

Fuzzy 이론을 이용한 OFDM 시스템에서 PAPR 감소 기법

PAPR Reduction Method of OFDM System Using Fuzzy Theory

이동호 · 최정훈 · 김 남 · 이봉운

Dongho Lee · Junghun Choi · Nam Kim · Bongwoon Lee

요 약

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템은 주파수 선택적 페이딩 채널에서 무선 고속 데이터 전송에 적합한 통신 방식이다. 본 논문에서는 기계 제어에 많이 사용되는 Fuzzy 이론을 이용하여 OFDM 시스템에서 문제가 되는 PAPR(Peak to Average Power Ratio)을 감소시키는 방법을 제안한다. PAPR을 줄이는데 Fuzzy 이론을 사용함으로써 경험적 실험과 반복에 의한 데이터를 사용하기 쉬우며, 하드웨어적인 측면에서 구현이 쉽고, 또한 보다 적은 연산량으로 쉽게 PAPR을 감소시킬 수 있다. 먼저 입력 신호를 부분적으로 나누고, Fuzzy를 이용하여 부분블록의 PAPR을 낮추어 전체의 PAPR을 낮추어 전송하여 이를 수신단에서 복원하는 비교적 쉽고 간단한 알고리즘을 제안한다. 제안한 방식이 기존의 OFDM 시스템에 비하여 시스템의 연산량이 다소 증가하고 Fuzzy에 관한 정보를 따로 보내야 하는 단점이 있지만, PAPR 감소 측면에서 성능이 개선됨을 확인하였다. 제안하는 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 CCDF(Complementary Cumulative Distribution Function)을 통하여 비교한다. 이 알고리즘에 따르면 QPSK와 16QAM 변조를 사용하여 시뮬레이션을 한 결과, Fuzzy 이론을 이용한 방법이 FFT 크기(N)=512, Oversampling=4인 경우 PR이 10^{-5} 을 기준으로 각각 최대 약 2.3 dB와 3.1 dB의 PAPR 감소됨을 확인할 수 있었다.

Abstract

Orthogonal Frequency Division Multiplexing(OFDM) system is effective for the high data rate transmission in the frequency selective fading channel. In this paper we propose PAPR(Peak to Average Power Ratio) reduction method of problem in OFDM system used Fuzzy theory that often control machine. This thesis proposes PAPR reducing method of OFDM system using Fuzzy theory. The advantages for using Fuzzy theory to reduce PAPR are that it is easy to manage the data and embody the hardware, and required smaller amount of operation. Firstly, we proposed simple algorithm that is reconstructed at receiver with transmitted overall PAPR which is reduced PAPR of sub-block using Fuzzy. Although there are some drawbacks that the operation of the system is increased comparing conventional OFDM system and it is needed to send the information about Fuzzy indivisually, it is assured that the performance of the system is enhanced for PAPR reducing. To evaluate the performance, the proposed search algorithm is compared with the proposed algorithm in terms of the complementary cumulative distribution function(CCDF) of the PAPR and the computational complexity. As a result of using the QPSK and 16QAM modulation, Fuzzy theory method is more an effective method of reducing 2.3 dB and 3.1 dB PAPR than exiting OFDM system when FFT size(N)=512, and oversampling=4 in the base PR of 10^{-5} .

Key words : OFDM, PAPR, Fuzzy, PTS

「이 논문(도서, 작품)은 2009년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2009).」

충북대학교 정보통신공학과(Dept. of Information Communication Eng., Chungbuk National University)

· 논문 번호 : 20091007-115

· 교신저자 : 김남(e-mail : namkim@chungbuk.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 7월 8일

I. 서 론

최근 무선 통신에서는 직교 주파수 분할 다중화(OFDM) 전송 방식이 무선 랜과 디지털 비디오 등의 핵심 기술로 이용되고 있다. OFDM은 주파수 선택적 페이딩이나 협대역 간섭에 대한 강건함이 증가하는 장점이 있다^{[1],[2]}. OFDM에서 PAPR은 직교성의 상실과 함께 가장 심각한 두 가지 단점 중의 하나이다. 고출력 증폭기(HPA : High Power Amplifier)의 제한된 동작 범위로 인하여 높은 PAPR을 지닌 OFDM 신호는 대역 내와 대역 외에서 비선형 왜곡을 초래한다.

이러한 PAPR을 감쇄시키기 위한 여러 가지 기법들이 제안되었다. 첫 번째는 클리핑(clipping) 기법이다^[3]. 이 기법은 신호의 피크(peak) 또는 그 주변에서 클리핑 또는 비선형적으로 신호를 왜곡시켜 피크 크기를 감소시키는 간단한 방법이다. 이 기법은 간단하게 피크를 감소시킬 수 있으나, 송신 신호의 비선형적인 왜곡으로 인하여 대역 내·외에 간섭이 발생하고, 부반송파간 직교성이 파괴되는 문제점이 있다.

두 번째로는 부호화를 통한 PAPR 감쇄 기법이다. 이 기법은 전체 심볼 중에서 일부만이 큰 PAPR을 갖기 때문에 원하는 레벨 이하의 PAPR을 갖는 OFDM 심볼을 생성하는 부호화 기법이다. 이 기법은 클리핑에 의한 비선형 왜곡이 발생하지는 않으나, 원하는 PAPR 레벨이 작아질수록 일반적으로 부호율이 낮아지는 단점이 있다.

세 번째는 OFDM 심볼의 입력 시퀀스를 스크램블링(scrambling) 시퀀스로 스크램블링하여 그 중에서 가장 작은 PAPR을 갖는 출력 신호를 전송함으로써 높은 PAPR이 발생할 확률을 감소시키는 방법이다. 이 기법은 PAPR 값을 임계값보다 무조건적으로 작게 하는 것이 아니라, 높은 PAPR의 신호가 발생할 확률이 최소가 되도록 하는 것이다. R. W. Baum에 의해 제안된 선택 사상(SLM: SeLective Mapping) 기법은 먼저 입력 심볼 시퀀스를 미리 정해진 여러 개의 위상 가중치 값과 곱하여 다른 심볼 시퀀스를 생성한 후 그 시퀀스를 IFFT하여 PAPR 값이 가장 낮은 OFDM 신호를 전송하고, 위상 가중치 값의 정보를 송신한다^{[4],[11]}. S. H. Muller에 의해 제안된 부분 전송

시퀀스(PTS: Partial Transmit Sequence) 기법은 입력 심볼 시퀀스를 서로 겹치지 않는 입력 심볼 부분 블록으로 분할하고, 각각의 입력 심볼 부분 블록을 IFFT한 후 위상 벡터들과 곱하여 더한다. 이때 위상 벡터를 변경하여 가장 낮은 PAPR 값을 갖게 하는 최적의 위상 벡터를 선택하고, 이에 해당하는 위상 벡터 정보를 수신단으로 전송한다^{[5],[11]}. 이 기법은 사용하는 부반송파 수에 따라 연산량이 증가하면서 계산 복잡도가 증가한다는 단점을 갖고 있다.

본 논문에서는 시스템 복잡도와 성능 측면 모두를 고려하기 위해 위상 가중치 값의 선택을 기계 제어에서 많이 적용되는 Fuzzy 이론^[6]을 이용하여 PAPR 값을 줄이는 기법을 제안하였다. Fuzzy 이론을 이용한 방법은 크게 두 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서는 송신 신호에 Fuzzy를 이용하여 확률적으로 PAPR이 낮은 신호를 변조하여 전송하는 것이고, 두 번째 단계에서는 Fuzzy화 된 신호를 복조할 때 이를 다시 수신된 정보와 결합하여 복조하는 것이다. 본 논문의 구성은 II장에서 OFDM 신호 및 PAPR에 대해 정의하고, III장에서는 Fuzzy 이론에 대해 정의하고 한다. IV장에서는 본 논문에서 제안된 Fuzzy 이론을 이용한 PAPR 저감 기법에 정의할 것이며, V장에서는 Fuzzy 추론 알고리즘을 통해 PAPR의 CCDF와 계산 복잡도를 비교함으로써 제안된 알고리즘의 성능을 평가 및 분석한다. VI장에서 결론을 맺는다.

II. OFDM 시스템에서의 PAPR

OFDM 전송 방식은 여러 개의 부반송파를 이용하여 데이터를 중첩해서 전송하게 되는데, 각 부반송파간의 직교성이 유지되어 전송하기 때문에 ICI(Inter Channel Interference)가 일어나지 않는다. OFDM 시스템에서는 입력 신호가 부반송파에 의해 변조되어 전송되는데, 이들이 같은 위상으로 더해질 때에 시간 영역에서 큰 크기의 신호가 발생됨으로 최대 전력이 평균 전력보다 크게 증가하게 된다. HPA의 제한된 동작 범위로 인하여 높은 PAPR을 지닌 OFDM 신호는 대역 내와 대역 외에서 비선형 왜곡을 초래한다. HPA의 전력 소비는 평균 전력보다는 최대 전력에 크게 의존하기 때문에 이러한 우발적인 최대 전력은 HPA의 전력 효율을 떨어뜨린다. 즉,

OFDM 신호는 단일 반송파 전송 방식에 비하여 PAPR이 증가하는 단점이 있는데, 이게 증가하게 되면 송신기의 전력 증폭과 직접 관련이 있기 때문에 전력 수급이 용이하지 않은 단말기의 상향 링크 전송 시에 큰 영향을 주게 된다^[2]. OFDM 변조된 신호는 아래의 식과 같이 표현할 수 있다.

$$x(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi f_k t / NT}. \quad (1)$$

여기서 N 은 FFT 크기, T_s 는 심벌 간격, f_k 는 k 번째 부반송파이다. PAPR은 실제 비선형 왜곡을 발생시키는 고풍력 증폭기의 입력 신호 $x(t)$ 에 대하여 최대 전력의 평균 전력의 비로 정의된다. PAPR은 통과 대역에서 변조된 연속 시간 신호 전력의 최대치와 평균치의 비로 주어진다.

$$PAPR = \frac{\text{Max}|x(t)|^2}{E|x(t)|^2} \quad (2)$$

일반적으로 f_k 는 $1/T_s$ 보다 훨씬 높기 때문에 OFDM 신호에 대해서는 통과대역에서 측정된 PAPR과 기저대역에서 측정된 PAPR이 거의 동일하다. 기저대역에서 Nyquist 샘플링된 신호를 PAPR하면 이는 원래의 PAPR보다 일반적으로 낮은 값으로 주어진다. 따라서 가급적 정확한 피크값을 표현화하기 위해 연속 시간 신호 $x(t)$ 를 오버 샘플링하게 되는데, 이렇게 과 표본화된 시간 영역 신호 샘플들은 길이 N 의 원래 데이터 심볼 블록에 0을 삽입한 후 IFFT 연산을 적용하여 등가적으로 구할 수 있다. 대부분의 경우, 오버 샘플링을 4로 하게 되면 충분히 원래 연속 시간 신호에서의 실제 피크값들을 표본화할 수 있다^[12]. 본 연구에서도 오버 샘플링을 4로 하여 적용하였다.

III. Mamdani의 Max-Min Fuzzy 이론

Fuzzy 이론이란 1965년 Zadeh가 제안한 이론으로써 불확실성이 포함된 시스템 모델을 해석하기 위해 방법으로, 설명될 수 없는 시스템 행동을 퍼지 이론에 근거해서 시스템을 설명하기 위한 모델이다^{[6]~[10]}. Fuzzy 이론은 입력 자료를 퍼지화한 다음 퍼지 추론을 통해 결과를 도출한 후 이를 다시 비퍼지화하여 값으로 나타나게 된다. 이것은 IF-THEN 형식의 퍼

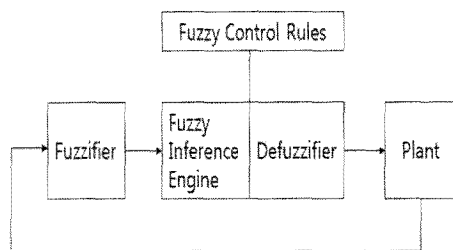


그림 1. 퍼지 논리 제어기의 구조
Fig. 1. Structure of Fuzzy logic controller.

지 규칙과 퍼지추론으로 구성하게 되는데. 본 연구에서는 일반적으로 잘 알려진 Mamdani의 Max-Min 법을 이용한다.

퍼지 논리 제어기는 그림 1과 같이 퍼지화기(fuzzifier), 규칙 베이스(Rule Base), 퍼지 추론기(Fuzzy Inference Engine) 및 비퍼지화기(Defuzzifier)의 네 가지 요소로 구성되어 있다. 퍼지화기는 입력 데이터를 적당한 퍼지 집합으로 변환하는 기능을 갖고 있으며, 규칙 베이스는 전문가의 경험 등을 "IF ~ THEN" 형식의 문장으로 구성한 지식 베이스이다. 그리고 퍼지추론기는 규칙 베이스의 규칙을 이용하여 퍼지 입력에 대해 퍼지 출력을 추론하는 기능을 하고, 비퍼지화기는 추론기에서 추론한 결과를 명확한 값으로 변화시키는 기능을 갖는다.

퍼지 모델은 식 (3)과 같은 퍼지 제어 규칙 베이스를 기본으로 구성된다.

$$\begin{aligned}
 \text{Rule 1 : IF "x is } A_{11}\text{" and "y is } A_{21}\text{" THEN "z is } B_1\text{"} \\
 \text{Rule 1 : IF "x is } A_{12}\text{" and "y is } A_{22}\text{" THEN "z is } B_2\text{"} \\
 \vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \\
 \text{Rule 1 : IF "x is } A_{1n}\text{" and "y is } A_{2n}\text{" THEN "z is } B_n\text{"} \quad (3)
 \end{aligned}$$

여기서 A_{1n}, A_{2n}, B_n 등은 물리적 변수 x, y, z 등에 대한 언어적 표현으로 퍼지 집합으로 표현된다. Fuzzy 이론 중 Max-Min 방법은 Mamdani가 제안한 최소 연산 법칙(mini-operation)을 이용하는 추론 방법으로 직접법 또는 Zadeh의 추론 방법이라고도 한다. Max-Min 방법은 간단하고 구현하기 쉽다는 장점도 있으나, 규칙 베이스의 임의의 한 규칙의 조건 퍼지 명제와 입력 사실이 일치해도 그 규칙의 결론부에 해당되는 결론을 추론해 내지 못한다는 단점이 있다. Max-Min 방법은 퍼지 조건 연산자 R_k 를 포함한 추론 방

법으로 합성 기호를 사용하여 Max-Min 연산을 이용한다. 여기서 R 은 max, min 연산에서 'OR' 연산으로 합연산을 이용하는 퍼지 조건 연산자로서, \vee 는 max를, \wedge 는 min을 의미한다.

$$R_k(i, n) = \vee(u_A(i) \wedge u_X(n)) \quad (4)$$

위와 같은 방법을 통하여 얻어진 결과값은 퍼지 값이므로 비 퍼지화 과정을 거치게 된다. 비 퍼지화는 여러 가지가 있으나, 식 (5)와 같은 무게중심법이 가장 일반적으로 사용된다.

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n u_c(z_i) z_i}{\sum_{i=1}^n u_c(z_i)} \quad (5)$$

여기서 n : 전체 출력의 분할 정도

z_i : 분할 정도 j 에 따른 출력

$u_c(z_i)$: 위험성 퍼지 집합 u_c 에 대한 z_i 의 소속 함수값

한편, 퍼지 이론의 성능에 결정적 영향을 미치는 요인으로는 퍼지 조건문의 정의화 형태 및 언어적 표현 방법, 문장 연결자 'AND', 'OR', 합성 기호 \wedge , \vee 및 비 퍼지화 연산 과정의 수학적 연산이 미치는데, 가장 크게 영향을 미치는 것은 어떤 조건문으로 어떻게 연산하느냐가 가장 크게 영향을 미친다^{[13],[14]}.

IV. 제안하는 알고리즘

본 연구에서 제안하는 Fuzzy를 이용한 PAPR 저감 기법은 다음의 단계 구성된다.

- Step 1. 입력 신호를 부분블록으로 나눈다.
- Step 2. 부분블록으로 나눈 신호의 PAPR을 계산한다.
- Step 3. 가장 낮은 PAPR 부분블록을 선택, 그 부분블록을 기준으로 다른 부분블록에 Fuzzy 이론을 적용하여 부분블록의 PAPR을 낮춘다.
- Step 4. PAPR을 낮춘 신호를 P/S하여 이 신호를 적용한다.
- Step 5. 송신된 신호를 수신측에서 다시 S/P 후 비 Fuzzy하여 신호를 복원한다.

그림 2는 제안하는 알고리즘의 송신측 블록도를

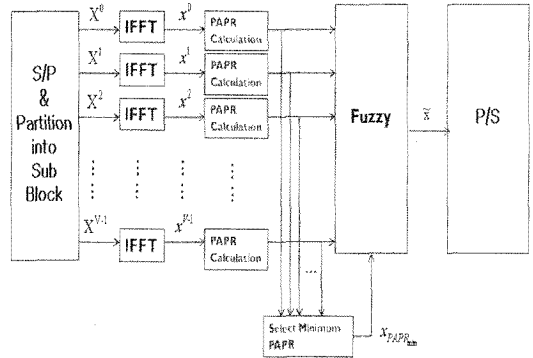


그림 2. 제안하는 알고리즘의 블록도
Fig. 2. Block diagram of propose algorithm.

나타낸 것이다. 기본적인 OFDM 송신 시스템에서 Fuzzy 이론을 추가하여 PAPR을 감소시켰다. 입력 신호를 부분블록으로 나눈 후 부분블록의 PAPR을 계산한다. 이후에 가장 낮은 PAPR을 갖는 부분블록을 기준으로 모든 부분블록에 Fuzzy 이론을 적용한 후 PAPR을 낮추어 이를 송신한다.

우선 입력 심볼을 부분블록으로 식 (6)과 같이 분할한다.

$$X = [X^0, X^1, X^2, \dots, X^{V-1}]^T \quad (6)$$

여기서 X 는 입력 심볼이고, V 는 부분블록의 개수, T 는 전치행렬이다. 위와 같이 나뉘어진 각 부분블록에 대해 IFFT를 취하고 각 부분블록의 PAPR 값을 식 (7)과 같이 계산한다. 여기서 x 는 X 의 IFFT를 취한 후의 값이다.

$$PAPR(x^V) = \frac{\text{Max}|x^V|^2}{E|x^V|^2} \quad (7)$$

그리고 식 (8)과 같이 가장 낮은 PAPR 값을 갖는 부분블록을 기준으로 Fuzzy Rule Base를 바탕으로 위상 가중치 값을 곱한 후 부분블록의 PAPR 값을 낮춘다.

$$x_{PAPR_{\min}} = \min(\max|x^V|) \quad (8)$$

식 (9), 식 (10)은 Fuzzy rule이다.

Input: x is A' , y is B'

R^1 : If x is A_1 AND y is B_1 THEN z is C_1

OR R^2 : If x is A_2 AND y is B_1 THEN z is C_2

... ..

Conclusion: z is C (9)

$$R_B: u_B(y) = \bigvee_{i=1}^n [u_{A_i}(x_0) \wedge u_{B_i}(y) \wedge u_{C_i}(z)] \quad (10)$$

여기서

- A' : 부분블록의 Fuzzy 집합
- B' : 최소 PAPR 부분블록의 Fuzzy 집합
- A_i, B_i : 퍼지 규칙의 변수 x, y 에 관한 Fuzzy 집합
- C_i : 위상 가중치 값이 곱해진 z 에 관한 Fuzzy 집합
- C : 최적의 최소 PAPR에 대한 Fuzzy 집합
- R_c : Mamdani의 min 연산 규칙
- $u_{C_i}, u_{B_i}, u_{A_i}$: Fuzzy 집합 C_i, B_i, A_i 에 대한 소속 함수값
- R^i : Fuzzy rule의 번호
- $\bigvee_{i=1}^n$: 논리합의 합성

가장 낮은 부분블록(B')를 기준으로 첫 번째 부분블록(A_1)을 비교하여 Fuzzy 룰로 정해진 위상가중치 집합을 곱하여 나온 최소 PAPR 값(C)을 도출하게 된다. 이러한 일련의 작업들을 부분블록의 개수(I)개 만큼 반복하여 부분블록의 PAPR을 감소시키게 된다. Fuzzy rule을 정하는데 다양한 위상 가중치 집합을 사용하게 된다. 부분블록(A_1)에 위상 가중치 집합(C_i)을 곱하게 되는데, 이때에 부분블록에 곱해지는 위상 가중치의 범위는 $\{b = e^{j2\pi i/W}, i=0, 1, \dots, W-1\}$ 과 같이 주어진다. Mamdani의 Max-Min 연산을 통해 가장 낮은 PAPR을 갖게된 \tilde{x} 을 다시 P/S 이후 전송을 한다. 그림 3은 수신단에서의 제안하는 알고리

즘의 블록도이다. 송신단에서 Fuzzy를 이용하여 PAPR을 감소시켜 보낸 신호들을 다시 원래의 신호로 복원하기 위한 수신단의 블록도이다.

비 퍼지화의 일련의 과정은 매우 간단하다. Fuzzy 이론을 이용하여 송신된 PAPR을 낮춘 부분블록들을 다시 원래의 상태 복원한다. 여기서 데이터를 송신할 때 데이터의 마지막 부분에 Fuzzy rule에 적용한 위상 가중치 정보를 보내어 이를 이용하여 원래의 데이터로 바꾸어준다. 보통 비퍼지화를 시키기 위해 무게 중심법이 많이 사용된다.

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n u_{C_i}(z_i) z_i}{\sum_{i=1}^n u_{C_i}(z_i)} \quad (11)$$

- 여기서 n : 전체 출력의 분할 정도
- z_i : 분할 정도 j 에 따른 출력
- $u_{C_i}(z_i)$: 위상회전 퍼지집합 u_c 에 대한 z_i 의 소속 함수값

V. 시뮬레이션 결과

제안된 Fuzzy 이론을 이용한 PAPR 감소 알고리즘의 성능 평가를 위해 PAPR의 CCDF를 이용하여 성능을 평가한다. 각 시뮬레이션은 QPSK, 16QAM의 변조 방식을 통해 Fuzzy rule의 개수에 따른 성능 평가 해석한다. 이 시뮬레이션에서 FFT 크기는 512개, 오버 샘플링의 크기는 4, 데이터 심볼의 개수는 5,000개를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 그림 4은 QPSK에서 부분블록의 개수가 2개일 때, Fuzzy rule의 개수에 따른 시뮬레이션 결과이다.

시뮬레이션 결과에서 보면 10^{-5} 을 기준으로(이하 그래프 해석에서의 기준은 10^{-5} 이다.) Rule의 개수가 5개일 때 약 1 dB의 성능 향상이 되었고, 개수가 10개일 때 1.2 dB의 성능 향상, 15개일 때 1.4 dB의 성능이 향상됨을 알 수 있었다. 그림 5는 부분블록의 개수가 4개일 때의 CCDF 그래프이다.

이 경우, rule 개수가 5개일 때 약 1.4 dB의 성능 향상을, 10개일 때 약 1.8 dB의 성능 향상을, 15개일 때 약 2 dB의 성능 향상이 됨을 알 수 있다. 그림 6는 부분블록의 개수가 8개일 때의 CCDF 그래프이다.

Rule의 개수가 5개일 때 약 1.6 dB, 개수가 10개일 때 약 2 dB, 15개일 때 약 2.3 dB의 성능 향상이

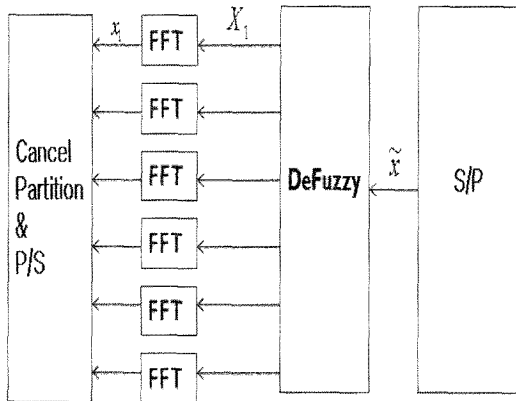


그림 3. 제안하는 알고리즘의 수신 블록도
Fig. 3. Receiver block diagram of propose algorithm.

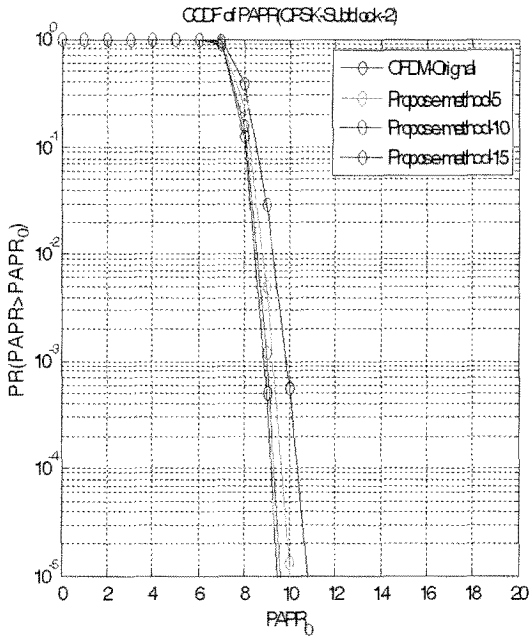


그림 4. QPSK에서 부분블록의 개수가 2개일 때 CCDF
Fig. 4. CCDF of PAPR in QPSK(sub block=2).

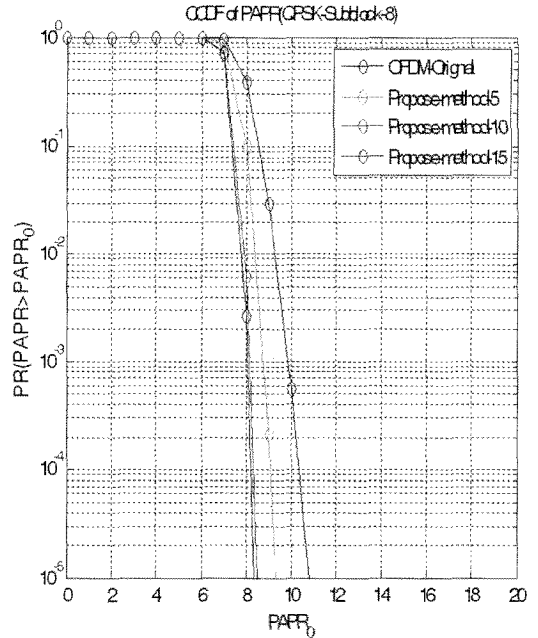


그림 6. QPSK에서 부분블록의 개수가 8개일 때 CCDF
Fig. 6. CCDF of PAPR in QPSK(sub block=8).

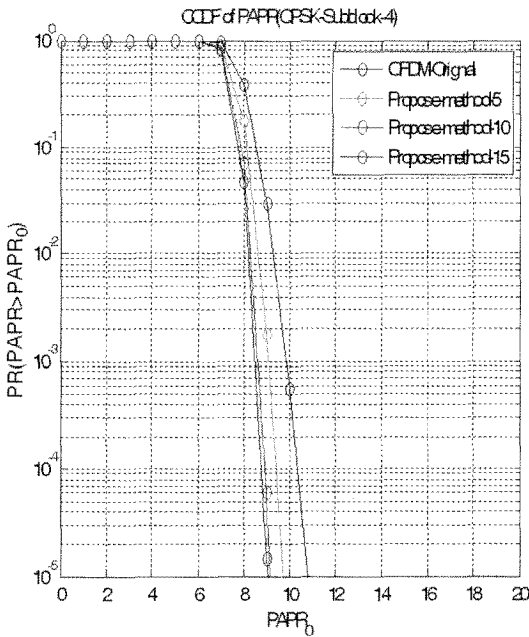


그림 5. QPSK에서 부분블록의 개수가 4개일 때 CCDF
Fig. 5. CCDF of PAPR in QPSK(sub block=4).

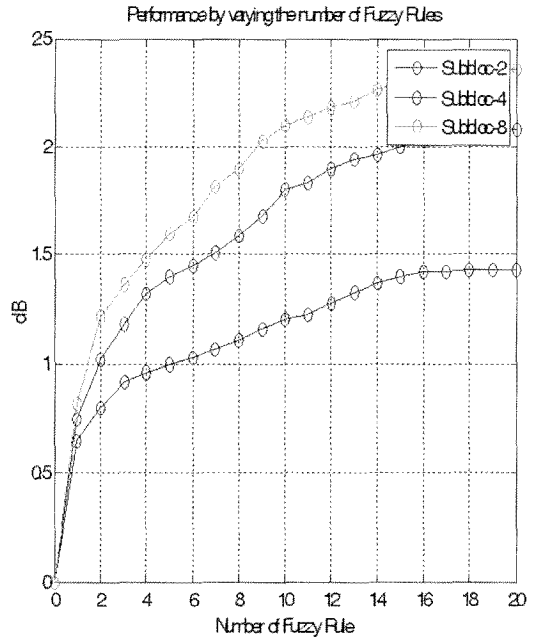


그림 7. Fuzzy rule 개수에 따른 성능 향상 그래프
Fig. 7. Performance of Fuzzy rule's number.

됨을 볼 수 있다. 그림 7은 rule의 위상가중치를 어떻게 주느냐에 따라 그래프의 성능의 변화를 알 수

있다. 그림 7은 rule 개수에 따른 성능 향상의 정도를 한 눈에 보여주는 그래프이다.

표 1. 제안하는 방식과 기존방식과의 연산량 비교
Table 1. Information to author.

	IFFT 블록수	연산량	추가연산
SLM	V	V	$\frac{2^{M-1} \times N \times (M-1)}{M}$
PTS	V	W^V	$N \times M$
Fuzzy	V	R^V	$\frac{2^{M-1} \times N \times (M-1)}{M}$

그림 7의 그래프에서 보면 약 rule의 개수가 12개가 넘어가게 되면 성능 향상의 미미함을 알 수 있다. 물론 Fuzzy rule을 어떻게 하여 가중치값을 선택하느냐에 따라 달려 있지만 무조건적으로 rule의 개수를 증가시키게 되면 연산량 또한 급증하게 된다. 부분 블록의 개수를 V 개라고 할 때, 룰의 개수를 R 이라고 하면 연산량은 R^V 번만큼의 연산이 필요하게 되어 연산량이 급증한다는 단점을 갖는다. 표 1은 PAPR 저감 기법인 SLM, PTS, 본 연구와의 연산량을 비교하는 표이다. 여기서 연산량이란 평균적으로 하나의 심벌을 출력하기 위하여 IFFT에서 몇 번 연산을 수행하는지 수치적으로 표현하였다. 그리고 추가 곱셈은 각각의 부분송파에 입력되는 신호가 위상 회전 정보에 따라 위상 회전이 이루어지는 연산을 의미한다. 표 1은 하나의 심벌 당 IFFT의 평균적인 연산량을 PAPR 기법에 따라 비교한 것이다.

여기서 W 는 위상 가중치, R 은 위에서 말한 것과 같이 Fuzzy rule의 개수이다. PTS 방식과 제안한 방식과 IFFT 연산과 추가 곱셈 횟수에서는 차이가 없다. 그러나 PTS에서는 송신을 할 때 위상 가중치 정보를 따로 데이터를 전송하여 데이터 전송량이 늘어나는 것을 해결하였는데, 본 연구에서는 아직 그 부분에 관해서는 해결하지 못해 위상 가중치 정보(V 개) 만큼의 데이터 전송량이 늘어난다는 단점을 가진다. 부분 블록의 수가 증가하면 증가할수록 Fuzzy를 통하여 생성된 위상 가중치 정보가 증가하게 된다. 앞으로 이 위상 가중치 정보 데이터를 따로 보내야 하는 이 Side Information 문제를 해결하는데 연구의 중점을 둘 예정이다.

그림 8의 그래프는 SLM과 PTS와의 비교 그래프이다. SLM 복사 신호의 수 15, PTS의 위상 가중치 값의 개수 15, Fuzzy 룰의 개수 15개일 때 기준으로 시뮬레

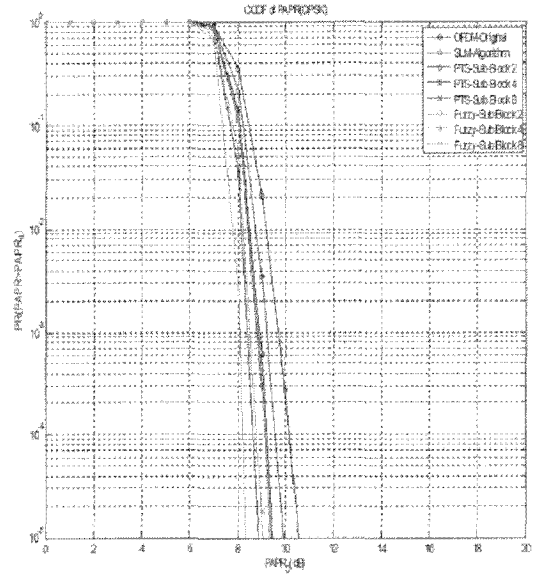


그림 8. 타 PAPR 저감 기법과의 비교
Fig. 8. Compared PAPR reduce method.

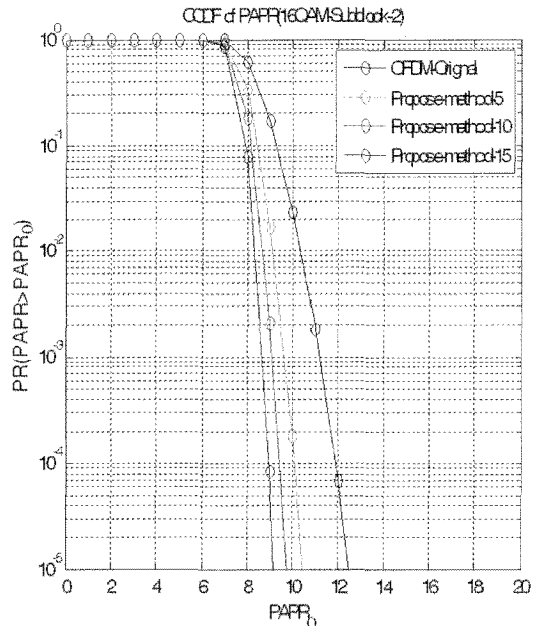


그림 9. 16QAM에서 부분 블록 수가 2개일 때 CCDF
Fig. 9. CCDF of PAPR in 16QAM(sub block=2).

이션을 한 결과, PTS보다 평균적으로 약 0.5 dB의 성능 향상이 되었고 SLM과는 최대 1.3 dB의 성능이 향상됨을 알 수 있다.

그림 9는 변조 방식이 16QAM일 때, 부분 블록의 개

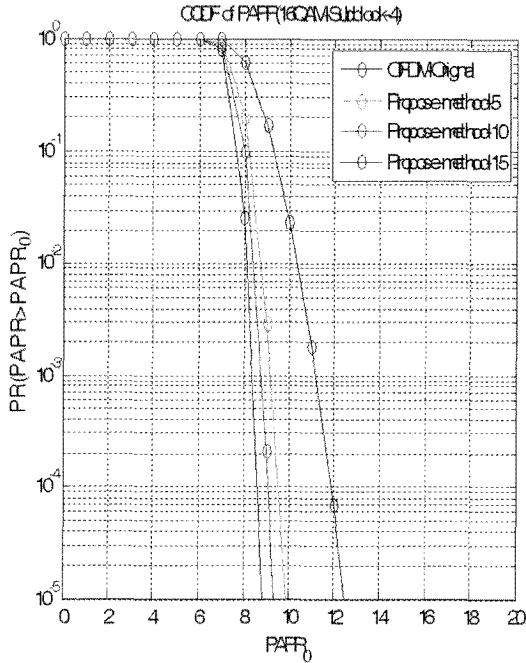


그림 10. 16QAM에서 부블록 수가 4개일 때 CCDF
Fig. 10. CCDF of PAPR in 16QAM(sub block=4).

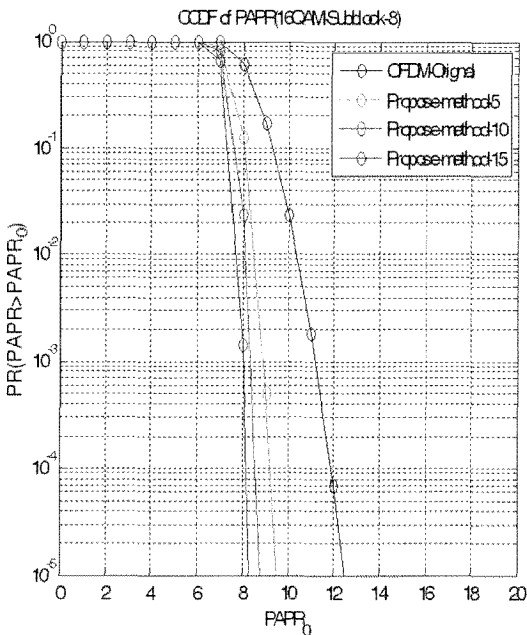


그림 11. 16QAM에서 부블록 수가 8개일 때 CCDF
Fig. 11. CCDF of PAPR in 16QAM(sub block=8).

수가 2개일 때의 CCDF 성능 그래프이다.

표 9의 경우, rule 개수가 5개일 때 약 2 dB의 성

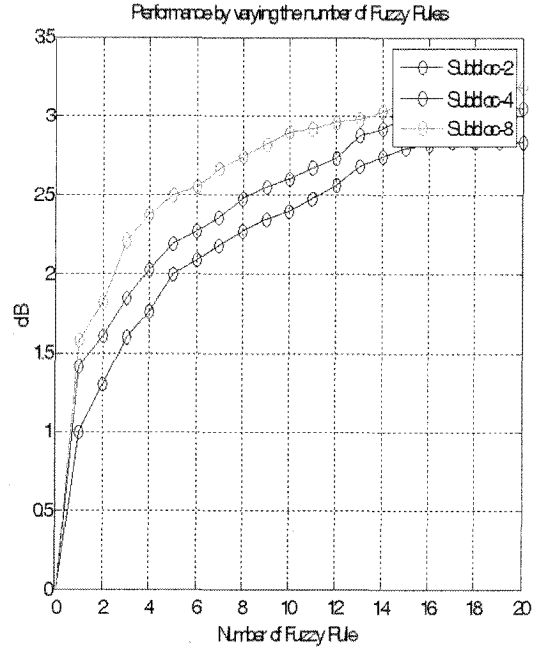


그림 12. Fuzzy rule 개수에 따른 성능 향상 그래프
Fig. 12. Performance of Fuzzy rule's number.

능 향상을 가져왔고, 10개일 때 약 2.4 dB, 15개일 때 약 2.8 dB의 성능이 향상됨을 알 수 있었다. 그림 10은 부블록 수가 4개일 때의 CCDF 그래프이다.

부블록의 개수가 4개일 때, rule 개수가 5개일 때 약 2.2 dB, 10개일 때 약 2.6 dB, 15개일 때 3 dB의 성능이 향상됨을 확인할 수 있다. 그림 11은 부블록 수가 8개일 때의 CCDF이다.

Rule이 5개일 때 약 2.5 dB, rule이 10개일 때 약 2.9 dB, 15개일 때에는 약 3.1 dB의 성능이 향상됨을 보인다. 그림 12에서는 rule의 개수가 증가함에 따라 보여지는 성능 향상의 그래프를 나타낸 것이다.

Rule의 개수가 약 8개를 넘어 가게 되면 성능 향상이 매우 미비하다는 것을 알 수가 있다. 앞의 QP-SK와 마찬가지로 rule 개수를 증가시키면 PAPR의 개선이 보여지나, 연산량의 증가로 인해 계산 복잡도가 증가하여 오히려 비퍼지화 과정의 탐색이 오래 걸린다는 단점을 야기한다. 그림 13의 그래프는 16-QAM에서 다른 PAPR 저감 기법과의 비교 그래프이다. SLM의 데이터 복사 개수가 15개일 때, PTS의 위상가중치는 15개일 때, Fuzzy 룰 개수 15개일 때의 비교 그래프이다.

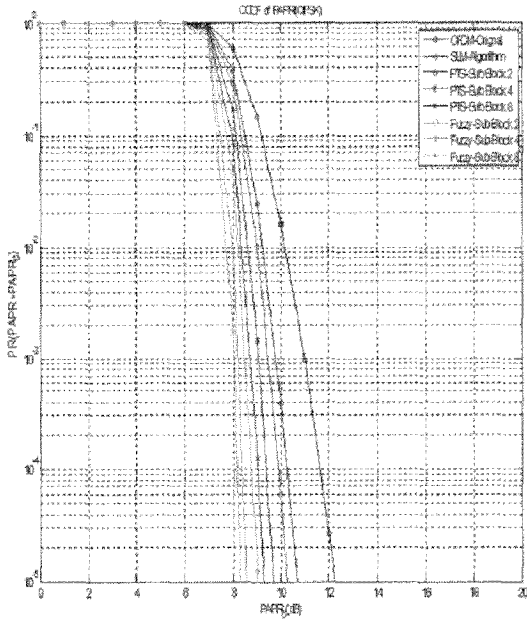


그림 13. 타 PAPR 저감 기법과의 비교
Fig. 13. Compared PAPR reduce method.

제안한 방법이 PTS보다 평균 약 1. dB 이상의 성능 향상이 나타났고, SLM보다는 최대 2.2 dB의 성능이 향상됨을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 OFDM 시스템에서 각 부반송파들이 HPA 통과후 비선형적인 특성으로 인해 동일 위상이 중첩이 되어 전송 신호의 PAPR의 증가를 감소시키기 위해 예측 불가능하고 애매모호한 것을 수학적 것으로 표현하여 이를 인정하고 풀어내는 Fuzzy 이론에 적용하여 비교적 쉽고 간단한 알고리즘을 제안하였다. 가장 널리 쓰이는 Mamdani의 Max-Min법을 이용하여 입력신호를 부분블록으로 나눈 뒤 이를 Max-Min법을 이용하여 부분블록의 PAPR을 감소시켜 전체의 PAPR을 낮추어 전송하여 수신측에서 Fuzzy 정보를 받아 신호를 다시 복원하는 비교적 간단한 알고리즘을 제안하여, 이를 시뮬레이션 결과를 통하여 검증하였다. 본 연구에서 제안된 알고리즘이 기존의 OFDM 시스템보다 QPSK에서는 최대 2.3 dB, 16QAM에서는 최대 3.1 dB의 성능이 향상됨을 확인하였다. 또한 부분블록의 개수가 증가하면 증가할수록

제안하는 기법에 따른 성능 향상이 높아진다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 Fuzzy rule의 개수가 증가하고 부분블록의 개수가 많아지면 많아질수록 연산량이 많아진다는 단점을 갖고 있고, Fuzzy rule의 개수를 무조건적으로 증가시킨다고 하여 비례적으로 PAPR이 증가하지 않음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] R. Van Nee, R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Boston, MA: Artech House, 2000.
- [2] 조용수, 김재권, 양원영, *MIMO-OFDM 무선통신과 MATLAB*, 홍릉과학출판사, 2008년.
- [3] R. van Nee, A. de Wild, "Reducing the peak-to-average power ratio of OFDM", *IEEE VTC'98*, vol. 3, pp. 18-21, May 1998.
- [4] R. W. Bauml, R. F. H. Fischer, and J. B. Huber, "Reducing the peak-to-average power ratio of multicarrier modulation by selective mapping", *Electronics Letters*, vol. 32, no. 22, pp. 2056-2057, Oct. 1996.
- [5] S. H. Muller, J. B. Huber, "OFDM with reduced peak-to-average power ratio by optimum combination of partial transmit sequences", *Electronics Letters*, vol. 33, pp. 368-369, Feb. 1997.
- [6] Lotfi A. Zadeh, "Fuzzy sets", *Inf. Control*, vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [7] S. Fukami, M. Mizumoto, and K. Tanaka, "Som considerations on Fuzzy conditional inference", *Fuzzy Sets and Systems*, North-Holland, vol. 4, pp. 243-273, 1980.
- [8] C. C. Lee, "Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller, part I", *IEEE Transactions on SMC*, vol. SMC-20, no. 2, pp. 404-418, Mar./Apr. 1990.
- [9] C. C. Lee, "Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller, part II", *IEEE Transactions on SMC*, vol. SMC-20, no. 2, pp. 419-435, Mar./Apr. 1990.
- [10] L. A. Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision proce-

ss", *IEEE Transactions on SMC*, vol. SMC-3, no. 1, pp. 27-44, Jan. 1973.

[11] R. W. Bauml, R. F. H. Fischer, and J. B. Huber, "Reducing the peak-to-average power ratio of multicarrier modulation by selective mapping", *Electronics Letters*, vol. 32, no. 22, pp. 2056-2057, Oct. 1996.

[12] S. Han, J. Lee, "An overview of peak-to-average power ratio reduction techniques for multicarrier transmission", *IEEE Wirelss Commun.*, vol. 12, no. 4, pp. 56-65, Apr. 2005.

[13] J. B. Kiszka, M. E. Kochanska, and D. S. Sliwinska, "The influence of some implication operators on the accuracy of a Fuzzy model part I", *Fuzzy Sets and Systems*, NorthHolland, vol. 15, pp. 112-128, 1995.

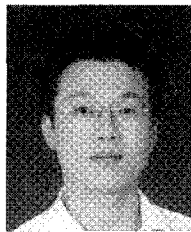
[14] J. B. Kiszka, M. E. Kochanska, and D. S. Sliwinska, "The influence of some implication operators on the accuracy of a Fuzzy model part II", *Fuzzy Sets and Systems*, North Holland, vol. 15, pp. 223-240, 1995.

이 동 호



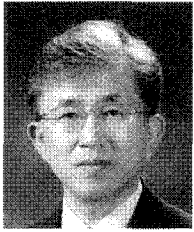
2008년 2월: 충북대학교 정보통신
공학 (공학사)
2010년 2월: 충북대학교 정보통신
공학 (공학석사)
[주 관심분야] 이동 통신, OFDM,
WCDMA

최 정 훈



2000년 2월: 대전대학교 정보시스
템공학과 (공학사)
2004년 8월: 충북대학교 정보통신공
학과 (공학석사)
2005년 3월~현재: 충북대학교 정보
통신공학과 박사과정
[주 관심분야] UWB, OFDM, MI-
MO, Wibro, Zigbee

김 남



1981년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1983년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1988년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1992년 8월~1993년 8월: 미국 Stan-

ford 대학교 방문교수
2000년 3월~2001년 2월: 미국 California Technology Institute 방문교수
1989년~현재: 충북대학교 전자정보대학 교수
1997년~현재: 컴퓨터정보통신연구소 참여연구원
1999년~2000년: 컴퓨터정보통신연구소 연구소장
1996년~현재: 한국전자과학회 전자장과 생체관계 위원회 위원장
1999년~현재: 한국통신학회 평의원/이사
2006년~2009년: BEMS(Bioelectromagnetics Society) 이사
2008년~현재: 방송통신위원회 방송통신국가표준심의회 위원
2008년~현재: 전파연구소 자문위원회 위원
2008년~현재: 방송통신위원회 자체평가위원회 위원
[주 관심분야] 이동 통신 및 전파전파, 마이크로파 전송선로 해석, EMI/EMC 및 전자파 인체보호 규격

이 봉 윤



1976년 2월: 공군사관학교 (공학사)
1983년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1990년 2월: 미국 오하이오대학 전자공학과 (공학박사)
1993년: 미국 뉴욕 주립대(버팔로) 방문교수

1993년~2007년: 공군사관학교 전자공학과 교수
2008년~2009년: 충북대학교 정보통신공학과 초빙 교수
2008년~현재: 공군사관학교 전자공학과 명예교수 및 충북대 출강
[주 관심분야] 신호 처리, 레이더, 통신 분야 등