

# 직교 주파수 분할 다중화 방식에서 최대 전력 대 평균 전력 비를 감소시키는 새로운 부분 전송 수열 기법

\*김기훈, 주현승, 노종선, \*\*신동준

\*서울대학교, \*\*한양대학교

\*kkh@ccl.snu.ac.kr, \*\*djshin@hanyang.ac.kr

## A New Partial Transmit Sequence Scheme for PAPR Reduction in OFDM Systems

\*Kim Kee Hoon, Joo Hyun Seung, No Jong-Seon, \*\*Shin Dong-Joon

\*Seoul National Univ., \*\*Hanyang Univ.

### 요약

본 논문은 직교 주파수 분할 다중화 방식 (OFDM) 에서 최대 전력 대 평균 전력 비 (PAPR) 을 감소시키는 새로운 부분 전송 수열 기법 (Partial Transmit Sequence) 을 제안 하였다. 제안된 기법에서는 OFDM 신호 수열에 단순히 위상 회전 수열을 곱해주는 기존의 부분 전송 수열 기법과 다르게 시간 영역과 주파수 영역의 순환 이동-선형 위상 관계를 활용하여 OFDM 신호 수열에 선형 위상 수열을 곱하게 된다. 이는 주파수 영역의 입력 심볼 수열에서의 순환 이동으로 나타나게 된다. 이를 이용하기 위하여 주파수 영역의 입력 심볼 수열은 이에 앞서 기본적으로 실수와 허수 부분으로 나누어지게 된다. 이는 기존의 부분 전송 수열과 결합 할 경우 제한된 수의 역 푸리에 변환 (IFFT)을 사용하는 경우 더 많은 후보 OFDM 신호 수열들을 생성 할 수 있게 한다.

### I. 서론

직교 주파수 분할 다중화 방식 (OFDM)은 각기 다른 부반송파의 직교성을 이용하여 다수의 반송파에 여러 정보를 실어 보내는 변조 방식이다. 이 기법은 디지털 음향 방송 (DAB), 디지털 영상 방송 (DVB), IEEE 802.11 무선 지역 네트워크 (WLAN) 표준과 IEEE 802.16a 무선 도시 지역 네트워크 (WMAN) 표준 등에 채택되었다. 다른 다중반송파 변조 방법과 마찬가지로, OFDM 또한 최대 전력 대 평균 전력 비 (PAPR)이 매우 크다는 문제를 가지고 있다. 이것은 매우 비싼 고 전력 증폭기의 사용을 요구하게 되기 때문에 OFDM 신호의 PAPR 감소가 절실히 필요하다. PAPR을 줄이기 위하여, 최근 몇 년 동안, 클리핑 (clipping) [1], 톤 예약 방법 (tone reservation) [2], 선택 사상 기법 (SLM) [3], 부분 수열 전송 방법 (PTS) [4], 톤 삽입 기법 (tone injection) 등 이 소개되었다. 이 중 가장 간단한 방법은 클리핑 인데, 이 방법은 사용 주파수 대역과 비사용 주파수 대역 모두 신호 왜곡을 일으키는 문제가 있다. 톤 예약 기법에서는 일정한 위치의 주파수 대역 톤들을 PAPR 감소를 위하여 사용하는 것이다. 이는 좋은 PAPR 감소 성능을 보이지만 높은 계산 복잡도와 데이터 전송을 감소의 단점을 가지고 있다. SLM 기법에서는, 입력 심볼 수열들은 후보 입력 심볼 수열을 만들기 위하여 위상 회전 수열이 곱해지게 된다. 후보 OFDM 신호 수열들의 각각은 역 푸리에 변환 (IFFT)를 통하여 만들어 지게 된다. 이 중 가장 낮은 PAPR을 갖는 신호 하나만이 선택되어 전송된다. PTS 기법에서는, 입력 심볼 수열이 중복 되지 않는 여러 개의 부분으로 나누어지게 된다. 그리고 IFFT가 각 부분에 적용되고 이것들에 PAPR을 최소화 시키는 적절한 위상 회전 수열이 곱해지게 된다. 그 후 모든 부분

들이 다시 합쳐져 전송된다. SLM과 PTS 기법 모두 다수의 IFFT를 필요로 한다. 따라서, 두 기법의 계산 복잡도는 매우 커지게 된다. 마지막으로, 톤 삽입 기법은 기존의 상성도를 확장시켜 톤의 자유도를 증가 시킨다. 그리고 이러한 증가된 자유도를 이용하여 PAPR 감소를 위하여 톤들의 위치를 선택한다. 톤 삽입 기법은 수신단에서 추가적인 정보 없이 신호를 복원 할 수 있게 하고 높은 PAPR 감소 성능을 보이지만 자유도가 커질수록 계산 복잡도가 크고 신호 전송 파워가 증가한다는 단점을 갖고 있다. 이 논문에서는 앞서 설명한 PTS 기법과 유사하지만 다른 방식으로 후보 OFDM 신호 수열들을 생성해 내는 새로운 PTS 기법을 제안한다. 이 기법은 나누어진 OFDM 신호 수열들에 선형 위상 수열을 곱해줌으로써 입력 심볼 수열에서의 순환 이동 효과를 주게 된다. 이를 위하여 기본적으로 실수와 허수 부분으로 나누어진 입력 심볼 수열을 이용하게 된다.

### II. 본론

본 논문에서는 새로운 PTS 기법을 제안한다. 부반송파의 수가  $N$ 인 입력 심볼 수열을 생각하자. 이는 크기가  $N$ 인 실수와 허수 부분의 수열로 나누어 질 수 있다. 여기서 실수 부분을 실수 입력 심볼 수열로 허수 부분을 허수 입력 심볼 수열로 생각한다. 실수 입력 심볼 수열이 고정된 상태에서 허수 입력 심볼 수열이 순환 이동을 하여도 QPSK나 QAM 변조를 사용하는 모든 경우에 대해서 상성도의 모양이 유지된다. 다시 말하면 이와 같이 순환 이동을 할 경우 같은 변조지만 다른 방법으로 적용하는 효과를 만든다. 따라서 실수 입력 심볼 수열이 고정되어 있고 허수 입력 심볼 수열이 순환이동 된 모든 경우들에 대하여 합쳐진 시간 영역의 OFDM 신

호 수열은 모두 다른 PAPR을 가지게 된다. 또한 실수 입력 심볼 수열과 허수 입력 심볼 수열을 모두 IFFT 하는 과정은 하나의 복소수 수열을 IFFT 하는 것으로 생각 될 수 있다. 따라서 계산량 면에서도 이점을 갖게 된다. 이를 나타내는 그림은 아래와 같다.

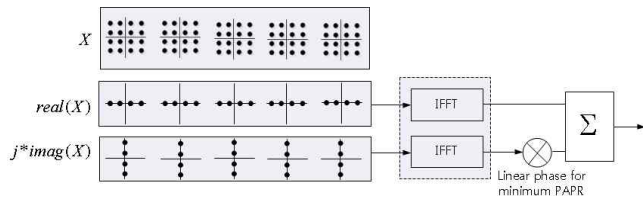


그림 1 제안된 PTS 기법의 기본 개념도

그림 1에서 보다시피 16QAM으로 변조된 어떠한 입력 심볼 수열  $X$ 가 들어오게 되면 이를 실수 입력 심볼 수열  $Real(X)$ 과 허수 입력 심볼 수열  $jImag(X)$ 로 나누게 된다. 이들은 그림 1과 같이 각각 4PAM 변조의 형태를 갖게 된다. 그리고 이 두 수열을 각각 IFFT 한 후에 시간 영역에서 선형 위상 수열을 곱해주게 된다. 이는 실수 입력 심볼 수열과 허수 입력 심볼 수열의 순환이동으로 표현될 수 있다. 따라서 합해진 입력 심볼 수열은 다시 16QAM으로 변조된 형태를 갖게 된다. 이로 인해 비트 오류율의 열화는 일어나지 않는다. 그리고 기존의 PTS 기법과 마찬가지로 여러 선형 위상 수열들에 상응하는 후보 OFDM 신호 수열들 중 가장 낮은 PAPR을 갖는 신호를 선택하여 전송하게 된다. 기존의 PTS 기법과 마찬가지로 수신단에서 복원 시에 얼마나 순환이동을 하였는지에 대한 추가 정보가 필요하게 된다.

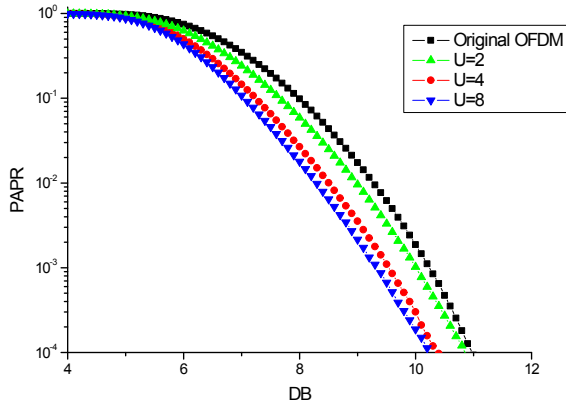


그림 2 PAPR 감소 성능

그림 2는 그림 1의 경우에  $N = 64$ 이고 16QAM 변조인 경우이다. 또한 오버 샘플링은 고려하지 않았다.  $U$ 는 곱해진 선형 위상 수열의 수이고 후보 OFDM 신호 수열의 수와 동일하다. 그림에서 보다시피  $U$ 가 커질수록 PAPR 감소 성능이 커진다. 하지만  $U$ 가 4정도가 되면 서서히 수렴하는 것을 알 수 있다. 중요한 것은 그림 2의 결과가 복소수 수열의 IFFT를 오직 한번만 사용했을 경우라는 것이다. 따라서 실수 입력 심볼 수열과 허수 입력 심볼 수열을 기본적으로 유지한 상태에서 기존의 PTS 기법과 마찬가지로 서로 겹치지 않는 부분으로 나누게 되면 PAPR 감소 성능은 더욱 증가할 것이다. 또한 기존의 PTS 기법에서 사용하는 고정된 위상 회전 수열을 추가적으로 사용하는 상황도 생각해 볼 수 있다.

### III. 결론

본 논문에서는 OFDM 시스템에서 PAPR을 감소시키는 새로운 PTS 기법을 제안하였다. 제안된 PTS 기법은 기존의 PTS 기법과 다르게 시간 영역에서 선형 위상 수열을 곱해주게 된다. 이는 주파수 영역에서 수열들의 순환 이동으로 나타나게 되고 입력 심볼 수열을 실수와 허수 부분으로 나누는 경우에 이를 활용 할 수 있다. 실수와 허수 부분으로 나누어 IFFT를 진행하기 때문에 기존의 복소수 수열을 IFFT 하는 것과 비교하였을 경우 계산 복잡도는 반으로 줄어들게 된다. 또한 기존의 PTS 기법처럼 입력 심볼 수열을 겹치지 않는 여러 부분으로 나누어 이러한 기법을 적용하게 되면 낮은 계산 복잡도로도 많은 후보 OFDM 신호 수열들을 생성할 수 있다. 또한 후보 OFDM 신호 수열들을 만드는 과정에서 후보 입력 심볼 수열들은 모두 변조 방식의 모양을 그대로 유지하기 때문에 비트 오류율의 열화가 일어나지 않는다.

### ACKNOWLEDGMENT

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

### 참고 문헌

- [1] X. D. Li and L. J. Cimini, Jr., "Effects of clipping and filtering on the performance of OFDM," IEEE Comm. Lett., vol. 2, no. 5, pp. 131 - 133, May 1998.
- [2] J. Tellado-Mourelo, Peak to average power reduction for multicarrier modulation, Ph.D. thesis, Stanford University, Stanford, Calif, USA, 1999.
- [3] R. W. Bäuml, R. F. H. Fischer, and J. B. Huber, "Reducing the peak-to-average power ratio of multicarrier modulation by selected mapping," Elec. Lett., vol. 32, no. 22, pp. 2056 - 2057, Oct. 1996.
- [4] D. W. Lim, S. J. Heo, J. S. No, and H. Chung, "A new PTS OFDM scheme with low complexity for PAPR reduction," IEEE Trans. Broadcast., vol. 52, no. 1, pp. 77 - 82, Mar. 2006.