

http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.1.49

JIIBC 2013-1-7

필터 설계 기법을 통한 WPM의 PAPR 감소에 관한 연구

PAPR Reduction for WPM Schemes using Filter Design Schemes

이규섭*, 최진규**

Kyu Seop Lee, Gin Kyu Choi

요 약 WPM(Wavelet Packet Modulation)은 고속 전송에 적합한 다중 반송파 전송방식으로 여러 필터의 조합으로 유연한 시스템을 구현할 수 있는 장점이 있다. WPM과 같은 다중 반송파 시스템에서 높은 PAPR(Peak to Average Power Ratio)은 가장 큰 문제점 중 하나이다. 본 논문에서는 WPM 시스템의 필터 계수를 조정 하는 방법으로 최소 PAPR을 갖는 WPM 시스템을 제안한다. 우선 PR(Perfect Reconstruction)을 만족하는 필터 계수의 방정식을 구하여 그 방정식을 이용하여 PAPR이 가장 낮게 나올 수 있는 필터계수를 선택한다. 이 필터 계수를 이용하여 최소 PAPR을 갖는 WPM 시스템을 구현하고 모의실험을 통하여 성능 비교를 하였다.

Abstract WPM(Wavelet Packet Modulation) is multicarrier system which is suitable for high speed transmission. The main advantage of using the WPM system is the fact that the flexible system effectively can be realized by the combination of filter coefficient. On the other hand, the major problem of multicarrier system is known to be the high PAPR. In this paper we propose WPM system that has a minimum PAPR by using filter coefficient adjustment method. We first derive the filter coefficient equation and then select the coefficient that has a minimum PAPR. we conduct WPM system by using a selected coefficient and we demonstrate the system performance by using computer simulation.

Key Words : Wavelet Packet Modulation, Peak to Average Power Ratio, Perfect Reconstruction, Wavelet

1. 서 론

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)과 같은 다중 반송파 전송방식은 고성능 프로세서의 저가격화와 컴퓨팅 파워의 증가로 인해 시스템 설계 비용 측면에서 가격 대비 경제성이 수용되어 최근에 이용되고 있는 기술이다. 이와 비슷하게 푸리에 변환 기법 보다 더 진보한 변환기법의 다중 반송파 시스템은 이미 상당기간 전에 개발이 되었지만 최근까지 큰 관심 밖에 있었다. 하

지만 최근 좀 더 높은 성능의 무선 통신시스템에 대한 요구의 증가로 인해 OFDM과 비교하여 좀 더 개선된 성능의 전송 방식으로 WPM에 대한 관심이 높아졌다. WPM은 고속 전송에 적합한 다중 반송파 전송 방식으로 여러 필터의 조합으로 상황에 따라 유연한 시스템을 구축 할 수 있고 주파수 누설과 cyclic prefix등으로 인한 밴드 효율감소가 없는 점 등의 여러 장점으로 현재 UWB(Ultra Wide Band)시스템 및 다양한 이동통신 시스템 등 여러 광대역 통신에서의 응용으로 연구되고 있다^{1, 2, 3, 4}.

*준회원, 홍익대학교 전자전산공학과

**정회원, 홍익대학교 전자전기공학과

접수일자 : 2012년 12월 11일, 수정완료 : 2013년 1월 15일
게재확정일자 : 2013년 2월 8일

Received: 11 December 2012 / Revised: 15 January 2013 /

Accepted: 8 February 2013

**Corresponding Author: gkchoi@hongik.ac.kr

Dept. of Electronic & Electrical Engineering, Hongik University, Korea

OFDM, WPM 시스템과 같은 다중 반송과 전송 방식의 가장 큰 문제점은 입력 신호가 다수의 독립적인 부반송파에 변조되어 같은 위상에서 전송될 때, 시간 영역에서는 일반적으로 순간 최대 전력(peak power)값이 평균 전력(average power)보다 크게 증가하게 되어 PAPR 문제가 대두된다. 신호의 PAPR이 증가하면 ADC(Analog to Digital Converter)와 DAC(Digital to Analog Converter)의 SQNR(Signal to Quantization Noise Ratio)이 저하되며, 또한 송신부 RF단의 전력 증폭기의 효율이 상대적으로 급속하게 감소하게 된다. 특히 PAPR은 송신기의 전력 증폭과 직접 관련되기 때문에 전력 공급이 용이한 기지국보다는 배터리에 의하여 수명이 결정되는 단말기의 상향링크 전송 시에 더욱 큰 영향을 주게 된다. 이러한 영향을 완화시키기 위해 PAPR 저감 기법들이 지속적으로 연구 되고 있다^[56]. PAPR 저감 기법들은 주로 clipping, peak windowing, coding, SLM(Selective Mapping) 그리고 PTS(Partial Transmit Sequence) 또는 ACE (Active Constellation Extension)등의 방법들을 사용하고 있다. 하지만, 기존의 PAPR 저감 기법은 외부 대역으로의 스펙트럼 누설 또는 PAPR을 줄이기 위해 시스템 자체적으로 부가 정보를 보내야 함으로서 생기는 실질 데이터 전송율의 하락과 시스템 복잡도의 증가 등 여러 가지 문제점을 가지고 있다. WPM 시스템은 필터들과 Up-Sampler와 Down-Sampler로 구성되어 있다. WPM 시스템은 이 필터들의 계수를 바꾸어서 시스템을 다양한 설계 기준에 만족 할수 있도록 유연하게 설계 할 수 있는 장점이 있다. 때문에 본 논문에서는 데이터 전송율의 하락과 시스템 복잡도의 증가 없이 WPM 시스템이 PR 조건을 만족하면서 PAPR을 최소로 하는 최적의 QMF filter들의 조합을 얻는 기법을 제안하고자 한다. 본 논문에서는 실제에 가까운 성능 평가를 위하여 PAPR의 CCDF (Complementary Cumulative Distribution Function)를 이용하여 성능 평가를 하였다^[7].

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 WPM 기법에 대해 설명 하였고 III장에서는 PR조건을 만족하고 최소 PAPR을 갖는 필터를 설계 하였다. IV장에서는 시뮬레이션을 통하여 성능 비교를 하였고 마지막으로 V장에서는 결론 및 향후 연구 계획에 대해 언급하였다.

II. WPM 기법

OFDM 시스템에서 복소 지수함수를 기저함수로 사용하는 것처럼 WPM 시스템에서는 스케일링(Scaling) 함수와 웨이브렛(Wavelet) 함수라는 2개의 기저 함수를 사용한다. 이 스케일링 함수와 웨이브렛 함수는 다양한 설계 기준을 만족할 수 있도록 유연하게 설계 할 수 있다. 이때 이 스케일링 함수와 웨이브렛함수는 QMF인 저주파 필터와 고주파 필터를 이용하여 구현 할 수 있다. 이때 이 필터들의 관계는 다음과 같다. 여기에서 $2N$ 은 필터 계수의 길이이다.

$$g(n) = (-1)^n h(2N - 1 - n) \quad (1)$$

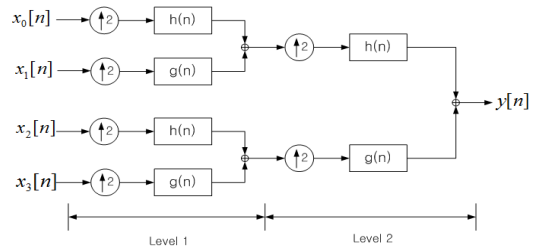


그림 1. 일반적인 4 부채널 WPM 송신기

Fig. 1. Typical WPM transmitter with 4 sub-channel

WPM 시스템에서는 다수의 부 채널로 서로 독립인 신호가 들어온다. 이 신호는 Up-Sampling되고 LPF와 HPF를 통과하여 서로 더해져서 $y[n]$ 이 된다. 그림 1에서는 4개의 부채널이 존재할 때의 예를 보여준다. WPM 시스템에서는 M 개의 Level이 있을 때 2^M 개의 부 채널이 존재한다. WPM의 부채널이 많을수록 입력신호는 Up-Sampling 되고 필터를 통과하여 더해지면서 점점 큰 Peak의 출력 값을 갖게 된다. 때문에 OFDM과 같이 PAPR이 커지는 문제점을 갖게 된다.

기저대역 출력 $y(n)$ 의 PAPR은 다음과 같이 정의 된다. 여기서 $\max\{|y(n)|^2\}$ 은 신호 $y(n)$ 의 최대 순시 전력이며 $E\{|y(n)|^2\}$ 은 신호 $y(n)$ 의 평균 전력을 의미 한다.

$$PAPR = \frac{\max\{|y(n)|^2\}}{E\{|y(n)|^2\}} \quad (2)$$

전체 WPM 송수신 시스템의 블록도는 그림 2와 같다.

송신단은 IDWPT(Inverse Discrete Wavelet Packet Transform)으로 구성되어 있고 수신단은 DWPT(Discrete Wavelet Packet Transform)으로 구성 되어 있다. 여기서 채널이 없다고 가정 하였을 경우 $x[n] = \hat{x}[n]$ 을 만족하는 경우를 PR(Perfect Reconstruction) 이라고 한다.

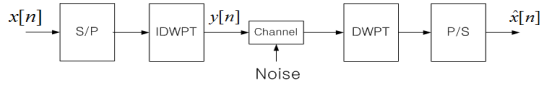


그림 2. WPM 시스템 전체 블록도
Fig. 2. Block diagram of WPM 시스템

III. 제안된 PAPR 감소 기법

1. PR을 만족하는 필터 계수

WPM의 필터 계수는 우선 PR을 만족하도록 설계 되어야 한다. 본 논문에서는 시스템의 간결성을 위해 필터의 tap수를 4 tap 으로 제한하였다.

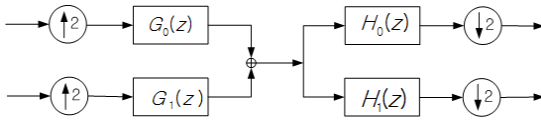


그림 3. WPM 시스템의 2 밴드 모델
Fig. 3. 2 band model for WPM system

N 밴드 모델은 2밴드 모델의 필터로 유도 할수 있기 때문에 우선 WPM 시스템 중에서 가장 간단한 모델인 2 밴드 모델로 필터 계수의 방정식을 유도 하였다. 위와 같은 2 band model에서 PR을 만족하는 필터 계수의 방정식을 구하려면 몇 가지 조건을 만족해야 한다. 그리고 PR을 만족할 때 각 필터는 다음의 관계를 갖는다. $H_1(z), G_0(z), G_1(z)$ 는 아래의 식 (3), (4), (5)의 관계가 있기 때문에 $H_0(z)$ 의 필터 계수의 값을 알면 나머지 필터의 값도 알 수 있다.

$$H_0(z) = h_0[0] + h_0[1]z^{-1} + h_0[2]z^{-2} + h_0[3]z^{-3} \quad (3)$$

$$H_1(z) = z^{-3}H_0(-z^{-1}) \quad (4)$$

$$G_0(z) = -Z^{-1}H_1(-z) \quad (5)$$

$$G_1(z) = Z^{-1}H_0(-z) \quad (6)$$

WPM 시스템이 PR이 가능하려면 필터들은 다음의 몇 가지 조건을 만족해야 한다^[8]. 우선 첫 번째로 식 (7)을 만족해야 한다. 두 번째로 $H_0(z)$ 는 LPF 이어야 한다 즉 식(8)을 만족해야 한다 . 그리고 마지막으로 Wavelet 조건을 충족하기 위하여 식 (9)를 만족 하여야 한다.

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} h_0[k]h_0[k-2n] = \delta[n] \quad (7)$$

$$H(e^{j\pi}) = H(-1) = 0 \quad (8)$$

$$\sum_k h[k] = \sqrt{2} \quad (9)$$

위의 식(7), (8), (9)의 조건을 이용하여 필터계수의 방정식을 구하면 다음과 같이 구할수 있다.

$$h_0[0]^2 + h_0[1]^2 + h_0[2]^2 + h_0[3]^2 = 1 \quad (10)$$

$$h_0[0]h_0[2] + h_0[1]h_0[3] = 0 \quad (11)$$

$$h_0[0] - h_0[1] + h_0[2] - h_0[3] = 0 \quad (12)$$

$$h_0[0] + h_0[1] + h_0[2] + h_0[3] = \sqrt{2} \quad (13)$$

위의 방정식을 연립 하여 방정식을 풀면 $h_0[n]$ 의 계수를 다음과 같이 $h_0[0]$ 에 관한 식으로 나타낼 수 있다.

$$h_0[1] = \frac{\sqrt{2}}{4} + \sqrt{\frac{1}{4} - \left(h_0[0] - \frac{\sqrt{2}}{4}\right)^2} \quad (14)$$

$$h_0[2] = -h_0[0] + \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (15)$$

$$h_0[3] = \frac{\sqrt{2}}{4} - \sqrt{\frac{1}{4} - \left(h_0[0] - \frac{\sqrt{2}}{4}\right)^2} \quad (16)$$

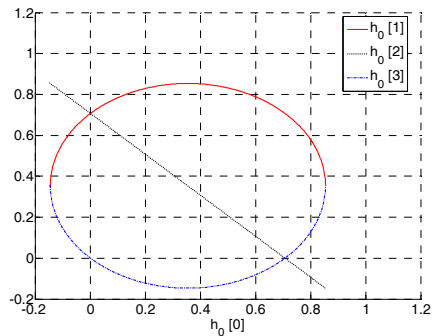


그림 4. WPM 필터 계수 방정식의 그래프
Fig. 4. graph of filter coefficient equation in WPM

위에서 구해진 필터 계수를 그래프로 그려 보면 위의 그림 4와 같은데 여기서 필터 계수의 범위는 위의 식 (14), (16)이 실수가 되는 범위 이므로 그림 4와 같이 $h_0[0]$ 의 값이 $\frac{\sqrt{2}}{4} - 0.5$ 보다는 크고 $\frac{\sqrt{2}}{4} + 0.5$ 보다는 작은 범위에서만 존재하게 된다. 따라서 식 (17)의 범위 내에서 $h_0[0]$ 의 값을 정하고 식 (14), (15), (16)을 이용하면 PR 조건을 만족하는 WPM의 필터를 구현할 수 있다.

$$\frac{\sqrt{2}}{4} - 0.5 < h_0[0] < \frac{\sqrt{2}}{4} + 0.5 \quad (17)$$

2. 최소 PAPR을 갖는 필터 계수

앞에서 구해진 필터 계수의 방정식을 이용하여 PR을 만족하며 가장 낮은 PAPR을 갖는 필터 계수를 구하기 위하여 $h_0[0]$ 의 값이 나올 수 있는 범위인 식 (17)의 범위에서 PAPR의 CCDF값이 최소인 필터 계수를 derivative-free method를 이용하여 얻었다. 이 알고리즘을 통하여 얻어진 가장 작은 PAPR을 갖는 필터 계수는 표 1과 같다.

표 1. 필터 계수
Table 1. filter coefficient

	$h_0[0]$ 의 값
최소 PAPR 필터 계수	$h_0[0] = 0.8535$
최대 PAPR 필터 계수	$h_0[0] = 0.0001$

IV. 실험 및 결과

본 논문에서는 WPM의 출력단이 가장 작은 PAPR을 갖는 필터를 찾기 위해 다음과 같이 시뮬레이션을 하였다. 성능 비교를 위해 가장 작은 PAPR을 갖는 필터 계수와 가장 큰 PAPR을 갖는 필터 계수 그리고 daubechies 필터 계수($h_0[0] = 0.4829$) 등 세 가지의 경우에 대하여 CCDF 그래프의 크기를 비교하였다. CCDF 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$CCDF(PAPR_0) = \Pr\{PAPR > PAPR_0\} \quad (18)$$

시뮬레이션 실행 시 정확한 측정을 위해 5만개의 데이

터를 임의로 생성하여 CCDF를 계산하였다.

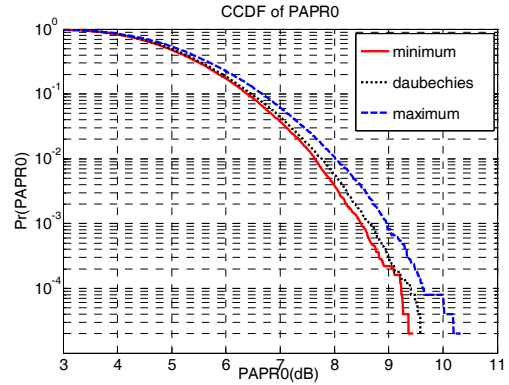


그림 5. 4-level WPM 시스템의 CCDF 성능비교
Fig. 5. CCDF performance comparison for 4 level WPM system

그림 5는 4-level의 WPM 시스템의 CCDF 성능을 비교한 것이다. 여기에서 WPM 입력 신호는 4QAM으로 변조된 심볼이 사용되었다. 위의 결과를 보면 최소 PAPR을 갖는 필터계수와 최대 PAPR을 갖는 필터 계수의 10^{-5} 부근에서 대략 1dB 정도의 성능 차이가 있음을 확인할 수 있다 또한 daubechies 필터와의 성능 차이도 대략 0.3 dB정도 더 좋은 성능을 내는 것을 볼수 있다.

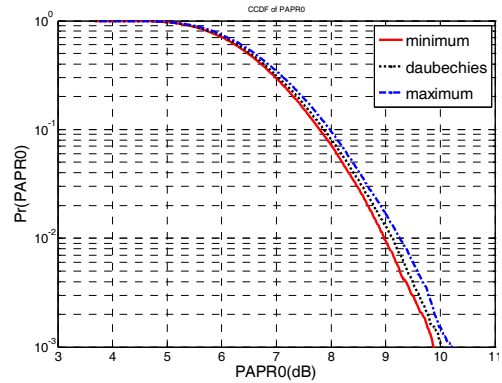


그림 6. 6-level WPM 시스템의 CCDF 성능비교
Fig. 6. CCDF performance comparison for 6-level WPM system

위의 그림 6은 WPM 시스템이 6-level 일때의 CCDF이다. 여기에서 WPM 입력 신호는 4QAM으로 변조된 심볼이 사용되었다. 여기에서도 역시 최소 PAPR을 갖는

필터 계수가 최대 PAPR을 갖는 계수보다 약 0.3 dB 정도의 성능 차이가 있고 또한 daubechies 필터와의 성능 차이도 약 0.1dB 정도로 근소하게 좋은 성능을 내는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구계획

본 논문에서는 WPM 시스템이 PR을 만족하는 범위에서 가장 작은 PAPR을 갖는 QMF 필터들의 조합을 얻는 기법을 제안 하고 시뮬레이션을 통하여 성능 비교를 분석 하였다. WPM 시스템의 level이 4일 때와 6일 때의 경우 제안한 필터 계수가 daubechies 필터 계수 와 최대 PAPR을 갖는 필터 계수보다 성능이 향상되었음을 확인할 수 있었다. 따라서 4-tap WPM 시스템을 설계할 때 낮은 PAPR을 갖기 위해서는 본 논문에서 제안한 필터 계수를 사용함으로써 기존의 PAPR 감소 기법에서 문제가 되었던 데이터 전송율의 하락 또는 시스템의 복잡도 증가 없이 단순히 필터 계수만을 변경 하여 WPM 시스템의 PAPR을 낮출 수 있다. 이러한 결과를 바탕으로 향후 필터계수의 tap수를 8-tap 또는 그 이상의 tap으로 확장하여 좀 더 향상된 성능의 WPM 시스템을 연구할 계획이다.

참고 문헌

- [1] Murthy T.S.N., Rao K. D. "Performance of MB-OWDM UWB in Rayleigh Fading Channels" Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2011 7th International Conference on, pp. 1-4
- [2] Shadmand, A. Dilmaghani, R. Ghavami, M. Shikh-Bahaei, M. "Wavelet-based downlink scheduling and resource allocation for long-term evolution cellular systems" Communications, IET, vol. 5, pp. 2091-2095 Sept. 2011.
- [3] Ga-Hye Bae, Tae-Sun Choi, "Shape from Focus using Integrated Directional Derivative(IDD) Gradient Operator in Wavelet Domain," Journal of the Korean Institute of Information Technology, vol. 9, no.4, April 2011, pp. 187-194
- [4] Byong-Seok Min, Seung-Jong Kim, Dong-Kyun Lim, "Enhancement of wavelet -coded Image by Directional Filtering" Journal of the Korea academia-Industrial cooperation Society, v.8, no.2, 2007, pp. 257-266
- [5] 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. 5665, Apr. 2005.
- [6] Baro, M., "PAPR Reduction in Wavelet Packet Modulation Using Tree Pruning" Vehicular Technology Conference, 2007. VTC2007-Spring. IEEE 65th, pp. 1756 - 1760
- [7] C. Schurgers and M. B. Srivastava, "A systematic approach to peak-to average power ratio in OFDM," in SPIE's 47th Annual Meeting, San Diego, CA, 2001, pp. 454 - 464.
- [8] P.P. Vaidyanathan, "Multirate Systems and Filter Banks", Prentice Hall NJ, 1993

저자 소개

이 규 섭(준회원)



- 2009년 : 홍익대학교 전자전기공학과 (BS)
- 2011년 : 홍익대학교 전자전산공학과 (MS)
- 2011년 ~ 현재 : 홍익대학교 전자전산 공학과 박사과정

<주관심분야 : 차세대이동통신, wavelet, uwb, 통신신호처리>

최 진 규(정회원)



- 1983년 : 성균관대학교 전자공학과 (BS)
- 1990년 : (미)Polytechnic Univ. 전자 전기공학과 (MS)
- 1994년 : (미)Polytechnic Univ. 전산 과학과 (MS)
- 1996년 : (미)Polytechnic Univ. 전자

전기공학과 (Ph.D)

- 1983년 ~ 1986년 : LG 전자, Motorola Korea 연구원
- 1996년 ~ 2004년 : 삼성전자 통신연구소 수석연구원
- 2004년 ~ 현재 : 홍익대학교 과학기술대 전자전기공학과 부 교수

<주관심분야 : 차세대이동통신, 초광대역 통신, 통신신호처리>