

고속 ITS를 위한 PAPR 감소기법의 부정정보 제거방법 연구

A Study of SLM Scheme for PAPR Reduction without Side Information for High Speed ITS

이재선, 김진영

광운대학교,

Key Words : OFDM, PAPR, SLM, ITS

목 차

- I. 서론
- II. PAPR과 SLM 기법
- III. 제안하는 시스템 모델
- IV. 시뮬레이션 결과
- V. 결론

I. 서론

최근 영상이나 이미지 같은 고용량의 매체들의 전송이 무선에서도 필수적인 요소가 됨에 따라 고속 멀티미디어 데이터전송에 대한 요구가 증대되었다. 지능형 교통 시스템을 위해서도 데이터의 고속화가 필수가 되었다. 이에 OFDM은 다수의 다른 협대역의 대역을 가진 부반송자를 사용한 다수 반송자 전송방식으로 각각의 부반송자는 직교하며, 병렬로 동시에 처리되기 때문에 각 심볼간의 시간 간격이 넓어 다중경로에 의한 지연간섭에 강한 내성을 지닌다. 다른 주파수 대역을 가진 부반송자에 의해 전송이 되므로 주파수 선택적 페이딩에도 영향을 덜 받으며, 부반송자는 서로 겹치는 대역을 사용하므로 스펙트럼 효율이 뛰어나며, 임펄스 노이즈에 역시 강한 내성을 지닌다. 이런 점 때문에 OFDM은 고속 데이터 전송을 위한 필수 변/복조방식으로 자리 잡았다. 또한 OFDM 심볼은 지연확산보다 큰 Cyclic Prefix(이하 CP)를 삽입하는데, CP는 순환적으로 확장되기 때문에 부반송자 간의 간섭을 피할 수 있게 된다 [1]. 이와 같은 OFDM symbol은 채널을 통과해 기저대역으로 변환된 후, 복조과정을 거치는데, 원래의 데이터를 정확히 복조하기 위해서는 모든 부반송파의 상호 직교가 유지되어야 한다. 고속 데이터 전송에 유리한 OFDM에도 여러 가지 문제점을 안고 있는데, 그 중의 주요 문제점은 동기와 전송신호의 PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) 등이 있다. 그 중에서 이 논문에서는 OFDM신호의 PAPR에 대하여 논의하고자 한다. 다수 반송자 (Multicarrier) 전송은 전송 신호가 높은 PAPR을 가지게 되는데, 전송된 신호의 첨두

값은 정해진 값보다 더 높을 수 있다. 이 첨두값의 범위가 파워앰프의 동작범위 안에 있지 않다면, 신호는 비선형성을 가지고 증폭되어 왜곡이 발생한다. 만약 정해진 전력에 맞추기 위해 다수 반송자에 허용되는 평균 전력으로 낮춘다면, 전송거리와 BER성능에 큰 영향을 줄 것이다. 높은 PAPR은 또한 배터리의 수명에 큰 영향을 줄 수 있다[2].

여러 PAPR 감소기법이 이미 연구되어 왔다. PAPR 감소 기법으로는 진폭 클리핑과 확률적인 방법 등이 있다. 클리핑기법을 사용함으로써, 전송신호의 첨두값은 줄어들지만, 비선형 동작과 대역외 방사로 인해 BER이 증가한다[3]. 확률적인 방법들은 부정정보 전송으로 인한 전송률이 떨어지는 등의 단점을 가지게 된다[2].

본 논문에서는 기존의 확률적인 방법 중의 하나인 SLM (Selective Mapping) 기법을 소개하고, SLM 기법의 단점인 부정정보의 전송을 줄이는 방법을 제안하고자 한다. 또한 시뮬레이션을 통해 PAPR의 감소 정도를 분석하고, BER이 어떻게 달라지는가를 분석하고자 한다.

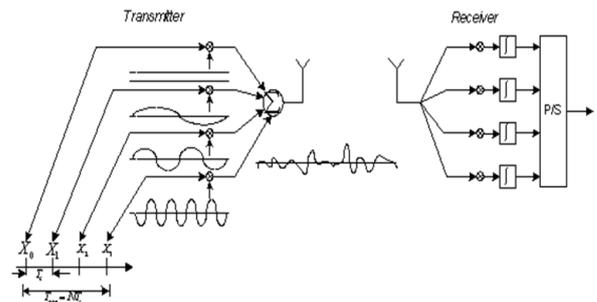


그림 1. OFDM의 개념

II. PAPR과 SLM 기법

1. OFDM의 PAPR

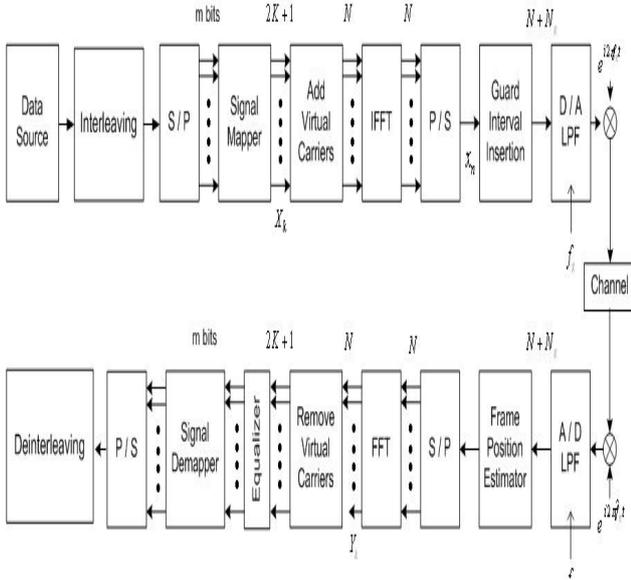


그림 2. OFDM의 시스템 블록도

OFDM 신호는 각각 변조된 심볼을 직교하는 부반송파를 사용한 병렬 전송방식이다. 따라서 OFDM 심볼은 각 부반송파를 사용한 신호의 합으로 나타낼 수 있다.

$$s(t) = \sqrt{\frac{1}{N}} \sum_{k=1}^N c_k e^{j2\pi \frac{k}{T} t} \quad (1)$$

여기서 N 은 부반송파의 개수이며, T 는 OFDM 신호의 구간이고, c_k 는 주파수 도메인에서 변조된 정보의 심볼이다. 전송된 신호의 PAPR은 최대 첨두 전력과 평균 전력의 비를 나타내며, 다음과 같이 정의된다.

$$PAPR = \frac{\max |s(t)|^2}{1/NT \cdot \int |s(t)|^2 dt} \quad (2)$$

$$PAPR = \frac{\max |s(t)|^2}{E[|s_k|]} \quad (3)$$

여기서 E 는 기대값을 말한다. PAPR의 CCDF (Complementary Cumulative distribution Function)은 PAPR 감소기법에서 사용되는 성능 측정값이다. OFDM 방식에서는 다수의 독립적인 데이터를 IDFT 함으로써 신호를 변조시킨다. IDFT에 입력되는 데이터는 일반적으로 성질을 갖는 랜덤 신호로 간주할 수 있으므로 변조된 신호는 중심극한정리에 의하여 평균이 0이 되고, Gaussian분포를 갖는 랜덤신호가 된다. 그러므로 다수 반송파 신호의 진폭은 레일리 분포 (Rayleigh Distribution)을 가지게 된다. 전력분포는 두 개의 DOF (Degree of Freedom)을 가지는

중심 카이-제곱 분포 (Central Chi-square distribution)를 가지게 된다. OFDM 신호샘플의 진폭의 CDF는 다음과 같이 주어진다.

$$F[z] = 1 - \exp(-z) \quad (4)$$

Nuquist 샘플링한 하나의 데이터 블록의 PAPR CCDF는 다음과 같이 유도 된다.

$$\begin{aligned} P(PAPR > z) &= 1 - P(PAPR \leq z) \\ &= 1 - F(z)^N \\ &= 1 - (1 - \exp(-z))^N \end{aligned} \quad (5)$$

위 식은 N 개의 시간 축 샘플 신호가 상호 독립적이고 uncorrelate 하다는 것을 의미한다. [1].

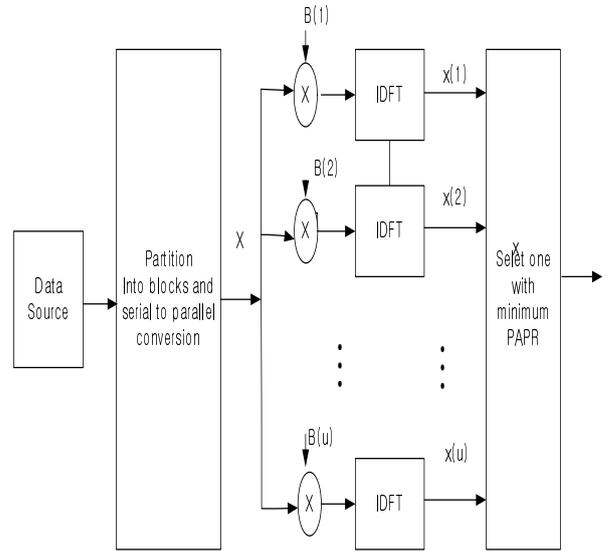


그림3. SLM 기법의 블록다이어그램

SLM기법의 블록 다이어그램은 그림 3과 같이 IDFT 과정전의 반송파 개수와 같은 U 개의 독립적인 위상 시퀀스가 발생되고, U 개의 시퀀스는 심볼 시퀀스에 곱해진다. 위상 시퀀스에 의해서 위상이 변화된 심볼과 원래의 심볼로 PAPR을 계산한다. 그 중에서 가장 작은 PAPR을 가빈 심볼이 선택되어 전송된다. 사용된 위상 시퀀스는 부정정보로서 수신단에 전송된다. 수신단에서는 데이터를 복구하기 위해 역 동작을 수행한다. PAPR감소 양은 위상 시퀀스 U 의 개수와 위상시퀀스의 설계에 따라 달라진다. [4]

SLM기법은 PTS기법보다 부정정보를 줄일 수 있으며, 선형 동작이기 때문에 비선형 왜곡을 발생시키지 않는다. 그러나 SLM기법은 U 와 같은 수의 IDFT과정이 필요 하기 때문에 계산량이 많아진다는 단점을 지니고 있다.

보통 SLM 기법에서 각각의 입력된 데이터에 0이나 π 의 랜덤한 위상을 곱한다. 이 때 한 블록의 위상집합은 부반송파의 개수와 같아야 하며, U 개의 랜덤한 위상인 자 집합을 발생하여 경우의 수를 늘린다. U 가 커질수록

하나의 데이터에 대한 많은 경우의 수가 생기므로 PAPR이 작은 신호가 생길 확률도 높아 지게 된다. U 개의 후보 신호를 생성한 뒤 최소의 PAPR을 갖는 신호를 선택하여 송신단은 전송을 한다. 각 위상인자 집합 $\{B_n^{(u)}, n=0, \dots, N-1\}$ 은 원소로 $B_n^{(u)} = e^{j\varphi_n^{(u)}}$, $\varphi_n^{(u)} \in [0, 2\pi), n=0, \dots, N-1]$ 를 가지게 된다.[4] 송신신호는 원래의 데이터에 랜덤한 위상을 곱하게 된다.

$$s_n^{(u)} = \sqrt{\frac{1}{N}} \sum_{k=1}^N B_k^{(u)} \cdot c_k e^{j2\pi \frac{k}{T} n}, n=0, \dots, N-1 \quad (6)$$

송신신호의 PAPR은 식(3)에 의해 계산되며, 그 중 가장 작은 PAPR을 갖는 신호가 전송된다.

SLM은 클리핑기법과는 달리 선형동작이므로 왜곡이 발생하지 않으며, 따라서 BER 성능도 나빠지지 않는다. 그러나 선택된 위상이 수신단에 전송되어야 수신단에서 복호를 할 수 있기 때문에 위상집합을 부정정보로 전송해야 한다는 단점을 지니고 있다. 부정정보는 각 블록에 대하여 $[\log_2 U]$ 가 된다. [5]

III. 제안하는 시스템 모델

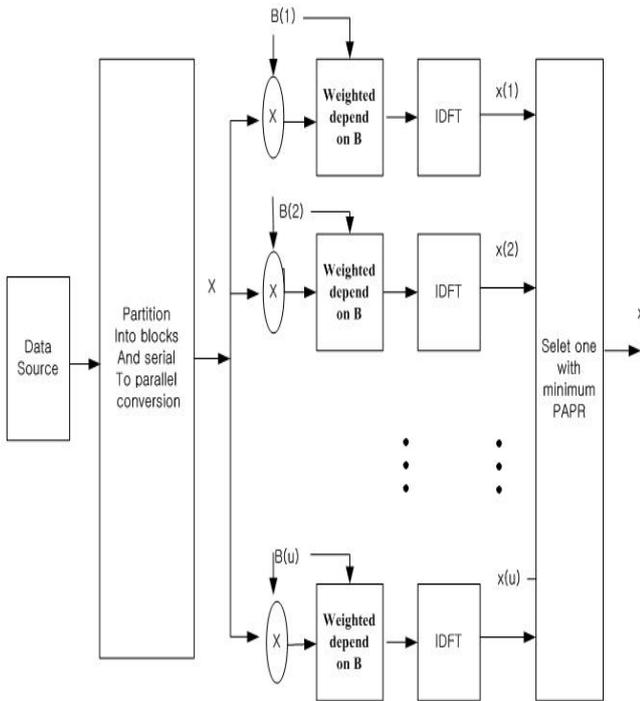


그림 4. 제안하는 SLM 블록다이어그램

앞에서 언급한 바와 같이 SLM 방식은 수신단에서 정보를 복조하기 위해서 각 심볼에 곱해진 위상을 알아야만 하며, 이 때문에 이 부정정보를 전송해야만 한다. 이런 부정정보의 전송을 없애기 위해서 Walsh 코드와 같은 직교성을 갖는 코드를 사용하기도 한다[]. 그러나 코드를

사용하는 경우 코드에 의해 확산되는 심볼은 시간 축에서 길이가 짧아 지게 되며, 시스템구현에 어려움을 겪게 된다. 부정정보를 전송하지 않는 다른 방법은 위상뿐만 아니라 심볼을 스케일링을 함으로써 전송하는 방법이다. 이 경우 '0'의 위상이 곱해진 경우는 심볼을 그대로 유지하고 'π'의 위상이 심볼에 곱해진 경우에 대해서 스케일링을 통해 수신단에서 알 수 있게 한다. 스케일링을 하는 경우에 IDFT되기 이전의 심볼의 전력이 커지게 되므로 상대적으로 PAPR은 높아 지게 되는 단점을 갖는다. 반면 작은 웨이트 팩터를 사용하는 경우에는 벡터 공간에서 심볼간의 거리가 가까워지기 때문에 BER 성능이 열화되는 트레이드 오프 관계를 가지게 된다.

본 논문에서는 스케일링을 통한 PAPR의 감소 기법을 이용하였다.

'π'의 위상이 심볼에 곱해진 경우에 벡터 공간에서 복조되는 공간 밖으로 심볼을 보냄으로써 수신단에서는 'π' 위상이 곱해졌음을 알 수 있게 되는 것이다.

웨이트 팩터는 서로의 디시전 영역을 넘어서는 최소한의 거리 밖으로 보내기 위해 각 맵핑된 점 사이의 거리를 기반으로 하였으며, 각 맵핑방식에 따라 적용될 수 있도록 결정하였다. 본 논문에서 제안하는 IDFT프로세서로 들어가는 심볼 $w_k^{(u)}$ 은 다음과 같이 정의된다.

$$w_k^{(u)} = \begin{cases} x_k, & \text{if } B_k^{(u)} = 1 \\ -(Re(x_k) \pm 2\sqrt{\text{mod}/4}) + Im(x_k) \pm 2\sqrt{\text{mod}/4}), & \text{if } B_k^{(u)} = -1 \end{cases} \quad (7)$$

각 맵핑된 위치에 따라 심볼은 같은 사분면의 외각으로 이동된 뒤에 π만큼 위상이 변화하게 된다.

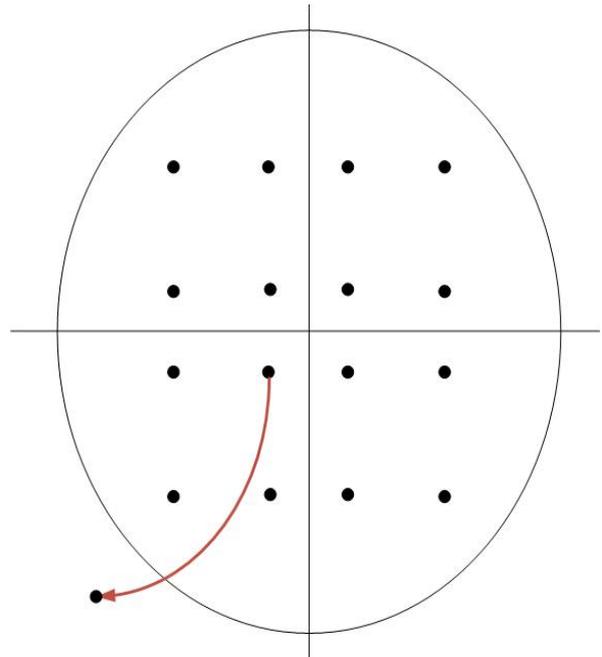


그림5. 복조가 가능한 알고리즘

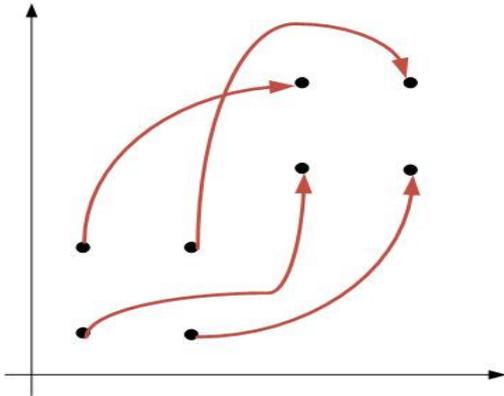


그림 6. 제안된 시스템에 의해 웨이트 되는 예

IV. 시뮬레이션 결과

제안된 스케일링을 통한 SLM 기법 모델은 MATLAB을 이용한 시뮬레이션을 통하여 성능을 분석하였다. 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같으며, 동일한 U에서 SLM을 하지 않은 경우와 SLM을 한 경우 그리고 제안된 모델의 PAPR을 CCDF로 표현하였다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

| | |
|-----------------|--------|
| Modulation Type | 16QAM |
| U | 32 |
| FFT point | 64 |
| Total bits | 640000 |

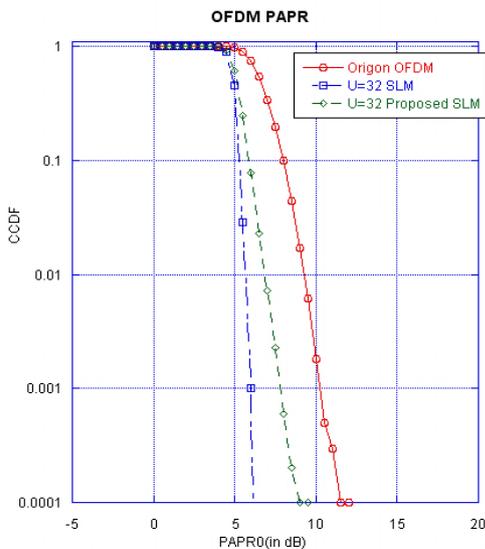


그림5. 제안된 모델의 성능을 나타내는 CCDF

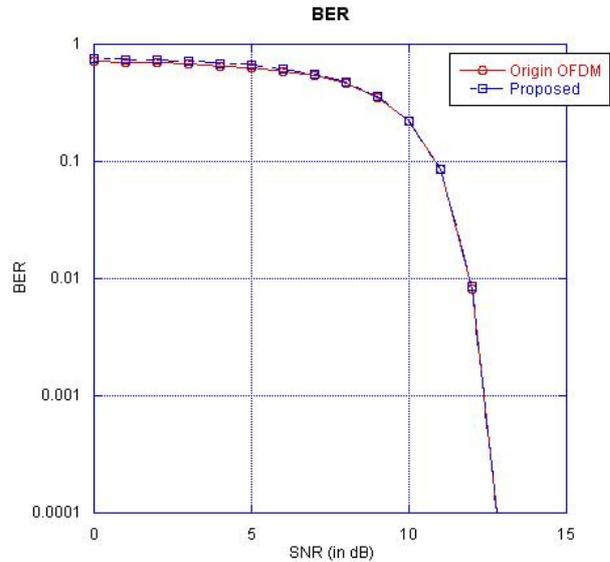


그림6. BER 성능 비교

V. 결론

OFDM 변조방식은 고속 데이터 전송을 위해서 필수적인 방식으로 자리 잡고 있다. OFDM 변조 방식의 문제점 중의 하나인 높은 PAPR을 해결하기 위해서 확실적인 접근 방법인 SLM 기법에 대해 알아보고 부정보의 전송을 없기 위해서 스케일링 방법을 사용하였다. 심볼 자체가 큰 전력을 가지게 되기 때문에 PAPR은 약간 올라가게 되지만, SLM을 사용하지 않은 경우와 비교할 때 큰 성능 개선을 보이며, 부정보 전송이 필요 없기 때문에 전송 효율을 높일 수 있다는 장점을 가진다. 예상과는 달리 BER 성능은 거의 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 적절한 거리 조절로 맵핑된 신호 간에 거리가 큰 영향을 받지 않았기 때문인 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] R. Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*. Boston, MA: Artech House, Mar. 2000.
- [2] S. H. Han and J. H. Lee, "An overview of peak-to-average power ratio reduction techniques for multicarrier transmission," *in Proc. of IEEE Wireless Commun*, vol. 12, pp. 56-65, Apr. 2005.
- [3] X. Li and L. J. Cimini, "Effect of clipping and filtering on the performance of OFDM," *IEEE Signal Commun. Lett.*, vol. 2, no 5, pp. 131-133,

May 1998

- [4] M. Breiling, S. H. Müller, and J. B. Huber, "SLM peak power reduction without explicit side information," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 5, no. 6, pp. 239–241, Jun. 2001.
- [5] V. Tarokh and H. Jafarkhani, "On the computation and reduction of the peak-to-average power ratio in multicarrier communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 48, no. 1, pp. 37–44, Jan. 2000.
- [6] N. Ohkubo and T. Ohtsuki, "A peak to average power ratio reduction of multicarrier CDMA using selected mapping," in *Proc. of 5th IEEE VTC 2002-Fall*, vol. 4, pp. 24–28, Sep. 2002.
- [7] Y. C. Cho, S. H. Han, and J. H. Lee, "Selected mapping technique with novel phase sequences for PAPR reduction of an OFDM signal," in *Proc. of 5th IEEE VTC 2004-Fall*, vol. 7, pp. 4781–4785, Sep. 2004.
- [8] D. Lim, J. No, C. Lim, and H. Chung, "A new SLM OFDM scheme with low complexity for PAPR reduction," *IEEE Signal Processing Lett.*, vol. 12, no. 2, pp. 93–96, Feb. 2005.
- [9] R. J. Baxley, C. Zhao, and G. Zhou, "Magnitude-scaled selected mapping: a crest factor reduction scheme for OFDM without side-information transmission," *IEEE ICASSP 2007*, vol. 3, pp. 373–376, Apr. 2007.
- [10] 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, Sep. 2005.