

---

# SC-FDE 전송 방식에서 선형 보간법을 이용한 채널추정으로 오버헤드 감소 방안

송민수\* · 길행복\* · 김재신\*\* · 정의림\*

\*국립한밭대학교, \*\*국방과학연구소

## Overhead Reduction by Channel Estimation Using Linear Interpolation for SC-FDE Transmission

Min-Su Song\* · Haeng-Bok Kil\* · Jaesin Kim\*\* · Eui-Rim Jeong\*

\*Hanbat National University, \*\*Agency for Defense Development

E-mail : erjeong@hanbat.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 기존의 single carrier - frequency domain equalization (SC-FDE) 전송 구조에서 파일럿으로 인해 발생하는 오버헤드를 감소시키기 위한 새로운 방안을 제안한다. 기존의 SC-FDE 전송구조에서는 데이터 블록마다 파일럿을 전송하기 때문에 파일럿으로 인한 오버헤드 부담이 크다. 제안하는 SC-FDE 구조는 두 개의 파일럿 사이에 여러 개의 데이터 블록을 전송하여 선형 보간법을 통해 채널 추정 및 등화를 수행한다. 이는 기존의 구조에 비해 파일럿을 줄여서 전송하기 때문에 파일럿으로 인한 오버헤드를 감소시키면서 안정적인 채널 추정 및 등화를 가능하게 한다.

### ABSTRACT

This paper proposes a new method to reduce the overhead by pilots for single carrier frequency domain equalization (SC-FDE) transmission. In the conventional SC-FDE transmission structure, the overhead by transmitting pilot are heavy because the pilot are transmitted at every SC-FDE block. The proposed SC-FDE structure has fewer pilots and many SC-FCE blocks are transmitted between pilots. The channel estimation and equalization is performed at the pilot period and the channels between pilots are estimated through linear interpolation. This reduces the pilot overhead by reducing the pilot transmission compared with the conventional structure, and enables reliable channel estimation and equalization.

### 키워드

SC-FDE, 선형보간, 파일럿 오버헤드, 채널추정, 채널등화

### 1. 서 론

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)은 주파수 선택적 특성을 갖는 채널에서 비교적 간단한 채널추정으로 왜곡된 채널을 보상할 수 있어 광대역 무선통신 시스템에서 많이 사용되고 있으나, Peak-to-Average Power Ratio (PAPR)이 크기 때문에 송신 전력효율이 나쁜 문제가 있다.[1] 반면 Single Carrier Frequency

Domain Equalization (SC-FDE)방식은 송신은 단일 반송파와 동일한 반면 수신기에서 채널의 왜곡에 대한 보상은 OFDM과 유사한 구조를 갖기 때문에 OFDM에 비해 상대적으로 PAPR이 작으면서도 수신기 구현이 간단하기 때문에 OFDM의 대안으로 사용되고 있다.[2] 특히, 4세대 이동통신인 Long term evolution (LTE) 상향링크에서 이 전송방식이 사용되고 있다.

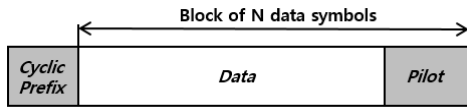


그림 1. 기존의 SC-FDE 블록 구조

그림 1은 기존의 SC-FDE 전송 블록의 구조로 채널 추정을 위해 전송하는 파일럿을 SC-FDE 블록마다 전송하기 때문에 파일럿으로 인해 발생하는 오버헤드가 상당하다. 따라서 본 논문에서는 SC-FDE 방식에서 파일럿 오버헤드를 감소시키기 위하여 가끔 파일럿을 전송하는 방안을 제시하고, 이 때 파일럿과 파일럿 사이의 채널을 추정하는 방법과 등화하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법의 성능은 컴퓨터 모의실험을 통하여 확인한다.

## II. 제안하는 SC-FDE 구조

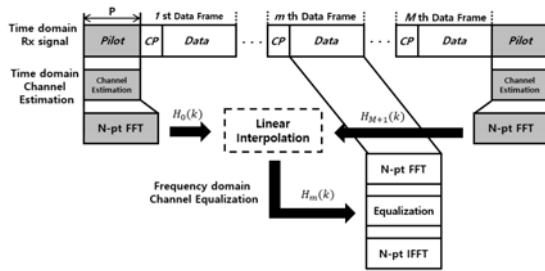


그림 2. 제안하는 SC-FDE 전송 구조

그림 2는 제안하는 SC-FDE 전송구조를 도식화한 것이다. 제안하는 SC-FDE 구조는 두 개의 파일럿 사이에 M개의 데이터 블록을 전송한다. 따라서, 기존 방식 대비 파일럿 오버헤드를 약 1/M로 줄일 수 있다. 제안하는 방법에서는 선형 보간법을 이용하여 각 데이터 블록에 대한 채널 추정 및 등화를 수행한다. 이는 전송하는 파일럿을 줄임으로써 파일럿으로 인해 야기되는 오버헤드를 감소시킬 수 있다. 파일럿 오버헤드는 다음과 같이 산출된다.

$$pilot\ overhead = \frac{P}{P+NM}$$

P는 파일럿 길이, N는 데이터 길이, M은 데이터 블록의 개수를 나타낸다. 기존 전송구조의 파일럿 오버헤드는 P/N 이므로  $P \gg N$ 이라고 가정하면 제안하는 방식이 기존 방식에 비해 파일럿 오버헤드를 1/M으로 줄인다.

## III. 채널 추정 및 등화

본 논문에서는 두 개의 파일럿을 이용하여 시간영역에서 채널추정을 하여 얻은 채널계수를 선형 보간법을 이용하여 파일럿 사이의 데이터 블록 구간에서의 채널을 추정하는 방법을 이용한다.[3] 두 개의 파일럿을 이용한 시간영역에서 채널추정은 recursive least squares (RLS) 알고리즘을 이용한다.[4]

파일럿구간에서 찾은 채널계수는 zero-padding 후, N-point FFT를 통해 주파수 영역으로 변환한다. 주파수 영역으로 변환된 두 개의 채널계수에 선형 보간법을 적용하여 각각의 데이터 블록의 채널 계수를 찾아준다. m번째 데이터 블록의 채널계수  $H_m(k)$ 는 다음과 같이 구한다.

$$H_m(k) = \frac{(M+2-m)H_0(k) + (m-1)H_{M+1}(k)}{M+1}$$

$$0 \leq k \leq N-1$$

$H_0(k)$  과  $H_{M+1}(k)$ 는 시간영역에서 파일럿을 이용하여 추정된 채널계수를 FFT를 통해 주파수 영역으로 변환한 것이다.

선형보간법을 통해 찾은 데이터 블록의 채널계수를 이용하여 채널등화를 수행한다. 채널등화는 Minimum Mean Square Error(MMSE)를 사용한다. 주파수 영역에서 채널등화를 수행한 신호는  $\hat{X}_m(k)$ 와 같이 나타난다.

$$\hat{X}_m(k) = \frac{Y_m(k) \hat{H}_m^*(k)}{|\hat{H}_m(k)|^2 + \sigma_z^2}$$

$Y_m(k)$ 는 수신신호,  $\hat{H}_m(k)$ 는 채널계수,  $\sigma_z^2$ 는 잡음전력을 나타낸다. 채널등화를 수행한 데이터 블록은 N-point IFFT를 통해 시간 영역으로 변환한 후, 데이터 복원을 수행한다.

## IV. 모의실험

표 1. 시뮬레이션 환경

구분	설정
채널 모델	Rician model with 7taps, K-factor = 14 [dB]
변복조 방식	QPSK
채널코드	LDPC, r=1/2
Pilot 길이	128 [symbols]
CP 길이	24
DATA길이	1024 [bits]
FFT 크기	512
이동속도[km/h]	100, 200, 300

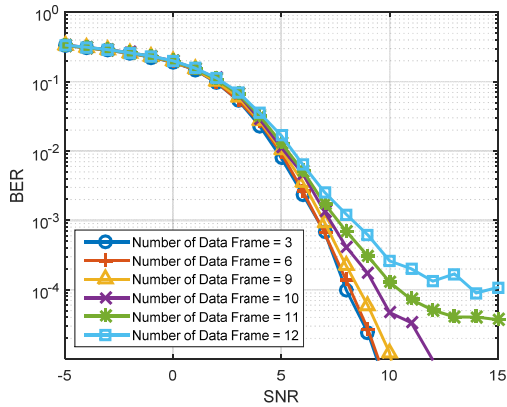


그림 3. 이동속도 = 300[km/h]일 때, 전송되는 데이터 블록 수에 따른 BER 성능

컴퓨터 모의실험 환경은 표1과 같다. 그림 3은 이동속도가 300[km/h]로 고정되어 있을 때, 파일럿 사이에 전송되는 데이터 블록의 수에 따른 Bit Error Ratio(BER) 성능을 나타낸다. 모의실험 결과 이동속도가 300[km/h]일 때, 전송되는 데이터 블록의 수가 10개 이상일 때부터 성능 열화가 나타나는 것을 확인하였다.

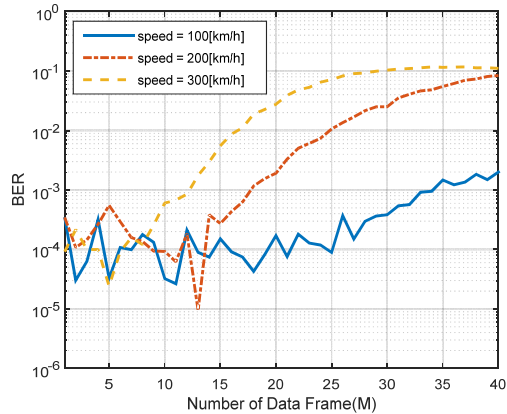


그림 4. SNR=8dB일 때, 데이터 블록 수에 대한 BER 성능

그림 4는 Signal to Noise Ratio(SNR)이 8 [dB]로 고정되어있을 때, 전송되는 데이터 블록 수에 따른 BER 성능을 나타낸다. 이동속도가 빨라질수록 안정적으로 채널추정 및 등화를 수행할 수 있는 데이터 블록의 수가 감소하는 것을 그림 4를 통해 확인하였다.

### V. 결 론

본 논문에서는 SC-FDE 전송구조에서 파일럿으

로 인해 발생하는 오버헤드를 감소시키는 방안을 제안하고 모의실험을 통해 파일럿 사이에 전송되는 데이터 블록 수에 따른 통신 성능을 확인하였다. 제안하는 방식은 전송하는 파일럿을 줄여 파일럿으로 인해 발생하는 오버헤드를 감소시키면서 안정적인 채널추정 및 등화가 가능하다. 하지만, 다음 파일럿이 수신될 때까지 데이터 복원이 불가능하여 Latency가 발생하며, 채널이 급격하게 변화하는 환경에서는 안정적으로 채널 추정 및 등화가 가능한 데이터 블록의 수가 감소하기 때문에 이를 고려하여 전송할 데이터 블록 수의 설정이 필요하다.

### Acknowledgement

해당연구는 국방과학연구소 "통합운용 무인기 조종통제 데이터링크 표준기술 연구(UD10004ED)"의 지원을 받아 수행됨.

### 참고문헌

- [1] Z. Wang, G. B. Giannakis, "Wireless Multicarrier Communications," IEEE Signal Processing Magazine, Vol.17, No.3, pp.29-48, May 2000.
- [2] David Falconer et al., "Frequency Domain Equalization for Single-Carrier Broadband Wireless Systems", communications magazine, IEEE, Vol. 40, No. 4, pp. 58-66, Apr. 2002.
- [3] DONG, Xiaodai; LU, Wu-Sheng; SOONG, Anthony CK. "Linear interpolation in pilot symbol assisted channel estimation for OFDM." IEEE transactions on wireless communications, Vol.6, No.5, pp.1910-1920, May 2007.
- [4] John, V., "Circuits and Systems Tutorials", IEEE Press, pp59-65, 1996.