

상호 상관을 이용한 부가정보가 필요 없는 Selected Mapping 수신방법 제안

이종근*, 장대익^o

A New Selected Mapping Scheme without Side Information Using Cross-Correlation

Jong-keun Lee*, Dae-ig Chang^o

요 약

직교 주파수 분할 다중 반송파(OFDM) 방식은 다양한 장점이 있지만 최대 전력 대 평균 전력비율(PAPR)이 커서 증폭기의 비선형 왜곡에 취약하다는 단점이 존재한다. 이러한 단점을 해결하고 데이터의 손실도 방지하기 위하여 선택사상 기법이 제안되었다. 그러나 선택사상 기법은 송신단에서 위상 변형에 사용된 위상 시퀀스를 수신단에서도 알아야 되기 때문에 부가 정보를 추가하여 전송해야 한다. 이에 따라 데이터 전송효율 손실이 발생한다. 본 논문에서는 부가 정보가 필요 없는 상호 상관을 이용한 새로운 선택사상 기법의 수신기를 제안한다. 수신단이 알고 있는 송신단에서 전송할 파일럿 신호와 위상시퀀스 곱을 수신된 파일럿 신호와 상호 상관을 취하여 상호 상관 값이 가장 큰 위상시퀀스로 부가정보를 검출한다. 모의실험을 통하여 본 수신기는 기존의 방식보다 개선된 비트오류율(BER) 및 부가정보 오류확률(SIER) 성능을 보인다는 것을 확인하였다.

Key Words : Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), Selected Mapping (SLM), Side Information (SI), Peak to Average Power Ratio (PAPR), Blind Receiver

ABSTRACT

Orthogonal frequency division multiplexing(OFDM) systems have many advantages. However, OFDM systems are much affected by a nonlinear distortion because those systems have a high peak to average power ratio(PAPR) value. A selected mapping technology was suggested to reduce a PAPR value. The technology does not have data loss but receivers need side information to know modified phase sequence. Therefore, side information causes decreased a transmission efficiency. In this paper, we suggest a blind SLM receiver using a cross correlation technology. This receiver does not require side information. The proposed blind SLM receiver calculates sums of cross-correlation between transmitted pilot signals multiplied by each phase sequence and received pilot signals. So, this receiver detects side information which has a maximum sum cross-correlation value. We compared our proposed SLM receiver to a conventional blind SLM receiver through bit error rate(BER) and side information error rate(SIER) performances. Simulation results show that the proposed SLM receiver has improved BER and SIER performances than the conventional SLM receiver.

※ 본 연구는 미래창조과학부의 정보통신, 방송 연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다[No. 17ZR1300, 재난 현장 대응력 강화를 위한 위성재난통신 기술 개발].

• First Author : University of Science and Technology (UST), Department of mobile communication & digital broadcasting engineering, jklee01@etri.re.kr, 학생회원

^o Corresponding Author : Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), Satellite technology research group, dchang@etri.re.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2016-12-376, Received December 9, 2016; Revised February 27, 2017; Accepted March 14, 2017

I. 서 론

직교 주파수 분할 다중 반송파(OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing)방식은 다중 반송파를 통한 직교 전송으로 인하여 주파수 선택적 채널에 강인하며 주파수 효율적 전송이 가능한 기술이다¹⁾. 이 때문에 OFDM은 DVB 전송, WiFi, LTE 등 다양한 통신 시스템에서 응용하여 사용하고 있다. 그러나 반송파를 다중으로 분할되어 전송하기 때문에 전송신호는 상대적으로 높은 최대 전력 대 평균 전력 비율(PAPR: Peak to Average Power Ratio)을 가질 확률이 높게 된다. PAPR이 높은 신호를 전송하게 되면 전력이 평균 과 비교하여 상대적으로 높은 신호는 증폭기의 비선형 구간에서 신호의 왜곡이 발생하게 된다²⁾.

따라서 PAPR을 낮추기 위한 방식이 지속적으로 연구 되어 왔으며 다양한 방법이 존재한다³⁻⁶⁾. PAPR을 낮추는 방법 중 선택사상(SLM: Selected Mapping)방법은 데이터 및 전력 손실이 없기 때문에 많은 주목을 받아왔다. 신호가 주파수 영역에서 시간 영역으로 변화하기 전 데이터에 U 개의 위상시퀀스를 곱하여 위상이 변화된 U 개의 시퀀스를 생성하도록 한다. 그 뒤 각각의 U 개의 위상 변화 된 데이터 시퀀스를 역 고속 푸리에 변환(IFFT: Inverse Fast Fourier Transform)을 한 후 가장 낮은 PAPR을 가지는 신호를 선택하여 전송 한다⁷⁾.

그러나 이 선택사상 방법에도 단점은 존재한다. 선택사상 시스템의 송신단에서 사용된 위상 시퀀스를 수신단이 모르기 때문에 송신단에서 위상 시퀀스의 정보를 수신단에게 알려줘야 한다. 이로 인해 부가정보(SI: Side Information)가 $\log_2 U$ 만큼의 비트수가 추가로 필요하다⁸⁾. 이처럼 부가정보의 전송으로 인해 데이터 전송 효율이 저하될 뿐만 아니라 수신단에서 부가정보를 잘못 인식할 경우, BER(Bit Error Rate)에 상당한 열화가 발생한다. 따라서 부가 정보가 필요 없는 OFDM 선택사상 수신기는 지속적으로 연구가 되어왔다⁹⁻¹¹⁾.

논문⁹⁾에서는 최대 우도 기법(ML: Maximum Likelihood)을 통해 부가 정보 없이 수신단에서 수신을 할 수 있도록 하였다. 기존의 최대 우도 기법이 아닌 복잡도를 줄인 차선의 최대 우도 기법을 사용하여 위상시퀀스를 검출하였다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고 복잡도는 여전히 높은 수준이었다. 논문¹⁰⁾에서는 위상 시퀀스 검출하기 위한 파일럿 신호를 선정하고 그 신호들만 가지고 최대 우도 기법을 취하여 부

가 정보 없이 수신을 할 수 있게 하였다. 그러나 이 방법은 채널 추정을 위한 파일럿 신호의 간격을 2배로 늘리는 것이 되며 빠르게 채널이 변화하는 환경에서 채널 추정 오류를 야기 시킨다. 논문¹¹⁾에서는 상호상관 특성이 거의 0인 CAZAC(Constant Amplitude Zero Auto-Correlation) 시퀀스 중 Zadoff-Chu 시퀀스를 사용하여 위상시퀀스를 검출하려 하였다. 그러나 단순한 곱으로 위상 시퀀스를 검출하는 방식은 위상 시퀀스 검출 오류 확률이 높으며 BER 성능의 열화를 불러온다.

이러한 단점을 극복하기 위해 본 논문에서는 위상 시퀀스 검출을 위한 새로운 방법을 제안한다. 기존에 존재하였던 선택사상 방법과 마찬가지로 파일럿 신호에도 위상시퀀스를 곱하여서 전송하며, 수신단에서 알고 있는 송신단에서 전송한 파일럿 신호와 위상시퀀스 곱을 수신된 파일럿 신호와 상호상관을 취한다. 상호상관 값을 제공하여 상관 값이 제일 높은 즉, 유사도가 제일 높은 위상시퀀스를 선택하여 데이터 검출을 실시한다. 이 방식은 기존에 존재하였던 최대우도 방식보다 낮은 복잡도를 가지며 파일럿 전부를 모두 채널추정에 사용할 수 있어 채널 추정에 용이하고 정확도도 높아진다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 OFDM과 기존의 SLM 시스템 모델을 설명한다. III장에서는 상호상관을 이용한 새로운 방식의 수신기 모델을 제시한다. IV장에서는 모의실험 결과 분석을 진행하며, V장에서는 본 논문의 결론을 제시한다.

II. 선택사상 시스템 모델

이번 장에서는 OFDM 송신 방식과 PAPR 계산방법을 설명하고 부가정보가 필요한 기존의 선택사상방법⁷⁾에 대하여 설명하도록 하겠다.

N 개의 부반송파를 가지는 일반적인 OFDM 시스템을 살펴보자. 주파수 축에서 입력 데이터 심볼에 파일럿이 삽입된 신호를 $X(k)$ 라 하자. IFFT를 통하여 시간 축으로 변형된 신호가 $x(n)$ 이라하면 $x(n)$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$x(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j \frac{2\pi kn}{N}} \quad (1)$$

여기서 N 은 부반송파의 개수를 의미하며 n 은 $0 \leq n \leq N-1$ 의 범위를 가지며 $X(k)$ 는 k 번째 부

반송파를 통해 전송되는 변조된 데이터를 의미한다. IFFT를 한 후 시간 축으로 바뀐 신호 $x(n)$ 의 부 반송파 중 최대 전력 값을 가진 부반송파의 전력을 $\max [|x(n)|^2]$ 이라 하고 부 반송파들의 전력 평균값을 $E[|x(n)|^2]$ 이라고 하면 PAPR은 다음과 같이 계산된다.

$$PAPR = \frac{\max_{n \in \{1, 2, \dots, N\}} [|x(n)|^2]}{E[|x(n)|^2]} \quad (2)$$

이제부터 PAPR을 줄이기 위한 기존의 선택사상 방법을 설명하도록 하겠다. 선택 사상 방법은 길이가 N 인 U 개의 위상시퀀스를 생성한다. 파일럿 신호의 간격을 L 로 정의하며 k/L 의 몫을 m , 나머지를 l 이라고 하자. 그렇다면 채널추정을 위한 파일럿 신호가 삽입된 주파수 축에서 생성된 OFDM 송신신호는 데이터 신호와 파일럿 신호로 나뉘며 전송 신호는 다음과 같이 나타낸다.

$$X(k) = X(mL+l) = \begin{cases} X_p(m) & , l = 0 \\ X_d(mL+l) & , otherwise \end{cases} \quad (3)$$

여기서 X_p 는 파일럿 신호를 의미하며 N_p 는 파일럿 신호의 개수를 의미한다. 또한, X_d 는 데이터 신호를 의미하며 m 의 범위는 $1 \leq m \leq N_p$ 이다. 수식 (1)과 같이 시간 축으로 전송을 하기 위하여 u 개의 위상시퀀스가 곱해진 신호를 IFFT를 수행하면 N 개의 부반송파를 가진 전송신호는 다음과 같다.

$$x^u(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) P^u(k) e^{j \frac{2\pi kn}{N}} \quad (4)$$

여기서 $P^u(k)$ 는 k 번째 부반송파에 해당하는 위상 값이며 u 는 u 번째 위상시퀀스를 의미한다.

IFFT 결과로 선택사상 전송신호는 위상시퀀스를 다르게 곱해진 U 개의 신호가 생성이 된다. 시간영역으로 변화된 U 개의 신호의 PAPR을 각각 측정된 뒤 가장 작은 값의 PAPR를 가진 신호를 전송한다. 전송되는 신호를 수식으로 표현을 하자면 다음과 같이 표현된다.

$$x^{\tilde{u}}(n) = \min_{u \in \{1, 2, \dots, U\}} \left(\frac{\max_{n \in \{1, 2, \dots, N\}} [|x^u(n)|^2]}{E[|x^u(n)|^2]} \right) \quad (5)$$

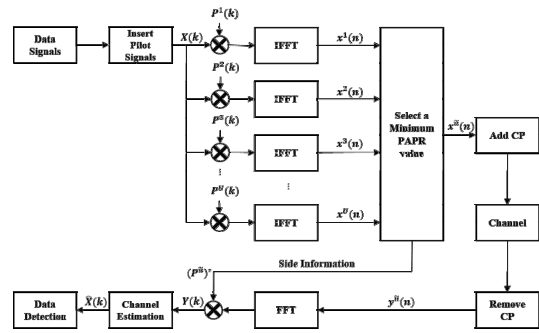


그림 1. 기존의 OFDM-SLM 시스템 구성도
Fig. 1. Original OFDM-SLM block diagram

여기서 $E[\cdot]$ 는 기댓값을 의미하며 \tilde{u} 는 전송을 하기 위하여 선택된 \tilde{u} 번째 위상시퀀스이다.

그림 1은 기존에 존재하였던 선택사상방식을 설명한 것이다. PAPR 값이 가장 작기 때문에 전송된 위상시퀀스 \tilde{u} 를 수신단으로 전송을 한다. 이 위상시퀀스 정보를 부가정보라 한다. 수신단은 수신신호를 다시 주파수 영역으로 바꾸기 위하여 고속 푸리에 변환(FFT: Fast Fourier Transform)을 수행한다. 송신단에서 전송에 사용된 위상시퀀스를 값을 나타내는 부가정보를 받은 수신단은 위상시퀀스의 켈레복소수를 수신신호에 곱한 후 복조를 진행하여 데이터를 검출한다.

III. 제안하는 선택사상 수신기법

본 장은 이 논문에서 제안한 상호상관을 이용한 부가정보가 없는 선택사상방법에 대하여 설명할 것이다. 그림 2는 제안된 부가정보 전송을 하지 않는 선택사상 수신기의 조직도를 보여준 것이다. 송신단에서 위상시퀀스가 곱해서 전송된 신호는 채널을 통하여 수신된다. 이 때 수신된 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$Y(k) = H(k) P^{\tilde{u}}(k) X(k) + W(k) \quad (6)$$

여기서 $H(k)$ 는 채널 값이며 $P^{\tilde{u}}(k)$ 는 송신단에서 사용하였던 위상시퀀스를 의미하며 $W(k)$ 는 부가 백색 가우스 잡음(AWGN : Additive White Gaussian Noise)을 의미한다. 수신단이 송신단에서 생성된 U 개의 위상시퀀스를 모두 알고 있다고 가정하면 송신한 파일럿 신호와 위상시퀀스를 곱한 값을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

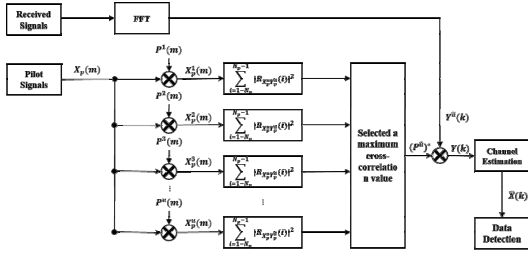


그림 2. 제안하는 OFDM-SLM 수신기 구성도
Fig. 2. Proposed OFDM-SLM receiver block diagram

$$X_p^u(m) = X_p(m)P^u(m). \quad (7)$$

이제 위상시퀀스가 곱해진 U 개의 파일럿 신호를 가지고 수신 신호의 파일럿 위치부분의 신호와 상호상관을 하여 값을 구한다. OFDM 한 심볼 안에서 계산된 상호상관 값을 각각을 제공할 한 뒤 더한다. 이 합쳐진 값 중 최대값을 선택하여 이 최대값에 해당하는 위상시퀀스를 송신단에서 사용한 위상시퀀스로 결정한다. 이 때 위상시퀀스를 찾는 방법은 다음과 같이 나타낸다.

$$\hat{u} = \max_{u \in \{1, 2, \dots, U\}} \left(\sum_{i=1}^{N_p-1} |R_{X_p^u Y_p}(i)|^2 \right) \quad (8)$$

여기서 i 는 $1 - N_p \leq i \leq N_p - 1$ 의 범위를 가지고 있으며 $R_{X_p^u Y_p}(i)$ 는 식 (7)에서 계산된 $X_p^u(k)$ 와 수신된 파일럿 신호와의 상호상관 값이며 수식은 다음과 같이 계산된다.

$$R_{X_p^u Y_p}(i) = \sum_{m=1}^{N_p} X_p^u(m+i)^* Y_p(m) \quad (9)$$

여기서 *는 켈레복소수를 의미하며 $m+i$ 는 $1 \leq m+i \leq N_p$ 의 범위를 가진다. 수신단은 파일럿 신호를 통하여 채널 추정 및 채널 보간을 실시한 후 수신 신호에 검출한 위상시퀀스에 켈레복소수를 취하여 곱해준 다음 신호를 검출하게 된다. 신호를 검출하는 방법을 최대우도기법을 사용한다면 신호는 다음과 같은 수식에 의하여 검출된다.

$$D = \min_{u \in \{1, 2, \dots, U\}} \sum_{k=0}^N \min_{\hat{X}(k) \in Q} |Y_d(k)P^u(k)^* - \hat{H}(k)\hat{X}_d(k)|^2 \quad (10)$$

여기서 Q 는 변조방식의 따른 변조된 심볼을 의미하며 $\hat{H}(k)$ 는 추정된 채널을 의미하고 $\hat{X}_d(k)$ 는 검출된 데이터 신호를 의미한다.

IV. 모의실험 결과

이 장은 모의실험을 통하여서 제안한 부가 정보 없는 선택사상 방법의 수신기 성능을 확인해 볼 것이다. 실험에 쓰인 변수들은 표1에서 나타내었다. 성능의 지표로는 BER과 SIER(Side Information Error Rate)을 가지고 기존의 기술과 제안된 기술을 비교하겠다. 여기서 SIER은 부가정보 검출에 실패할 확률을 계산한 것이다. 본 논문에 모의실험 상황은 재난시 기지국을 대신하여 위성이 단말에게 송신하는 경우를 가정한다. 따라서 채널 모델은 AWGN과 ITU NLOS(Non Line Of Sight) 위성 A 채널^[12]을 사용하여 모의실험을 진행한다. 채널 추정을 하는 방법은 LS(Least square) 방식을 사용하였으며 채널 보간은 선형 보간법을 사용하였다.

파일럿 신호는 BPSK(Binary phase shift keying) 변조방식을, 데이터 신호는 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 변조방식을 사용하였다. 파일럿 신호를 이용한 채널 추정에 실패하게 된다면 데이터 검출이 어려워지기 때문에 저차 변조방식인 BPSK를 사용하였다. 또한 본 논문이 제안하는 방식은 데이터 신호를 이용하지 않는 상호상관을 통한 방식이므로 데이터 전송을 고차 변조방식을 하더라도 SIER의 값은 같기 때문에 모의실험 상에서 추가적인 데이터 신호의 고차변조방식은 고려하지 않았다.

선택사상의 위상시퀀스는 CAZAC시퀀스인 Zadoff

표 1. 시뮬레이션 변수
Table 1. Simulation parameters

Simulation parameter	Value
Number of subcarrier	1024
Number of pilot signal	128
Number of data signal	896
Bandwidth	13.33MHz
Symbol Time	76.8 μs
Modulation	Pilot signal : BPSK, Data signal : QPSK
Number of phase sequency	U=4, 16
Channel Model	AWGN, ITU NLOS Satellite A

-Chu시퀀스를 이용하여 생성하였다^[11]. Zadoff-Chu 시퀀스는 낮은 상관특성을 가지고 있기 때문에 본 논문에서 사용하는 상호상관 방식의 효율을 증가시키기 위하여 사용하였다^[13]. 또한 증폭기는 입력 차단(BO: Input Back Off)을 사용하지 않는 $p=2$ 값을 가지는 SSPA(Solid State Power Amplifier) Rapp 모델을 사용하였다^[14].

BER 및 SIER 성능을 기존의 방식과 비교를 하기 위하여 부가정보를 검출하는 기준에 제안된 방법^[10]과 비교를 하였으며 논문^{[9],[11]}은 논문^[10]에 비하여 BER 또는 SIER 확률이 높게 나오기 때문에 비교대상에서 제외하였다. 편의상 논문^[10]은 파일럿을 사용한 방법이라고 서술하겠다.

그림 3은 1024개의 부반송파를 사용한 OFDM 시스템과 4개, 16개, 64개, 256개의 위상시퀀스를 사용한 선택사상기술을 적용한 OFDM 시스템의 PAPR 값을 비교한 값을 보여준다. 정확한 PAPR값을 계산하기 위하여 4배의 오버샘플링을 모의실험에서 추가하였다^[15]. 선택사상기술을 사용하게 되면 일반적인 OFDM 시스템보다 낮은 PAPR 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. CCDF(Complementary Cumulative Distribution Function)가 10^{-3} 을 가질때를 기준으로 위상시퀀스를 4개 사용시 2.6dB, 16개를 사용시 3.8dB, 64개를 사용시 약 3.3dB, 256개를 사용시 4.1dB의 감소된 PAPR의 CCDF 그래프를 확인할 수 있다. 즉, 선택사상 시스템에 사용되는 위상시퀀스 개수를 증가할수록 PAPR 값은 감소한다. 그러나 위상시퀀스를 증가시킬수록 송신단에서 진행할 IFFT 수가 비례하여 증가하므로 연산량이 증가하게 된다.

그림 4는 1024개의 부반송파를 사용하여 전송을

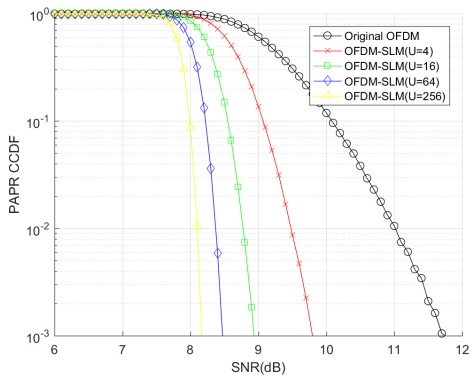
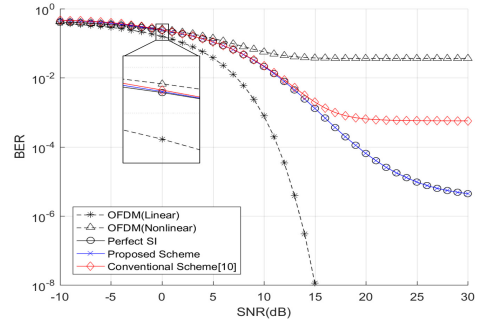
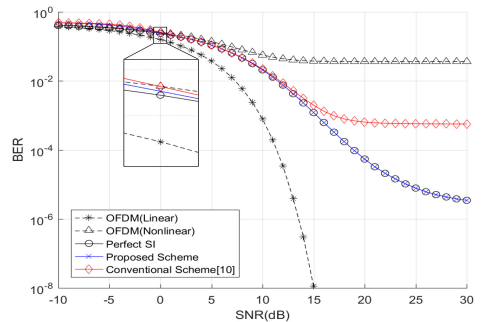


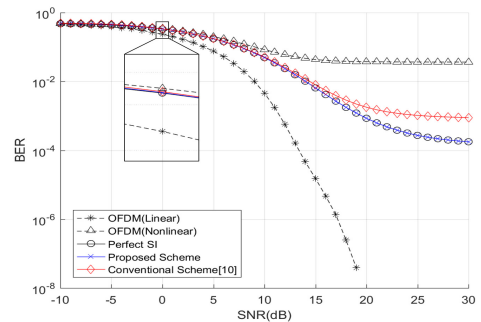
그림 3. 1024개의 부반송파를 가지며 다양한 위상시퀀스를 가진 OFDM-SLM 시스템의 PAPR 값 비교
Fig. 3. Comparison of PAPR values in the SLM systems composed 1024 FFT sizes and various phase shift sequences



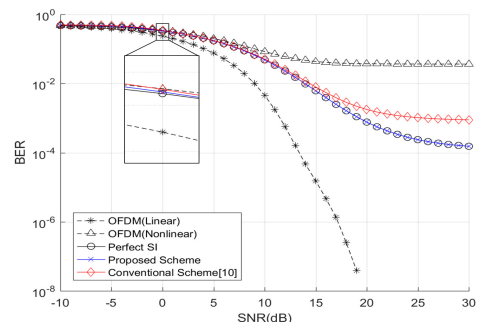
(a) AWGN channel, 4 phase sequences



(b) AWGN channel, 16 phase sequences



(c) Fading channel, 4 phase sequences



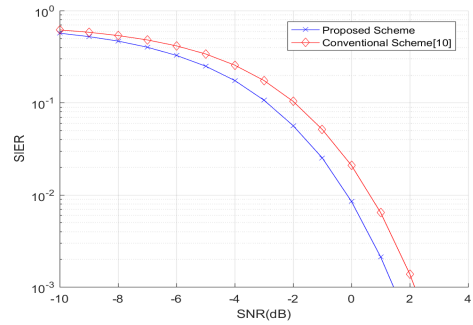
(d) Fading channel, 16 phase sequences

그림 4. 1024개의 부반송파를 가진 OFDM-SLM 시스템의 BER 성능비교
Fig. 4. Comparison of BER performances in a OFDM-SLM systems composed 1024 FFT sizes

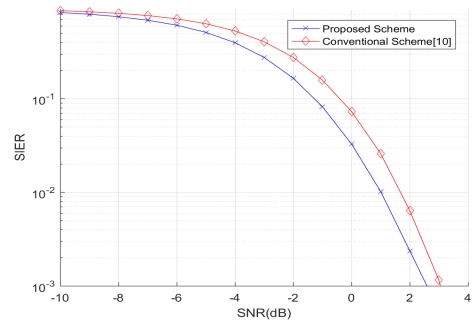
하는 OFDM-SLM 시스템의 BER 값을 나타내었다. 선택사상 기술의 유용성을 보여주기 위하여 비교대상으로 비선형 증폭기 및 선형 증폭기를 통하여 전송이 되는 일반적인 OFDM이 가지는 BER 성능도 모의실험에 추가하였다. 또한 위상시퀀스의 개수에 따라 부가정보를 제대로 검출하는지 확인하기 위하여 위상시퀀스의 개수를 4, 16개로 설정하였고 채널은 AWGN과 페이딩 채널로 모의실험을 진행하였다.

그림 4(a)는 AWGN 채널에서의 4개의 위상시퀀스를 사용한 OFDM-SLM 시스템의 BER 성능을 보여준다. 비선형 증폭기를 사용한 OFDM 시스템보다 선택사상을 사용한 OFDM 시스템의 BER 성능이 SNR 값이 증가할수록 확연하게 개선되는 것을 볼 수 있다. -2dB 이하에서는 부가정보를 제대로 검출하지 못하기 때문에 비선형 증폭기를 사용하였을 때 선택사상을 사용하지 않는 방법이 BER 성능이 좋았지만 그 이상의 SNR일 경우 부가정보를 제대로 검출하기 때문에 선택사상을 사용한 방법의 BER 성능이 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 기존의 파일럿을 사용한 부가정보 검출방법과 본 논문에서 제안한 부가정보 검출방식을 비교하자면 모든 SNR 구간에서 본 논문에서 제안한 부가정보 검출기를 사용한 기법이 BER 성능이 더 좋은 것으로 확인되었다. 더 나아가 기존의 검출기는 20dB 이상의 BER 성능의 개선이 거의 없는 반면에 본 논문에서 제안한 부가정보 검출기는 SNR이 증가할수록 BER 성능이 개선됨을 확인할 수 있다. 기존의 부가정보 파일럿을 이용하여 최대우도기법을 사용한 방식이 BER 성능을 증가시키는데에 한계가 있기 때문에 이러한 현상이 발생하는 것으로 판단된다.

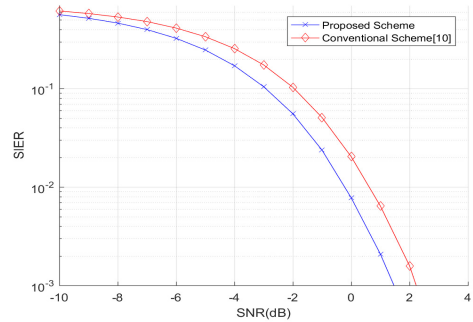
그림 4(b)의 경우에는 선택사상 기법에 사용된 위상시퀀스 개수를 4개에서 16개로 증가시켰을 때의 BER 성능을 나타낸다. 4개의 위상시퀀스를 사용하였을 때와 거의 유사한 경향을 보이지만 위상시퀀스가 증가하였기 때문에 부가정보 검출 성능이 떨어지며 이에 따라 BER 성능도 감소하였다. 따라서 약 0dB까지는 일반적인 OFDM 시스템의 성능이 더 좋았지만 그 이상의 SNR의 경우 부가정보 검출기를 가진 선택사상 기법을 사용하였을 때의 BER 성능이 더 좋게 나타났다. 또한 제안된 수신기와 기존의 부가정보 파일럿을 이용한 수신기를 살펴보자면 위상시퀀스가 4개인 경우와 비교하여 16개인 경우에 0dB SNR 기준으로 BER 성능이 더 많이 개선된 것을 확인할 수 있다. 즉, 부가정보 파일럿을 사용한 방식보다 본 논문에서 제안한 방식이 위상시퀀스가 증가함에 있어서



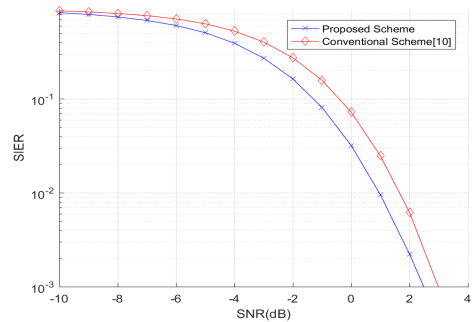
(a) AWGN channel, 4 phase sequences



(b) AWGN channel, 16 phase sequences



(c) Fading channel, 4 phase sequences



(d) Fading channel, 16 phase sequences

그림 5. 1024개의 부반송파를 가진 OFDM-SLM 시스템의 SIER 성능비교
Fig. 5. Comparison of SIER performances in a OFDM-SLM systems composed 1024 FFT sizes

더 낮은 성능 감소율을 보인다.

그림 4(c), (d)는 AWGN 채널이 아닌 페이딩 채널을 사용하여 모의실험을 진행하였다. 이 때의 위상시퀀스 개수는 (c)는 4개, (d)는 16개로 설정하였다. 페이딩 채널을 사용하였기 때문에 전체적인 BER 성능이 감소하였다. 선택사상을 사용하지 않는 OFDM 시스템일 경우 페이딩 채널에 대한 BER 손해보다 비선형 왜곡에 대한 BER 손해가 더 크기 때문에 AWGN 채널에 비하여 BER 성능의 차이가 거의 없었다. 하지만 선택사상을 사용한 시스템의 경우에는 BER의 성능이 저하된 것을 확인할 수 있다. 페이딩 채널에서도 AWGN 채널과 마찬가지로 기존에 파일럿을 이용하여 부가정보를 검출한 수신기의 BER 성능의 한계가 있음을 확인할 수 있다. 또한 위상시퀀스가 증가함에 따라서 BER 성능이 3dB이하에서는 약간 감소하는 것을 볼 수 있다. 더 나아가 AWGN 채널과 마찬가지로 페이딩 채널에서도 위상시퀀스에 증가에 따른 BER 성능 열화가 제안된 수신기가 더 낮은 정도를 가진다는 것을 확인할 수 있다.

그림 5는 제안된 선택사상 검출기와 기존의 파일럿을 이용한 선택사상 검출기의 SIER 성능을 모의 실험하여 나온 결과이다. 같은 AWGN 채널이지만 위상시퀀스 개수가 다른 그림 5(a)와 그림 5(b)를 비교하자면 위상시퀀스가 4개에서 16개로 증가함에 따라서 SIER의 값을 10^{-3} 이하로 가지기 위한 SNR 값이 모든 블라인드 SLM 수신기에서 약 1dB 정도 손해를 가진다는 것을 볼 수 있다. 이러한 경향은 페이딩 채널인 그림 5(c)와 그림 5(d)를 통해서도 같다는 것을 확인할 수 있다. 또한 모든 모의실험에서 기존에 제시된 부가정보 검출 방식보다 제안된 검출 방식이 10^{-3} 의 SIER 값을 기준으로 약 0.5dB의 SNR 이득이 있음을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 부가 정보가 없는 새로운 선택사상 수신기 구조를 제안하였다. 기존에 존재하였던 최대우도방식을 응용한 것, 부가정보 검출을 위한 파일럿을 사용하는 방식이 아닌 파일럿 신호와의 상호상관 방식을 적용하여 부가정보를 검출하였다. 제안한 부가정보 검출방식을 기존에 제안되었던 부가 정보가 없는 선택사상 수신기와 BER과 SIER 성능을 비교하였다. 비교 결과 모든 모의실험 결과에서 기존의 부가정보 파일럿을 사용하여 위상시퀀스를 검출하는 방법보다

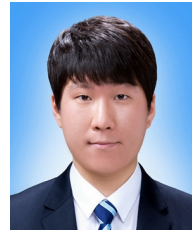
10^{-3} 의 SIER값을 기준으로 SNR 이득이 약 0.5dB 있으며 그에 따른 BER 성능의 개선이 있다는 것을 증명하였다. 또한 기존의 선택사상 수신기와 달리 제안된 선택사상 수신기는 SNR값이 증가함에 따라서 BER 성능의 포화를 보이지 않았으며 위상시퀀스가 증가함에 따른 BER 성능 열화도 더 적음을 확인하였다.

References

- [1] L. Hanzo, M. Munster, B. J. Choi, and T. Keller, *OFDM and MC-CDMA for broadband multi-user communications, WLANs and broadcasting*, 1st Ed., Wiley, 2003.
- [2] C. P. Liang, J. H. Jong, W. E. Stark, and J. R. East, "Nonlinear amplifier effects in communications systems," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 47, no. 8, pp. 1461-1466, Aug. 1999.
- [3] Y. Rahmatallah and S. Mohan "Peak-to-average power ratio reduction in OFDM systems: A survey and taxonomy," *IEEE Commun. Surveys & Tuts.*, vol. 15, no. 4, pp. 1567-1592, Jan. 2013.
- [4] Y. Shang, H. Kim, H. Kim, and T. Jung, "New PAPR reduction method for spatial modulation," *J. KICS*, vol. 39, no. 1, pp. 12-18, Jan. 2014.
- [5] M. H. Jang and K. H. Kim, "Pilot tone design for PAPR reduction in OFDM systems based on compressed channel sensing," *J. KICS*, vol. 40, no. 5, pp. 806-808, May 2015.
- [6] C. An and H. Ryu, "BER performance comparison and evaluation of 5G candidate waveforms based on DFT spreading under the nonlinear HPA," *J. KICS*, vol. 41, no. 4, pp. 415-423, Apr. 2016.
- [7] R. W. Bauml, R. F. H. Fischer, and J. B. Huber, "Reducing the peak-to-average power ratio of multicarrier modulation by selected mapping," *Electron. Lett.*, vol. 32, no. 22, pp. 2056-2057, Oct. 1996.
- [8] S. H. Muller and J. B. Huber, "A comparison of peak power reduction schemes for OFDM," in *Proc. IEEE GLOBECOM 97 (IEEE GC97)*,

- pp. 1-5, Arizona, USA, Nov. 1997.
- [9] A. D. S. Jayalath and C. Tellambura, "SLM and PTS peak-power reduction of OFDM signals without side information," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 4, no. 5, pp. 2006-2013, Sept. 2005.
- [10] J. H. Park, E. P. Hong, and D. S. Har, "Low complexity data decoding for SLM-based OFDM systems without side information," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 15, no. 6, pp. 611-613, Jun. 2011.
- [11] H. M. Part, T. W. Yoon, S. B. Im, and H. J. Choi, "A SLM-based PAPR reduction method using CAZAC sequence in OFDM system," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun.*, pp. 853-856, Seoul, KOREA, Nov. 2007.
- [12] ITU, *ITU-R M.1225 Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000*, Feb. 1997.
- [13] D. C. Chu, "Polyphase code with good periodic correlation properties," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 18, no. 4, pp. 531-532, Jul. 1972.
- [14] C. Rapp, "Effects of HPA-nonlinearity on a 4-DPSK/OFDM-signal for a digital sound broadcasting system," in *Proc. Eur. Conf. Satellite Commun. 1991*, pp. 179-184, Liege, Belgium, Oct. 1991.
- [15] C. Tellambura, "Computation of the continuous-time PAR of an OFDM signal with BPSK subcarriers," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 5, no. 5, pp. 185-187, Aug. 2002.

이 종근 (Jong-keun Lee)



2015년 2월 : 경희대학교 전자
전파공학과 졸업
2015년 9월~현재 : 과학기술연
합대학원대학교 이동통신 및
디지털방송공학과 석사과정
<관심분야> OFDM, LTE,
D2D, 위성통신

장 대익 (Dae-ig Chang)



1985년 : 한양대학교 전자통신
공학과 졸업
1989년 : 한양대학교 전자통신
공학과 석사
1999년 : 충남대학교 전자공학
과 박사
1991년~1993년 : 캐나다 MPR
Teltech 연구소 연구원
2011년~2012년 : KAIST 초빙교수(전일제)
2005년~현재 : 과학기술연합대학원대학교 이동통신 및
디지털방송공학과 전공책임교수
1990년~현재 : 한국전자통신연구원 위성기술연구그룹
책임연구원
<관심분야> 디지털통신, 위성방송통신 시스템, 위성
모뎀