

위성통신시스템의 BER 성능 분석을 활용한 항재밍 기법

정회원 박 우 철*, 준회원 고 광 춘**, 정회원 김 재 현**, 종신회원 김 기 근***

Anti-jamming Method by using BER Performance Analysis of Satellite Communication System

Woo-Chul Park* *Regular Member*, Kwang-Chun Go** *Associate Member*,
Jae-Hyun Kim** *Regular Member*, Ki-Keun Kim*** *Lifelong Member*

요 약

FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum) 방식은 군 네트워크 시스템에서 재밍(Jamming)에 의한 간섭을 줄이기 위해 사용된다. 특히 위성통신시스템에서 각 변조방식이 SFH 방식과 사용될 경우의 성능에 대해 활발히 연구되고 있다. 하지만 기존의 연구에서는 변조 방식의 종류, 재밍 신호의 특성에 따른 위성통신시스템의 BER 성능이 무선채널상태에 따라 어떤 성능차이를 보이는지 분석되지 않았다. 따라서 본 논문에서는 PBNJ(Partial-Band Noise Jamming)와 WPBJ(Worst case Partial-Band noise Jamming)의 두 가지 재밍 환경에서 NC-MFSK (Non-Coherent M-ary Frequency-Shift Keying), SDPSK(Symmetric Differential Phase-Shift Keying), GMSK (Gaussian filtered Minimum-Shift Keying)의 세 가지 변조 방식, 그리고 콘볼루션 부호화의 적용 여부에 따른 위성통신시스템의 BER 성능 변화를 분석한다. 또한 분석된 결과를 이용하여 전송 환경에 따른 최적의 전송 방식을 제안하도록 한다.

Key Words : SFH, PBNJ, WPBJ, BER, 콘볼루션 부호화

ABSTRACT

The FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum), in which a transmitter changes its carrier frequency according to a certain hopping pattern, is widely used in the military network system, since it is highly resistant to deliberate jamming. Especially, many researchers study on performance of satellite communication system which using SFH method with each modulation scheme. However, the difference of BER performance of wireless communication system which using the different modulation scheme and jamming model was not studied. Thus, in this paper, we consider PBNJ(Partial-Band Noise Jamming) and WPBJ(Worst case Partial-Band noise Jamming) as jamming models, and evaluate BER(Bit Error Rate) performances of NC-MFSK(Non-Coherent M-ary Frequency-Shift Keying), SDPSK(Symmetric Differential Phase-Shift Keying), and GMSK(Gaussian filtered Minimum-Shift Keying) modulation schemes. We also analyze the BER performances when the error correction of convolutional code is applied. Based on the results, we suggest the best transmission method for each condition.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행 되었음(NIPA-2010-(C1090-1021-0011))

* 방위사업청(wcpark111@korea.com), ** 아주대학교 전자공학과 무선인터넷 연구실(light3754, jkim}@ajou.ac.kr)

*** 국방과학연구소(kikeun@hanmail.net)

논문번호 : KICS2010-07-359, 접수일자 : 2010년 7월 31일, 최종논문접수일자 : 2010년 10월 15일

I. 서 론

군의 통신 네트워크에서 재밍에 의한 간섭의 영향을 줄이는 것은 연구이슈로 크게 주목받고 있다. 현재 군에서는 재밍에 의한 통신시스템의 성능 저하를 감소시키기 위해 FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum) 방식을 사용하고 있다. FHSS 방식은 Random Hopping Sequence에 의해 무작위로 주파수 채널을 도약하며 데이터를 송수신하고, 채널 도약 시 대상 채널에 대한 스캐닝을 통해 잡음이나 방해전파가 있는 채널의 할당을 피함으로써 데이터 전송 신뢰성을 향상시켰다.

FHSS 방식은 주파수를 도약하는 주기에 따라 SFH(Slow Frequency Hopping) 방식과 FFH(Fast Frequency Hopping) 방식으로 나눌 수 있다. SFH 방식은 선택된 채널에서 하나 또는 다수의 데이터 비트를 전송하며 동기식 데이터 검출이 가능하다. 이와는 달리 FFH 방식은 여러 주파수 채널에 걸쳐 하나의 데이터 비트가 전송되며 동기식 신호 검출이 어렵고 구현하는데 비용이 많이 든다. 하지만 FFH 방식은 같은 확산처리이득에서 SFH 방식에 비해 성능이 우수한 특성을 갖는다.

군의 위성통신시스템에서도 재밍에 의한 간섭을 줄이고 데이터의 전송성능 향상을 위해 SFH 방식이 NC-MFSK, SDPSK, GMSK와 같은 변조 방식과 함께 사용되는 경우에 대해서 활발히 연구되고 있다. 하지만 기존 연구에서는 변조 방식의 종류, 재밍 신호의 특성 및 채널 부호화의 사용 여부에 따른 성능 차이에 대한 비교가 되지 않았다. 따라서 본 논문에서는 채널 접속 방식으로 SFH가 사용될 경우, 채널에 존재하는 재밍의 특성에 따라 위성통신시스템의 BER 성능이 변조방식과 파라미터의 변화에 따라서 어떻게 변화하는지 알아보도록 한다. 또한 분석된 결과를 이용하여 채널 상태에 따른 최적의 변조 방식을 결정하도록 한다.

본 논문은 구성은 다음과 같다. II장에서 논문에서 가정한 시스템 모델에 대해 설명하며 III장에서는 각 변조방식에서의 BER 성능 분석과 성능평가 결과에 대해 살펴보도록 한다. IV장에서는 III장의 결과를 이용하여 채널 환경에 따라 최적의 변조방식과 파라미터를 설정하며, 마지막으로 V장에서 결론을 맺도록 한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 그림 1과 같은 시스템 모델을 가정하였다. 입력된 데이터는 콘볼루션 부호화와 변조과정

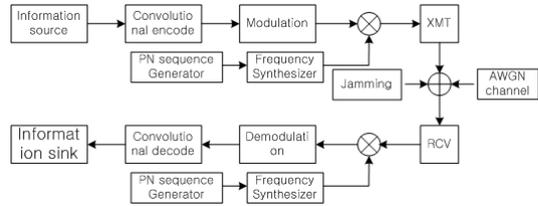


그림 1. 시스템 구성도
Fig. 1. System block diagram

을 차례로 거치게 된다. 또한 무선채널 접속은 SFH에 의해 수행되며, 이때 채널 도약은 PN(Pseudo random Number) 시퀀스에 의해 주기적으로 랜덤하게 발생한다. 데이터 전송 시 무선채널에서의 잡음은 AWGN(Additive White Gaussian Noise)과 재밍이 존재하는 것을 가정하였으며 재밍은 PBNJ(Partial-Band Noise Jamming)와 WPBJ(Worst case Partial-Band noise Jamming)의 두 가지 모델을 사용하여 성능분석을 수행하였다.

그림 2는 주파수 대역에서 재밍의 분포를 나타낸다. 그림에서 잡음 전력 J 는 전체 대역 W_{SS} 중 일부분인 W_J 에 걸쳐 분포한다. 이때 전체 대역 중 잡음의 분포 비율은 ρ 로 나타내며 수식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$\rho = \frac{W_J}{W_{SS}} \tag{1}$$

또한 그림 2와 같이 재밍의 총 전력 J 는 W_J 에 균일하게 분포하며 재밍의 PSD(Power Spectral Density)는 수식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$N_J = \frac{J}{W_{SS}} \tag{2}$$

그림 2의 재밍 모델에서 비트오류확률 P_b 는 채널 도약 시 대상 채널에 재밍이 존재할 확률과 존재하지 않을 확률을 통해 구할 수 있다^[1].

$$P_b = (1 - \rho) \cdot P_1 + \rho \cdot P_2 \cong \rho \cdot P_2, \tag{3}$$

여기서 P_1 은 채널에 재밍이 존재하지 않는 경우의 비트오류확률이며 P_2 는 재밍이 존재하는 경우의 비트오류확률이다. 이때 P_1 이 매우 작다고 가정하였다. 따

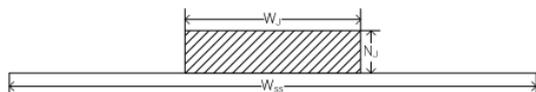


그림 2. 재밍의 대역 분포
Fig. 2. Noise jammer frequency distribution

라서 P_b 는 수식 (3)과 같이 구할 수 있다.

본 논문에서는 ρ 값의 변화와 변조방식에 따라 무선채널에서의 BER 성능 변화를 살펴보고자 한다. 또한 콘볼루션 코드를 적용하지 않은 경우와 적용한 경우의 BER 성능에 대해서도 살펴본다.

III. 성능 분석

이번 장에서는 SFH 방식을 사용하는 위성통신시스템에서 재밍의 특성에 따라 각 변조방식을 사용할 때 무선채널에서의 BER 성능을 구하고, 성능 평가 결과에 대해 살펴보고자 한다.

본 논문에서는 성능 평가 시 변조방식으로 NC-MFSK, SDPSK, GMSK 방식을 고려하였으며, 성능 평가를 위해 가정한 파라미터는 표 1에 나타내었다. 표 1에서 채널 부호화를 사용하는 경우 r은 부호화율을 나타낸다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters

Parameter		value
Data rate	Uncoded	256kbps
	Coded	64kbps
ρ		0.01, 0.1, 0.5, 1
BT in GMSK		0.25, 0.5, 1
Uncoded NC-BFSK, SDPSK, GMSK	SFH	16 symbols/hop
	Hopping rate	16 khops/sec
Uncoded NC-QFSK	SFH	16 symbols/hop
	Hopping rate	8 khops/sec
Uncoded NC-8FSK	SFH	8 symbols/hop
	Hopping rate	10.7 khops/sec
Coded NC-BFSK, SDPSK, GMSK	SFH(r=1/2)	8 symbols/hop
	SFH(r=1/3)	16 symbols/hop
	Hopping rate(r=1/2)	16 khops/sec
	Hopping rate(r=1/3)	12 khops/sec
Coded NC-QFSK	SFH(r=1/2)	8 symbols/hop
	SFH(r=1/3)	16 symbols/hop
	Hopping rate(r=1/2)	8 khops/sec
	Hopping rate(r=1/3)	6 khops/sec
Coded NC-8FSK	SFH(r=1/2)	8 symbols/hop
	SFH(r=1/3)	16 symbols/hop
	Hopping rate(r=1/2)	5.3 khops/sec
	Hopping rate(r=1/3)	4 khops/sec

3.1 채널 부호화를 사용하지 않는 경우

3.1.1 NC-MFSK를 사용하는 경우

PBNJ 환경에서 변조 방식으로 NC-MFSK가 사용될 경우 BER은 M 이 2인 경우 수식 (5)를 통해 구할 수 있으며, M 이 2 이상인 경우 수식 (6)과 같이 구할 수 있다¹¹.

$$P_b = \frac{\rho}{2} \cdot e^{-\rho(E_b/2N_j)}, \quad (5)$$

$$P_b = \frac{\rho \cdot 2^{K-1}}{2^K - 1} \sum_{i=1}^{2^K-1} \binom{2^K-1}{i} \frac{(-1)^{i+1}}{i+1} e^{-\frac{iK((E_b \cdot \rho)/N_j)}{i+1}}, \quad (6)$$

이때 $K=\log_2(M)$ 이며, M 은 변조를 통해 생성될 수 있는 심벌의 수이다. 위 결과를 통해 P_b 는 ρ 의 감소에 따라 빠르게 증가하는 것을 알 수 있다.

WPBJ에서 SFH/NC-BFSK의 BER 성능은 M 이 2인 경우와 2 이상인 경우 각각 수식 (7)과 수식 (8)과 같이 구할 수 있다¹¹⁻¹³.

$$P_b = \begin{cases} \frac{e^{-1}}{E_b/N_j}, & E_b/N_j > 2 \\ \frac{1}{2} \cdot e^{-(E_b/2N_j)}, & E_b/N_j \leq 2 \end{cases} \quad (7)$$

$$P_b = \begin{cases} \frac{2^{K-1}}{2^K - 1} \sum_{i=1}^{2^K-1} \binom{2^K-1}{i} (-1)^{i+1} \cdot \frac{1}{i+1} e^{iK(E_b/N_j)/(i+1)}, & E_b/N_j \leq \gamma \\ \beta/(E_b/N_j), & E_b/N_j > \gamma \end{cases} \quad (8)$$

이때, β 와 γ 는 K 값에 따른 상수로 표 2에 나타내었다.

위의 성능분석 결과의 검증을 위해 M 이 2, 4, 8인 경우에 각각 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션의 수행을 위한 파라미터 값은 표 2에 나타내었다.

그림 3은 NC-BFSK가 사용될 경우 PBNJ에서 ρ 값의 특성을 갖는 재밍 신호의 간섭을 받았을 때의

표 2. WPBJ에서 NC-MFSK 시뮬레이션 파라미터
Table 2. Simulation parameter of NC-MFSK under WPBJ

K	β	γ (dB)
1	0.3679	3.01
2	0.2329	0.76
3	0.1954	-0.33
4	0.1812	-0.59
5	0.1759	-1.41

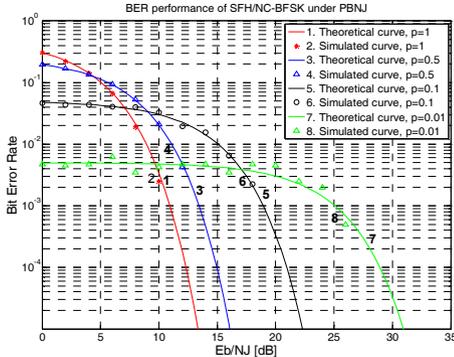


그림 3. PBNJ에서 SFH/NC-BFSK의 BER 성능
Fig. 3. BER performance of SFH/NC-BFSK under PBNJ

BER 성능을 나타낸 것이다. 그림 3의 결과를 통해 수식 (5)의 이론적인 결과와 NC-BFSK의 시뮬레이션 성능 평가 결과가 일치하는 것을 알 수 있다. 또한 전 대역 잡음 재밍의 경우 4dB이하에서 BER이 가장 크게 나타났으며 p 가 0.01일 경우 14dB보다 클 때 BER이 가장 높게 나타났다.

그림 4와 그림 5는 NC-QFSK와 NC-8FSK가 사용

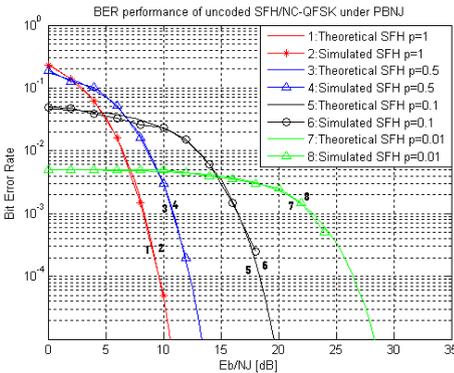


그림 4. PBNJ에서 SFH/NC-QFSK의 BER 성능
Fig. 4. BER performance of SFH/NC-QFSK under PBNJ

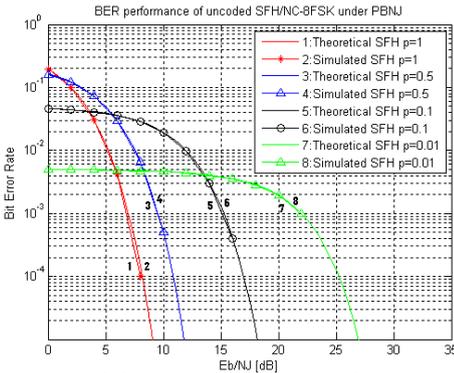


그림 5. PBNJ에서 SFH/NC-8FSK의 BER 성능
Fig. 5. BER performance of SFH/NC-8FSK under PBNJ

될 경우 성능평가를 수행한 결과이다. 시뮬레이션 환경은 NC-BFSK의 경우와 같게 설정하였다. 그림 3~그림 5의 결과를 통해 M 이 증가함에 따라 BER 성능이 향상되는 것을 알 수 있으며, 그림 6~그림 8의 WPBJ에서의 성능 평가 결과를 통해 다시 한번 확인할 수 있다.

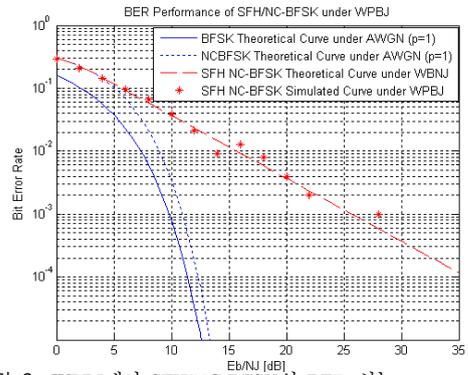


그림 6. WPBJ에서 SFH/NC-BFSK의 BER 성능
Fig. 6. BER performance of SFH/NC-BFSK under WPBJ

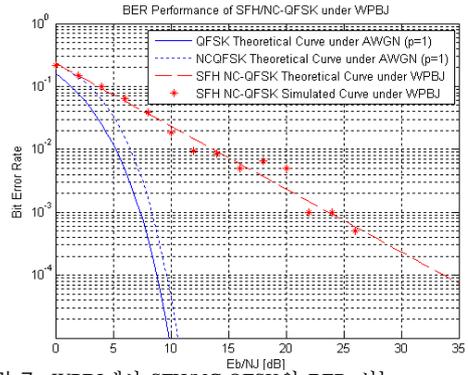


그림 7. WPBJ에서 SFH/NC-QFSK의 BER 성능
Fig. 7. BER performance of SFH/NC-QFSK under WPBJ

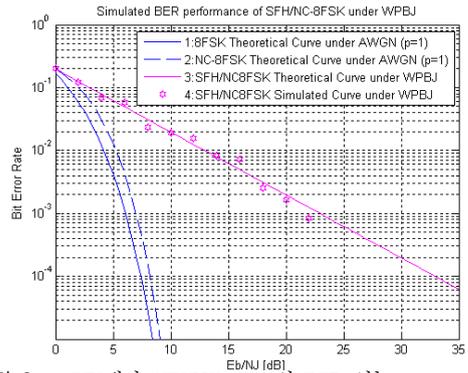


그림 8. WPBJ에서 SFH/NC-8FSK의 BER 성능
Fig. 8. BER performance of SFH/NC-8FSK under WPBJ

3.1.2 SDPSK를 사용하는 경우

PBNJ에서 채널 부호화를 사용하지 않는 SDPSK의 BER 성능은 수식 (9)과 같이 구할 수 있다⁴⁾.

$$P_b = \frac{\rho}{2} \cdot e^{-\rho(E_b/N_J)} \quad (9)$$

그림 9는 SDPSK의 시뮬레이션 결과와 수식 (9)의 이론적인 결과를 나타낸다. 그림 9로부터 PBNJ에서 SDPSK의 BER 성능이 SFH/NC-BFSK의 경우와 유사하게 큰 ρ 값에서는 E_b/N_J 이 작을 때 가장 성능이 좋으며 ρ 값이 작을 때에는 E_b/N_J 이 클 때 가장 나쁜 성능을 보였다.

WPBJ에서 SFH/SDPSK의 P_b 는 수식 (10)과 같이 구할 수 있다^{2,4,5)}.

$$P_b = \begin{cases} \frac{1}{2} \exp(-E_b/N_J), & E_b/N_J < 1 \\ \frac{1}{2e(E_b/N_J)}, & E_b/N_J \geq 1 \end{cases} \quad (10)$$

그림 10은 WPBJ에서 채널 부호화를 사용하지 않

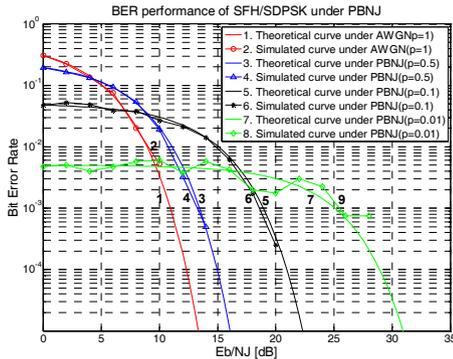


그림 9. PBNJ에서 SFH/SDPSK의 BER 성능
Fig. 9. BER performance of SFH/SDPSK under PBNJ

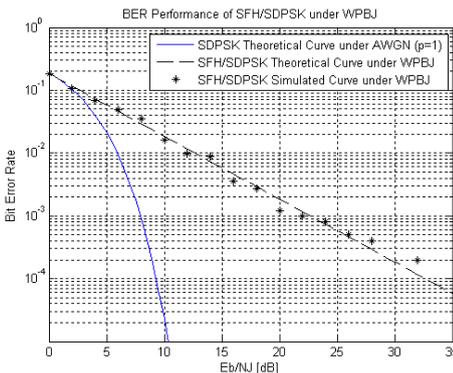


그림 10. WPBJ에서 SFH/SDPSK의 BER 성능
Fig. 10. BER performance of SFH/SDPSK under WPBJ

는 SFH/SDPSK의 BER 성능을 나타낸다. 그림 10으로부터 이론적인 결과와 시뮬레이션 결과가 유사하게 나타나는 것을 알 수 있으며, WPBJ에서 SFH/SDPSK의 성능이 AWGN에서의 성능과 비교하여 BER이 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

3.1.3 GMSK를 사용하는 경우

채널 부호화를 사용하지 않는 GMSK가 1-bit 시차 검출과 함께 사용될 경우 SFH/GMSK의 이론적인 BER을 구하는 것은 매우 어렵다. 따라서 시뮬레이션을 통해 성능 평가를 수행하였으며, 시뮬레이션 환경은 NC-MFSK의 경우와 같게 설정하였다.

그림 11은 BT가 각각 0.25, 1인 경우 PBNJ에서 1-bit 시차 검출을 사용하는 SFH/GMSK의 BER 성능을 나타낸다. 위 결과로부터 E_b/N_J 가 작을 때에는 $\rho=1$ 일 때 재밍에 의해 BER이 가장 높게 나타났으며 E_b/N_J 가 클 때에는 ρ 가 작을 때 BER이 가장 높게 나타났다. 또한 BT가 커질수록 BER 성능이 개선되는 것을 확인할 수 있다. 이는 BT가 커질수록 ISI(Inter Symbol Interference)가 감소하기 때문이다.

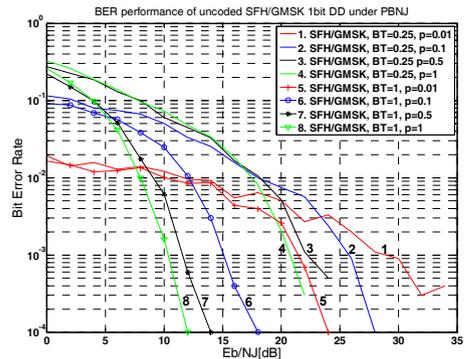


그림 11. PBNJ에서 SFH/GMSK의 BER 성능
Fig. 11. BER performance of SFH/GMSK under PBNJ

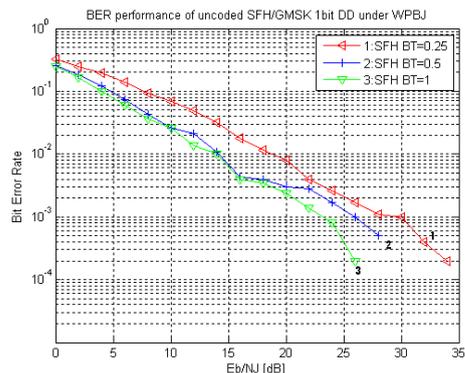


그림 12. WPBJ에서 SFH/GMSK의 BER 성능
Fig. 12. BER performance of SFH/GMSK under WPBJ

그림 12는 WPBJ에서 BT가 각각 0.25, 0.5, 1일 때 SFH/GMSK의 BER 성능을 나타내었다. 그림 12의 결과로부터 GMSK가 사용될 경우 WPBJ에서의 성능이 다른 변조 방식이 사용될 경우와 유사한 것을 알 수 있으며, 또한 PBNJ의 경우와 마찬가지로 BT가 작을수록 BER이 더 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

3.2 채널 부호화를 사용하는 경우

본 절에서는 채널 부호화를 위해 콘볼루션 코드를 사용하고 채널 접속 방식으로 SFH를 사용하는 경우 재밍 환경에서의 BER 성능을 구하도록 한다. 이때 콘볼루션 코드의 부호화율은 각각 1/2와 1/3으로 가정하였다. 하지만 콘볼루션 코드와 재밍 모델, 변조 방식을 모두 고려하여 BER 성능을 수학적 분석 수식을 구하는 것은 매우 어렵다. 따라서 본 절에서는 시뮬레이션만을 통해 각각의 환경에서 BER 성능을 구하도록 한다.

3.2.1 NC-MFSK를 사용하는 경우

콘볼루션 코드가 사용되고 변조방식으로 NC-MFSK가 사용될 경우, 시뮬레이션을 통해 PBNJ와 WPBJ 환경에서 BER 성능을 구하도록 한다.

그림 13과 그림 14는 ρ 가 1인 경우와 0.1인 경우, PBNJ 환경에서 콘볼루션 코드가 사용될 경우 SFH/NC-BFSK의 BER 성능을 나타낸 것이다. 그림 13을 통해 ρ 가 1인 경우 E_b/N_j 가 8dB보다 클 때 부호화 이득을 얻을 수 있는 것을 알 수 있으며, 부호화 이득은 부호화율이 1/2일 때 더 큰 것을 확인할 수 있다. 반면 ρ 가 0.1일 경우 콘볼루션 코드를 사용할 경우 사용하지 않는 경우와 비교하여 BER 성능이 향상된 것을 알 수 있으며, 부호화율이 낮을수록 부호화

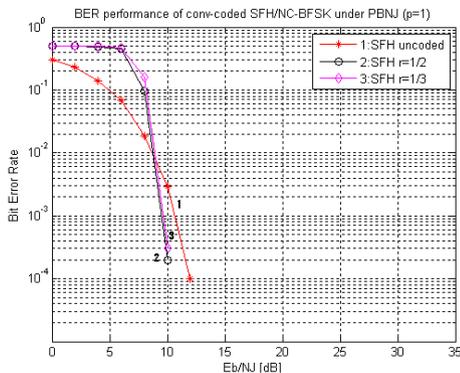


그림 13. PBNJ 환경에서 콘볼루션 코드가 사용될 경우 SFH/NC-BFSK의 BER 성능($\rho=1$)
Fig. 13. BER performance of conv-coded SFH/BFSK under PBNJ($\rho=1$)

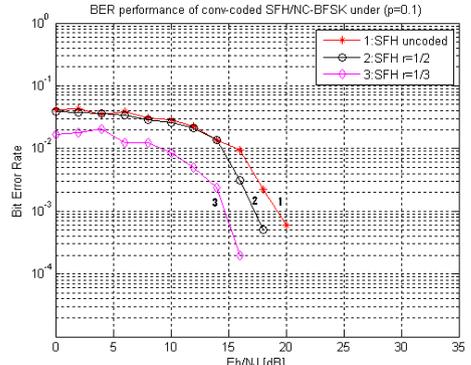


그림 14. PBNJ 환경에서 콘볼루션 코드가 사용될 경우 SFH/NC-BFSK의 BER 성능($\rho=0.1$)
Fig. 14. BER performance of conv-coded SFH/NC-BFSK under PBNJ($\rho=0.1$)

이득이 더 높은 것을 알 수 있다. 그림 15는 WPBJ에서 NC-BFSK의 BER 성능이며 이 결과로부터 시스템이 최악의 성능을 겪을 때 콘볼루션 부호화의 부호화 이득과 부호화율에 따른 성능 개선 정도를 얻을 수 있다. 그림 15로부터 부호화 이득은 약 10dB 이상에서 얻을 수 있으며 부호화율이 낮을수록 더 큰 이득을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

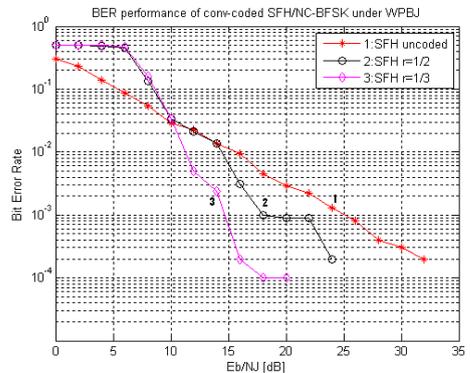


그림 15. WPBJ 환경에서 콘볼루션 코드가 사용될 경우 SFH/NC-BFSK의 BER 성능
Fig. 15. BER performance of conv-coded SFH/NC-BFSK under WPBJ

3.2.2 SDPSK를 사용하는 경우

이번 절에서는 채널 부호화가 사용되는 경우 SDPSK의 BER을 시뮬레이션을 통해 구해보도록 한다.

그림 16과 그림 17은 콘볼루션 코드를 사용할 경우 SDPSK의 BER 성능을 나타낸 것이다. 그림 17으로부터 ρ 는 1인 경우 약 6dB 이상에서 부호화이득을 얻을 수 있으며, 부호화 이득은 1/2일 때 더 큰 것을 확인할 수 있다. 반면 ρ 가 0.1인 경우 부호화율이 1/3일

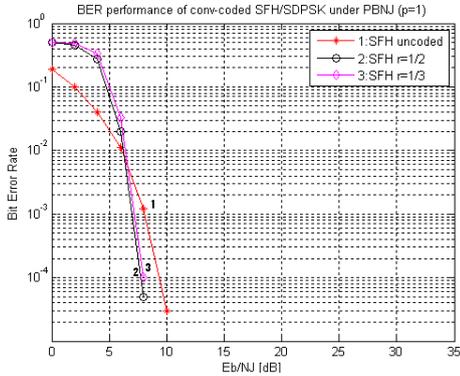


그림 16. PBNJ 환경에서 콘볼루션 코드가 사용될 경우 SFH/SDPSK의 BER 성능($\rho=1$)
Fig. 16. BER performance of conv-coded SFH/SDPSK under PBNJ($\rho=1$)

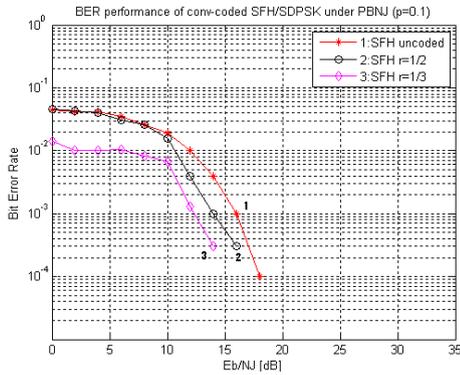


그림 17. PBNJ 환경에서 콘볼루션 코드가 사용될 경우 SFH/SDPSK의 BER 성능($\rho=0.1$)
Fig. 17. BER performance of conv-coded SFH/SDPSK under PBNJ($\rho=0.1$)

때 부호화 이득이 더 큰 것을 알 수 있다.

그림 18은 WPBJ에서 SDPSK의 BER 성능을 나타

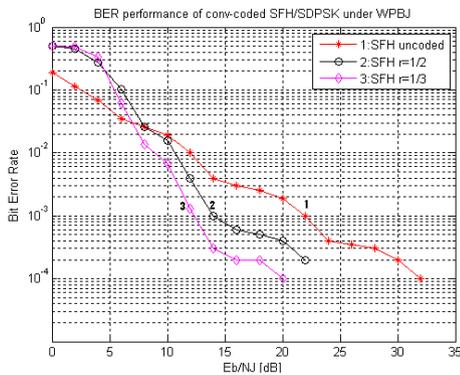


그림 18. WPBJ 환경에서 콘볼루션 코드가 사용될 경우 SFH/SDPSK의 BER 성능
Fig. 18. BER performance of conv-coded SFH/SDPSK under WPBJ

낸 것이다. 그림 18로부터 부호화율이 1/2인 경우 약 8dB에서, 부호화율이 1/3인 경우 약 7dB에서 부호화 이득을 얻을 수 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 부호화율이 낮고 E_b/N_J 가 클수록 부호화 이득이 큰 것을 확인할 수 있다.

3.2.3 GMSK를 사용하는 경우

마지막으로 채널 부호화가 사용될 경우 1-bit 시차 검출을 사용하는 GMSK의 BER 성능을 살펴보도록 한다.

그림 19과 그림 20은 콘볼루션 코드가 사용되는 경우 GMSK의 BER 성능을 나타낸 것이다. 이 결과로부터 BT가 커질수록 BER 성능이 향상되는 것을 알 수 있다. 예로 ρ 가 1이고 BER이 0.001일 때 BT가 0.25에서 1로 증가할 경우 약 11dB의 이득을 얻을 수 있다. 또한 ρ 가 작을수록 작은 E_b/N_J 에서 BER이 작게 나타나는 것을 알 수 있다.

그림 21은 WPBJ에서 GMSK를 사용할 경우 BER

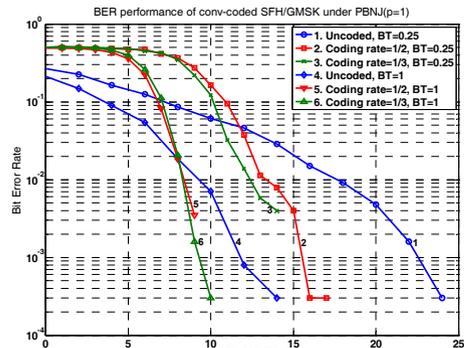


그림 19. PBNJ 환경에서 콘볼루션 코드를 사용할 경우 SFH/GMSK의 BER 성능($\rho=1$)
Fig. 19. BER performance of conv-coded SFH/GMSK under PBNJ($\rho=1$)

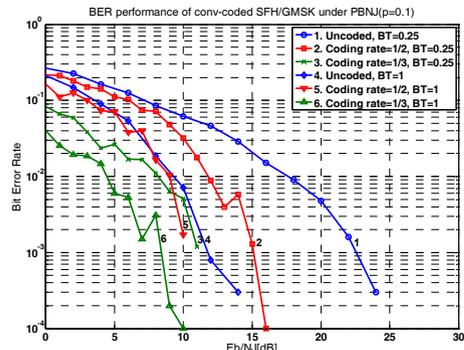


그림 20. PBNJ 환경에서 콘볼루션 코드를 사용할 경우 SFH/GMSK의 BER 성능($\rho=0.1$)
Fig. 20. BER performance of conv-coded SFH/GMSK under PBNJ($\rho=0.1$)

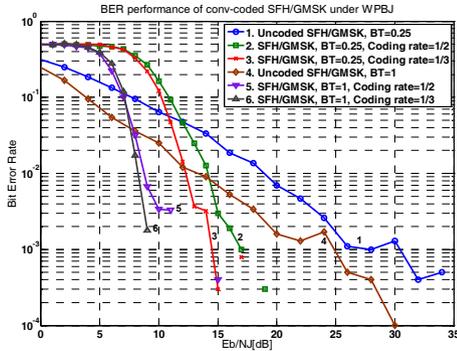


그림 21. WPBJ 환경에서 콘볼루션 코드를 사용하는 경우 SFH/GMSK의 BER 성능
 Fig. 21. BER performance of conv-coded SFH/GMSK under WPBJ

성능을 나타낸 것이다. 그림 21로부터 부호화 이득은 부호화율이 1/2이고 BT가 0.25와 1일 때 E_b/N_0 가 각각 12dB, 8dB, 7.5dB보다 클 때 얻을 수 있으며, 부호화율이 1/3인 경우에는 각각 10dB, 7.5dB, 7dB 이상에서 부호화 이득을 얻을 수 있었다. 이 결과로부터 BT가 클수록 BER 성능이 개선되는 것을 알 수 있다. 또한 부호화율이 낮고 E_b/N_0 가 클수록 부호화 이득이 증가하는 것을 알 수 있다.

IV. 시스템 설계 방식

본 장에서는 III장에서 분석된 결과를 이용하여 전 송환경에 따라 최적의 시스템 설계가 가능하다.

위성통신시스템에서 무선채널에서의 타깃 BER이 정해져 있고 현재의 채널 상태를 알 수 있다면 III장에서의 BER 성능 분석 결과를 이용하여 변조 방식, 콘볼루션 부호화의 사용여부 및 파라미터 값을 결정할 수 있다. 한 예로 타깃 BER이 0.001이고 현재 채널에 $\rho=0.1$ 의 특성을 갖는 재밍 신호가 존재하며 콘볼루션 부호화를 사용하지 않을 때, NC-BFSK와 SDPSK는 약 19dB 이상에서 사용할 수 있으며, NC-QFSK는 약 16dB, NC-8FSK는 약 15dB에서 각각 사용 가능하다. 또한 BT가 0.25인 GMSK에서는 약 26dB 이상에서 사용 가능하며, BT를 증가시킬 경우 수신 신호의 세기가 보다 낮은 경우에도 사용 가능함을 알 수 있다. 같은 조건에서 콘볼루션 코드를 사용하며 부호화율이 1/3일 경우 NC-BFSK는 약 14.5dB 이상에서 사용 가능하며, SDPSK의 경우 약 12dB, GMSK의 경우 BT가 0.25일 때 약 17dB 이상에서 사용가능한 것을 위 결과로부터 알 수 있다.

또한 WPBJ에서 분석된 결과를 이용하면 위성통신

시스템 설계 후 최악의 성능을 예측할 수 있어 변조 방식, 콘볼루션 부호화 및 파라미터 설계 시 참고자료로 활용할 수 있을 것이다.

V. 결론

본 논문에서는 SFH 시스템에서 변조 방식으로 각각 NC-MFSK와 SDPSK, GMSK가 사용될 경우의 BER 성능을 두 가지 재밍 환경에서 살펴보았다. 또한 콘볼루션 코드의 사용 여부에 따라 성능 향상 정도를 분석하였다. 성능 분석 결과, ρ 가 클수록 E_b/N_0 이 증가할수록 BER 성능이 ρ 가 작은 경우에 비하여 더욱 빠르게 향상되었으며, 특히 GMSK에서는 BT가 증가할수록 BER이 감소하는 것을 확인하였다.

위 결과를 이용하면 위성통신시스템에서 무선채널의 환경에 따라 적합한 전송 방식을 결정할 수 있을 것이다. 또한 본 논문에서는 이론적인 BER 성능을 도출하기 어려운 GMSK, 콘볼루션 부호화를 사용하는 경우 성능 평가 도구로 활용할 수 있는 시뮬레이터를 제공함으로써 시스템 모델 설계 시 도움이 될 것이다.

본 논문의 분석결과로 위성통신 운용 시 재밍 종류와 재머 레벨에 따라 변조방식, 에러정정방식, 신호송신출력등을 최적으로 선택하여 통신방해에 효과적으로 적용할 수 있는 방안을 제공한다. 따라서 제한된 주파수 자원과 고비용의 위성전력을 갖은 위성통신에서 효과적으로 재머에 대응할 수 있게 된다.

참고 문헌

- [1] M. K. Simon, J. K. Omura, R. A. Scholtz, and B. K. Levitt, Spread Spectrum Communications Handbook, pp.475-480, McGraw-Hill, Inc, 1994.
- [2] S. W. Houston, "Modulation Techniques for Communication, Part I : Tone and Noise Jamming Performance of Spread Spectrum M-ary FSK and 2, 4-ary DPSK Waveforms," Proc. IEEE National Aerospace and Electronics Conference (NAECON '75), Dayton, Ohio, June 10-12, pp.51-58, 1975.
- [3] 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-Part I: Performance of Square-Law Linear

Combining Soft Decision Receiver”, Proc. IEEE Trans. on Communications, vol. COM-32, NO.6, June 1984, pp.645-653.

- [4] R. L. Peterson, R. E. Ziemer, and D. E. Borth, Spread Spectrum Communications, pp.68-75, 337-350, Prentice Hall, 1995.
- [5] J. S. Lee, L. E. Miller, “Probability of Error Analyses of a Differential Phase Shift Keyed /Frequency Hopping Spread Spectrum Communication System in the Partial-Band Jamming Environments”, Proc. IEEE Trans. on Communications, Vol.COM-30, No.5, May1982, pp.943-952.

김 재 현 (Jae-Hyun Kim)

중신회원



1987년~1996년 한양대학교 전산과 학사 및 석/박사 졸업
 1997년~1998년 미국UCLA 전기전자과 박사 후 연수
 1998년~2003년 Bell Labs, Performance Modeling and QoS Management Group, 연구원

2003년~현재 아주대학교 전자공학부 부교수.

<관심분야> 무선인터넷 QoS, MAC 프로토콜, IEEE 802.11/15/16/20, 3GPP, 국방 전술네트워크 등

박 우 철

정회원



1987년 2월 건국대학교 전자공학(공학사)
 1992년 고려대학교 전자통신학과(공학석사)
 2007년~현재 아주대학교 NCW학과 박사과정
 1986년 12월~1994년02월 Litton 연구소

1994년03월~1996년08월 AirTouch 연구소

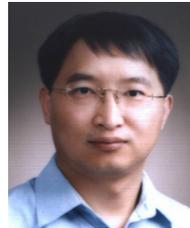
1996년08월~2005년12월 AirMedia 연구소장

2006년~현재 방위사업청 위성통신팀장

<관심분야> 위성통신, 무선이동통신(Ad-hoc)

김 기 근 (Ki-Keun Kim)

정회원



1992~현재 국방과학연구소 연구원

2008~현재 아주대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> 위성 IP network, 위성 데이터 링크 등

고 광 춘 (Kwang-Chun Go)

준회원



2008년 아주대학교 전자공학부
 2010년 아주대학교 전자공학과 석사

2010년~현재 아주대학교 전자공학과 박사과정

<관심분야> 무선망 QoS, 위성통신 등