

# 상관 LOS 채널 행렬을 이용한 이중 편파 Rician MIMO 상관 채널에서 ZF MIMO 수신기의 BER 성능 분석

강인웅, 김호재, 김형남  
부산대학교

hnkim@pusan.ac.kr

## BER performance analysis of ZF MIMO receiver in correlated dual-polarized Rician MIMO channel by using correlated LOS channel matrix

In-Woong Kang, Ho-Jae Kim, Hyoung-Nam Kim  
Pusan National University

### 요약

본 논문은 이중 편파 Rician MIMO (multiple-input multiple-output) 상관 채널에서 ZF(zero-forcing) MIMO 수신기의 BER (bit error rate) 성능을 무선 통신 채널의 상관 LOS 채널 행렬(correlated line-of-sight channel matrix)에 따라 분석한다. 이와 같은 형태의 다중 입출력 채널에 대한 폐쇄 형태 방정식(closed form equation)이 알려져 있지 않기 때문에, 모의실험을 통하여 채널의 확률 밀도 함수를 채널 파라미터에 따라 추출하고 이를 이용하여 BER 성능을 분석한다. 분석 결과, 채널 중의 LOS 성분이 NLOS (non line-of-sight) 성분에 비하여 상대적으로 작은 비율을 차지하는 경우 채널 행렬의 상관 정도에 따른 BER 성능의 변화가 작지만 반대의 비율을 보이는 채널의 경우 행렬의 상관 정도에 따른 BER 성능의 변화가 큰 것을 확인하였다.

### I. 서론

이중 편파 MIMO 채널 환경은 UHDTV 서비스와 같은 초고화질 멀티미디어 콘텐츠의 전송을 위하여 차세대 디지털 전송 방식을 연구하는 과정에서 크게 주목을 받고 있는 방송 채널 환경 중의 하나이다 [1]. 이와 같은 채널을 통하여 수신되는 신호의 수신 성능에 대한 연구가 진행되고 있으나, 이 채널에 전파된 ZF MIMO 수신기를 통하여 수신된 신호에 대한 확률 밀도 함수 및 BER 성능의 폐쇄 형태 방정식은 아직까지 알려지지 않았다 [2]. 이에 따라서, 본 논문은 모의 실험을 통하여 ZF MIMO 수신기를 통해 수신되는 신호의 통계적 특성과 BER 성능을 채널의 다양한 특성에 따라 분석한다.

### II. 채널 모델 및 위상 첨자 정의

이중 편파 Rician MIMO 상관 채널은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{H} = \left( \sqrt{\frac{K}{K+1}} \tilde{\mathbf{H}}_{LOS} + \sqrt{\frac{1}{K+1}} \tilde{\mathbf{H}}_{NLOS} \right) \otimes \begin{bmatrix} \sqrt{1-w} & \sqrt{w} \\ \sqrt{w} & \sqrt{1-w} \end{bmatrix} \quad (1)$$

(1)에서  $K$  와  $w$  는 각각 채널의  $K$ -팩터와 XPD (cross-polarization discrimination)을 나타내며  $\otimes$  는 행렬의 원소간 곱을 나타낸다.  $\tilde{\mathbf{H}}_{LOS}$  와  $\tilde{\mathbf{H}}_{NLOS}$  는 각각 채널의 LOS 성분과 비 LOS 성분을 나타낸다.

(1)과 같은 채널을 통과하여 수신된 신호가 ZF MIMO 수신기를 거친 뒤 수신 신호의  $i$  번째 안테나의 SINR (signal-to-interference-plus-noise ratio) 은 다음과 같다.

$$SINR_{ZF,i} = \left[ \left( \mathbf{H}^H \mathbf{H} \right)^{-1} \right]_{ii}^{-1} SNR \quad (2)$$

(2)에서  $SNR$  은 신호 대 잡음비이며,  $[\cdot]_{ii}$  는 행렬의  $i$  번째 대각 성분을 나타낸다.  $SINR_{ZF,i}$  에 대하여 확률 밀도 함수 등의 통계적 특성에 대한 폐쇄 형태 방정식은 아직까지 밝혀지지 않고 있다 [2]. 모의 실험을 통한  $SINR_{ZF,i}$  분포의 분석은 LOS 성분의 비율을 설명해주는  $K$ -팩터와 LOS 채널 행렬의 상관 정도를 나타내는 위상 첨자를 고려하여 수행하였다. 본 논문에서 위상 첨자란  $\tilde{\mathbf{H}}_{LOS}$  의 상관 정도를 나타내는 계수로서, 아래와 같이  $\tilde{\mathbf{H}}_{LOS}$  를 직교 Hadamard 행렬의 원소들 중 하나의 위상에 변화를 주고 이 때 변화를 준 정도를 나타내는 변수를 위상 첨자( $P$ )라고 정의한다.

$$\tilde{\mathbf{H}}_{LOS} = \begin{bmatrix} e^{j\theta} & e^{j\theta} \\ e^{j\theta} & -e^{j\theta} e^{j\pi P/M} \end{bmatrix} \quad (3)$$

위의 식에서 위상 첨자  $P$  는  $[0, M]$ 의 영역에서 정의되는 정수이다.

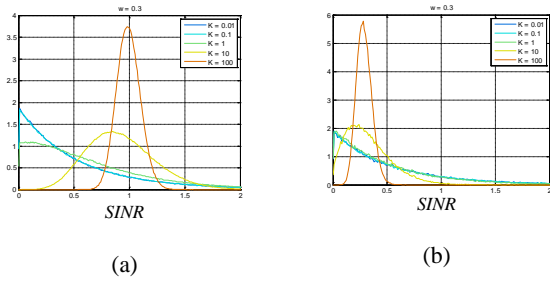


그림 1. 다양한  $K$ -팩터 값에 따라 모의실험으로 추출한  $|SINR|$ 에 따른 확률 밀도 함수 (a) 위상 첨자  $P = 0$  ( $M = 100$ )인 경우, (b) 위상 첨자  $P = 75$  ( $M=100$ )인 경우

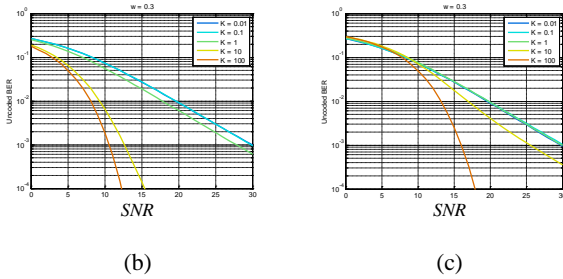


그림 2. 다양한  $K$ -팩터 값에 따른 BER 성능 (a) 위상 첨자  $P = 0$  ( $M = 100$ )인 경우, (b) 위상 첨자  $P = 75$  ( $M=100$ )인 경우

### III. BER 성능 분석 및 결론

그림 1 과 2 는 각각 다양한  $K$ -팩터 값(0.01, 0.1, 1, 10, 100)에 따라 모의 실험을 통하여 얻은 확률 밀도 함수와 BER 성능이다. 이 때 XPD 값은 0.3 으로 고정되어 있으며, 위상 첨자  $P$  는 (최대값  $M = 100$ ) (a)와 (b)에서 각각 0 과 75 이다. 위상 첨자가 0 에서 75 로 커질 때 채널의 자기 상관도가 커지게 되는데, 큰  $K$ -팩터의 MIMO 채널에서는  $P$  값이 커짐에 따라서  $SINR$  에 따른 확률 밀도 함수가  $SINR=0$  과 가까운 영역으로 모이는 것을 볼 수 있으며, 작은  $K$ -팩터의 MIMO 채널에서는  $P$  값의 변화에 따른 확률 밀도 함수의 변화가 거의 없음을 확인하였다. 이와 같은  $P$  값과  $K$ -팩터에 따른 확률 밀도 함수의 변화는 BER 성능으로 이어져서, 큰  $K$ -팩터의 채널에서 ZF MIMO 수신기로 추출한 uncoded BER 성능은  $P$  값이 증가함에 따라서 수신 성능이 열화됨을 볼 수 있으나 작은  $K$ -팩터의 채널에서는  $P$  값의 변화가 수신성능에 큰 영향을 미치지 못하는 것을 확인하였다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2016 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2014R1A1A2056013).

### 참 고 문 헌

[1] In-Woong Kang, et al. "A MIMO DVB-T2 system with a newly designed bit mapper for UHDTV broadcasting." in *Proc. IEEE BMSB2015*.  
 [2] Constantin Siriteanu, et al. "Schur complement based analysis of MIMO zero-forcing for Rician fading," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 14, no.4, p.1757-1771, Apr. 2015.