

OFDM 시스템에서 BER 을 줄이기 위한 저복잡도 SLM 기법

우준영, 노종선, 신동준*
 서울대학교, *한양대학교

jiwoo@ccl.snu.ac.kr, jsno@snu.ac.kr, djshin@hanyang.ac.kr

A Low-Complexity Method of Reducing the BER for SLM scheme in OFDM Systems

Jun-Young Woo, Jong-Seon No, Dong-Joon Shin*
 Seoul National Univ., *Hanyang Univ.

요 약

본 논문은 BER (Bit error rate)을 줄이기 위해 제안된 cross-correlation 매트릭의 계산복잡도를 낮추는 2 가지 방법을 제안한다. FFT (Fast Fourier Transform)의 구조를 이용하여 계속 복잡도를 낮추는 방식에서는 콤플렉스 곱셈, 덧셈을 줄일 수 있는 장점이 있지만 그에 반해 BER 성능을 열하되는 단점이 있다. 제안하는 방법은 FFT 크기가 큰 상황에서 correlation 매트릭과 성능이 비슷함을 보인다.

I. 서 론

직교 주파수 분할 다중 반송파(OFDM; Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템은 역푸리에 변환(IFFT: Inverse Fast Fourier Transform)을 사용하며 이때 시간 영역의 신호로 바뀌는 데이터는 최대 전력 대 평균 전력의 비(PAPR: Peak-to-Average Power Ratio)가 크다는 단점이 생기게 된다. 따라서 이러한 단점을 해결하기 위해 Clipping, SLM (Selected Mapping), PTS(Partial Transmit Sequence)와 같은 방법이 제안되었다 [1].

하지만 최근에는 BER (Bit Error Rate)을 줄이기 위해 PAPR 을 매트릭으로 사용하지 않고 다른 매트릭을 사용하는 기법들이 제안되었다. 그 중 cross-correlation 을 이용한 방법은 PAPR 보다 더 나은 BER 성능을 보여준다 [2].

II. 본론

Correlation 매트릭은 고출력 증폭기 (HPA: High Power Amplifier)의 입력과 출력의 cross-correlation 을 계산하는 방식이다. PTS 의 경우 U 개의 OFDM 후보신호들을 생성하게 되는데, 이 중 가장 큰 correlation 을 갖는 위상벡터를 선택하여 전송하는 방식이다.

본 논문에서는 PTS 방식 대신 SLM 에서 correlation 매트릭의 성능을 분석해 본다. PTS 방식은 SLM 방식의 한 종류이기 때문에 더 일반적인 환경에서 매트릭의 성능 및 계산량을 분석할 것이다.

그림 1 은 correlation 매트릭을 사용한 SLM 기법을 나타낸 것이다.

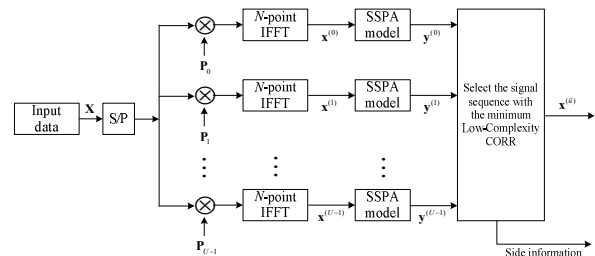


그림 1. 저복잡도 correlation 매트릭을 이용하는 SLM 기법

여기에서 사용한 SSPA (Solid State Power Amplifier)의 모델은 폴리노미얼(Polynomial) 모델이며 이는 다음과 같다.

$$y_n \approx \alpha_1 x_n + \alpha_3 x_n |x_n|^2 \quad (1)$$

여기서 y_n 은 SSPA 의 출력이며, x_n 은 시간영역 OFDM 신호, $\alpha_1 = 1, \alpha_3 = -0.1769$ 이다. 또한 실제 전송에 사용되는 앰프 모델은 Rapp model 이며 이는 다음과 같다.

$$A(\rho_n) = \rho_n \left[1 + \left(\frac{\rho_n}{A_0} \right)^{2p} \right]^{-1/2p} \quad (2)$$

여기서 $\rho_n = |x_n|, p = 3.286$ 이고, A_0 는 HPA 통과후의 OFDM 최대파워이다.

HPA 특성은 input backoff 나 output backoff 에 의해 결정되며, 본 논문에서는 output backoff 를 사용하였다. Output backoff 의 정의는 다음과 같다.

$$OBO = 10 \log_{10} \frac{A_0^2}{P_{out}} \quad (3)$$

여기서 P_{out} 은 HPA 통과후의 OFDM 신호의 평균파워이다.

또한 correlation 매트릭은 다음과 같이 정의된다.

$$R_{xy}^{(0)} = \sum_{n=0}^{N-1} x_n y_n^* \quad (3)$$

이를 저복잡도로 구현하기 위하여, (1)을 (3)에 대입한다. 정리하면 다음과 같이 되며,

$$\begin{aligned} R_{xy}^{(0)} &= \sum_{n=0}^{N-1} x_n y_n^* = \sum_{n=0}^{N-1} x_n (\alpha_1 x_n + \alpha_3 x_n |x_n|^2)^* \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} \alpha_1 |x_n|^2 + \alpha_3 |x_n|^4 \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} \alpha_3 \left\{ \left(|x_n|^2 + \frac{\alpha_1}{2\alpha_3} \right)^2 - \left(\frac{\alpha_1}{2\alpha_3} \right)^2 \right\} \\ &\cong \sum_{n=0}^{N-1} \alpha_3 \left\{ \left(|x_n|^2 + \frac{\alpha_1}{2\alpha_3} \right)^2 \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

앞의 계수를 무시하면 다음과 같이 간단해진다.

$$\text{제안1: } \sum_{n=0}^{N-1} |x_n|^4 \quad (5)$$

따라서 제안 1 에서처럼 가장 낮은 (5)의 값을 갖는 위상 신호를 선택한다. 또한 (5)는 다르게도 해석될 수 있다. 식 (4)의 2 번째 줄에서 신호의 파워의 합은 일정하므로 매트릭에서 제외할 수 있고, 그렇게 되면 간단히 (5)를 얻을 수 있다.

제안 2 도 쉽게 만들 수 있다.

$$\text{제안2: } \sum_{n=0}^{N-1} \text{Max}(|a_n|, |b_n|)^4 \quad (6)$$

여기서 $x_n = a_n + ib_n$ 이다. 제안 1 과 마찬가지로 제안 2 또한 가장 작은 (6)의 값을 갖는 위상신호를 선택한다.

마지막으로 제안 3 은 DIT(Decimation in Time)-IFFT 의 구조를 이용하는 방식이다. 그림 2 는 FFT 크기가 8 인 DIT-IFFT 의 구조를 보여주며 붉은 박스에서처럼 짝수개의 index 만을 먼저 뽑아낼 수 있다.

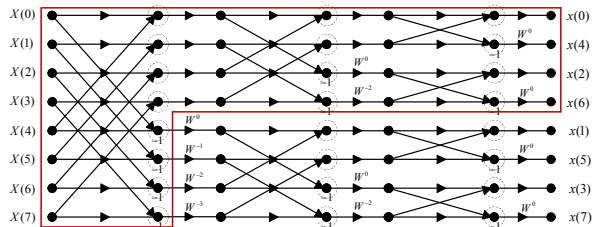


그림 2. DIT(Decimation in Time)-IFFT 에서 신호를 선택하는 방법

$$\text{제안3: } \sum_{m=0}^{N/2-1} |x_m|^4 \quad (7)$$

여기서 m 은 짝수 인덱스 이다. 또한 제안 3 의 방식은 본 논문뿐만 아니라 FFT 를 사용하는 모든 곳에 적용될 수 있다는 장점을 가진다.

지금까지 총 3 가지의 저복잡도 매트릭을 제안했으며, 각 계산량은 다음과 같다. CM (Complex Multiplication), CA (Complex Addition), RM (Real Multiplication), RA (Real Addition) 4 가지의 계산량을 비교할 것이다. Correlation 매트릭의 계산량을 100%로 했을 때, 제안 1 은 RA 를 66%정도 사용하고, 제안 2 는 RM 과 RA 모두 66%정도 사용한다. 또한 제안 3 은 FFT 의 절반만 사용하기 때문에 CM, CA 는 약 70%, RM 은 약 50%, RA 는 약 33% 정도의 계산량을 보인다. Correlation 매트릭과 제안 1, 제안 2 의 CM, CA 의 계산량은 모두 동일하다. 계산량 측면에서 제안 3 은 CM, CA 를 correlation 에 적게 사용하기 때문에 큰 계산복잡도의 감소를 가져올 수 있다. 또한 이러한 계산량의 결과는 FFT 의 사이즈와는 무관함을 확인하였다.

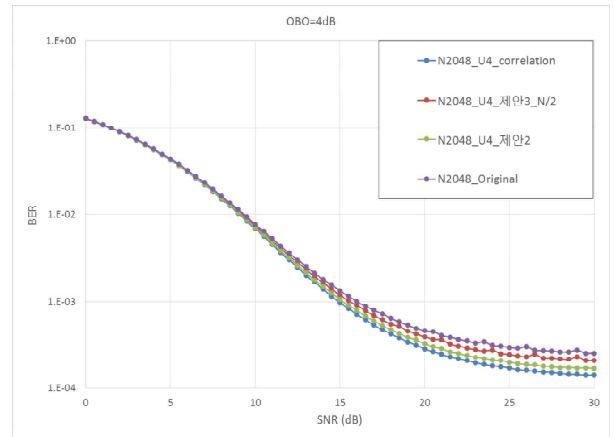


그림 3. N=2048, U=4, OBO = 4 dB 에서의 BER 성능 비교 그래프

그림 3 은 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 채널 환경에서 output backoff 를 4dB 로 했을 때의 BER 성능 그래프이다. 제안 1 은 correlation 매트릭과 성능이 동일 하기 때문에 그림 3 에서 제외하였다. 제안 2 는 correlation 과 비슷한 성능을 보이며, 제안 3 은 계산복잡도는 훨씬 줄어든다 성능은 열하됨을 확인할 수 있다. 또한 N 이 증가할수록 제안 2 의 성능은 correlation 매트릭과 거의 비슷해진다.

III. 결론

본 논문에서는 저복잡도 correlation 매트릭 3 가지를 제안했으며 비교적 큰 FFT 사이즈에서 좋은 성능을 보인다.

참고 문헌

[1] S. Han and J. Lee, " An overview of peak-to-average power ratio reduction techniques for multicarrier transmission," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, pp. 56-65, Apr. 2005.

[2] E. Al-Dalakta, A. Al-Dweik, A. Hazmi, C. Tsimenidis, and B. Sharif, "PAPR reduction scheme using maximum cross correlation," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 16, no. 12, pp. 2032- 2035, December 2012.