

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2012-0045606 (43) 공개일자 2012년05월09일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) H04B 7/08 (2006.01) H04L 27/38 (2006.01) (21) 출원번호 10-2010-0107244 (22) 출원일자 2010년10월29일 심사청구일자 2010년10월29일		(71) 출원인 세종대학교산학협력단 서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교) (72) 발명자 백정인 서울특별시 강남구 논현동 188번지 201호 이훈희 서울특별시 동작구 동작대로33길 68 (사당동) (74) 대리인 특허법인태백
전체 청구항 수 : 총 6 항		

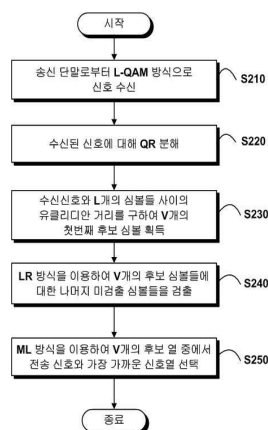
(54) 발명의 명칭 L R을 이용한 MIMO 시스템의 신호 검출 방법 및 그 장치

(57) 요약

본 발명은 LR을 이용한 MIMO 시스템의 신호 검출 방법 및 그 장치에 관한 것이다. 본 발명에 따른 LR을 이용한 MIMO 시스템의 신호 검출 방법은, 다중 안테나를 가지는 송신 단말로부터 L-QAM 방식으로 신호를 수신하는 단계, 상기 수신 신호를 QR 분해하여 정규직교행렬 성분을 제거하는 단계, 상기 수신 신호와 상기 L-QAM 방식으로 전송되는 L개의 심볼과의 유클리드 거리를 구하는 단계, 상기 유클리드 거리가 짧은 V개의 후보 심볼을 첫번째 후보 심볼로 선택하는 단계, LR(lattice reduction) 방식을 이용하여 상기 V개의 후보 심볼 각각과 후보 열을 이루는 나머지 미검출 심볼들을 검출하는 단계, 그리고 ML(maximum likelihood) 방식을 이용하여 상기 V개의 후보 열들 중에서 전송 신호와 가장 가까운 신호열을 선택하는 단계를 포함한다.

이와 같이 본 발명에 따르면 MIMO 시스템에 있어서, 전송되는 신호의 첫번째 V개의 후보 심볼을 정하고, 그에 따른 나머지 심볼들을 LLL 알고리즘을 통해 채널의 condition number를 줄이고 수정된 채널을 가지고 신호를 검출함으로써, 기존의 LLL 알고리즘을 통한 기본적인 검출 기법보다 비트오율이 훨씬 향상되고 정확하게 송신 신호를 검출할 수 있다.

대 표 도 - 도2



(72) 발명자

송형규

경기도 성남시 분당구 중앙공원로 17, 320동 303호
(서현동, 한양아파트)

유영환

서울특별시 송파구 동남로 193, 쌍용아파트 101동
1501호 (가락동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10C2-C2-10M

부처명 지식경제부

연구사업명 21세기 프론티어 개발사업

연구과제명 상황적응 협업통신 기반 Scale-free uPAN 커뮤니티 네트워크 개발

주관기관 세종대학교

연구기간 2010.01.01 ~ 2010.12.31

특허청구의 범위

청구항 1

다중 안테나를 가지는 송신 단말로부터 L-QAM 방식으로 신호를 수신하는 단계,

상기 수신 신호를 QR 분해하여 정규직교행렬 성분을 제거하는 단계,

상기 수신 신호와 상기 L-QAM 방식으로 전송되는 L개의 심볼과의 유클리드 거리를 구하는 단계,

상기 유클리드 거리가 짧은 V개의 후보 심볼을 첫번째 후보 심볼로 선택하는 단계,

LR(lattice reduction) 방식을 이용하여 상기 V개의 후보 심볼 각각과 후보 열을 이루는 나머지 미검출 심볼들을 검출하는 단계, 그리고

ML(maximum likelihood) 방식을 이용하여 상기 V개의 후보 열들 중에서 전송 신호와 가장 가까운 신호열을 선택하는 단계를 포함하는 LR을 이용한 MIMO 시스템의 신호 검출 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 LR 방식을 이용하여 상기 V개의 후보 심볼들에 대한 나머지 미검출 심볼들을 검출하는 단계에서,

상기 V개의 후보 열들에 대한 나머지 미검출 심볼($\tilde{z}_n$)을 다음의 수학식을 이용하여 검출하는 LR을 이용한 MIMO 시스템의 신호 검출 방법:

$$\hat{Z}(k)_k = Z(k)_k - r(k)_{MM} \times X(k)_1^{(1)} \quad (\text{where } 1 \leq k \leq M-1)$$

Z(k)는 정규직교행렬 성분이 제거된 수신신호이고, r(k)은 상기 QR 분해를 위한 상삼각 행렬이고, X(k)는 상기 후보 심볼이다.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 ML 방식을 이용하여 상기 V개의 후보 열들 중에서 전송 신호와 가장 가까운 신호열을 선택하는 단계에서,

상기 ML 방식은 다음의 수학식을 이용하는 LR을 이용한 MIMO 시스템의 신호 검출 방법:

$$\hat{X}(k)_{final} = \underset{\hat{X}(k)^{(v)}}{\operatorname{argmin}} \|Y(k) - H(k) \cdot \hat{X}(k)^{(v)}\|$$

상기 $\hat{x}^{(m)}$ 은 최종적으로 선택된 상기 V개의 후보 열들이고, y는 상기 수신 신호이다.

청구항 4

다중 안테나를 가지는 송신 단말로부터 L-QAM 방식으로 신호를 수신하는 신호 수신부,

상기 수신 신호를 QR 분해하여 정규직교행렬 성분을 제거하는 QR 분해부,

상기 수신 신호와 상기 L-QAM 방식으로 전송되는 L개의 심볼과의 유클리드 거리를 구하고, 상기 유클리드 거리가 짧은 V개의 후보 심볼을 첫번째 후보 심볼로 선택하는 후보 심볼 검출부,

LR(lattice reduction) 방식을 이용하여 상기 V개의 후보 심볼 각각과 후보 열을 이루는 나머지 미검출 심볼들을 검출하는 LR 검출부, 그리고

ML(maximum likelihood) 방식을 이용하여 상기 V개의 후보 열들 중에서 전송 신호와 가장 가까운 신호열을 선택

하는 ML 검출부를 포함하는 LR을 이용한 MIMO 시스템의 신호 검출 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 LR 검출부는,

상기 V개의 후보 열들에 대한 나머지 미검출 심볼($\tilde{z}_n$)을 다음의 수학적식을 이용하여 검출하는 LR을 이용한 MIMO 시스템의 신호 검출 장치:

$$\hat{Z}(k)_k = Z(k)_k - r(k)_{MM} \times X(k)_1^{(1)} \quad (\text{where } 1 \leq k \leq M-1)$$

Z(k)는 정규직교행렬 성분이 제거된 수신신호이고, r(k)은 상기 QR 분해를 위한 상삼각 행렬이고, X(k)는 상기 후보 심볼이다.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 ML 검출부는,

다음의 수학적식을 이용하여 상기 V개의 후보 열들 중에서 전송 신호와 가장 가까운 신호열을 선택하는 LR을 이용한 MIMO 시스템의 신호 검출 장치:

$$\hat{X}(k)_{final} = \underset{\hat{X}(k)^{(v)}}{\operatorname{argmin}} \|Y(k) - H(k) \cdot \hat{X}(k)^{(v)}\|$$

상기 $\hat{x}^{(m)}$ 은 최종적으로 선택된 상기 V개의 후보 열들이고, y는 상기 수신 신호이다.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 LR을 이용한 MIMO 시스템의 신호 검출 방법 및 그 장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 다중 전송 안테나를 통해 전송된 신호를 보다 낮은 복잡도와 높은 정확성을 가진 상태에서 검출할 수 있는 MIMO 시스템의 신호 검출 방법 및 그 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 최근 무선 통신 환경에서 고속 데이터 전송이 요구되면서 다중안테나를 사용하는 차세대 무선 시스템 전송 기술인 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 방식의 관심이 늘어나고 있다. 특히 V-BLAST(vertical Bell Lab Layered space time) 기법은 전송률을 크게 높일 수 있어 많은 초고속 통신에 적용되고 있다. V-BLAST 기법을 사용하는 MIMO 시스템에서는 낮은 복잡도를 지니며 성능이 우수한 적절한 신호검출 기법을 찾아 선택하는 것이 중요하다.

[0003] 이에 따라 MIMO 신호 검출 기법도 현재 활발하게 연구되고 있다. ZF(zero-forcing), MMSE(Minimum Mean Square Error)와 선형 검출 방법은 낮은 복잡도로 전송된 신호를 검출할 수 있는 잘 알려진 방법이다.

[0004] 하지만 선형 검출 방법은 많은 성능저하를 가질 뿐만 아니라, 복잡도가 송신안테나와 변조 방식의 레벨이 늘어날수록 크게 증가하여 높은 복잡도로 인해 현실적으로 사용하기에는 비용이 많이 든다.

[0005] 특히, 일반적인 MIMO 선형검출 기법 및 선형검출 기법을 기반으로 하는 OSIC(Ordered Successive Interference Cancellation) 기법에서는 선형검출 과정에서 잡음 증폭에 의해 성능열화가 초래된다. 채널 이득행렬의 condition number이 크면 가중치를 수신신호에 곱하는 과정에서 잡음이 크게 증폭되기 때문이다.

[0006] 따라서 선형 검출 방법의 성능을 극복하기 위해 LR (lattice reduction) 기반 검출 방법이 제안되었다. LR 기반 검출 방법은 추가적인 낮은 복잡도로 선형 검출 방법의 성능을 상당히 증가시킬 수 있지만 여전히 최적의 성능을 지니지는 못한다.

[0007] LR 기반 검출기법은 첫 번째로 검출되는 신호가 정확하게 검출되는 것이 매우 중요하다. 왜냐하면 가장 처음으로 검출되는 신호가 바로 다음으로 검출되는 신호부터 마지막으로 검출되는 신호까지 전체적으로 영향을 미치게 되기 때문이다. 따라서 이런 문제점을 보완 할 수 있는 검출 기법이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 따라서 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 MIMO 시스템에 있어서 다중 전송안테나를 통해 전송된 신호 중에서 첫번째 신호를 정확하게 검출할 수 있는 LR을 이용한 MIMO 시스템의 신호 검출 방법 및 그 장치를 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 이러한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 한 실시예에 따른 LR을 이용한 MIMO 시스템의 신호 검출 방법은, 다중 안테나를 가지는 송신 단말로부터 L-QAM 방식으로 신호를 수신하는 단계, 상기 수신 신호를 QR 분해하여 정규직교행렬 성분을 제거하는 단계, 상기 수신 신호와 상기 L-QAM 방식으로 전송되는 L개의 심볼과의 유클리드 거리를 구하는 단계, 상기 유클리드 거리가 짧은 V개의 후보 심볼을 첫번째 후보 심볼로 선택하는 단계, LR(lattice reduction) 방식을 이용하여 상기 V개의 후보 심볼 각각과 후보 열을 이루는 나머지 미검출 심볼들을 검출하는 단계, 그리고 ML(maximum likelihood) 방식을 이용하여 상기 V개의 후보 열들 중에서 전송 신호와 가장 가까운 신호열을 선택하는 단계를 포함한다.

[0010] 상기 LR 방식을 이용하여 상기 V개의 후보 심볼들에 대한 나머지 미검출 심볼들을 검출하는 단계에서, 상기 V개의 후보 열들에 대한 나머지 미검출 심볼($\tilde{z}_n$)을 다음의 수학적식을 이용하여 검출할 수 있다.

$$\hat{Z}(k)_k = Z(k)_k - r(k)_{MM} \times X(k)_1^{(1)} \quad (\text{where } 1 \leq k \leq M-1)$$

[0012] Z(k)는 정규직교행렬 성분이 제거된 수신신호이고, r(k)은 상기 QR 분해를 위한 상삼각 행렬이고, X(k)는 상기 후보 심볼이다.

[0013] 상기 ML 방식을 이용하여 상기 V개의 후보 열들 중에서 전송 신호와 가장 가까운 신호열을 선택하는 단계에서, 상기 ML 방식은 다음의 수학적식을 이용할 수 있다.

$$\hat{X}(k)_{final} = \underset{\hat{X}(k)^{(v)}}{\operatorname{argmin}} \|Y(k) - H(k) \cdot \hat{X}(k)^{(v)}\|$$

[0015] 상기 $\hat{x}^{(m)}$ 은 최종적으로 선택된 상기 V개의 후보 열들이고, y는 상기 수신 신호이다.

[0016] 본 발명의 한 실시예에 따른 LR을 이용한 MIMO 시스템의 신호 검출 장치는, 다중 안테나를 가지는 송신 단말로부터 L-QAM 방식으로 신호를 수신하는 신호 수신부, 상기 수신 신호를 QR 분해하여 정규직교행렬 성분을 제거하는 QR 분해부, 상기 수신 신호와 상기 L-QAM 방식으로 전송되는 L개의 심볼과의 유클리드 거리를 구하고, 상기 유클리드 거리가 짧은 V개의 후보 심볼을 첫번째 후보 심볼로 선택하는 후보 심볼 검출부, LR(lattice reduction) 방식을 이용하여 상기 V개의 후보 심볼 각각과 후보 열을 이루는 나머지 미검출 심볼들을 검출하는 LR 검출부, 그리고 ML(maximum likelihood) 방식을 이용하여 상기 V개의 후보 열들 중에서 전송 신호와 가장 가까운 신호열을 선택하는 ML 검출부를 포함한다.

발명의 효과

[0017] 이와 같이 본 발명에 따르면 LR을 이용한 MIMO 시스템에 있어서, 전송되는 신호의 첫번째 V개의 후보 심볼을 정

하고, 그에 따른 나머지 심볼들을 LLL 알고리즘을 통해 채널의 condition number를 줄이고 수정된 채널을 가지고 신호를 검출함으로써, 기존의 LLL 알고리즘을 통한 기본적인 검출 기법보다 비트오율이 훨씬 향상되고 정확하게 송신 신호를 검출할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0018] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 MIMO 방식의 통신 시스템을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2은 본 발명의 실시예에 따른 수신 단말의 신호 검출 방법을 설명하기 위한 순서도이다.
- 도 3는 본 발명의 실시예에 따른 수신 단말의 신호 검출 과정을 나타낸 도면이다.
- 도 4은 본 발명의 실시예에서 M=4일 때의 비트 에러율 결과를 나타낸 그래프이다.
- 도 5는 본 발명의 실시예에서 M=16일 때의 비트 에러율 결과를 나타낸 그래프이다.
- 도 6는 본 발명의 실시예에서 후보 심볼의 개수에 따른 비트 에러율 결과를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명이 속한 분야의 통상의 지식을 가진 자에게는 아래와 같은 본 발명에 따른 동작을 심볼을 사용하여 실시한 설명을 참조하여 프레임 단위로 확장하는 것은 용이하게 이해할 수 있는 내용이므로 이에 대한 별도의 설명은 생략한다.
- [0020] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 MIMO 방식의 통신 시스템을 설명하기 위한 도면이다.
- [0021] 도 1과 같이 송신 단말(100)은 N_t 개의 다중 송신 안테나를 가지며, 수신 단말(200)은 N_r 개의 다중 수신 안테나를 가진다.
- [0022] 본 발명의 실시예에 따른 수신 단말(200)은 신호 검출 장치로서, 그 구성을 더욱 상세하게 살펴보면, 수신 단말(200)은 신호 수신부(210), QR 분해부(220), 후보 심볼 검출부(230), LR 검출부(240) 및 ML 검출부(250)를 포함한다.
- [0023] 신호 수신부(210)는 다중 안테나를 가지는 송신 단말로부터 L-QAM 방식으로 신호를 수신한다. L-QAM 방식에는 QPSK 방식도 포함되는 것은 자명하다.
- [0024] QR 분해부(220)는 수신 신호를 QR 분해하여 정규직교행렬 성분(Q 성분)을 제거한다. 후보 심볼 검출부(230)는 수신 신호와 L-QAM 방식으로 전송되는 L개의 심볼과의 유클리드 거리를 구하고, 상기 유클리드 거리가 짧은 V개의 후보 심볼을 첫번째 후보 심볼로 선택한다.
- [0025] LR 검출부(240)는 LR(lattice reduction) 방식을 이용하여 상기 V개의 후보 심볼 각각과 후보 열을 이루는 나머지 미검출 심볼들을 검출한다. ML 검출부(250)는 ML(maximum likelihood) 방식을 이용하여 V개의 후보 열들 중에서 전송 신호와 가장 가까운 신호열을 선택한다.
- [0026] 본 발명의 실시예에 대하여 설명하기 전에, 이하에서는 본 발명의 실시예에 적용되는 LR 기반 검출 방법에 대하여 먼저 설명한다.
- [0027] LR(Lattice reduction) 검출 방법은 lattice의 좋은 기저를 찾는 방법으로 LLL(Lenstra-Lenstra-Lovasz)과 같은 알고리즘을 이용하여 채널 행렬의 condition number를 감소시킨다. 따라서 Lattice reduction을 수행하여 얻어진 새로운 가상 채널 행렬을 이용하여 MMSE, OSIC와 같은 선형 및 비선형 검출 기법을 수행하면 잡음 증폭을 크게 줄일 수 있다. 본 발명의 실시예에 따른 LR 검출 방법에서도 채널 행렬 $H(k)$ 의 QR분해를 이용하여 시작한다.

수학식 1

$$Y(k) = H(k)X(k) + Z(k) = Q(k)R(k)X(k) + Z(k)$$

[0028]

[0029] 위 수식 양변에 $Q^H(k)$ 을 곱하면 다음 수학적 2가 유도된다.

수학적 2

$$[0030] \quad \tilde{Y}(k) = Q(k)^H Y(k) = R(k)X(k) + \hat{Z}(k)$$

[0031] 여기서 Q행렬은 unitary 행렬이기 때문에 잡음항의 통계적인 특성은 변하지 않는다.

[0032] 이하에서는 본 발명을 이해하기 위해서 LLL에 관하여 설명한다. 설명의 편의상 4X4 MIMO 시스템을 예로 들어 설명한다.

[0033] 행렬 R(k)가 4X4 인 경우, 우선 $T=I_4$, $b=2$, $l=1$ 로 초기화 하고, $\mu = [R(k)_{(1,b)} / R(k)_{(1,1)}]$ 을 구한다. 만약 $\mu \neq 0$ 이면, 아래의 수학적 3과 수학적 4에 의해 R과 T를 변형한다.

수학적 3

$$[0034] \quad r(k)_{m,b} = r(k)_{m,b} - r(k)_{m,l} \mu_{r,l} \quad m=1, \dots, l$$

수학적 4

$$[0035] \quad t_{i,b} = r(k)_{i,b} - r(k)_{i,l} \mu_{r,l} \quad i=1, 2, \dots, M$$

[0036] 수학적 4로 변형된 행렬 R(k)이 다음의 수학적 5를 만족시키지 못할 경우 $R(k)_{(1,b-1)}$ 과 $R(k)_{(1,b)}$ 의 위치를 교환하고, 행렬 R이 상삼각행렬(upper triangular)을 유지하기 위해 수학적 6을 수행한다.

수학적 5

$$[0037] \quad \delta r_{k-1,k-1}^2 \leq r_{k,k}^2 + r_{k-1,k}^2$$

수학적 6

$$[0038] \quad R(k)_{(b-1:b, b-1:M)} = \Theta(k)_{(b-1:b, b-1:M)}$$

[0039] 여기서 $1/4 \leq \delta \leq 1$, Θ 는 회전행렬 (rotation matrix)로서 수학적 7과 같다.

수학적 7

$$[0040] \quad \Theta = \begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ -\beta & \alpha \end{bmatrix}, \quad \alpha = \frac{R(k)_{(b-1,b-1)}}{\|R(k)_{(b-1:b, b-1)}\|}, \quad \beta = \frac{R(k)_{(b,b-1)}}{\|R(k)_{(b-1:b, b-1)}\|}$$

[0041] 아래의 수학적 8을 만족하는 경우에는 $b=b+1$ 로 증가시키고, 만족시키지 못한 경우에는 $b=b-1$ 로 감소시킨다. 이

과정을 $b=M+1$ 이 될 때까지 반복한다.

수학식 8

$$\delta R(k)_{(b-1, b-1)} > R(k)^{2(b, b)} + R(k)^{2(b, b-1)}$$

[0042]

이하에서는 상기에서 설명한 LR 기반 검출 방법을 이용하는 본 발명의 실시예에 따른 수신 단말의 신호 검출 방법을 도 2 및 도 3를 통하여 설명하도록 한다.

[0043]

도 2은 본 발명의 실시예에 따른 수신 단말의 신호 검출 방법을 설명하기 위한 순서도이고, 도 3는 본 발명의 실시예에 따른 수신 단말의 신호 검출 과정을 나타낸 도면이다.

[0044]

특히 도 3에 대하여 더 자세하게 설명하면 QPSK를 변조 방식으로 사용하고, 송신 안테나가 4개인 시스템에서 후보 심볼이 V개인 LLL알고리즘을 이용한 향상된 검출 기법의 과정을 나타낸다. 첫 단계에서 V개의 후보 심볼을 구하게 되고 나머지 심볼은 LR 기법을 적용해 구하게 된다. 마지막으로 V개의 후보 심볼 열 중에서 ML test를 통해 최종적으로 신호를 검출하게 되는 과정을 나타낸다.

[0045]

즉, 후보심볼 검출부(230)는 송신 신호 중에서 첫번째 V개의 후보 심볼들을 검출하며, LR 검출부(240)는 LR 방법을 통해 나머지 후보 심볼들을 검출한다.

[0046]

먼저 수신 단말(200)의 신호 수신부(210)은 N_t 개의 송신 안테나를 가지는 송신 단말(100)로부터 L-QAM 방식으로 상기 수학식 1과 같은 신호를 수신한다(S210).

[0047]

그리고 검출된 후보 심볼의 수가 V개 정해지면, QR 분해부(210)는 수신된 신호에 대하여 DEF 기법을 통해 QR 분해를 수행한다(S220). 그러면 Q 성분이 제거된 수신 신호 $z(k)$ 는 다음의 수학식 9와 같다.

[0048]

수학식 9

$$\begin{aligned} Z(k) &= Q(k)^H Y(k) = R(k) X(k) + \eta(k) \\ &= \begin{bmatrix} r(k)_{1,1} & r(k)_{1,2} & \dots & r(k)_{1,M} \\ 0 & r(k)_{2,2} & \dots & r(k)_{2,M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & r(k)_{M,M} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X(k)_1 \\ X(k)_2 \\ \vdots \\ X(k)_M \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ \vdots \\ \eta_M \end{bmatrix} \end{aligned}$$

[0049]

여기서 $Z(k) = [Z_1(k) \ Z_2(k) \ \dots \ Z_M(k)]^T$ 이고 $\eta(k) = Q(k)^H W(k) \eta = Q^H W$ 이다.

[0050]

후보심볼 검출부(230)는 첫 번째 layer에서 L개의 심볼을 사용하여 변조를 수행하는 L-QAM 시스템의 L개의 심볼을 모두 후보 심볼로 이용하여 Z_i 과 각 후보 심볼 사이의 square Euclidean 거리를 계산하고, 거리 값이 작은 값부터 아래와 같이 수학식 10처럼 정렬한다.

수학식 10

$$\hat{X}(k)_{candi} = [X_1(k)^{(1)}, \dots, X_1(k)^{(V)} \dots, X(k)_1^{(L)}]$$

[0051]

후보심볼 검출부(230)는 위의 값에서 시스템의 요구에 되는 성능에 맞춰 후보 심볼들을 작은 값부터 V개를 선택한다(S230). 설명의 편의상 다음과 같이 위의 후보 심볼들 중에서 $x_1^{(1)}$ 이 첫 번째 layer에 추정 심볼로 정해졌

[0052]

다고 가정하고 수학식 9에 대입하면 아래와 같은 수식으로 표현된다.

수학식 11

$$\hat{Z}(k) = \begin{bmatrix} r(k)_{1,1} & r(k)_{1,2} & \dots & r(k)_{1,M} \\ 0 & r(k)_{2,2} & \dots & r(k)_{2,M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & r(k)_{M-1,M-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X(k)_1 \\ X(k)_2 \\ \vdots \\ X(k)_M \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta(k)_1 \\ \eta(k)_2 \\ \vdots \\ \eta(k)_M \end{bmatrix}$$

여기서 $\hat{Z}(k) = [\hat{Z}(k)_1, \hat{Z}(k)_2, \dots, \hat{Z}(k)_{M-1}]^T$ 이고 아래의 수학식 12와 같은 과정으로 구한다.

그리고, 아직 검출되지 않은 나머지 심볼들을 검출하기 위해 LR 검출부(240)는 LR(lattice reduction) 검출방법을 수행하여 나머지 심볼들을 검출한다(S240).

수학식 12

$$\hat{Z}(k)_k = Z(k)_k - r(k)_{MM} \times X(k)_1^{(1)} \quad (where \ 1 \leq k \leq M-1)$$

즉, LR 검출부(240)는 선택된 후보 심볼 수 V만큼 수학식 12와 같이 LR 기법을 반복하면 아래의 식과 같이 V개의 송신 추정 심볼의 열을 얻을 수 있다.

수학식 13

$$\hat{X}(k) = [\hat{X}(k)^{(1)}, \dots, \hat{X}(k)^{(v)}, \dots, \hat{X}(k)^{(V)}]$$

마지막으로 ML 검출부(250)는 ML(maximum likelihood) 검출을 통해 V개의 후보 열들을 아래의 수학식 14와 같이 연산하여, 후보 열 가운데 가장 확률의 값이 큰 값을 송신 심볼로 추정하게 된다(S250).

수학식 14

$$P(Y(k) | \hat{X}(k)^{(v)}) = [(Y(k) - H(k) \hat{X}(k)^{(v)})^H (Y(k) - H(k) \hat{X}(k)^{(v)})]$$

그리고 아래의 수학식 15를 통하여 수신신호와 가장 가까운 신호열을 선택한다. ML 검사는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 15

$$\hat{X}(k)_{final} = \underset{\hat{X}(k)^{(v)}}{\operatorname{argmin}} \|Y(k) - H(k) \cdot \hat{X}(k)^{(v)}\|$$

ML검출은 일반적인 ML 검출기법과 달리 검출된 V개의 신호 열만을 이용하여 수행된다. 각각의 연산을 자세히

나타내면 다음 수학식 16과 같다.

수학식 16

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

위의 식의 $\hat{X}(k)$ 에 V개의 신호 열을 대입하여 에러 값이 가장 작은 신호 열을 선택하게 된다. 본 발명에서는 이렇게 선택된 신호인 $\hat{X}(k)_{\text{final}}$ 이 최종적으로 검출된 신호가 된다.

도 4 내지 도 6는 본 발명의 실시예에 따른 성능에 대한 그래프로서, 도 4 및 도 5에서는 비트 에러율을 확인해 볼 수 있다. 모의실험에서 시간 및 주파수 동기, 채널 추정은 완벽하다고 가정하였다. 또한 송신 안테나와 수신 안테나는 4개씩이라고 가정했다.

도 4은 본 발명의 실시예에서 M=4일 때의 비트 에러율 결과를 나타낸 그래프로서, 변조 방식은 QPSK를 이용하였다. 그리고 도 5은 본 발명의 실시예에서 M=16일 때의 비트 에러율 결과를 나타낸 그래프로서, 변조 방식은 QPSK를 이용하였다. 또한 도 5의 그래프를 확인해보면 ordered DFE와 본 발명을 비교 하였을 때, 비트오율 10^{-3} 일 때 5dB정도의 성능 이득이 있다는 사실을 알 수 있다. 도 4 및 도 5을 살펴보면 본 발명의 검출 방법은 기본적인 LR 방식보다 성능이 더 좋다는 것을 알 수 있다. 이는 MIMO 시스템에서 첫 번째 검출 신호의 정확성이 중요하다는 것을 확인시켜준다.

첫 번째 검출 신호를 여러 개의 후보 신호를 두어 검출했기 때문에 기본적인 LR 검출 방식보다 성능이 더 좋게 나타날 수 있었다. ordered DFE와 제안된 신호 검출 방식을 비교 했을 때 ordered DFE는 낮은 SNR에서 제안된 방식보다 성능이 더 좋았지만 일정 SNR 이상일 때에는 성능이 역전된 현상을 볼 수 있다. 이러한 이유는 ordered DFE는 채널의 상태에 따라 재 정렬했기 때문이다. 왜냐하면 ZF 검출 기법을 사용했을 경우에는 낮은 SNR에서 성능이 비슷하기 때문이다.

도 6는 본 발명의 실시예에서 후보 심볼의 개수에 따른 비트 에러율 결과를 나타낸 그래프이다. 변조 방식은 16-QAM을 사용하였으며, 잡음 대 신호비가 20dB이전에는 비트오율이 비슷하지만 20dB후에서는 후보군이 많을수록 성능이 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 발명을 통하여 시스템에 따라서 후보군의 개수를 적절하게 조절한다면 보다 낮은 복잡도로도 기존의 검출 기법보다 좋은 성능을 낼 수 있다.

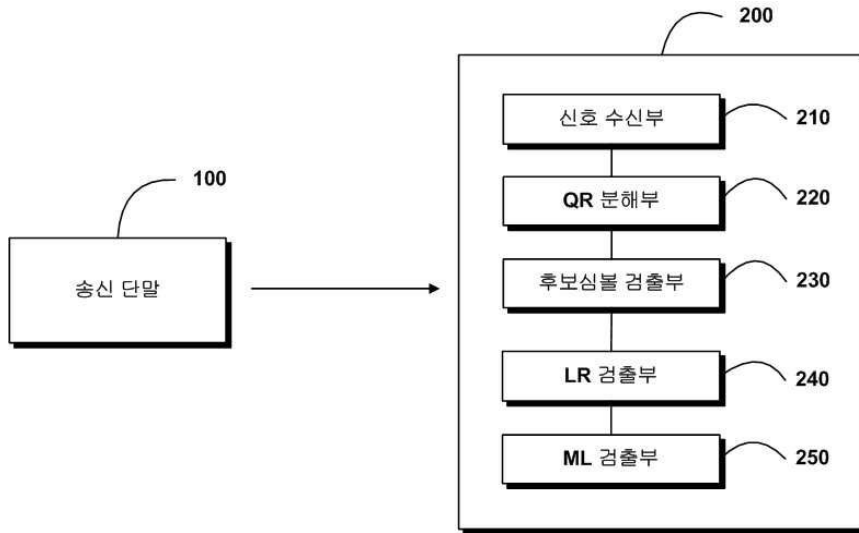
이와 같이 본 발명의 실시예에 따르면 MIMO 시스템에 있어서, 전송되는 신호의 첫번째 V개의 후보 심볼을 정하고, 그에 따른 나머지 심볼들을 LLL 알고리즘을 통해 채널의 condition number를 줄이고 수정된 채널을 가지고 신호를 검출함으로써, 기존의 LLL 알고리즘을 통한 기본적인 검출 기법보다 비트오율이 훨씬 향상되고 정확하게 송신 신호를 검출할 수 있다.

본 발명의 실시예는 다양한 컴퓨터로 구현되는 동작을 수행하기 위한 프로그램 명령을 포함하는 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체를 포함한다. 이 매체는 지금까지 설명한 MIMO 시스템의 신호 검출 방법을 실행시키기 위한 프로그램을 기록한다. 이 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 이러한 매체의 예에는 하드디스크, 플로피디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD 및 DVD와 같은 광기록 매체, 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 자기-광 매체, 롬, 램, 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 구성된 하드웨어 장치 등이 있다. 또는 이러한 매체는 프로그램 명령, 데이터 구조 등을 지정하는 신호를 전송하는 반송파를 포함하는 광 또는 금속선, 도파관 등의 전송 매체일 수 있다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

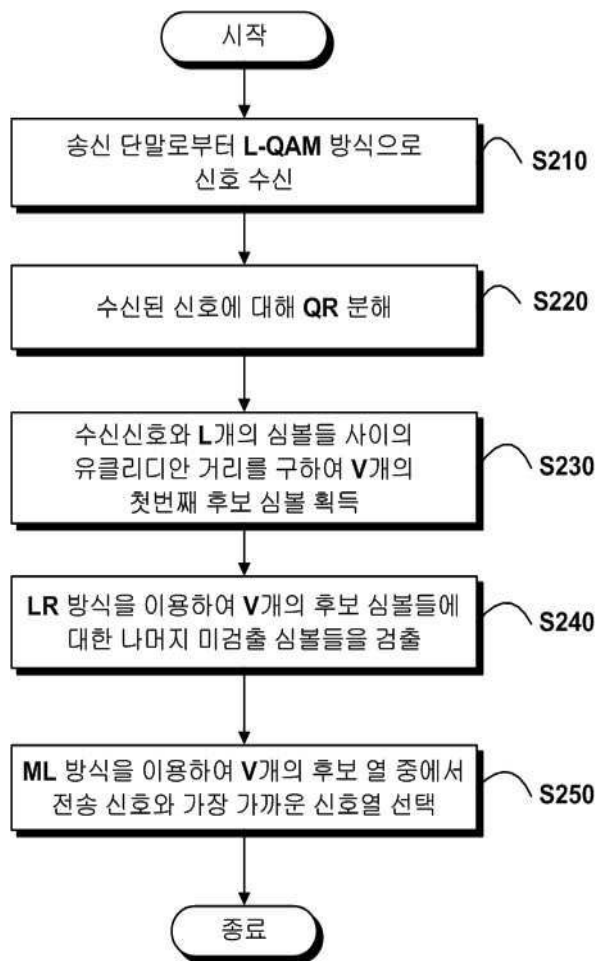
[0072] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

도면

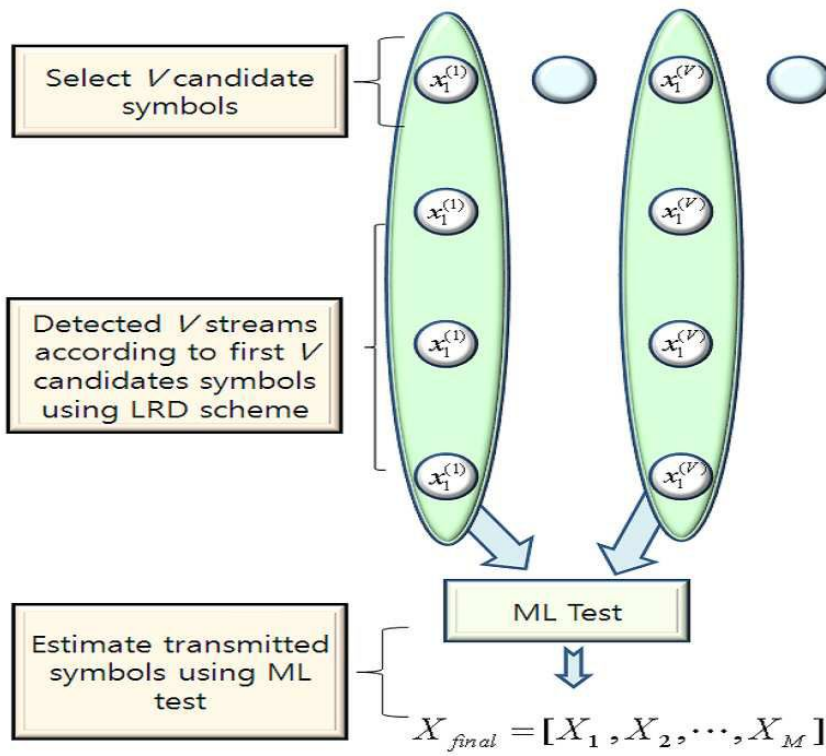
도면1



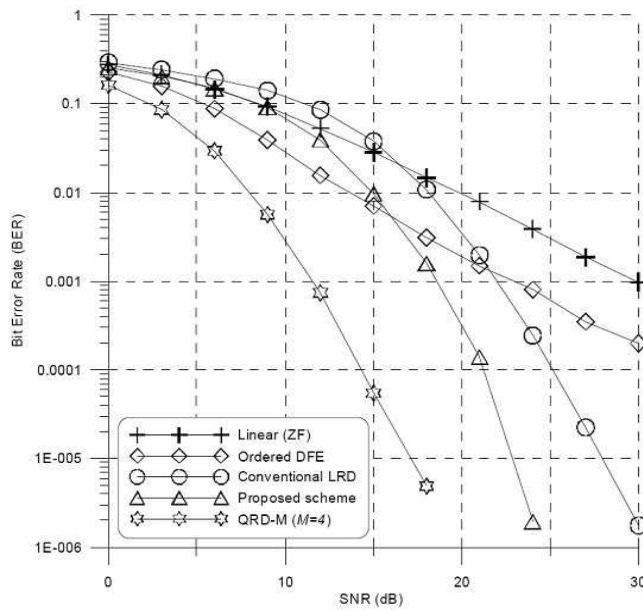
도면2



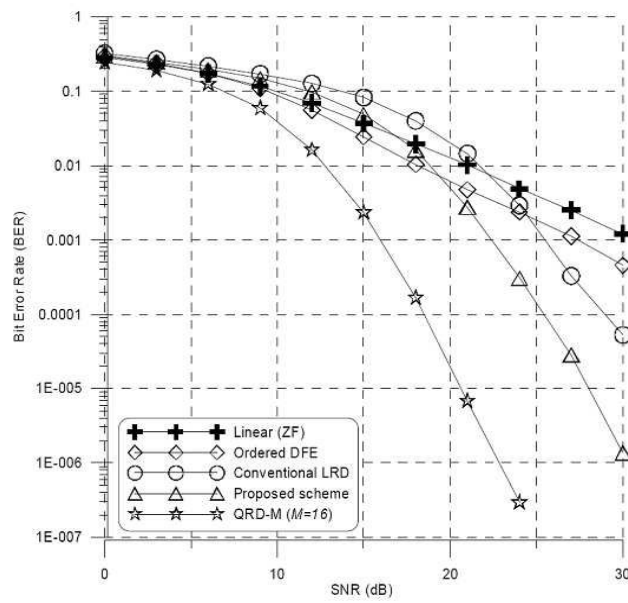
도면3



도면4



도면5



도면6

