

# 전파교란 환경에서 음성 코덱에 따른 FSK 변조 방식의 비트 오류율 성능 분석

최동열, 김원경, 정현기, 조희래\* 김재현  
아주대학교, \*국가기술보안연구소

acdy@ajou.ac.kr, wk53@ajou.ac.kr, happy8076@ajou.ac.kr, \*huirae@nsr.re.kr, jkim@ajou.ac.kr

## Bit Error Rate Performance Analysis of FSK Modulation Schemes Using Different Speech Codec under Sweep Jamming

Dong-Yeol Choi, Won-Kyung Kim, Hyun-Ki Jung, Huirae Cho\*, Jae-Hyun Kim  
Ajou University, \*National Security Research Institute

### 요약

본 논문은 넓은 주파수 대역에 영향을 미칠 수 있는 sweep 형태의 전파 교란 신호가 존재하는 환경에서 pulse code modulation(PCM)과 continuously variable slope delta modulation(CVSD) 음성 코덱에 따른 binary frequency shift keying(BFSK)와 4-array frequency shift keying(4-FSK)의 비트 오류율 성능을 분석하였다.

### I. 서론

2016년 3월말 북한에서 한 달 동안 인위적으로 GPS 신호를 비롯한 무선통신 시스템의 성능을 저하시키기 위한 전파 교란 신호를 발생시켰다[1]. 이러한 전파교란 신호는 민간 교통안전을 위협하고 군사 작전을 방해하는 등 무선통신에 큰 악영향을 미칠 수 있다. 이에 따라 언제 발생할 지 모르는 전파교란 신호에 정확히 대응하기 위해 전파교란 신호의 특성에 대한 분석이 필요하다. 또한, 전파교란 신호를 효율적으로 회피하기 위한 항재밍 기법에 대한 연구가 진행되고 있다[2], [3], [4].

[2]는 전파교란 신호에 취약한 위성항법 시스템, GPS 신호의 특징과 전파교란 신호에 따른 위성항법 시스템의 성능 및 항재밍 기술에 대하여 분석하였다. [3]은 전파교란 신호의 환경에 따라 SFH 변조 방식에 따른 위성 통신 시스템의 BER 성능 분석을 하였다. [4]는 sweep 형태의 OFDM 및 chirp 전파교란 환경에서 아날로그 및 디지털 변조방식 별 성능을 비교 분석하였다. 본 논문에서는 넓은 주파수 대역에 영향을 미칠 수 있는 sweep 형태의 전파교란 신호가 음성 코덱 PCM 과 CVSD 를 이용한 FSK 변조 방식으로 음성을 전송하는 시스템에 영향을 일만큼 미칠 수 있는지에 대해 비트 오류율로 무선통신 시스템의 성능을 분석하였다. 본 논문의 결과를 통하여 전파교란 신호의 특성에 대해 정확한 분석이 가능하며, 전파교란 신호에 대응하기 위한 가이드라인을 제공할 수 있다.

### II. 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 MATLAB 을 사용하여 시뮬레이터를 완성하였다. 전파교란 신호는 시간에 따라 중심 주파수를 이동하는 형태의 orthogonal frequency division

multiplexing(OFDM) 전파교란 환경과 시간에 따라 주파수를 선형적으로 변형하며 펄스파형을 보내는 chirp 전파교란 환경이 있다. 이러한 전파교란 신호는 무선통신 기기들이 주로 사용하는 주파수 대역에 영향을 미치도록 20MHz 부터 6GHz 까지 광범위하게 설정하였다.

먼저, OFDM 전파교란 신호는 1024 개의 subcarrier 로, 40MHz 의 대역폭을 가진다. 또한 한 심볼의 방사 시간은 20  $\mu$ s 이고 한 심볼 방사 시간 이후 중심 주파수를 바꾸어 다시 OFDM 심볼을 방사하는 형태의 전파 교란 신호이다.

다음으로, chirp 전파 교란 신호는 주파수 대역에 대해서 시간에 따라 주파수를 20kHz 씩 선형적으로 증가시켜 펄스파를 보내는 형태의 신호로 전파 교란 신호가 영향을 미치는 대역, 20MHz~6GHz 까지 20  $\mu$ s 로 sweep 주기를 설정하였다.

또한, 아날로그 신호인 음성 신호를 디지털화하기 위한 음성 코덱으로 PCM 과 CVSD 를 사용하였다. PCM 은 음성의 한 샘플을 256 level 로 나누어 8bit 로 사용되는 일반적인 음성 코덱이다. CVSD 는 한 샘플당 2bit 로 나타내어 정보를 저속으로 전송하며 신호의 증감폭을 가변적으로 적용하여 잡음 및 간섭을 최소화함에 따라 안정성이 우수하여 군에서 주로 활용된다. 또한 저속의 데이터 전송에 적합한 변조 방식인 FSK 를 사용하였다.

또한 송신 신호의 전력은 10dBm 으로 설정하였고, 수신기는 송신기와 전파 교란기에 각각 10m, 20m 떨어져있다고 가정하여 시뮬레이션을 진행하였다.

### III. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 통해 전파교란 신호의 전력에 따라 음성 코덱에 따른 FSK 변조 방식의 비트 오류율에 대해 분석하였다.

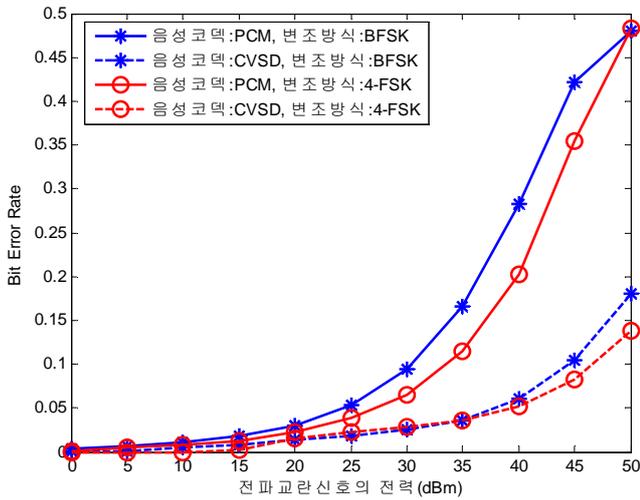


그림 1. OFDM 전파교란 환경에서 음성 코덱에 따른 BFSK 또는 4-FSK의 비트 오류율

그림 1은 OFDM 전파교란 환경에서 음성 코덱으로 CVSD와 PCM을 사용한 BFSK 또는 4-FSK 변조방식의 비트 오류율을 전파교란 신호의 전력에 따라 나타낸 그래프이다. 이론적으로 AWGN 채널에서 BFSK 변조방식의 비트 오류율이 4-FSK 변조방식보다 높게 나타나는데 OFDM 전파교란 환경에서도 동일하게 나타나는 것을 확인할 수 있다[4]. OFDM 전파교란 환경에서 비트 오류율은 지속적으로 증가한다. 또한 CVSD의 경우 한 샘플당 2비트로 변환할 수 있어 FSK 변조방식을 사용하였을 경우 PCM 음성 코덱을 사용했을 때보다 대역폭이 4배 작고 비트 전송 속도도 4배 낮기 때문에 OFDM 전파교란 환경에서 PCM에 비해 비트 오류율이 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 일반적으로 사용하는 PCM 음성 코덱과 비교하여 CVSD 음성 코덱 sweep 형태의 OFDM 전파교란 환경에서 더 적합하다는 것을 알 수 있다.

그림 2는 chirp 전파교란 환경에서 음성 코덱으로 CVSD와 PCM을 사용한 BFSK 또는 4-FSK 변조방식의 비트 오류율을 전파교란 신호의 전력에 따라 나타낸 그래프이다. Chirp 전파교란 환경에서도 위의 OFDM 전파교란 환경과 마찬가지로 BFSK의 비트 오류율이 4-FSK에 비해 높은 것을 확인할 수 있다[4]. Chirp 전파교란 환경에서는 특정 전파교란 신호의 전력에서 비트 오류율이 급격하게 증가한다. 그림 2에서 볼 수 있듯이, BFSK의 변조방식의 경우 PCM 음성 코덱을 사용하였을 때, 전파교란 신호의 전력이 25dBm이 되어도 비트 오류율이 약 0.1이고 급격하게 증가하지만, CVSD 음성 코덱을 사용할 경우 전파교란 신호의 전력이 30dBm 이상에서 비트 오류율이 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 4-FSK에서도 BFSK와 마찬가지로 BER이 급격하게 증가하는 전파교란 신호의 전력이 PCM 음성 코덱을 사용할 경우 25dBm, CVSD 음성 코덱을 사용할 경우 30dBm으로 나타난다. 따라서, 광범위한 주파수 대역에 영향을 미치는 sweep 형태의 전파교란 환경에서 안정성 있는 음성 데이터를 전송하기 위해 CVSD 음성 코덱의 사용이 적합한 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 OFDM 신호와 chirp 신호를 사용하여 시간에 따라 교란신호의 주파수가 선형적으로 증가하는

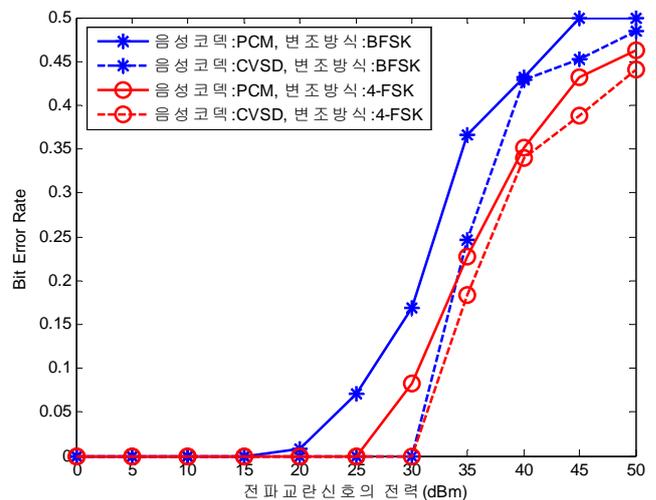


그림 2. Chirp 전파교란 환경에서 음성 코덱에 따른 BFSK 또는 4-FSK의 비트 오류율

형태의 전파교란 환경에서 음성 코덱 PCM 또는 CVSD를 사용하였을 때 BFSK와 4-FSK의 비트 오류율 성능을 분석하였다. 시뮬레이션 결과 BFSK의 비트 오류율이 4-FSK보다 높게 나타난다. 또한, PCM보다 CVSD 음성 코덱을 사용하였을 때, FSK 변조신호의 대역폭을 낮출 수 있으며, 이에 따라 전파교란 환경에서 안정성 있는 음성 데이터를 전송하기에 적합하다는 것을 확인할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2014R1A2A2A01002321) 및 ETRI 부설 국가보안기술연구소 위탁과제의 연구결과로 수행되었음.

참고 문헌

[1] "NK warned to stop GPS disruption", <Korea times>, 2016년 4월 1일, www.koreatimes.co.kr/www/news/nation/kr/116\_201701.html

[2] 김기운, "위성항법시스템을 위한 항재밍 기술 분석," 한국통신학회논문지, vol, 38C, no. 12, pp 1216-1227, 2013년 12월.

[3] 박우철, 고희준, 김재현, 김기근. "Jamming 환경에서 SFH 변조 방식에 따른 위성 통신 시스템의 BER 성능 분석," 한국전자과학회논문지, 21 권 10 호, pp. 1161-1168, 2010년 10월.

[4] 최동열, 김원경, 조희래, 김재현, "첨과 OFDM 재밍 환경에서의 아날로그 및 디지털 변조방식 별 성능비교," in Proc. 한국통신학회 동계 종합 학술발표회, 하이원 리조트, 2016년 1월.