

재밍 채널에서 효과적인 채널 추정과 PAPR 저감을 위한 주파수 도약 DFT-Spreading OFDM 시스템

FH DFT-Spreading OFDM System for the Effective Channel Estimation and PAPR Reduction in Jamming Channel

김장수 · 유흥균 · 이승준* · 고동국*

Jangsu Kim · Heung-Gyoon Ryu · Seung-Jun Lee* · Dong-Kuk Ko*

요 약

연속적인 채널 추정과 효율적인 처리를 위하여 comb type 파일럿 배치 방법을 사용하는 것이 중요하다. 그리고 OFDM의 높은 PAPR(Peak to Average Power Ratio)을 해결하기 위해 DFT-spreading OFDM 기법이 많이 사용된다. 그러나 파일럿 형태가 comb type이면 PAPR이 다시 증가하기 때문에, 본 논문에서는 PAPR을 다시 낮추기 위하여 comb type 파일럿을 사용하는 DFT-spreading OFDM 시스템에 SLM(Selective Mapping) 기법을 적용하였다. 그리고 SLM 사용에 따른 효과적인 부가 정보를 전송하기 위한 방법을 제시한다. 또한, SLM을 사용한 DFT-spreading OFDM 시스템은 파일럿과 부가 정보의 보존이 매우 중요하기 때문에 의도적인 재밍이나 의도적인 간섭에 반드시 보존되어야 한다. 본 논문에서는 SLM 기반의 DFT-spreading OFDM의 재밍 신호에 대한 성능을 분석하였다. 재밍 신호나 의도적인 간섭에 취약한 DFT-spreading OFDM 방식의 단점을 보완하기 위해 주파수 도약 방식을 사용하였고, MTJ(Multi Tone Jamming), PBJ(Partial Band Jamming)의 여러 조건의 재밍 환경을 고려하여 성능을 비교 분석하였다.

Abstract

It is important to use the comb type pilot allocation for the continuous channel and efficient processing. And DFT-spreading OFDM is used a lot to solve high PAPR problem of OFDM system. However, PAPR is increased again when comb type pilot is used to estimate channel characteristics. So, in this paper, we employ a new SLM method to DFT-spreading OFDM system to reduce increased high PAPR. And we suggest an effective method to transmit side information without additional bandwidth. Pilot and side information must be preserved from jamming or intentional interferences since those are very important in DFT spread OFDM system using SLM. So, in this paper, we like to analyze and simulate the performance of DFT spread OFDM system based on SLM against jamming signal. To remedy the vulnerable shortcomings of DFT spread OFDM about jamming or intentional interferences, we employ FH(Frequency Hopping) method and analyze system performance under the several jamming conditions such as MTJ(Multi Tone Jamming) and PBJ(Partial Band Jamming).

Key words : PAPR, Anti-Jamming, FH, DFT-Spreading, OFDM, Comb Type Pilot

I. 서 론

OFDM 기법은 다중 반송파 기법 중 하나로써 고

충북대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Engineering, Chungbuk National University)

*LIG넥스원 통신연구센터(Communication R/D Center, LIG Nex1 Co.)

· 논문 번호 : 20100420-047

· 교신저자 : 유흥균(e-mail : ecomm@cbu.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 6월 21일

속으로 많은 데이터를 송수신할 수 있고, 부반송파 간의 직교성을 이용하여 대역 효율을 향상시키는 등 많은 장점을 갖고 있다^[1]. 그러나 PAPR이 높은 단점으로 인하여 비선형 증폭기를 통과할 때에 성능 열화를 보인다. 따라서 이를 해결하기 위한 PAPR 저감 기법이 많이 연구되고 있다. 그 중에서 DFT spreading OFDM 기법은 OFDM 시스템의 높은 PAPR을 저감하기 위한 방법으로 많은 연구가 진행되었고, 널리 사용되고 있다^[2]. 그리고 PAPR을 효과적으로 저감하기 위한 위상 회전 기술로써 partial transmit sequence(PTS)와 selective mapping(SLM) 기술 또한 널리 사용되고 있다^{[3]~[6]}. 특히 상향 링크의 전력 효율 측면에서 DFT spreading 기법은 비교적 단순한 구조에 매우 높은 PAPR 저감 효과를 가진다. 하지만 송신단에서 comb 타입이나 scatter 타입 파일럿을 사용하면 시스템의 PAPR이 다시 증가함으로써 성능이 열화되는 문제점이 있다. 따라서, 본 논문에서는 DFT-spreading OFDM 시스템에서 comb type 파일럿을 사용하면서도 PAPR을 저감할 수 있는 SLM 기법을 제안한다. 기존의 일반적인 SLM 방법은 부가 정보를 추가적인 대역에 실어 보냄으로써 스펙트럼의 효율이 감소하였으나, 본 논문에서 제안하는 기법은 부가 정보를 파일럿 신호에 실어 전송함으로써 효과적으로 PAPR을 저감하면서도 스펙트럼 효율성을 높인다. 그리고 PAPR 저감에 초점을 맞춘 본 논문에서 제안한 SLM 기법을 사용하여 시스템을 구현하게 되면 일반 DFT spreading OFDM보다 복잡도가 증가하게 된다. SLM 기법에서 사용되는 branch 개수에 따라서 IFFT block이 증가하는데 복잡도는 증가된 branch 개수와 IFFT block만큼 증가된다. 하지만 본 논문에서 제안한 방법은 참고문헌 [7]과 같이 계산량이 적은 SLM으로 확장 가능하기 때문에 제안한 SLM 기법을 낮은 복잡도를 갖는 SLM 기법으로 확장하게 되면 또 다른 장점을 가질 수 있다.

또한 SLM 기법의 부가 정보의 보존은 시스템의 성능을 결정하는데 매우 중요한 요소가 된다. 따라서 SLM 기법을 사용하는 DFT-spreading OFDM의 의도적인 외부의 간섭 및 재밍에 대해 성능 분석이 필요하다. 본 논문에서 제안된 시스템에서는 SLM의 부가 정보를 comb 타입 파일럿에 실어 전송을 하였기 때문에 의도적인 외부의 간섭 및 재밍 신호에 대

하여 반드시 보존되어야 한다. 따라서 exclusive OR 연산을 통해서 side information을 송수신하는 방법을 제시하였다. 그리고 간섭 및 재밍 신호로 인한 시스템의 성능 열화를 분석하였으며, 재밍으로 인한 성능 열화에 대해 항 재밍(anti-jamming) 특성을 확보하기 위해서 frequency hop spread spectrum(FHSS) 방식을 혼합하였다^{[8]~[10]}. FH 방식은 가용한 대역폭을 많은 수의 주파수 도약 채널로 나누고, 확산 코드를 이용하여 미리 정해진 순서에 따라 서로 다른 채널로 주파수를 도약한다. 신호가 할당된 채널이 빠르게 변경되기 때문에 다중 채널 간섭 등의 잡음의 영향을 줄일 수 있다. FHSS 시스템의 processing gain은 확산된 신호의 대역폭과 전체 대역의 넓이와의 비율에 의해서 결정되는데, 본 논문에서는 도약하는 대역의 개수를 변화시킴으로써 processing gain을 조절하여 성능 차이를 보이고 MTJ(Multi Tone Jamming), PBJ(Partial Band Jamming)의 여러 재밍 환경을 고려하여 성능을 비교 분석하였다.

II. SLM 기반의 FH DFT-Spreading OFDM 시스템

그림 1은 SLM 기반의 주파수 도약 DFT-spreading OFDM 시스템의 블록 다이어그램이다. SLM 기법을 통해서 가장 낮은 PAPR을 가지는 시퀀스를 선택하여 정보를 전송함으로써 우수한 PAPR 저감 특성을 갖게 된다. 그리고 채널을 통해 데이터를 전송하기 전에 PN(Pseudo-random Number) 시퀀스에 의해서 변조된 반송파의 스펙트럼을 일정한 주파수 대역 내에

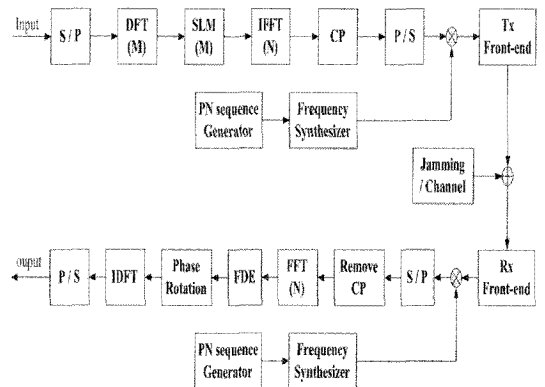
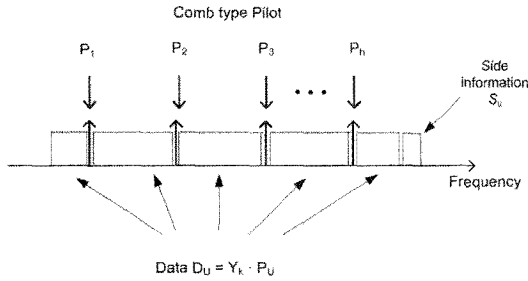
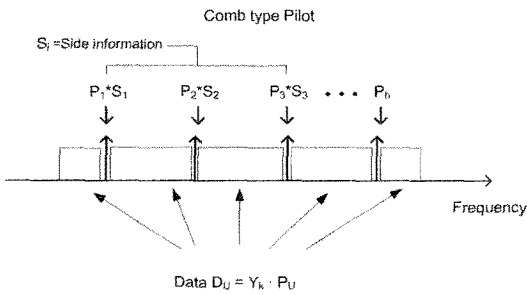


그림 1. SLM 기반의 주파수 도약 DFT-spreading OFDM 시스템

Fig. 1. SLM based FH DFT-spreading OFDM system.



(a) 일반적인 SLM 기법의 파일럿과 부가 정보 삽입
(a) Insertion of side information and pilot in general SLM method



(b) 제안된 SLM 기법의 파일럿과 부가 정보 삽입 방법
(b) Insertion of side information and pilot in proposed SLM method

그림 2. 파일럿과 부가 정보 삽입 방법
Fig. 2. Insertion of side information and pilot.

서 한 주파수에서 다른 주파수로 랜덤하게 도약시킴으로써 외부의 의도적인 간섭이나 재밍 신호에 강한 특성을 갖도록 구성하였다. 수신단에서는 주파수 도약되었던 hopping 대역을 찾아 기저대역으로 데이터를 변환하고, 수신된 부가 정보를 통해서 가장 낮은 PAPR을 갖게 만드는 위상 시퀀스를 찾아내어 데이터를 수신하게 된다. SLM의 자세한 과정은 그림 2와 같다.

일반적인 SLM 기법은 부가 정보를 전송하기 위해서 그림 2(a)와 같이 추가적인 부가 대역을 필요로 하게 된다. 부가 정보라 할당되는 부반송파의 수에 따라서 전송할 수 있는 데이터의 bit 수가 줄어들고 spectral loss를 발생시킨다. 그리고 frequency selective channel에서 부가 정보 위치가 fading되어 정보가 왜곡된다면 잘못된 부가 정보 수신으로 인해 데이터의 송수신이 어렵게 된다. 그리하여 부가 정보를 보존하기 위한 다른 기법의 적용이 필요한데, 이러한 단점을 극복하고자 본 논문에서는 파일럿 신호를 이용

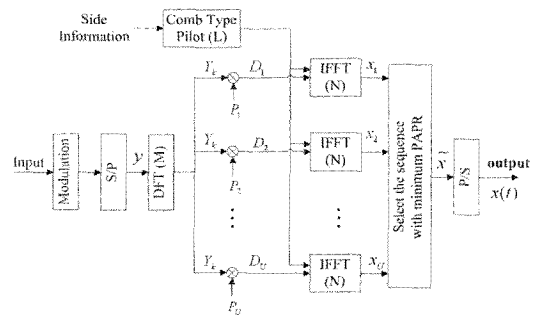


그림 3. 부가 정보를 효과적으로 전송하기 위한 SLM 방식
Fig. 3. SLM method for effective side information transmission.

하여 부가 정보를 송수신하는 그림 2(b)와 그림 3과 같은 방법을 사용하였다.

그림 3은 효과적으로 부가 정보를 전송하기 위해 comb type 파일럿 신호에 부가 정보를 곱하여 데이터와 함께 전송하는 SLM 기반의 DFT-spreading OFDM 송신기의 블록도이다. 보내고자 하는 데이터를 변조와 DFT 과정을 거친 후에 곱해질 위상회전 시퀀스의 개수 u 만큼 같은 수의 동일한 데이터를 생성해준다. 그 이후에 서로 다른 위상 회전 시퀀스를 생성된 데이터에 각각 곱해 준다. 그리고 나서 각각의 위상 회전이 곱해진 신호에 파일럿 신호를 삽입해 준다. 이때에 부가 정보는 그림 2(b)와 같이 전송함으로써 앞서 언급한 일반적인 SLM 기법보다 throughput, bandwidth efficiency를 향상시킬 수 있다. 그림 3(b)는 한 심볼 내의 데이터와 파일럿의 구성, 그리고 부가 정보의 전송에 관한 그림이다. 여기서 P_n 는 전체 파일럿 수를 나타낸다. SLM의 위상 시퀀스 P_U 의 개수가 4개인 경우에, 파일럿 신호는 데이터 D_u 사이에 배치하고 파일럿 신호 중에서 앞에 3개(P_1, P_2, P_3)를 부가 정보로 이용한다.

부가 정보는 표 1과 같이 S_1, S_2, S_3 으로 이루어지는데, S_1 과 S_2 의 2진 배열 조합에 의해 PAPR이 낮은 SLM의 위상 시퀀스가 곱해진 데이터 시퀀스를 나타낸다. 그리고 S_1 과 S_2 둘 중 하나의 정보가 손상되어 수신하지 못할 경우를 대비하여 S_1 과 S_2 를 exclusive OR한 S_3 를 이용하여 에러를 정정함으로써 SLM의 부가 정보의 정확한 수신 확률을 높인다.

그림 2에서 S/P를 거친 뒤의 입력 심볼 시퀀스 y

표 1. 부가 정보 인덱스

Table 1. Side information index.

SLM branch	부가 정보		
	S_1	S_2	$S_3=S_1 \oplus S_2$
1	1	1	-1
2	1	-1	1
3	-1	1	1
4	-1	-1	-1

는 다음과 같다.

$$y = [y_0, y_1, \dots, y_{M-1}]^T. \quad (1)$$

신호 y 는 DFT spreading 되므로 다음 수식에 의해 Y_k 로 변환된다.

$$Y_k = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_{m=0}^{M-1} y_m \cdot e^{-j2\pi mk/M}, \quad (k=0, 1, \dots, M-1). \quad (2)$$

Y_k 의 시퀀스는 다음과 같이 표현이 가능하다.

$$Y_k = [Y_{k0}, Y_{k1}, \dots, Y_{k(M-1)}]^T. \quad (3)$$

따라서 식 (3)의 DFT spreading 변환된 입력 심볼 Y_k 는 위상 회전 시퀀스 P_U 와 곱해져 D_U 를 형성한다.

$$D_U = [Y_k \cdot P_U] \\ = [Y_{k0} \cdot P_0^U, Y_{k1} \cdot P_1^U, \dots, Y_{k(M-1)} \cdot P_{(M-1)}^U]^T. \quad (4)$$

여기서 위상 회전 시퀀스 P_U 는 다음과 같다.

$$P_U = [P_0^U, P_1^U, \dots, P_{(M-1)}^U]^T. \quad (5)$$

일반적으로 좋은 성능을 보이는 Pseudo-random 시퀀스를 위상 회전 시퀀스로 사용하게 되면, 그 값은 식 (5)에서의 위상 회전 시퀀스 P_U 의 각각의 위상 회전 값인 $b_v^u = e^{+j\phi_v^u}$ 이고, $\phi_v^u \in [0, \pi]$ 이다. 여기서 $1 \leq v \leq M$, $1 \leq u \leq U$ 이고, M 은 입력 심볼 시퀀스의 길이이고, U 는 SLM의 branch 수이다.

위상 회전된 D_U 신호에 부가 정보를 포함하고 있는 파일럿 신호가 삽입되어 다음과 같이 D_{U_pilot} 표현 가능하다.

$$D_{U_pilot} = [D_0^U \ D_3^U \dots (P_1 \cdot S_1) \ D_a^U \ D_{a+1}^U \dots (P_i \cdot S_i) \\ D_b^U \ D_{b+1}^U \dots P_{g-i}^U \ D_c^U \ D_{c+1}^U \dots P_g^U \ D_d^U \ D_{d+1}^U \dots D_{M-1}^U]^T. \quad (6)$$

주파수 대역 효율을 위하여 부가 정보를 보내기 위한 추가적인 대역의 사용 없이 파일럿의 위치에 부가 정보 인덱스 S_i 를 곱하여 식 (6)과 같이 전송한다. 파일럿의 개수는 총 g 개이며, 부가 정보로 사용되는 파일럿은 i 개이다.

파일럿이 삽입된 후의 신호 D_{U_pilot} 을 간략히 표현하면 다음과 같다.

$$D_{U_pilot} = [D_{U_pilot}[1], D_{U_pilot}[2], \dots, D_{U_pilot}[N]]. \quad (7)$$

D_{U_pilot} 는 IFFT하게 되면 다음과 같은 시퀀스를 얻는다.

$$x_U = IFFT(D_{U_pilot}). \quad (8)$$

이를 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$x_U(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} D_{U_pilot}[k] \cdot e^{j2\pi f_k t}, \quad (0 \leq t \leq NT). \quad (9)$$

여기에서 N 은 부반송파 수이고, T_s 는 심볼 주기, n 번째 부반송파 주파수는 $f_k = k/NT_s$ 이다. 그리고 $t = nT_s$ 이 기 때문에 전송되는 송신 신호는 다음과 같이 표현 가능하다.

$$x_U(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} D_{U_pilot}[k] \cdot e^{j\frac{2\pi}{N}kn}. \quad (10)$$

U 개의 IFFT 이후의 신호 x_U 중에서 가장 낮은 PAPR을 갖는 심볼 $x(t)$ 을 선택하여 데이터를 전송함으로써 DFT-spreading OFDM 기법에서 파일럿을 comb type으로 삽입함에 따라서 증가된 PAPR을 저감할 수 있다.

생성된 x 중에서 식 (11)과 같이 가장 작은 PAPR을 갖는 심볼 $x(t)$ 를 선택하여 전송한다.

$$x(t) = \arg \min_{0 \leq u \leq U-1} [PAPR(x_u)]. \quad (11)$$

$x(t)$ 는 송신단의 주파수 합성기 출력 신호 $f_{FH}(t)$ 와 곱해진다. $f_{FH}(t)$ 는 PN sequence generator로부터 발생하는 비트의 n 비트의 sequence에 따라 매 도약 구간 (hopping duration)마다 다른 주파수가 된다. n 비트의 조합 2^n 개에 대응되는 2^n 개의 서로 다른 주파수가 주파수 합성기에서 발생된다. 주파수 합성기에서 발생된 신호 $f_{FH}(t)$ 는 출력 신호 $x(t)$ 와 곱해져서 전송된다.

이 논문에서는 OFDM 한 심볼당 한 번 도약하는 방식을 적용하였다. 이때의 송신 신호 $s(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$s(t) = x(t) \cdot e^{j2\pi(f_c(t)+f_{FH}(t))t} \quad (12)$$

송신 신호 $s(t)$ 는 AWGN 채널을 거쳐 다음의 신호 $r(t)$ 와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} r(t) &= \{s(t) + n(t) + j(t)\} \cdot e^{-j2\pi(f_c + f_{FH}(t))t} \\ &= x(t) + n(t) \cdot e^{-j2\pi(f_c + f_{FH}(t))t} + j(t) \cdot e^{-j2\pi(f_c + f_{FH}(t))t} \\ &= x(t) + N(t) + J(t). \end{aligned} \quad (13)$$

여기서 $n(t)$ 는 평균이 0인 가우시안 확률밀도 함수이며, 전력은 σ_n^2 이다. $f_c(t)$ 는 부반송파 주파수이다. 그리고 $j(t)$ 는 채널을 통과하며 더해지는 재밍 신호이다. 그리고 잡음 신호 또는 재밍 신호에 어떤 신호가 곱해져도 그 신호는 여전히 잡음 신호 또는 재밍 신호이므로 $N(t)$ 와 $J(t)$ 로 표현하기로 한다.

III. 재밍

대역 잡음 재밍은 주파수의 특정 대역에 걸쳐서 재밍 신호가 존재하는 경우이다. 재밍 대역폭 전체가 재밍 신호의 영향을 받으면 전대역(full-band) 잡음 재밍이라 하고, 그림 4와 같이 일부분만이 재밍되는 경우를 부분 대역 재밍이라 한다. 부분 대역 재밍은 전체 대역 중에서 일정 부분 대역에만 재밍 신호가 영향을 주는 것을 의미한다. 따라서 재밍 신호의 전체 전력은 동일하므로 재밍 신호가 발생하는 대역이 넓어질수록 재밍 신호의 전력 세기는 감소한다. 대역 잡음 재밍 경우의 식은 다음과 같다.

$$JSR = N_j / E_s, \quad (14)$$

$$\rho = \frac{W_j}{W_{ss}} \leq 1, \quad (15)$$

$$N_j = \frac{N_j}{\rho} = \frac{P_j}{W_{ss}} \cdot \frac{W_{ss}}{W_j} = \frac{P_j}{W_j}. \quad (16)$$

여기서 N_j 는 전체 도약 대역에 대한 재밍의 전력에 대한 비이다. 그리고 P_j 는 재밍의 전력, N_j 는 대역 재밍의 PSD(Power Spectral Density), W_j 는 재밍의 대역, W_{ss} 는 전체 도약 대역을 나타낸다. ρ 는 JFR(Ja-

mming Fractional Ratio)이다.

특정 주파수의 정현파는 주파수 축에서 하나의 톤으로 나타난다. 따라서 그림 5와 같이 하나 또는 여러 개의 톤으로 이루어진 신호로 가하는 재밍을 톤 재밍이라 한다. 톤의 개수가 한 개일 경우는 톤 재밍 신호 전력이 최대일 경우이고, 톤의 개수가 점점 늘어날수록 각각에 대한 톤 재밍 신호의 전력은 낮아진다. 하지만 각각의 톤 재밍 신호들의 전력의 합은 톤의 개수가 한 개일 경우의 전력과 동일하다. 이것은 톤 재밍 신호의 전체 전력은 동일하다는 것을 의미한다. 신호 대역폭 내의 어디에서나 전력 J 를 갖는 비 변조된 반송파를 전송하는데, 이러한 다중 톤 재밍의 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$j(t) = \sqrt{\frac{2P_j}{N_T}} \sum_{j=1}^{N_T} \cos(2\pi f_j t). \quad (17)$$

여기서 P_j 는 재밍의 전체 전력이고, N_T 는 톤의 개수이며, f_j 는 재밍 주파수이다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서는 MTJ, PBJ 재밍에 관하여 두 가지 경우를 고려하였다. 첫 번째는 재밍 신호가 데이터가 도약하는 채널의 위치를 계속 따라 다니며 시스템의 성능을 항상 열화시키는 능동적인 재밍에 대한 상황이다. 두 번째는 재밍 신호가 존재하는 호핑 채널의 위치가 고정되어 있는 경우를 고려하였다. 이 경우에는 재밍 신호는 고정되어 있으므로 데이터가 도약하면서 재밍 신호가 존재하는 호핑 채널로 도약한 경우에만 시스템의 성능 열화를 겪는 수동적인 재밍에 대한 상황을 고려하였다. 시뮬레이션 조건은 표 2와 같다.

그림 4는 여러 시스템의 PAPR 성능을 비교한 그림이다. 일반적인 OFDM 시스템은 PAPR의 성능이 CCDF(Complementary Cumulative Distribution Function)의 10^{-4} 에서 14 dB 정도인 것을 알 수 있다. DFT spread OFDM 시스템은 데이터 변조 방식이 16QAM에서는 일반 OFDM 시스템보다 PAPR 특성이 3 dB 정도 좋은 것을 확인할 수 있다. 그러나 comb type 파일럿의 사용이 요구되면서 DFT spread OFDM 시스템에 파일럿을 부반송파 사이에 삽입하게 되면

표 2. 시뮬레이션 파라미터

Table 2. Simulation parameters.

Parameters	Value
Modulation scheme	16QAM
Sub-carrier number	64
Guard interval(CP)	16
Bandwidth	4 MHz(per hopping bin)
The number of SLM branches	4
The number of pilots	4
HPA type	SSPA(Solid State Power Amplifier)

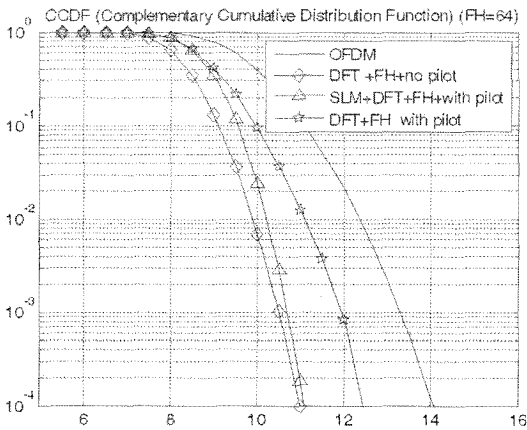


그림 4. PAPR의 비교
Fig. 4. PAPR comparison.

DFT 특성에 의하여 PAPR 성능이 1.5 dB 정도 열화된다. 그러나 제한한 SLM 기반의 DFT spread OFDM을 쓰게 된다면 파일럿을 사용하지 않은 DFT spread OFDM 시스템만큼 PAPR을 저감할 수 있다.

그림 5는 여러 시스템에서 HPA를 고려한 경우의 BER 성능을 나타낸다. HPA 시스템의 동작점을 back-off하여 성능 차이를 확인하였다. SLM 기반의 DFT spread OFDM 시스템의 BER 성능은 pilot을 사용하지 않은 DFT spread OFDM보다는 back-off 16 dB인 경우에 BER 10^{-4} 에서 0.7 dB 정도 좋지 않다. 그러나 back-off를 17 dB인 경우의 comb type pilot을 사용한 DFT spread OFDM보다 BER 10^{-4} 에서 성능이 2 dB 이상 좋으므로 전력 효율 측면에서 우수한 것을 알 수 있다.

그림 6은 톤 재밍 신호가 일정 위치에 고정되어 있

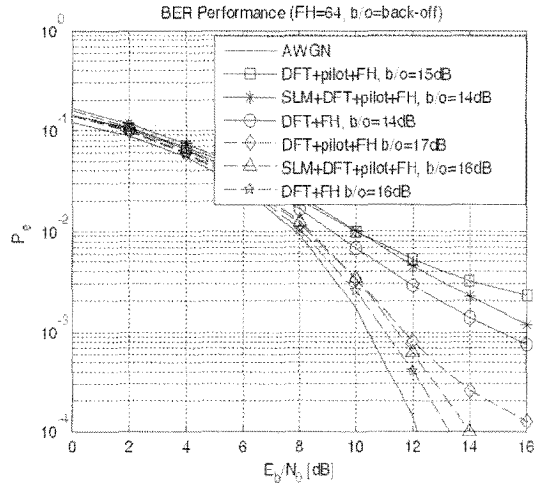


그림 5. HPA를 고려한 BER 성능
Fig. 5. BER performance considering HPA.

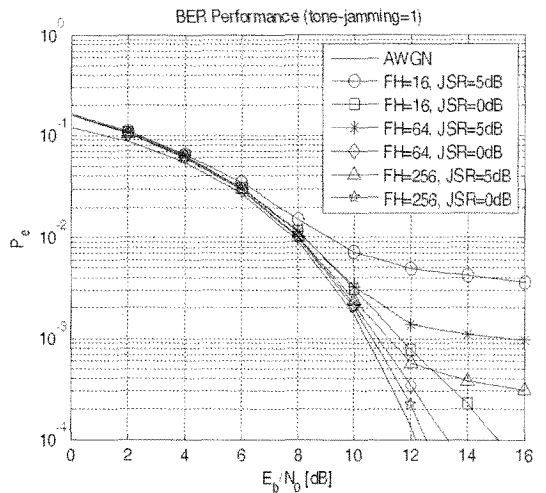


그림 6. 호핑 채널 수에 따른 톤 재밍의 BER 성능
Fig. 6. BER performance in MTJ and the number of hopping channels.

는 경우에 JSR의 변화와 주파수 도약 채널 개수에 따른 시스템의 BER 성능을 나타낸다. JSR의 크기가 클수록, 즉 재밍 신호의 전력이 데이터 신호의 전력보다 클 경우에 시스템의 성능 열화가 더욱 심하다. 그러나 호핑 채널의 개수를 증가시킬수록 BER 10^{-4} 에서 점점 QoS(Quality of Service)를 만족한다. JSR이 0 dB인 경우에 주파수 도약 채널이 16개인 시스템은 BER 10^{-4} 에서 15 dB 정도이고, 64개인 경우는 13.3 dB 정도이다. 그리고 도약 채널의 개수가 많아질수록

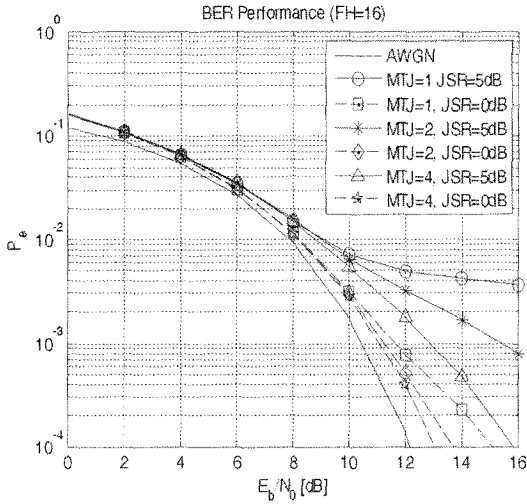


그림 7. 톤 재밍 신호의 개수에 따른 BER 성능
Fig. 7. BER performance according to the number of tone jamming.

재밍 신호가 존재하는 대역으로 데이터가 호핑되는 확률이 줄어들기 때문에, 256개인 경우엔 BER 성능이 12.5 dB 정도로 제일 좋은 성능을 보인다.

그림 7은 톤 재밍이 일정 대역에 고정되어 있는 경우에 톤 재밍 개수에 따른 BER 성능을 나타낸다. 주파수 영역에서의 재밍 신호가 더해진 이후에 IDFT 과정을 거치기 때문에 톤 재밍 신호가 모든 부반송파에 나누어져 퍼지게 된다. 그러므로 톤 재밍이 시스템의 성능 열화에 미치는 영향이 매우 줄어들게 된다. 더군다나 톤 재밍의 개수가 늘어날수록 하나의 호핑 대역에 존재하는 재밍 전력은 줄어들어 시스템에 미치는 재밍의 영향이 줄어들게 된다. 따라서 톤 재밍의 개수가 늘어날수록 시스템의 BER 성능이 좋아진다. BER이 10^{-4} 에서 JSR은 0 dB이고, 톤의 개수는 1, 2, 4개일 때의 성능은 각각 약 15, 13.6, 13 dB 정도인 것을 확인할 수 있다.

그림 8은 데이터가 도약하는 대역에 항상 톤 재밍이 존재하는 경우의 BER 성능을 나타낸다. 데이터가 도약하는 위치에 항상 재밍 신호가 존재하기 때문에 시스템의 전체적인 성능은 매우 열화된다. 그리고 항상 도약하는 대역에 재밍 신호가 존재하므로 재밍 신호 크기의 영향만 받게 된다. 따라서 톤 재밍 개수가 많아질수록 재밍 신호의 전력은 줄어든다. 그러므로 재밍이 시스템에 미치는 영향이 줄어들어

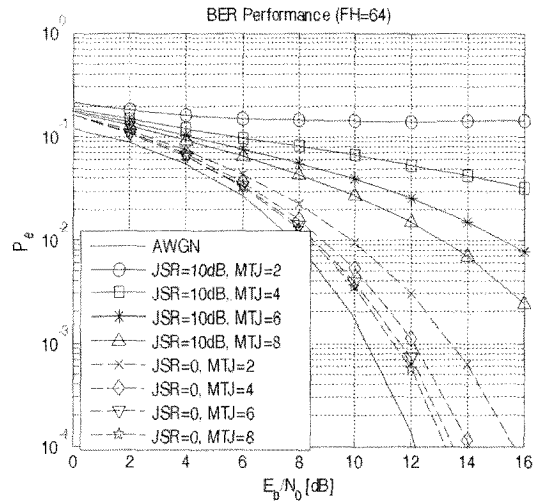


그림 8. 톤 재밍 채널에서 BER 성능
Fig. 8. BER when MTJ is always in the data hopping channel.

BER의 성능이 더욱 좋아진다.

그림 9는 부분 대역 재밍이 일정 대역에 고정되어 있는 경우에 시스템의 BER 성능을 나타낸다. 전체 재밍 전력은 일정하다는 가정하에 재밍 대역이 증가하면 각각의 재밍 전력은 줄어들어 전송 신호에 미치는 재밍의 영향이 줄어들므로, 낮은 JSR에서는 JFR이 증가함에 따라서 시스템의 BER 성능이 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 그러나 높은 JSR에서 재

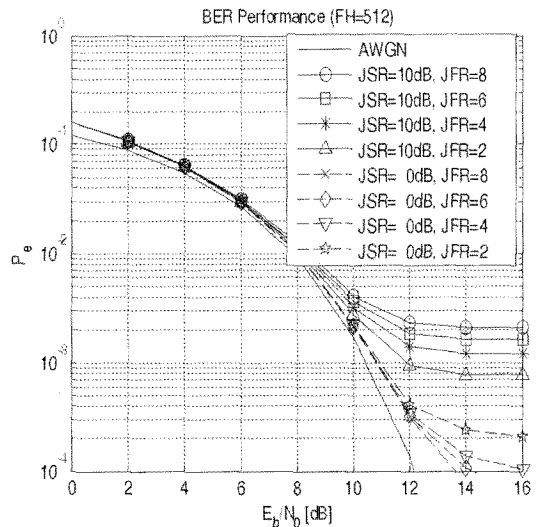


그림 9. 부분 대역 재밍의 JFR에 따른 BER 성능
Fig. 9. BER performance according to JFR of PBJ.

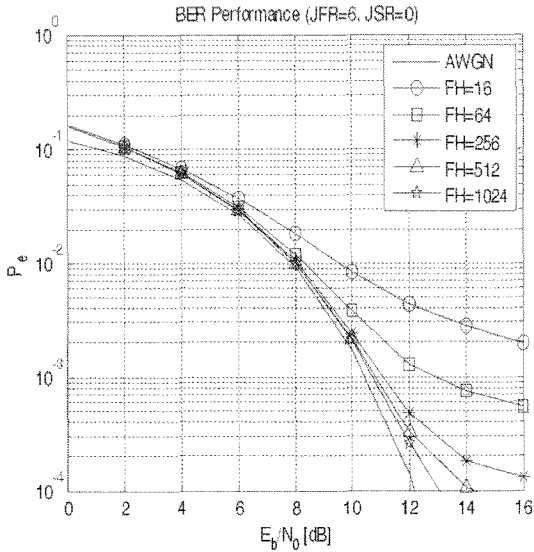


그림 10. 호핑 채널 개수에 따른 부분 대역 재밍의 BER 성능
 Fig. 10. BER according to the number of hopping channels of PBJ.

밍 전력의 영향이 매우 크기 때문에 IDFT 과정을 거친 후에도 그 영향이 크므로 JFR이 증가할수록 BER 성능이 열화된다.

그림 10은 부분 대역 재밍 신호가 일정 위치에 고정되어 있는 경우를 고려한 BER 성능 결과이다. 주

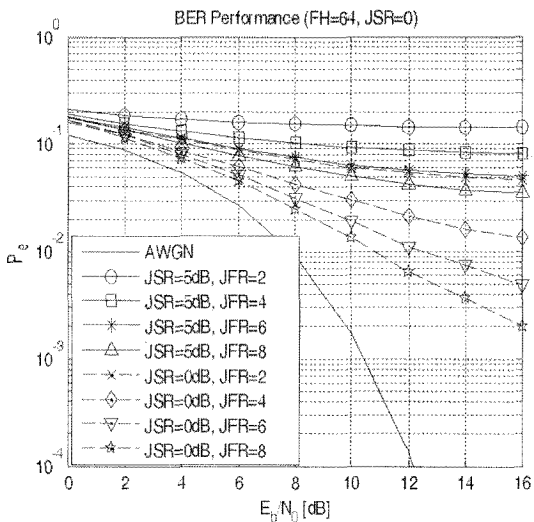


그림 11. 항상 부분 대역 재밍의 영향을 받는 경우의 BER 성능
 Fig. 11. BER when PBJ is always in the data hopping channel.

파수 도약 대역의 개수가 1,024일 때 부분 대역 재밍에 관한 시스템의 성능이 BER이 10^{-4} 에서 13 dB 정도로서 QoS를 만족하는 것을 알 수 있다. 주파수 도약의 개수가 더욱 많아진다면 BER 성능은 더욱 좋아질 것이다.

그림 11은 데이터가 호핑하는 대역에 항상 부분 대역 재밍 신호가 각각 존재하는 경우의 시스템의 BER 성능을 나타낸다. 데이터가 도약하는 위치가 항상 재밍 신호가 존재하는 대역이기 때문에 재밍이 일정 대역에 고정되어 있는 경우보다 시스템의 전체적인 BER 성능은 매우 열화된다. 그리고 항상 도약하는 대역에 재밍 신호가 존재하므로 BER의 성능은 재밍 신호의 크기에 의해서만 영향을 받는다. 따라서 JFR이 커질수록 재밍 신호의 전력은 줄어들게 되므로 시스템에 미치는 재밍의 영향이 줄어들어 BER의 성능이 더욱 좋아진다.

V. 결론

본 논문에서는 재밍 채널에서 DFT-spread OFDM 시스템에서 채널 추정을 위해 사용되는 파일럿의 형태에 따라 다시 증가되는 PAPR 문제를 해결하고자 SLM 기반의 DFT spread OFDM 기법을 적용하여 파일럿을 사용하지 않은 DFT spread OFDM만 전력 효율을 향상시켰다. 그리고 comb type 파일럿 신호와 SLM 기법의 부가 정보를 효율적으로 전송하기 위해서 부가 정보를 파일럿 신호에 실어 전송하는 방법을 함께 제시하고, HPA를 통과시켰을 경우에 PAPR 저감에 따른 시스템 BER 성능의 향상을 보였다. 또한 재밍과 의도적인 간섭에 대해서 MTJ, PBJ로 인한 시스템의 성능 열화를 보였으며, 확산 스펙트럼 기법 중 하나인 FH 방법을 사용하여 도약하는 대역의 개수가 증가할 때마다 재밍에 대해 성능이 향상됨을 보였다.

참고 문헌

[1] L. J. Cimini, Jr., "Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency division multiplexing", *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 33, no. 7, pp. 665-675, Jul. 1985.
 [2] H. G. Myung, J. -L. Pan, R. Olesen, and D. Grieco,

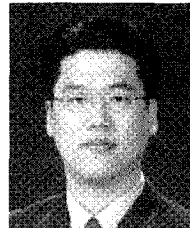
- "Peak power characteristics of single carrier FDMA MIMO precoding system", *IEEE Vehicular Technology Conference(VTC) 2007 Fall*, Baltimore, USA, Oct. 2007.
- [3] S. H. Müller, J. B. Huber, "OFDM with reduced peak-to-average power ratio by optimum combination of partial transmit sequences", *Elect. Lett.*, vol. 33, issue 5, pp. 368-369, Feb. 1997.
- [4] L. J. Cimini, Jr., N. R. Sollenberger, "Peak-to-average power ratio reduction of an OFDM signal using partial transmit sequences", *IEEE Commun. Lett.*, vol. 4, issue 3, pp. 86-88, Mar. 2000.
- [5] S. H. Müller, J. B. Huber, "A comparison of peak power reduction schemes for OFDM", *Proc. IEEE GLOBECOM '97*, Phoenix, AZ, vol. 1, pp. 1-5, Nov. 1997.
- [6] R. W. Bäuml, R. F. H. Fisher, and J. B. Huber, "Reducing the peak-to-average power ratio of multicarrier modulation by selected mapping", *Elect. Lett.*, vol. 32, issue 22, pp. 2056-2057, Oct. 1996.
- [7] Sang-Woo Kim, Jin-Kwan Kim, and Heung-Gyoon Ryu, "A computational complexity reduction scheme using Walsh Hadamard sequence in SLM method", *IEEE Communications, Circuits and Systems Proceedings, 2006 International Conference*, vol. 2, pp. 762-766, Jun. 2009.
- [8] S. De Fina, "Comparison of FH-MA communications using OFDM and DS-MA systems for wideband radio access", *Universal Personal Communications, 1998. ICUPC'98, IEEE 1998 International Conference*, vol. 1, pp. 143-147, Oct. 1998.
- [9] T. Shigehiko, R. Mino, S. Hara, and Y. Hara, "Performance comparison of OFDM-FH and MC-CDM in single- and multi-cell environments", *Vehicular Technology Conference*, May-Jun. 2005.
- [10] Jun Luo, J. H. Andrian, Chi Zhou, "Bit error rate analysis of jamming for OFDM systems", *Wireless Telecommunications Symposium*, pp. 1-8, Apr. 2007.

김 장 수



2009년 2월: 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 (공학사)
 2009년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 무선 통신 시스템, 위성통신, B3G/4G 이동 통신 시스템

이 승 준



2003년 3월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년~현재: LIG넥스원 주임연구원
 [주 관심분야] 이동형 위성추적 안테나 제어시스템, 안정화 시스템, 위성 통신

유 흥 균



1988년~현재: 충북대학교 전자공학 교수
 2002년 3월~2004년 2월: 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장
 1996년~현재: IEEE, IET 논문 심사위원
 2002년: 한국전자과학회 학술상 수상
 2008년: ICWMC 2008 국제학술대회 "Best Paper Award" 수상
 [주 관심분야] 무선 통신 시스템, 위성 통신, B3G/4G 이동 통신 시스템, 통신회로 설계 및 통신 신호 처리

고 동 국



1986년 9월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1986년~2003년: 금성정밀/LG이노텍 책임연구원
 2003년~현재: LIG넥스원 수석연구원/팀장
 [주 관심분야] 이동 통신형 위성단말, JTDLS 데이터 링크, MUAV 위성 데이터 링크