

# 인공지능 보조 다차원 색인 변조 수신기 연구

서정빈, 이동희, 진희태, 김석찬\*  
부산대학교, 부산대학교, 부산대학교, \*부산대학교

sjb9612@pusan.ac.kr, ldh2717@pusan.ac.kr, htjin@pusan.ac.kr, \*sckim@pusan.ac.kr

## A Study on the AI aided Multi-dimensional Index Modulation Receiver

Jeongbin Seo, Dong Hee Yi, Heetae Jin, Suk Chan Kim\*  
Pusan Univ., Pusan Univ., Pusan Univ., \*Pusan Univ.

### 요 약

본 논문은 인공지능 모델을 활용하여 다차원 색인 변조 기술 중 하나인 일반화된 공간 및 주파수 색인 변조의 수신기를 설계했다. 기존의 조합 검파기를 구성요소별 검파기로 대체하여 계산복잡도를 감소시켰다.

### I. 서 론

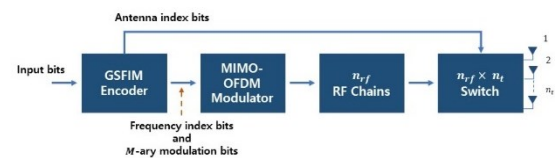
최근 우수한 스펙트럼 효율과 에너지 효율을 얻을 수 있는 색인 변조가 활발히 연구되고 있다. 장점인 스펙트럼 효율의 우수성을 증가시키는 방법으로 다수의 차원에서 색인 변조를 적용하는 다차원 색인 변조 기술이 주장되었다. 색인 변조를 적용하는 주파수 차원, 시간차원, 공간차원 중 다수의 차원을 조합하여 다차원 색인 변조기술을 적용한다. 차원의 증가로 인해 색인을 선택할 모집합의 크기가 커지고, 색인 선택에 사용되는 비트의 수가 증가하는 것이 다차원 색인 변조의 특징이다. 그러나 색인 변조의 모집합이 커지고, 여러 차원에서 선택된 색인을 검파해야되기 때문에, 높은 계산복잡도가 요구된다. 본 논문은 다차원 색인 변조 중 공간 차원과 주파수차원을 조합한 일반화된 공간 및 주파수 색인 변조(GSFIM: generalized space-and-frequency index modulation)의 수신기 복잡도 감소에 관한 연구를 서술한다.

최근 기계학습을 통신시스템에 적용되는 연구가 활발히 진행되고 있다. 기계학습 적용시 기존의 통신시스템 대비, 효율성 혹은 성능 증가를 보이는 다수의 연구결과가 발표되고 있다. 본 논문에서는 지도학습방식의 인공신경망을 GSFIM의 수신기에 적용하여 계산 복잡도를 감소시킨다.

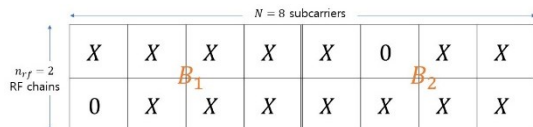
### II. 시스템모델

#### 1. 송신기

GSFIM은 다수의 송신안테나 중 RF chain 수만큼의 안테나를 선택하고, 다수의 부반송파 중 일부만을 선택 및 선택된 부반송파에 amplitude and phase modulation(APM) symbol을 할당하여 신호를 생성하는 기술이다. GSFIM 암호기는 입력비트를 세 부분으로 분할



[그림 1] 송신기 구조 요소 선택



[그림 2] 주파수 차원의 활성화

한다. 첫 번째 부분은  $n_t$  개의 송신안테나와  $n_{rf}$  개의 RF chain을 사용하여 공간차원의 색인 변조를 수행한다. 두 번째 부분의 비트는 subblock이라는 부반송파의 집합에서 색인 변조를 수행한다. 전체 subblock의 수가  $N_B$ 이고, 각 subblock에 포함된 부반송파의 수가  $n_f$ 이면 전체 부반송파의 수는  $N_B \times n_f$ 이다. [그림 2]는  $n_{rf} \times n_f$  개의 부반송파 중  $n_{af}$  개의 부반송파를 선택한 예시이다. 이 때,  $B_1, B_2$ 는 subblock을 의미하고,  $n_f = 4, n_{af} = 7$ 이다. 세 번째 부분의 비트는 선택된 부반송파에 할당할 APM symbol을 생성한다.

MIMO-OFDM 변조기는 선택된 부반송파에 생성한 APM symbol을 할당하고 inverse fast Fourier transform을 통해 주파수 차원의 신호를 시간 차원의 신호로 변환한다. 시간 차원의 신호에 다중경로 환경에서 직교성을 유지하기 위해 cyclic prefix를 송신신호 앞에 덧붙인다.

#### 2. 수신 신호

주파수 평면에서, GSFIM의  $n$  번째 부반송파에 해당하는 수신신호는



[그림 3] 수신기 구조

$$\mathbf{y}_n = \mathbf{H}_n^a \mathbf{z}_n + \mathbf{w}_n \in \mathbb{C}^{n_r \times 1}$$

이다. 이때,  $\mathbf{H}_n^a$ 는  $a$  번째 패턴으로 안테나가 활성화됐을 경우,  $n$  번째 부반송파에 해당하는 channel 성분이고,  $\mathbf{z}_n$ 은  $n$  번째 부반송파에 해당하는 송신신호이다.  $\mathbf{w}_n$ 은 백색 Gaussian 잡음이고,  $n_r$ 은 수신안테나의 수이다.

### 3. 인공신경망 보조 검파기

본 논문에선 인공신경망을 GSFIM의 수신기에 적용한 수신기를 제안한다. GSFIM의 수신기는 3가지 요소를 고려하여 수신신호를 검파한다. 공간 차원의 활성화 요소, 주파수 차원의 활성화요소, 활성화된 부반송파에 할당된 APM symbol 등이다. 본 논문은 인공신경망을 공간 차원의 활성화요소 검파에 활용하여 수신기의 계산 복잡도를 감소시켰다. 인공신경망을 사용하여, 활성화된 안테나를 추정하고, 최대 우도 검파기를 사용하여 활성화된 부반송파와 APM symbol을 검파한다. [그림 3]은 제안된 인공신경망 보조 검파기의 구조이다.

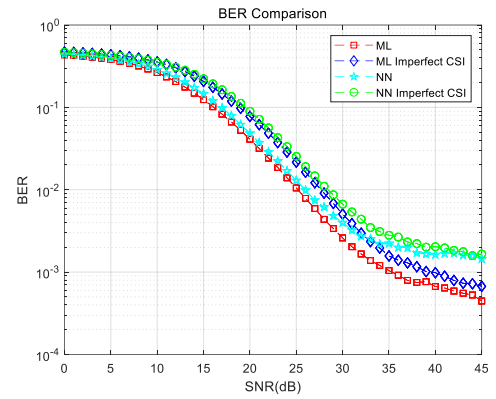
본 논문에서 사용한 인공신경망의 구조는 [표 1]과 같다. 활성화 함수를 사용하기 위해 수신신호의 실수부와 허수부를 연결하여 사용했다. 적용한 인공신경망의 구조는 경험적인 방법으로 구체화했으며, 입력데이터는  $16 \times 1$  크기의 수신신호와 주파수 평면에서의 채널성분으로 구성된 행렬이다. 활성화 함수는 rectified linear unit(ReLu)함수를 사용했으며, 출력 단 앞의 활성화 함수는 분류를 위해 Softmax 함수를 사용했다.

## III. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 각 신호 전력 대 잡음 전력 비당 100,000 개의 프레임을 송수신해서 진행했다. [그림 4]는 최대 우도 검파기와 인공신경망 보조 검파기의 비트 오류율 성능을 비교한 그래프이다. 최대 우도 검파기는 최적의 검파기이기 때문에, 인공신경망 보조의 검파기가 최대우도 검파에 비해 오류율이 조금 높은 것을 확인할 수 있다. 그러나 인공신경망을 수신기에 적용함으로써, GSFIM 신호 하나를 검파할 때 비교할 대상의 수가

[표 1] 적용한 인공신경망 구조

Image Input layer	Size : $16 \times 4 \times 1$
FullyConnected layer	1024
Relu layer	-
FullyConnected layer	1024
Relu layer	-
FullyConnected layer	512
Relu layer	-
FullyConnected layer	256
Softmax layer	-
Output layer	2



[그림 4] 비트 오류율 성능 비교 그래프

## IV. 결론

본논문에서는 높은 스펙트럼 기술인 다차원 색인 변조 기술 중 GSFIM의 수신기에 인공신경망을 적용했다. 최대 우도 검파기에 비해 비트 오류율은 상대적으로 높지만, 낮은 계산 복잡도를 보였다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0030013).

이 연구는 2020년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원 (KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(1077641)

## 참고 문헌

- [1] T. Datta, H. S. Eshwariaiah and A. Chockalingam, "Generalized Space-and-Frequency Index Modulation," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 65, no. 7, pp. 4911-4924, July 2016,

[표 2] 시뮬레이션 시스템 파라미터

FFT size( $N_B \times n_f$ )	8
# of subcarriers in each subblock( $n_f$ )	4
# of active subcarriers in each subblock( $n_{af}$ )	7
# of Tx antenna( $n_t$ )	3
# of Tx RF chain ( $n_{rf}$ )	2
# of Rx antenna( $n_r$ )	1
APM order( $M$ )	3