

다중경로 페이딩 채널에서 MIMO-OFDM 시스템을 위한 CQI 생성방법

*이동준 *조충기 *강진환 *†김상효

성균관대학교 정보통신공학부

†e-mail : iamshkim@skku.edu

CQI Generation Method for MIMO-OFDM System in Multipath Fading Channels

*Dong Jun Lee, *Chung-ki Cho, *Jin Whan Kang, *†Sang-Hyo Kim

School of Information and Communication Engineering

Sungkyunkwan University

요약

본 논문은 다중경로 페이딩 채널에서 페루프 MIMO-OFDM 시스템을 구현할 때 효율적인 피드백 정보를 제공하기 위한 채널 품질 지시자(Channel Quality Indicator, CQI)를 결정하는 방법에 관한 것이다. 다중경로 페이딩에서 OFDM심볼의 부반송파들이 주파수영역에서 서로 다른 채널이득을 경험할 수 있고 여러 채널행렬 중에서 어느 채널행렬에 기반해서 채널 상태를 반영하는 채널대표값을 계산해야 하는지 분명하지 않다. 따라서 수신측에서 송신측으로 피드백하기 위해서 하나의 CQI정보를 생성하는데 필요한 채널 대표값이 필요하다. 채널 대표값을 구할 때 쉽게 생각 할 수 있는 방법인 기준신호의 평균 채널행렬을 이용하는 경우에는 채널상태를 정확히 반영하지 못하고 기준신호의 MMSE검출 후 SNR을 검출하는 방식은 채널상태를 정확히 반영해서 성능을 향상시키지만 많은 연산량을 필요로 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 허미시안 연산된 값을 채널 행렬 평균화해서 채널상태를 정확하게 반영하고 연산량을 줄이는 것에 중점을 두고 있다.

1. 서론

다중 입출력(Multiple Input Multiple Output, MIMO)시스템은 다수의 안테나를 사용함으로써 독립적인 페이딩 채널을 다수 형성하여 다이버시티 이득과 부호이득을 동시에 얻을 수 있어 통신시스템의 정보 전송 용량을 증가시킬 수 있는 것을 가능하게 했다. 또한 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 부반송파로 다중화 시키는 변조 방식으로 다중경로 페이딩(Multipath Fading Channel)에 강한 특성을 가지고 있다.[1]

최근 사용되고 있는 LTE표준에서는 개루프 방식과 페루프 방식의 MIMO시스템을 제안하고 있다. 페루프 방식은 채널상태 정보에 기반해서 전송모드, 데이터 전송률, 송신신호에 대한 가중치 벡터 등을 조절한다. 개루프 방식은 채널상태에 대한 부분적인 정보를 기반으로 전송모드와 데이터 전송률을 조절한다.[2]

AMC(Adaptive modulation and coding)기술은 채널정보를 나타

내는 CQI(Channel Quality Indicator)를 사용하여 채널의 변화를 적합하게 변조차수와 부호율을 결정한다.[3]

따라서 피드백(feedback)을 통해서 얻을 수 있는 CQI는 채널상태를 고려하기 위한 중요한 정보이다. 평균 채널행렬을 이용해서 CQI를 결정하면 적은 연산량으로 채널 대표값을 정할 수 있지만 실제 채널 상태를 제대로 반영하지 못한다. MMSE수신기로 수신신호를 검출한 후 SNR을 평균화하는 방법은 실제 채널 상태를 제대로 반영하지만 많은 연산량을 요구하게 된다.[4]

따라서 본 논문은 MIMO-OFDM 시스템에서 채널상태를 반영할 수 있고 연산량을 줄일 수 있는 결정 방법 및 방식인 허미시안 연산을 수행하고 이를 사용해서 기존의 방법과 성능차이를 비교한다.

2. 시스템 모형

본 논문에서는 송수신 안테나가 각각 N_T 개와 N_R 개의 공간 다중화 방식을 통해 각각의 송신안테나에서 시간 영역의 OFDM 신호가 전송된다. 수신기에서 다음과 같은 벡터 식으로 표현된다.[5]

$$\mathbf{y}^{(k)} = \mathbf{H}^{(k)}\mathbf{x}^{(k)} + \mathbf{n}^{(k)} \quad (1)$$

여기서 y 와 x 는 $N_R \times 1$ 크기의 수신신호 벡터와 $N_T \times 1$ 크기의 송신신호 벡터이다. 벡터 n 은 평균이 0이고 분산이 $\sigma_n^2 \mathbf{I}_{N_R}$ 인 $N_R \times 1$ 크기의 부가 백색 잡음 벡터를 나타낸다. 여기서 \mathbf{I}_{N_R} 은 $N_R \times N_R$ 크기의 단위행렬을 의미한다. k 는 k 번째 부반송파를 의미한다. 수신신호는 ZF(Zero Forcing)과 MMSE(Minimum mean-square error estimation) 선형 수신기에 의해 다음과 같이 추정된다.

$$\mathbf{r} = \mathbf{G}\mathbf{y} = \mathbf{G}(\mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{n}) \quad (2)$$

여기서 ZF에서는 $\mathbf{G} = (\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^H$ 이며, MMSE수신기에서 $\mathbf{G} = (\mathbf{H}^H \mathbf{H} + \sigma_n^2 \mathbf{I})^{-1} \mathbf{H}^H$ 이다. $(\cdot)^H$ 는 Hermitian 연산자이고 \mathbf{A}^{-1} 는 \mathbf{A} 의 역행렬을 의미한다. 식(1)을 이용해서 검출과정후에 얻을 수 있는 유효신호 대 잡음비 (Signal-to-Noise ratio, SNR)을 결정할 수 있다. ZF 수신기 및 MMSE수신기의 유효 SNR은 다음과 같다.

$$SNR_{ZF}^{(m)} = \frac{E_s}{\sigma_n^2 [\mathbf{H}^H \mathbf{H}]^{-1}_{m,m}} \quad (3)$$

$$SNR_{MMSE}^{(m)} = \frac{E_s}{\sigma_n^2 [\mathbf{H}^H \mathbf{H} + \sigma_n^2 / E_s \mathbf{I}_{N_R}]^{-1}_{m,m}} - 1 \quad (4)$$

여기서 $\mathbf{A}_{(m,m)}$ 은 행렬 \mathbf{A} 의 (m,m) 성분을 나타내고 E_s 는 송신심볼의 평균에너지이다. 식 (3),(4)에서 검출한 SNR은 채널상태를 반영할 수 있는 정보의 생성 기준이 된다.

3. 채널 대표값 결정

3.1 평균 채널행렬 이용

기본적으로 다중경로페이딩 채널환경의 MIMO-OFDM 시스템에서 평균 채널행렬을 이용해서 채널 대표값을 결정할 수 있다.

$$\mathbf{H}_{avg} = \frac{1}{N_{ref}} \sum_{k=1}^{N_{ref}} \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^{N_{ref}} h_{ref,00}^{(k)} & \sum_{k=1}^{N_{ref}} h_{ref,01}^{(k)} \\ \sum_{k=1}^{N_{ref}} h_{ref,10}^{(k)} & \sum_{k=1}^{N_{ref}} h_{ref,11}^{(k)} \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서 N_{ref} 는 기준심볼(reference symbol)의 개수를 나타내고 $h_{ref,ij}^{(k)}$ 은 k 번째 기준심볼에 해당하는 채널행렬의 (i,j) 성분을 의미한다. 기준신호는 OFDM심볼 내에서 일정한 규칙을 가지고 해당하는 기준심볼을 맵핑하여 사용한다.

$$M_{ch} = SNR_{MMSE}(\mathbf{H}_{avg}) \quad (6)$$

여기서 M_{ch} 는 CQI를 의미한다. 수신기는 식(4)를 이용해서 식(5)의 \mathbf{H}_{avg} 를 대입해서 CQI 정보인 M_{ch} 를 생성한 후 수신측에서 송신측으로 CQI 값을 전달한다.

3.2 MMSE검출 후 SNR 평균값 이용

먼저 수신측에서 신호를 수신하고 수신된 신호들 중 기준 신호를 이용하여 채널 행렬을 추정한다. 추정된 값으로 $SNR_{MMSE}(\mathbf{H}_{ref}^{(k)})$ 를 계산하고 평균값을 구한다. CQI는 식 (8)과 같다.

$$SNR_{avg} = \frac{1}{N_{ref}} \sum_{k=1}^{N_{ref}} SNR_{MMSE}(\mathbf{H}_{ref}^{(k)}) \quad (7)$$

$$M_{ch} = SNR_{avg} \quad (8)$$

3.3 허미시안 연산을 수행 후 평균값 이용

본 논문에서 제안하는 방법인 허미시안 연산 수행후 평균화하는 방법이다. 이 방법은 연산량을 줄이면서 SNR 평균값을 이용하는 방법과 거의 동일한 성능을 낼 수 있다. 식 (9)는 허미시안 연산 후 채널행렬을 평균화하는 과정을 나타낸다.

$$\mathbf{H}_{avg}^* = \frac{1}{N_{ref}} \sum_{k=1}^{N_{ref}} (\mathbf{H}_{ref}^{(k)})^H (\mathbf{H}_{ref}^{(k)}) \quad (9)$$

여기서 \mathbf{H} 는 허미시안(Hermitian)연산자이고 $H_{ref}^{(k)}$ 는 k 번째 기준심볼에 해당하는 채널행렬이다. \mathbf{H}_{avg}^* 가 의미하는 것이 $\mathbf{H}^H \mathbf{H}$ 를 평균화하는 것이기 때문에 CQI는 식(4)의 $\mathbf{H}^H \mathbf{H}$ 의 자리에 \mathbf{H}_{avg}^* 을 대입해서 구할 수 있다.

$$M_{ch} = SNR_{MMSE}(\mathbf{H}_{avg}^*) \quad (10)$$

4. 모의 실험 결과

모의 실험은 다중경로 페이딩 채널에서 이루어지고 MIMO-OFDM 시스템에서 시뮬레이션 하였다. 오류정정부호는 LTE표준의 터보부호를 사용하고 안테나는 2x2 MIMO시스템을 고려하였다. 반송파 주파수는 2GHz, 채널대역폭은 1.4MHz, OFDM 심볼은 72개의 부반송파를 이용하고 FFT_SIZE 크기는 2048을 사용하였다.[2]

그림 1은 Pedestrian A(PA), 그림 2와 3은 Vehicular A(VA)로 다중경로 페이딩이 구성된다. PA와 VA는 도플러 주파수가 걷는 속도와 휴대단말 사용자가 타 있는 차량의 속도에 의해 결정된다. 이는 다중경로의 다양성이 PA모형보다 VA모형에 더 크게 영향을 미치게 돼서 같은 도플러 주파수라도 필요한 상대적인 전력이 더 많이 소모된다.

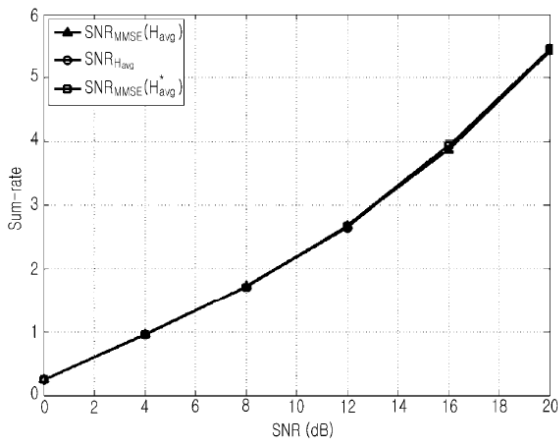


그림1. 다중경로 페이딩채널(PA)일 때 채널 대표값 결정방법에 따른 합전송률 성능(20Hz)

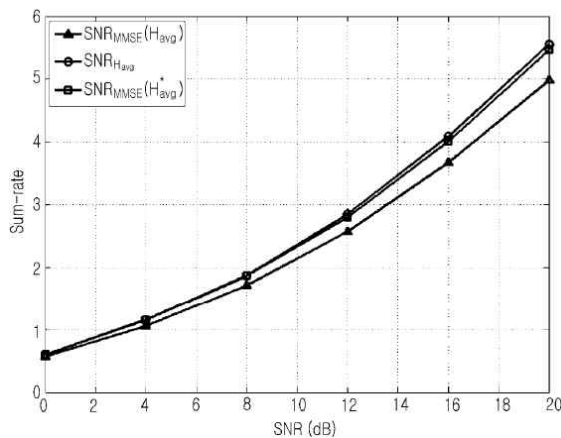


그림2. 다중경로 페이딩채널(VA)일 때 채널 대표값 결정방법에 따른 합전송률 성능(60Hz)

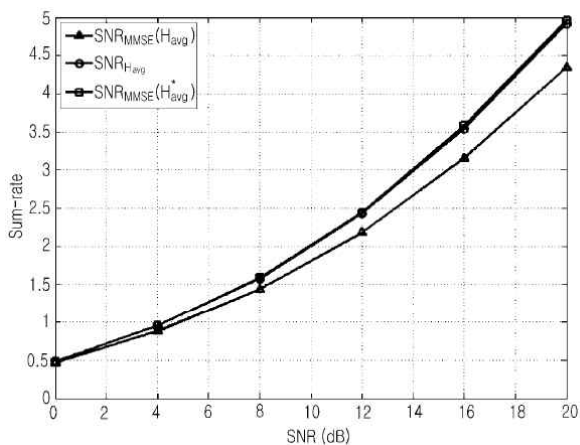


그림3. 다중경로 페이딩채널(VA)일 때 채널 대표값 결정방법에 따른 합전송률 성능(110Hz)

결과 그래프에서 $SNR_{H_{avg}}$ 는 3.1의 방법, $SNR_{MMSE}(H_{avg})$ 는 3.2의 방법, 그리고 $SNR_{MMSE}(H_{avg}^*)$ 는 3.3의 방법이다. 그림1에서 도플러 주

파수가 20Hz인 다중경로 페이딩 채널(PA)는 서브프레임 내에서 채널행렬의 변화가 거의 발생하지 않으므로 성능차이가 거의 없다. 하지만 그림2와 그림3에서 도플러 주파수가 60Hz, 110Hz인 다중경로 페이딩 채널(VA) 이므로 서브프레임 내에서 채널 변화가 크므로 채널 대표값 결정 방법에 따라 합전송률(Sum-rate) 차이가 있다. 허미시안 연산을 이용하는 방법(3.3)에서 합전송률이 평균 채널행렬 이용(3.1)하는 방법보다 높고 MMSE SNR평균값 이용하는 방법(3.2)과 차이가 없다.

5. 결론

본 논문에서는 페루프 MIMO-OFDM 시스템에서 효율적인 피드백 정보를 생성하기 위해서 기존의 방법과 성능은 같으면서 연산량을 줄일 수 있는 3.3방법을 제안하였다. 이 방법은 다중경로 페이딩에서 다양한 채널이득 값을 가질 때 채널상태를 나타낼 수 있는 하나의 CQI를 결정하는 방법에 관한 것이다. 이를 통해 결정된 채널 대표값은 시스템에서 피드백 정보를 생성하는 기준이 된다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법인 허미시안 연산후 평균값 이용하는 방법은 3.1방법과 비교하면 연산량은 차이가 없지만 성능은 개선되고 3.2방법과 비교하면 성능은 비슷하지만 연산량이 적으므로 복잡성이 줄어든다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법은 성능이득과 연산량을 모두 개선할 수 있도록 수신측에서 피드백할 수 있는 정보를 생성할 수 있다. 따라서 이 방법이 실제 MIMO-OFDM 시스템에 더 적합하다고 할 수 있다.

참고문헌

- [1] H. Sari, G. Karam, and I. Jeanclaude, "Transmission techniques for digital terrestrial TV broadcasting," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 33, pp. 100-109, Feb. 1995.
- [2] J.-K. H. Juho Lee and J. C. Zhang, "MIMO technologies in 3GPP LTE and LTE-advanced," *EURASIP Journal on Wireless Commun. and Networking*, 2009.
- [3] A. J. Goldsmith and S. Chua, "Adaptive coded modulation for fading channels", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, pp.595 - 602 , 1998.
- [4] Y. Li, L. J. Cimini, and N. R. Sollenberger, "Robust channel estimation for OFDM systems with rapid dispersive fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, pp. 902-915, July 1998.
- [5] 조용수, 김재권, 양원영, MIMO-OFDM 무선통신과 MATLAB, 홍릉과학출판사, pp. 418-423, 2008.