

## 통신 효율을 위한 채널 확률 전이 행렬 레벨링 기법

이충현, 더 뷔 누엔, 탄 풍 트렁, 조성래

중앙대학교

chlee@uclab.re.kr, tvnguyen@uclab.re.kr, tptuong@uclab.re.kr, srcho@cau.ac.kr

## Channel Probability Transmission Matrix Leveling Scheme for Efficient Communication

Chunghyun Lee, The Vi Nguyen, Thanh Phung Truong, Sungrae Cho

ChungAng University

## 요약

본 논문은 MIMO(multiple-input multiple-output) 안테나 기반 이동통신 채널 환경에서 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)를 전달하는 과정에서 채널 확률 전이 행렬의 측정을 주대각선의 변동 수치를 통하여 레벨링하는 기법을 고안하였다. 이를 통하여 실시간으로 변하는 이동통신 채널 환경의 안정성을 보다 직관적이고 효율적으로 측정할 수 있는 지표를 제안하였다.

## I. 서론

최근 다양한 이동통신 채널 환경에서 MIMO 안테나 기술이 주목받고 있으며, MIMO 안테나의 다수의 송신기와 수신기를 사용함으로써 보다 많은 데이터 스트림이 송수신 간 채널을 통하여 전송된다. 이와 더불어 송신기와 수신기 사이의 채널에 대한 전송 경로의 감쇠 계수를 나타낸 채널 상태 정보가 중요한 변수로 고려되고 있다[1][2]. 이동통신에서 채널의 상태는 실시간으로 변화하므로, 수신 측에서는 송신 측으로부터 수식 및 정기적으로 채널의 상태 정보를 보고 받을 필요가 있다. 특히 5G 이동 통신망 환경에서 셀(cell)의 경계에 있는 단말의 전송 품질을 향상시키기 위해서 인접한 기지국 간 협력하는 다지점 협력 통신(Coordinated Multi-Point transmission and reception, CoMP) 기법에서는 단말에서 채널을 측정하여 기지국으로 채널 상태 정보를 전달하고, 이를 통하여 기지국에서 데이터를 사전 부호화(precoding)하여 전송해줄 수 있다. 이렇게 특정한 목적을 가지고 송신기가 미리 정의된 CSI를 전달하는 신호를 CSI-RS(CSI reference signal)이라고 한다.

이러한 채널 상태 정보는 특히 채널 부호화 기법에 핵심적인 요소로 고려되고 있다. 오류 정정 기법에서 채널 상태 정보는 굉장히 중요한데, 채널의 특성과 상태에 따라 효율적인 전송 오류 제어 방식과 채널 부호화 기법, 변조 및 부호화율이 결정되기 때문이다. 데이터 신호의 전송 과정에서는 감쇠, 지연, 왜곡, 잡음, 간섭 등의 이유로 오류가 발생하는데 이를 위한 전송 오류 제어 방식은 크게 전진 오류 수정(forward error correction, FEC) 기법과 후진 오류 수정(backward error correction, BEC) 기법, 그리고 자동 반복 요청(automatic repeat request, ARQ) 기법으로 분류된다. 전송 오류 제어 방식의 선택은 다양한 요소들로부터 영향을 받으나 채널의 특성과 상태 정보에 따라 결정되는 영향이 크다.

앞서 소개한 다양한 기법과 연구에서 채널 상태 정보는 크게 4가지의 정보를 담고 있다. 우선, 데이터가 채널을 통한 전송 과정을 거치면서 심볼 값이 어떻게 전이되는지에 대한 채널 계수를 담고 있는 채널 행렬, 데이터의 오류 지표인 블록 에러율(block error rate, BLER) 또는 비트 에러율

(bit error rate, BER)이 조건값 미만을 만족하는 변조 및 부호화율 값인 채널 질적 정보(channel quality indicator, CQI), 기지국으로부터 송신 안테나들을 통해 전송되는 데이터 스트림들이 어떤 안테나에 어떻게 맵핑되는지에 대한 정보를 담고 있는 프리코딩 행렬 지시자(precoding matrix indicator, PMI), 그리고 전송되는 데이터 스트림의 수를 나타내는 RI(rank indicator)가 있다. 특히, CQI는 강화 학습 기반 채널 부호화 최적 연구에서 많이 쓰이는 지표이며 이는 간단하게 0부터 15를 나타내는 4bit 단위와 reward로 BLER 또는 BER이 적절하기 때문이다.

그러나, 실질적인 채널의 심볼 전이 상태를 나타내는 채널 확률 전이 행렬(channel probability transmission matrix)은 채널 행렬의 계수로 사용되는 경우가 적고, 채널 용량을 계산하는 데에만 그치는 경우가 많다. 이는 채널 행렬의 반전(inversion) 복잡도가 높고[3] 실시간으로 변하는 채널 특성상 채널 확률 전이 계수의 안정 상태를 찾기까지 걸리는 시간이 길기 때문이다. 이와 관련하여 [4]에서는 대규모 MIMO 안테나 기반 통신 환경에서 대각 행렬의 특성을 활용하여 채널 행렬의 수렴에 관한 연구를 수행하였다. 또한, [5]에서는 대각행렬의 특성을 지닌 Toeplitz 행렬을 기반으로 채널 이득행렬을 정의하여 채널 상태 정보를 계산하였다.

본 논문에서는 채널 행렬의 수렴 특성을 극복하고 대각 행렬의 주대각선 성질을 활용하여 채널 상태의 안정성을 직관적으로 측정하는 채널 확률 전이 행렬 레벨링 기법을 제안한다.

## II. 본론

IEEE 802.11n/ac 표준에 따르면 채널 상태 정보는 일반적으로 MIMO 안테나 환경의 물리 계층에서 직교 주파수 분할 다중 방식(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 기술을 통하여 측정된다[6]. 짧은 시간에 보고되는 채널 정보 상태는 이산적이고 유한한 마르코프 체인(Markov chain)을 따라 short-term CSI와 긴 시간에 걸쳐 연속적으로 보고되어 채널 상태 데이터가 통계적으로 누적되는 long-term CSI로 분류할 수 있으며, 대다수의 연구에서 마르코프 체인을 따르는 short-term

CSI를 고려하고 있다. 이때, 채널 전이 확률을 통한 채널 상태 정보는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$y = Hx + n$$

이때,  $x$ ,  $y$ 는 각각 송신 벡터, 수신 벡터,  $H$ 는  $N \times M$  채널 전이 확률 행렬(MIMO 안테나의 송신기와 수신기의 개수), 그리고  $n$ 은 채널 상의 잡음에 의하여 측정된다. 위의 변수 중 채널의 상태를 표현하는 채널 행렬은 송신기로부터 수신기로의 채널 계수를 담고 있으며 이는 송신기의 송신 심볼 벡터가 채널에 대한 조건부 확률인 채널 전이 확률값을 통해 수신 심볼이 어떻게 전이되는지 확률적 변환 관계를 나타내며 이는 [그림 1]과 같다.

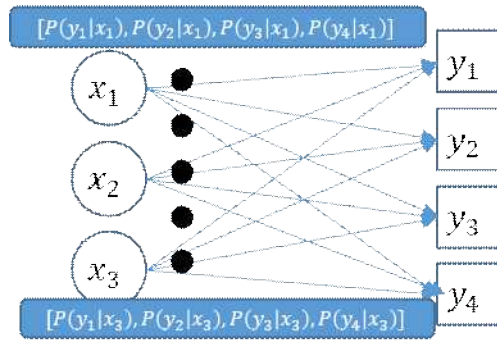


그림 1. 채널 전이 확률에 따른 전이 프로세스

위와 같이 송신 벡터  $x$ 의 심볼들은 채널 전이 확률 행렬  $H$ 의 조건부 확률값에 따라 전이되며 채널 전이 확률 행렬  $H$ 는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$H = \begin{bmatrix} P(y_1|x_1) & P(y_2|x_1) & P(y_3|x_1) & P(y_4|x_1) \\ P(y_1|x_2) & P(y_2|x_2) & P(y_3|x_2) & P(y_4|x_2) \\ P(y_1|x_3) & P(y_2|x_3) & P(y_3|x_3) & P(y_4|x_3) \end{bmatrix}$$

이때, 각 행의 합은 1이며  $P(y|x)$ 는 0과 1 사이의 값을 갖는다. 채널 상태 정보를 구하는 식과 채널 전이 확률 행렬  $H$ 값을 살펴 보았을 때,  $H$ 가 주대각선 값이 1이고 나머지가 0인 단위 행렬이고, 신호 잡음  $n$ 이 무시할 수 있을 정도로 작다고 가정하면 송신 심볼 벡터는 확률에 따른 전이 없이 그대로 수신기에 전달될 수 있다. 따라서 주대각선 행렬값이 단위 행렬 원소와 마찬가지로 1에 가까울 정도로 크다면 채널 상태가 안정적이라고 판단할 수 있다. 다시 말하면, 주대각선의 제곱 값의 총합  $e$ 이 행의 수에 근접할수록 채널 상태가 안정적이라고 판단할 수 있다.

$$e = \sum_{k=1}^N H_{k,k}^2$$

이때, 주대각선 제곱의 합  $e$ 가 채널 전이 확률 행렬  $H$ 의 행의 수  $N$ 에 가까울수록 채널 상태는 안전하며, 0에 가까울수록 다른 심볼로의 전이 확률이 높으므로 불안정하다고 판단할 수 있다.

### III. 결론

본 논문에서는 채널 상태 정보의 중요성이 대두됨에 따라 다양한 CSI 정보 중 채널의 전이 상태를 나타내는 채널 전이 확률 행렬과 단위 행렬의 주대각선 성질을 통하여 직관적으로 채널 상태를 알 수 있는 안정성 지표를 통한 레벨링 기법을 제안하였다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 [NRF-2018M1A3A3A02066018].

### 참 고 문 헌

- [1] T. L. Marzetta and B. M. Hochwald, "Fast transfer of channel state information in wireless systems," in *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 54, no. 4, pp. 1268-1278, April 2006, doi: 10.1109/TSP.2006.870543.
- [2] 이상윤, 전석성, 박영덕, 서영주. (2017). WiFi 채널 상태 정보를 이용한 호홉 및 심박 패턴 변화 감지법. *한국통신학회논문지*, 42(8), 1668-1676.
- [3] W. Liu, K. Choi and H. Liu, "Complexity-Reduced Channel Matrix Inversion for MIMO Systems in Time-Varying Channels," 2010 IEEE 71st Vehicular Technology Conference, 2010, pp. 1-5, doi: 10.1109/VETECS.2010.5493753.
- [4] G. Srikanth, V. K. Chakka and S. Kumar, "Convergence of MassiveMIMO Frequency Selective Channels," *TENCON 2019 - 2019 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, 2019, pp. 1499-1503, doi: 10.1109/TENCON.2019.8929694.
- [5] 박주용, 모하마드 아부 하니프, 김정수, 송상섭, 이문호. (2014). 벡터화 기술을 이용한 대규모 MIMO 시스템의 간단한 Toeplitz 채널 행렬 분해. *전자공학학회논문지*, 51(9), 21-29.
- [6] Z. Wang et al., "A Survey on CSI-Based Human Behavior Recognition in Through-the-Wall Scenario," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 78772-78793, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2922244.