

# 능동형 항재밍 성능을 위한 SLM 기반의 DFT spreading OFDM 시스템의 설계 및 분석

준회원 김 장 수\*, 정회원 유 흥 균\*, 이 승 준\*\*, 고 동 국\*\*

## Design and Evaluation of SLM-based DFT spreading OFDM System for Active Anti-Jamming Performance

Jangsu Kim\* *Associate Member*,  
Heung-Gyoon Ryu\*, Seung-jun Lee\*\*, Dong-Kuk Ko\*\* *Regular Members*

### 요 약

OFDM (orthogonal frequency division multiplexing)의 높은 PAPR (peak to average power ratio)을 해결하기 위해 DFT (discrete Fourier transform) spreading OFDM 기법이 많이 사용된다. 그러나 채널 추정을 위한 파일럿의 형태가 comb type으로 요구되면서 PAPR이 다시 증가하기 때문에 본 논문에서는 증가된 PAPR을 효과적으로 낮추기 위하여 comb type 파일럿을 사용하는 DFT spreading OFDM 시스템에 SLM (selective mapping) 기법을 적용하였다. 그리고 재밍 환경에서 SLM의 효과적인 부가정보(SI: side information)를 전송하기 위한 방법을 제시한다. 본 논문에서는 의도적인 재밍신호나 간섭에 대하여 취약한 SLM 기반의 DFT spreading OFDM 시스템을 보완하고 성능을 개선시키고자 DFT 과정 이후에 재밍정보를 바탕으로 adaptive sub-carrier allocation 방법을 사용하여 재밍의 영향을 줄이고자 하였다. 시뮬레이션을 통해서 성능을 확인 하였으며, MTJ (multi tone jamming), PBJ (partial band jamming)의 재밍 환경에서 성능을 비교 분석하였다.

**Key Words** : DFT spreading OFDM, SLM, Anti-jamming, Adaptive sub-carrier allocation

### ABSTRACT

DFT (discrete Fourier transform) spread OFDM is used a lot to solve high PAPR problem of OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) system. However, PAPR is increased again in DFT spreading OFDM system when comb type pilot is inserted because comb type allocation of pilot is needed to estimate channel characteristics. So, in this paper, we apply a SLM (selective mapping) method to DFT spreading OFDM system to reduce increased high PAPR characteristics. And we suggest an effective method to transmit side information without additional bandwidth. Also, we propose an adaptive carrier arrangement method to supplement system which is weak to intentional interference or jamming and to improve system performance against interference or jamming. We would like to analyze proposed SLM based DFT spreading OFDM system using adaptive carrier arrangement method. And we compare and analyze system performance through simulation under MTJ (multi-tone jamming) and PBJ (partial band jamming) environments.

\* 충북대학교 전자공학과(ecomm@cbu.ac.kr)

\*\* LIG넥스원 통신연구센터

논문번호 : KICS2010-06-276, 접수일자 : 2010년 6월 22일, 최종논문접수일자 : 2010년 9월 29일

### I. 서 론

상향 링크의 전력 효율 측면에서 DFT spreading 기법은 비교적 단순한 구조에 매우 높은 PAPR 저감 효과로 인하여 널리 사용된다. PAPR 저감 효과와 주파수 영역에서의 사용자 할당 및 수신구조가 단순해 지므로 기존 OFDM에 비하여 매우 많은 장점을 가지게 된다. 하지만 블록 타입 파일럿을 통해서 이동 수신 환경에서의 채널 추정이 어렵기 때문에 comb 타입이나 scatter 타입 파일럿을 사용할 수 밖에 없는데, 심볼 데이터 사이에 파일럿을 comb 타입이나 scatter 타입으로 할당을 하게 되면 시스템의 PAPR이 다시 증가 함으로써 성능열화를 가져온다. 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위해 DFT spreading OFDM 시스템에서 comb type 파일럿을 사용하면서도 PAPR을 저감할 수 있는 SLM 기법을 제안한다. 기존의 일반적인 SLM방법은 side information을 추가적인 대역에 실어 보냄으로써 스펙트럼효율의 감소를 가져왔으나, 부가정보를 파일럿 신호에 실어 전송하는 방법을 제안함으로써 부가정보를 보내기 위한 추가적인 대역과 통신품질의 저하 없이도 SLM 기법의 사용이 가능하다.

그리고 통신 기술이 발달할수록 항재밍 통신시스템에 관한 관심이 증대되고 있다. DFT spreading OFDM도 전자적 재머나 간섭에 의해 성능이 매우 열화 되는 단점이 존재한다. 특히 SLM 기법은 부가정보가 가장 낮은 PAPR 특성을 갖는 branch에 대한 정보를 포함하고 있으므로 부가정보의 보존이 매우 중요하다. 그리고 DFT spreading OFDM system에서 발생한 데이터 신호가 DFT 과정을 거치면서 전체의 부반송파에 spread 되는데, 이 때 특정 위치에 재밍 신호가 존재한다면 그 위치의 재밍 신호는 수신단에서 IDFT 과정을 거치면서 모든 부반송파에 spread 되어 성능열화의 원인이 된다. 따라서 본 논문에서는 이와 같은 문제를 해결하고자 DFT 과정 이후에 adaptive sub-carrier allocation 방법을 사용하여 데이터가 재밍으로부터 받는 영향을 줄였다. MTJ와 PBJ 환경하에서 제안한 adaptive sub-carrier allocation 방법을 사용하는 SLM based DFT spreading OFDM 시스템의 시뮬레이션을 통하여 시스템의 성능을 분석하고 성능향상을 보였다.

### II. SLM 기반의 DFT spreading OFDM 시스템

그림 1은 제안된 SLM 기반의 DFT spreading OFDM

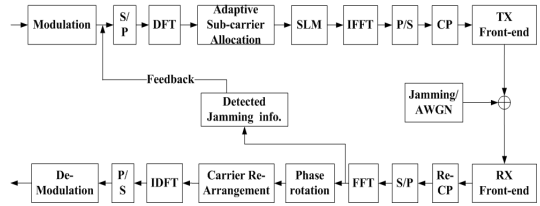


그림 1. 제안된 SLM 기반의 DFT-spreading OFDM 시스템. Fig. 1. A proposed SLM based DFT-spreading OFDM system.

시스템의 블록 다이어그램이다. 시스템은 block type pilot과 comb type pilot을 동시에 사용한다. 일정한 데이터 몇 심볼마다 한번씩 block type pilot 심볼을 전송함으로써 재밍신호와 보내고자 하는 부가정보의 위치에 관한 정보를 획득할 수 있다.

블록타입 파일럿을 통해서 파악한 재밍 신호와 부가정보에 대한 정보가 송신단으로 feedback 되는데 그 정보는 표 1의 코드북과 같이 재밍의 형태, 세기, 위치정보와 부가정보 S<sub>4</sub>의 위치정보이다. 재밍신호 정보를 feedback 하는 이유는 재밍신호 정보를 바탕으로 adaptive sub-carrier allocation 방법을 사용하기 위함이고, 부가정보 S<sub>4</sub>를 전송하는 이유는 고정된 위치의 부가정보가 동시에 재밍신호의 영향을 받을 경우를 고려하여 재밍신호의 위치를 고려한 부가정보 S<sub>4</sub>를 통해서 SLM의 전송된 branch를 찾아내기 위함이다. 예를 들어 코드번호 1528에서 1은 재밍의 형태인 MTJ를 나타내며 5는 재밍신호 세기의 6등급 중에서 2번째를 의미한다. 그리고 28은 재밍신호가 존재하는 부반송파의 위치를 나타낸다. Feedback 된 재밍신호 정보를 바탕으로 adaptive sub-carrier allocation 방법을 사용하여 재밍의 영향을 줄일 수 있다. 일반적인 SLM 기법은 부가정보를 삽입하기 위해서 추가적인

표 1. 코드북을 이용한 재밍정보 및 부가정보 전달. Table 1. Feedback of jamming information and side information by codebook.

	1 (MTJ)			2 (PBJ)				3 (S <sub>4</sub> )	
	재밍신호세기 (Low → High)			재밍신호세기 (Low → High)				Side info.	
	4	5	9	4	5	...	9	0	
부 반 송 파	01	1401	1501	1901	2401	2501		2901	3001
	02	1402	1502	1902	2402	2502		2902	3002
	...	...	...	...	...	...	..	...	...
	28	1428	1528	1928	2428	2528	..	2928	302
	29	1429	1529	1929	2429	2529	..	2929	302
	...	...	...	...	...	...	..	...	...
	64	1464	1564	1964	2464	2564	..	2964	3064

부가대역이 필요하게 된다. 따라서 전송할 수 있는 데이터의 bit 수가 줄어들고 spectral loss를 야기시킬 수 있으며, frequency selective channel에서 부가정보 위치의 채널 상황이 좋지 않다면 잘못된 부가정보 수신으로 인해 송수신의 어려움을 겪는다. 그리하여 부가정보를 보존하기 위한 다른 기법의 적용이 필요하게 되는데, 이러한 단점을 극복하고자 본 논문에서는 파일럿 신호를 이용하여 부가정보를 송수신하는 그림 2와 같은 방법을 사용하였다.

재밍 정보를 바탕으로 데이터를 변조와 S/P 후의 입력 심볼 시퀀스  $y$ 는 다음과 같다.

$$y = [y_0, y_1, \dots, y_{M-(No. jam)-1}]^T \quad (1)$$

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

$$Y_L = \frac{1}{\sqrt{M-(No. jam)}} \sum_{m=0}^{M-(No. jam)-1} y_m \cdot e^{-j2\pi mL/M}, \quad (2)$$

$(L = 0, 1, \dots, M - (No. jam) - 1).$

Adaptive sub-carrier allocation 방법으로 재밍 신호가 존재 하지 않는 부반송파에 DFT spread 된 데이터를 할당하고 그 외에는 0을 매핑하여  $Y_k$ 의 시퀀스 생성한다.

$$Y_k = [Y_{L0}, Y_{L1}, 0, \dots, 0_{(No. jam)-1}, \dots, Y_{L(M-(No. jam)-1)}]^T \quad (3)$$

따라서 식 (3)의 DFT spreading 변환된 입력 심볼  $Y_k$ 는 서로 다른  $U$ 개의 위상 회전 시퀀스  $P_U$ 와 곱해져  $U$ 개의  $D_U$ 를 형성한다.  $D_U$ 와 위상 회전 시퀀서  $P_U$ 는 다음과 같다.

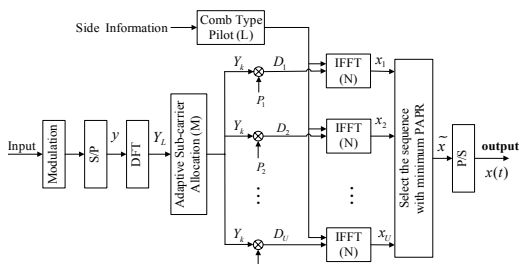


그림 2. 부가 정보를 효과적으로 전송하기 위한 SLM 방식. Fig. 2. A SLM method for effective transmission of side information.

$$D_U = [Y_k \cdot P_U] = [Y_{k0} \cdot P_{U0}^U, Y_{k1} \cdot P_{U1}^U, \dots, Y_{k(M-1)} \cdot P_{U(M-1)}^U]^T \quad (4)$$

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

$P_U$ 의 각각의 위상 회전 값은  $\beta_v^u = e^{+j\phi_v^u}$ 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.

그리고 나서 각각의 위상 회전된  $D_U$ 신호에 그림 3과 같이 부가정보를 포함하고 있는 파일럿 신호를 삽입함으로써 앞서 언급한 일반적인 SLM 기법보다 throughput, bandwidth efficiency를 향상시킬 수 있다. 그때의 신호는  $D_{U-pilot}$ 로 표현 가능하다.

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

여기서  $h$ 와  $i$ 는 차례대로 전체 파일럿 수와 부가정보의 수를 의미한다.

그림 3은 한 심볼내의 데이터와 파일럿의 구성, 그리고 부가정보의 전송에 관한 그림을 나타낸다. 예를 들어 파일럿을 4개 사용하고 SLM 위상 시퀀스의 개수가 4개인 경우에, 파일럿 신호는 데이터  $D_U$ 사이에 배치하고 파일럿 신호의 일부를 동시에 부가정보로 이용한다.

부가정보는 표 2와 같이  $S_1, S_2, S_3, S_4$ 로 이루어 지는데  $S_1$ 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

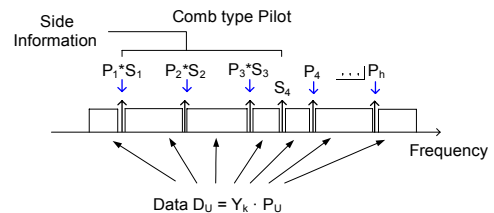


그림 3. 제한된 파일럿과 부가정보 삽입 방법의 예시. Fig. 3. Example of proposed insertion method of side information and pilot.

표 2. 부가정보 인덱스  
Table 2. Side information index.

SLM branch	Side information			
	S1	S2	S3=S1 ⊕ S2	S4
1	1	1	-1	1+1i
2	1	-1	1	1-1i
3	-1	1	1	-1+1i
4	-1	-1	-1	-1-1i

OR 한 S<sub>3</sub>를 이용하여 에러를 정정함으로써 SLM의 부가정보의 정확한 수신 확률을 높인다. 그러나 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> 중에서 동시에 2개 이상이 재밍신호의 영향을 받는다면 데이터의 송수신 어려워진다. 따라서 S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>를 복소수로 형태로 표현한 S<sub>4</sub>를 전송해줌으로써 부가정보 손실로 인한 성능열화를 줄일 수 있다. 특히, S<sub>4</sub>의 위치는 재밍신호정보를 바탕으로 재밍신호의 위치를 피해 랜덤하게 결정되는데 표 1에서와 같이 위치에 대한 정보가 재밍신호의 정보와 함께 코드북으로 전달된다. 따라서 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> 중에서 2개 이상의 부가정보가 재밍신호로 인해 왜곡되어도 S<sub>4</sub>를 이용하여 정확한 SLM의 branch를 찾을 수 있다.

파일럿이 삽입된 후의 신호 D<sub>U-pilot</sub>을 간략히 표현하면 다음과 같다.

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

D<sub>U-pilot</sub>는 IFFT 하게 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 N은 부반송파 수이고, T<sub>s</sub>는 심볼주기, n 번째 부반송파 주파수는 f<sub>k</sub>=k / NT<sub>s</sub>이다. 그리고 t=nT<sub>s</sub>이기 때문에 전송되는 송신 신호는 다음과 같이 표현 가능하다.

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

U개의 IFFT이후의 신호 X<sub>U</sub> 중에서 가장 낮은 PAPR을 갖는 심볼 X(t)을 선택하여 데이터를 전송함으로써 DFT spreading OFDM기법에서 파일럿을 comb type으로 삽입함에 따라서 증가된 PAPR을 저감할 수 있다.

생성된 x중에서 식 (11)과 같이 가장 작은 PAPR을 갖는 심볼 x(t)을 선택하여 전송한다.

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

이 때의 송신 신호 s(t)는 다음과 같이 표현된다.

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

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

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

여기서 n(t)는 평균이 0인 가우시안 확률밀도 함수이며, 전력은 σ<sub>n</sub><sup>2</sup>이다. f<sub>c</sub>(t)는 부반송파 주파수이다. 그리고 j(t)는 채널을 통과하며 더해지는 재밍 신호이다. 그리고 잡음신호 또는 재밍신호에 어떤 신호가 곱해져도 그 신호는 여전히 잡음신호 또는 재밍신호이므로 N(t)와 J(t)로 표현하기로 한다.

수신단에서는 송신단의 역순으로 FFT의 처리과정을 거친 후에 수신된 부가정보를 통해서 전송된 위상 시퀀스의 인덱스를 추정하여 송신단에서 가장 낮은 PAPR을 갖게 만드는 위상 시퀀스를 찾아내고 그것을 다시 데이터에 곱해줌으로써 전송된 SLM branch를 찾게 된다. 그 이후에는 재밍신호가 존재하는 부반송파의 위치에 데이터를 실어 보내지 않고 0으로 매핑하였기 때문에 그 위치의 수신된 데이터를 제외한 나머지 부반송파의 데이터를 IDFT 함으로써 전송한 데이터의 복조가 가능하다. 따라서 Adaptive sub-carrier allocation 방법을 통해서 송수신하는 데이터는 재밍신호의 영향을 받지 않는 항재밍 특성을 갖는 시스템을 설계 가능하다.

### III. 재밍

#### 3.1 대역 잡음 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, 일부분만이 재밍 되는 경우를 부분 대역 재밍이라 한다. 부분 대역 재밍과 다중 대역 재밍은 전체 대역 중에서 일정 부분대역에만 재밍 신호가 영향을 주는 것을 의미한다. 따라서 재밍 신호의 전체 전력은 한정되어 있으므로 재밍 신호가 발생하는 대역이 넓어 질수록 재밍 신호의 전력 세기는 감소한다. 대역 잡음 재밍 경우의 식은 다음과 같다.

$$JSR = N_J / E_s, \tag{14}$$

$$\rho = \frac{W_J}{W_{SS}} \leq 1, \tag{15}$$

$$N'_J = \frac{N_J}{\rho} = \frac{P_J}{W_{SS}} \cdot \frac{W_{SS}}{W_J} = \frac{P_J}{W_J}. \tag{16}$$

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.  $\rho$ 는 JFR (jamming fractional ratio)이다.

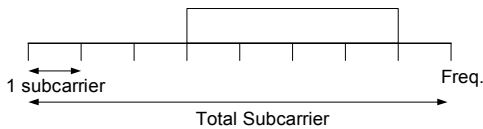


그림 6. 부분 대역 재밍의 형태.  
Fig. 6. The type of partial band jamming.

#### 3.2 톤 재밍

특정 주파수의 정현파는 주파수 축에서 하나의 톤으로 나타난다. 따라서 하나 또는 여러 개의 톤으로 이루어진 신호로 가하는 재밍을 톤 재밍이라 한다. 톤의 개수가 한 개 일 경우는 톤 재밍 신호 전력이 최대 일 경우이고 톤의 개수가 점점 늘어날수록 각각에 대한 톤 재밍 신호의 전력은 낮아진다. 하지만 각각의 톤 재밍 신호들의 전력의 합은 톤의 개수가 한 개 일 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.

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

여기서  $P_J$ 는 재밍의 전체 전력이고  $N_T$ 는 톤의 개수이며  $f_j$ 는 재밍 주파수이다.

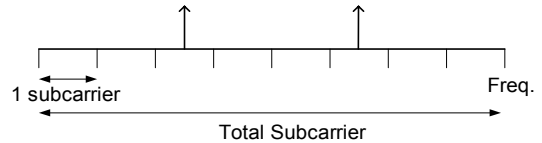


그림 7. 다중 톤 재밍의 형태.  
Fig. 7. The type of multi-tone Jamming.

### IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서는 재밍 환경에서 재밍의 정보에 따라서 Adaptive sub-carrier allocation 방법을 사용하는 SLM 기반의 DFT spreading OFDM 시스템과 기존의 SLM 기반의 DFT spreading OFDM 시스템의 성능을 비교하였다. 시뮬레이션 결과 범례의 ‘adaptive’는 Adaptive sub-carrier allocation 방법을 사용하는 SLM 기반의 DFT spreading OFDM 시스템을 의미한다. 시뮬레이션 조건은 다음과 같다.

그림 8은 여러 시스템의 PAPR 성능을 비교한 그림이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 일반적인 OFDM 시스템은 PAPR의 성능이 CCDF (complementary cumulative distribution function)의  $10^{-4}$  에서 11.2dB 정도인 것을 알 수 있다. 따라서 PAPR 저감기법인 DFT spreading OFDM 시스템에서는 일반 OFDM 시

표 3. 시뮬레이션 파라미터  
Table 3. Simulation parameters.

Parameters	Value
Sub-carrier number	64
Guard Interval (CP)	16
Number of SLM branches	4
The number of pilots	4
HPA type	SSPA
Channel	Jamming (MTJ, PBJ)

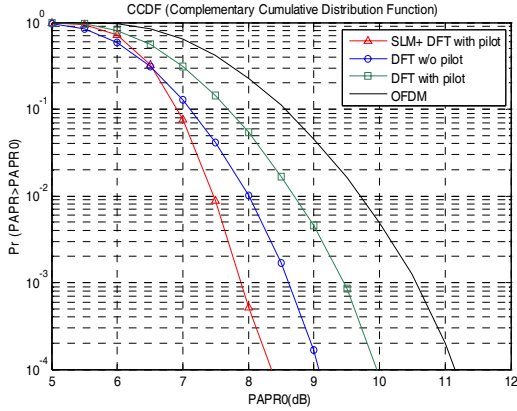


그림 8. PAPR의 비교 (16QAM).  
Fig. 8. A PAPR comparison (16QAM).

시스템보다 PAPR 특성이 약 3dB 정도 좋은 것을 확인할 수 있다. 그러나 comb type 파일럿의 사용이 요구되면서 DFT spreading OFDM 시스템에 파일럿을 부반송파 사이에 삽입하게 되면 DFT 특성에 의하여 PAPR 성능이 약 1.5dB 정도 열화 된다. 따라서 본 논문에서 제한한 4 branch SLM기반의 comb type 파일럿을 사용하는 DFT spreading OFDM을 쓰게 된다면 파일럿을 사용하지 않은 DFT spreading OFDM 시스템보다 0.7dB 정도 PAPR을 저감할 수 있다.

그림 9는 HPA를 고려한 경우에 여러 시스템들의 BER 성능을 비교한 그림이다. Back-off를 동일하게 14dB 하였을 경우의 각 시스템의 BER 성능은 OFDM 시스템의 경우가 가장 좋지 않고 그 다음으로 comb type 파일럿을 사용하는 DFT 시스템의 성능

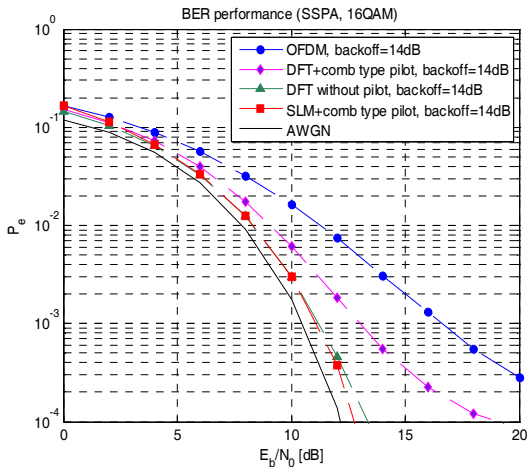


그림 9. HPA를 고려할 때 BER 성능 비교.  
Fig. 9. BER performance considering HPA.

이 좋지 않다. 그러나 comb type 파일럿을 사용하더라도 SLM기법을 사용한다면 PAPR저감 효과로 인해서 HPA를 통과한 BER 성능은 파일럿을 사용하지 않은 DFT spreading OFDM 시스템보다 좋은 것을 확인할 수 있다. 그때의 성능은 BER 10<sup>-4</sup>에서 12.8dB 정도이다.

그림 10과 11은 시스템의 데이터 변조 레벨이 16QAM인 경우에 톤재밍과 부분대역재밍이 각각 존재하는 환경에서 톤재밍 개수 또는 JFR에 따른 BER 성능을 나타낸다. DFT 이후에 adaptive sub-carrier allocation 방법을 사용하지 않는 일반적인 SLM의 경우에는 재밍신호가 존재 할 경우 성능이 매우 열화되

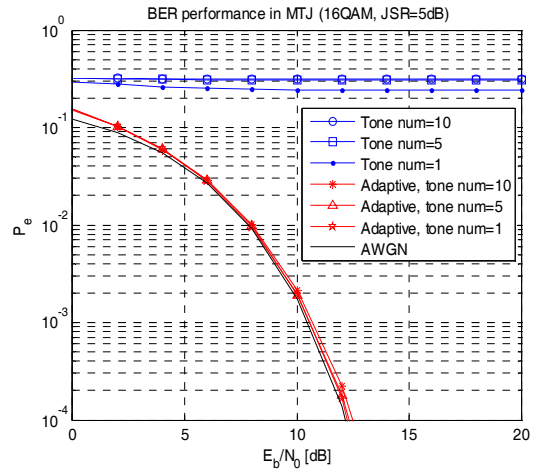


그림 10. 톤재밍 개수에 따른 BER 성능.  
Fig. 10. BER performance in MTJ according to the tone number.

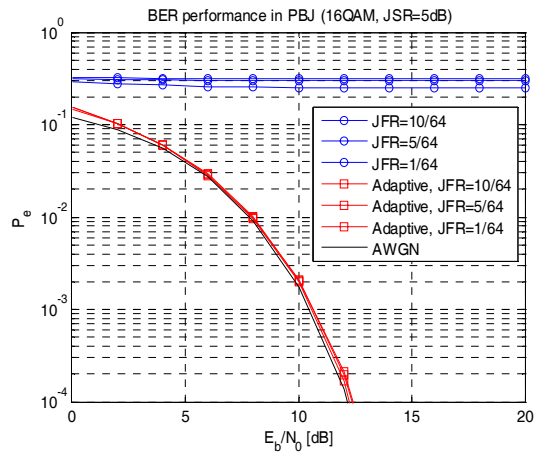


그림 11. 부분대역 재밍의 JFR에 따른 BER 성능.  
Fig. 11. BER performance of PBJ according to JFR.

어 error flow가 발생해 데이터의 송수신이 불가능해진다. 이유는 크게 두 가지인데, 첫 번째는 재밍신호가 부가정보에 영향을 주어 전송한 SLM branch 선택 오류로 인한 성능열화이다. 그리고 두 번째는, 설령 올바른 SLM branch를 선택하였다 하더라도 수신단에서 재밍신호가 IDFT 과정을 거치면서 모든 데이터에 spread 되어 영향을 주기 때문이다. 그러나 제안한 부가정보 전송 방법과 adaptive sub-carrier allocation 방법을 사용한 SLM 기반의 DFT spreading OFDM 시스템은 톤의 개수에 상관없이 BER  $10^{-4}$ 에서 QoS

(quality of service)를 만족하는 것을 알 수 있다.

그림 12와 13은 각각 톤재밍과 부분대역재밍 환경에서 DFT 이후에 adaptive sub-carrier allocation 방법을 사용한 시스템의 톤재밍 개수와 JFR에 따른 한 심볼당 유효 비트 수를 나타낸다. 톤재밍 개수 또는 JFR이 증가함에 따라 adaptive 시스템의 쓰루풋이 감소하는 것을 알 수 있는데, 그 이유는 adaptive sub-carrier allocation 방법을 사용한 시스템에서는 DFT 이후에 재밍이 존재하는 부반송파의 개수만큼 적은 데이터를 spread 하여 재밍의 위치에는 0값을 보냄으로써 BER 성능을 확보하기 때문에 그만큼 재밍의 개수가 많아질수록 전송하는 데이터의 양이 줄어들게 되어 한 심볼당 유효 비트수가 줄어들게 된다.

### V. 결론

본 논문에서는 DFT-spread OFDM 시스템에서 채널 추정을 위해 사용되는 파일럿의 형태에 따라 다시 증가되는 PAPR 문제를 해결하고자 SLM 기반의 DFT spreading OFDM 기법을 적용하여 파일럿을 사용하지 않은 DFT spreading OFDM 만큼 전력효율을 향상 시켰다. 그리고 comb type 파일럿 신호와 SLM 기법의 부가정보를 효율적으로 전송하기 위해서 부가정보를 파일럿 신호에 실어 전송하고, 파일럿에 실린 부가정보가 동시에 재밍의 영향을 받을 것을 고려하여 부가정보의 위치를 변경하는 방법을 함께 제시하였다. 제안된 SLM 기법을 통해서 HPA를 통과시켰을 경우에 PAPR 저감에 따른 시스템 BER 성능의 향상을 보였다. 그리고 adaptive sub-carrier allocation 방법을 제시함으로써 재밍의 영향을 받지 않는 능동적인 항재밍 시스템을 설계하여 BER의 성능 향상을 보였다.

### 참고 문헌

- [1] 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
- [2] R. W. Bäuml, R. F. H. Fischer, and J. B. Huber, "Reducing the peak-to-average power ratio of multicarrier modulation by selected mapping," *IEE Electronics Letters*, Vol.2, Issue 22, pp. 2056-2057, 24 Oct. 1996.

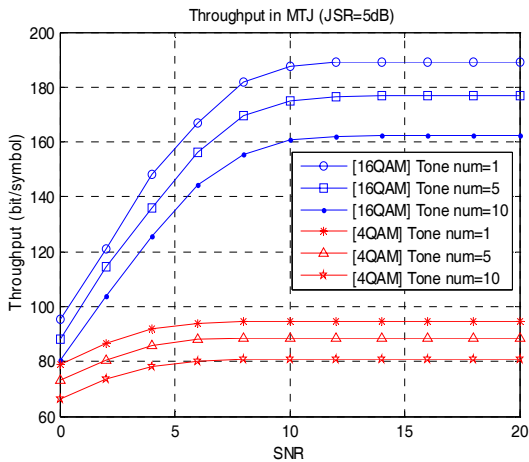


그림 12. 톤재밍 환경에서 adaptive 시스템의 톤재밍 개수에 따른 처리율.  
Fig. 12. Throughput of adaptive system in MTJ according to the tone number.

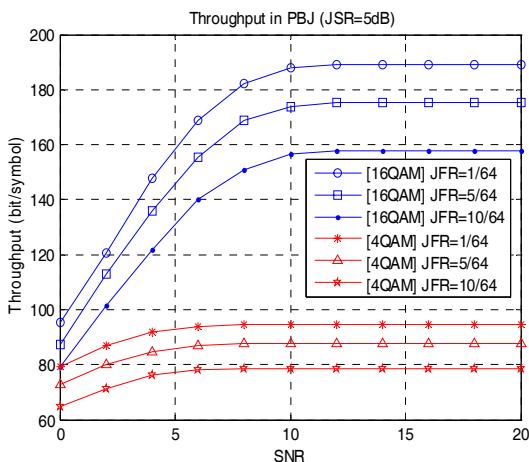


그림 13. 부분대역재밍 환경에서 adaptive 시스템의 JFR에 따른 처리율.  
Fig. 13. Throughput of adaptive system in PBJ according to JFR.



- [3] Naoto Ohkubo t, Tomoaki Ohtsuki, "Design Criteria for Phase Sequences in Selected Mapping," *IEEE Vehicular Technology Conference*, 2003, pp.373-377.
- [4] A. D. S. Jayalath and C. Tellambura, "SLM and PTS peak-power reduction of OFDM signals without side information," *IEEE Trans. On Wireless Communications*, Vol.4, No.5, pp. 2006-2013, Sept. 2005.
- [5] H. Ochiai and H. Imai, "OFDM-CDMA with peak power reduction based on the spreading sequences," *IEEE ICC 98*, pp.1299-1303, Atlanta, June 1998.
- [6] Jun Luo, Andrian, J.H, Chi Zhou, "Bit Error Rate Analysis of jamming for OFDM systems", *Wireless Telecommunications Symposium*, 2007, pp.1-8, April 2007.

김 장 수 (Jangsu Kim)

정회원



2009년 2월 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부(공학사)  
 2009년 3월부터~현재 충북대학교 전자공학과 석사과정  
 <관심분야> 무선 통신 시스템, 위성통신, B3G/4G 이동통신 시스템

유 흥 균 (Heung-Gyoon Ryu)

정회원



1988년~현재 충북대학교 전자공학과 교수  
 2002년 3월~2004년 2월 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장  
 1992년~현재 IEEE, IET 논문심사위원

2002년 한국전자과학회 학술상 수상  
 2008년 그리스 ICWMC 2008 국제학술대회 'Best Paper Award' 수상  
 2009년 프랑스 SPACOMM 2009 국제학술대회 'Best Paper Award' 수상  
 <관심분야> 이동 통신 시스템, 위성통신, 3G/4G 시스템, 통신회로 설계 및 통신 신호 처리, 등

이 승 준 (Seung-jun Lee)

정회원



2003년 3월 고려대학교 전자공학과  
 2003년~현재 LIG넥스원 주임연구원  
 <관심분야> 이동형 위성추적 안테나 제어시스템, 안정화 시스템, 위성통신

고 동 국 (Dong-Kuk Ko)

정회원



1986년 9월 경북대학교 전자공학과  
 1986년~2003년 금성정밀/LG이노텍 책임연구원  
 2003년~현재 LIG 넥스원 수석연구원/팀장  
 <관심분야> 이동통신형 위성단말, JTDLS 데이터 링크, MUAV 위성 데이터 링크