

OFDM 시스템에서 복합적인 새로운 위상 가중치 기법을 이용한 PAPR 감소

정계현, 김성수,
충북대학교 전기전자컴퓨터공학부

A New PAPR Reduction Method Using Combinational Phase Factor Multiplying for OFDM System

Jeong Kehon, Kim Sung-Soo,
School of Electrical and Computer Engineering, Chungbuk National University

Abstract - 이 논문에서는 OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) 통신 시스템에서 고려해야 할 중요한 문제 중의 하나인 PAPR(peak to average power ratio) 문제를 다루었다. SLM(selected mapping) OFDM 시스템을 기반으로 구현하였고, PAPR을 줄이기 위한 방법으로 새로운 위상 가중치를 곱하는 방법을 제안하였다. 여기서는 여러 가지 방법들(PSK, QPSK, 랜덤)로 위상 가중치를 발생시켰고, 발생된 위상 가중치를 병렬 조합으로 적용하여, 최저의 PAPR을 가져오는 값을 선택했다. 실험결과에서, 단일의 위상 가중치만을 곱하여 사용할 때 보다 위상 가중치를 복합적으로 사용했을 때 큰 PAPR 감소를 보임으로서, 제안된 방법의 우수성을 보였다. 그러나 아직 해결해야 할 것들 중에서, 여러 가지 위상 가중치를 사용함에 따른 시스템 복잡도가 증가하는 문제점이 존재한다. 본 연구에서 제안하는 방법은 비록 복잡도의 증가라는 단점을 가지고 있지만, 성능면에서의 향상은 커다란 장점이다.

1. 서 론

OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) 통신 시스템은 동시시간대의 신호에 주파수를 분할하여 주파수에 정보를 실어 보내는 통신방식으로 많은 양의 데이터 전송을 할 수 있다. 이러한 장점을 가지고 있는 OFDM 기술은 점점 더 고속의 대용량 전송을 요구함에 따라서 차세대 통신기반의 주축으로 대두되고 있고 지금까지의 여러 연구를 통하여 많은 발전을 이루었다. 그러나 아직도 연구해야 할 많은 문제들이 남아있다. 이러한 문제 중에 하나가 PAPR(peak to average power ratio)을 감소시키는 것이다. 높은 PAPR은 HPA(high power amplifier)의 비선형 영역에서 신호에 왜곡을 가져온다. 이러한 왜곡은 BER(bit error rate) 성능을 감소시키게 된다. 이미 PAPR을 줄이기 위하여 여러 가지 기술들이 다양하게 사용되었다[1]-[6]. 본 논문에서 사용하는 위상가중치를 발생시키는 방법도 많이 연구되고 있다.

본 논문에서는 SLM(selected mapping) 방식[2]을 사용하였다. PAPR을 감소시키기 위해서 곱해주어야 할 위상 가중치는 M=2인 PSK(phase shift keying)방법, QPSK(quadrature phase shift keying) 방법, 랜덤 발생(random generating) 방법을 사용했고, 마지막으로 이러한 여러 가지 방법을 조합하여 사용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 본론 2.1에서는 기존의 SLM OFDM 구성을 기술하였고, 2.2에서는 여러 가지 위상회전 기법과 여러 가지 위상회전 기법을 조합하여 위상가중치를 발생 시키는 방법을 소개했다. 이러한 여러 가지 위상 가중치 기법에 대한 결과를 2.3에서 분석하였다. 마지막으로 3. 결론에서는 전체적인 결론을 맺었다.

2. 본 론

2.1 SLM OFDM 구성

이산 시간 영역에서 N개의 반송파를 갖는 OFDM 신호 a_t 는

$$a_t = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{j2\pi \frac{n}{N} t}, \quad 0 \leq t \leq N-1 \quad (1)$$

여기서 $A = [A_0 A_1 \dots A_{N-1}]$ 는 입력 심볼 시퀀스이고 t는 이산시간에서의 인덱스 기준이다[1].

OFDM 신호에서 신호의 최대치와 평균치의 비로 정의되는 PAPR은

$$PAPR(a) \triangleq \frac{\max_{0 \leq t \leq N-1} |a_t|^2}{E[|a_t|^2]} \quad (2)$$

여기서 $E[\cdot]$ 는 기댓값이고, $a = [a_0 a_1 \dots a_{N-1}]$ 이다[2]. 기존의 SLM OFDM에서[6], 입력 신호에 위상가중치가 각각 곱해진 중간 단계의 심볼 시퀀스는

$$A^u = [A_0^u A_1^u \dots A_{N-1}^u], \quad 1 \leq u \leq U \quad (3)$$

이고, 곱해지는 위상시퀀스는

$$P^u = [P_0^u P_1^u \dots P_{N-1}^u], \quad 1 \leq u \leq U \quad (4)$$

이다. 입력 $A = [A_0 A_1 \dots A_{N-1}]$ 와 식(4)의 위상시퀀스 행렬 간에 각각 대응되는 원소를 곱한 것을

$$A^u = A \otimes P^u \quad (5)$$

라 표현할 수 있고, 결과는 식(3)과 같다. 위의 식(4)에서 각각의 위상시퀀스들의 전력은 신호의 전력에 영향을 주지 않도록 하기 위하여 모두 1로 고정시켜야 한다. 기존의 SLM 방식에서는 P_n^u 를 ± 1 의 원소 중해서 선택한다. 그리고 가장 낮은 PAPR 값을 갖는 OFDM 신호

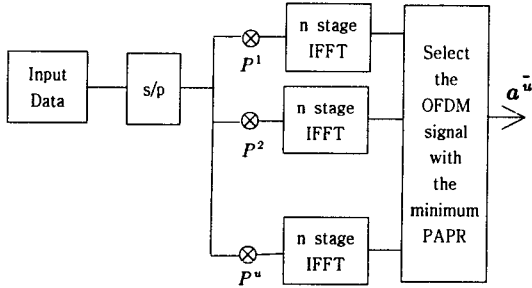
$$a^{\hat{u}} = \text{IFFT}\{A^{\hat{u}}\} \quad (6)$$

을 전송한다. 여기서

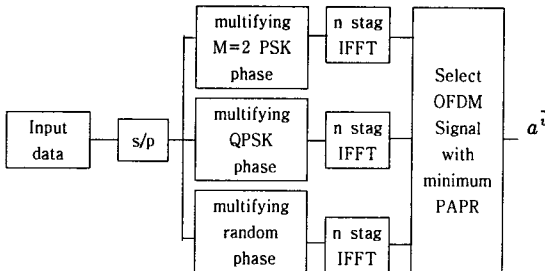
$$\hat{u} = \arg \min_{1 \leq u \leq U} (PAPR(a^{\hat{u}})) \quad (7)$$

이다.

그림 1은 SLM OFDM의 블록 다이어그램을 간략히 그린 것이다[2]. 여기서 위상회전에 관한 정보를 갖는 인덱스 값은 고려하지 않았다. 입력 데이터를 받아서 u개의 하위블록으로 동일한 값으로 저장하고, 각각에 다른 위상시퀀스를 곱한 다음, 역푸리에변환을 실행해서 발생한 u개의 출력 중에 PAPR값이 가장 낮은 것을 선택하여 전송신호($a^{\hat{u}}$)로 출력된다. 다음으로 PAPR을 줄이기 위한 여러 가지 위상회전 기법에 대하여 알아보자.

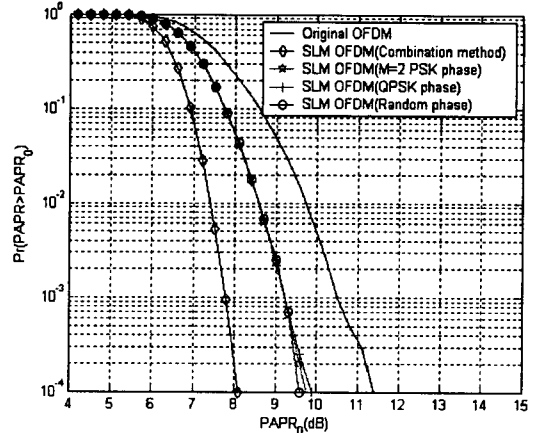


<그림 1. SLM OFDM 방식의 블록다이어그램>



<그림 2. 복합적인 위상회전기법의 블록다이어그램>

송신호(a_u)로 출력된다. M=2인 PSK를 이용한 위상 벡터를 P_{2-PSK}^u , QPSK를 이용한 위상 벡터를 P_{QPSK}^u , 랜덤 기법을 이용한 위상 벡터를 P_{random}^u 이라고 하면, 식 (5),(6),(7)에 의해서 데이터에 각각의 위상을 곱한 식은 순서대로



<그림 3. OFDM에서 위상회전 기법에 따른 PAPR의 CCDF>

2.2 위상회전 기법 시뮬레이션 설정

2.2.1 기존의 위상회전 기법

본 논문에서는 여러 가지 위상회전 방법을 사용해 보았다. 그중에 한가지로 랜덤하게 위상을 발생시켜 사용하였다. 즉 위상각은

$$p(m) = \frac{2\pi k}{N}, \quad k=1, 2, \dots, N \quad (8)$$

$$m=1, 2, \dots, N$$

를 만족하며 k 와 m 사이에는 어떠한 연관성도 없다.

두 번째 방법은 M=2인 PSK(phase shift keying) 방식을 이용하는 것이다. 즉, $\{\pm 1\}$ 에서 임의로 위상을 택하는 방법이다.

세 번째 방법은 M=4인 PSK(QPSK) 방법을 이용해서 위상을 발생시키는 것이다. 여기서 주의해야 될 것은 신호 전력의 변화를 일으키지 않고 위상회전을 시켜야 되므로 QPSK 각각의 심볼을 $\sqrt{2}$ 로 나누어 위상으로 이용해야 된다는 것이다.

2.2.2 복합적인 위상회전 기법

복합적인 위상회전기법이란 한 가지 방법의 위상 가중치를 사용하는 것이 아니고, 여러 가지 방법을 동시에 이용하여 각각의 PAPR값을 구한 다음 그중에서 제일 작은 것을 택하는 방법이다. 내용은 간단하고 시스템의 성능은 향상되지만, 이 방법을 사용하면 사용된 위상회전기법의 가지 수만큼의 복잡도 증가는 감수해야 한다는 단점을 내포하고 있다.

그림 2가 M=2인 PSK위상 기법, QPSK위상 기법, 그리고 랜덤 위상 기법을 모두 사용하는 복합적인 위상회전 기법의 블록다이어그램을 나타낸 것이다. 그림 1에서와 마찬가지로 위상회전에 관한 정보를 갖는 인덱스 값은 고려하지 않았다. 입력데이터블록이 u 개의 하위블록으로 저장되고, 각각의 위상회전 블록으로 동일한 데이터가 입력된다. 그다음 각각의 위상회전 블록의 출력은 모두 역푸리에변환을 거쳐서 그림 2의 마지막 블록으로 입력되고 여기에서 PAPR값이 최소인 값을 선택하여 전

$$A_{2-PSK}^u = A \otimes P_{2-PSK}^u$$

$$A_{QPSK}^u = A \otimes P_{QPSK}^u \quad (9)$$

$$A_{random}^u = A \otimes P_{random}^u$$

이되고, 각각에 대한 PAPR을 최소로 하는 OFDM 신호는

$$a_{2-PSK}^u = IFFT\{A_{2-PSK}^u\}$$

$$a_{QPSK}^u = IFFT\{A_{QPSK}^u\} \quad (10)$$

$$a_{random}^u = IFFT\{A_{random}^u\}$$

이 된다. 또한, 각각의 것에서 PAPR을 최소로 갖는 출력 값을 구한 다음 3개 중에서 최종적으로 제일 작은 PAPR을 갖을 때의 값을 출력값으로 구하면 된다. 이러한 이유에서 복합적인 위상회전기법의 블록 다이어그램의 최종출력 신호 a_u 는

$$a_u = a_{2-PSK}^u + a_{QPSK}^u + a_{random}^u \quad (11)$$

이다.

2.2.3 시뮬레이션 설정

먼저 $n=64$ 개의 데이터의 중간에 192개의 0의 값을 삽입하여 256개로 데이터 블록 길이를 확장하였다. SLM 기법을 이용하는데 2개의 병렬 비교를 하였다. PAPR 값에 $10 \log_{10}(PAPR)$ 을 취하여 데시벨(decibel) 척도를 사용하였다. 프로그램 반복횟수를 20000번으로 설정하였다.

2.3 시뮬레이션 결과 및 분석

이상의 내용을 시뮬레이션 했다. 그림3의 결과를 보면 기본 OFDM 방법에 비하여 PSK방법, QPSK 방법, 랜덤 위상 방법을 중 한 가지를 택하여 사용했을 때에도 PAPR 감소 효과를 볼 수 있었다. 한개만 택하는 경우보다 본 논문에서 제시하는 복합적인 위상회전 기법을 사용했을 때 보다 더 좋은 PAPR 성능을 보임을 알 수 있었다. 좀더 수치적으로 정확하게 살펴보면, $Pr(PAPR > PAPR_0) = 10^{-3}$ 인 지점을 살펴보면, 기본

OFDM 방법은 임계값이 10.5[dB]나왔고 M=2인 PSK의 경우, QPSK 경우 그리고 랜덤 위상방법의 경우는 모두 임계값이 9.2[dB]로 1.3[dB]정도의 성능향상을 보였다. 복합적인 위상회전 기법의 경우 임계값이 7.8[dB]로 기본 OFDM 방법에 비하여 2.7[dB] 성능 향상 되었고, 한 가지 위상기법만 사용했을 때 보다 1.4[dB] 정도의 성능 향상을 보였다. PAPR 감소 성능 면에서는 좋은 효과를 보았지만, 여러 가지 위상 회전 기법을 동시에 사용하는 복합적인 위상회전 기법에서는 계산량의 증가로 인해 시스템의 복잡도가 커지는 단점이 있다.

3. 결 론

OFDM 방식에서 중요시 되고 있는 PAPR 감소 기법을 데이터 시퀀스에 위상을 곱해주는 방식인 위상 가중치 기법을 통해서 살펴보았다. 기본 OFDM 방식에 비하여 SLM OFDM 기반에서 위상 가중치를 데이터에 곱해주는 방법을 했을 때 PAPR 감소 효과를 볼 수 있었다. 한 가지 방식의 위상가중치를 주는 것 보다는 여러 가지 위상 가중치를 동시에 사용하는 것이 PAPR 감소 측면에서 좋은 성능을 보였다. 즉, 본 논문에서 제안하는 복합적인 위상회전 기법이 PAPR 감소에 효과적임을 확인했다. 그러나 OFDM 방식에서 PAPR을 감소시키는 것만으로 좋은 성능을 보일 수 있는 것은 아니다. 모든 통신 방식에서 그러하듯이 원래 데이터에 대한 손실이나 왜곡을 적게 하여 데이터를 복원 하였을 때 BER(bit error rate)성능이 좋게 나와야 되는 것이다. 본 논문에서는 PAPR 감소에 중점을 두고 시뮬레이션을 했고 BER 성능은 고려하지 않았다. 좀더 확실한 OFDM 방식의 성능향상을 알아보기 위해서는 앞으로 PAPR 감소와 수반 하여 BER 성능을 고려해야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] D. W. Lim et al., "On the phase sequence of SLM OFDM system for PAPR reduction," presented at the ISITA, Parma, Italy, Oct. 10-13, 2004, PP. 230-235.
- [2] Dae-Woon Lim "A New SLM OFDM Scheme With Low Complexity for PAPR Reduction,"IEEE signal processing letter, vol. 12, no. 2, Feb. 2005.
- [3] M. Breiling, S. H. Muller, and J. B. Huber, "SLM peak power reduction without explicit side information," IEEE Commun. Lett., vol. 5, no. 6, pp.239-241, Jun. 2001.
- [4] J. A. Davis and Jedwab, "Peak-to-mean power control in OFDM, golay complementary sequences, and Reed-Muller codes,"IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 45, no. 7, PP. 2397-2417, Nov. 1999.
- [5] S. H. Muller et al., "OFDM with reduced peak-to-average power ratio by multiple signal representation," Ann. Telecommun., vol.52, no. 1-2, pp. 58-67, Feb. 1997.
- [6] J. Tellado and J. Cioffi, "PAR reduction in multicarrier transmission systems," in ANSI Document, no. 97-367, pp. 1-14, Dec. 8, 1997. T1E1.4 Technical Subcommittee.