

# SC-FDE 시스템에서 FFT 기반 협대역 간섭 신호 감지 및 제거

윤승미, 현인영, 전소연, 정의림\*(교신저자)  
국립한밭대학교

ysm4518@gmail.com, ihnyoungh@gmail.com, jeonssol1109@gmail.com, \*erjeong@hanbat.ac.kr

## FFT Based Detection and Cancellation of Narrowband Interference Signals in SC-FDE Systems

Yun Seung Mi, Hyun In Young, Jeong Eui Rim\*(Corresponding author)  
Hanbat National University

### 요약

본 논문은 SC-FDE 시스템에서 FFT(fast fourier transform)을 이용한 새로운 간섭 제거 방법을 제안한다. 수신 신호에 큰 전력의 협대역 간섭 신호가 존재할 경우 수신기의 성능이 크게 저하될 수 있다. 이를 해결하기 위해 간섭 제거가 필요하며, 협대역 간섭은 수신 신호의 스펙트럼으로 간단하게 식별하고 제거할 수 있다. 그러나 간섭 주파수가 샘플링 주파수를 FFT 크기로 나눈 값의 정수배가 아닌 경우 효과적인 간섭 제거가 어렵다는 문제가 있다. 본 논문에서는 간섭 주파수를 정수배로 맞추기 위해 미세 주파수 이동 후 간섭을 제거하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 컴퓨터 모의실험을 통해 수신 신호에 강력한 간섭이 존재해도 수신기 성능이 저하되지 않음을 확인하였다.

### I. 서론

다중 경로 페이딩 환경에서 고속의 데이터를 전송하기 위해서는 수신기에서 채널 등화를 쉽게 수행할 수 있어야 한다. 다양한 전송 방식 중 SC-FDE(single carrier frequency domain equalization)은 수신기의 등화가 간단하여 널리 사용되고 있는 방식이다.[1] SC-FDE 전송 방식은 신호의 PAPR(peak to average power ratio)이 작고 전력 증폭기 효율이 높기 때문에 군 통신에서 널리 사용되고 있다.[2] 군 통신 시스템은 적의 인위적인 전파 공격인 제밍 공격에 항상 대비해야 한다. 하지만 SC-FDE는 단일 반송파를 사용하기 때문에 큰 전력의 협대역 신호를 전송하는 제밍 공격에 취약하다.[3] 따라서, 제밍 공격을 대비하기 위해 협대역 간섭 제거가 필요하다.

본 연구에서는 SC-FDE 시스템에서 FFT(fast fourier transform)을 이용하여 협대역 간섭을 제거할 수 있는 새로운 방안을 제안한다. 수신 신호의 FFT를 통해 주파수 스펙트럼으로 변환한 후, 대역폭 내에 큰 협대역 신호가 존재하는지 관찰하여 간섭을 검출한다. 간섭이 존재하는 경우, 스펙트럼에서 간섭의 위치를 0으로 바꾼다. 이때, 샘플링 클럭을  $F_s$ , FFT 크기를  $N$ 이라고 할 때, 제머의 주파수가  $F_s/N$ 의 정수배가 아닌 경우 제머 제거 성능이 크게 저하될 수 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 FFT 수행 전에 미세 주파수 이동을 통해 간섭 주파수가  $F_s/N$ 의 정수배가 되도록 만든다. 제안하는 방법은 단순 FFT 방법에 비해 큰 간섭신호의 제거를 가능하게 하며 수신 성능의 저하를 완화한다. 성능 검증을 위해 컴퓨터 모의 실험을 수행한 결과, 간섭이 존재하는 환경에서 제안하는 방법이 단순 FFT 기반 방법에 비해 수신 성능 저하가 작다.

### II. 제안하는 시스템 모델

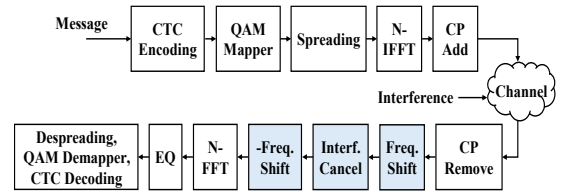


그림 1. 제안하는 송수신기의 시스템 모델

그림 1은 본 논문에서 고려하는 송신기와 수신기 시스템 모델이다. 전송하고 하는 메시지는 CTC(convolutional turbo code) 인코딩과 QAM(quadrature amplitude modulation) 맵핑을 거쳐 대역확산을 수행한다. 간섭이 없을 때 수신 등화는 다음과 같다. CP를 제외한 송신 신호는  $x(n), n = 0, \dots, N - 1$ , 수신 신호는  $y(n)$ , 채널의 임펄스 응답은  $h(n), n = 0, \dots, L_h - 1$ 일 때, 수신 신호는 식(1)과 같다.

$$y(n) = \mathbf{x}^T(n)\mathbf{h} + z(n) \quad (1)$$

주파수 영역의 등화를 위해 채널의 주파수 응답이 필요하다. 채널의 주파수 응답을 추정하기 위해 먼저 최소자승 기법을 통해 임펄스 응답을 추정한다. 추정된 임펄스 응답의 N-FFT를 통해 주파수 응답을 얻을 수 있다. 주파수 영역 등화는 낮은 SNR에서 등화 성능을 높이기 위해 MMSE(minimum mean square error) 등화를 수행한다.

### III. 제안하는 간섭 제거 알고리즘

만약 수신 신호에 단일 주파수의 간섭 신호가 섞여 있다면 수신 신호는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$y(n) = \mathbf{x}^T(n)\mathbf{h} + g \exp(j2\pi f_j nT) + Z(n) \quad (2)$$

여기에서  $f_j$ 는 간섭 주파수이며,  $g$ 는 간섭의 크기를 나타낸다. 수신기에서 간섭의 주파수 및 크기는 모른다고 가정한다. 간섭의 주파수와 크기를 파악하고 제거하기 위해  $y(n)$ 을 N-FFT 하여 스펙트럼으로 변환한다. 스펙트럼 상에서 협대역 간섭이 높은 전력으로 관찰되는 경우, 이를 제거하고 다시 N-IFFT 하면 간섭이 제거된 수신 신호를 얻을 수 있다. 이때 샘플링 주파수를  $f_s (= 1/T)$ 라고 할 때,  $f_j$ 가  $f_s/N$ 의 정수배가 아닌 경우 간섭 제거 성능이 저하된다.

이 문제를 해결하기 위해 그림 1과 같이 간섭 제거 주파수를 미세 이동하여 간섭 주파수를  $f_s/N$ 의 정수배에 가깝게 만든 후 간섭을 제거하는 방법을 제안한다. 먼저, 미세 주파수 이동을 위해 간섭 신호의 주파수 추정이 필요하므로 FFT를 수행한다. FFT 크기는  $N_o = PN$ 으로 정의하고 수신 신호  $y(n)$ 에 대해  $N_o$ -FFT를 수행한다.  $N_o$ -FFT 수행 후 스펙트럼의 최댓값이 문턱 값보다 크면 간섭이 존재하는 것으로 판단한다. 문턱값은 수신 스펙트럼의 평균 전력의 상수배로 설정되며, 간섭이 확인되면 주파수 미세 이동과 간섭 제거를 수행한다. 스펙트럼에서 최댓값의 위치를  $k_{max}$ , 이동할 미세 주파수를  $f_m$ 이라고 할 때  $f_m$ 은 식 (3)과 같이 결정된다.

$$f_m = \begin{cases} \text{mod}(k_{max}, P), & \text{if } \text{mod}(k_{max}, P) < P/2 \\ -P + \text{mod}(k_{max}, P), & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

주파수 미세 이동은 식 (4)와 같이 수행하며, 주파수 미세 이동을 수행 후 FFT를 통해 간섭 신호를 제거한다. 이후 미세 주파수 이동을 복원하여 간섭이 제거된 신호를 생성하며, 채널 왜곡을 보상하여 송신 메시지를 복원한다.

$$y_m(n) = y(n) \exp(-j2\pi \frac{f_m}{N_o} n) \quad (4)$$

#### IV. 모의실험 환경 및 결과

컴퓨터 모의실험을 통해 제안하는 방법의 성능을 검증하며, 모의실험 환경은 표 1과 같다. 이 실험 환경은 무인기 제어통신을 위해 개발 중인 시스템을 기반으로 한다.

표 1. 모의실험 환경

Item	Value
Carrier frequency	433 MHz
Bandwidth	200 kHz
$N$	256
$P$	8
$L_{cp}$	12
$L_p$	36
Spreading gain	1, 4, 16
Modulation	QPSK
CTC Code rate	1/2
Channel model	AWGN

간섭의 크기는 SIR(signal to interference ratio)로 정의하며, 간섭이 크면 SIR이 작아지고 간섭이 작으면 SIR이 커진다.

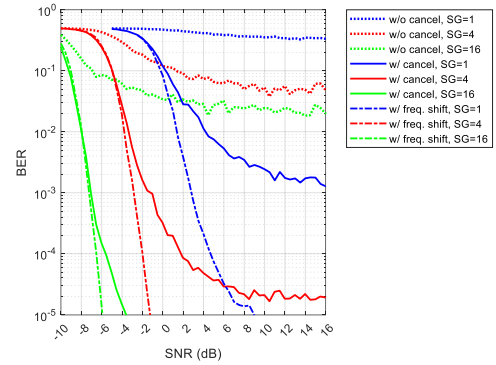


그림 2. SIR=5 dB에서의 BER 성능

그림 2는 SIR = 5 dB 일 때 BER (bit error ratio) 성능을 보인다. 모의실험 시 간섭의 주파수는 신호 대역폭 내에서 무작위로 생성한다. 수신신호의 전력이 간섭의 전력보다 큰 상황이지만 간섭을 제거하지 않는 경우, BER floor가 발생한다. 간섭을 제거하는 경우 BER 성능이 개선되나, 미세 주파수 이동을 사용하지 않으면 여전히 BER floor가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 반면 제안하는 방법을 적용한 경우 BER floor가 발생하지 않으며, 특히 확산 이득이 큰 경우 이와 같은 특성이 더 두드러진다. 이를 통해 제안하는 방법이 협대역 간섭 제거에 효과적임을 확인할 수 있다.

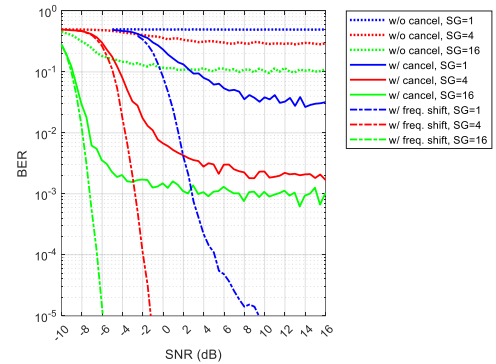


그림 3. SIR=0 dB에서의 BER 성능

그림 3은 SIR = 0 dB 일 때 BER 성능을 보인다. 수신신호의 전력과 간섭의 전력이 같은 상황에서 간섭을 제거하지 않거나 주파수 미세이동을 사용하지 않은 경우 확산이득을 사용하더라도 BER floor가 발생한다. 하지만 제안하는 방법을 적용하면 BER floor가 사라지며 SIR = 5 dB 일 때와 동일한 성능을 보인다. 이는 제안하는 방법이 간섭의 크기와 상관없이 간섭을 완벽하게 제거하며, 동일한 BER 성능을 제공할 수 있음을 의미한다.

#### 참 고 문 헌

- [1] R. Prasad, "OFDM for Wireless Communications Systems", 1st edition, Boston, Artech House Publishers, 2004.
- [2] Falconer, D, et al. "Frequency domain equalization for single-carrier broadband wireless", IEEE Communications Magazine, 40(4), pp. 58-66. Apr. 2002.
- [3] C. Shahriar, et al. "PHY-Layer Resiliency in OFDM Communications: A Tutorial", IEEE Commun. Surveys & Tutorials, 17(1), pp. 292-314, Mar. 2015.