

# 레이리 페이딩 채널에서 concatenated coding 을 이용한 MIMO 시스템의 성능 분석

우수길, 성진택, 이흥노\*  
 광주과학기술원 정보기전공학부

{woo, jtseong, heungno}@gist.ac.kr

## Performance analysis of MIMO system using concatenated coding in Rayleigh fading channel

Soo-Gil Woo, Jin-Taek Seong, Heung-No Lee\*  
 School of Information and Mechatronics  
 Gwangju Institute of Science and Technology

### 요 약

본 논문은 레이리 (Rayleigh) 페이딩 채널환경의 concatenated coding scheme 으로서 LDPC (Low Density Parity-Check) 코드는 외부부호 (outer code)의 역할을 하고 내부부호 (inner code)를 이용한 MIMO (Multi-Input Multi-Output) 시스템의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 알아보았다. 외부부호화를 위해 Gallager 코드 생성방법을 이용하였으며, 시공간 코드로써 Alamouti 코드를 이용하였다. 이진 코드워드 길이가 120 일 때, 코드율 (code rate)에 따른 MIMO 시스템의 성능을 알아보았다. 그 결과 코드율이 작아짐에 따라 성능이 향상됨을 확인하였다.

### I. 서론

과거에 멀티미디어 데이터 같은 고품질, 대용량의 데이터를 송·수신할 수 있는 고속의 데이터 전송을 하기 위해서 대역폭을 늘리지 않고도 기존 시스템보다 더 높은 데이터 전송률을 요구하는 시스템이 필요하였다. 최근에 MIMO (Multi-Input Multi-Output) 기술을 이용하여 데이터 전송 방법을 개선하고 있다. MIMO 시스템의 성능을 개선하기 위해 concatenated coding scheme 에서 LDPC (Low Density Parity-Check) 코드를 이용한 시공간 변조 (Space-Time modulations) 방법을 제안하였다 [1]. Brink 과 Ashikhmin 은 EXIT (Extrinsic Information Transfer) chart 방법과 Message-Passing receiver 를 이용해 최적의 LDPC 코드에 대하여 MIMO 성능을 분석하였다 [2]. 이와 같은 분석 틀은 표준 설계 방법으로 MIMO 시스템의 성능을 평가한다.

본 논문에서는 concatenated coding scheme 으로서 MIMO 시스템을 구성하고 코드율 (code rate) 변화에 따른 성능을 비교하는데 목적을 둔다. 그 구성방법으로 LDPC 코드는 외부부호로서 사용하고 STBC (Space-Time Block Code)로써 Alamouti 코드를 사용한다. MIMO 시스템의 성능을 레이리 페이딩 채널 환경에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 알아 보고자 한다.

### II. 본론

#### 2.1 System Model

각각 2 개의 송·수신기 안테나를 갖는 MIMO 시스템은 그림 1 같이 구성된다.  $K$  개의 정보 비트를 갖는  $u$  시퀀스는 외부부호화 과정을 거친 후 길이가  $N$  인 2진 코드워드  $C$  를 만든다. 이 때, 코드워드  $C$  는  $(2 \times T)$

STT (Space-Time Transmission) 행렬  $X$  로 매핑되어 Space-Time Word  $X = [S_1, S_2, \dots, S_D]$  를 형성하며 2 개의 송신 안테나를 통하여 전송된다. 여기서  $(2 \times 2)$  Flat fading MIMO 채널로써 가정한다. 그러면  $(2 \times T_i)$  로 수신 신호  $R_d$  는 IST (Inner Space-Time) 블록  $S_d$  에 대하여 다음과 같이 표현된다.

$$R_d = \sqrt{\rho_s} h_d S_d + Z_d, \quad d=1,2,\dots,D, \quad (1)$$

여기서,  $T_i$  는 채널의 수를 말하고  $T = DT_i$  라고 쓴다.  $\rho_s$  는 평균 심볼 에너지,  $Z_d$  는  $(2 \times T_i)$  크기의 평균이 0 이고 전력 스펙트럼 밀도가  $N_0$  인 independent complex 백색 가우시안 노이즈 벡터,  $h_d$  는  $(2 \times 2)$  Flat fading MIMO 채널 행렬이다.  $h_d$  의 각각의 행과 열의 fading 계수는 independent and identically distributed complex 가우시안 변수이다.

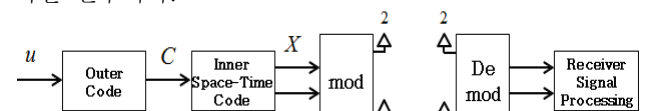


그림 1. MIMO 시스템 전송 구성도

#### 2.2 STBC(Space Time Block code)

Tarokh et al. 가 제안한 Space Time code [3]은 페이딩 채널환경에서 여러 개의 송신안테나를 사용하여 데이터 전송 속도를 증가시키기 위한 부호화 방법이다. 이를 기반으로 만들어진 STBC 기법은 직교 특성을 갖고 있어서 위의 특성으로 수신기에서 선형처리만으로 maximum

likelihood 디코딩이 가능한 장점을 가지고 있다 [4]. 또한, STBC 기법은 현재 3GPP LTE, Wi-Fi, WiMAX 등의 무선 통신에서 활용되고 있다 [5].

우선, 우리는 concatenated coding system 에서 정보 비트 시퀀스가 외부부호화 과정을 마친 후 길이가  $N$  인 2 진 코드워드  $C$  를 만든 후 내부부호의 STBC 를 생성하기 위해서 Alamouti 코드를 사용하였다 [6]. 우리는 레일리 페이딩을 이용하여  $(2 \times 2)$  MIMO 채널을 만들었다. 이는 하나의 IST 심볼은  $N_b = Q \log_2 M$  개의 비트를 전송한다. 여기서,  $N = DN_b$ ,  $Q$  는 하나의 IST 심볼을 구성하기 위한 채널-심볼들의 수를 말하며  $M$  은  $M$ -PSK 를 말한다. STBC 로써 Alamouti 코드를 이용한 경우 하나의 IST 심볼은 2 채널을 이용하여 전송된다. Alamouti 코드는 아래와 같은  $(2 \times 2)$  IST 심볼 행렬을 이용한다.

$$\begin{bmatrix} s_a \\ s_b \end{bmatrix} \Rightarrow S = \begin{bmatrix} s_a & -s_b^* \\ s_b & s_a^* \end{bmatrix}$$

\* (Complex conjugate)

여기서,  $s_a$  와  $s_b$  는 4-PSK 채널-심볼들이다. 각각의 채널 심볼 심볼들은 gray constellation labeling 으로부터 구성된다.

### 2.3 LDPC 코드

Gallager [7]가 처음 제안한 LDPC 코드의 구성 방법은 무작위 순열 (random permutation)을 이용하여 크기가  $((N-K) \times N)$  인 패리티 검사 행렬을 생성한다. 우리는 위와 같은 방법으로 생성된 코드를  $(N, d_c, d_r)$  Regular LDPC 코드라고 말하며, 여기서  $d_c$  와  $d_r$  는 패리티 검사 행렬에서 각각의 열과 행의 무게를 말한다.

LDPC 코드는 선형블록코드의 일종으로써 다음과 같은 특징이 있다. 패리티 검사 행렬은 두 단계에 걸쳐서 생성된다. 첫째로, 크기가  $((N-K)/d_c \times N)$  인 부분 행렬 (sub-matrix)을 구성하며 이 때 각 행과 열의 무게는 각각  $d_r$  과 1이다. 두 번째 단계로, 앞에서 얻은 부분 행렬을  $d_c - 1$  번의 무작위 순열을 이용하여  $((N-K) \times N)$  인 패리티 검사 행렬을 생성한다. 코드율(code rate)  $R$  은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$R = 1 - \frac{d_c}{d_r} \quad (2)$$

본 논문에서 우리는 코드 길이  $N$  을 120 로 하고 시스템을 분석하였다. 그래서 (120, 3, 4) Gallager, (120, 3, 6) Gallager, (120, 3, 12) Gallager 코드의 코드율은 1/4, 1/2, 3/4 이 된다.

### III. Numerical Evaluation and System Simulation

본 논문에서 super-iterative detection 과 message-passing algorithm 을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다 [1]. 그림 2 은  $(2 \times 2)$  MIMO fading 채널에서 4-PSK Alamouti 심볼에 대하여 시뮬레이션 하였으며 코드의 길이는 120, 반복복호횟수(iteration)는 100 으로 설정하였다. 또한, (120, 3, 4) Gallager, (120, 3, 6) Gallager, (120, 3, 12) Gallager 코드를 사용하여 코드율을 1/4, 1/2, 3/4 로 만들어서 MIMO 시스템의 성능을 분석하였다. 코드율이 작을수록 성능이 향상됨을 알 수 있다.

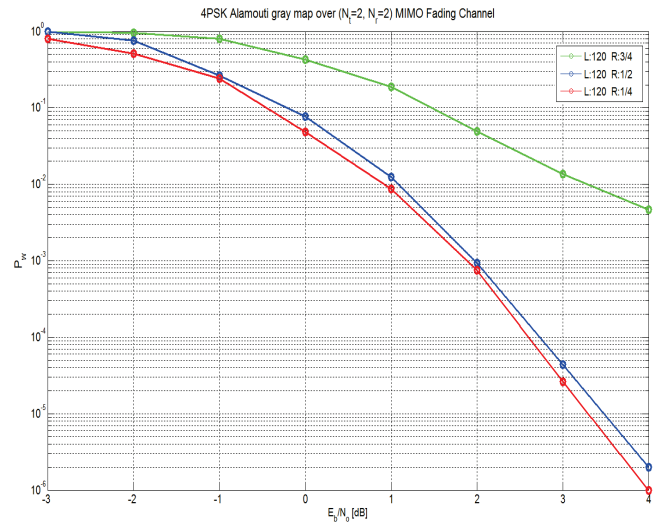


그림 2. MIMO 페이딩 채널에서 4PSK Alamouti 부호성능

### IV. 결론

본 논문에서는 레일리 페이딩 채널 환경에서 concatenated coding 방법을 이용 하여 MIMO 시스템의 성능을 시뮬레이션을 통해서 분석하였다. MIMO 시스템에서 코드율이 시스템 성능의 향상 정도를 알 수 있는 중요한 요소임을 알 수 있었다. 더 나아가, 여러 무선 채널 환경에서 낮은 시간/공간 복잡도에서도 효율적인 시스템 성능분석 방법을 연구할 것이다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (중견연구자-핵심연구사업, No.2011-0027682)

### 참고 문헌

- [1] H. N. Lee and V. Gulati, "Iterative equalization/decoding of LDPC code transmitted over MIMO fading ISI channels," in Proc. IEEE Pers., Indoor Mobile Radio Commun. Int. Symp., vol. 3, Sep. 2002, pp.1330-1336.
- [2] S. ten Brink, G. Kramer, and A. Ashikhmin, "Design of low-density parity-check codes for modulation and detection," IEEE Trans. Commun., vol. 52, no. 4, pp. 670-678, Apr. 2004.
- [3] V. Tarokh, N. Seshadri, and A. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication: Performance criterion and code construction," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 44, no. 2, pp. 744-765, 1998.
- [4] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. Calderbank, "Space-time block codes from orthogonal designs," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 45, no. 5, pp. 1456-1467, 1999.
- [5] F. Khalid, J. Speidel, "Advances in MIMO Technique for Mobile Communication-A Survey," Communications, Network and System Science, vol. 3, no. 3, Mar. 2010.
- [6] S. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 16, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [7] R. G. Gallager, Low-Density Parity-Check Codes. Cambridge, MA:MIT Press, 1963.