

# 직교 주파수 분할 다중화 방식에서의 선택 사상 기법에 대한 효율적인 전송 신호 수열 선택 방법

\*김기훈°, \*\*주현승, \*노종선, \*\*\*신동준

\*서울대학교, \*\*삼성전자, \*\*\*한양대학교

## Efficient Selection of a Transmitted OFDM Signal Sequence in SLM Schemes

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

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

[kkh@ccl.snu.ac.kr](mailto:kkh@ccl.snu.ac.kr)

### 요 약

직교 주파수 분할 다중화 방식 (orthogonal frequency division multiplexing; OFDM) 신호 수열의 높은 최대전력 대 평균전력의 비 (peak-to-average power ratio; PAPR)을 감소시키기 위하여 여러 종류의 선택 사상 기법 (selected mapping; SLM)이 존재한다. 기존의 SLM 기법을 비롯하여, 계산 복잡도를 낮추는 저 복잡도 SLM 기법들이 현재까지 제안되었다. 이 논문에서는, 전송 OFDM 신호 수열의 효율적인 선택 방법을 제안한다. 제안하는 기법은 OFDM 신호들을 생성함에 있어 기존의 생성방법과 다른 순차 생성을 활용하며, 순차 생성 과정에 있어 높은 OFDM 신호를 발견함과 동시에 생성을 중단함으로써 필요 없는 계산도를 제거한다. 이는 기존의 SLM 기법을 비롯한 여러 SLM 기법에 적용 가능하며, 계산 복잡도를 많이 감소 시키는 효과를 가져온다.

### 1. 소개

직교 주파수 분할 다중화 방식 (orthogonal frequency division multiplexing; OFDM) 신호 수열의 높은 최대전력 대 평균전력의 비 (peak-to-average power ratio; PAPR)을 감소시키기 위하여 선택 사상 기법 (selected mapping; SLM)을 비롯하여 여러 종류의 기법들이 제안되었다.

그 예로써는 클리핑 [1], 부호화 기법 [2], 톤 예약 기법, 부분 전송 수열 기법, SLM [3] 등이 존재한다.

그 중에서 SLM 기법은 매우 좋은 PAPR 감소 성능을 보여주고, 다른 PAPR 감소 기법과 다르게 비트 오류율을 열화 시키지도 않는다. 하지만 많은 수의 역 푸리에 변환 (inverse fast Fourier transform; IFFT) 들을 필요로 하기 때문에 계산 복잡도가 매우 크다.

이 논문에서는, SLM 기법에서 전송 OFDM 신호 수열을 효율적으로 선택하는 방법을 제안한다. 이 방법은 기존의 SLM 기법을 포함하여, 그것의 저 복잡도 구현인 다른 여러 SLM 기법들에도 적용이 대부분 가능하며 계산 복잡도를 감소 시키는 효과를 낸다. 모의실험 결과는 제안하는 효율적인 선택 방법이 SLM 기법의 계산 복잡도를 크게 감소 시킴을 보여준다. 제안하는 방법의 가장 큰 장점은, 대상이 되는 SLM 기법의 PAPR 감소 성능을 열화 시키지

않는다는 것이다.

이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 우선 2 절에서, 기존의 SLM 기법을 소개한다. 그리고 3 절에서는 제안하는 효율적인 선택 방법을 소개하며 이를 기존의 SLM 에 적용하여 본다. 그리고 4 절에서는 모의실험 결과로 제안하는 기법의 계산도적인 이득을 확인해 본다.

### 2. 기존의 SLM 기법

이 논문에서는  $\mathbf{X} = \{X(0), X(1), \dots, X(N-1)\}$  를 주파수 영역에서의 입력 심볼 수열이라고 생각한다. 또한  $\mathbf{x} = \{x(0), x(1), \dots, x(N-1)\}$  를 시간 영역에서의 OFDM 신호 수열이라고 생각한다. 기존의 SLM 기법은 다음 그림과 같이 구현된다.

Fig. 1 에서 입력 심볼 수열은 각기 다른 위상 회전 벡터  $\mathbf{P}^u$  에 의해 후보 입력 심볼 수열  $\mathbf{X}^u$  로 변환된다. 그리고 각 후보 입력 심볼 수열은 IFFT 과정을 통하여 후보 OFDM 신호 수열  $\mathbf{x}^u$  로 변환된다. 총  $U$  개의 후보 OFDM 신호 수열이 만들어 지는데 이 중 가장 작은 PAPR 을 갖는 것을 선택하여 전송하게 된다. 눈여겨볼 점은 최종적으로 하나의 OFDM 신호 수열이 선택됨에도 불구하고, 모든 후보 OFDM 신호수열들이 온전히 생성된다는 것이다.

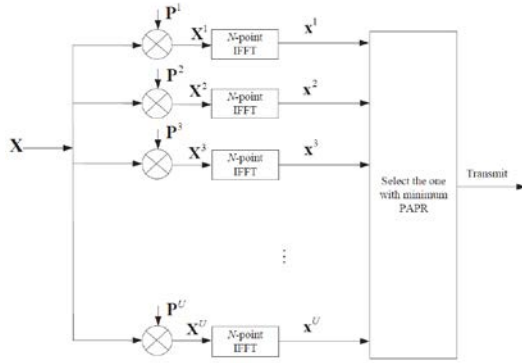


Figure 1 기존의 SLM 기법

### 3. OFDM 신호의 순차 생성

어떠한 후보 OFDM 신호 수열  $\mathbf{x}^u$  를 생성하는데 있어 IFFT 를  $\mathbf{X}^u$  에 대해 수행하게 되는데 그 그림은 다음과 같이 볼 수 있다.

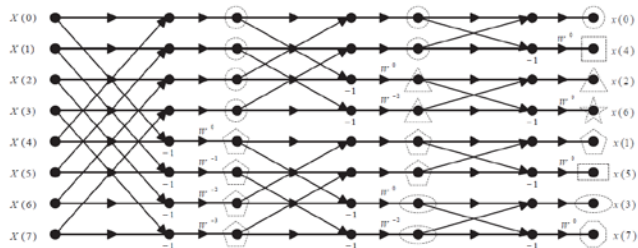


Figure 2 8 개의 입출력을 갖는 IFFT 구조

Fig. 2 에서 보다시피, IFFT 구조는 여러 개의 노드들로 이루어져 있다. 어떠한 후보 OFDM 신호 수열  $\mathbf{x}^u$  를 생성하는데 있어 사용되는 부반송파의 수를  $N$  이라고 한다면,  $N \log_2 N$  개의 노드들이 계산되어야 한다. Fig. 2 를 보자면, 24 개의 노드들을 계산해야지만  $\mathbf{x}^u$  를 생성 할 수 있다.

하지만 IFFT 구조를 활용한다면, 순차 생성이 가능한데, 예를 들어 Fig. 2 에서  $x(0)$  는 동그라미로 표시되어있는 노드들만을 계산하여 얻어 질 수 있다. 또한  $x(4)$  는  $x(0)$  의 결과에 네모로 표시된 노드를 추가로 계산하여 얻어 질 수 있다. 이는 만약 우리가  $\mathbf{x}^u$  를 순차 생성을 이용하여 생성한다면, 이 생성 과정을 멈출 수 있는 여지를 얻게 된다는 것이다.

### 4. 기존의 SLM 기법에 대한 제안하는 선택 방법

2 절에서 기존의 SLM 기법을 수행함에 있어 여러 후보 신호들을 생성하는 과정에서, 3 절에서 설명된 순차 생성을 사용하고, 만약 그 후보 신호를 생성하는 도중 “지금까지 생성된 후보 신호보다 PAPR 이 나빠지게 만드는” 높은 파워를 지닌 OFDM 신호가 발견된다면, 생성을 중단할 수 있다. 더 자세히 설명한다면 다음과 같은 의사코드로 기존의 SLM 기법에 대해 효율적인 전송 OFDM 신호 수열 선택 방

법을 적용할 수 있다.

```

1:  $\gamma \leftarrow \infty$ .
2: for  $u = 1, 2, \dots, U$ 
3:   for  $n = 0, N/2, N/4, \dots, N-1$ 
4:     generate  $x^u(n)$  by the sequential generation
5:     if  $|x^u(n)|^2 / E[|x(n)|^2] > \gamma$ 
6:       go to 11.
7:     end if
8:   end for(n)
9:    $\gamma \leftarrow \text{PAPR}(\mathbf{x}^u)$ .
10:   $\mathbf{x}^{\bar{u}} \leftarrow \mathbf{x}^u$ .
11: end for(u)
12: transmit  $\mathbf{x}^{\bar{u}}$ .

```

위 의사코드에서  $\gamma$  라는 변수를 활용하여 기존의 SLM 기법을 구현하게 된다. 만약 후보 OFDM 신호 수열을 순차 생성하는 도중 기존에 생성된 후보 OFDM 신호 수열의 PAPR 값 중 가장 작은 값인  $\gamma$  보다 큰 PAPR 값을 갖게 하는 OFDM 신호가 생성되면 즉시 그 생성을 중단하게 된다. 명백히, SLM 기법의 PAPR 감소 성능은 이러한 선택 전략에 대해 어떠한 영향도 받지 않는다.

### 5. 모의실험 결과

		$U = 8$	$U = 16$	$U = 32$
$N = 256$	complexity of the conventional SLM without ES	$8 T_N$	$16 T_N$	$32 T_N$
	complexity of the conventional SLM with ES	$4.92 T_N$	$8.31 T_N$	$14.26 T_N$
	CCR (%)	38.5	48.1	55.4
$N = 1024$	complexity of the conventional SLM without ES	$8 T_N$	$16 T_N$	$32 T_N$
	complexity of the conventional SLM with ES	$4.81 T_N$	$8.03 T_N$	$13.58 T_N$
	CCR (%)	39.9	49.8	57.6

모의실험을 통하여 기존의 SLM 기법에 제안하는 방법을 적용한 경우, 계산도 감소 성능 (computational complexity reduction ratio; CCR)을 살펴보았다. 위 표에서 보다시피 제안된 기법은 많은 계산 복잡도 감소를 가져온다. 표에서 ES 는 제안하는 기법이고,  $T_N$  은 한 IFFT 의 계산도를 나타낸 것이다.

### 6. 감사의 글

이 논문은 2012 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2012-0000186).

### 7. 참고문헌

[1] R. Oneal and L. N. Lopes, “Envelope variation and spectral splatter in clipped multicarrier signals,” in *Proc. IEEE PIMRC*, Sep. 1995, pp. 71–75.

[2] Y.-C. Tsai, S.-K. Deng, K.-C. Chen, and M.-C. Lin, “Turbo coded OFDM for reducing PAPR and error rates,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 7, no. 1, pp. 84–89, Jan. 2008.

[3] R. W. Bauml, R. F. H. Fischer, and J. B. Huber, “Reducing the peak-to-average power ratio of multicarrier modulation by selected mapping,” *Electron. Lett.*, vol. 32, no. 22, pp. 2056–2057, Oct. 1996.