한국군사과학기술학회지 제14권 제1호, pp. 69~73, 2011년 2월

학술논문 정보기술 부문

NED를 사용하는 FH-CSS(Frequency Hopped - Chirp Spread Spectrum)의 항 재밍 성능 분석

AJ Performance of the FH-CSS(Frequency Hopped - Chirp Spread Spectrum) Communication Systems

김 성 호* 김 영 재* 황 석 구* 조 병 각**
SungHo Kim YoungJae Kim SeokGu Hwang ByoungGak Jo
신 관 호** 김 남***
KwanHo Shin Nam Kim

Abstract

In the defence wireless communications, conventional Anti-Jamming techniques(Frequency Hopping/Spread Spectrum or Direct Sequence/Spread Spectrum) are used to overcome a intentional interfering signals which are single/multi-tone or partial band jammer etc. DS/SS techniques is very strong on tone jamming signal but not to be on a partial band jammer. So FH/SS AJ performances are expected method of an substitution of DS/SS, however FH/SS could not have good performance on some BMTJ(Band Multi-tone Jammer). So this paper proposes FH-CSS (Frequency Hopped - Chirp Spread Spectrum) to get more robustness against jammers(BMTJ, PBNJ) and analyze the AJ performances.

Keywords : AJ(Anti Jamming), NED(Normalized Envelope Detection), FFH(Fast Frequency Hopping), SHF(Slow Frequency Hopping), A-NED(Adaptive-NED), Chirp, LFM(Linear Frequency Modulation), BMTJ(Band Multi-Tone Jammer), CSS(Chirp Spread Spectrum), PBNJ(Partial Band Noise Jammer)

1. 서 론

지금까지 생존성과 신뢰성을 고려한 특수 목적의 통신시스템의 경우 다양한 재밍환경에 대한 분석을 통해 해당 재머를 극복하는 알고리즘들을 연구해왔다. 그 결과 대부분의 특수목적 통신에서는 주파수 확산 방식과 여러가지 수신기법(Diversity combines, Majority Decision 방식등)을 적절하게 설계하여 의도적인 통신 교란 및 감청과 방해 신호(Jamming Signal) 등을 극복할 수 있도록 연구되어 졌으며, 주로 사용하는 대역확산방식(Spread spectrum)으로 DS/SS(Direct Sequence Spread Spectrum)와 FH/SS(Frequency Hopping Spread

† 2010년 11월 12일 접수~2011년 1월 20일 게재승인
* 삼성탈레스 통신연구소(Communication R&D Center, Samsung Thales Co. Ltd)
** 국방과학연구소(ADD)
*** 충북대학교 정보통신공학부
책임저자 : 김성호(zeulja.kim@samsung.com)

Spectrum)를 주로 고려하여 왔다, 이러한 방식들 중 주파수 도약 확산 방식의 경우 광대역 도약[1,4]이 가능하고 시스템에 적당한 DC(Diversity Combines)기법들을 통해 AWGN 및 부분대역 재밍(PBNJ : Partial Band Noise Jammer)에 상당한 효과가 있는 시스템으로 채택되어 사용되고 있다[1]. 이러한 주파수 도약 확산방식의 시스템은 대역 재머에 강건한 특성을 가지고 있는 반면 Fig. 1과 같이 재머 입장에서 에너지효율이 뛰어나 광대역 재밍이 가능한 MTJ(Multi Tone Jammer)에 매우 취약한 단점이 존재 한다.

이러한 기존 항재밍 통신방식의 문제점을 극복하기 위해 본 논문에서는 통신에서 주로 사용하는 sinusoidal wave와 아주 낮은 상관값을 가지는 linear frequency modulation 혹은 chirp carrier modulation 방식을 적용하고 항재밍 성능을 분석해 보았다.

2. 본 론

일반적으로 재머는 통신 신호에 비해 상대적으로 높은 신호레벨을 가지면서 넓은 대역에 걸쳐 존재하기 때문에 단순한 고정주파수 통신 시스템이 이를 극복하는 것은 상당히 어렵다.

통신신호가 고정주파수인 경우 통신 신호의 대역폭에 해당하는 AWGN 부분대역 재밍 신호를 발생시켜 통신채널 전체를 재밍할 수 있지만 통신신호가 대역확산 방식을 사용하는 경우, 그 정도에 따라 한정된 전력을 가지는 재머의 형태가 부분대역 재밍(PBNJ)이나 멀티톤(MTJ) 재밍같은 방식으로 진화하게 된다.

앞서 언급되었던 주파수 도약 방식의 통신 방법은 FFH(Fast Frequency Hopping)나 SFH(Slow Frequency Hopping)전송을 통해 적절한 횟수의 Diversity 전송을 통하여 수신되는 심볼들의 MV(Majority Vote), ECC (Energy Clipped Combines), HDMV(Hard Decision Majority Vote), NED(Normalized Envelope Detection)등의 Combine 알고리즘을 주로 사용하며 홀수개의 개수를 가지는 시스템을 디자인해야 하는 단점이 있는 HDMV, MV를 제외하고 NED, ECC알고리즘 등을 구현하여 부분대역의 노이즈/톤 재밍에 효과적으로 대응하고 있다[2].

참고로 재밍 신호의 경우 재밍 행위 자체가 유효성을 가지기 위해서 제한된 재머 에너지(J)와 제한된 대역폭(Wj)을 가지게 되는데, Wss(확산 대역폭)가 재밍 대역폭(Wj)보다 작은 경우(Wj > Wss)는 확산된 신호가 재밍 신호와 충돌확률이 P_hit = 1이기 때문에, Wss값이 작은 경우 통신이 거의 어렵다고 볼 수 있지만 Wss가 넓은 경우 동일한 재밍에너지(J)에 대해 전력밀도(J0)가 약해지므로 효과적인 재밍이 되지 않을 수도 있다. 그 외 Wss가 Wj에 비해 한없이 큰 경우는 충돌확률[2]이 낮아 FEC 및 DC를 통하여 어느 정도의 오율을 극복하면서 통신이 가능하게 된다[1]. 하지만 Fig. 1에서 MTJ의 경우 제한된 재머의 전력으로 부분대역 재머 보다 넓은 대역으로 높은 신호의 재밍이 가능하기 때문에 부분대역 재밍의 ρ값에 해당하는 mu = Wj/Wss값을 1에 가깝게 만들어 마치 전대역 재밍이 가능한 신호를 만들 수 있어 기존의 주파수 도약 확산 방식 및 다이버시티 기법으로 극복이 어려운 단점이 존재한다[4].(이를 극복하기 위해 DS/SS방식이 유효하지만 광대역 확산이 현재의 기술로는 물리적인 한계가 있어 본 논문에서는 다루지 않기로 한다.)

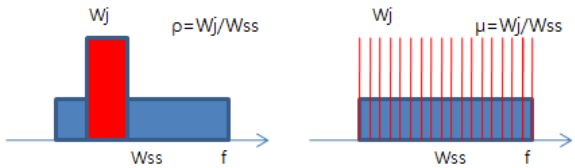

Fig. 1. 부분대역 및 Multi-Tone 재밍(MTJ) 환경

상기와 같은 이유로 부분 대역 재밍(PBNJ) 성능을 유지하면서 이러한 BMTJ(Band MTJ) 또는 IMTJ (Independant MTJ)를 극복하기 위해 주파수 도약 시스템에 CSS(Chirp Spread Spectrum)를 사용하고 DC를 적용한 시스템을 제안한다.

참고로 CSS기술은 시간에 따라 순간 주파수가 변하는 chirp 신호와 펄스 압축 기술을 이용하는 기술로 1940년대부터 레이더, 잠수함 음향 탐지, 영상 분석 기술 분야에서 널리 사용되어 왔으며 1997년부터 무선통신분야에서 연구되기 시작하여 2007년 3월 IEEE 802.15.4a에서 물리계층 표준으로 채택하였다. CSS 기술은 소비 전력이 낮고 시간 분해능이 높으며 다중 경로 간섭, 채널 페이딩 및 재머환경[5,6]에 강한 장점을 지니고 있다.

Chirp은 식 (1)과 같이 정의 될 수 있으며[7], 여기서 Θ(t)는 Phase를 a(t) = 1, 0 < t < Ts else 0을 나타낸다.

$$s(t) = a(t)\cos(\Theta(t)) \quad (1)$$

$$f_M(t) = \frac{1}{2\pi}\frac{d\Theta}{dt} \tag{2}$$

여기서 phase 변화에 따른 주파수는 식 (2), 일반적인 chirp rate을 나타내는 μ(t)는 식 (3)과 같이 표현되어지며 이를 적용하면

$$\mu(t) = \frac{df_M(t)}{dt} = \frac{1}{2\pi}\frac{d^2\Theta(t)}{dt^2} \tag{3}$$

$$s(t) = a(t)\cos(2\pi f_0 t + \pi\mu t^2 + \varphi_0) \tag{4}$$

여기서 μ(t)는 chirp rate를 의미하며 값이 μ(t) > 0인 경우 up-chirp, μ(t) < 0인 경우 down-chirp 하게 된다. 본 시스템에서는 이 두 가지를 조합하여 정보를 전송하는 BOK(Binary Orthogonal Keying)방식을 채택하여 사용한다. BOK방식은 기존 알려진 DM(Direct Modulation)방식과 달리 NC(Noncoherent)- detection수신기를 사용하는 FFH(Fast Frequency Hopping) 통신에 적합하며 고정주파수 톤재밍 환경에는 강하지만 부분대역재밍에 약한 Chirp 통신의 단점을 FFH의 고속 광대역 도약 특징을 이용해 보완 할 수 있다[6].

일반적인 BOK신호에 대한 이론적인 에러확률함수는 식 (5)와 같이 예상할 수 있지만 실제 환경에서 NC 수신기를 사용하는 경우 Up/Down Chirp에 대한 matched filter 출력값이 Fig. 2와 같이 완벽하게 직교성을 유지 하지 않기 때문에 복호를 위한 Euclidean distance가 좁아져서 그 성능이 식 (5)에 비해 일부 열화 된다.

$$P_e = \frac{1}{2}erfc\left(\sqrt{\frac{E}{4N_0}}\right) \tag{5}$$

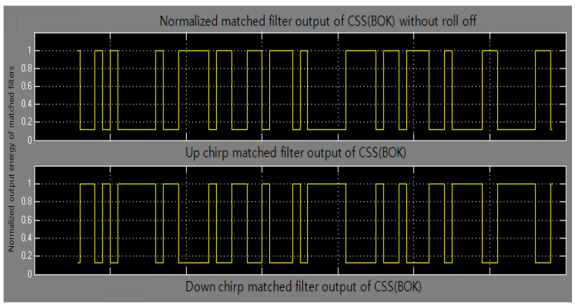

Fig. 2. BOK 신호에 대한 Matched filter output

본 논문에서는 제안된 시스템은 광대역 확산이 가능한 주파수 도약 시스템에서 부분대역 재밍환경을 극복하기 위해 NED(Normalized Envelope Detection) 방식의 Diversity Combines기법과 MTJ환경을 극복하기위해 sinusoidal wave를 대신한 CSS방식을 적용하여 변복조하고 부분대역 재밍환경 및 MTJ환경에서의 성능을 분석 하였다.

Fig. 3에서는 Diversity Combines을 사용하지 않은 일반적인 CSS시스템의 부분대역 재밍환경에서의 시뮬레이션 성능을 나타내었으며 Fig. 4에서는 NED Diversity Combines factor = 4인 시스템에 대하여 동일한 조건으로 그 성능을 분석하였다.

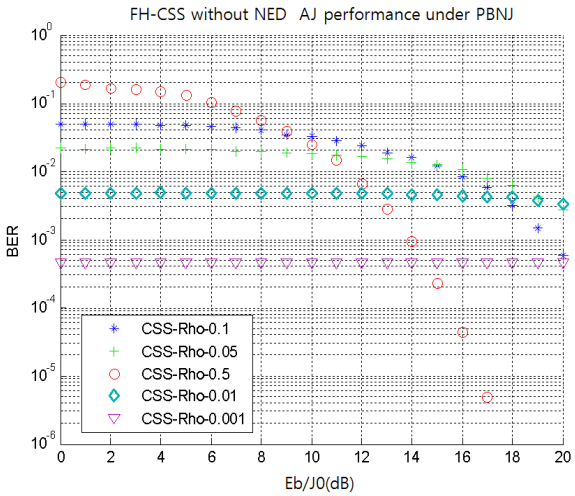

Fig. 3. BER of FH-CSS without NED under PBNJ

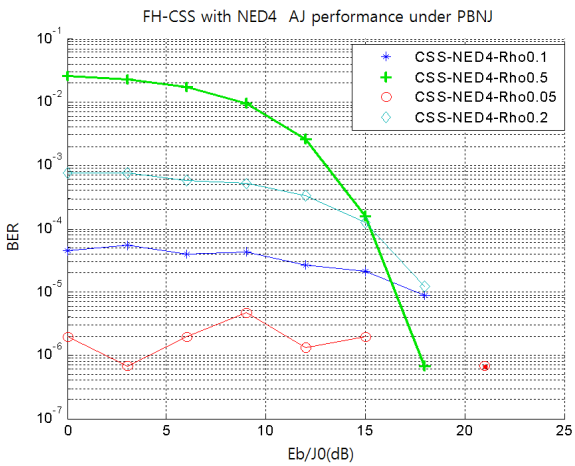

Fig. 4. BER of FH-CSS with NED4 under PBNJ

CSS방식의 통신이라하더라도 부분 대역 재밍환경의 NED를 하지 않는 경우 상당히 낮은 ρ = 0.001임에도 불구하고 BER이 10^{-4}이하로 수신되기 힘든 상황이었으며 이를 개선하기위해 k = 4의 Diversity 전송을 진행하는 경우 ρ = 0.1이하의 경우도 NED 수신 기법으로 좋은 성능을 가질 수 있다는 결과를 얻었다.

Fig. 5의 경우 CSS 확산률 32(Symbol rate 1초에 대한 정규화된 확산 주파수 32Hz)인 시스템에 대해 1Hz에서 32Hz까지 초단위로 swept된 톤재머에 대하여 수신기에서의 Matched filter 출력특성을 세로축으로 나타내고 있으며 CSS와 톤(특성값을 보기위한 swept 톤 사용) 사이의 상관도가 Fig. 5와 같이 낮아 상호간의 영향이 적음을 알 수 있다.

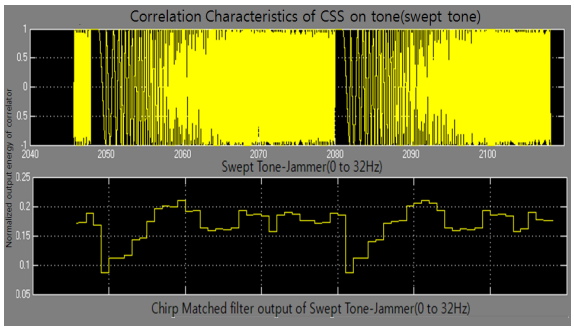

Fig. 5. Matched filter output of CSS under swept tone jammer

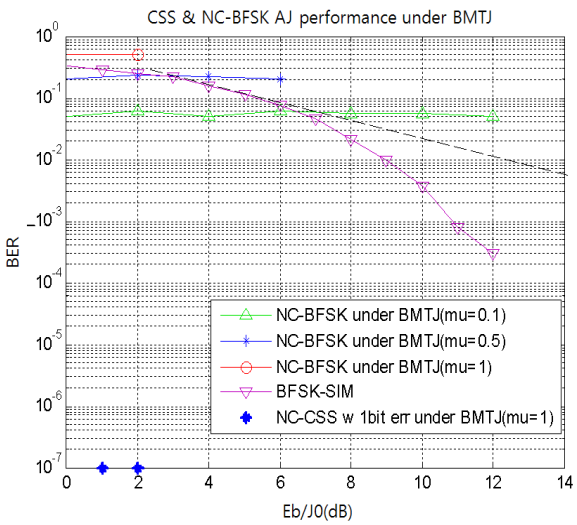

Fig. 6. conventional FH-NCBFSK and FH-CSS under BMTJ

Fig. 6에서는 BMTJ환경에서의 기존 BFSK방식과 제안된 시스템의 성능을 나타내고 있다. FH-CSS의 경우 톤 재머에 대해 에러발생이 되지 않아 비교를 위해 의도적 비트에러 1개를 적용하여 그래프를 표시 하였다. 참고로 전체 시뮬레이션한 전송 비트수는 10^7개이며 CSS의 경우 BMTJ, μ = Wj/Wss = 1로 진행 하였다.

앞서 예상한 바와 같이 CSS의 경우 그 고유 특성상 기존 방식에 NC-BFSK에 비해 톤 혹은 다중 톤(multi-tone) 재밍 환경에 거의 영향을 받지 않는 통신 방식으로 항재밍 통신 장식으로 적합할것으로 판단된다.

3. 결 론

본문에서는 부분대역 재밍과 다중 톤 재머환경에서의 FH/CSS-NED의 항재밍 성능을 분석하였으며 각각에 대한 분석 시뮬레이션을 제시하였다. 앞서 언급되었지만 실제 채널환경에서는 대역 재밍에 비해 상대적으로 보다 넓은 대역에 높은 재머 캐리어로 방해가 가능한 BMTJ 특징으로 큰값의 Eb/J0을 유지하기 힘들기 때문에 통상 분석에서 낮은 Eb/J0 특성만을 참고하게 된다. BMTJ 환경에 대한 분석 결과 mu = 1,0.5,0.1인 경우 FH-BFSK 방식의 경우 12dB이상의 Eb/J0을 요구하기 때문에 통신이 거의 불가능 한 반면 제안 방식에서는 다중톤 재머의 영향을 거의 받지 않는 것을 알 수 있다. 이러한 Chirp Spread Spectrum를 사용하는 통신방식을 통해 일차적으로 tone/multi-tone 재밍 환경에 대한 강건함을 확보하고 그 다음으로 광대역 도약(넓은 Wss) 및 Diversity Combines기법과의 조합을 통해 부분 대역 재밍에 대한 생존성을 높일 수 있다.

제안된 새로운 방식의 항 재밍 통신 시스템은 추후 BOK방식의 단점인 대역효율의 문제점을 개선하기 위해 IEEE 802.15.4a에서 사용하는 다중 중첩 전송 방식[8] 및 SHF(Slow Frequency Hopping) - DM(Direct Modulation)에 대한 연구를 추가 진행 하고 전송 효율이 개선된 FH/DQPSK-CSS 통신에 대한 항 재밍 성능을 분석 할 예정이다.

Reference

[1] K. S. Gong, “Performance of Diversity Combining

Techniques for FH/MFSK in Worst Case Partial Band and Multi-Tone Jamming", Proc. IEEE Milcom, Vol. SAC-4, pp. 216～233, Mar 1986.

[2] Gulliver, T. A., "The Performance of Diversity Combining for Fast Frequency Hopped NCMFSK in Rayleigh Fading", Military Communications Conference, IEEE, Vol. 2, pp. 452～457, 11～14, 1992.

[3] BERNARD SKLAR, "Digital Communications", Prentice Hall, Section 12.6, pp. 761～766, 2001.

[4] 김성호, 신관호 외 2인, "부분 대역 재밍 환경에서 SFH위성 통신 방식을 사용하는 A-NED알고리즘 항재밍 성능 분석", 한국군사과학기술학회지 제13권 제1호, pp. 30～35, 2010년 1월.

[5] 톤재머를 극복하는 고정주파수 통신방식에 관한 미국 특허(US PATENT 4037159)

[6] 윤태웅 외 4인, "오버랩 기반 CSS 시스템 설계를 위한 닫힌 꼴 비트 오류율 표현", 한국통신학회논문지, Vol. 34 No. 4, 2009. 4.

[7] A. Springer, W. Gugler, "Spread Spectrum Communi-cations Using Chirp Signals", IEEE/AFCEA EUROCOMM …, 2000

[8] Youngpo Lee, "Symbol Error Rate of the DM-MPSK Under the Influence of Jamming Signals", IEEE Communications Letters, Vol. 13, No. 7, July 2009.