

확산 스펙트럼 위성 통신 시스템의 재밍간섭시의 성능 개선

Performance Improvement of Spread Spectrum Satellite Communication System in the Presence of Jamming Interference

김기근* · 고재덕** · 유흥균**

Ki-Keun Kim · Jae-Duck Ko · Heung-Gyoon Ryu

요 약

현재 위성통신 시스템에는 수동형 중계기가 많이 사용되고 있다. 이러한 수동형 중계기는 전체 위성통신 링크 시스템에서 재밍 간섭 신호에 대해 매우 취약한 부분이다. 수동형 중계기에 들어온 모든 신호는 주파수 변환, 재전송 되면서 혼변조 성분을 발생하게 된다. 본 연구에서는 중계기에 들어오는 재밍 신호에 대해서 사용자 신호의 대역을 확장하여 이러한 재밍 신호를 억압하는 방법을 제기하고자 한다. 정지궤도 위성중계 시뮬레이션 모델을 설정하고 DSSS 방법에 의한 재머 억압 능력을 확인하여, 부분 대역 겹침의 경우에 처리이득이 16.9 [dB]이면, 2ASK 재머에 대해서는 BER이 10^{-3} 에서 약 16.7 [dB], QPSK 재머에 대해서는 약 16.8 [dB]의 성능 개선을 얻었다.

Abstract

In recent SATCOM systems, transparent transponders are widely used. The transponder is, however, the most vulnerable part in SATCOM systems against jamming interference. All signals within the transponder bandwidth are frequency-converted and retransmitted with IM(intermodulation) products. In this paper, the method is proposed that makes the SJR(Signal-to-Jammer ratio) better. The bandwidth spreading of the user signal can reduce the jammers effects. The geostationary satellite system is modelled to simulate and to certificate the capability of suppression of jammers by DSSS. If signal is partially-overlapped by jammer and PG(processing gain) is 16.9 [dB], performance is improved about 16.7 [dB] for 2ASK jammer and about 16.8 [dB] for QPSK jammer, when BER is 10^{-3} .

I. 서 론

위성통신은 오늘날 세계적으로 널리 사용되는 통

신시스템으로 광역성, 동보성, 망구성의 융통성, 설치의 신속성 등의 장점을 활용하여 지속적으로 발전하고 있다^[1]. 위성통신 시스템에 사용되는 위성체 중계기로는 수동형 중계기(transparent tran-

* 국방과학연구소 (Agency for Defence Development)

** 충북대학교 전자공학과 (Dept. of Electronic Eng., Chungbuk Nat'l Univ.)

· 논문 번호 : 980110-004

· 수정완료일자 : 1998년 3월 3일

sponder)와 능동형 중계기가 있다. 수동형 중계기는 수신된 신호를 증폭하고 하향링크 주파수로 변환하는 역할을 한다. 수동형 중계기의 장점은 설계가 비교적 간단하다는 것이고 또한 위성체 내에서 신호처리를 하지 않으므로 일정한 변조형태의 신호가 아닌 여러 변조 형태의 신호에도 사용이 가능하다. 이러한 장점 때문에 수동형 중계기가 위성통신 시스템에 주로 사용된다. 그러나 수동형 중계기의 전력증폭기로서 사용되는 TWTA (Traveling Wave Tube Amplifier)는 비선형 특성을 가지고 있다^[2]. 재머 신호가 수동형 중계기에 들어오게 되면 전체 신호전력 대 잡음전력 비에 의한 신호의 BER은 증가하게 될 것이다^[3]. 재머신호의 영향을 줄이는 기법으로 확산 스펙트럼 기법이 있다. 확산 스펙트럼 기법은 송신신호의 주파수 대역폭을 정보신호의 주파수 대역폭 보다 넓게 하여 전송하는 기법이다. 이러한 기법을 사용하면 재밍 신호의 영향을 줄일 수 있다^{[3]~[5]}. 기존 연구로서는 L. B. Milstein^[6], L. A. Rusch와 H. V. Poor^[7], Marcel Kohl과 Friedrich Jondral^[8] 등에 의한 연구가 있었다. Marcel Kohl과 Friedrich Jondral는 정지궤도 위성에 대해 소형 터미널을 사용하여 상, 하향링크 28 GHz, 18 GHz 대역에서 QPSK신호에 대해 재머의 종류와 사용자 신호와 재머 신호간의 주파수 이격에 따른 성능을 분석하였다.

본 논문에서는 정지궤도의 수동형 중계기에 대해 재머 신호가 사용자 신호와 함께 상향링크에 들어올 경우를 모델로 하여 재머신호가 사용자 신호에 미치는 영향과 직접 확산 스펙트럼 기법에 의한 재머 억압 성능개선을 알아보고자 하였다. 이러한 목적으로 상향링크 44 GHz, 하향링크 21 GHz의 EHF 대역 채널을 SPW tool을 사용하여 모델링하였다. 데이터 속도는 19.2 kbps이며 변조방식으로는 BPSK를 사용하였고, 채널은 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 환경에서 대기손실과 자유공간 손실에 따른 감쇠를 가진 시불변 채널로 모델링 하였다. 상향링크에 재머 신호가 들어온다고 가정하였고, 재머 신호는 디지털 변조방식의

OOK, QPSK, 2ASK 신호를 사용하였다. 재머와 신호의 주파수 겹침에 대해서는 전대역, 부분대역, 인접채널로 구분하여 시뮬레이션 하였다. 이러한 재머의 영향을 억압하는 방식으로 직접 확산 스펙트럼 기법을 사용하였으며, 처리이득(PG)은 14 [dB]일 경우와 16.9 [dB]일 경우에 대해서 시뮬레이션 하였다.

제 II 절에서는 시뮬레이션 모델링에서의 고려사항과 수동형 중계기에 사용되는 TWTA에 대한 입, 출력 특성을 분석한다. 제 III 절에서는 재머 신호의 변조 기법과 재머 신호를 규명한다. 또한 사용자 신호 대역폭과 재머 신호의 대역폭 겹침에 대한 재머 신호의 영향을 SJR의 변화에 대해서 분석한다. 제 IV 절에서는 각 재머 신호에 의한 전체 링크 성능과 직접 확산 스펙트럼 기법을 사용할 경우의 링크 성능을 비교, 개선됨을 확인한다. 마지막으로 제 V 절에서 결론을 맺었다.

II. 위성 통신시스템 모델

시뮬레이션에서는 송신기, 상향링크 채널, 중계기, 하향링크 채널, 수신기가 시뮬레이션 되었다. 송신기에서는 19.2 kbps의 데이터를 BPSK 변조시켰으며, 상·하향링크 반송파 주파수는 44 GHz, 21 GHz의 EHF 대역이다. 상·하향링크의 채널모델은 AWGN 환경에서 대기손실과 자유공간 손실에 따른 감쇠를 가진 시불변 채널로 모델링 하였다. 상향링크에 재머신호가 들어온다는 가정을 하였고, 안테나의 이득, 잡음원에 의한 수신측 안테나에서의 영향 또한 고려하였다.

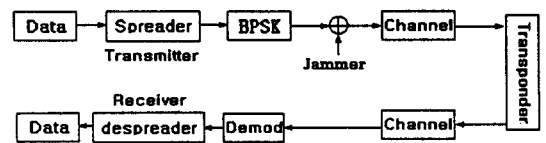


그림 1. 위성 통신시스템 모델
Fig. 1. System Model of SATCOM.

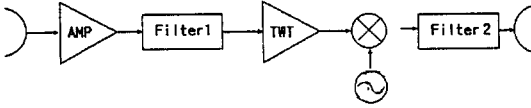


그림 2. 수동형 증계기
Fig. 2. Transparent Transponder.

그림 2는 저잡음 증폭기(LNA:Low Noise Amplifier)와 증계기 필터(Butterworth), TWTA로 구성되어 있는 수동형 증계기를 나타낸다. 첫 번째의 증계기 필터는 증계기 대역폭 밖의 간섭 스펙트럼 성분을 제거하는 역할을 한다. 발진기와 곱셈기를 이용하여 주파수를 변환시킨다. 두 번째 필터는 하향링크 신호 대역폭 밖의 혼변조 성분을 줄이는 역할을 한다. TWTA의 특성은 입력 $A(t)$ 와 출력 전압 $f[A(t)]$, 입력전압과 출력 위상 $g[A(t)]$ 사이의 전달특성을 통해 나타난다[2].

그리고 전체 출력 전압은

$$y(t) = f[A(t)] \cos(2\pi f_0 t + \varphi(t) + g[A(t)]) \quad (1)$$

여기에서 f_0 는 반송파 주파수이고, $\varphi(t)$ 는 BP-SK 신호의 위상정보이다.

그림 3은 이러한 TWTA의 특성을 보여주는 예이다. 10 [MHz]의 신호와 100 [kHz] 주파수 이격의 OOK 재머에 대한 TWTA 입, 출력 스펙트럼이

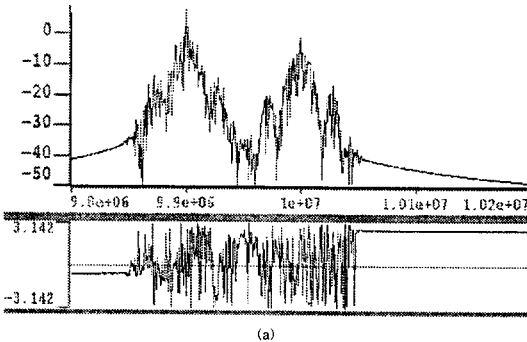


그림 3(a). TWTA 의 입력 스펙트럼
3(b). TWTA 의 출력 스펙트럼

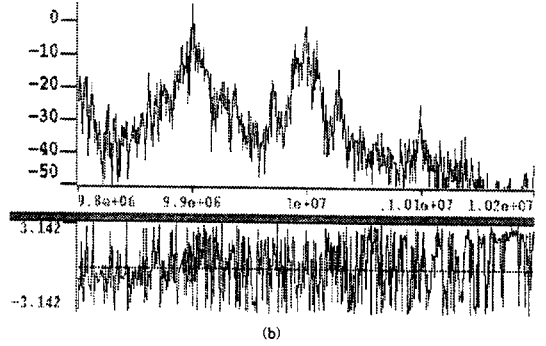


Fig. 3(a). Spectrum at the Input of the TWTA,
3(b). Spectrum at the Output of the TWTA.

다. TWTA를 거친 후의 출력스펙트럼에서 진폭, 위상이 TWTA 특성의 영향으로 많은 왜곡이 일어남을 알 수 있다.

Ⅲ. 재밍 간섭 신호분석과 주파수 이격에 따른 성능

재머 신호의 변조 기법과 재머 신호의 종류를 살펴본다.

표 1은 아날로그와 디지털 변조에 대한 재머 신호의 종류를 보이고 있다[8][9].

디지털 변조 방식에 대해서는 상태 수, 대역폭, 주파수에 따라서 재머 신호를 생성할 수 있다[5]. 그림 4은 예로서 OOK, 2ASK, QPSK 재머신호의 성상도이다.

표 1. 재밍 간섭 신호의 변조 방식과 종류

Table 1. Jammer's modulation modes and types.

아날로그(Analog)	Carrier, AM
디지털(Digital)	OOK, ASK, PSK, QAM

OOK 재머 신호에 대한 표현식은 다음과 같다.

$$x(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_0 t) & \text{"1"인 경우} \\ 0 & \text{"0"인 경우} \end{cases} \quad (2)$$

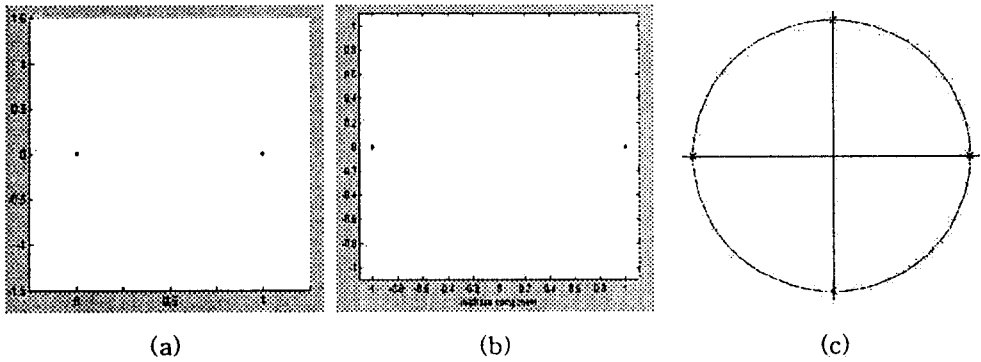


그림 4. 재머신호의 성상도. (a) OOK (b)2ASK (c) QPSK

Fig. 4. Constellation of jammer signal. (a) OOK (b)2ASK (c) QPSK

여기서 A 는 진폭, f_0 는 반송파 주파수를 나타낸다.

재머 신호의 반송파 주파수는 재머와 원하는 신호 사이의 스펙트럼 겹침에 의해 결정된다. 전 대역 겹침, 부분 대역 겹침, 인접채널(adjacent channel) 재머 등에 대해 SJR 을 변화하며 시뮬레이션 하였다.

표 2는 신호와 재머 신호와의 주파수 이격에 따른 스펙트럼 겹침을 보이고 있다.

또한 재머와 신호간의 대역폭 비 (B_j/B_s)가 BER에 영향을 준다. 표 3은 OOK 재머에 대해서 주파수 이격에 따른 BER을 나타낸다. 표에서도 알 수 있듯이 주파수 겹침이 줄어들수록, SJR 이 증가할수록 BER의 개선을 볼 수 있다.

그림 5는 사용자 신호의 주파수 대역폭과 재머 신호의 대역폭이 동일할 경우 ($B_j/B_s=1$)에 여러

표 2. 신호와 재머의 주파수 스펙트럼 겹침

Table 2. Spectral overlap between Signal and Jammer.

이격 주파수(Offset Freq.) [KHz]	겹침(Overlap) [%]
0	100
40	50
100	0

표 3. 주파수 이격에 따른 OOK 재머에 대한 BER

Table 3. BER for frequency offset of OOK Jammer.

SJR	재머	OOK		
		offset=0 [Hz]	40 [kHz]	100 [kHz]
-20.713		0.498	0.487	0.153
-18.713		0.495	0.247	0.132
-15.717		0.225	0.1966	0.102
-10.717		0.175	0.1455	0.05135
- 5.717		0.112	0.0763	0.01990
- 0.717		0.0466	0.0262	0.00814
1.2824		0.0291	0.0169	0.00681
3.2824		0.0188	0.0121	0.00551
9.2824		0.008194	0.00635	0.001914

다른 변조기법과 주파수 이격에 따른 성능분석이다.

OOK 재머에 대해서 BER이 10^{-2} 일 경우, 주파수 이격이 100 [kHz]이면 주파수 이격이 0 [Hz]에 대해서는 약 7 [dB], 주파수 이격이 40 [kHz]에 대해서는 약 10 [dB]의 성능 이득이 얻어진다.

주파수 이격이 40 [kHz]이고 SJR 이 5 [dB]일 경우에 OOK 재머의 BER은 1×10^{-2} , QPSK 재머의 BER은 7×10^{-3} , 2ASK 재머의 BER은 5×10^{-3} 이다. OOK 재머가 주파수 이격면에서 가장

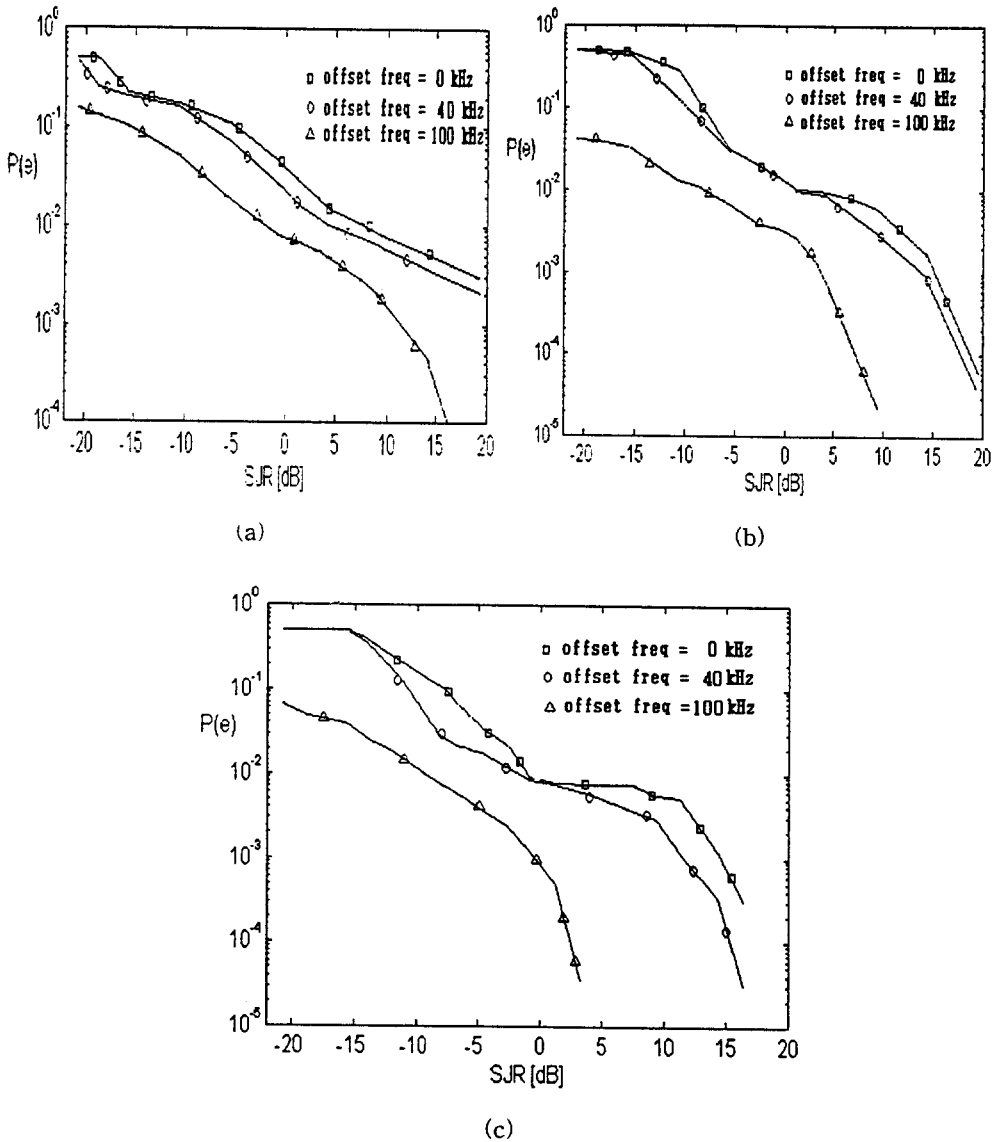


그림 5. 재머와 주파수 이격에 따른 BER
 (a) OOK (b) QPSK (c) 2ASK 재머

Fig. 5. Performance of different Jammer and different frequency offset.
 (a) OOK (b) QPSK (c) 2ASK jammer

큰 영향을 미치는 재머임을 알 수 있다.

IV. DS 확산 스펙트럼 방식의 재밍 성능분석

재밍 간섭시의 억압 방식으로 확산 스펙트럼 방식을 적용하였다. 확산 스펙트럼 통신은 원 데이터 신호의 주파수 대역폭을 정보신호의 주파수 대역폭

보다 넓게 하여 전송하는 방식이다. 이러한 방식을 사용하면 재밍 신호의 영향을 줄일 수 있다. 여기에서는 그림 1에서와 같이 직접 확산 스펙트럼(DSS: Direct Sequence Spread Spectrum) 방식에 대해서 재밍 간섭 억압을 알아보았다.

직접확산 스펙트럼 방식은 데이터를 PN(pseudo noise) 부호로 변조하여 확산 신호로 변환시킨 다음, 이 신호를 반송파 주파수로 BPSK 변조시켜 송신한다. 수신기에서는 수신신호와 송신기에서 사용한 것과 동일한 PN 부호를 곱하여 역확산시킨 다음, 원래의 데이터를 복원한다. 재밍간섭 신호가 존재할 때 DS/BPSK 변조방식을 사용하였을 경우의 예러확률은 다음과 같다.

$$P_E = Q\left(\sqrt{\frac{A^2 T_b}{N_0}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{2P_s}{P_n + P_i/G_p}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{2SNR}{1+(SNR)(JSR)/G_p}}\right) \quad (3)$$

여기서 G_p 는 PG를 나타낸다.

DSSS기법은 유한 크기의 재밍신호에 대해서 처리이득의 효과를 볼 수 있다.

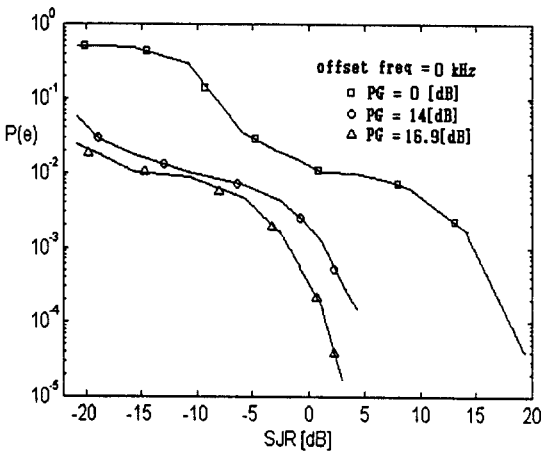


그림 6. QPSK 재머에 대해 처리이득이 14 [dB], 16.9 [dB]에 대한 DSSS의 결과

Fig. 6. BER of a DS signal interfered by QPSK over SJR for PG=14 [dB], PG=16.9 [dB].

그림 6은 전대역 QPSK 재머에 대해 처리이득이 14 [dB]와 16.9 [dB]에 대한 DSSS의 결과를 나타낸다. 처리이득이 16.9 [dB]일 경우 BER이 10^{-3} 에서는 처리이득이 없을 경우에 대해 약 17 [dB]의 성능 개선이 이루어짐을 알 수 있다. 처리이득이 더 커지면 BER의 개선은 이루어지지만 신호의 동기 문제가 발생하므로 비례하여 BER이 개선되지는 않는다. 사용자 신호에 의해 발생된 혼변조는 DSSS에 의해서 감소되지 않고 항상 남아 있게 된다.

그림 7은 각 재머 신호의 처리이득에 의한 BER을 보여주고 있다. DSSS에 의해 재머의 영향이 감소됨을 알 수 있다. 신호에 미치는 재머의 영향으로는 2ASK와 QPSK 재머보다는 OOK 재머가 신호에 더 큰 영향을 미친다.

DSSS기법을 사용하면 위성통신에서 BER을 감소시킬 수 있다[4]. 그러나 간섭이 없는 경우에는 이러한 장점들을 잃는다. 즉, DSSS는 AWGN 환경에서는 같은 성능을 나타낸다. 표 4는 OOK 재머에 대한 처리이득의 결과이다.

그림 8은 OOK 재머에 대해서 주파수 이격과 처리이득에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 그림 8을 살펴보면 주파수 이격이 클 경우의 처리이득에 의한 성능개선이 크게 일어남을 알 수 있다. 예로서 주파수 이격이 100 [kHz]인 경우, BER이 10^{-3} 에서 처리이득이 16.9 [dB]이면 처리이득이 0

표 4. OOK 재머에 대한 BER

Table 4. BER for OOK Jammer.

재머 SJR	OOK		
	PG = 0	PG = 14	PG = 16.9
-20.717	0.498	0.0372	0.0149
-18.717	0.495	0.0235	0.0112
-15.717	0.225	0.0137	0.00837
- 7.717	0.146	0.0062	0.0035
- 5.717	0.112	0.00514	0.0029
- 2.717	0.064	0.00204	0.0012
1.2824	0.0291	0.00175	0.000483

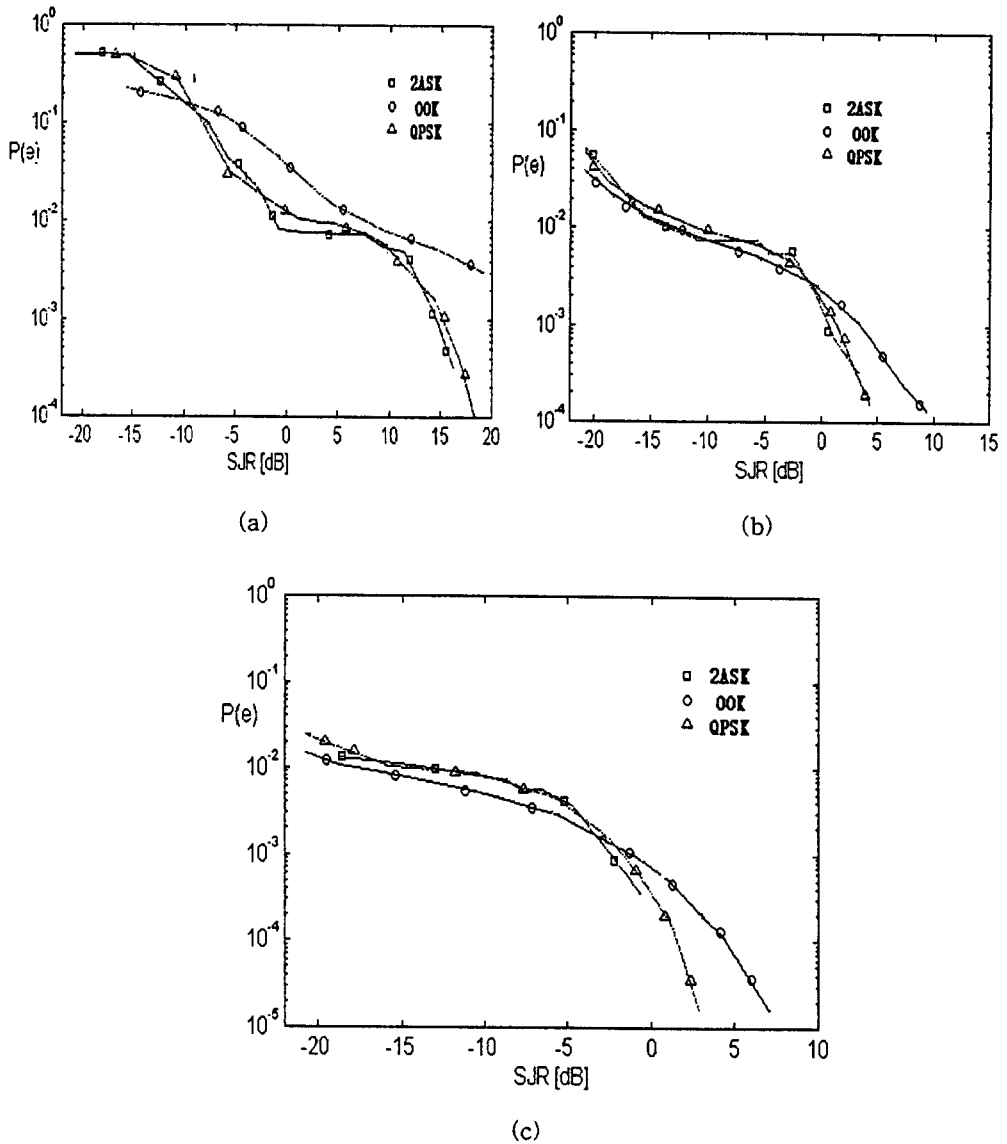


그림 7. 처리이득에 대한 재머의 BER

(a) PG= 0 [dB], (b) PG= 14 [dB], (c) PG= 16.9 [dB]

Fig. 7. BER over SJR for Different Processing Gain.

(a) PG= 0 [dB], (b) PG= 14 [dB], (c) PG= 16.9 [dB]

[dB] 경우에 비해 약 25 [dB]의 개선이 이루어진다.

표 5와 표 6은 각각 2ASK, QPSK 재머에 대한

시뮬레이션 결과이다. 두 재머의 신호에 대한 영향은 SJR의 변화에 따라서 BER이 비슷하게 나타났다.

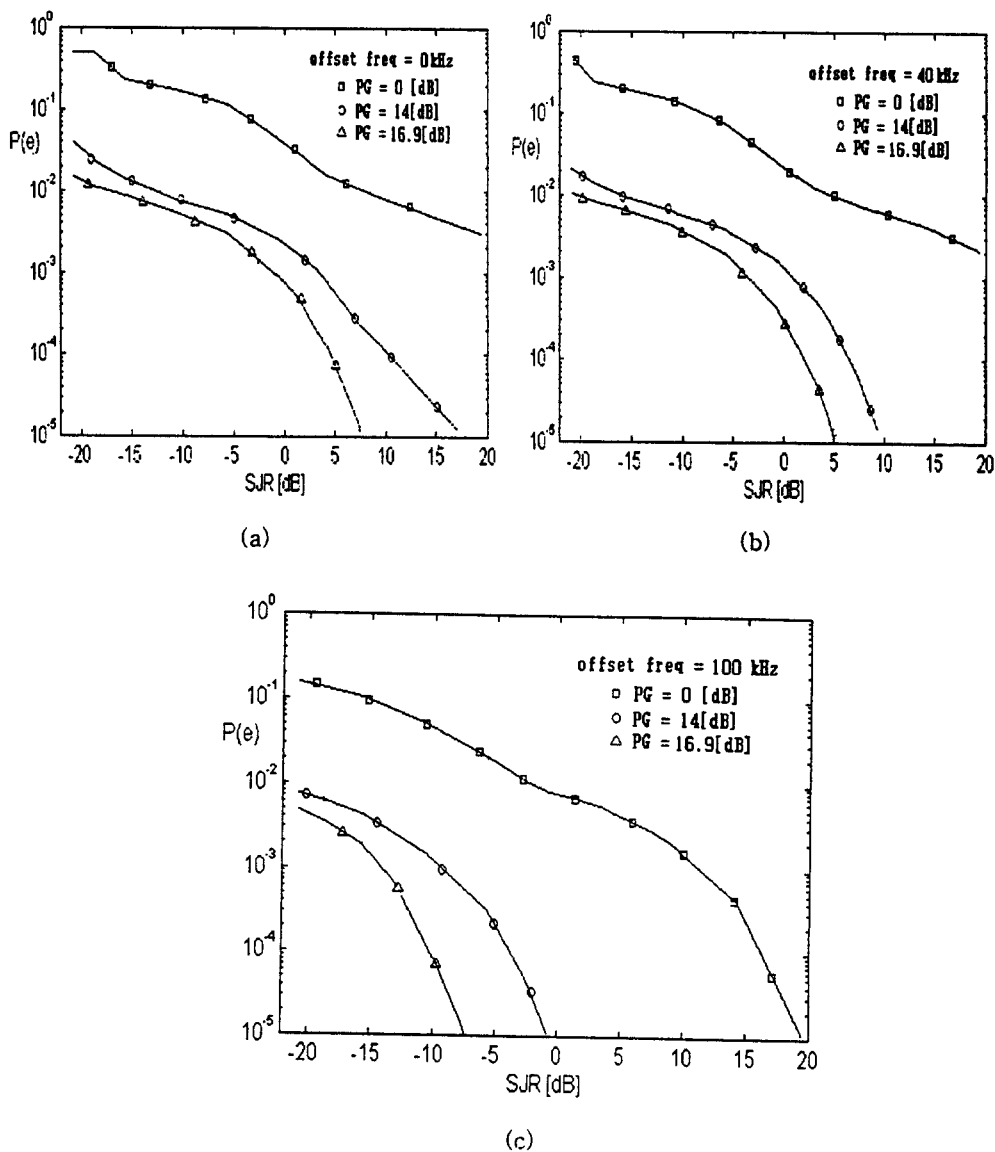


그림 8. OOK 재머에 대한 주파수 이격과 처리이득에 대한 BER

(a) 0 [Hz], (b) 40 [kHz], (c) 100 [kHz]

Fig. 8. BER for OOK Jammer over frequency offset and Different Processing Gain.

(a) 0 [Hz], (b) 40 [kHz], (c) 100 [kHz]

그림 9와 그림 10은 각각 2ASK, QPSK 재머에 대해서 주파수 이격과 처리이득에 대한 시뮬레이션 결과이다.

그림 9는 2ASK 재머에 대한 시뮬레이션 결과로서, BER이 10^{-3} 일 경우 주파수 이격에 따른 SJR은 각각 14.6 [dB], 11.6 [dB], 0 [dB]이다. 주파

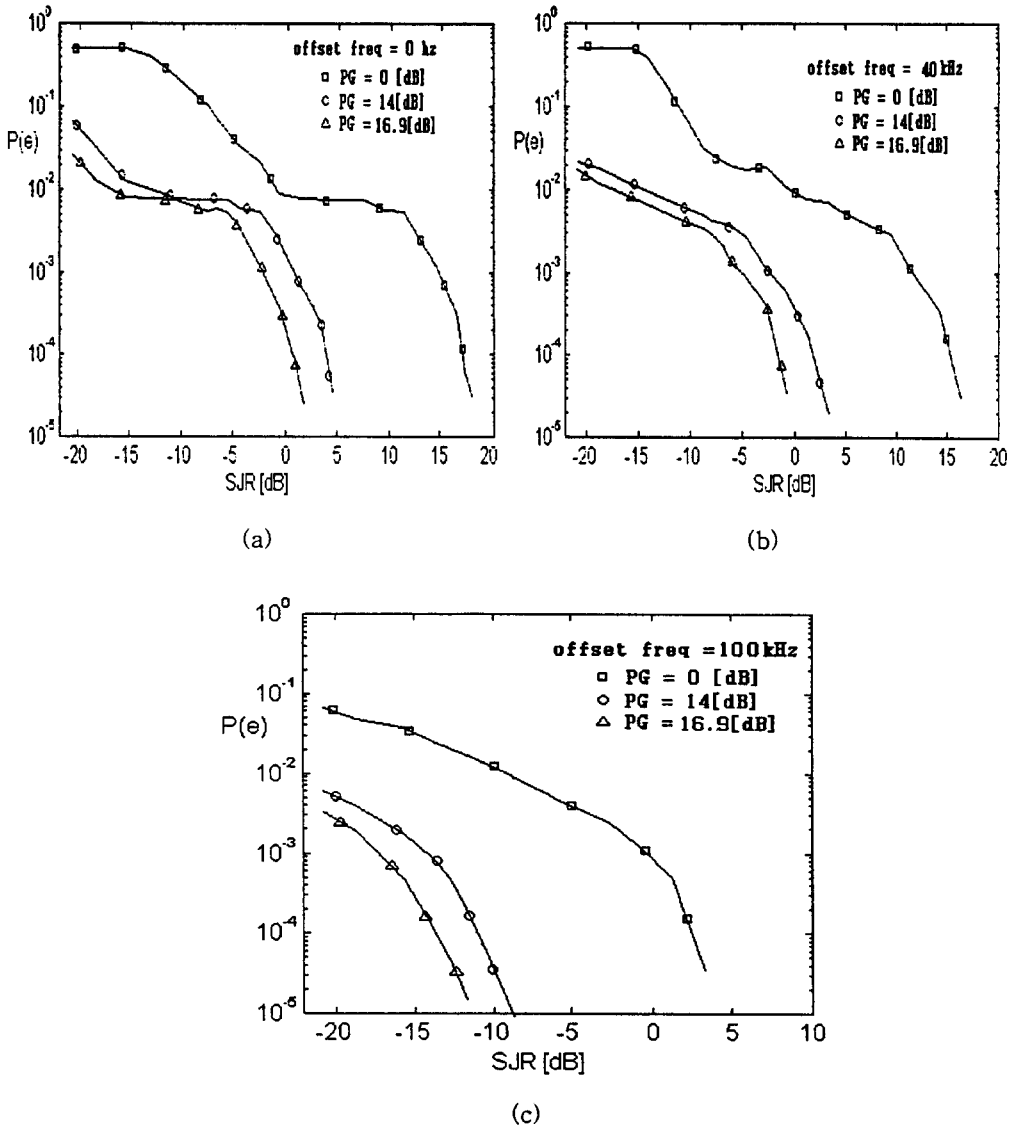


그림 9. 2ASK 재머에 대한 주파수 이격과 처리이득에 의한 BER

(a) 0 [Hz], (b) 40 [kHz], (c) 100 [kHz]

Fig. 9. BER for 2ASK Jammer over frequency offset and Different Processing Gain.

(a) 0 [Hz], (b) 40 [kHz], (c) 100 [kHz]

수 이격이 100 [kHz]이면 주파수 이격이 40 [kHz]에 비해서 11.6 [dB], 주파수 이격이 0 [Hz]에 대해서는 14.6 [dB]의 성능 개선을 얻는다. 처리이

득의 측면에서는 주파수 이격이 40 [kHz]일 경우 BER이 10^{-3} 에서 처리이득이 14 [dB]이면 SJR은 약 -2.6 [dB], 처리이득이 16.9 [dB]이면 SJR

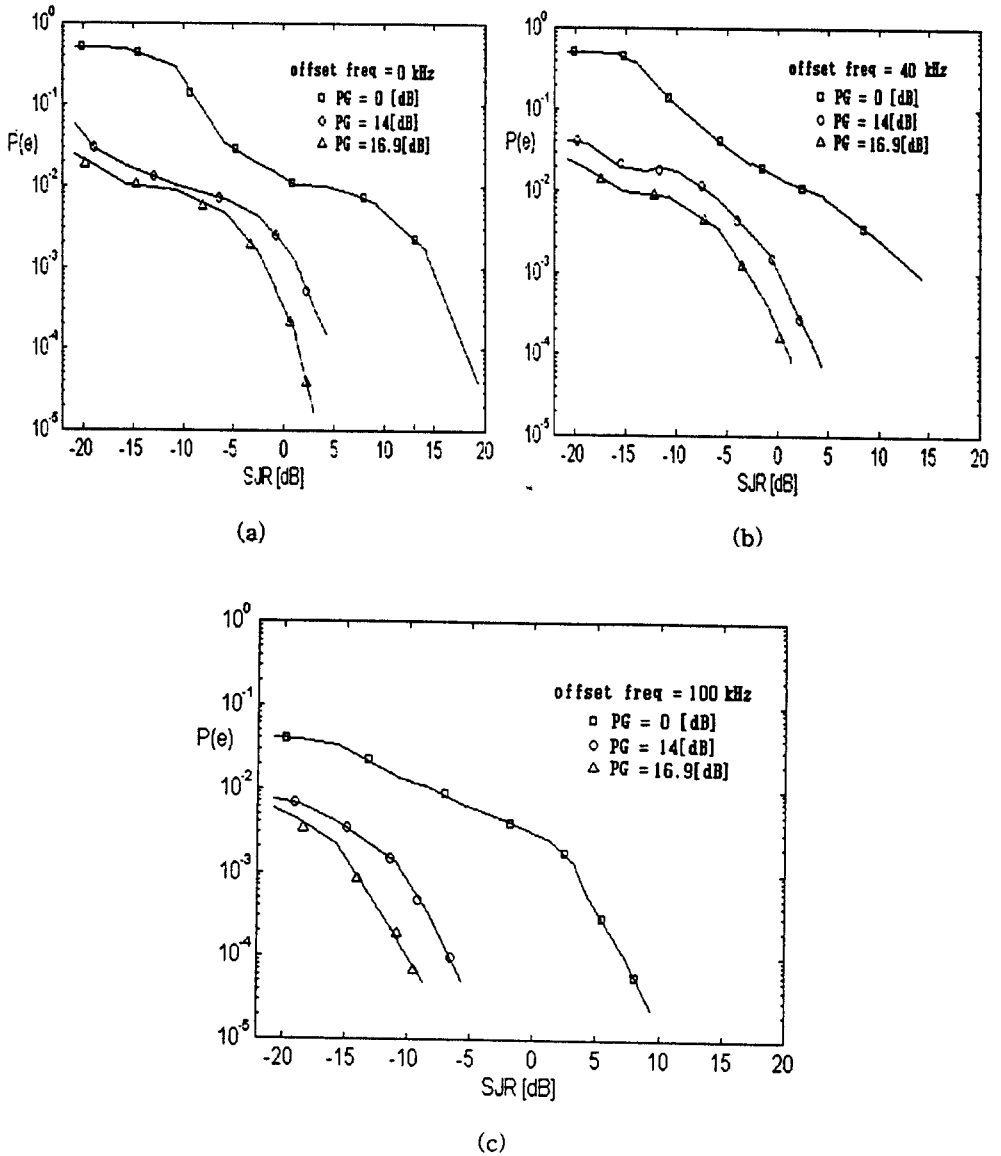


그림 10. QPSK 재머에 대한 주파수 이격과 처리이득에 의한 BER
 (a) 0 [Hz], (b) 40 [kHz], (c) 100 [kHz]

Fig. 10. BER for QPSK Jammer over frequency offset and Different Processing Gain.
 (a) 0 [Hz], (b) 40 [kHz], (c) 100 [kHz]

은 약 -5.2 [dB]이다. 이것은 처리이득이 0 [dB]의 경우에 대해 14.1 [dB], 16.7 [dB]의 성능 이득을 얻는 것과 같다.

그림 10은 QPSK 재머에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. BER이 10^{-3} 일 경우 주파수 이격에 따른 SJR은 각각 15 [dB], 14 [dB], 3.4

표 5. 2ASK 재머에 대한 BER

Table 5. BER for 2ASK Jammer.

재머 SJR	2ASK		
	PG = 0	PG = 14	PG = 16.9
-20.717	0.495	0.065	0.0257
-18.717	0.493	0.0351	0.0133
-15.717	0.494	0.01278	0.00812
- 7.717	0.102	0.0075	0.0056
- 5.717	0.047	0.0074	0.00546
- 2.717	0.021	0.00546	0.00121

표 6. QPSK 재머에 대한 BER

Table 6. BER for QPSK Jammer.

재머 SJR	QPSK		
	PG = 0	PG = 14	PG = 16.9
-20.717	0.5	0.0567	0.0236
-18.717	0.497	0.0284	0.174
-15.717	0.484	0.0171	0.01047
- 7.717	0.118	0.0074	0.0055
- 5.717	0.00335	0.00684	0.00458
- 2.717	0.0198	0.00445	0.00163
1.2824	0.01036	0.00105	0.000155

[dB]로서 주파수 이격이 100 [kHz]이면 주파수 이격이 40 [kHz]에 비해서 10.6 [dB], 주파수 이격이 0 [Hz]에 대해서는 11.6 [dB]의 성능 이득을 얻는다. 주파수 이격이 40 [kHz]이고 BER이 10^{-3} 일 경우에 처리이득에 의한 관점에서 보면 처리이득이 14[dB]일 때 SJR은 약 0 [dB], 처리이득이 16.9 [dB]일 때 SJR은 약 -2.8 [dB]이다. 이것은 처리이득이 0 [dB]인 경우에 대해 14. [dB], 16.8 [dB]의 성능 이득을 얻는 것과 같다.

각 재머에 대한 주파수 이격과 처리이득에 의한 BER관계에서 OOK 재머는 대역겹침이 있을 경우에는 가장 큰 영향을 미치지만, 대역 겹침이 없을

경우에는 처리이득에 의한 성능 이득을 가장 크게 얻을 수 있다. 그러나 처리이득에 의한 전체 BER은 그림 7에서와 같이 OOK 재머일 경우가 가장 나쁘게 나타났다.

V. 결 론

본 논문에서는 위성통신의 수동형 중계기에 대해서 EHF 대역의 상, 하향링크 모델을 구성하여 링크 성능을 시뮬레이션 하였다. 상향링크에 재머 신호가 존재한다고 가정한 다음 여러 재머 신호를 정의하고 재머 신호가 전체 링크의 BER에 미치는 영향을 SPW tool을 사용하여 분석하였다. 재머 신호와 사용자 신호간의 주파수 대역 겹침에 따라 전 대역 겹침, 부분대역 겹침, 인접 채널 재머에 대해서 시뮬레이션 하였으며 사용된 재머 신호로는 OOK, 2ASK, QPSK 신호를 사용하였다. 시뮬레이션 결과에 의하면 OOK 재머가 2ASK, QPSK 재머 보다 신호에 더 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 2ASK와 QPSK 재머 신호에 의한 BER은 거의 같게 나타난다. 즉, 재머 입장에서는 위성 통신에 효과적으로 재밍을 걸기 위해서 복잡한 변조방식에 의한 재머 신호를 발생시키는 것보다는 OOK 재머가 더 효과적일 것이다.

이러한 재머에 대한 영향을 줄이기 위해서는 적절한 재머 억압 기법이 필요할 것이다. 본 논문에서는 재머 신호에 의한 영향이 직접 확산 스펙트럼 방식에 의해 감소될 수 있음을 처리이득이 14 [dB], 16.9 [dB]인 경우에 대해서 분석하였다. 처리이득이 커질수록 BER의 개선은 이루어지지만 신호의 동기문제가 발생하므로 비례하여 BER이 개선되지는 않는다. 부분 대역 겹침의 경우에 처리이득이 16.9 [dB]일 때, OOK 재머에 대해서는 BER이 10^{-3} 에서 약 25 [dB], QPSK 재머에 대해서는 약 16.8 [dB], 2ASK 재머에 대해서는 약 16.7 [dB]의 성능이득을 얻었다. 그러나 처리이득에 의한 전체 BER은 그림 7에서와 같이 OOK 재머일 경우가 가장 나쁘게 나타났다.

참고문헌

[1] Morgan and Gordon, *Communications Satellite Handbook*, Wiley Interscience, New York, 1989.

[2] Adel A.M. Saleh, "Frequency-Independent and Frequency-Dependent Nonlinear Models of TWT Amplifiers", *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-29, no. 11, 1981.

[3] Ziemer and Tranter, *Principles of Communications*, Houghton Mifflin, Boston, 1995.

[4] Tri T.Ha, *Digital Satellite Communications*, McGraw-Hill, New York, 1990.

[5] J. Proakis, *Digital Communication*, McGraw-Hill, New York 1995.

[6] L. B. Milstein, "Interference rejection techniques in spread spectrum communications", *Proc. IEEE*, 1988.

[7] L.A. Rusch and H.V. Poor, "Narrowband interference suppression in CDMA spread spectrum communications", *IEEE Trans. Commun.*, COM-42, 1994.

[8] Marcel Kohl and Friedrich Jondral, *The Impact of In-Band and Adjacent Channel Interferers on SATCOM Links*, GLOBE-COM '96.

[9] Feher Kamilo, *Wireless Digital Communications*, Prentice Hall, 1995.

유 홍 균

1982년 2월 : 서울대학교 전자공학과(공학사)
 1984년 2월 : 서울대학교 전자공학과(공학석사)
 1989년 2월 : 서울대학교 전자공학과(공학박사)
 1988년 2월~현재 : 충북대학교 전자공학과 부교수
 [관심분야] 디지털 통신공학, 이동/위성 통신 시스템, 통신 회로 설계 및 통신 신호 처리

김 기 근

1990년 2월 : 충북대학교 전자공학과 (공학사)
 1992년 2월 : 충북대학교 전자공학과 (공학석사)
 1992년 3월~현재 : 국방과학연구소 연구원
 [관심분야] 디지털 통신 시스템, 군통신 시스템 시뮬레이션, 통신 신호 처리

고 재 덕

1997년 2월 : 충북대학교 전자공학과(공학사)
 1997년 3월~현재 : 충북대학교 전자공학과(석사과정)
 [관심분야] 디지털 이동/위성통신 시스템, 디지털 통신 회로 설계