

# 인덱스 변조를 쓴 OFDM 시스템을 위한 시공간 선 부호 기법

윤장혁, 정방철, \*정진근

충남대학교, \*중앙대학교

201501758@o.cnu.ac.kr, bcjung@cnu.ac.kr, jgjoung@cau.ac.kr

## Space-Time Line Code for OFDM Systems with Index Modulation

Janghyuk Yoon(CNU), Bang Chul Jung(CNU), and \*Jingon Jung(CAU)

### 요약

본 논문에서는 OFDM(orthogonal frequency modulation) 반송파 인덱스에 정보를 실는 OFDM-IM(index modulation) 기법과 시공간 선 부호(space time line code: STLC)를 결합한 새로운 송신 기법을 제안한다. 송신단은 총  $N$ 개 반송파 가운데  $K$ 개 반송파 조합을 통해 STLC 신호를 전송한다. 수신단은 두 안테나로 수신한 신호를 선형 결합하여 채널 정보를 사용하지 않고 신호를 복호한다. 제안한 STLC 기반 OFDM-IM 시스템 성능 검증을 위해 신호-대-잡음비(Signal-to-Noise Ratio: SNR)에 따른 BER (bit-error-rate) 성능을 분석한다.

### I. 서론

5G 이동통신 시스템은 높은 에너지 효율성과 주파수 효율성을 요구한다. 이러한 요구 조건을 충족할 수 있는 기술로서 통신 자원의 물리적 인덱스에 정보를 실는 IM (index modulation)에 대한 많은 연구가 진행 중이다 [1]. 특히, OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 반송파 인덱스에 정보를 실는 반송파 IM 기법은 전체 반송파 가운데 일부 반송파만을 사용하여 에너지 효율성과 주파수 효율성을 높일 수 있는 기법으로 알려져 있다 [2]. 이러한 반송파 인덱스 변조 기법 중 하나로, 일부 반송파로 구성된 조합을 통하여 정보를 전송하는 OFDM-IM 기법이 제안되었다 [3]. OFDM-IM 기법은 조합 수가 부족할 경우 IM으로 표현할 수 있는 정보량이 적어 주파수 효율성이 떨어지며, 이를 보완하기 위해, 반송파의 수를 늘리는 OFDM-GIMI 기법, 직교하는 두 신호에 대해 이중 IM을 진행하는 OFDM-GIM2 기법 등이 제안되었다 [4]. 본 논문에서는 수신기가 다중 안테나를 갖고 채널 정보를 획득하기 어려운 환경에 적합한 IM에 [5]에서 제안한 시공간 선 부호 (space-time line codes: STLC)를 접목한 OFDM-IM STLC 시스템을 제안하고, BER (bit-error-rate) 실험을 통해 그 성능을 검증한다.

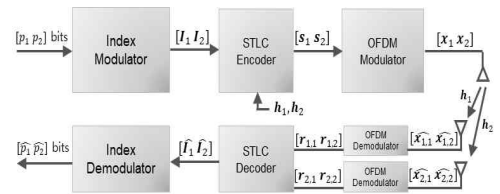


그림 1. STLC OFDM-IM 시스템.  $\mathbf{r}_{m,t} = [r_{m,t,1} \dots r_{m,t,N}]^T$ .

호 독립적인 주파수 선택적 페이딩 채널 환경에서 제안한 STLC기법을 적용한 OFDM-IM 시스템의 BER 성능을 보였다. 제안한 STLC 기법(—)이 수신단에서 채널 정보를 갖는 MRC(maximum ratio combining) 기반 기법(---)에 비하여 3dB 성능 열화가 있으나, 수신단에서 채널 정보를 알기 어려운 환경에 쓰일 수 있음을 확인하였다. 또한, 제안한 STLC-기반 OFDM-IM 시스템은 STLC로 인해 기존 OFDM 시스템(.....)과 동일한 주파수 효율(0.8889 bits/s/Hz, BPSK(OFDM, IM), QPSK(GIM2))을 갖을 때, 더 낮은 BER 성능을 얻을 수 있음을 확인하였으며, 이에 대한 수학적 분석을 수행할 예정이다.

### II. 제안한 OFDM-IM 시스템을 위한 시공간 선 부호 기법

그림 1에 보인바와 같이 제안한 시스템 송신 안테나는 1개, 수신 안테나는 2개를 가정한다. 송신기는  $\ell$ 째 슬롯에 ( $\ell \in \{1,2\}$ ) 입력된  $p_\ell$ 개의 비트를 IM에 combinatorial number theory 방법 [2]과 M-ary 변조 방법을 이용해 총  $N$ 개 반송파 중  $K$ 의 반송파를 선택해 디지털 변조된 신호로 전송 심볼벡터  $\mathbf{I}_\ell = [I_{\ell,1} \dots I_{\ell,N}]^T$ 를 생성한다. 여기서  $I_{\ell,i}$ 는  $\ell$ 째 슬롯에  $i$ 째 반송파에 실린 변조 신호로  $\mathbf{I}_\ell$ 의  $i$ 째 원소이며, 선택되지 않은 ( $N-K$ ) 전송심볼은 0이다. 다음으로  $\mathbf{I}_\ell$ 를 STLC 심볼 벡터  $\mathbf{s}_t = [s_{t,1} \dots s_{t,N}]^T$ 로 부호화한다 ( $t \in \{1,2\}$ ).  $s_{t,i}$ 는  $\mathbf{s}_t$ 에  $i$ 째 반송파 성분으로 아래와 같다:

$$s_{1,i} = (h_{1,i}^* I_{\ell,i} + h_{2,i}^* I_{\ell,i}^*) / \gamma_i, \quad s_{2,i} = (h_{2,i}^* I_{\ell,i} - h_{1,i}^* I_{\ell,i}^*) / \gamma_i, \quad (1)$$

여기서  $h_{a,i}$ 는 송신 안테나와  $a$ 째 수신 안테나 사이에 채널 벡터  $\mathbf{h}_a = [h_{a,1} \dots h_{a,N}]^T$ 의  $i$ 째 원소로서  $i$ 째 반송파의 채널 값이며,  $\gamma_i = \sqrt{|h_{1,i}|^2 + |h_{2,i}|^2}$ . 이후,  $\mathbf{s}_t$ 는 OFDM 변조 과정을 거쳐 OFDM 신호  $\mathbf{x}_t$ 로 변조되어, 전송 시간  $t$ 에 전송된다. 채널을 거쳐 수신단에 도착한 신호는 OFDM 복조기와 STLC 복호화를 통해 아래와 같이 추정값  $\hat{\mathbf{i}}_t = [\hat{i}_{t,1} \dots \hat{i}_{t,N}]^T$ 를 얻는다:

$$\begin{aligned} \hat{I}_{1,i} &= (r_{1,1,i} + r_{2,2,i}^*) / \gamma_i = I_{1,i} + (n_{1,1,i} + n_{2,2,i}^*) / \gamma_i; \\ \hat{I}_{2,i} &= (r_{2,1,i} - r_{1,2,i}^*) / \gamma_i = I_{2,i} + (n_{2,1,i} - n_{1,2,i}^*) / \gamma_i. \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,  $r_{m,t,i}$ 는  $m$ 째 수신 안테나에  $i$ 째 시간에  $i$ 째 부채널로 수신된 신호이며,  $n_{m,t,i}$ 는  $r_{m,t,i}$ 에 발생한 정규분포를 따르는 백색잡음이다. 끝으로 (3)과 같이 최대 우도 검파 방법에 (2)에  $\hat{\mathbf{i}}_t$ 와 인덱스 조합 벡터  $\mathbf{u} = [u_1 \dots u_N]^T$ 를 써  $\hat{p}_t$ 를 추정한다. 여기서  $U$ 는 모든 인덱스 조합 벡터 집합이다.

$$\mathbf{u} \in U \left( \sum_{i=1}^N (\hat{i}_{t,i} - u_i)^2 \right). \quad (3)$$

### III. 모의실험 결과 분석 및 결론

그림 2에 전체 반송파 개수  $N = 128$ , cyclic prefix 길이  $L = 16$  일 때, 상

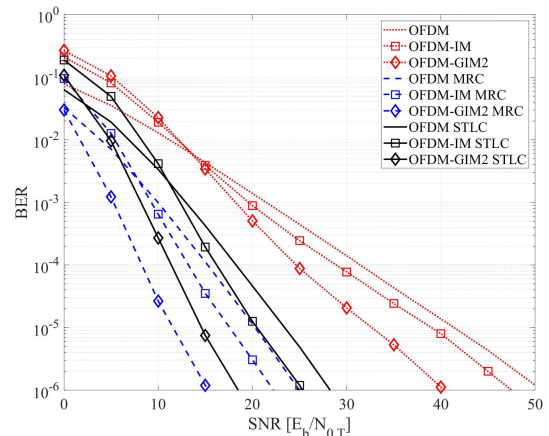


그림 2. 제안한 OFDM-IM 시스템에서 STLC 기법의 BER 성능.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2018-2017-0-01635).

### 참고 문헌

- [1] E. Basar, "Index modulation techniques for 5G wireless networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 7, pp. 168-175, Jul. 2016.
- [2] R. Abualhiga and H. Haas, "Subcarrier-index modulation OFDM," in *Proc. IEEE PIMRC*, pp. 177-181, Sep. 2008.
- [3] E. Basar, et al., "Orthogonal frequency division multiplexing with index modulation," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 61, no. 22, pp.5536-5549, Nov. 2013.
- [4] R. Fan et al., "Generalization of Orthogonal Frequency Division Multiplexing with Index Modulation," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 14, no. 10, pp. 5350-5359, Oct. 2015.
- [5] J. Joung, "Space-time line code," *IEEE Access*, Vol. 6, pp. 1023-1041, Feb. 2018.