

개선된 LR 신호 검출기법을 이용한 초고속 무선 시스템의 성능분석

정회원 백 주 기*

Performance Analysis of High Speed Wireless Systems using Improved LR Detection Method

Joo-Gi Beak* *Regular Member*

요 약

유비쿼터스 컴퓨팅 기술이 주목을 받게 되면서 초고속 통신의 필요성이 대두되고 있는 MIMO-OFDM 신호 검출기법 중 기존의 복잡도가 낮은 기법으로 알려진 LR신호 검출기법을 개선시켜 Ordered DFE, QRD-M방식과 비교하여 그 결과를 제시하였다.

그 결과 고속의 전송(600Mbps)을 요구하는 시스템에서는 Ordered DFE 보다는 성능이 우수하고, QRD-M 방식보다는 낮은 특성을 보였다. 하지만 240Mbps 저속의 경우에는 $V=8$ 일 때 $E_b/N_0 = 30\text{dB}$ 에서 10^{-6} 의 BER 특성(16-QAM)을 만족함을 보였다.

Key Words : OFDM, MIMO, LR, QRM-D, Wireless LAN

ABSTRACT

Ubiquitous computing technology, paying attention as high-speed communications, the need for emerging MIMO-OFDM signal detection method of the existing complexity of the low technique known as the LR signal detection method improves Ordered DFE, QRD-M method and by comparing its results presented.

As a result, the transmission of high-speed (600Mbps), rather than systems that require excellent performance and the Ordered DFE, QRD-M system was lower than that characteristic. In the case of a low-speed 240Mbps, but when the $E_b / N_0 = 30\text{dB}$ BER characteristics of the 10^{-6} (16-QAM) and were satisfied.

I. 서 론

유비쿼터스 컴퓨팅 기술이 주목을 받게 되면서 무선을 이용한 다양한 통신방식들과 서비스들이 제안되어 사용되고 있으며 고품질, 고품질의 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 증가하면서 이를 위한 초고속 통신의 필요성이 대두되고 있다. 이의 요구에 위한 기술이 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 시스템이다. MIMO 기술은 각 안테나에서 독립적인 신호를

동시에 전송함으로써 시스템의 대역폭을 증가시키지 않고 보다 고속의 데이터를 전송할 수 있는 공간다중화 기술^[1]과 복수의 송신안테나에서 같은 신호를 인코딩한 후 전송하여 수신신호의 품질을 향상시키는 다이버시티 기술^[2]로 구분된다. MIMO 기술은 다중경로 채널을 통과한 신호를 수신할 경우 단일 반송파 방식에서는 수신단에서 주파수 선택적 채널의 영향을 받기 때문에 이를 극복하기 위해서 수신기의 복잡도가 크게 증가하는 반면 OFDM(Orthogonal Frequency

* 인천대학교 전자공학과(b1j2k3@chol.com)

논문번호 : 12011-0330, 접수일자 : 2012년 03월 30일, 수정일자 : 2012년 4월 30일, 게재확정일자 : 2012년 5월 22일

Division Multiplexing) 방식에서는 CP(Cyclic Prefix)를 이용하여 다중경로 채널에 의한 영향을 효과적으로 극복할 수 있으므로 효율적인 고속전송이 가능하다.

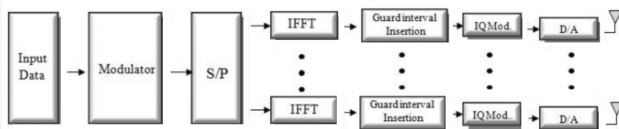
MIMO와 OFDM기법을 결합하여 초고속 무선랜 IEEE 802.11n 에서도 고속의 가입자 전송속도(200~600MHz)를 제공하기위한 MIMO-OFDM시스템을 적용한다. MIMO-OFDM시스템은 송수신단에서 다중안테나를 적용하여 전송률과 신뢰성을 크게 높을 수 있지만 수신단에서 수신되는 신호는 모든 전송안테나에서 전송된 신호가 더해진 형태로 수신되기 때문에 검출과정에서 많은 에러를 포함하게 된다. 이것이 MIMO-OFDM시스템의 가장 큰 단점이다. 이런 단점을 해결하기 위해서 다양한 형태의 신호검출기법이 제안되었다¹⁻³⁾.

그중 대표적인 LR(Lattice Reduction) 검출기법은 간단한 검출기법으로 알려져 있으나 가장 큰 단점으로 첫 번째 검출되는 심볼이 남아 있는 모든 심볼에 영향을 미치게 된다. .

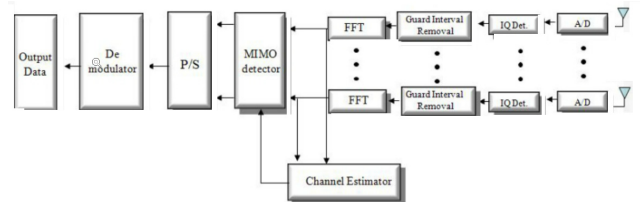
본 논문에서는 기존의 LR신호 검출기법을 개선시켜 기존의 기술에 비해 낮은 복잡도와 상대적으로 우수한 성능을 갖도록 하는 기법을 제안한다. 이에 대한 결과를 확인하기 위해 기존 기법과 BER특성을 비교하여 그 결과를 제시한다.

II. MIMO-OFDM의 시스템 모델

MIMO-OFDM 시스템은 다수의 송수신 안테나를 사용하는 무선통신 시스템이다. 광대역 무선채널은 주파수 선택적 특성을 가지고 있다. 그러나 MIMO 신호 검출기법은 협대역의 페이딩을 가정하기 때문에 다중경로 채널을 통과한 신호를 수신할 경우 단일 반송파 방식에서는 수신단에서 주파수 선택적 채널의 영향을 극복하기 위해 수신기의 복잡도가 크게 증가한다. 그러나 OFDM 시스템에서는 광대역의 주파수 선택적 채널을 여러개의 병렬 서브 채널로 변환하여 각 서브 캐리어들을 협대역 페이딩을 겪기 때문에 MIMO 알고리즘을 적용하기 쉬운 장점이 있다. 따라서 MIMO 기술과 OFDM 시스템을 결합하여 효율적으로 다중안테나 전송을 할 수 있다.



(a) IEEE 802.11n MIMO-OFDM 송신기



(b) IEEE 802.11n MIMO-OFDM 수신기

그림 1. MIMO-OFDM 시스템 모델

Fig. 1. System model for MIMO-OFDM system

본 논문에서는 다음과 같이 송신 안테나가 n_T 개이고 수신안테나가 n_R 개인 MIMO 채널을 가정한다. 송신신호벡터가 $\mathbf{x}=[x_1, \dots, x_{n_T}]^T$ 이고 수신신호벡터가 $\mathbf{y}=[y_1, \dots, y_{n_R}]^T$ 이고 주파수 영역에서 MIMO 채널이 \mathbf{H} 일 때 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{y} = \mathbf{H} \mathbf{x} + \mathbf{n} \quad (3)$$

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & \dots & h_{1,n_T} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n_R,1} & \dots & h_{n_R,n_T} \end{bmatrix} = [\mathbf{h}_1 \mathbf{h}_2 \dots \mathbf{h}_{n_T}] \quad (4)$$

이 때 \mathbf{H} 는 $n_R \times n_T$ 의 채널행렬이며 $h_{i,j}$ 는 j 번째 송신안테나와 i 번째 수신안테나 사이의 채널 계수이다.

III. LR 신호 검출기법

MIMO-OFDM 시스템의 가장 핵심적인 문제는 신호를 얼마나 잘 검출해 에러를 줄이는 것이다. 높은 성능을 얻기 위해서는 수신신호의 검출절차를 위해 많은 dustgks 을 요구하는 반면 검출절차가 간단한 검출방식은 성능의 열화가 크기 때문에 MIMO-OFDM의 가장 큰 단점으로 작용한다.

선형 검출기법 중 가장 간단한 방법은 선형 ZF(Zero Forcing) 검출방법이다. 선형 ZF 검출방법은 단순히 추정된 채널의 역행렬을 수신된 신호에 곱해서 송신된 신호를 추정하는 방식이다⁴⁾. 선형 ZF방법을 구현하기 위해서는 우선 다음과 같이 Moore-Penrose 의사 역행렬을 계산해야 한다. 하지만 성능이 매우 낮은 특성을 가지고 있다.

$$G_{ZF} = \mathbf{H}^+(k) = (\mathbf{H}(k)^H \mathbf{H}(k))^{-1} \mathbf{H}(k)^H \quad (5)$$

QR 분해를 이용한 신호검출기법은 QR 분해의 특성을 이용한 신호검출기법이다⁵⁾. DEF 검출기법은 감산형 검출기법중 하나로 순환적인 채널의 역행렬계산으로 인해 계산 복잡도가 크게 증가한다. 채널을 QR 분해를 통해 분해하면 정규직교행렬인 Q행렬과 상삼각행렬인 R행렬로 나누어 진다. QR 분해를 바탕으로 신호를 검출하는 QRD-M 검출기법은 매우 우수한 검출성능을 갖지만 기본적인 검출구조가 나무구조로 구성되어 있기 때문에 변조레벨이나 전송안테나의 수가 증가할수록 검출 복잡도가 크게 증가하는 단점이 있다⁶⁾.

LD 신호검출기법은 Lattice 의 좋은 기저를 찾는 기법으로 Lenstra-Lenstra-Lovasz과 같은 알고리즘을 이용하여 채널 행렬의 조건 수(Condition number)를 감소시킨다⁷⁾. 직교 기저 혹은 직교에 가까운 기저를 찾음으로써 조건수를 감소시킨다. 또한 LD를 수행하여 얻은 새로운 가상 채널 행렬을 이용하여 선형 및 비선형 검출기법을 수행하면 잡음을 줄일 수 있다.

LD 절차에 의해 얻어진 변형된 $R(k)$ 을 $R(k)_{REDUCED}$ 라 하면 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$R(k)_{OUT} = R(k)_{REDUCED}T(k)_{OUT} \quad (6)$$

이러한 LD기법은 다양한 검출기법들과 결합이 가능하다. 선형 ZF를 적용하여 \hat{X} 를 구할 수 있다.

$$\hat{X} = (R(k)_{REDUCED}^H R(k)_{REDUCED} I)^{-1} R(k)_{REDUCED}^H \tilde{Y}(k) \quad (7)$$

제안한 LR검출기법은 가장 처음으로 검출되는 신호가 바로 다음으로 검출되는 신호부터 마지막으로 검출되는 신호까지 전체적으로 영향을 미치게 되므로 먼저 검출되는 신호가 정확하게 검출되는 것이 매우 중요하므로 이러한 점을 보완하기 위해 본 논문에서는 처음으로 검출되는 심볼을 V 개 검출하고 그에 따라 나머지 심볼들은 LD검출기법을 사용하여 전체적으로 v 개의 신호열을 검출한 후 마지막으로 ML 검사를 통해 최종 신호를 선택한다.

연산방법은 다음 식과 같으며 이 식에서 $\hat{X}(k)$ 에 V 개의 신호열을 대입하여 에러값이 가장 작은 신호열을 선택한다.

$$\begin{bmatrix} Y(k)_1 \\ Y(k)_2 \\ \vdots \\ Y(k)_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H(k)_{1,1} \cdots H(k)_{1,M} \\ H(k)_{2,1} \cdots H(k)_{2,M} \\ \vdots \quad \ddots \quad \vdots \\ H(k)_{N,1} \cdots H(k)_{N,M} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{X}(k)_1^{(v)} \\ \hat{X}(k)_2^{(v)} \\ \vdots \\ \hat{X}(k)_M^{(v)} \end{bmatrix} \quad (7)$$

IV. 모의시험 결과 및 평가

IEEE 802.11n 시스템에 송수신안테나가 4개인 MIMO시스템과 일반적인 Rayleigh 채널을 고려하여 랜덤신호를 발생시키고 path가 7인 Rayleigh 채널을 통과한 후 잡음이 더해져 수신된 신호를 제안된 기법을 통해 검출하는 형태의 모의실험을 통해 얻은 결과는 다음 그림과 같다.

그림 1은 IEEE 802.1n 600Mbps환경에서 BER성능을 비교한 결과이다.

제안된 LR 신호검출방법은 Eb/No값이 24dB이하 일 때에는 Ordered DEF방법보다 BER성능이 낮았지만 24dB 이상일 때에는 역전되어 성능이 향상됨을 확인할 수 있다. 제안한 LR 신호검출 방법은 기존의 LR 신호검출 방법보다 Eb/No값이 18dB이하일 때에는 유사한 특성을 보였으나 18dB이상으로 높을 때에는 BER의 성능이 훨씬 우수하였다.

이는 첫 번째 검출신호를 여러개의 후보 신호를 두어 검출하였기 때문에 기본 LR 검출방식보다 성능이 더 좋은 결과를 얻었다. Order DFE방법과 비교하면 제안한 LR검출방법은 Eb/No값이 22dB이하에서는 낮은 성능을 보였지만 22dB이상에서는 성능이 역전되어 좋은 성능을 얻었다. 하지만 QRD-M 방법과 비교하면 BER성능이 차이가 나지만 Eb/No값이 높아질수록 유사한 특성을 보일 것으로 예상된다.

그림 2는 240Mbps로 전송하는 시스템에서 V 개수에 따른 성능을 보인 것이다. IEEE 802.11n에서 240Mbps는 16-QAM을 사용한다.

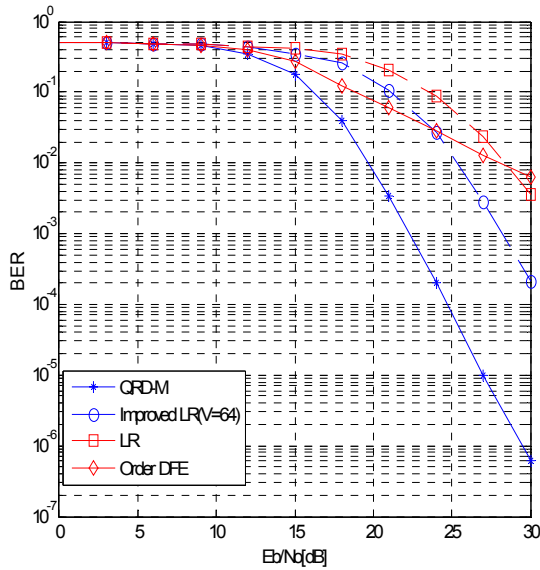


그림 1. 개선된 LR 신호검출기의 성능비교
Fig 1. Performance compare analysis of Improved LR Signal Detector

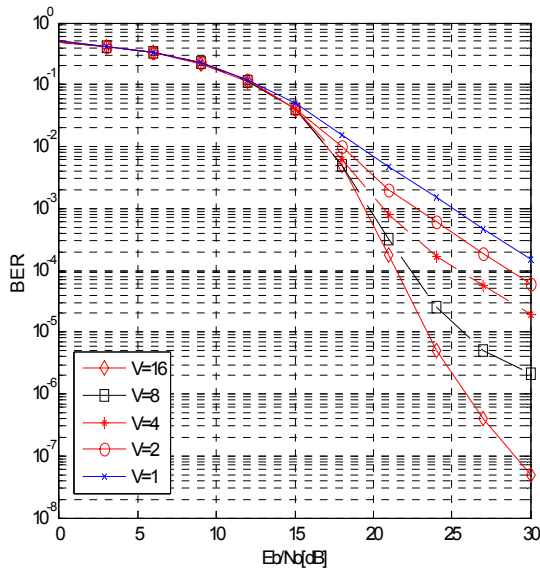


그림 2. V개수에 따른 개선된 LR신호검출기의 성능비교 분석
Fig 2. Performance compare analysis of Improved LR Signal Detector for V number

E_b/N_0 값이 30dB, BER이 10^{-5} 을 요구하는 시스템 일 경우에는 제안한 LR 신호검출기법 E_b/N_0 값이 $V=8$ 일 때 26dB정도로 이를 만족하므로 사용할 수 있다. 하지만 E_b/N_0 값이 30dB, BER이 10^{-6} 을 요구하는 시스템일 경우에는 제안한 LR 신호검출기법 E_b/N_0 값이 $V=8$ 일 때 이를 만족하지 못하였지만 $V=16$ 으로 한다면 이를 만족하므로 사용할 수 있다.

LR신호검출기법은 복잡도가 매우 낮은 기법으로 QRD-M 기법보다는 성능이 낮지만 V 의 최적값을 채널의 상태를 이용하여 적절한 선택을 하면 복잡도를 줄이면서 높은 성능을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.

V. 결 론

유비쿼터스 컴퓨팅 기술이 주목을 받게 되면서 초고속 통신의 필요성이 대두되고 있다. MIMO기술은 송신단의 다중 안테나를 통해 각각 다른 신호를 전송하는 것이 가능하기 때문에 이론적으로는 단일 안테나를 사용하는 무선통신에 비해 안테나의 배수만큼 전송률을 증가시키는 것이 가능하다. 하지만 수신단에서 수신한 신호는 모든 안테나에서 전송된 신호가 더해진 형태로 수신되기 때문에 각 신호들의 간섭에 의한 영향으로 인해 수신 성능이 크게 감소하게 되어 이론적인 전송률에 크게 못미친다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 많은 수신신호 검출기법이 제안되어 있지만 제안된 기법들은 복잡도가 매우 높거나 검출성능이 매우 낮아 실제 시스템 구현에 사용되는 것이 어려운 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 신호검출기법중 복잡한 신호검출기법보다는 현재의 채널환경은 질이 좋은 채널로 발전하고 있으므로 성능보다는 복잡도나 경제성을 고려하여 보다 간단한 신호검출기법을 개선할 필요성이 부각되어 기존의 복잡도가 낮은 기법으로 알려진 LR신호 검출기법을 개선시켜 Ordered DFE, QRD-M방식과 비교하여 그 결과를 제시하였다.

그 결과 고속의 전송(600Mbps)을 요구하는 시스템에서는 Ordered DFE 보다는 성능이 우수하고, QRD-M 방식보다는 낮은 특성을 보였다. 하지만 240Mbps 저속의 경우에는 $V=8$ 일 때 $E_b/N_0 = 30$ dB에서 10^{-6} 의 BER 특성(16-QAM)을 만족함을 보였다. 따라서 제안한 LR 신호검출기법은 채널의 특성에 따라 V 의 개수를 선택하여 적용한다면 시스템의 복잡도를 낮추면서 성능을 유지할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] V. P. Tran and A. Sibille, " Spatial Multiplexing in UWB MIMO

- Communications”, *Electronic Lett.*, vol. 42, no. 16, pp. 931-932, August 2006
- [2] Lucian Ahumada, “Improving MIMO Capacity with Directive Antennas for Outdoor-Indoor Scenarios”, *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol 8, no. 5, pp. 2177-2181, May 2009
- [3] X. Li and X. Cao, “Low Complexity Signal Detection Algorithm for MIMO-OFDM Systems”, *Electronics lett.*, vol. 41, no. 2, pp. 83-85, January 2005
- [4] C. Wang, Au. E.K.S, Murch. R.D, Qai Ho Mow, C.R.S., “On the Performance of the MIMO Zero-Forcing Receiver in the Presence of Channel Estimation Error”, *IEEE Trans., Commun.*, vol.6, no.5, pp.805-810, March, 2007
- [5] X. Li and X. Cao, “Low Complexity Signal Detection Algorithm for MIMO-OFDM Systems”, *Electronics lett.*, vol.41, no.2, pp.83-85, January, 2005
- [6] Vetter. H, Ponnampalam. V, Sandell. M, Hoehner. P. A, “Fixed Complexity LLL Algorithm”, *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 57, no. 7, pp. 1634-1637, April, 2009
- [7] Y. H. Gan, C. Ling, and W. H. Mow, “Complex Lattice Reduction Algorithm for Low-Complexity Full-Diversity MIMO Detection”, *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 57, no. 7, pp.2701-2710, July, 2009.

백 주 기 (Joo-Gi Beak)

정회원

<한국통신학회 논문지, vol.36, no.12, 2011 참고>