

## DFT-spreading-Block-QAM-FBMC System

이승민, 성준혁, 안철균, 최수용  
연세대학교 전기전자공학과

lsmtom95@yonsei.ac.kr, joonhyeok.sung@yonsei.ac.kr,  
acg8857@yonsei.ac.kr, csyong@yonsei.ac.kr

## DFT-spreading-Block-QAM-FBMC System

Seungmin Lee, Joonhyeok Sung, Chelkyun An, Sooyong Choi  
School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

## 요 약

본 논문은 블록 단위 인터리빙 방식의 필터 설계를 적용한 Block-QAM-FBMC (quadrature amplitude modulation based filter bank multi-carrier) 시스템에 DFT (discrete Fourier transform) spreading 기법을 적용한 DFT-spreading-Block-QAM-FBMC 시스템을 제안한다. 제안하는 DFT-spreading-Block-QAM-FBMC 시스템은 기존의 block-QAM-FBMC 시스템보다 낮은 PAPR 특성을 가진다.

## I. 서 론

최근 CP-OFDM (Cyclic prefix based orthogonal frequency division multiplexing) 기법보다 높은 전송효율을 갖는 새로운 다중 반송파 기법으로 QAM-FBMC (quadrature amplifier modulation based filter bank multi-carrier) 시스템이 연구되었다 [1]. QAM-FBMC 시스템은 시간 축에서 신호를 중첩하고 두 개의 직교하는 필터를 이용하여 중첩되는 신호 간의 간섭을 제거한다. 그러나 FBMC 변조 심볼들을 시간 축에서 offset을 가지면서 중첩하므로 전송 시간이 길어지게 된다. 전송 시간의 증가를 제거하기 위하여 [2]에서는 실수 직교 행렬에 기반한 다중 필터를 사용하여 블록 단위 인터리빙을 통해 offset 없이 중첩 가능하도록 하는 Block-QAM-FBMC 시스템을 제안하였다.

FBMC와 같은 다중 반송파 기술은 부반송파 신호의 중첩으로 인해 높은 피크 대 평균 전력비 (Peak-to-Average Power Ratio, PAPR)를 갖게 된다. 이는 고출력 증폭기에서 비선형 왜곡을 발생시키고 오류율 성능을 감소시키므로 FBMC 시스템의 PAPR 감소 기법 적용에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 기존의 Block-QAM-FBMC 시스템에 DFT (discrete Fourier transform) spreading 기법을 적용한 DFT-spreading-Block-QAM-FBMC 시스템을 제안한다. DFT-spreading 기법은 복수의 부반송파에 걸쳐 QAM 심볼을 확산시켜 할당함으로써 PAPR 저감 효과를 얻을 수 있는 기법이다 [3]. 이를 이용하여 기존 Block-QAM-FBMC 시스템의 다중 반송파 중첩으로 인한 높은 PAPR을 개선할 수 있다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는 [2]의 Block-QAM-FBMC 시스템을 기반으로 DFT spreading 기법을 적용한다. 전체 부반송파의 개수는  $M$  개, oversampling factor는 4로 가정한다 ( $K=4$ ).

먼저 그림. 1 과 같은 송신 과정을 설명한다.  $N$  개의 부반송파로 이루어진 대역  $f$ 에 할당된  $N$ 개의 QAM 심볼

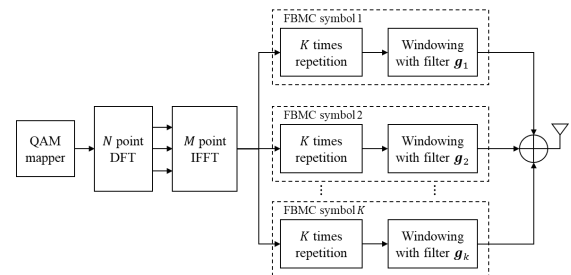


그림. 1. DFT-s-Block-QAM-FBMC의 송신기 구성도

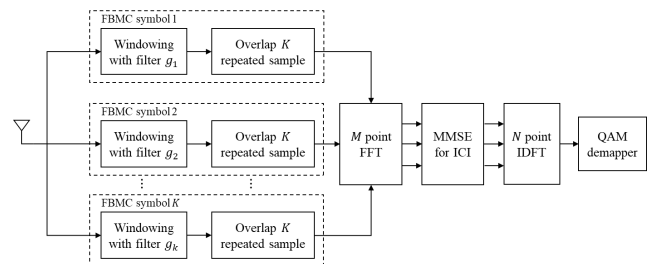


그림. 2. DFT-s-Block-QAM-FBMC의 수신기 구성도

을  $d_{k,f}$  라고 하면  $N$  point DFT를 이용하여 확산시킨 신호  $D_{k,f}$ 는 (1)과 같이 표현된다.

$$D_{k,f}[n] = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} d_{k,f}[n] \exp\left(-\frac{j2\pi n n'}{N}\right), \quad 0 \leq n \leq N-1, 0 \leq n' \leq N-1 \quad (1)$$

부반송파의 개수가  $M$  개이고 한 대역은 부반송파  $N$  개로 이루어져 있으므로 부반송파 대역은 총  $M/N$  개이다. 모든  $M/N$  개의 부반송파 대역에 확산된 신호를 할당한다. 할당한 후 IFFT를 적용하여 전송하는 다중 반송파 변조 신호  $x_k$ 는 (2)와 같이 표현된다.

$$x_k[i] = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_{m=0}^{M-1} D_k[m] \exp\left(\frac{j2\pi m i}{M}\right) \quad (2)$$

$$D_k = [D_{k,1} \ D_{k,2} \ \dots \ D_{k,M/N}]$$

여기서  $i$ 는 시간 축 샘플 인덱스이다. 다음 과정으로 변조 신호  $x_k$ 를 oversampling factor  $K$ 로 oversampling하여  $KM$  길이의 샘플로 만들고, 필터  $g_k(i)$ 을 곱한 뒤  $K$ 개를 중첩하여  $s[i]$ 를 전송하게 된다.

$$s[i] = \sum_{k=1}^K x_k[\text{mod}(i, M)]g_k[i] \quad (3)$$

여기서  $\text{mod}(i, M)$ 은 modulo 연산을 의미한다.

다음으로 그림. 2와 같은 수신 과정을 설명한다. 수신단에서는 송신단에서 사용한 필터  $g_k(i)$ 를 이용하여 필터 뱅크 과정을 수행하여  $y_k$ 을 수신한다.

$$y_k[i] = \frac{1}{\sqrt{K}} \sum_{l=0}^{K-1} g_k^*[i + lM]s[i + lM] \quad (4)$$

필터 뱅크 과정에서 중첩된 다중 반송과 변조 신호 간 간섭을 제거하기 위해 실수 직교 행렬을 기반으로 프로토타입 필터  $g_0$ 을 블록 단위 인터리빙하여 설계한 필터를 사용한다. 필터 뱅크 과정을 통과한 신호에 FFT를 적용하면  $m'$  번째 부반송파의 수신 신호  $Y_k$ 을 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_k[m'] = \sum_{m=1}^{M-1} D_k[m] G_{\text{eff}}[m' - m] \quad (5)$$

여기서  $G_{\text{eff}}[m' - m]$ 는 필터 뱅크 과정으로 인한 부반송파간 간섭 (inter-carrier interference, ICI)을 의미한다. ICI를 제거하기 위해  $G_{\text{eff}}[m' - m]$ 을 행렬화하여 MMSE (minimum mean square error) 기반 필터 등화 과정을 거친다. 행렬화한  $G_{\text{eff}}$ 는 (6)과 같이 표현된다.

$$G_{\text{eff}}(m', m) = \frac{1}{KM} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{K-1} g_0^*[i + lM]g_0[i + lM] e^{\frac{j2\pi(m'-m)i}{M}} \quad (6)$$

최종적으로 각 부반송파 대역 별  $N$  point IDFT를 수행하여 송신한 QAM 심볼을 복조할 수 있다.

### III. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안한 DFT-spreading-Block-QAM-FBMC 시스템과 기존의 Block-QAM-FBMC [2], CP-OFDM 시스템의 PAPR 및 AWGN (additive white Gaussian noise) 채널 환경에서의 심볼오류율 (symbol error rate, SER) 성능을 비교한다. 4-QAM 변조 심볼을 사용하고 256개의 부반송파를 사용한다. 다중 반송파 신호 변조를 위한 IFFT/FFT 크기는 부반송파 개수와 동일하게 256으로 하였다. 제안한 DFT-spreading-Block-QAM-FBMC와 기존의 Block-QAM-FBMC에서 사용하는 필터는 [4]의 PHYDYAS 프로토타입 필터를 블록 단위 인터리빙하여 사용하였다.

그림. 3은 PAPR 성능을 비교하기 위해 신호의 CCDF (complementary cumulative distribution function)를 측정된 것이다. Block-QAM-FBMC는 평균 전력보다 10dB 높은 전력을 가지는 샘플이 등장할 확률이 약 0.02%이다. 제안하는 DFT-spreading-Block-QAM-FBMC는  $N$ 으로 나타낸 DFT size가 증가함에 따라 PAPR 성능이 향상되는 것을 볼 수 있다.

그림. 4는 AWGN 채널에서의 신호 대 잡음비 (signal to noise ratio, SNR)에 대한 SER 성능 그래프이다. 제안하는 DFT-spreading-Block-QAM-FBMC 시스템은 10dB 이상의 높은 SNR 영역에서 기존 Block-QAM-FBMC 대비 약 1dB의 에러 성능 열화를 보인다. 또한 DFT size  $N$ 이 증가함에 따라 점진적으로 에러 성능이 열화되는 것을 볼 수 있다.

### IV. 결론

본 논문에서는 Block-QAM-FBMC 시스템에 DFT spreading 기법을 적용한 DFT-spreading-Block-QAM-FBMC 시스템을 제안하였다. 제안 시스템은 높은 SNR 영역에서 기존 Block-QAM-FBMC 대비 열화된 SER 성능을 갖지만, 기존 Block-QAM-FBMC보다 향상된 PAPR 성능을 가진다.

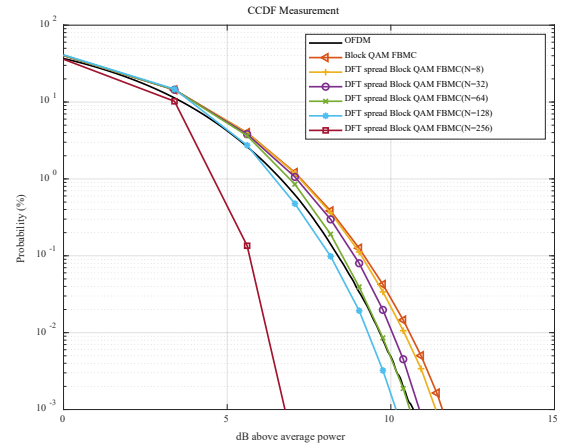


그림. 3. PAPR 특성 비교를 위한 CCDF 그래프

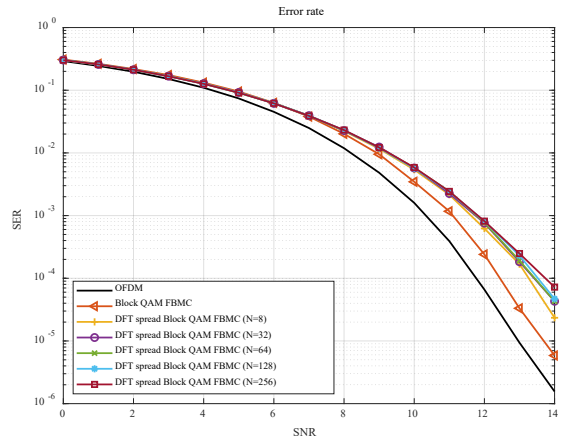


그림. 4. AWGN 채널에서 SER 그래프

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원 (No. 2021-0-00973, 차세대 무선 변복조 기술 (Post-OFDM) 개발)과 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2022-R1A2B5B02002226).

### 참고 문헌

- [1] H. Nam, M. Choi, S. Han, C. Kim, S. Choi and D. Hong, "A New Filter-Bank Multicarrier System With Two Prototype Filters for QAM Symbols Transmission and Reception," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 15, no. 9, pp. 5998-6009, Sept. 2016.
- [2] Seongbae Han and Sooyong Choi, "Spectrally Efficient QAM-FBMC System Using FTN Scheme with Block-Wise Interleaved Filters," in 2018 IEEE 88th Vehicular Technology Conference (VTC2018-Fall), Chicago, USA, 27-30, Aug. 2018.
- [3] D. Na and K. Choi, "Low PAPR FBMC," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 17, no. 1, pp. 182-193, Jan. 2018.
- [4] M. Bellanger et al., "FBMC physical layer: A primer," in PHYDYAS, Jan. 2010.