

협대역 재머 대응을 위한 SC-FDE 구조 설계

주소영* · 조성미* · 유정훈** · 정의림*

*국립 한밭대학교, **국방과학연구소

SC-FDE Design to Cope with Narrow Band Jammer

So-young Ju* · Sung-mi Jo* · Jeonghoon Yu** · Eui-rim Jeong*

*Hanbat National University, **Agency for Defense Development

E-mail : erjeong@hanbat.ac.kr

요 약

본 논문은 기존의 SC-FDE구조에 기반하여 협대역 재머 대응을 위한 새로운 SC-FDE 구조를 제안한다. 기존의 SC-FDE구조는 협대역 재머가 발생했을 시 높은 전력의 재밍 신호 간섭에 의해 시간영역에서의 채널 추정이 어려워지고, 그로인해 데이터 복원 성능이 저하된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 협대역 재머가 발생했을 시 채널추정이 가능한 SC-FDE 프레임 구조를 제안한다. 본 논문에서는 주파수영역에서 채널추정이 가능한 변형된 SC-FDE의 구조를 제안하며 그에 따른 성능을 컴퓨터 모의실험을 통해 검증하였다.

ABSTRACT

In this paper, based on the conventional SC-FDE structure, we propose a new SC-FDE structure to cope with narrow band jammer. In the conventional SC-FDE structure, channel estimation is performed in the time domain. When a narrow band jammer exists, time-domain channel estimation is very difficult due to high power jamming interference, which degrades receiver performance. To relieve from this problem, a new SC-FDE frame is proposed to enable channel estimation under narrow band jamming environments. In this paper, we proposed a modified SC-FDE structure that can perform channel estimation in the frequency domain, and verified the performance via computer simulation.

키워드

SC-FDE, 채널추정, 파일럿, 재머

I. 서 론

상용 및 군용 통신에서 사용되고 있는 기법인 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)과 SC-FDE (Single Carrier Frequency Domain Equalization)는 광대역 무선 채널에 대한 큰 다중 경로 지연 확산에 대처하기 위해 널리 사용되는 방식이며 두 시스템 모두 블록 간 및 블록 내의 간섭을 방지하지 위해 CP (Cyclic Prefix)를 사용한다.[1] 하지만 OFDM은 SC-FDE에 비해 높은 피크 대 평균 전력비(PAPR : Peak-to-Average Power Ratio)와 반송파 주파수 오프셋에 대한 높은 민감도를 갖고 있다는 단점이 있으며 [2] 이러한 이유로 SC-FDE는 OFDM 대비 상향링크 등 송신 전력 효율이 중요한 시스템에 적합한

장점이 있다.

SC-FDE는 단일반송파에 데이터를 전송하고 시간영역에서 채널추정을 수행한 후 주파수영역에서 채널등화를 수행하는 것이 일반적인 수신기 구조이며 기존 SC-FDE 블록의 구조는 그림1과 같이 CP 및 데이터로 구성되어 있다.[3]

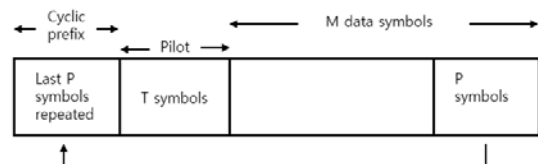


그림 1. 기존 SC-FDE 블록 구조

기존의 SC-FDE 구조는 수신된 파일럿 신호를 이용하여 시간영역에서 채널을 추정 하고 FFT를 통해 주파수영역 채널을 얻은 후 채널등화를 수행한다. 그 후 채널등화가 수행된 신호를 다시 IFFT 하여 등화된 시간영역 신호를 얻는다.

하지만 군용 통신에서는 통신을 방해하기 위한 재머에 노출되어 있다. 기존 SC-FDE 구조는 재머 발생 시 시간영역 전체에 왜곡이 발생하므로 정확한 채널추정 및 등화가 어려워지며 데이터 복원 성능이 상당히 저하되는 문제가 발생한다. 하지만 주파수영역에서는 높은 전력의 재머 신호 간섭을 받아도 재머가 포함된 채널의 추정이 가능하며 추정된 채널로 등화를 하면 재머의 영향을 줄일 수 있다. 따라서 제안하는 SC-FDE 구조는 주파수영역에서 채널추정을 수행 할 수 있도록 설계하였다.

II. 제안하는 SC-FDE구조

제안하는 구조는 그림2와 같다. 기존 구조에서 달라지는 점은, 송신기에서는 파일럿을 두 부분으로 나누며 M개의 데이터 앞에 T-P개의 파일럿, 블록의 끝에 P개의 파일럿을 붙여 전송하는 것이다. CP를 제외한 신호블록의 길이는 N이라고 정의하며 $N = T + M$ 이다. 이 때, 그림과 같이 앞단 파일럿의 마지막 P개는 뒷단 파일럿과 CP에 동일하게 쓰인다. 즉, SC-FDE 블록 내에 길이 P의 동일한 파일럿이 세 번 사용된다. 이는 주파수 영역 채널 추정 및 보상을 용이하게 한다.

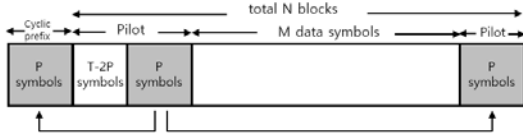


그림 2. 제안하는 SC-FDE 블록 구조

주파수 영역 채널 추정을 하기 위하여 송신 파일럿과 수신 파일럿에 대해 FFT를 수행한다. 시간영역에서의 송신신호를 $x(n)$, 수신신호를 $y(n)$ 이라고 하자. $X_p(k)$, $Y_p(k)$ 는 각각 주파수 영역 송신 파일럿, 수신 파일럿으로 정의하며 CP를 제거한 신호의 첫 T-P개가 파일럿임을 이용하여 수식 (1), (2)와 같이 구할 수 있다.

$$X_p(k) = \sum_{n=0}^{T-P-1} x(n)e^{-j\frac{2\pi}{T-P}kn} \quad (1)$$

$$Y_p(k) = \sum_{n=0}^{T-P-1} y(n)e^{-j\frac{2\pi}{T-P}kn} \quad (2)$$

$X_p(k)$, $Y_p(k)$ 로부터 수식 (3)과 같이 채널추정 값 $\hat{H}(k)$ 을 얻는다.

$$\hat{H}(k) = \frac{Y_p(k)}{X_p(k)}, k=0, \dots, N-1 \quad (3)$$

그 다음, 채널추정 값을 이용하여 수신신호에 대해 채널 등화를 수행한다. $y(n)$ 는 수신신호 나타내며 주파수 영역에서 채널등화를 수행하기 위해 수식(4)와 같이 FFT를 하여 $Y(k)$ 를 얻는다.

$$Y(k) = \sum_{n=0}^{N-1} y(n)e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}, k=0, \dots, N-1 \quad (4)$$

채널 등화는 MMSE(Minimum Mean Square Error) 기법을 사용하였다. $\hat{X}(k)$ 는 채널등화가 수행된 주파수 영역 신호이며 σ_z^2 은 잡음전력을 의미한다.

$$\hat{X}(k) = \frac{Y(k)\hat{H}^*(k)}{|\hat{H}(k)|^2 + \sigma_z^2} \quad (5)$$

이 후, 채널등화가 수행된 신호 $\hat{X}(k)$ 는 수식 (6)과 같이 IFFT를 거쳐 시간영역 신호로 변환된다.

$$\hat{x}(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \hat{X}(k)e^{j\frac{2\pi}{N}kn}, k=0, \dots, N-1 \quad (6)$$

만약 협대역 재머 공격을 받았을 때, 그림 3은 본 논문에서 제안하는 채널추정 및 등화의 동작을 나타낸다. 채널추정 시 재머의 주파수에서는 큰 값의 채널 값이 얻어질 것이다. 이후 채널등화는 기본적으로 추정된 채널로 수신신호를 나누는 동작을 하기 때문에 재머의 위치에서는 등화 후 값이 줄어드는 효과가 얻어진다. 실제로 재머의 영향을 줄이기 위해서는 재머 주파수 위치의 신호 값을 '0'으로 대체하는 등의 nulling을 수행할 수 있는데 제안하는 구조에서는 자연스럽게 이러한 효과가 얻어지는 것이다. 따라서 채널등화가 수행된 최종 신호에서는 재머의 간섭이 줄어들게 되며 수신 성능이 개선되는 것을 기대할 수 있다.

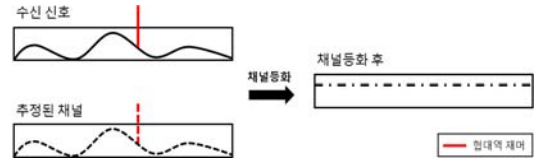


그림 3. 협대역 재머 존재 시 채널등화 동작

III. 모의실험 결과

제안하는 방식의 성능은 MATLAB 모의실험을 통해 검증한다. 모의실험 환경은 다음 표 1과 같다.

표 1. 모의실험 환경

데이터 길이	384 bits
T	128 symbols
CP 길이 (P)	32 symbols
변조방식	QPSK
채널코드	LDPC, R=1/2
재머 수	1
JSR (Jammer to Signal Ratio)	0 dB
채널 환경	AWGN
FFT 크기 (N)	512

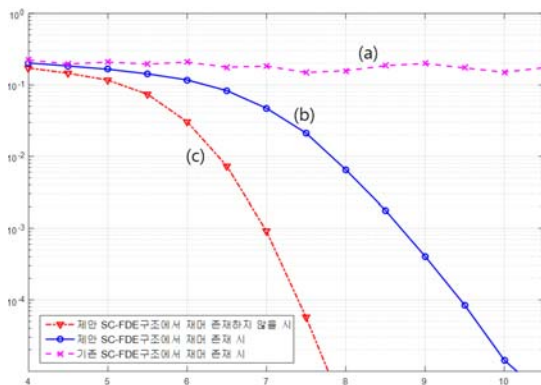


그림 4. 모의실험 결과

그림3는 재머 유무에 따라서 제안하는 SC-FDE 구조와 기존의 SC-FDE구조의 BER (Bit Error Ratio) 성능을 나타낸다. (a)는 기존 SC-FDE구조에서 재머가 존재할 때의 BER성능이고 (b)는 제안하는 SC-FDE구조에서 재머가 존재할 시 BER 성능이며 (c)는 SC-FDE구조에서 재머가 존재 하지 않을 시 BER 결과를 나타낸다. 제안하는 SC-FDE 구조는 재머가 존재하지 않을 때보다 성능이 약 1 ~ 2 dB 저하되지만 기존 SC-FDE구조와 비교했을 때에는 성능이 확연히 개선되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 제안하는 SC-FDE 구조를 사용하는 것만으로도 협대역 재머에 대응할 수 있는 능력이 생기는 것으로 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 새로운 SC-FDE구조를 제안하여 협대역 재머의 간섭이 발생할 때에도 신호복원이 가능한 방안을 제안하고 MATLAB 모의실험을 통하여 성능이 개선됨을 확인하였다.

Acknowledge

해당연구는 국방과학연구소 “통합운용 무인기 조종통제 데이터링크 표준기술 연구(UD10004ED)”의 지원을 받아 수행됨

참고문헌

- [1] T. Hwang and Y. Li, “A bandwidth efficient block transmission with frequency-domain equalization.”, Proc. IEEE 6th CAS Symposium Emerging Technologies, Vol.2, pp.433-436, June 2004.
- [2] F. Pancaldi, G. Vitetta, R. Kalbasi, N. Al Dahir, M. Uysal, and H. Mheidat, “Single-carrier frequency domain equalization.” IEEE Signal Processing Magazine, vol.25, no.5, pp.37-56, Sep. 2008.
- [3] D. Falconer, S.L. Ariyavisitakul, A. Benyamin-Seeyar, and B. Eidson, “Frequency Domain Equalization for Single-Carrier Broadband Wireless Systems,” IEEE Commun. Magazine, vol.40, no.4, pp.58-66, Apr. 2002.