

DVB-T2변조기에서 예비반송파에 의한 PAPR감소실험

민정기, 조연희

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《나라의 과학기술을 세계적수준에 올려세우자면 발전된 과학기술을 받아들이는것과 함께 새로운 과학기술분야를 개척하고 그 성과를 인민경제에 적극 받아들여야 합니다.》
(《김정일선집》 증보판 제11권 138~139페이지)

DVB-T2는 유럽전기통신표준화협회(ETSI : European Telecommunication Standards Institute)가 2009년에 처음으로 발표한 지상수자텔레비존방송표준으로서 현재 세계적으로 가장 발전된 수자텔레비존방송체제로 인정되고있다.

DVB-T2는 OFDM(Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)변조방식을 리용하고있다.

일반적으로 OFDM변조에서는 PAPR(Peak to Average Power Ratio)가 높은것으로 하여 출력효율과 DPD(Digital Predistortion)에서의 비트효율이 떨어지는 문제가 심각하게 제기된다.

선행연구[1, 2]에서는 DVB-T2변조에서 ACE(Active Constellation Extension)알고리즘에 의한 PAPR감소알고리즘을 연구하고 FPGA실험에 대하여 고찰하였다. ACE알고리즘[2]은 자원소비가 많고 QAM차수가 낮은 경우 특히 QPSK변조와 같은 낮은 전송속도통신에서 효율적이다.

논문에서는 DVB-T2표준에 따르는 지상수자텔레비존변조기실험에서 보다 높은 차수의 QAM변조에서 PAPR문제를 해결할 목적으로 예비반송파들을 리용한 PAPR감소방법에 대하여 연구하였다.

1. 예비반송파에 의한 PAPR감소의 원리

OFDM신호의 PAPR는 다음과 같이 정의된다.

$$PAPR = \frac{\max |x_n|^2}{E\{|x_n|^2\}}$$

여기서 $\{x_n\}$ 은 거꿀푸리에변환(FFT)출력렬이고 $E\{\}$ 는 수학적기대값을 의미한다.

DVB-T2표준 ETSI EN 302755에서는 P2자료에 대한 OFDM부호설정에서 16K고속푸리에변환을 리용하는 경우 전체 13 921개의 반송파중에서 Pilot반송파를 제외하고 다음과 같은 144개의 반송파들을 PAPR감소를 위한 예비반송파로 규정하고있다.

104, 106, 107, 109, 110, 112, ..., 13 507, 13 510, 13 513, 13 514, 13 516

P2부호는 DVB-T2 OFDM부호들중에서 가장 PAPR가 높은 부호이며 여기서도 16K푸리에변환을 리용하는 경우가 최대로 된다.

논문에서는 P2부호의 경우를 실례로 알고리즘에 대한 설명을 진행한다.

앞에서 언급한 예비반송파번호들에 1을, 나머지번호들에 0을 넣은 렬을 16K거꿀푸리에변환한 결과는 그림 1과 같다. 이 신호를 PAPR감소를 위한 참고신호라고 부른다.

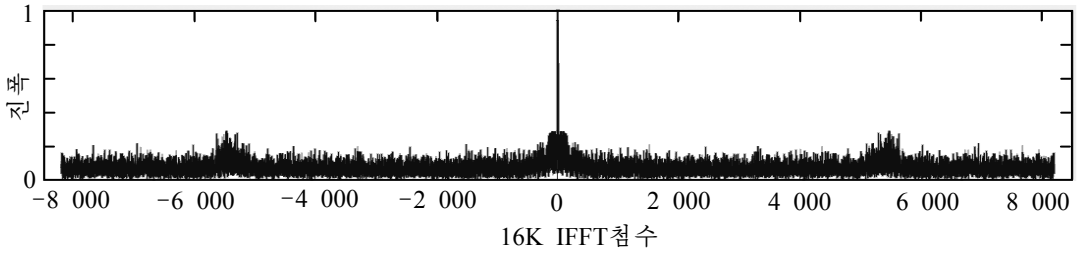


그림 1. PAPR감소를 위한 참고신호

그림 1을 통하여 알수 있는바와 같이 이 신호는 임펄스형의 신호이다.

OFDM부호의 k 번째 IFFT출력값 x_k 가 진폭에서 최대값을 가진다고 하자.

예비반송파에 의한 PAPR감소의 원리는 참고신호를 리용하여 다른 점들에는 영향을 적게 주면서 x_k 를 허용진폭한계까지 진폭이 줄어든 x'_k 로 만들자는것이다.

$u_k = x_k / |x_k|$ 라고 놓고 참고신호를 임펄스점이 k 의 위치에 놓이도록 순환밀기를 진행한 다음 임펄스점의 위상이 x_k 의 위상과 같아지도록 변환하면 다음과 같다.

$$P'_n = u_k P_{(n-k) \bmod N_{\text{FFT}}}$$

여기서 N_{FFT} 는 FFT차수이다.

그러므로 복소수 x_k 의 진폭을 $|x_k - x'_k|$ 만큼 줄이면서 위상을 보존하자면 $n \in \overline{1, N_{\text{FFT}}}$ 에 대하여

$$x'_n = x_n - |x_k - x'_k| \cdot P'_n$$

를 구하면 된다.

x'_n 의 푸리에변환을 $X'(i)$ 로, x_n 의 푸리에변환을 $X(i)$ 로 표시하고 옷식의 양변을 리산푸리에변환하면

$$X'(i) = X(i) - |x_k - x'_k| \cdot u_k \cdot e^{-j \frac{2\pi}{N_{\text{FFT}}} ki} r(i)$$

이다. 여기서 $r(i)$ 는 참고신호의 푸리에변환값이고 $|x_k - x'_k|$ 와 u_k 는 최대값첨수 k 가 고정되면 상수로 주어진다.

$r(i)$ 가 자료반송파에 대하여서는 0이므로 자료값의 푸리에변환값은 처리과정에 변하지 않는다. 즉 전송자료의 손상은 없다.

이상의 논의로부터 다음소절의 알고리즘이 나온다.

2. PAPR감소알고리즘

그림 2에 예비반송파를 리용한 PAPR감소알고리즘의 블록도를 보여주었다.

PAPR감소알고리즘은 매개 OFDM부호에 대하여 적용된다.

PAPR감소알고리즘은 다음과 같다.

몇가지 기호를 약속하자.

n : 표본번호 ($0 \leq n < N_{\text{FFT}}$, N_{FFT} 는 고속푸리에변환의 차수)

i : 알고리즘의 반복번호

x_n : 알고리즘에 의한 n 번째 입력신호로서 복소기저대역시간신호

x'_n : 알고리즘의 n 번째 출력신호

$c_n^{(i)}$: i 번째 반복에서 시간영역의 보상신호의 n 번째 표본

$r_k^{(i)}$: i 번째 반복에서 k 번째 예비반송파의 주파수영역에서의 변조값

P_n : 참고신호

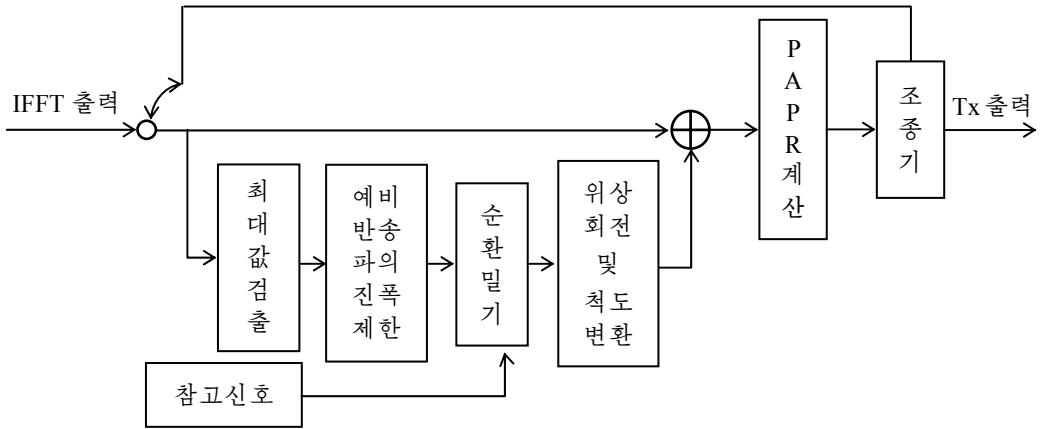


그림 2. 예비반송파를 이용한 PAPR 감소 알고리즘의 블록도

걸음 1 예비설정

① 참고신호의 계산

참고신호의 n 번째 표본은 다음과 같이 계산한다.

$$P_n = \frac{1}{N_{TR}} \sum_{k \in R_l} e^{j \frac{2\pi m(k-K_c)}{N_{FFT}}}$$

여기서 K_c 는 중심반송파주파수 즉 직류주파수의 번호, R_l 은 PAPR 감소를 위해 미리 정해놓은 예비반송파번호모임, N_{TR} 는 모임 R_l 의 원소개수이다.

② 잘라버리려고 하는 진폭준위 V_{clip} 를 설정한다.

걸음 2 초기화단계

① peak 감소를 위한 보상신호를 초기값 설정한다.

$$c_n^{(0)} = 0, \quad 0 \leq n < N_{FFT}$$

② 예비반송파들의 주파수영역에서의 결수초기값을 설정한다.

$$r_k^{(0)} = 0, \quad k \in R_l$$

③ 최대반복값 i_{\max} 를 설정한다.

걸음 3 반복단계

반복 1 i 를 1로 설정한다.

반복 2 입력시간신호에 보상신호를 더한 신호의 최대진폭과 그 번호를 구한다.

$$y^{(i)} = \max_n |x_n + c_n^{(i-1)}|, \quad n = 0, 1, \dots, N_{FFT} - 1$$

$$m^{(i)} = \{k : |x_k + c_k^{(i-1)}| = y^{(i)}\}$$

만일 $y^{(i)}$ 가 V_{clip} 보다 크지 않으면 반복 9로 이행한다.

반복 3 최대진폭점의 진폭표준화를 진행한다.

$$u^{(i)} = \frac{x_{m^{(i)}} + c_{m^{(i)}}^{(i-1)}}{y^{(i)}}$$

반복 4 매 예비반송파에 대하여 그 진폭이 최대허용진폭값

$$A_{\max} = \frac{5\sqrt{10} \times N_{TR}}{\sqrt{27K_{total}}}$$

를 넘지 않게 되는 수정값의 최대진폭을 다음과 같이 구한다.

$$\alpha_k^{(i)} = \sqrt{A_{\max}^2 - \text{Im}\{(v_k^{(i)})^* r_k^{(i-1)}\}^2 + \text{Re}\{(v_k^{(i)})^* r_k^{(i-1)}\}}$$

여기서

$$v_k^{(i)} = u^{(i)} \exp\left(-\frac{j2\pi(k - K_C)m^{(i)}}{N_{FFT}}\right)$$

이다.

반복 5 앞에서 얻은 $\alpha_k^{(i)}$ 들에 대하여 $\alpha^{(i)}$ 를 다음과 같이 선택한다.

$$\alpha^{(i)} = \min\left(y^{(i)} - V_{clip}, \min_{k \in R_l} \alpha_k^{(i)}\right)$$

$\alpha^{(i)} = 0$ 이면 반복 9로 이행한다.

반복 6 참고신호를 현재 최대값이 나타난 점까지 순환밀기하고 척도변환과 위상회전을 하여 보상신호를 다음과 같이 갱신한다.

$$c_n^{(i)} = c_n^{(i)} - \alpha^{(i)} u^{(i)} P_{(n-m^{(i)}) \bmod N_{FFT}}$$

반복 7 매개 예비반송파에 대하여 주파수영역의 값을 다음과 같이 갱신한다.

$$r_k^{(i)} = r_k^{(i-1)} - \alpha^{(i)} v_k^{(i)}, k \in R_l$$

반복 8 i 가 i_{\max} 보다 작으면 i 를 1증가시키고 반복 2로 이행한다.

반복 9 반복을 중지하고 전송신호를 갱신한다.

$$x'_n = x_n + c_n^{(i)}$$

$V_{clip} = 2.5$, 반복회수는 10으로 설정하고 제시된 알고리즘을 DVB-T2의 64QAM P2부호의 OFDM출력자료에 적용한 결과는 그림 3과 같다.

그림 3의 ㄱ)의 그래프는 16K거울푸리에변환출력신호로서 알고리즘에로의 입력신호이고 ㄴ)의 그래프는 출력신호이며 동그라미로 표시한 부분은 PAPR감소처리를 하지 않은 1개 OFDM부호의 진폭이 특별히 큰 점들이다.

그림 3에서 보는바와 같이 큰 진폭을 가진 점들이 V_{clip} 아래로 떨어졌다.

성능분석을 위하여 P2부호의 CCDF를 그림 4에 보여주었다.

CCDF(Complementary Cumulative Distribution Function)는 PAPR감소의 성능을 평가하는 지표로서 OFDM부호의 PAPR가 턱값 PAPR0을 넘을 확률을 나타낸다.

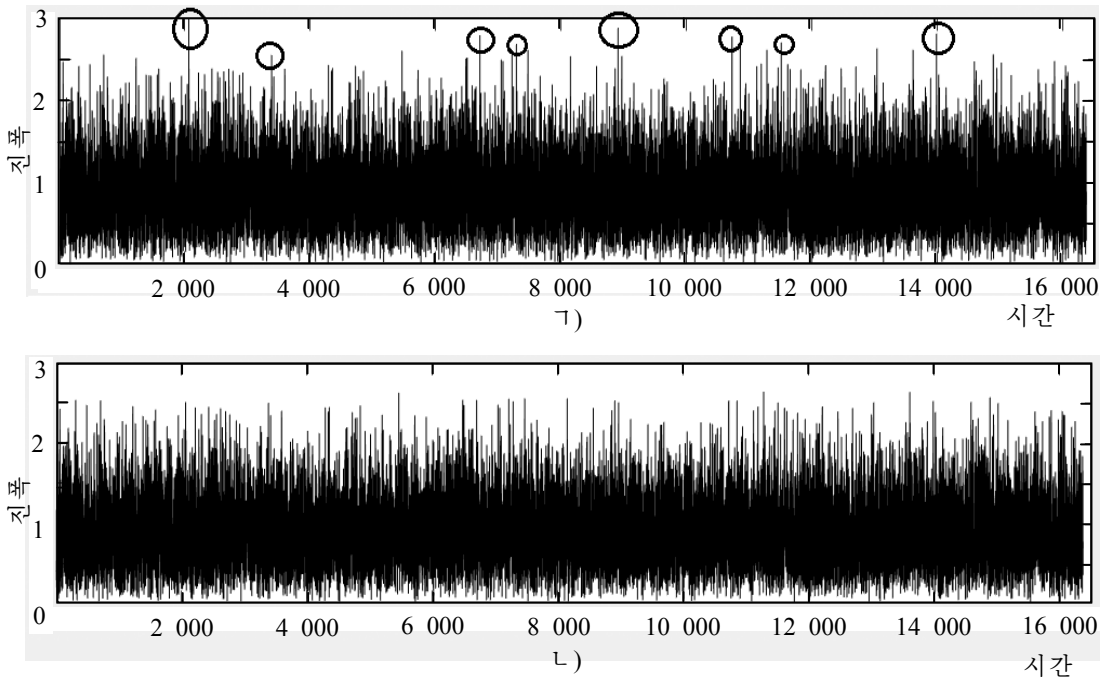


그림 3. 64QAM P2부호에 알고리즘을 적용한 결과

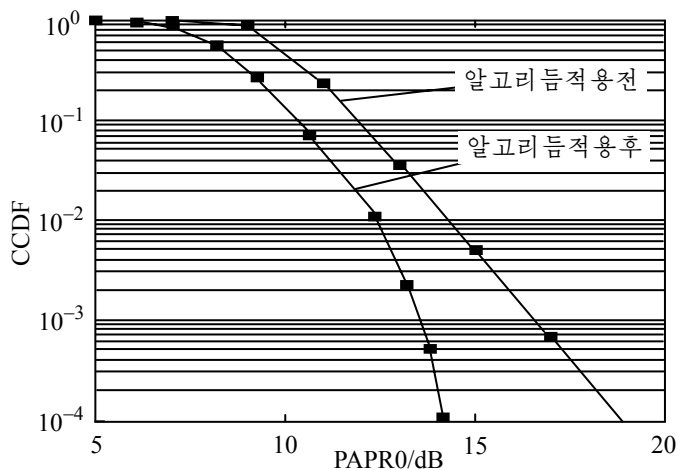


그림 4. P2부호의 CCDF

그림 4의 그래프를 통하여 알수 있는바와 같이 CCDF가 10^{-4} 일 때의 PAPR값이 19.1dB로부터 14.9dB로 개선되었다.

맺는 말

DVB-T2변조기의 출력효율제고에서 중요한 의의를 가지는 예비반송파들을 리용한 OFDM부호의 PAPR감소방법을 연구하고 모의실험을 통하여 $CCDF=10^{-4}$ 일 때의 PAPR가 알고리즘적용전에 비하여 4.2dB 개선되었다는것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] Brian Scott Krongold et al.; IEEE Transactions on Broadcasting, 49, 3, 258, 2003.
- [2] Zhi Zheng et al.; IEEE Transactions on Broadcasting, 63, 1, 134, 2017.

주체109(2020)년 8월 5일 원고접수

PAPR Reduction Using Tone Reservation in DVB-T2 Modulator

Min Jong Gi, Jo Yon Hui

This paper described an algorithm for PAPR reduction using tone reservation in DVB-T2 modulator, which is of weighty importance in the improvement of power efficiency, and showed 4.2dB reduction of PAPR when CCDF was 10^{-4} in P2 Symbol by simulation.

Keywords: DVB-T2, PAPR, OFDM