

# 이동 채널 환경에서 OFDM 변조 방식 및 SC-FDE 변조 방식의 수신 성능 분석

이유리, 이영준, 김형남  
 부산대학교 전자전기통신공학부  
 e-mail : *hnkim@pusan.ac.kr*

## Performance analysis of OFDM modulation and SC-FDE modulation in mobile environment

Yu-Ri Lee, Young-Jun Lee, Houyng-Nam Kim  
 School of Electrical Engineering  
 Pusan National University

### Abstract

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) and SC (single carrier) transmission are the most popular modulation schemes in recent digital broadcasting systems. There is still argument that which one is suitable for the higher data rate transmission in mobile environment. In this paper, we analyzed the performance of each modulation scheme according to the modulation index in mobile environment.

### I. 서론

디지털 방송 통신 표준에서 사용되고 있는 전송 방식으로는 크게 SC(Single-Carrier) 방식과 Multi-carrier 방식인 OFDM으로 나눌 수 있다. OFDM은 채널의 왜곡이 크거나 채널 지연이 큰 경우에도 비교적 적은 수의 필터 탭을 가지고 간단한 방법으로 채널 영향을 보상할 수 있지만, SC는 일반적으로 수신측에서 시간영역 등화기를 사용하고 있어 이를 보상하기 위해서는 등화기의 필터의 탭 수를 크게 하는 단점이 있다. 하지만 이에 대한 대안으로 수신측에서 주파수 영역 등화기를 사용하는 SC-FDE (Frequency Domain Equalizer)가 있다. 이 방식은 OFDM에 비해 PAPR (Peak-to-Average Power Ratio)가 작고, 주파수 오프셋(frequency offset)에 둔감하다는 장점이 있다[1]. 이와 같이 OFDM과 SC-FDE 방식을 비교하는 연구가 활발히 진행 중이고, 현재 디지털 방송 통신은 대용량 전송과 이동 통신도 가능한 방향으로 발전하고 있다.

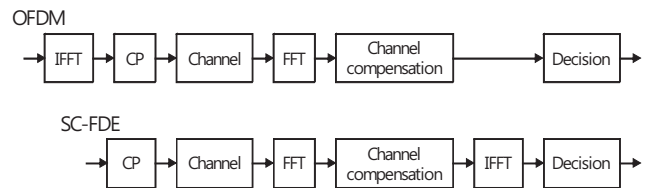


그림 1. OFDM과 SC-FDE의 블록도

따라서 본 논문은 디지털 방송 통신에서 요구되고 있는 사양이 높아짐에 따라 OFDM과 SC-FDE의 데이터율의 변화에 따른 성능과 이동채널에서의 성능 차이를 알아본다.

### II. OFDM과 SC-FDE

#### 2.1 OFDM

OFDM은 데이터를 원하는 주파수 대역의 부반송파에 병렬로 분산시켜 하나의 심볼로 전송하는 방식이다. OFDM 전송 방식은 그림 1의 첫 번째와 같다. OFDM의 심볼의 각 부반송파는 직교성을 유지하여 서로간의 간섭을 일으키지 않도록 한다. 하나의 송신 심볼은 그림 1의 OFDM 블록도와 같이 각 부반송파가 매우 좁은 대역폭을 가지는 주파수 빈(bin)의 진폭 및 위상을 설정하고 IFFT함으로써 간단하게 생성할 수 있다. 송신 신호는 채널에 의해 생기는 심볼간 간섭(Inter Symbol Interference, ISI)을 제거하면서 부반송파들의 직교성을 유지하기 위하여 앞에서 구한 심볼에 Cyclic Prefix(CP)를 삽입한다.

OFDM 전송 방식은 주파수 선택적 채널(frequency selective channel)의 영향이 각 주파수 빈에서 협대역

플랫 페이딩(flat fading)의 영향과 같아 채널 보상 주파수 영역의 역으로 간단하게 보상이 가능하다. 하지만 OFDM은 송신 측면에서 신호의 PAPR이 크고, 수신 측면에서 주파수 오프셋에 민감하다는 단점이 있다[1].

### 2.2 SC-FDE

SC-FDE는 기존의 SC와 같이 데이터를 하나의 반송파에 직렬로 변조하여 신호를 전송하고, 수신측에서 주파수 영역으로 변환하여 채널을 보상하는 방식이다. SC-FDE 전송 방식은 그림 1의 두 번째와 같다. SC-FDE는 OFDM과 달리 ISI를 없애기 위함이 아니라, 수신측에서 주파수 영역 등화를 위해 신호와 채널의 순환 컨볼루션(circular convolution)이 성립되도록 하기 위해 앞에서 생성된 심볼 블록에 CP를 삽입한다.

SC-FDE는 기존의 SC와 다르게 주파수 영역에서 등화를 함으로써 OFDM과 같이 채널 보상이 간단해진다. 그리고 OFDM과 비교해 PAPR이 더 작고 주파수 오프셋에 비교적 둔감한 장점이 있지만[1], 채널 추정 에 민감한 단점이 있다[2].

## III. 모의실험 및 결과

모의실험에서 채널 보상을 위해 사용되는 등화 방식은 MMSE(Minimum Mean Square Error)[3]로 고정하였으며, 채널 추정 성능에 대한 영향을 배제하기 위하여 본 논문에서는 모든 채널 정보를 알고 있다고 가정하였다. 사용된 채널은 주파수 선택적 채널인 TU-6 채널[4]이고, 변조방식은 QAM 방식이다.

그림 2는 송수신기의 이동이 없는 상태에서 변조 심도(modulation index)를 변화시켜 SNR에 따른 Uncoded BER을 나타낸다. 주파수 선택적 채널 환경에서 OFDM은 Null이 있는 주파수영역에서 잡음 증가(noise enhancement) 현상으로 인해 데이터를 잃는 반면, SC-FDE는 시간 영역에서 데이터를 결정하므로 주파수 영역의 Null 영향이 시간영역에서 퍼지는 경향이 있어 낮은 변조 심도에서는 SC-FDE가 더 좋은 성능을 가진다. 하지만 변조 심도가 높아질수록 그 영향이 줄어들어 OFDM과 SC-FDE의 성능이 비슷하다.

그림 3은 송수신기가 이동하는 상황에서 각 변조 심도에서의 SNR에 따른 Uncoded BER 성능이다. 송수신기가 이동하는 상황에서 OFDM과 SC-FDE의 성능이 비슷하게 나빠지는 것을 볼 수 있는데, 이는 송신 신호를 모두 알고 있더라도 시변 채널에서는 단순한 ZF 방식으로 정확한 채널을 추정할 수 없기 때문에 나타난 결과이다. 그리고 그래프에서 알 수 있듯이 송수신기가 이동하는 것과 무관하게 데이터율이 높아질수록 OFDM과 SC-FDE의 성능 차이는 크지 않다.

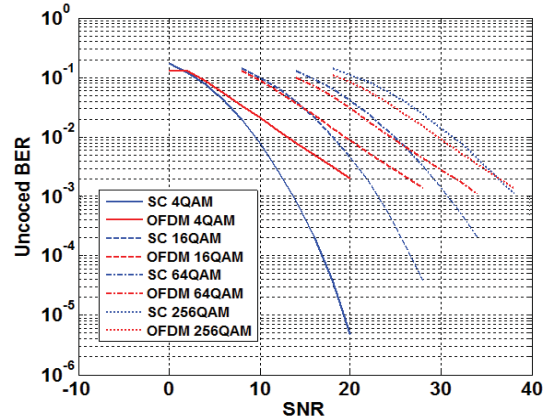


그림 2. 변조 심도에 따른 Uncoded BER 성능 (v=0)

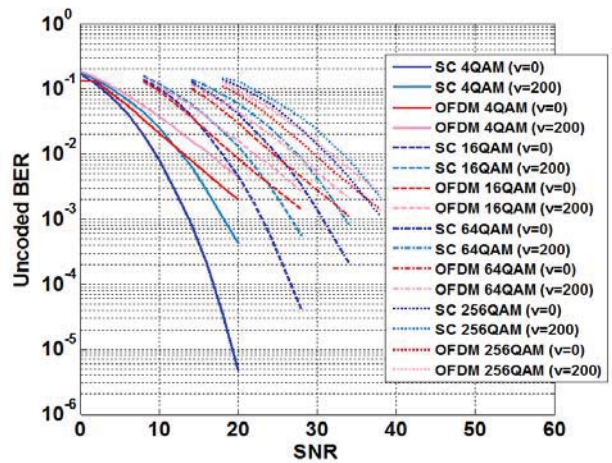


그림 3. 속력 변화에 따른 Uncoded BER 성능

## IV. 결론

본 논문에서는 디지털 방송 통신에서 요구되고 있는 사양이 높아짐에 따라 OFDM과 SC-FDE의 데이터율에 따른 성능과 이동 채널 환경에서의 성능을 비교하였다. 주파수 선택적 채널에서 OFDM과 SC-FDE의 SNR에 따른 Uncoded BER 성능은 송수신기의 이동과 무관하게 데이터율이 높을수록 비슷한 것을 확인할 수 있었다.

### 참고문헌

- [1] 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.
- [2] Coelho F'abio et al., "Efficient Channel Estimation for OFDM and SC-FDE Schemes", *ICCCN, 2011 Proceedings of 20th International Conference on*, Portugal, Aug. 2011, pp. 1-7.
- [3] John G. Proakis, *Digital Communications*, 4th edition, Mc Graw Hill, 2001.
- [4] COST 207 *Digital land mobile radio Communications*, final report, September 1988.