

DMT의 PAR 감소를 위한 Partial Transmit Sequence의 개선된 알고리즘

장은정^o 권호열

강원대학교 컴퓨터정보통신공학과

ejchang@mirae.kangwon.ac.kr, hykwon@cc.kangwon.ac.kr

PAR Reduction of a DMT Signal Using Partial Transmit Sequences

Eun-Jung Chang^o Ho-Yeol Kwon

Dept. of Computer, Information and Communication Engineering, Kangwon National University

요 약

ADSL에서 사용되고 있는 DMT(Discrete Multitone)는 Multicarrier Modulation 기법으로 선로의 특성을 고려하여 고속의 bit-rate를 얻을 수 있다. 그러나 이러한 Multicarrier 신호의 문제점은 바로 높은 PAR(Peak-to-Average Ratio)로, 이 값을 줄이기 위해 여러 가지 기법이 사용되고 있다. 본 논문에서는 현재 PAR을 줄이기 위해 사용되고 있는 여러 기법에 대해서 설명하고, 그 기법들 중에서 PTS(Partial Transmit Sequence)를 개선한 새로운 알고리즘을 제시하여 성능평가를 통해 낮은 복잡도의 계산으로 PTS와 유사한 성능을 보임을 살펴본다.

1. 서 론

DMT line code는 ADSL에 사용되는 표준 code로 IDFT를 통해 구현된 여러 개의 single carrier로 구성되어 있으며, 정보를 전달하기 위해 사용 가능한 carrier의 개수는 IDFT 크기의 반보다 같거나 작다.

그리고 DMT의 각 line codes는 각각 서로 다른 PAR 값을 갖게 되고, 이 값들을 모두 더한 PAR 값은 QAM이나 CAP와 같은 Single Carrier Modulation의 PAR 값에 비해 매우 높은 값을 갖는다. 식 (1)은 DMT line code의 PAR값을 구한 식으로, 각 부채널(subchannel)의 PAR값이 모두 같을 경우 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$PAR_{DMT} = \frac{1}{\sqrt{m}} \sum_{i=1}^m PAR_i \quad (1)$$

$$PAR_{DMT} = \sqrt{m} PAR_{sub} \quad (2)$$

현재 MCM(Multicarrier Modulation)의 경우 발생하는 높은 PAR을 줄이기 위한 연구들이 많이 진행되고 있다.

본 논문에서는 이러한 여러 기법들에 대해 설명하고, 신호의 왜곡 없이 PAR을 줄일 수 있는 PTS(Partial Transmit Sequence)를 이용해서 유사한 성능을 보이면서 복잡도는 매우 감소시키는 새로운 알고리즘을 제안하며, CCDF(Complementary Cumulative Distortion Function)를 이용해 성능평가를 하였다.

본 논문은 2장에서는 기존의 PAR reduction 기법들에 대해 설명하고, 제 3장에서는 PTS 기반으로 제안된 새로운 알고리즘을 설명하고, 성능평가를 하였으며, 4장에서 결론을 맺는다.

2. PAR 감소 기법

2.1 Peak-to-Average Power Ratio

식 (3)은 N개의 subcarrier를 갖는 DMT 심볼에서 DAC의 결과 신호를, 식 (4)는 송신신호의 PAR이다.

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=1}^N X_n \exp(j\omega_n t) \quad (3)$$

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

그림 1에서는 subcarrier의 개수가 256개인 DMT 심볼의 PAR을 Complementary Cumulative Distortion Function($CCDF = \Pr(PAR > PAR_0)$)로 나타냈다.

Subcarrier의 개수가 많아질수록, 신호의 amplitude는 대략 Rayleigh 분포를 보이며, 높은 Peak 값의 발생 확률은 매우 낮다. 그림 1을 살펴보면 11dB보다 높은 PAR은 전송된 DMT 심볼의 0.1%보다 높지 않음을 알 수 있다[1].

2.2 PAR reduction 기법

PAR을 줄이기 위해서 현재 크게 세 가지의 기법이 제안되고 있다. 첫째는 신호 왜곡(signal distortion) 기법으로, peak와 그 주위의 DMT 신호를 간단히 비선형적으로 왜곡시켜서 peak amplitude 값을 감소시키는 방법이다. 이런 신호 왜곡 기법의 예로는 clipping, peak windowing, peak cancellation 등이 있다. 두 번째 분류는 코딩 기법이다. 이 방법은 높은 PAR 값을 갖는 DMT 심볼을 배제한 특별한 forward-error correcting code set을 사용하는 것이다. 셋째는 scrambling을 이

용하는 방법으로, 다른 scrambling sequence를 가지고 각 DMT 심볼을 scrambling하고, 이 중에서 PAR 값을 제일 작게 하는 scrambling sequence를 선택하는 방법이다. 이 방법의 예로는 Selective Mapping(SM)과 Partial Transmit Sequence(PTS) 방법이 있다.

위에서 살펴본 세 가지 접근방법 중에서 신호 왜곡 기법과 코딩 기법은 신호의 왜곡이 생기는 문제가 있다 [4]. 따라서 본 논문에서는 scrambling sequence를 이용한 SM과 PTS에 대해서 살펴볼 것이다.

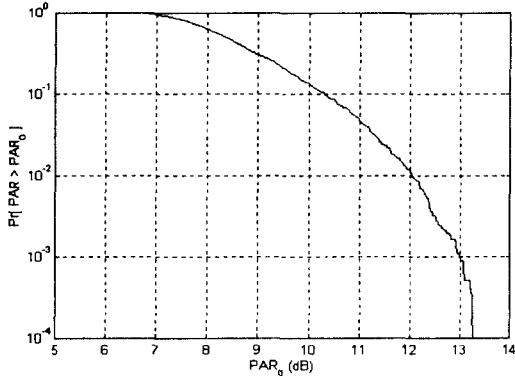


그림 1. DMT signal의 CCDF(N=256, QPSK)

2.3 Selective Mapping과 Partial Transmit Sequence

그림 2와 3은 각각 SM과 PTS방법을 나타낸 것이다. SM과 PTS의 가장 큰 차이점은 SM의 경우, 모든 subcarrier에 대해 독립적인 scrambling rotation을 적용하고, PTS는 subcarrier의 그룹에만 scrambling rotation을 적용한다는 것이다.

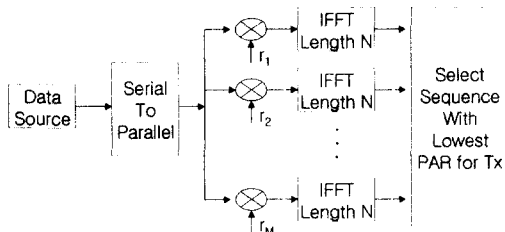


그림 2. Selective Mapping 방법

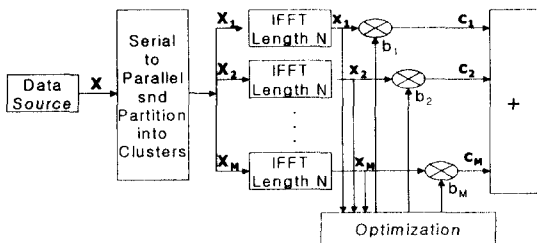


그림 3. Partial Transmit Sequence 방법

식 (5)는 PTS의 IFFT 입력 신호이고, 식 (6)은 IFFT 출력 신호이다. 식 (7)은 Phase set을 나타낸다.

$$X_m = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_M\}, \quad m=1, 2, \dots, M \quad (5)$$

$$x_m = IFFT(X_m) \quad (6)$$

$$\theta_m^h \in \{\pm 1, \pm i, \dots\}, \quad h=1, 2, \dots, H(=L^{(M-1)}) \quad (7)$$

M은 subblock의 개수를 나타내고, L은 Phase factor를 나타내는 값으로 phase set이 $\{\pm 1, \pm i\}$ 일 경우 L=4가 된다.

PTS에서는 식 (8)의 vector 계산을 통해서 \tilde{c} 중에서 PAR이 제일 작은 element인 c_h 를 생성하게 한 θ^h 를 PAR reduction optimization phase로 선택한다. 식 (9)는 식 (8)을 간단히 나타낸 것이다.

$$\begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ \vdots \\ c_H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_1^1 & \theta_2^1 & \dots & \theta_{M-1}^1 & \theta_M^1 \\ \theta_1^2 & \theta_2^2 & \dots & \theta_{M-1}^2 & \theta_M^2 \\ \theta_1^3 & \theta_2^3 & \dots & \theta_{M-1}^3 & \theta_M^3 \\ \theta_1^4 & \theta_2^4 & \dots & \theta_{M-1}^4 & \theta_M^4 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \theta_1^H & \theta_2^H & \dots & \theta_{M-1}^H & \theta_M^H \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_M \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\tilde{c} = B\tilde{x} \quad (9)$$

가장 작은 c_h 를 구하기 위해서는 phase factor(L)와 subblock(M)의 값이 높아야한다. 그러나 PTS의 경우, PAR reduction optimization phase θ^h 를 구하기 위해서 $(L^{(M-1)} \text{ by } M) \times (M \text{ by } 1)$ 의 vector 계산을 해야 한다. 이 때 phase factor와 subblock의 개수가 커지면 vector B의 크기가 커져서 계산을 위한 복잡도는 지수 함수로 증가하기 때문에 무작정 값을 높일 수는 없다. 따라서 본 논문에서는 PTS와 유사한 성능을 보이면서 복잡도는 줄어드는 방법에 대해 연구하였다.

3. PTS에 관련된 개선된 기법

3.1 알고리즘

PAR reduction optimization phase θ^h 를 구하기 위해서 vector B를 전부 계산한다는 것은 L과 M에 대한 overhead가 너무 크다[2]. 따라서 phase set을 우선 다 음 식과 같이 하고, L=2로 한다.

$$\theta_m^h \in \{+1, -1\} \quad (10)$$

제안된 알고리즘의 실행을 위해서 모든 m에 대해서 θ_m 의 초기 값을 모두 1로 하고, PAR값을 계산한다. 이 초기 PAR값을 c^0 라 하자. 그리고 c^1 은 x_m 중에서 가장

영향을 많이 주는 값을 선택해서 $\theta_m = -1$ 로 해서 계산한다.

$$\begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ \vdots \\ c_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & \dots & -1 & 1 & 1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -1 & 1 & \dots & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_M \end{bmatrix} \quad (11)$$

즉 위의 vector 계산을 통해서 가장 작은 PAR값 c^1 를 계산한 후, $c^1 < c^0$ 면 다음 c^2 를 계산하기 위해서 PAR reduction optimization phase θ^h 의 $\theta_m^h = -1$ 로 하고, 다시 그 다음으로 영향을 많이 주는 값을 선택해서 위의 과정을 반복한다. 이렇게 위의 과정을 계속 반복하다가 $c^i > c^{i-1}$ 이 되었을 경우 PAR reduction optimization phase θ^h 계산 과정을 끝마친다.

원래 PTS의 경우 $L=2$ 일 경우, θ^h 를 구하기 위해서 $M \cdot 2^{(M-1)}$ 의 multiplication이 필요하지만, 본 논문에서 제안된 알고리즘의 경우 최대 $M \cdot \frac{(M-1)(M+2)}{2}$ 의 multiplication 과정이 필요하다. 따라서 복잡도는 상당히 많이 줄어든다.

3.2 성능 평가

그림 3은 PTS를 이용한 PAR reduction 기법으로 $L=2$ 의 경우 subblock의 개수를 변화시키면서 CCDF를 구한 그래프이다. 이 그래프는 PAR reduction optimization phase θ^h 를 구하기 위해서 full-length의 vector B를 이용한 경우로, $L=2$ 일 때 Optimum한 경우라 할 수 있다. M 값이 증가할수록 PAR값이 현저히 줄어드는 경우를 알 수 있다. 그러나 위에서 언급했듯이 복잡도가 지수함수로 증가하게 된다.

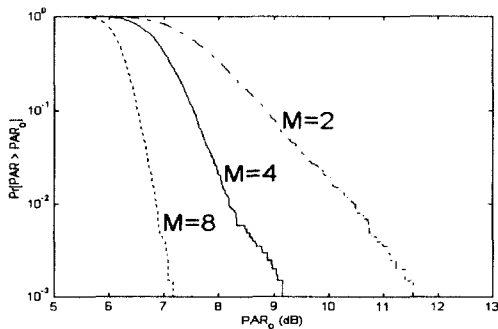


그림 4 PTS를 이용한 optimum 기법의 CCDF

그림 5는 PAR reduction을 위해 본 논문에서 제안한 알고리즘을 이용한 경우를 기존의 알고리즘과 비교한 것

이다. 그림 5를 살펴보면 iteration 알고리즘[1]의 경우, 복잡도를 많이 고려한 결과 성능이 PTS optimum의 경우와 비교해 보았을 경우 매우 낮음을 알 수 있다. 본 논문에서 제안된 알고리즘은 optimum에 비교해 보았을 경우 복잡도는 매우 낮아지고, 성능은 optimum의 경우와 유사한 결과를 나타내고 있다.

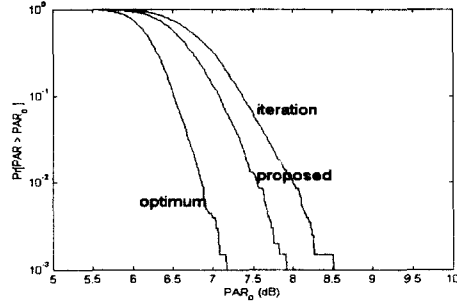


그림 5 제안된 알고리즘의 성능 비교

IV. 결론.

PTS의 optimum의 경우 phase factor(L)와 subblock(M)의 값에 따라 복잡도는 지수함수로 증가하기 때문에, 성능 향상이 높다고 하더라도 실질적으로 사용하기에는 부적합하다.

따라서 본 논문에서는 DMT와 같은 Multicarrier Modulation의 가장 큰 문제점으로 알려진 PAR 문제를 해결하기 위해, PTS를 이용한 새로운 알고리즘을 제안하고, 성능 평가를 통해 낮은 복잡도로 PTS의 optimum 경우와 유사한 성능을 나타냄을 보여주고 있다.

그러나 본 논문에서 제안된 알고리즘의 경우 가장 영향을 많이 미치는 IFFT block을 찾기 위한 parameter 선정에 어려움이 있다. 따라서 향후에는 성능 평가에 영향을 미치는 Parameter 선정을 보다 효율적으로 할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

[참고 문헌]

[1] L.J.Cimini, Jr., N.R.Sollenberger "Peak-to-Average Power Ratio Reduction of an OFDM Signal Using Partial Transmit Sequences With Embedded Side Information", IEEE GLOBECOM Vol.2, pp.746-750, 2000

[2] A. D. S. Jayalath, C. Tellambura, H. Wu, "Reduced complexity PTS and new phase sequences for SLM to reduce PAP of an OFDM signal", IEEE 51st Vehicular Technology Conference Proceedings, Vol.3, pp. 1914-1917, 2000

[3] W.Y.Chen, "DSL Simulation Techniques and Standard Development for Digital Subscriber Line Systems", Macmillan Technology Publishing, 1998

[4] R.V.Nee, R.Prasad, "OFDM for Wireless Multimedia Communication", Artech House Publishers, 2000