지 않은 때의 신호 에너지대 잡음전력 밀도비($E_b/N_{O,NN}$)는 다음과 같다.

$$\frac{E_b}{N_{O,NN}} = \frac{E_{p_{DN}}}{N_{O,UP} \cdot G_{SAT,N} + N_{O,DN}} \quad (13)$$

이렇게 구한 4가지 각 경우에 대해 전체 DRT의 BER은 다음 식과 같다

$$P_e^{DRT} = \rho_{UP} \cdot \rho_{DN} \cdot BER\left(\frac{E_b}{N_{O,II}}\right) + \rho_{UP} \cdot (1 - \rho_{DN}) \cdot BER\left(\frac{E_b}{N_{O,NI}}\right) + (1 - \rho_{UP}) \cdot \rho_{DN} \cdot BER\left(\frac{E_b}{N_{O,NI}}\right) + (1 - \rho_{UP}) \cdot (1 - \rho_{DN}) \cdot BER\left(\frac{E_b}{N_{O,NN}}\right) \quad (14)$$

2.3. FH-CDMA Transponder

FH-CDMA의 BER을 구하기 위한 그림 4의 모델에서 중계기 처리기는 여파기로 모델링되며, 대역폭 BW1은 도약대역폭(W_{FH})으로, 수신기 대역폭 BW2는 채널대역폭(W_S)으로 모델링 된다. 이때 BER을 구하기 위해 DRT와 같이 상하향링크가 각각 재밍을 당한 때와 당하지 않은 때를 구분하여 네가지의 경우로 나누어 해석할 수 있다.

DRT와 같은 경우로 상향링크에 재밍을 당하였을 때와 당하지 않았을 때 도약대역 폭 만큼의 위성 전력 탈취현상을 고려한 각 경우의 위성 이득($G_{SAT,I}$, $G_{SAT,N}$)은 다음과 같다.

$$G_{SAT,I} = \frac{P_{SAT} \cdot 10^{Backoff_{0.1}}}{n \cdot C_{UP} + N_{O,UP} \cdot W_{FH} + J_{UP}} \quad (15)$$

$$G_{SAT,N} = \frac{P_{SAT} \cdot 10^{Backoff_{0.1}}}{n \cdot C_{UP} + N_{O,UP} \cdot W_{FH}} \quad (16)$$

이때 각 경우의 반송파 전력과 신호에너지는 DRT의 경우와 같다.

또한 각 네가지 경우의 신호 신호 에너지대 잡음 전력 밀도비는 DRT와 같은 방법으로 구할 수 있다. 이때 도약시 채널간의 충돌은 무시 할 수 있도록 도약 시퀀스를 설계한 것으로 가정하였다.

이렇게 구한 네가지 각 경우에 대해 전체 FH-CDMA의 BER은 다음 식과 같이 DRT와 동일하나, 중계기에서의 전력탈취 양이 식 15와 같이 주어지게 된다.

$$P_e^{FH-CDMA} = \rho_{UP} \cdot \rho_{DN} \cdot BER\left(\frac{E_b}{N_{O,II}}\right) + \rho_{UP} \cdot (1 - \rho_{DN}) \cdot BER\left(\frac{E_b}{N_{O,NI}}\right) + (1 - \rho_{UP}) \cdot \rho_{DN} \cdot BER\left(\frac{E_b}{N_{O,NI}}\right) + (1 - \rho_{UP}) \cdot (1 - \rho_{DN}) \cdot BER\left(\frac{E_b}{N_{O,NN}}\right) \quad (17)$$

III. 성능 분석 결과

1. 각 방식별 항 재밍 성능

상향링크 재머가 있을 경우 각 방식별로 BER 성능 변화를 분석하여 항재밍 성능을 알아보았다. 이때 방식간의 비교를 위해 전대역 재머와 저속 도약을 가정하였다. 그리고 부분대역과 전대역 재머의 BER성능을 비교하여 부분대역 재머의 경우에도 방식간에 전대역 재머의 경우와 같은 결과를 얻을 수 있는지 확인하였다.

또한 위성의 상향링크와 하향링크에서 성능 제한이 되는 링크에 따라 항재밍 성능의 방식별 차이를 비교하기 위해 상향 및 하향링크의 신호대 잡음 전력비를 가변하여 각 경우에 대해 분석하였다. 이때 방식간의 비교를 위해 상향링크 S/N는 위성수신 반송파 전력과 반송파 대역폭에 있는 $N_{O,UP}$ 에 의한 잡음전력 비이며, 하향링크 S/N는 위성 송신 전력과 반송파 대역폭에 있는 $N_{O,DN}$ 에 의한 잡음전력 비이다. 그리고 채널 수에 따라 위성 송신전력도 비례하여 증가하는 것으로 가정하였다.

이 때 사용한 파라메타는 $M=2$, $\rho_{UP}=1$, $n=100$, $R_b=4800$, $W_{FH}=500MHz$ 이다.

1.1. Regenerative OBP

상하향 링크의 S/N비가 각각 40dB에서 10dB로 가변하였을 때 S/I에 따른 BER을 다음 그림 5와 같이 구하였다.

그림에서 상향링크 S/N비가 20dB이면 하향링크 S/N가 20, 30, 40dB이든 모두 유사한 성능을 보이

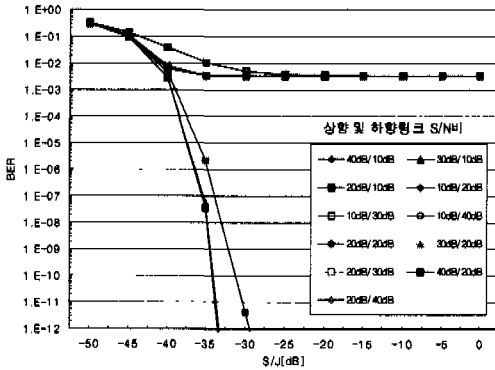


그림 5. Regenerative OBP 항재밍 성능

며, 하향링크가 20dB이면 상향링크 S/N비가 20, 30, 40dB이든 모두 유사한 성능을 보이되 상향링크 S/N비가 더 취약한 경우에 상대적으로 열화된 성능을 보였다. 결국 Regenerative OBP는 재밍 신호가 있는 상향링크가 취약한 경우가 하향링크가 취약한 경우 보다 성능이 더 열화되며, 취약한 링크가 성능을 결정하여 취약하지 않은 링크의 성능을 개선하여도 전체 링크의 성능은 개선되지 않음을 알 수 있다.

1.2. Dehop/Rehop Transponder

DRT도 Regenerative OBP와 같은 조건에서 BER을 분석하여 그림 6과 같은 결과를 얻었다.

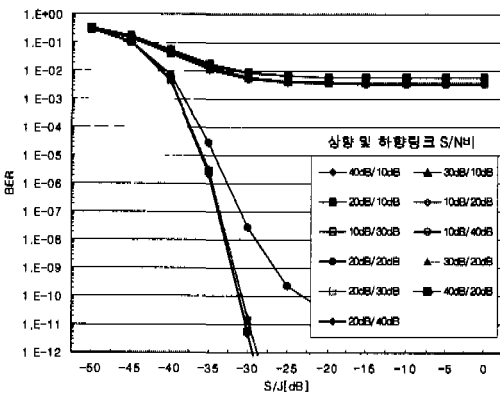


그림 6. DRT 항재밍 성능

그림에서 상하향링크 S/N비가 각각 20dB/40dB인 경우와 40dB/20dB인 경우가 성능이 유사하며, 또한 30dB/20dB인 경우와 20dB/30dB인 경우가 유사해져 전자가 근소하게 후자의 경우 보다 성능이 우수

함을 알 수 있었다. 또한 S/N비가 각각 20dB/20dB인 경우 가장 취약한 것으로 나타났다. 이러한 결과로 DRT의 상향 및 하향링크가 서로 상관관계를 갖고 있어서 어느 한쪽을 개선하면 전체 링크가 개선되고, 상향링크 재머가 하향링크에도 같은 양으로 영향을 주게 되어 Regenerative OBP와 다른 열화 특성을 보였다.

1.3. FH-CDMA Transponder

FH-CDMA의 경우도 같은 조건에서 BER을 분석하여 다음 그림과 같은 결과를 얻었다.

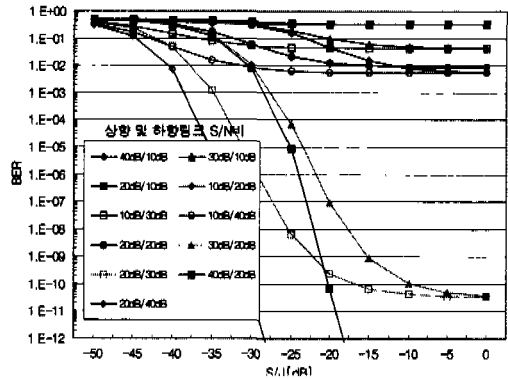


그림 7. FH-CDMA Transponder 항재밍 성능

그림에서 상향링크 재밍 신호가 BER에 영향을 주는 S/J가 -5dB이하인 경우에는 상하향 S/N비가 각각 20dB/30dB인 경우가 30dB/20dB인 경우보다 성능이 우수하나, 잡음이 BER에 영향을 S/J가 -5dB 이상인 경우에는 성능이 같음을 알 수 있었다. 또한 S/N비가 40dB/20dB인 경우에도 같은 경향을 보이나 앞의 경우보다는 성능이 우수한 것으로 나타났다. 여기서 FH-CDMA는 상향링크 재머가 있는 경우 하향링크 S/N에 의해 성능이 결정되며, 잡음만 있는 경우 성능이 동일하므로 이는 재머에 의한 전력 탈취현상에 의한 결과에 기인함을 알 수 있다. 또한 상향링크를 개선하는 것보다는 하향링크를 개선하는 것이 항재밍 성능면에서 효과적임을 알 수 있다.

1.4. 항재밍 분석 결과

항재밍 분석 결과 상향링크 재머가 있는 환경에서 Regenerative OBP는 상향링크가 제한되고 Dehop/Rehop Transponder는 상하향 링크 모두가 제한되며, 또한 FH-CDMA Transponder는 하향링크

가 제한됨을 알 수 있었다. 또한 이러한 시스템 설계시 방식별로 제한링크의 성능을 개선하여야 효과적인 항재밍 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

2. 방식간의 항재밍 성능 비교

상향링크 재머가 있을 경우 각 방식간의 BER 성능을 비교하였으며 결과는 그림 8과 같다. 이 때 사용한 파라미터는 앞 절과 같으나 방식간의 비교를 위해 DRT와 FH-CDMA는 3dB Backoff를 하였고, Regenerative OBP는 Backoff를 하지 않았다.

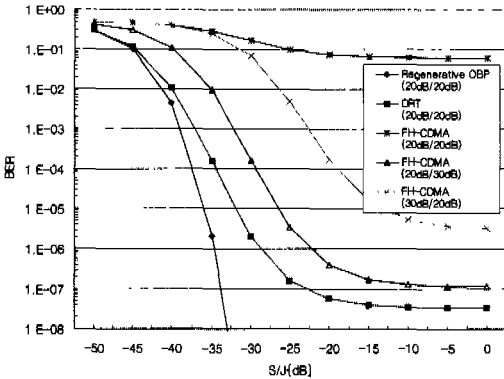


그림 8. 방식간 항재밍 성능 비교($\rho_{UP}=0.1$)

그림에서 Regenerative OBP는 DRT에 비해 재머가 BER에 영향을 주는 경우에는 0.5dB정도 성능이 우수하며, FH-CDMA는 아주 성능이 열화되어 하향링크를 10dB 개선하여도 DRT보다 5dB정도 BER이 떨어짐을 알 수 있다. 그래서 도약 대역폭이 500MHz인 경우 Regenerative OBP는 항재밍 성능이 약 35dB이며, DRT는 30dB정도로 나타났다. 이는 Regenerative OBP 경우 처리이득 47dB에서 요구 S/N값 12dB를 뺀 값에서 얻을 수 있으므로 예상치와 일치하며, DRT는 이에 대해 최대 약 5dB 정도 성능이 열화되는 것으로 해석 할 수 있다.

또한 앞의 전대역 재머인 경우 항재밍 특성이 부분대역 재머인 경우에도 동일하지 검증하기 위해 $\rho_{UP}=0.1$ 인 경우에 대해 다음 그림 9와 같은 결과를 얻었다.

그림에서 그림 8과 비교하여 방식별로 같은 경향을 보이면서 동일한 BER을 얻기 위해 S/I가 약 10dB 저하되고, 재머 전력이 신호 전력보다 50dB 이상 높은 경우의 BER이 약 0.5에서 0.1이하로 떨어지는 등 일반적인 부분대역 재머에 의한 성능 변화와 동일한 결과를 보임을 알 수 있다.

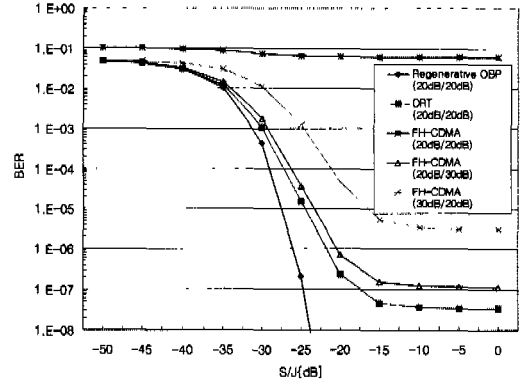


그림 9. 방식간 항재밍 성능 비교($\rho_{UP}=0.1$)

3. 채널 수에 따른 항재밍 성능 분석

앞절의 전대역 재머와 같은 조건으로 채널 수에 따라 전력탈취현상이 항재밍에 미치는 영향을 분석하였다.

이 때 Backoff는 없는 것으로 가정하고 상향 및 하향링크 S/N비는 각각 18dB로 하여 다음 그림 10과 같은 결과를 얻었다.

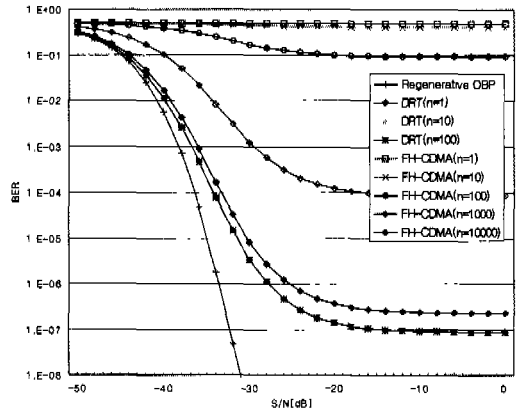


그림 10. 채널 수에 따른 항재밍 성능 변화

그림에서 Regenerative OBP는 방식에 의해 전력탈취 현상이 없지만 DRT도 거의 무시할 정도로 없는 것을 알 수 있었다. 그러나 FH-CDMA는 채널 수에 따라 상향링크 재머에 의해 전력탈취 양의 차이를 보여서 BER값으로는 약 15dB이상의 성능 차이를 보였다. 또한 채널 수가 최대인 경우 DRT와 성능이 동일할 것으로 예측되었다.

이를 앞 절 방식간의 비교와 함께 분석하면 Regenerative OBP와 DRT는 시스템 구조적인 차이

로 인해 최대 5dB 성능 차이가 있으며, FH-CDMA는 위성 송신 신호의 전력탈취 때문에 약 15dB 손실을 유발하는 것을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 도약방식을 사용하는 위성통신 시스템 구조인 Regenerative OBP, Dehop/Rehop Transponder와 FH-CDMA Transponder에서 저속 도약의 경우에 항재밍 성능을 비교 분석하고, 성능 차이를 주는 주 요인에 대해 고찰하였다. 이 때 재머는 상향 및 하향링크 부분대역 재머의 환경을 가정하였다.

분석 결과 상향링크 재머가 있는 환경에서 도약 대역폭이 500MHz인 경우 Regenerative OBP는 항 재밍 성능이 약 35dB이며, DRT는 30dB정도임을 알 수 있었다. 그리고 Regenerative OBP는 전력탈취 현상이 구조적으로 없으며, DRT는 전력탈취 현상은 있으나 무시할 수 있고, FH-CDMA는 채널 수에 따라 전력탈취 양이 BER값으로 최대 15dB의 차이를 보였다.

결국 Regenerative OBP와 DRT는 전력탈취 현상 없거나 거의 무시할 수 있지만 링크 상태에 따라 Regenerative OBP가 DRT에 비해 항 재밍 성능이 시스템 구조 차이 때문에 최대 약 5dB정도 이득이 있음을 알 수 있었다. 또한 FH-CDMA는 상향링크 재머나 잡음에 의한 전력탈취 양은 BER 성능으로 최대 15dB로 나타났다. 그리고 상향링크 재머가 있는 환경에서 Regenerative OBP는 상향링크가 제한되고 Dehop/Rehop Transponder는 상하향 링크 모두가 제한되며, FH-CDMA Transponder는 하향링크가 제한됨을 알 수 있었다. 또한 도약 방식 통신 위성 시스템 설계시 방식별로 제한링크의 성능을 개선하여야 효과적인 항재밍 성능을 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 결국 각 방식별로 보다 효과적인 항재밍 성능을 얻기 위해서는 제한되는 링크의 EIRP나 G/T성능을 개선하거나 데이터 속도를 줄이는 등의 시스템 설계 방법을 채택하여야 하는 것으로 나타났다.

참고 문헌

[1] R.Nishimura and T.J. Murphy, "Restructured Milstar Program," Paper 92-1611, *AIAA Space Programs and Technologies Conference*(March

1992)

- [2] S.M. Sussmun, P.Kotivveeriah, "Partial Processing Satellite Relays for Frequency hop Antijam Communications," *IEEE Trans. on COMM.*, vol. COM-30, No.8, pp 1929-1937, Aug 1982.
- [3] 김기근, 김도선, *Regenerative OBP와 Dehop/Rehop OBP방식의 항재밍 성능비교*, 국방과학연구소, GEDC-517-991048.
- [4] J.S.Lee, R.H.French and L.E.Miller, "Probability of Error Analyses of a BFSK Frequency-Hopping System with Diversity Under Partial-Band Jamming Interference," *IEEE Trans. on COMM.*, vol. COM-32, No.6, pp 645-653, JUN 1983.

김 기 근(Ki-keun Kim) 정희원
 한국통신학회논문지 제25권 제8B호 참조
 현재: 국방과학연구소 선임연구원

김 도 선(Do-sun Kim) 정희원
 1986년 2월: 호서대학교 전자공학과
 1988년 2월: 인하대학교 전자공학과 석사
 1988년 2월~현재: 국방과학연구소 선임연구원
 <주관심 분야> 광대역 통신망 구조 및 프로토콜 위
 성통신망 및 능동중계기 구조

최 영 균(Young-kyun Choi) 정희원
 한국통신학회논문지 제25권 제8B호 참조
 현재: 국방과학연구소 책임연구원