

# 4G 이동통신 서비스를 위한 모뎀 구조와 PAPR 감소기법

## Modem Structure and PAPR Reduction Method for 4G Mobile Communication Service

김완태\*, 조성준\*

Wan-Tae Kim\*, Sung-Joon Cho\*

### 요 약

최근 모바일 시스템은 하나의 단말로 다양한 서비스망에서의 운용을 위한 Multi-core 시스템 형태로 연구되고 있다. 따라서 하나의 단말로 WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access), MC-CDMA(Multi Carrier-Code Division Multiple Access), CDMA(Code Division Multiple Access), WiBro(Wireless Broadband)를 지원할 수 있는 모바일 시스템들이 출현할 것으로 예상된다. 다양한 서비스망을 지원하기 위한 모바일 시스템은 SoC(System one Chip) 기술과 더불어 하나의 칩셋으로 구현이 가능하며 그에 따른 모뎀 구조가 필요하다. 4세대 이동통신 서비스를 위한 시스템은 고속데이터 전송을 필요로 하므로 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식은 필수적으로 적용 되어야 한다. 그런데, OFDM 신호는 독립적으로 변조된 많은 부반송파들로 구성되므로 이들이 동 위상으로 더해질 때 신호의 진폭이 증가하여 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio) 문제가 발생한다. 본 논문에서는 4세대 이동통신 서비스를 위한 모뎀 구조를 제안하고 PAPR 문제를 해결하기 위한 PAPR 감소 기법을 제안한다.

### Abstract

Recently, a multi-core system is studied for single terminal's operations on various service networks for mobile systems. Therefore, it is expected that mobile systems capable of supporting WCDMA, MC-CDMA, CDMA and WiBro would be developed. Mobile systems for supporting various service networks is able to be implemented on a single chipset via SoC(System one Chip) technology, thus a noble modem design proper for SoC technology is necessary. For high speed data transmission of 4G mobile communication services, OFDM scheme has to be applied. But, an OFDM signal consists of a number of independently modulated subcarriers, and superposition of these subcarriers cause a problem that can give a large PAPR. In this paper, a noble modem design for 4G mobile communication services and PAPR reduction method for solving the PAPR problem are proposed.

Key words : OFDM, Clipping, PAPR, Iterative method, 4G mobile, Modem structure.

### I. 서 론

최근 4세대 이동통신은 다양한 멀티미디어 서비스를 하나의 서비스로 통합 하려는 연구가 진행 되고

\* 한국항공대학교 (Dept. of Inform. & Telecom. Eng., Graduate School of Korea Aerospace University)

· 제1저자 (First Author) : 김완태

· 투고일자 : 2010년 3월 18일

· 심사(수정)일자 : 2010년 3월 19일 (수정일자 : 2010년 4월 15일)

· 게재일자 : 2010년 4월 30일

있다[1]. LTE 표준에서는 CDMA를 기반으로 한 이동통신 서비스와 OFDM 을 기반으로 한 WLAN, WiBro 서비스를 통합하려는 연구가 진행 중 이다. 또한 대용량 멀티미디어 서비스 수요가 급증할 것을예상하여 MC-CDMA와 WCDMA 서비스도 통합하려는 연구가 다방면에서 진행 중 이다[2]. 본 논문에서

생성이 일어나기 때문에 PAPR 문제가 여전히 존재하며, 반복구조의 clipping 과 filter 기법으로 침두값 재생성 문제는 어느 정도 해결할 수 있지만 반복 횟수가 증가 할수록 시스템 복잡도가 증가하여 효율이 떨어진다[8].

본 논문에서는 4세대 이동통신서비스를 위한 모뎀

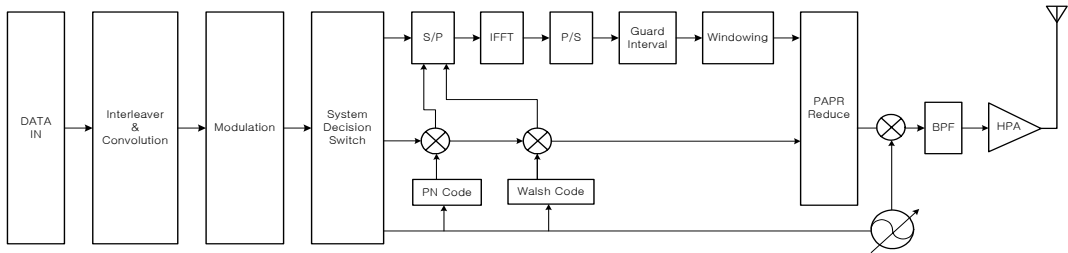


그림 1. 제안하는 모뎀의 구조

Fig. 1. Proposeing modem structure.

는 하나의 단말로 CDMA 와 WiBro, WCDMA, MC-CDMA 서비스를 동시에 지원할 수 있는 단말기 구조를 제안하며, 대용량 서비스를 위한 OFDM 방식의 사용에 따른 문제점인 PAPR을 해결하기 위한 알고리즘을 제안한다. 제안하는 단말의 구조는 확산코드와 Walsh 코드를 사용하는 주파수 확산 방식의 기술과 IFFT를 이용하는 OFDM 기술이 하나의 단말로 통합되며, IFFT 를 사용하며 발생하는 PAPR 문제를 해결하기위한 방법을 제안한다.

PAPR 문제는 A/DC(Analog to Digital Converter), D/AC, 전력증폭기와 같은 비선형 소자를 통과하며 심각한 왜곡이 발생되므로 IFFT 를 사용하는 시스템에서는 꼭 해결되어야 한다[3]. 따라서 PAPR 문제를 해결하기 위해 많은 방법들이 제안되었으며[4], 이들 중 가장 간단하게 PAPR 문제를 해결할 수 있는 것은 clipping 기법이다[5]. 이 기법은 신호의 위상은 변화시키지 않고 일정 레벨을 넘어가는 신호의 크기만을 제한하여 간단하게 PAPR 을 감소시킬 수 있다. 하지만 원 신호를 강제로 왜곡시키기 때문에 대역내 왜곡이 발생하여 BER 성능이 저하되고 대역 외 스펙트럼 방출 현상이 발생하는 문제점을 가진다. 이를 개선하기 위하여 clipping 이후 filtering 을 수행함으로써 대역 외 스펙트럼 방출을 감소시킬 수 있는 기법이 제안되었다[6],[7]. 하지만 filtering 수행으로 침두값 재

구조를 제안하고 멀티미디어 서비스를 위해 사용되는 IFFT 에 의해 발생하는 PAPR 문제를 반복구조의 clipping 과 filtering 기법을 기반으로 한 iterative method[9] 를 적용함으로써 보다 효율적으로 침두값의 재생성을 감소시키는 기법을 제안한다. filtering 이후의 침두값 재생성을 최소한의 반복횟수로 보다 빠르게 임계치 까지 감소시킬 수 있으므로 시스템의 복잡도를 줄일 수 있다.

## II. 제안하는 모뎀구조

그림 1은 본 논문에서 제안하는 4세대 이동통신 서비스 지원을 위한 모뎀의 구조이다. 입력된 데이터는 채널에서 발생될 연접에러와 비트에러에 대비하여 interleaver 와 convolution encoder 를 수행하게 되고, 변조방식은 BPSK, QPSK 또는 QAM 변조를 수행하게 된다. 변조된 신호는 지원하고자 하는 서비스 망에 따라 OFDM 방식과 MC-CDMA, WCDMA, CDMA 방식으로 선택 되게 된다. 서비스망 선택은 SDS(System Decision Switch) 블록을 거치며 결정되게 되고, 선택된 시스템이 CDMA 또는 WCDMA 일 경우 PN 코드와 Walsh 코드 블록을 거쳐 PAPR 을 감소시킨 후 BPF 와 HPA 를 거쳐 전송되게 된다. BPF 에

입력되기 전 SDS로부터 전송대역 정보를 입력받은 오실레이터는 가변적으로 up converter를 수행한다. 선택된 시스템이 MC-CDMA 의 경우 IFFT 를 수행해야 하므로 S/P(Serial to Parallel converter)에서 병렬 과정이 수행된 후 PN 코드와 Walsh 코드가 더해지게 된다. IFFT 가 수행된 신호는 P/S(Parallel to Serial converter)를 수행한 후 보호구간 삽입과 windowing 과정을 거치고 PAPR 감소 기법을 적용하여 전송하고자 하는 대역으로 전송된다. 선택된 시스템이 OFDM 방식일 경우 입력된 신호는 S/P 과 IFFT, P/S 를 거치고 보호구간 삽입과 windowing 과정을 거친 후 PAPR 감소기법이 적용되어 전송된다. 제안하는 시스템은 IFFT를 사용하는 OFDM, MC-CDMA 방식과 확산 코드를 이용하는 CDMA, WCDMA 시스템을 모두 사용할 수 있도록 제안하기 위해 SDS 블록이 삽입되며 SDS 블록은 시스템이 사용하고자 하는 변조방식과 주파수 대역에 해당하는 정보를 제공하고, 제공되는 정보에 따라 시스템 내의 PN 코드 블록과 Walsh 코드 블록 그리고 up converter 를 위한 오실레이터 블록이 동작한다.

### III. 제안하는 시스템에서의 PAPR

본 논문에서 제안한 시스템 구조 중 MC-CDMA 와 OFDM 시스템을 위해 사용되는 IFFT를 수행하면 개수가 N 개인 시스템의 n번째 기저대역 복소수 신호는 다음과 같다[3].

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

식 (1)에서 k는 부반송파의 순서, n은 심볼의 순서를 나타내며,  $X_k$  는 k 번째 부반송파에 입력되는 QPSK 변조 데이터이다. 위 식에서  $X_n$  은 다수의 부반송파의 합으로 볼 수 있으며 하나의 OFDM 심볼이라 할 수 있다. 심볼 당 N개를 샘플링 하는 Nyquist sampling rate는 continuous-time OFDM 신호의 최대치를 놓칠 수 있으므로 PAPR 을 정확히 측정할 수 없게 된다. 따라서 PAPR 을 정확히 측정하기 위해 sin

호에 zero padding 을 하여 oversampling 을 수행하여 기저대역 복소수 신호는 다음과 같다.

$$x_n = \frac{1}{\sqrt{mN}} \sum_{k=0}^{mN-1} X'_k e^{j2\pi nk/mN} \quad (2)$$

식 (2)에서  $X'_k$  는 QPSK 변조 데이터에 oversampling을 수행한 데이터이며, 실수부와 허수부로 간단히 정리하면 일반적으로 i.i.d(independent and identically distributed) 성질을 갖는 불규칙한 신호로 볼 수 있다. QPSK 변조 신호에서 신호의 구성은  $X_k \in \{\pm 1, \pm j\}$ 가 되고, N이 충분히 크면 중심극한 정리(Central Limit Theorem)에 의해  $Re\{x_n\}$  과  $Im\{x_n\}$ 의 분포는 Gaussian 확률밀도 함수를 갖는 불규칙한 신호가 된다. 따라서  $|x_n|^2$ 은 평균이 0 이고 자유도(degree of freedom)가 2인 중심 chi-square 분포가 되며 전력의 확률밀도 함수는 다음과 같다.

$$F(|x_n|^2) = 1 - e^{-|x_n|^2} \quad (3)$$

식 (3)으로부터 OFDM 심볼의 PAPR이 특정 임계값  $PAPR_0$ 를 초과할 확률을 유도 할 수 있다. 먼저 OFDM 심볼 크기의 최대치와 평균치의 비로 정의되는 PAPR은 다음과 같다.

$$PAPR(x) = \frac{\max(|x|^2)}{E[|x|^2]} \quad (4)$$

식 (4)에서  $\max(|x_n|^2)$ 은 N 개의 표본 가운데 전력이 가장 큰 것을 나타내며,  $E[|x|^2]$ 은 OFDM 심볼  $x$ 의 평균 전력을 의미한다. 위의 수식을 바탕으로 중첩된 부반송파에서 최대 전력을 찾기 위해 상호 무상관인 N 개의 샘플링 된 값들은 이용하여  $PAPR(X)$  가 문턱 값  $PAPR_0$  보다 작을 확률을 CDF(Cumulative Distribution Function)로 나타내면 식 다음과 같다[10].

$$\Pr(PAPR \leq PAPR_0) = (1 - \exp(-PAPR_0))^{\alpha N} \quad (5)$$

식 (5)에서  $\alpha$ 는 oversampling 을 한 N개의 부반송파에 대한 분포를 oversampling 을 하지 않은  $\alpha N$  개의 값이다. 따라서 OFDM 신호의 PAPR에 대한 CCDF(Complement Cumulative Distribution Function)는 다음과 같다.

$$\Pr(PAPR > PAPR_0) = 1 - (1 - \exp(-PAPR_0))^{\alpha N} \quad (6)$$

일반적으로 oversampling 을 한 OFDM 신호에 대하여  $\alpha = 2.8$ 이 적당하다고 알려져 있다[3].

#### IV. 제안하는 PAPR 감소기법

IFFT 에 의해 변조된 OFDM 심볼의 PAPR을 감소시키기 위해 clipping 이후의 filtering 기법이 많이 활용된다. 이 기법은 clipping 을 이용하여 첨두값을 감소시키고, 신호를 제한하는 과정에서의 비선형 왜곡으로 인해 발생하는 대역 외 스펙트럼 방출을 filtering 을 수행하여 해결하는 방법이다. 하지만 filtering 과정에서 신호의 첨두값이 재생성 되어 여전히 PAPR 문제가 존재한다. 이를 해결하기 위해 반복적으로 clipping 과 filtering 과정을 수행하는 기법이 제안되었지만 반복 횟수가 증가 할수록 첨두값 감소 정도가 크게 줄어들고 시스템 복잡도가 증가하여 효율성이 떨어진다.

본 논문에서는 반복 구조의 clipping 과 filtering 기법을 기반으로 하는 iterative method를 적용함으로써 첨두값의 재생성을 보다 효율적으로 감소시킬 수 있는 구조를 제안하였다.

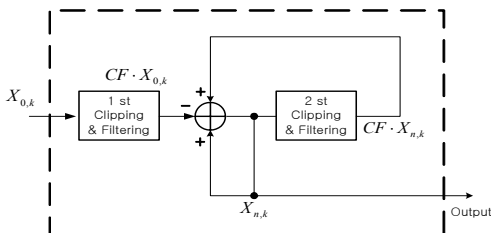


그림 2. 제안하는 iterative method의 구조  
Fig. 2. Proposeing iterative method structure.

그림 2에서 1st clipping& filtering 은 IFFT 변조된

신호  $X_{0,k}$ 를 입력받아 clipping&filtering 을 수행하여 정규 차분 성분을 생성한다. 가감산부는 1st clipping&filtering에서 생성된 정규 차분 성분을 이용하여, 이전 출력신호 및 2st clipping&filtering을 통하여 회귀된 신호를 반복적으로 가감산한다.

즉 가감산부는 n-1 번째 연산된 신호와 2st clipping&filtering에서 처리된 신호를 더하고, 1st clipping&filtering에서 초기 연산된 정규 차분성분을 뺀다. 2st clipping&filtering은 가감산부에서 연산된 신호를 clipping 및 filtering을 수행하고, 수행된 신호를 가감산부로 회귀시킨다. 즉 가감산부는 IFFT가 수행된 신호  $X_{0,k}$ 에 clipping 및 filtering이 수행된 신호  $CF \cdot X_{0,k}$ 를 정규 차분성분으로 두어 clipping 및 filtering이 반복적으로 수행된 신호와 가감산 하면 첨두값 재생성을 감소시키게 되며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_{n,k} = (I + \lambda CF)X_{n-1,k} - \lambda CF \cdot X_{0,k} \quad (7)$$

식 (7)에서  $X_{0,k}$ 는 k번째 부반송파에 입력된 초기 QPSK 변조 신호이고 C는 clipping 수행자이다. F는 filtering 수행자,  $\lambda$ 는 첨두값 감소의 정도를 결정하는 가중치(relaxation parameter),  $X_{n,k}$ 는 n번 반복법에 맞추어 clipping 및 filtering을 수행하여 이전 출력 신호와 가감산된 신호,  $X_{n-1,k}$ 는 n-1 번 반복법에 맞추어 clipping 및 filtering된 이전 출력신호와 가감산된 신호를 나타낸다. 본 논문에서는 가중치를 1로 하였고 가중치가 1 보다 클 경우 첨두값 감소는 더욱 크지만 BER 성능이 떨어지게 되므로 첨두값의 크기를 적절하게 선정해야 한다. C는 신호의 크기가 일정 레벨 이상을 초과할 때 신호를 왜곡시켜 PAPR을 감소시키며 다음과 같다.

$$C_k = \begin{cases} X_k & |X_k| \leq Th_{clipp} \\ Th_{clipp} \cdot e^{j\angle X_k} & |X_k| > Th_{clipp} \end{cases} \quad (8)$$

식 (8)에서  $Th_{clipp}$ 는 clipping 을 수행하기 위한 제한 레벨의 크기이며 신호의 크기가 제한 레벨 보다 작으면 원 신호를 보내게 되고, 제한 레벨보다 크면 신호의 위상은 고정시키면서 신호의 크기만을 제한

레벨의 크기로 감소시켜 보내게 된다.

IFFT 이후 신호  $X_{0,k}$ 가 입력될 때, 이것을 n번 iterative method 구조에 맞추어 clipping 과 filtering을 수행하여 과거 상태와 가감산된 신호는  $X_{n,k}$ 가 된다. 그림 3은 기존의 반복구조 clipping 과 filtering을 제안하는 iterative method와 비교한 그림이다.

Clipping 과 filtering기법은 반복횟수가 많을수록 clipping level 값에 가까워지지만, iterative method 를 적용하면 침두값 재생성을 적은 반복 횟수로 빠르게 감소시킬 수 있다.

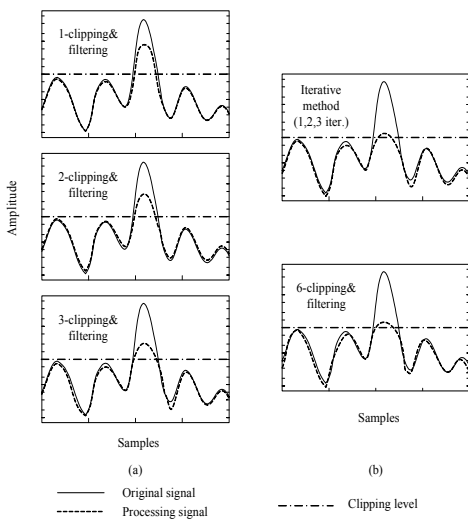


그림 3. clipping & filtering의 반복에 따른 신호  
Fig. 3. Signal following repetition of clipping & filtering.

Iterative method 의 연산은 가감산에서 신호의 왜곡은 일반적인 clipping 과 달리 비선형 왜곡이 아니므로 대역 외 스펙트럼 방출 문제가 없으며 침두값 재생성을 감소시킬 수 있다. Iterative method의 적용은 식 (9)의 수렴조건을 만족하는 경우 가능하다.

$$CF \cdot X_{n,k} - X_{n,k} \leq 0 \quad (9)$$

Iterative method는 적용에 따라 신호의 침두값이 제한레벨 이하로 떨어질 경우 clipping을 수행하지 않아도 되며, filtering에 의해 침두값이 재생성되기 때문에  $X_{n,k}$ 가  $CF \cdot X_{n,k}$ 값 보다 작아져 식 (9)의 조건을 벗어나며 원하는 PAPR 값을 얻을 수 있기 때

문에 추가의 반복 연산이 필요하지 않게 된다.

### V. 시뮬레이션 결과 및 검토

본 논문에서 제안하는 4세대 이동통신 서비스 지원을 위한 모뎀 구조와 PAPR 감소를 위한 iterative method 의 성능을 분석하기 위한 시뮬레이션 조건은 다음과 같다. 제안하는 모뎀 구조 중 IFFT 를 사용하는 OFDM 시스템과 MC-CDMA 시스템 전송방식을 사용하였고, 변조 방식으로 QPSK를 적용하였으며 전체 부반송파의 수를  $N=256$  으로 하였다. IFFT 를 수행한 후의 신호는 MC-CDMA와 OFDM방식에 관계없이 OFDM 심볼로 정의하였으며, 다수의 부반송파의 중첩에 의해 평균 파워가 일정하지 않은 PAPR 을 감소시키기 위한 제한 레벨은 절대적일 수 없으므로 clipping 이후의 PAPR 값과 침두값 재생성 감소 정도를 확인하기 위해 CCDF 를 분석하였다.

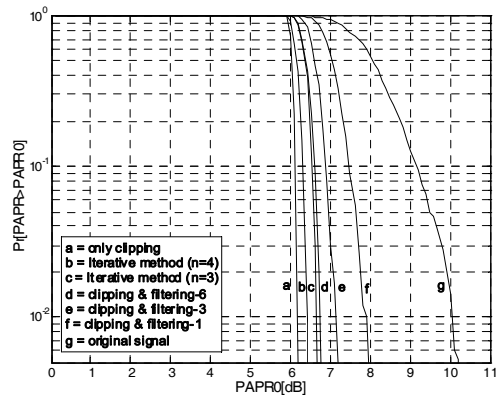


그림 4. 시스템 CCDF  
Fig. 4. CCDF of system.

그림 4는 PAPR이 6.0 dB가 되도록 신호를 제한한 경우의 CCDF 이다. 신호를 clipping 하였을 때 a 와 filtering 을 수행한 이후의 신호인 f 를 비교하면 신호의 침두값이 1.9 dB 가량 재생성 된 것을 확인할 수 있다. 반복구조의 clipping 과 filtering 을 수행한 d, e, f 를 비교하면 반복 횟수가 증가할수록 침두값의 재생성이 줄어드는 것을 확인할 수 있지만, 원하는 제한레벨 만큼 감소하기에는 한계가 있으며 반복횟수가 증가 할수록 PAPR 감소 정도가 줄어드는 것을 확

인할 수 있다. 이를 개선하기 위해 iterative method 를 적용한 신호  $X_{3,k}$  의 CCDF 인 c와 비교하면 0.1 dB 만큼 차이가 있고,  $X_{4,k}$  의 CCDF인 b와 d를 비교하면 0.4 dB 가량 차이가 나는 것을 확인함으로써 반복 횟수를 줄이면서 효율적으로 첨두값 재생성을 제한할 수 있음을 알 수 있다.

표 1은 clipping level에 따른 반복구조의 clipping 이후 filtering 기법과 iterative method 의 첨두값 재생성 정도를 비교하기 위하여 PAPR 값을 나타낸 표이다.

표 1. Clipping level에 따른 PAPR  
Table 1. PAPR follow clipping level.

	Clipping level 5.0[dB]	Clipping level 6.0[dB]	Clipping level 7.0[dB]
Original	9.97	9.97	9.97
Clipping	5.00	6.00	7.00
1-CF	7.17	7.83	8.42
2-CF	6.44	7.26	7.95
3-CF	6.03	6.92	7.71
4-CF	5.85	6.73	7.61
5-CF	5.72	6.64	7.53
6-CF	5.63	6.52	7.44
Iterative method-n=3	5.51	6.35	7.35
Iterative method-n=3	5.36	6.12	7.12

반복 구조의 clipping 과 filtering 기법은 반복 횟수가 증가할수록 첨두값 재생성이 줄어드는 것을 확인할 수 있고, clipping level 이 낮을수록 첨두값의 재생성 정도가 더욱 큰 것을 알 수 있다. Iterative method 를 적용하여 clipping 과 filtering 을 3번 수행한 경우 (n=3)에 PAPR을 보면 반복적으로 clipping 과 filtering 을 6번 수행하였을 때 보다 첨두값의 재생성 감소가 큰 것을 알 수 있으며, 적은 반복 연산으로 효율적으로 첨두값 재생성을 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있다. 그림 5는 iterative method를 적용하였을 때의 대역 외 스펙트럼 방출 크기를 알아보기 위해 PAPR 6.0 dB 로 신호를 제한한 PSD 이다. Clipping 을 수행할 경우 대역 외 스펙트럼 방출이 a 와 같이 증가하는 것을 확인할 수 있고, 이를 감소시키기 위해 clipping 이후 filtering 을 적용하면 c 와 같이 대역 외 스펙트럼 방출이 줄어드는 것을 확인할 수 있다. Clipping 과 filtering 을 3번 반복하여 iterative method 를 적용한 경우 신호의 PSD는 b 와 같이 나타나며, clipping

이후 filtering을 적용한 경우와 비교하여 대역 외 스펙트럼 방출이 크게 증가하지 않는 것을 확인할 수 있다.

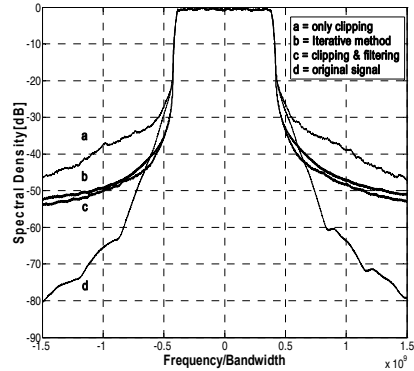


그림 5. 제안하는 구조의 PSD  
Fig. 5. PSD of proposing structure.

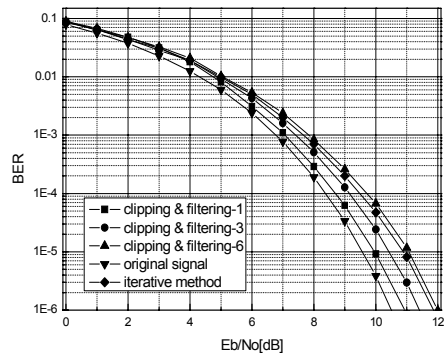


그림 6. Iterative method가 적용된 시스템 BER  
Fig. 6. System BER applied the iterative method.

그림 6은 제안하는 시스템의 대역 내 왜곡을 확인하기 위한 시스템 BER 이다. PAPR 이 6.0 dB 되게 신호를 제한한 경우 반복적으로 clipping 과 filtering 을 적용하면 반복횟수에 비례하여 BER 성능이 떨어지는 것을 확인할 수 있다. PAPR 감소를 위한 iterative method를 적용한 경우 BER 성능을 보면 반복적으로 clipping 과 filtering을 6번 수행하였을 때와 비교 하여 0.2 dB 정도 성능이 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 결과 적으로 CCDF 와 비교하여 PAPR 감소 측면에서도 0.18 dB 가량 성능이 좋아지므로 효율적으로 시스템을 운용할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 4세대 이동통신 서비스를 위한 모뎀 구조를 제안하였고, 멀티미디어 서비스 제공을 위한 대용량 데이터 전송을 위해 사용되는 IFFT 로 인해 발생하는 PAPR 문제를 해결하기위해 iterative method 를 제안하였다. 하나의 모뎀으로 WiBro 서비스를 비롯하여 MC-CDMA, WCDMA 등 다양한 멀티미디어 서비스를 지원하기 위해서는 IFFT의 사용이 필수 요소이며, 그에 따른 PAPR 문제는 해결해야 할 과제 중 하나이다. 따라서 PAPR 문제를 해결하기위해 제안한 iterative method를 제안하는 모뎀 구조에 적용하였을 경우 clipping 과 filtering 을 6번 반복 하면 6.56 dB 의 PAPR을 얻을 수 있는 반면 iterative method 는 3번의 반복으로 6.38 dB의 PAPR을 얻을 수 있었다.

Iterative method를 통해 적은 반복 횟수를 이용하여 첨두값 생성을 줄일 수 있었고, BER을 통하여 대역 내 왜곡에 대하여 살펴본 결과 clipping 과 filtering 을 6번 반복한 경우 보다 iterative method 를 3번 반복하였을 때 0.2 dB 정도의 성능이 향상된 것을 알 수 있었다. 따라서 적은 반복횟수로 CCDF와 BER성능 모두 우수하다는 것을 알 수 있었고, 제안한 모뎀 구조에 iterative medod 를 적용함으로써 안정적인 시스템 운용이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

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 Enbrambasaguas, J.T., “Physical layer performance of long term evolution cellular technology,” *Mobile and Wireless Communications Summit, 2007. 16th IST*, 1-5 Jun 2007.  
 [3] R. Van Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House Publishers, 2000.  
 [4] H. Ochiai and H. Imai, "Performance analysis of deliberately clipped OFDM signals," *IEEE Transactions*, vol. 50, no. 1, pp. 89-101, Jan. 2002.  
 [5] 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.  
 [6] 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.  
 [7] L. Wang and C. Tellambula, "A simplified clipping and filtering techniques for PAR reduction in OFDM system," *IEEE Signal Processing Letters*, Vol 12, no. 6, pp. 453-456, June. 2005.  
 [8] J. Armstrong, "Peak-to-average power reduction for OFDM by repeated clipping and frequency domain filtering," *IEEE Electronics Letters*, vol. 38, no. 5, pp. 246-247, Feb. 2002.  
 [9] J. H. Choi, *Adaptive and Iterative Signal Processing in Communications* , Cambridge,2006.  
 [10] S. H. Han and J. H. Lee, "An overview of peak-to-average power ratio reduction techniques for multicarrier transmission," *IEEE Wireless Communications*, vol. 12, no.2, pp. 56-65, April 2005.

김 완 태 (金完泰)



· 2005년 2월 : 한국항공대학교 대학원 졸업(공학석사)  
 · 2005년 1월~2007년 2월 : (주) 모드뎀 CDMA 단말기 개발.  
 · 2007년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 대학원 박사과정

관심분야 : 무선통신, 4G 이동통신

조 성 준 (趙成俊)



· 1969년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과 졸업 (공학사)  
 · 1975년 2월 : 한양대학교 대학원 전자통신공학 전공 졸업(공학석사)  
 · 1981년 3월 : 오사카대학 대학원 통신공학전공 졸업(공학박사)  
 · 1972년 8월~현재 : 한국항공대학교

항공전자 및 정보통신공학부 교수

관심 분야 : 무선통신, 이동통신, 환경전자공학, 이동무선 인터넷