

# 저복잡도선택사상기법에서 적은연관성을갖는위상시퀀스집합설계

우준영, 노종선, 신동준\*  
서울대학교, \*한양대학교

jjwoo@ccl.snu.ac.kr, jsno@snu.ac.kr, \*djshin@hanyang.ac.kr

## A Design of Phase Sequence Sets with Low Correlation in Low-Complexity SLM

Jun Young Woo, Jong Seon No, Dong Joon Shin\*

Seoul National Univ., \*Hanyang Univ.

### 요약

본 논문은 최대 전력 대 평균 전력 비(PAPR: Peak-to-Average Power Ratio)를 줄이는 방법 중 하나인 저복잡도 선택사상기법(SLM: Selected Mapping)을 이용하였다. 하지만 이는 데이터길이의 세제곱에 해당하는 후보신호들을 만들어 내기 때문에 추가정보(SI: Side Information)가 크다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 추가정보를 줄이기 위하여 연관성이 적은 위상신호(Phase Sequence)집합을 만드는 방법을 제안하였다.

### I. 서론

직교 주파수 분할 다중 반송파(OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템은 역푸리에 변환(IFFT: Inverse Fast Fourier Transform)을 사용하며 이때 시간 영역의 신호로 바뀌는 데이터는 최대 전력 대 평균 전력의 비(PAPR: Peak-to-Average Power Ratio)가 크다는 단점이 생기게 된다. 따라서 이러한 단점을 해결하기 위해 Clipping, SLM, PTS와 같은 방법이 제안되었다. 하지만 SLM은 후보신호의 개수 만큼 IFFT연산을 수행하기 때문에 계산 복잡도가 증가한다는 단점이 있다. SLM에서의 복잡도를 감소시키기 위한 방법으로 데이터를 IFFT한 후에 시간 영역에서 위상신호(Phase Sequence)와 같은 역할을 하는 변환벡터(Conversion Vector)를 곱하여 위상회전(Phase Rotation)과 순환자리 이동(Cyclic Shift)을 통해 후보신호를 만드는 방법을 제안하였다[1].

이 방법은 후보신호의 개수가 데이터길이의 세제곱(=  $N^3$ )과 같으므로 추가정보를 많이 보내야 하는 단점이 있다. 본 논문에서는 추가정보를 줄이기 위하여 연관성이 적은 위상신호를 선택하는 알고리즘을 제안한다.

### II. 본론

OFDM은 하나의 데이터를 여러 개의 직교(Orthogonal)하는 부반송파에 나누어서 전송하는 방식이며 다중페이딩에 강한 장점을 가지고 있다. OFDM의 시간영역에서의 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} X_n \exp(j2\pi n \Delta f t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (1)$$

여기서  $X_n$ 은 데이터,  $N$ 은 데이터의 길이,  $\Delta f$ 는 부반송파의 간격을 의미한다. 또한  $T$ 는 OFDM 하나의 심볼 간격이며 OFDM에서의 심볼 간격은  $T = 1/\Delta f$ 를 만족해야한다.

하지만 OFDM의 전송신호는 PAPR이 크다는 단점을 가지고 있으며 전

송신호  $x(t)$ 의 PAPR은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$PAPR = \frac{\max_{0 \leq t \leq T} |x(t)|^2}{E[|x(t)|^2]} \quad (2)$$

여기서  $E[\cdot]$ 는 기댓값을 나타낸다.

이러한 PAPR을 줄이는 방법으로 SLM, PTS 등이 제안되었으며 최근에는 계산 복잡도를 줄이려는 연구가 진행되고 있다. 그 중 한 번의 IFFT연산만으로 다양한 후보신호를 만들 수 있는 SLM기법이 Wang[1]에 의해 제안되었다. SLM방식은 주파수 영역에서 데이터를 각각 독립적으로 위상회전시켜서 독립적인 후보신호를 만들어 내는 방식이다. 이를 시간 영역에서 보면 컨벌루션(Convolution)해주는 것과 같다. 따라서 먼저 데이터를 IFFT연산한 후에 변환벡터(Conversion Vector)와 컨벌루션을 하면 OFDM 전송신호를 만들 수 있다. 또한 시간영역에서의 변환벡터를 DFT하게 되면 주파수 영역에서의 위상시퀀스(Phase Sequence)가 된다. [1]에서의 CLASS3 방식은 4개의 base vector( $G_{ci}, i=1,2,3,4$ )를 (3)식과 같이 각각 위상회전과 순환자리이동을 통하여 후보신호를 만든다.

$$G_c = G_{c1} + p2 \cdot G_{c2}^{m2} + p3 \cdot G_{c3}^{m3} + p4 \cdot G_{c4}^{m4} \quad (3)$$

여기서  $p2, p3, p4$ 는 위상회전을 시키는 것이고 그 값은  $\{\pm 1, \pm j\}$ 이 될 수 있다.  $G_c^{m2}$ 는  $G_c$  벡터를 오른쪽으로  $m2$ 만큼 cyclic shift하는 것을 의미하고  $0 \leq m2, m3, m4 \leq \frac{N}{4} - 1$ 를 만족한다. 따라서 이때 만들 수 있는 총 후보신호의 개수는  $N^3$ 개이며 추가정보는  $\lceil \log_2 N^3 \rceil$  비트만큼 필요하게 된다. 이는 강한 오류정정부호를 사용하여 데이터와 함께 전송해야 하므로 이는 전송데이터효율을 떨어트리는 요인으로 작용한다. 그러므로 추가정보의 양을 줄이는 방법이 필요하게 된다.

본 논문에서는 우선 CLASS3에서의 4개의 base vector의 합( $G_c$ )이 위상회전의 값에 따라 순환자리이동한 형태가 되는 것을 발견하였고 이는 원

래 신호의 순환자리이동한 형태로 나타나게 된다. 즉 전송신호의 최대값은 자리만 이동할 뿐 값 자체는 변하지 않기 때문에 PAPR감소효과가 없다. 총 64가지의 위상회전의 경우가 16가지로 줄기 때문에 실제적인 후보신호의 총 개수는 다음과 같다.

$$16 \times \text{하나의 벡터가 shift 할 수 있는 양} (= \frac{N}{4})^3 = 4^2 \cdot \frac{N^3}{4^3} = \frac{N^3}{4} \quad (4)$$

$p2, p3, p4$ 의 값에 따른 위상회전의 16가지는 아래와 같이 나타낸다. 여기서  $(ijk) = (p2p3p4)$ 이며  $p2, p3, p4$ 의 가능한 값은 0,1,2,3이고 각각  $0 \rightarrow 1, 1 \rightarrow j, 2 \rightarrow -1, 3 \rightarrow -j$ 를 의미한다. 아래의 경우에서 같은 집합 안에 있는 위상회전끼리는  $m2, m3, m4$ 가 서로 같아야 한다.

집합	$p2p3p4$ 조합	집합	$p2p3p4$ 조합
S1	000, 123, 202, 321	S2	002, 121, 200, 323
S3	001, 121, 203, 322	S4	003, 122, 201, 320
S5	020, 103, 222, 301	S6	022, 101, 220, 303
S7	021, 100, 223, 302	S8	023, 102, 221, 300
S9	010, 133, 212, 331	S10	012, 131, 210, 333
S11	011, 130, 213, 332	S12	013, 132, 211, 330
S13	030, 113, 232, 311	S14	032, 111, 230, 313
S15	031, 110, 233, 312	S16	033, 112, 231, 310

표1. 같은 peak값을 가지는 전송신호를 만들어 내는 16가지 위상신호의 집합

(3)식에서의  $p4 = 1$ 로 고정시킴으로써 전체 후보신호의 개수를 1/4로 줄일 수 있고 그림1과 같이  $10^{-4}$ 에서 약 0.1dB 가량 성능 이득을 얻을 수 있었다. 또한 가능한 전체 후보신호의 수를 1/4로 줄였기 때문에 추가정보의 양을 2비트 줄일 수 있다.

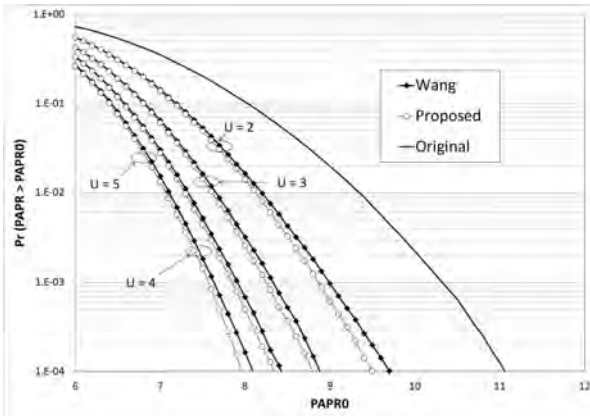


그림1.  $N = 64$ 인 경우 Wang과 1/4로 후보신호의 개수를 줄인 경우의 PAPR 감소 성능 비교

하지만 이 역시 추가정보의 양은 많다고 할 수 있다. 그렇기 때문에 본 논문에서는 간단하게 추가정보를 줄일 수 있는 방법을 제안한다.

- ◎ 적은 후보신호 집합의 설계방법
1. 전체 후보 set 중에서 random하게  $U$ 개의 phase를 선택한다.
  2.  $U$ 개 끼리 서로 연관성을 측정하여 threshold보다 적은 값을 가지면 선택하고 만족하지 않으면 새롭게 phase를 다시 선택한다.
  3. 이렇게 찾은 phase를 SLM에 적용한다.

위의 방식에서 연관성은 다음과 같이 계산한다.

$$\rho_{ig}(\tau) \approx \left| \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} P_k^{(i)} P_k^{(g)*} e^{-j\frac{2\pi k}{N}\tau} \right|^2 \quad 0 \leq \tau \leq N-1 \quad (5)$$

여기서  $P_n^{(i)}$ 는  $i$ 번째 위상신호의  $n$ 번째 원소를 의미하며 \*는 complex conjugation이다.  $\rho_{ig}(\tau)$ 는 time domain에서의 OFDM 신호끼리의 correlation coefficient이며 이 값이 작을수록 좋은 PAPR 감소성능을 보인다.

그림2. 는 제안된 알고리즘을 사용하여 모의실험한 결과이며 이를 Wang의 경우와 비교하였다. 262,411개의 phase sequence를 표현하려면 18비트의 추가정보가 필요하지만 제안된 알고리즘을 사용하는 경우  $\lceil \log_2 U \rceil$  비트만 필요하게 된다. 또한 PAPR성능에서도  $10^{-4}$ 에서 약 0.1 ~ 0.2dB의 이득을 얻을 수 있다.

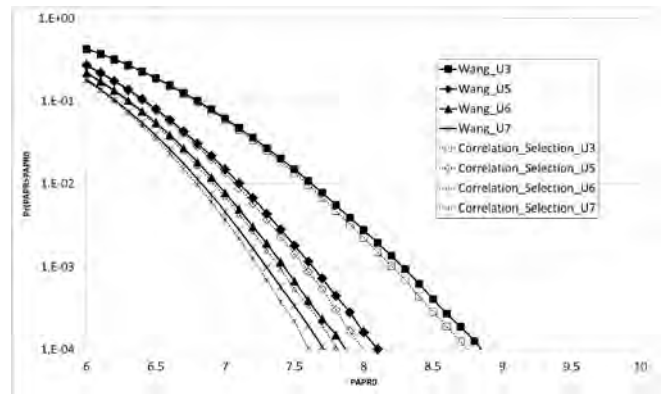


그림2.  $N = 64$ 인 경우 Random, Correlation을 이용하여 선택한 phase 사용하는 경우의 PAPR 감소 성능

### III. 결론

본 논문에서는 저복잡도 선택상기법에서 추가정보를 줄이기 위한 방법을 제안하였다. CLASS3방식에서 서로 다른 위상회전값을 가져도 같은 peak값을 가지는 변환벡터를 발견하여 총 후보신호의 개수를 1/4로 감소시킬 수 있었다. 또한 적은 연관성을 갖는 phase sequeunce pool을 만드는 알고리즘을 제안하였으며 모의실험을 통하여 원래의 경우보다 훨씬 적은 부가정보의 양으로 더 우수한 PAPR감소 성능을 보인다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0000328).

### 참 고 문 헌

[1] Chih-Peng Li, Sen-Hung Wang, Chin-Liang Wang, "Novel Low-Complexity SLM Schemes for PAPR Reduction in OFDM Systems", IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 58, no. 5, pp. 2916-2921, May. 2010.

[2] Zhou, G.T., Liang Peng, "Optimality Condition for Selected Mapping in OFDM ", IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 54, no. 8, pp. 3159 - 3165, Aug. 2006.