

## QRD-M 및 QRPIC 을 이용한 효율적인 신호 검출 기법

김재정, 유영환, 송형규<sup>1</sup>  
세종대학교kidss439@naver.com, yhyou@sejong.ac.kr, songhk@sejong.ac.kr<sup>1</sup>

## An Efficient Signal Detection Scheme using QRD-M and QRPIC

Jae-Jeong Kim, Young-Hwan You, Hyoung-Kyu Song<sup>1</sup>  
Sejong University

## 요 약

본 논문에서는 채널상태에 기반하여 QRD-M (QR-decomposition based M algorithm) 및 QRPIC (parallel interference cancellation using QR-decomposition)을 이용한 검출 기법을 제안한다. 기존의 QRD-M 검출 기법은 성능은 좋지만 복잡도가 높고, QRPIC 기법은 성능은 떨어지지만 복잡도가 낮다. 제안된 검출 기법은 채널상태에 따라 QRD-M 검출 기법을 사용할지 QRPIC 검출 기법을 사용할지 결정하게 되므로 기존의 QRD-M 검출 기법보다 성능은 조금 감소하지만 복잡도가 크게 낮아진다.

## 1. 서론

최근 무선통신 시스템 중 활발하게 연구되고 있는 MIMO-OFDM 시스템은 높은 채널 용량과 효율적인 주파수 자원 활용이 가능 하게한다. 그러므로 MIMO-OFDM 시스템에서의 신호 검출 기법이 많이 제안되고 있다.

MIMO-OFDM 검출 기법 중 MLD (Maximum likelihood detection) 기법이 가장 성능이 좋지만, 안테나 수의 증가나 높은 차수의 변조 기법을 사용하면 시스템의 복잡도가 지수적으로 증가한다 [1]. MLD 기법의 복잡도를 줄이기 위해 QRD-M (QR-decomposition based M algorithm) 검출 기법이 제안되었다. QRD-M 검출 기법은 생존 경로의 수를 제한시키는 기법으로써 MLD 기법과 비슷한 성능을 가지면서 복잡도를 감소시킨다 [2].

다른 MIMO-OFDM 검출 기법에는 QRPIC (parallel interference cancellation using QR-decomposition) 검출 기법이 있다. QRPIC 검출 기법은 검출의 정확성을 높이기 위해 먼저 QR-분해를 이용하여 초기 신호를 추정하고, 그 다음 PIC 검출 기법으로 신호를 검출한다 [3].

본 논문에서는 이 두 가지 검출 기법을 채널의 상태 수에 따라 전환하여 사용하는 것을 제안한다. 제안된 검출 기법은 문턱 값에 따라 두 가지 검출 기법 중 하나를 선택하여 신호를 검출한다. 즉, 채널의 상태에 따라 두 가지 검출 기법 중 하나가 선택된다. 제안된 검출 기법은 QRD-M 과 비슷한 성능을 갖지만 낮은 복잡도를 갖는다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 시스템 모델을 설명하고, 3 장에서는 제안된 검출 기법을 설명한다. 4 장에서는 제안된 기법의 성능과 복잡도에 대한 모의실험 결과를 보이고,

마지막으로 5 장에서 본 논문에 결론을 맺는다.

## 2. 시스템 모델

본 논문은  $N_T$  개의 송신안테나와  $N_R$  개의 수신안테나로 구성된  $N_T \times N_R$  MIMO-OFDM 시스템을 고려하며,  $K$  가 부반송파의 수일 때,  $i$  번째 안테나에서의 송신 OFDM 심볼은  $X_i = [X_i(0), X_i(1), \dots, X_i(K-1)]$  로 표현된다.  $K$  번째 부반송파의 수신 심볼 벡터  $Y$  는 다음과 같이 표현된다.

$$Y(K) = \sum_{j=1}^{N_R} \sum_{i=1}^{N_T} H_{j,i}(K) \cdot X_i(K) + N_j(K) \\ = H(K) \cdot X(K) + N(K) \quad (1)$$

여기서,  $i$  와  $j$  는 각각 송신 안테나와 수신 안테나의 index 를 의미하고  $X(K) = [X_1(K), X_2(K), \dots, X_{N_T}(K)]^T$  일 때 수신 심볼 벡터  $Y(K)$  는  $N_R \times 1$  크기를 갖는다.  $N(K)$  는  $N_R \times 1$  가산 복소 가우시안 잡음을 의미하고  $H(K)$  는 각각의 원소가 i.i.d 이고  $N_R \times N_T$  크기의 랜덤 복소 행렬이다.

## 3. 제안된 검출 기법

그림 1 에서 보는 것과 같이 제안된 검출 기법은 채널상태에 따라 검출 기법을 전환하는 것이다. 제안된 검출 기법에서 문턱 값은 채널의 1-norm 상태 수로 계산되고 채널의 상태를 결정한다. 이 문턱 값  $C_{TH}(H)$  은 다음과 같이 계산된다.

$$C_{TH}(H) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i(H) \quad (2)$$

<sup>1</sup> 교신저자

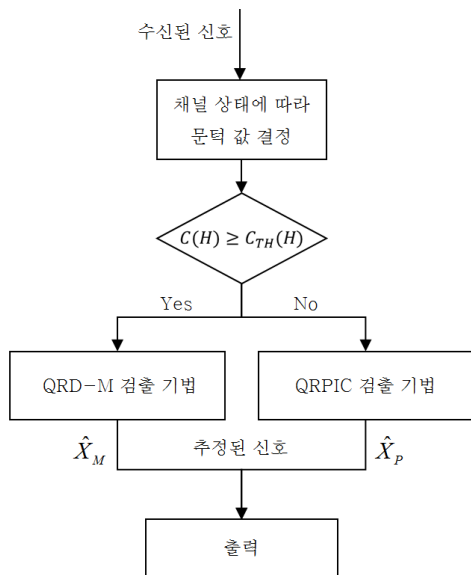


그림 1. 제안된 검출 방법의 알고리즘

만약 채널의 상태가 좋다면 문턱 값은 채널의 1-norm 상태 수보다 작은 값을 갖게 되고, 이 때 QRD-M 보다 성능은 떨어지지만 복잡도가 낮은 QRPIC 검출 기법을 이용해 신호를 검출한다. 채널의 상태가 나쁘다면 문턱 값은 채널의 1-norm 상태 수보다 큰 값을 갖게 되고, 이 때 QRPIC 보다 복잡도는 높지만 성능이 좋은 QRD-M 검출 기법을 이용해 신호를 검출한다.

QRPIC 검출 기법은 검출과정의 복잡도를 줄이기 위해  $k = N_T, \dots, 1$  일 때, 채널 행렬  $H$ 을 유니터리 행렬  $Q$ 와 상 삼각 행렬  $R$ 로 분해하여 다음과 같이 신호를 추정한다.

$$\tilde{d}(k) = \sum_{i=k+1}^{N_T} r_{k,i} \cdot \tilde{s}_i \quad (3)$$

$$e(k) = Y(k) - \tilde{d}(k) \quad (4)$$

수식 (4)에서  $e(k)$ 를 행렬  $R$ 의 성분인  $r_{k,k}$ 로 나누어준 다음 양자화를 하여 신호를 추정하고, 추정된 신호를 다음과 같은 PIC 기법으로 계산하여 최종적인 신호를 추정한다.

$$\tilde{Y}_k = Y - \sum_{i=1, i \neq k}^{N_T} H(:, i) \cdot \tilde{X}_i \quad (5)$$

$$\hat{P}(k) = [H(:, i)]^+ \cdot \tilde{Y}_k \quad (6)$$

$P(k)$ 를 양자화 하여 최종적인 추정신호  $\hat{X}_P$ 를 얻을 수 있다.

QRD-M 검출 기법은 QR-분해 후 각 stage 별로 ML 계산을 하고  $M$ 의 수에 따라 생존경로를 제한하여 복잡도를 줄이는 계산방법이다. 이는 MLD 기법에서 생존경로를 제한하는 것과 유사하다.  $M$ 은 생존경로의 수를 나타내고 최종적으로 가장 작은 수를 갖는 경로가 선택된다.

#### 4. 모의실험 및 결론

본 장에서는  $4 \times 4$  MIMO-OFDM 시스템에서 16QAM 변조 기법을 사용하였을 때, 제안된 검출 기법과 기존의 검출 기법

간의 BER 성능을 확인한다. 제안된 검출 기법이 가장 좋은 성능을 갖는  $M$ 의 크기는 16 이므로  $M$ 의 크기는 16으로 사용하였다. FFT 크기는 256, 채널은 7의 경로를 갖는 Rayleigh 페이딩 채널을 고려하였고, 수신단에서는 채널의 정보를 완벽하게 알고 있다고 가정하였다. 그림 2에서 보는 것과 같이 제안된 검출 기법은 QRPIC 검출 기법보다 좋은 성능을 갖고, QRD-M 검출 기법과 유사한 성능을 갖는다. 하지만 제안된 검출 기법은 QRD-M 검출 기법의 약 69%의 곱셈연산 복잡도를 갖는다. 이는 제안된 검출 기법이 기존의 QRD-M 검출 기법과 유사한 성능을 가지면서 낮은 복잡도를 갖는 것을 알 수 있다.

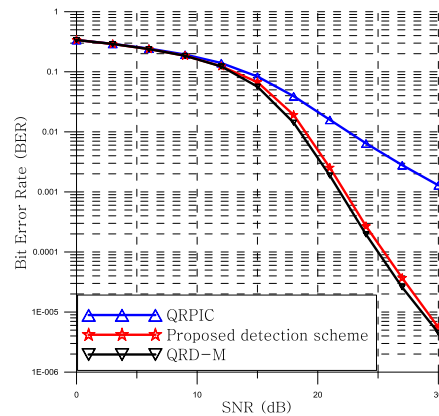


그림 2. 기존의 검출 기법과 제안된 검출 기법의 BER 성능

#### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT 융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2013-H0401-13-1003) 그리고 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2012-000902).

#### 참고 문헌

- [1] Mohamed Oussama Damen, Hesham El Gamal and Giuseppe Caire, "On Maximum-Likelihood Detection and the Search for the Closest Lattice Point," IEEE Trans. on Information Theory, vol. 49, no. 10, pp. 2389-2402, Oct. 2003.
- [2] Kyeong Jin Kim, Jiang Yue, Ronald A. Iltis, and Jerry D. Gibson, "A QRD-M/Kalman filter-based detection and channel estimation algorithm for MIMO-OFDM systems," IEEE Trans. on Wireless Communications, vol. 4, no. 2, pp. 710-721, March 2005.
- [3] Zhongpeng Wang, "A Hybrid QR and PIC Detection Scheme Based on MIMO-OFDM Systems," 2009 International Conference on Networks Security, vol. 2, pp. 48-51, April 2009.