

# 이동통신 채널에서 OFDM을 적용한 TCM방식 비교분석

박성호\* · 조범준

\*전남도립담양대학 인터넷정보통신과  
조선대학교 컴퓨터공학과

## A Comparisons of TCM Schemes with OFDM in Mobile Communication Channel

Sung-Ho Park\* · Beom-Joon Cho

\*Dept. of Information & Communication Provincial College of Damyang  
School of Computer Engineering, Chosun University

### 요 약

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) scheme can compensate for distortions caused by multipath delay spread and reduce the burst errors caused by the Doppler effect since OFDM signals have long symbol durations. However, OFDM is required to be improved for high speed data transmission and large capacity. Therefore, coding schemes should be combined with OFDM.

In this paper, it was studied that the performance of OFDM transmission scheme was improved in mobile communication channel by applying TCM, which has advantages of error correction and bandwidth efficiency. Simulation was carried out for two TCM models with different code efficient length. By mapping two models to square 16QAM, the model with the code efficient length of 2 achieved 3dB better than the other for the BER of  $10^{-3}$ . In conclusion, if we want to achieve a better performance with TCM in OFDM applications, we should select a TCM with larger code efficient length.

### 1. 서론

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 낮은 전송률을 갖는 다수의 반송파가 직교하여 중첩 배치되는 병렬처리 방식으로 병렬형 복수 반송파 전송을 채용하기 때문에 광대역에 걸쳐 발생하는 주파수 선택성 페이딩 채널을 좁은 주파수 비선택성 페이딩 부채널로 변환한다.<sup>[3][4][6]</sup> 본 논문에서는 페이딩하에서 TCM의 주요한 성능요인인 코드의 유효길이에 중점을 두고 TCM을 설계하

고, OFDM의 단점으로 지적되는 낮은 전송률(data-rate)에 대한 대안으로 대역효율이 좋은 M-ary QAM으로 변조를 하여 OFDM을 이동통신 채널에서 전송방식으로 이용할 경우 직교 성좌도(square constellation)의 분포를 통해서 페이딩에 대한 영향과 TCM의 설계구조에 따른 성능을 확인한다.

AWGN에서는 유클리드 거리에 의한 부호화 이득이, 페이딩 채널에서는 코드의 유효길이가 에러율의 향상에 크게 영향을 미치는 파라미터이다.<sup>[8][10]</sup> 이러한 근거를 바탕으로 유효길이가 다른 두 TCM 모델을 이용하여 이

동통신 채널에서 단일 반송파일 경우와 OFDM을 적용할 경우의 모의 시스템을 구현하여 전체 입력 비트에 대한 출력 비트의 에러를 비교하는 방식으로 성능을 분석했다.

## 2. 시스템 구성

그림. 1의 개략도에서 입력데이터  $a_n^k$ 는 2진 신호열이며 이러한 이진 신호가 TCM 부호화기(encoder)에서 부호화 되고 16QAM 심볼로 사상(mapping)된  $x_n^k$ 신호는 병렬신호로 변환되어 IFFT 블록에 입력된다. IFFT 블록에서 OFDM 신호로 변환되고 다시 직렬신호로 변환된  $v(t)$ 신호는 페이딩 채널을 통과하게 된다. 이러한 과정을 거쳐 전송된 신호는 송신 과정의 역과정을 통해서 본래의 data로 검출되는데 본 연구에서는 인터리브, 저역통과 필터, 등화기등은 이상적으로 간주하고 시스템을 구성했다.

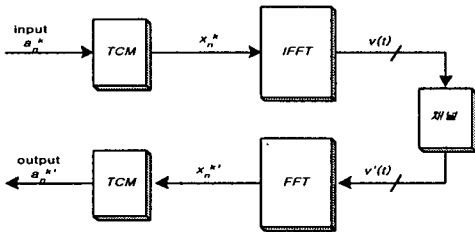
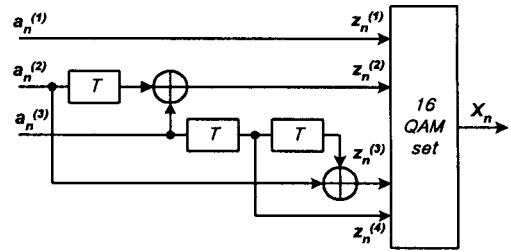


그림. 1 시스템 개략도

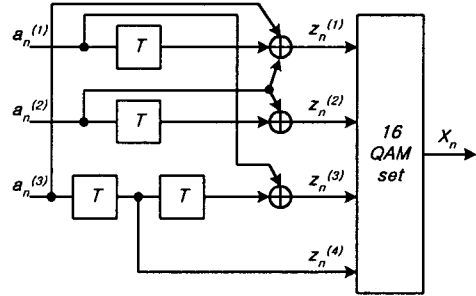
본 연구에서 사용된 TCM 모델은 그림. 2와 같으며 그에 따른 각각의 파라미터 값은 표. 1과 같다.<sup>[3][10]</sup>

표. 1 Parameters of Trellis coded QAM

상태 수	부호화율 ( $k_1/k_1+1$ )	$D_{free}$	gain(dB) of 16QAM/uncoded 8QAM	asymptotic coding gain(dB)	L	$L_{max}$
8	2/3	$\approx 4.47$	3.98	3.98	1	2
16	3/4	$\approx 4.47$	3.98	3.98	2	3



a) 상태수 8, 유효길이 1



b) 상태수 16, 유효길이 2

그림. 2 모의 실험에 사용된 TCM 모델

이동통신 시스템에서 다경로에 의한 페이딩 채널로 레일리 모델을 많이 사용하는데 모의 실험에서는 two-ray 레일리 model을 이용했다. 아래와 같이 하나의 직접파와 하나의 지연파가 각각 페이딩 필터를 통과한 신호로 구성되었다. 이 모델에 대한 순간 지연 프로파일  $C(t;\tau)$ 와 도플러 스펙트럼 함수  $S_d(f)$ 는 아래와 같다.

$$C(t;\tau) = C_0(t)\delta(\tau) + C_1(t)\delta(\tau - \tau_1)$$

$$S_d(f) = \frac{b_{00}}{\pi f_d \sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_d}\right)^2}} \delta(\tau) + \frac{b_{01}}{\pi f_d \sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_d}\right)^2}} \delta(\tau - \tau_1)$$

$C_0(t)$ ,  $C_1(t)$ 는 복소 가우시안(complex gaussian) 분포를 갖는다. 일반적으로 도플러 주파수  $f_d$ 는 샘플링 주파수보다 매우 작기 때문에 페이딩 필터의 응답은 협대역 저역필터로 작용한다.<sup>[3][5][11]</sup>

## 3. 모의실험 결과 및 검토

모의실험은 SPW 툴을 이용하여 설계하고

유효길이 1, 2인 두 TCM 모델을 바탕으로 수행했다. 표. 2는 채널 모델의 변수값이며 이 값들을 바탕으로 모의 실험을 통해 얻어진 채널의 주파수 특성은 그림. 3과 같다. 가로축은 채널의 대역폭 1.25MHz를 정규화해서 나타내기 때문에 채널의 변동폭은 약 300kHz의 주파수 선택적 페이딩 채널이 된다. IFFT 블록의 길이는 512로 하였고 보호구간은 유효길이의 1/64로 설정하여 채널의  $2\mu s$  지연시간보다 충분히 긴  $6.5\mu s$ 로 하였다. 전체적인 OFDM의 길이는  $422.5\mu s$ 로 하여 채널의 대역폭 1.25MHz보다 작은 1.226MHz의 대역을 사용하는 OFDM 신호를 만들었다. 총 입력 비트는 500,000개, 도플러 주파수는 50Hz로 하여 입력비트에 대한 출력비트의 에러를 측정했다.

표. 2 채널 모델의 변수값

channel bandwidth	1.25MHz
doppler spread	50Hz
relative delay time	$2\mu s$
coherence bandwidth	347.5kHz
coherence time	8.46ms

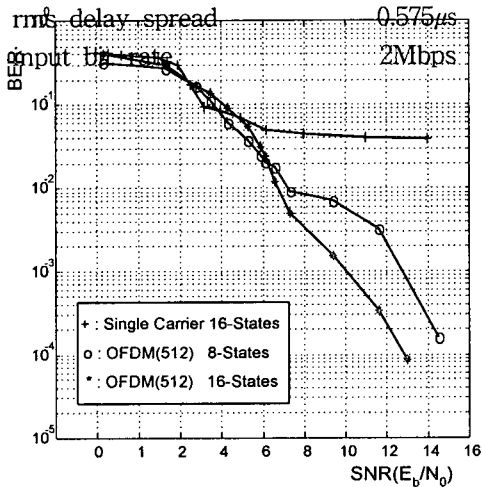
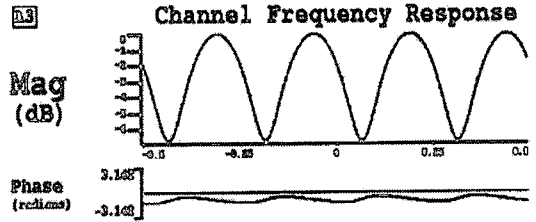


그림. 3 채널의 주파수 특성



#### 4. 결론

그림. 4는 본 논문의 결과를 나타내는 BER 곡선으로서 이동통신 채널에서 단일 반송파인 경우와 반반송파가 512인 OFDM 전송 방식을 적용한 TCM의 설계구조에 따른 성능을 보이고 있다. 비트 오율 곡선에서 볼수 있듯이 단일 반송파 전송에서 스퀘어 16QAM은  $P_B=10^{-1}$  근처에서 성능의 향상이 없는 error floor 현상이 발생함을 알 수 있다. 그러나 OFDM 전송방식을 적용하고 TCM으로 부호화해서 스퀘어 16QAM으로 매핑한 BER 곡선을 보면 단일 반송파의 경우보다 현저한 성능 향상이 있음을 알 수 있다. 이동통신 채널에 본 논문에서 설계한 두 TCM 모델에 OFDM을 적용한 결과 유효길이 1인 경우보다 유효길이 2인 경우의 성능이  $P_B=10^{-3}$  근처에서 약 3dB 정도 개선됨을 확인할 수 있다. 이상과 같은 결과를 바탕으로 페이딩이 주도적인 이동통신 채널에서 TCM을 부호화 방식으로 채택하여 성능 향상을 도모할 경우, 기본적으로 집합분할을 이용한 매핑으로 코딩이득을 얻고 코드의 유효길이가 큰 구조의 TCM을 설계해서 OFDM으로 전송하고 몇 가지 세부적인 과제를 보완한다면 이동통신에서도 충분히 실현 가능할 것이라 기대된다.

그림. 4 이동통신 채널에서 OFDM을 적용한 TCM의 설계구조에 따른 성능 비교

#### 참고문헌

- [1] J. K. Cavers and P. Ho, "Analysis of the Error Performance of Trellis-Coded Modulations in Rayleigh Fading Channels," IEEE Trans. Comm., Vol.40, January 1992.

- [2] G. Ungerboeck, "Channel coding with multilevel/phase signal," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. IT-28, Jan. 1982
- [3] J. G. Proakis, Digital Communications (3rd). New York : McGraw-Hill, 1995.
- [4] B.Hirosaki, "An Orthogonally Multiplexed QAM System Using the Discrete Fourier Transform," IEEE Trans. Comm., Vol. COM-29, No.7, July 1981.
- [5] D. T. Harvatin and R. E. Ziemer, "Orthogonal Frequency Division Multiplexing performance in delay and doppler spread channels," IEEE Trans. Comm. 1997.
- [6] Weinstein, "Data Transmission by Frequency Division Multiplexing using the Discrete Fourier Transform," IEEE Trans.Comm. Oct., 1971.
- [7] L. C. Cimini, Jr., "Analysis and Simulation of a Digital Mobile Channel using Orthogonal Frequency Division Multiplexing," IEEE Trans. Comm. July, 1985.
- [8] Ezio. Biglieri, Introduction to Trellis-Coded Modulation with Applications, Macmillan Pub., Inc., 1991.
- [9] W. T. Webb, Modern Quadrature Amplitude Modulation, IEEE Press., 1994.
- [10] S. Hamidreza Jamali, Coded-Modulation Techniques for Fading Channels, Kluwer Academic Pub., 1994.
- [11] T. S. Rappaport, Wireless Communications, IEEE Press., 1996.