Hadamard 변환과 위상 천이를 이용한 OFDM 시스템의 PAPR 감소 기법

구현철, 조재희, 조남신, 박명희, 전희영, 강창언, 홍대식
연세대학교 전기,전자공학과
전화 : 02-2123-2865 핸드폰 : 019-9149-3959

PAPR reduction algorithm using Hadamard transform and phase shift in OFDM systems

Hyun-Chul Koo, Jae-Hee Cho , Nam-Shin Cho, Myong-Hee Park
Hee-Young Jun, Chang-Eon Kang, Dae-Sik Hong
Dept. of Electric & Electronic engineering, Yonsei University
E-mail : jerrykoo@catseye.yonsei.ac.kr

Abstract

Orthogonal freqency division multiplexing (OFDM) is an attractive technique for achieving high-bit-rate wireless data transmission. However, the potentially large peak-to-average power ratio (PAPR) has limited its application; An OFDM signal with the large PAPR can cause power degradation (In-band distortion) and spectral spreading (Out-of-band distortion) by being clipped passing through a power amplifier. Thus, we propose the combining algorithm of Hadamard transform and phase shift, which is ascribed to the relation between the correlation of the IFFT input sequence function and PAPR. Extensive computer simulations show that the combining algorithm is an effective technique to reduce PAPR.

I. 서론

OFDM은 대역폭 효율이 좋을 뿐만 아니라 다 경로 페이딩 환경에 강한 특성으로 인해 높은 데이터 전송률을 얻을 수 있는 다중 반송파 전송 기법이다[1].
하지만 이런 이점에도 불구하고 OFDM의 주요 결점은 PAPR이라 불려지는 신호의 순간 최대점이 발생하게 된다. 높은 PAPR값은 OFDM 신호가 송신 엠프를 통과 할 때 클립 될 확률이 크다는 것을 의미하며, 이 클리핑 현상은 송신 파워를 감소 시키고 (In-band distortion), 대역의 방사 현상으로 인하여 신호의 비선형 특성을 유발한다. 또한 이 대역의 방사 현상은 대역폭 효율성을 떨어뜨리는 (Out of band distortion) 원인이 된다[2-4].

이러한 OFDM 시스템의 결점을 극복하기 위한 방법들이 연구되어졌고, 이를 크게 두 가지로 나누면 IFFT 전단에서 신호의 PAPR 값을 낮추는 방법과 IFFT 후단에서 PAPR 값을 낮추는 방법이 있다. 후자의 경우 신호의 최대 값이 이미 발생된 상태에서 PAPR 값을 낮추고자 하는 것이므로 원천적으로 PAPR 값을 낮게 하는 방법으로는 적합하지 못하다. 따라서 전자의 경우를 사용하여 신호의 최대 값을 낮추는 방법을 사용하는 것이 적합하다. 이런 방법들에는 코딩[3], 좌표 변환[4], 하다마드 변환[7]등이 사용되어지고 있다. 하지만 코딩과 좌표 변환은 Out-of-band 왜곡이 발생할 확률은 낮지만 적합한 PAPR을 얻기 위해서는 복잡한 최적화 과정이 필요하게 된다. 또한 하다마드 변환 방식은 시스템이 간단하지만 동일한 위상 값을 발생시킬 수 있는 가능성이 존재하므로 IFFT 출력 신호에 대해 낮은 PAPR 값을 보장하지는 못한

다.

본 논문에서 OFDM 입력 신호의 자기 상관 관계를 이용하여 신호의 순간 최대값 발생을 줄이고자 한다. 이를 위해 하다마드 변환과 위상 천이를 적용하게 된다. 하다마드 변환은 직교 변환의 일종으로 IFFT 입력 신호의 자기 상관 특성을 낮출 수 있고, 위상 천이 방법은 하다마드 변환으로 인해 발생 될 수 있는 신호간의 동일 위상 발생을 완화 시켜주는 역할을 하게 된다. 따라서 OFDM 신호간의 자기 상관 관계가 낮아져 최대 값이 뜨는 것을 방지 할 수 있다.

본 논문에서는 기존의 하다마드 변환 방법을 적용한 OFDM 시스템에 관해 간단히 살펴본 후 PAPR을 줄이기 위한 새로운 알고리즘을 소개 할 것이다.

Ⅱ 하다마드 변환을 이용한 감소기법

2.1 하다마드 변환을 이용한 PAPR감소 기법

OFDM 방식은 할당된 주파수 대역을 여러개의 부 채널로 나누어 전송하는 주파수 분할 방식으로써, 부 채널 간격을 심볼 주기의 역수가 되도록 설정하여 반송파간에 직교성을 유지하도록 한다. 따라서 N개의 부 반송파를 IFFT에 적용 시킨 후의 신호는 다음과 같다.

$$x_n=\frac{1}{\sqrt{N}}\sum_{k=0}^{N-1}X_k\cdot e^{\frac{j2\pi}{N}nk},\ n=0,\ldots,N-1 \quad (1)$$

이때 x_n 과 X_k 은 시간축 과 주파수 축에서의 신호이다.

하다마드의 커널은 식(2)와 같이 반복적인 과정에 의해 간단히 수행될 수 있으며[4], OFDM 시스템에 그림 1과(Phase shifter 부분은 예외) 같이 적용될 수 있다.

$$H_1=[1],\ H_2=\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix}1 & 1\\ 1 & -1\end{bmatrix},$$
$$H_{2n}=\frac{1}{2N}\begin{bmatrix}H_n & H_n\\ H_n & -H_n\end{bmatrix} \quad (2)$$

주의할 것은 하다마드 변환은 직교 선형 변환이며 FFT와 같이 버터플라이 구조를 가지고 있으므로 시스템의 복잡도를 크게 증가시키지 않는다. 따라서 하다마드 변환을 적용한 OFDM 시스템의 수신 신호 $\widehat{x_N}$ 은 다음과 같이 복조 될 수 있다.

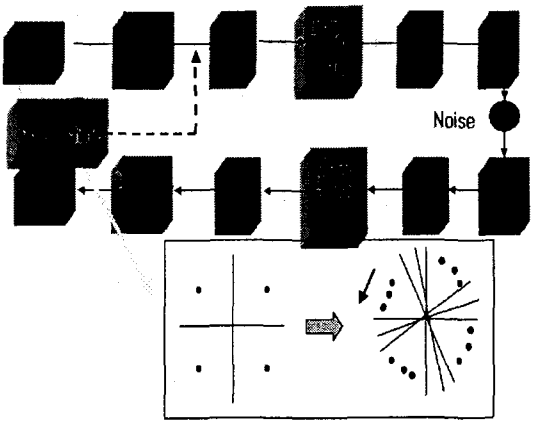

그림 1 Hadamard Matrix와 위상 천이를 이용한 PAPR 감소 기법

$$\widehat{X_N}=FFT\{H_N^{-1}\cdot\widehat{x_N}\}$$
$$=FFT\{H_N^{-1}\cdot\{IFFT\{H_N\cdot X_N\}+n\}\} \quad (3)$$

2.2 하다마드 변환 기법의 문제점

기존의 하다마드 변환을 적용한 PAPR 감소 기법은 IFFT 입력 신호의 위상 변화에 의해 신호간의 자기 상관 관계를 줄임으로써 PAPR 값을 낮출 수 있다. 그러나 하다마드 변환을 적용한 신호들은 그림 2에서 보는 바와 같이 격자 구조를 가지게 된다. 이 격자 구조 신호는 동일 위상을 갖는 신호가 발생하게 된다는 것을 의미하므로 이런 위상간의 상관성은 송신단에서 최대 값이 발생되는 또 하나의 원인이 된다. 따라서 이런 신호간의 위상 상관성을 없애 주어야 최대 값이 발생되는 것을 방지 할 수 있다. 그러므로 우리는 위상 천이 방식을 이용하여 신호들의 위상 상관성을 줄이고자 한다.

Ⅲ 제안된 PAPR 감소 기법

3.1 제안된 PAPR 감소 기법

위에서 언급한 것과 같이 하다마드 변환에 의해 발생된 신호는 격자 구조의 신호를 발생하게 된다. 따라서 신호간의 위상 상관성이 여전히 존재하게 되는데 이것을 없애기 위하여 그림 1에서 보여지는 바와 같이 위상 천이 발생기를 하다마드 변환 앞에 붙이게 된다.
이 위상 천이 발생기는 각 부 반송파의 위상을 일정량 변화 시킨다. 즉, N개의 부 반송파로 이루어진 IFFT 입력열에 대하여 첫 번째와 두 번째 부 반송파간의

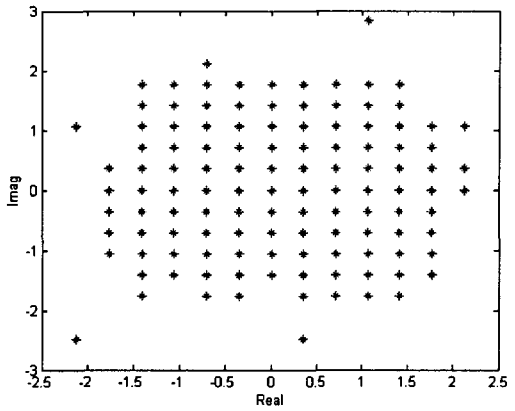

그림 2 하다마드 변환 후 신호 분포

위상차와 두 번째와 세 번째의 부 반송파간의 위상차가 같도록 천이 시킨다. 이와 같이 발생된 신호를 하다마드 변환 과정을 거치게 되면 신호의 분포는 그림 3과 같이 된다. 즉, 하다마드 변환에 의한 위상간 상관성이 줄어드는 것이다. 이와 같이 발생된 신호들은 신호간의 위상 상관성이 줄어들게 됨으로써 신호간의 자기 상관 관계가 줄어들게 된다. 즉 [6]에서 언급된 바와 같이 IFFT 입력 신호들 간의 자기 상관 관계가 적으면 적을수록 송신단에서의 순간 파워 값을 줄일 수 있게 되는 것이다.

3.2 컴퓨터 모의 실험 결과

제안된 알고리즘을 검증하기 위하여 우리는 QPSK OFDM 시스템을 고려 하였다. 그림 4는 QPSK 변조된 64개의 부 반송파로 이루어진 IFFT 입력열에 대하여 자기 상관 관계를 나타낸 것이고, 이때 사용된 신호의 파워는 정규화 되었다.

그림 4에서 우리는 제안된 알고리즘이 신호간의 상관성을 보다 완화시킴을 알 수 있다. 또한 그림 5는 신호간의 상관성을 완화시켜주는 것이 송신단에서의 PAPR을 낮출 수 있음을 알수 있다.

제안된 알고리즘을 [8]에서 보여지는 PTS방식에 적용을 하게 되면 PAPR 값이 그림 7에서 보여주는 바와 같이 PAPR 값을 낮출 수가 있는데 그것은 PTS 방식이 phase factor와 cluster들을 이용하여 신호간의 상관성을 완화 시켜 송신단에서의 순간 최대 파워 발생을 완화 시켜 주는 방식이고, 제안된 방식이 IFFT 입력 신호들의 위상 상관성을 완화 시켜주는 것이므로 IFFT 입력 신호들의 위상 상관성을 보다 완화 시켜

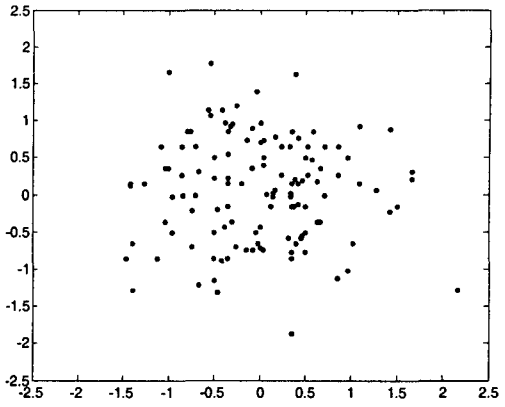

그림 3 하다마드 변환과 위상 천이 방식을 적용한 후 신호 분포.

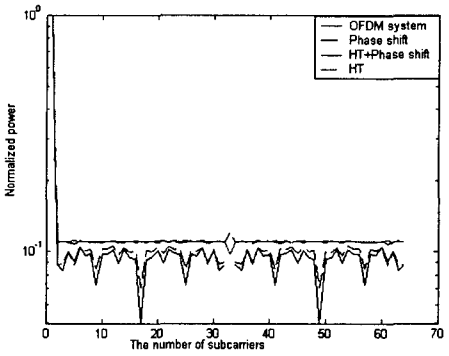

그림 4 IFFT 입력신호의 자기 상관 관계 분포 곡선

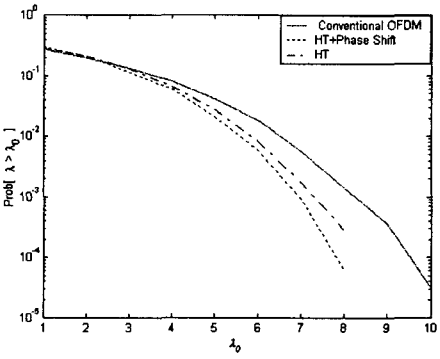

그림 5 OFDM 시스템에서의 PAPR 분포

자기 상관 관계를 그림 6에서 보여주는 바와 같이 보다 작게 할 수 있다. 따라서 PAPR 값이 낮아진다.

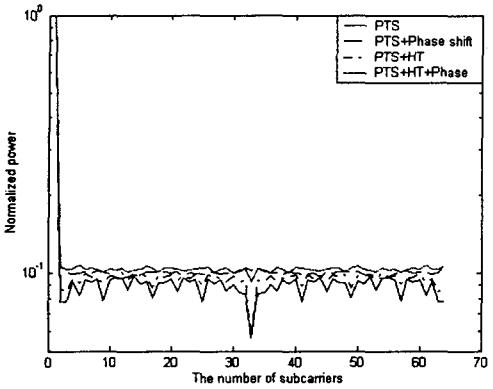

그림 6 제안한 알고리즘을 PTS에 적용시 자기 상관 관계 분포

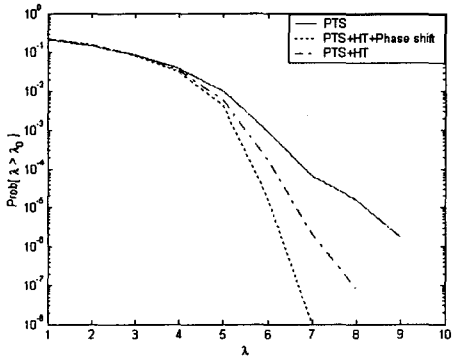

그림 7 제안한 알고리즘을 PTS에 적용시 PAPR 분포

Ⅳ 결론

제안된 알고리즘은 OFDM 시스템에서 PAPR을 줄이는데 효율적인 방법이다. 우리는 컴퓨터 모의 실험을 통해 64개의 부 반송파를 가지는 OFDM 신호의 PAPR을 검사한 결과 약 2dB정도의 성능 개선 효과를 볼 수 있었고 이를 PTS 방식에 적용하게 되면 약 3dB이상의 PAPR 감소 효과를 볼 수 있었다. 이 제안된 방식은 추가 정보가 필요 없으며 OFDM 시스템의 복잡도도 크게 증가시키지 않는다.

참고문헌(또는 Reference)

[1] Yiyan Wu and Williams Y. Xou, "COFDM : An Overview," IEEE Trans. On broadcasting, 피. 41, pp. 1-8, March 1995

[2]Xiaodong Li and J. Cimini, Jr, "Effects of Clipping and Filtering on the Performance of OFDM," IEEE Comm, Letters, vol.2, pp.131-133 May 1998.

[3]A. Jones, T. Wilkinson, and S. Bartorn, "Block coding scheme for reduction of peak to mean envelope power ratio of multicarrier transmission schemes," Electronics Letters, vol.30, pp.2098-2099, 1994.

[4] Jose Tellado and John M. Cioffi, "Peak power reduction for multicarrier transmission," Globecom'98, pp.219-224,1998.

[5] N.Ahmed and K. R. Rao, Orthogonal trnasforms for digital signal processing. Berlin: springer-Verlag, 1975.

[6] C. Tellambura, "Upper bound on peak factor of N-multiple carriers," Electronics Letters, vol.33, pp. 1608-1609, Sept,1997.

[7] M. Park, H. Jun, J. Cho, N. Cho and D. Hong, " PAPR reduction in OFDM transmission using Hadamard transform," in Proc, ICC 2000.

[8] S. H. Muller and J. B. Huber, " OFDM with reduced peak-to-average power ratio by optimum combination of partial transmit sequences," Electron. Lett., vol. 33, no.5, pp. 368-369, Feb. 1997.