

차세대 이동통신 시스템을 위한 PAPR 감소와 대역 내 왜곡보정 기법에 대한 연구

A Study on the PAPR Reduction and In-Band Distortion Compensation Schemes for Next Generation Mobile Communication Systems

노재성*, 김완태*

Jae-Sung Roh*, Wan-Tae Kim*

요 약

차세대 이동통신 시스템은 다양한 서비스를 지원하기 위해 다양한 분야에서 연구되며 응용되고 있다. 차세대 이동통신 시스템 연구에 있어 최대 관심은 다양한 통신시스템의 통합과 빠른 데이터 전송을 이용한 다양한 서비스의 제공이다. 통신시스템의 통합은 Multi Standard Modem을 이용하여 연구되고 있으며, 다양한 서비스 제공을 위한 빠른 데이터 전송은 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식이 적용되고 있다. 본 논문에서는 차세대 이동통신을 위한 Multi Standard Modem을 이용하여 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio)을 감소시키기 위한 방법을 제안하고, PAPR 감소 중 발생하는 문제점인 대역 내 왜곡을 EVM(Error Vector Magnitude)을 이용하여 보정하는 기법을 제안하였다. 본 논문에서는 제안한 방법을 이용하여 차세대 이동통신 시스템의 PAPR 감소 효율, CCDF(Complementary Cumulative Distribution Function)와 BER(Bit Error Rate) 성능을 시뮬레이션을 통해 분석했다. 시뮬레이션 결과 차세대 이동통신 시스템의 성능이 개선됨을 알 수 있다.

Abstract

Next generation mobile communication systems have been studied and applied to support various services. In next generation mobile communication systems, the most interested research is the integration of various communication systems and the offer of various services by using high-speed data transmission. The integration of communication systems has been researched by using multi standard modem, while the high-speed data transmission for the offer of various services has been applied by using OFDM. This paper has proposed the method to reduce PAPR by using multi standard modem. with EVM, this paper has also suggested the method to compensate in-band distortion while reducing PAPR. By using the proposed methods, this paper has analyzed and simulated the decrease efficiency of PAPR, the performance of CCDF, and the performance of BER in next generation mobile communication systems. The simulation results improved the performance of next generation mobile communication system can be seen that.

Key words : OFDM, PAPR, Clipping, CCDF, EVM

I. 서 론

차세대 이동통신 시스템은 최근 이동통신 LTE

* 서일대학교 정보통신과
· 제1저자 (First Author) : 노재성
· 투고일자 : 2012년 3월 7일
· 심사(수정)일자 : 2012년 3월 9일 (수정일자 : 2012년 4월 23일)
· 게재일자 : 2012년 4월 30일

(Long Term Evolution) 서비스를 시작으로 다양한 멀티미디어 서비스를 지원하고 있다. 따라서 LTE 서비스의 시작으로 다양한 응용서비스들이 출현 할 것이며, 통신시스템들 간의 융합이 이루어질 것으로 예상된다. 통신시스템들 간의 융합은 서로 다른 통신방식의 시스템을 하나의 시스템으로 융합하여 다양한 서비스를 동시에 제공하는 개념으로 정의되며, 그에 따라 Multi Standard Modem 에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1],[2]. 또한 차세대 이동통신 시스템은 대용량 멀티미디어 서비스를 실시간으로 제공하는 필수 조건이므로 이를 위해 OFDM 방식과 그 외 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum), CDMA(Code Division Multiple Access), WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access) 등 다양한 통신방식을 포함해야 한다. 그 중 OFDM 방식은 직교하는 여러 부반송파를 사용하여 정보를 전송하는 기법으로 단위 시간당 많은 양의 정보를 전송 할 수 있는 장점을 가지며, 주파수 선택적 페이딩이나 협대역 간섭에 효율적이기 때문에 주로 고속 멀티미디어 전송 방식으로 응용되고 있다. 그러나 OFDM 시스템에서는 여러 부반송파가 동위상으로 겹쳐지면서 최대 부반송파수에 비례하여 PAPR이 증가한다. 따라서 PAPR 문제를 감소시키기 위한 여러 가지 방법들이 제안되고 있으며, 그중 일정크기 이상의 신호에 대하여 신호를 제거하는 clipping은 PAPR을 감소시키는데 있어 가장 간단한 기법이다. 하지만 clipping 기법은 원 신호를 왜곡시키기 때문에 대역 내 왜곡이 발생하여 BER 성능이 저하되고, 대역 외 스펙트럼 방출 현상이 발생하는 문제점을 가진다[3]. 이를 개선하기 위하여 clipping 이후에 filtering을 수행함으로써 대역 외 스펙트럼 방출을 감소시킬 수 있다. 하지만 filtering 이후 침투값의 재생성이 일어나기 때문에 PAPR 문제가 여전히 존재하며, 반복 구조의 clipping & filtering 기법으로 침투값 재생성 문제는 어느 정도 해결할 수 있지만 반복되는 clipping & filtering 과정에 의해 원신호의 왜곡에 의해 대역 내 왜곡이 점점 심각해지는 문제점을 가지게 된다[4]. 따라서, 본 논문에서는 차세대 이동통신 시스템을 위한 Multi Standard Modem 구조에 PAPR을 감소시킬 수 있는 clipping & filtering 기법을 적용하여 대역외 왜곡을 감소시키고, 대역내 왜

곡을 보정하기 위해 clipping & filtering 이후 신호의 EVM 값을 측정하여 왜곡 정도를 확인한 후 일정 기준 이상으로 왜곡된 신호를 보정하는 기법에 대하여 분석하였다.

II. 대역내 왜곡 보정 기법

2-1 Multi Standard Modem

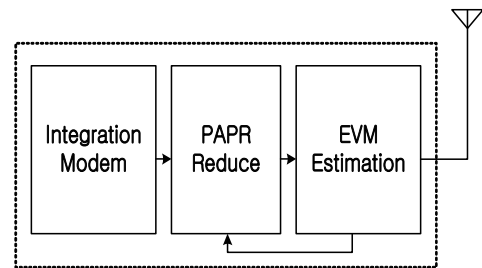


그림 1. 차세대이동통신 시스템 송신 구조
Fig. 1. Next Generation Mobile Communication transmit structure.

그림 1은 본 논문에 적용한 차세대 이동통신 시스템의 송신기 구조이다. 다양한 통신시스템을 지원하기 위한 Integration Modem 구조 중 OFDM 방식을 사용함에 있어, 발생하는 PAPR에 의한 대역외 왜곡을 감소시키기 위한 PAPR Reduce 블록을 추가하고, 대역내 왜곡을 감소시키기 위해 EVM 추정 블록을 추가하였다. 제안하는 PAPR 감소 기법은 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 매핑을 거쳐 입력된 데이터는 다수의 부반송파로 변조하기 위해 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)를 수행한 후 clipping & filtering을 반복적으로 적용한다. 다음으로 ISI (Inter Symbol Interference) 방지를 위해 GI (Guard Interval)를 삽입하고, EVM 추정 블록을 거친후 HPA (High Power Amplifier)에서 신호를 증폭시킨 후 전송하게 된다.

2-2 PAPR 감소

본 논문에서는 PAPR을 감소시키기 위해 clipping 과 filtering을 반복적으로 수행하는 Iterative Method를 적용하였다. 이 기법은 clipping을 이용하여 신호의

침두값을 감소시키고, 그때 생기는 대역의 스펙트럼을 filtering하여 해결하는 방법이다. 하지만 filtering 과정에서 신호의 침두값이 재생성 되고, 이를 제한하기 위해 반복적으로 clipping과 filtering을 수행한다. 그림 2는 본 논문에 적용한 Iterative Method의 시스템 블록도이다[5].

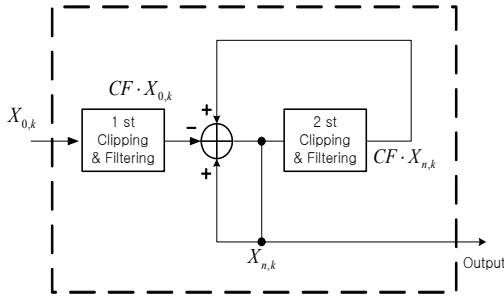


그림 2. Iterative Method 구조
Fig. 2. Iterative method structure.

그림 2에서 clipping 블록은 신호의 크기가 일정 레벨 이상을 초과할 때 차분 값을 계산하며, 식 (1)과 같다.

$$C_k = \begin{cases} 0, & |X_k| \leq Th_{clipp} \\ X_k - Th_{clipp} \cdot e^{j\angle X_k}, & |X_k| > Th_{clipp} \end{cases} \quad (1)$$

식 (1)에서 X_k 는 IFFT 이후의 신호를 나타내며 Th_{clipp} 는 차분 clipping을 수행하기 위해 필요한 제한 레벨의 크기이다. 신호의 크기가 제한 레벨보다 작으면 0이라는 신호를 보내게 되고, 제한 레벨보다 크면 신호의 위상은 고정시키면서 신호와 제한 레벨의 차분 값을 계산하여 보내게 된다. 이렇게 계산된 차분값을 이용하여 반복적으로 clipping & filtering을 과정을 반복수행하여 시스템에서 필요로 하는 PAPR 값을 만족시킬 수 있다. 따라서 Iterative Method를 통해 시스템에서 발생하는 침두값 재생성을 보다 효율적으로 감소시킴으로써, 차세대 이동통신 시스템이 가지는 PAPR 문제와 clipping 과정 중에 발생하는 대역의 왜곡 문제를 해결할 수 있다.

2-3 EVM을 이용한 대역내 왜곡 보정

PAPR 감소를 위해 clipping & filtering 과정을 반복적으로 수행할 경우, 신호를 강제로 왜곡 시키게 되어 대역내 왜곡이 발생하게 된다. 대역내 왜곡을 확인하기 위해 주파수 축에서 신호의 성좌도를 보면 그림 3과 같다. Clipping 과정에 의해 발생하는 오류의 경우 성좌도의 점이 결정 경계(decision boundary)를 넘어서는 경우인데, 경계에 가까울수록 오류가 발생할 확률은 높아진다.

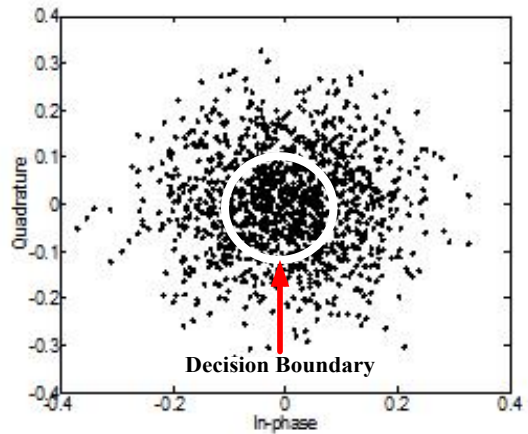


그림 3. Clipping에 의한 왜곡된 성좌도
Fig. 3. Distorted constellation by clipping.

본 논문에서는 오류를 보정하기 위하여 FFT 이후의 신호에 대하여 원점을 기준으로 EVM을 측정하여 위상은 고정하고 크기만 변화시켜 보정하는 기법을 적용하였다. 이 기법은 실제 신호에 영향을 주는 차분 신호를 EVM으로 보정함으로써 원 신호의 왜곡을 줄이는 기법이다. 식 (2)는 일반적인 OFDM 시스템의 주파수 축에서의 EVM을 나타낸 수식이다 [6],[7]. 식에서 $\bar{C}(n)$ 은 차분 clipping을 수행한 후 FFT를 거친 신호이고 $C(n)$ 은 비교가 되는 기준 신호이다. 그리고 M은 OFDM 심볼의 개수, N은 부반송파의 개수를 나타내며 l은 심볼의 순서, n은 부반송파의 순서를 나타낸다.

$$EVM = \sqrt{\frac{\sum_{l=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} |\bar{C}(n) - C(n)|^2}{\sum_{l=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} |C(n)|^2}} \times 100(\%) \quad (2)$$

적용된 구조에서 FFT 과정을 거치는 신호는 PAPR을 감소시키기 위해 16 QAM 매핑 된 신호에 차분될 신호이므로 기준은 왜곡이 없는 경우인 0이 된다. 그러므로 $C(n)$ 은 0이 되고 EVM 수식을 식 (3)과 같이 간단하게 정리할 수 있다.

$$EVM_{proposed} = \sqrt{\sum_{l=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} |\bar{C}(n)|^2} \times 100(\%) \quad (3)$$

식 (3)에서 비교의 기준이 되는 $C(n)$ 이 필요하지 않기 때문에 계산의 복잡도를 줄일 수 있으며, 식 에 계산한 EVM을 바탕으로 $EVM\{\bar{C}_k\} > Th_{EVM}$ 이 될 경우 대역 내 왜곡에 대한 보정이 식 (4)와 같이 이루어지고 이때 Th_{EVM} 는 에러 벡터에 대한 경계값 이 된다.

$$\hat{C}_k = \begin{cases} \bar{C}_k, & EVM\{\bar{C}_k\} \leq Th_{EVM} \\ Th \cdot e^{j\angle \bar{C}_k}, & EVM\{\bar{C}_k\} > Th_{EVM} \end{cases} \quad (4)$$

그림 4는 EVM 5%로 대역 내 왜곡을 보정한 것이다. 그림 3에서와 같이 성좌도의 에러 경계선을 벗어나는 신호에 대하여 EVM을 측정하여 경계선 안쪽에 신호가 분포할 수 있도록 제한된 것을 확인할 수 있다.

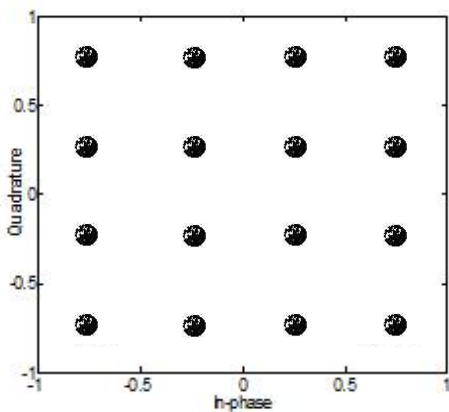


그림 4. 대역 내 왜곡이 보정된 성좌도(EVM 5%)
Fig. 4. Constellation after inband distortion compensation(EVM 5%)

III. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서 제안한 기법의 성능 평가를 위한 시뮬레이션 조건은 다음과 같다. 변조 방식으로 16 QAM을 사용하고, 전체 부반송파의 수를 $N=256$ 으로 설정 하였다. 실제 통신 시스템에서는 통신 환경에 따라 허용되는 왜곡의 정도가 다르므로 성능을 살펴 보기 위하여 EVM 제한 레벨이 5%, 15%인 경우를 기준으로 시뮬레이션을 하였다. 제안하는 구조가 차세대 이동통신 시스템이 만족할 수 있도록 반복적으로 수행되기 때문에 반복 횟수에 따른 CCDF, BER 성능을 분석하였다.

3-1 CCDF 성능

차세대 이동통신 시스템에서 OFDM 방식을 사용할 경우 시스템은 다수의 부채널이 존재하며 평균 파워가 일정하지 않기 때문에 PAPR을 감소시키기 위한 크기 제한은 절대적일 수 없으므로 OFDM 신호의 PAPR 감소를 확인하기 위해 CCDF를 분석하였다. 그림 5는 EVM을 5%로 보정하고 PAPR 4.2 dB로 신호를 제한하였을 때의 CCDF이다. 원신호의 CCDF인 E와 제안한 구조를 한번 적용하였을 때의 D를 비교한 결과, 제안한 구조를 한번 수행하면 0.7 dB 정도의 PAPR 감소가 있음을 확인할 수 있다. 이는 filtering과 EVM 보정 과정에서의 첨두값 재생성 때문이며, 이를 해결하기 위해 제안한 구조를 반복적으로 수행한다. 제안한 구조를 반복적으로 수행한 B ~ D를 분석해 본 결과 반복 횟수가 늘어날수록 PAPR이 1 ~ 1.5 dB 정도 씩 지속적으로 감소함을 알 수 있다.

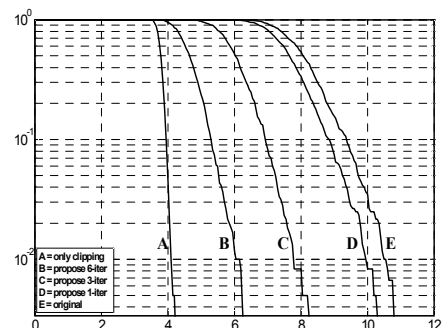


그림 5. EVM 5%일 경우의 CCDF
Fig. 5. CCDF case at 5% EVM

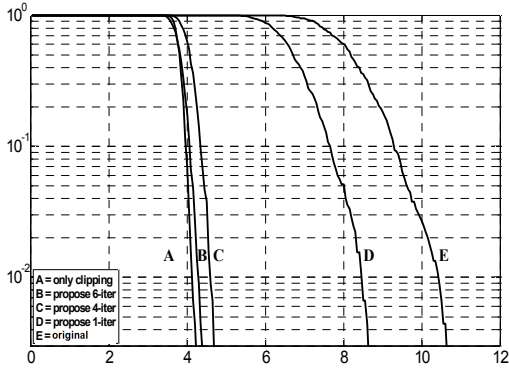


그림 6. EVM 15%일 경우의 CCDF
Fig. 6 CCDF case at 15% EVM

그림 6은 EVM을 15%로 보정하고 PAPR 4.2 dB로 신호를 제한하였을 때의 CCDF이다. 그림 5에서 제안한 기법을 반복적으로 6번 수행했을 때와 그림 6에서 제안한 기법을 반복적으로 6번 수행하였을 때의 CCDF를 비교해 보면 EVM을 5%로 적용했을 경우 6번 반복에 의한 PAPR의 CCDF는 6.4 dB 정도이고 EVM을 15%로 적용했을 경우 6번 반복에 의한 PAPR의 CCDF는 4.2 dB로 2.2 dB 정도의 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 이것은 EVM이 증가할 경우 더욱 빠르게 PAPR이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

3-2 BER 성능

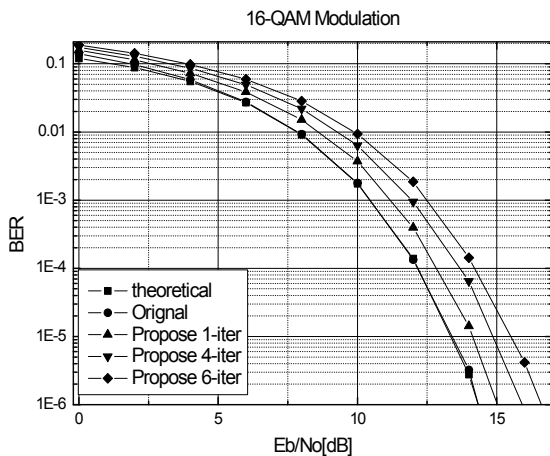


그림 7. EVM 15%일 경우 제안한 구조의 BER
Fig. 7. BER of proposed structure at 15% EVM

그림 7은 차세대 이동통신시스템에서 OFDM 방식을 사용하며, 16 QAM 변조방식을 적용할 경우 EVM을 15%로 보정하고 PAPR 4.2 dB로 신호를 제한할

때의 BER이다. 제안한 구조를 한번 수행한 경우와 수행하지 않았을 경우를 비교하면 BER 10⁻⁵ 기준으로 0.7 dB 정도 성능이 차이가 발생되는 것을 알 수 있고, 반복 횟수가 4회를 넘어서면 1 dB 이상으로 성능이 감소하며, 최종적으로 한번 수행한 경우와 여섯 번 수행한 경우를 비교할 때 3 dB 정도로 성능이 저하된다. 따라서 제안한 구조를 반복할수록 BER 성능은 조금씩 저하되는 것을 확인할 수 있으며, 이것은 반복적으로 수행되는 clipping & filtering 과정을 통해 원신호의 왜곡이 발생하여 신호의 에너지가 작아지기 때문이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 차세대 이동통신 시스템에서 발생하는 PAPR 문제로 인한 대역외 왜곡과 대역내 왜곡을 해결하기 위한 시스템 구조를 제안하였다. 대역 외 왜곡을 해결하기 위해 clipping & filtering 기법을 반복적으로 수행하는 Iterative Method를 적용하여 PAPR 발생에 따른 대역외 왜곡을 해결하고, EVM 보정을 통하여 대역내 왜곡을 개선시키는 방법을 제안하였다. 제안한 구조를 이용하여 차세대 이동통신 시스템에 대한 성능을 분석해 본 결과 EVM 제한 레벨의 크기에 따라 clipping & filtering을 반복적으로 수행할 때 PAPR 감소 정도가 다른 것을 확인할 수 있었고, EVM 제한 레벨을 5%로 제한했을 때 보다 15%로 제한했을 때 동일한 6번의 반복에 대하여 PAPR 성능이 2.2 dB 정도 개선되는 것을 확인할 수 있었다. BER 성능의 경우 PAPR 레벨을 4.2 dB로 설정했을 경우 clipping & filtering의 반복수행에 따라, 원 신호의 에너지가 감소하여 BER 성능이 저하되는 것을 알 수 있었다. 그러므로 차세대 이동통신 시스템에서 요구하는 BER 기준에 대하여 PAPR 감소를 위한 반복횟수의 결정이 필요하다는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 2011년도 서일대학교 학술연구비에 의해 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] 김경호 “LTE 단말 모뎀 기술 및 동향,” *대한전자공학회 논문집*, 36(2), pp. 105- 120, 2009년2월.
- [2] Sanchez, J.J., Morales-Jimenez, D., Gomez, G., and Enrambasaguas, J.T., “Physical layer performance of long term evolution cellular technology,” *Mobile and Wireless Communications Summit, 2007. 16th IST*, 1-5 Jun 2007.
- [3] W. T. Kim, J. B. Ahn, J. K. Ahn, and S, J, Cho, " A study of structural improvement for reducing PAPR," *Conference of Korean Institute of Communication and Sciences*, vol. 29, pp. 438, 2004.
- [4] X. Li, L. J. Cimini and Jr., "Effects of clipping and filtering on the performance of OFDM," *IEEE Communications Letters*, vol. 2, no. 5, pp. 131-133, May. 1998.
- [5] 김완태, 조성준, “4G 이동통신 서비스를 위한 모뎀구조와 PAPR 감소기법,” *한국항공학회논문지 제44권 제2호* pp. 213-219, 2010. 4.
- [6] J. Lei, D. Gang, Z. Ping, "EVM Measurement Algorithm for OFDM Transmitters", *IEEE Communications and Information Technologies*, pp. 102-107, Sept. 2006.
- [7] C. Zhao, R. J. Baxley, "Error Vector Magnitude Analysis for OFDM Systems", *IEEE ACSSC'06*, pp. 1830-1834, Nov. 2006.

노 재 성 (盧在成)



2000년 : 한국항공대학교 정보통신 공학과(공학박사)
 2000년~현재 : 서일대학교 정보 통신과 부교수
 관심분야: 무선 임베디드 시스템 RFID/USN 서비스 응용, 안드로이드 응용 S/W

김 완 태 (金完泰)



2011년 : 한국항공대학교 정보통신 공학과(공학박사)
 2011년~현재 : 서일대학교 정보통신과 전임강사
 관심분야: 차세대이동통신, 통신시스템 설계, WiBro, WCDMA