



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0004917
(43) 공개일자 2008년01월10일

(51) Int. Cl.

H04L 1/02 (2006.01) H04B 7/04 (2006.01)
H04B 7/02 (2006.01) H04L 27/34 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2006-0063847

(22) 출원일자 2006년07월07일

심사청구일자 2006년07월07일

(71) 출원인

세종대학교산학협력단

서울 광진구 군자동 98 세종대학교

(72) 발명자

백명선

서울 금천구 독산2동 1067-5

유영환

서울 송파구 가락동 140 가락쌍용아파트 101-1501

송형규

경기 성남시 분당구 서현동 한양아파트 320-303

(74) 대리인

리앤목특허법인

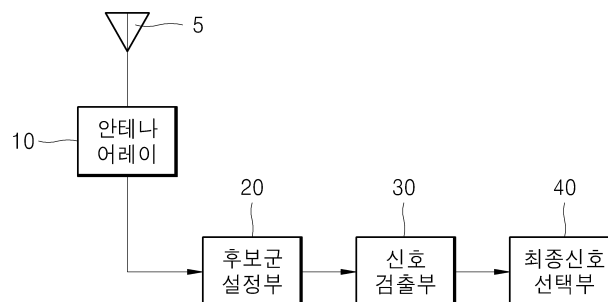
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 다중 송수신 시스템에서의 효율적인 신호 검출장치 및 방법

(57) 요약

다중안테나를 사용하는 무선 통신 시스템에서 효과적인 신호검출 방법이 개시된다. 안테나 어레이는 M개의 전송 안테나와 N개의 수신안테나를 갖는 복수의 안테나단으로 구성되며, 각 전송안테나에서 전송된 신호가 모두 더해진 후 다수의 수신안테나를 통해 수신된다. 후보군 설정부는 다중전송안테나를 통해 수신된 신호를 검출하기 위해 임시로 검출될 후보군의 수 V를 결정한다. 신호 검출부는 후보군 설정부에서 정해진 임시 후보군의 수에 따라 첫 번째로 검출되는 심볼을 V개 검출하고 첫 번째 검출된 심볼을 이용해 나머지 M-1개의 전송신호를 V개씩 검출하여 전체 검출된 신호열이 V개가 되도록 한다. 최종신호 선택부는 maximum likelihood(ML) 검사를 통해 신호 검출부에서 검출된 V개의 신호열 가운데 가장 수신 신호와 가까운 신호열 하나를 선택하여 최종 검출 신호를 결정하게 된다. 본 발명에 따르면, 다중안테나를 사용하는 무선 디지털 통신 시스템에서 복잡도를 크게 줄이면서 최적의 검출방법과 거의 유사한 성능으로 신호를 검출 할 수 있으며, 검출되는 후보군의 수인 V를 조절함으로써 시스템의 복잡도와 검출성능을 조절 할 수 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	10557
부처명	서울특별시
연구사업명	기술기반 구축 사업
연구과제명	차세대 PMP 콘텐츠 산업 클러스터 산업
주관기관	세종대학교 산학협력단
연구기간	2006년 12월 01일 ~ 2007년 11월 30일

특허청구의 범위

청구항 1

복수의 안테나로 구성된 안테나단으로 구성되며, M개의 다중전송 안테나를 통해 전송된 신호를 수신하는 안테나 어레이;

수신된 신호를 검출하기 위해 임시로 검출될 후보군의 수 V를 결정하는 후보군 설정부;

상기 후보군 설정부에서 설정된 후보군의 수 V에 따라 처음으로 검출되는 심볼을 V개 검출하는 제1수단과, 그 이후의 나머지 M-1길이의 검출열을 V개 만큼 검출하여 최종 M의 길이를 갖는 V개의 후보군을 검출하는 제2수단을 갖는 신호 검출부;

검출된 후보군들 가운데 ML(maxim likelihood) 검사를 통해 가장 수신신호와 가까운 신호열 하나를 선택하여 최종 검출신호로서 결정하는 최종신호 선택부를 포함하는 것을 특징으로 하는, 디지털 무선 다중 송수신시스템의 수신신호 검출 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 신호검출부의 제1수단은 아래의 수학식에 따라 처음 검출되는 심볼을 V개 검출하는 것을 특징으로 하는, 디지털 무선 다중 송수신시스템의 수신신호 검출 장치.

$$\hat{s}_M = Q^{(V)}(\tilde{s}_M)$$

여기서 $Q^{(V)}(k)$ 는 k부터 각 심볼 사이의 유클리디안 거리를 측정하여 L-QAM 또는 L-PSK를 이용하는 시스템에서

V(V<L)개의 심볼을 결정하는 결정함수이고 $\tilde{s}_M$ 과 $\hat{s}_M$ 은 채널 성분이 제거된 신호와 $\tilde{s}_M$ 에 따라 V개만큼 결정된 처음으로 검출된 신호를 나타냄.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 신호검출부의 제2수단은 아래의 수학식에 따라, M-1길이의 검출열을 V개 만큼 검출하여 최종 M의 길이를 갖는 V개의 후보군을 검출하는 것을 특징으로 하는, 디지털 무선 다중 송수신시스템의 수신신호 검출 장치.

$$\hat{s}_{M-1}^{(1)} = Q[(z_M - r_{M-1,M} \hat{s}_M^{(1)})/r_{M-1,M-1}], \dots$$

$$\hat{s}_1^{(1)} = Q[(z_1 - \sum_{i=2}^M r_{1,i} \hat{s}_i^{(1)})/r_{1,1}],$$

⋮

$$\hat{s}_{M-1}^{(v)} = Q[(z_M - r_{M-1,M} \hat{s}_M^{(v)})/r_{M-1,M-1}], \dots$$

$$\hat{s}_1^{(v)} = Q[(z_1 - \sum_{i=2}^M r_{1,i} \hat{s}_i^{(v)})/r_{1,1}],$$

⋮

$$\hat{s}_{M-1}^{(V)} = Q[(z_M - r_{M-1,M} \hat{s}_M^{(V)})/r_{M-1,M-1}], \dots$$

$$\hat{s}_1^{(V)} = Q[(z_1 - \sum_{i=2}^M r_{1,i} \hat{s}_i^{(V)})/r_{1,1}],$$

(여기서, $Q[\cdot]$ 는 사용되는 성상도에 의한 양자화 함수를 의미함)

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 최종신호 선택부는 ML 검사에 따라 아래의 수학적식과 같이 전송신호와 가장 가까운 열 하나를 선택하는 것을 특징으로 하는, 디지털 무선 다중 송수신시스템의 수신신호 검출 장치.

$$\hat{s}_{\text{final}} = \underset{s}{\arg \min} \left\| \mathbf{y} - \mathbf{H} \cdot \hat{s}^{(v)} \right\|$$

청구항 5

제1~제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 신호검출부는

후보군의 수 V 가 심볼수 L 보다 작으면 수신 전력이 높은 심볼을 먼저 검출하며, $V=L$ 인 경우에는 반대로 정렬하여 수신 전력이 낮은 심볼부터 먼저 검출하는 것을 특징으로 하는, 디지털 무선 다중 송수신시스템의 수신신호 검출 장치.

청구항 6

M 개의 다중전송 안테나를 통해 전송된 신호를 수신하는 단계;

수신된 신호를 검출하기 위해 임시로 검출될 후보군의 수 V 를 결정하는 후보군 설정단계;

상기 후보군 설정단계에서 설정된 후보군의 수 V 에 따라 처음으로 검출되는 심볼을 V 개 검출하는 제1단계와, 그 이후의 나머지 $M-1$ 길이의 검출열을 V 개 만큼 검출하여 최종 M 의 길이를 갖는 V 개의 후보군을 검출하는 제2단계를 갖는 신호 검출단계;

검출된 후보군들 가운데 ML(maxim likelihood) 검사를 통해 가장 수신신호와 가까운 신호열 하나를 선택하여 최종 검출신호로서 결정하는 최종신호 선택단계를 포함하는 것을 특징으로 하는, 디지털 무선 다중 송수신시스템의 수신신호 검출 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 신호검출단계의 제1단계는 아래의 수학적식에 따라 처음 검출되는 심볼을 V 개 검출하는 것을 특징으로 하는, 디지털 무선 다중 송수신시스템의 수신신호 검출 방법.

$$\hat{s}_M = Q^{(V)}(\tilde{s}_M)$$

여기서 $Q^{(V)}(k)$ 는 k 부터 각 심볼 사이의 유클리디안 거리를 측정하여 L-QAM 또는 L-PSK를 이용하는 시스템에서

$V(V \leq L)$ 개의 심볼을 결정하는 결정함수이고 $\tilde{s}_M$ 과 $\hat{s}_M$ 은 채널 성분이 제거된 신호와 $\tilde{s}_M$ 에 따라 V 개만큼 결정된 처음으로 검출된 신호를 나타냄.

청구항 8

제6항에 있어서, 상기 신호검출단계의 제2단계는 아래의 수학적식에 따라, $M-1$ 길이의 검출열을 V 개 만큼 검출하여 최종 M 의 길이를 갖는 V 개의 후보군을 검출하는 것을 특징으로 하는, 디지털 무선 다중 송수신시스템의 수신신호 검출 방법.

$$\hat{s}_{M-1}^{(1)} = Q[(z_M - r_{M-1,M} \hat{s}_M^{(1)}) / r_{M-1,M-1}], \dots$$

$$\hat{s}_1^{(1)} = Q[(z_1 - \sum_{i=2}^M r_{1,i} \hat{s}_i^{(1)}) / r_{1,1}],$$

⋮

$$\widehat{s}_{M-1}^{(v)} = Q[(z_M - r_{M-1,M} \widehat{s}_M^{(v)})/r_{M-1,M-1}], \dots$$

$$\widehat{s}_1^{(v)} = Q[(z_1 - \sum_{i=2}^M r_{1,i} \widehat{s}_i^{(v)})/r_{1,1}],$$

⋮

$$\widehat{s}_{M-1}^{(\bar{v})} = Q[(z_M - r_{M-1,M} \widehat{s}_M^{(\bar{v})})/r_{M-1,M-1}], \dots$$

$$\widehat{s}_1^{(\bar{v})} = Q[(z_1 - \sum_{i=2}^M r_{1,i} \widehat{s}_i^{(\bar{v})})/r_{1,1}],$$

(여기서, $Q[\cdot]$ 는 사용되는 성상도에 의한 양자화 함수를 의미함)

청구항 9

제6항에 있어서, 상기 최종신호 선택단계는 ML 검사에 따라 아래의 수식과 같이 전송신호와 가장 가까운 열 하나를 선택하는 것을 특징으로 하는, 디지털 무선 다중 송수신시스템의 수신신호 검출 방법.

$$\hat{s}_{\text{final}} = \underset{\hat{s}^{(v)}}{\arg \min} \| \mathbf{y} - \mathbf{H} \cdot \hat{s}^{(v)} \|^2$$

청구항 10

제6~9항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 신호검출단계는

후보군의 수 V 가 심볼수 L 보다 작으면 수신 전력이 높은 심볼을 먼저 검출하며, $V=L$ 인 경우에는 반대로 정렬하여 수신 전력이 낮은 심볼부터 먼저 검출하는 것을 특징으로 하는, 디지털 무선 다중 송수신시스템의 수신신호 검출 방법.

청구항 11

제6~9항 중 어느 한 항에 따른 수신신호 검출 방법을 구현하는 프로그램을 기록한 컴퓨터 기록매체.

명 세 서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

<8> 본 발명은 시공간 멀티플렉싱(vertical Bell Labs. layered space time: V-BLAST) 방식을 사용하는 다중 디지털 송수신 시스템에서 수신신호 검출장치 및 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는, 다중안테나를 이용해 전송된 신호를 수신하여 첫 번째로 검출되는 V 개의 심볼에 따라 V 개의 열을 검출하고 그 중에서 최적의 신호열을 선택하는 장치 및 방법에 관한 것이다.

<9> 최근 무선 이동 통신 시장에서의 양적인 성장, 멀티미디어 서비스의 사용 요청 뿐만 아니라 고속의 인터넷 확산 그리고 전화 시장의 일반화로 인해, 무선 이동 통신 시스템은 음성 위주의 서비스에서 멀티미디어 데이터 위주의 서비스로 진화하였다. 또한 유선망과 무선망이 통합되는 개념으로 이동성의 증가, 초고속/대용량 데이터 전송 형태의 네트워크가 구축되어 가고 있다. 이러한 상황과 발맞추어 무선근거리통신(wireless personal area network: WPAN)과 휴대인터넷(wireless broadband: WiBro)서비스가 크게 주목 받고 있다. 이러한 무선근거리통신 및 휴대인터넷서비스는 무선을 이용해 최대 1Gbps까지의 전송률을 목표로 하고 있다. 하지만 다중사용자의 간섭, 한정되어 있는 주파수대역의 한계로 인해 기존의 전송률을 높이는 것이 매우 어려운 실정이다. 이러한 상황에서 전송률을 크게 높일 수 있는 기술이 다중 안테나를 이용한 V-BLAST 기법이다. V-BLAST는 직렬의 데이터

를 전송안테나 수만큼 나누어 동시에 병렬전송함으로써 높은 데이터 전송률을 얻을 수 있는 기법이다.

- <10> 이러한 V-BLAST 시스템은 병렬전송을 통해 높은 데이터 전송률을 얻을 수 있는 반면에, 병렬전송된 데이터를 분리하여 검출하는 과정에서 발생하는 높은 복잡도와 성능의 저하라는 단점이 존재한다. 이러한 단점을 극복하기 위해 V-BLAST 신호검출에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다.
- <11> 기존의 V-BLAST 시스템 신호검출 방법은 최적의 신호검출 방법인 ML(maximum likelihood) 검출 방법을 이용하거나 간섭 제거를 위해 감산형 간섭제거 기법을 이용한다. ML 검출 방법은 ML 검사를 통해 수신 신호와 수신단에서 검사한 심볼조합과의 차이를 결정하고 심볼조합 중에서 수신신호와와의 차이가 가장 작은 조합을 선택하여 전송신호를 추정하는 방법이다. ML 방법은 전송가능한 모든 심볼의 조합을 검사하여 최적의 심볼 조합을 선택하므로 최적의 검출 성능을 발휘한다. 하지만 전송안테나의 수가 늘어나거나 신호의 변조레벨이 높아지면 지수적으로 복잡도가 증가하여, 실제 시스템에서 큰 검출 지연을 가져온다. 그러므로 실시간 송수신 시스템이나 많은 수의 안테나를 사용하는 다중안테나 시스템에서의 사용은 사실상 불가능하다.
- <12> 감산형 간섭 제거 기법은 수신 신호 전력을 큰 순서대로 나열하여 전력이 가장 큰 신호를 결정한 후에 추정된 수신신호를 채널 파라미터와 곱하여 전송신호를 만들고 이렇게 만들어진 신호를 기존 수신신호에서 감산한다. 감산형 간섭 제거 방식은 그 성능이 뛰어나면서도 구조가 간단하다는 장점을 갖지만, 순차적인 감산형 검출 방법이므로 첫 번째로 검출되는 신호의 정확도에 나머지 신호들의 검출성능이 크게 좌우되며 잡음확산의 영향으로 최적의 방법인 ML 검출방법과 큰 성능의 차이를 갖기 때문에 전송효율이 크게 감소하는 단점이 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

- <13> 본 발명은 상기 문제점을 해결하기 위하여, 다중 전송안테나를 통해 전송된 신호를 효율적으로 검출하여 다중 송수신 시스템의 성능을 높이고 그에 따라 시스템의 용량을 증대할 수 있는 다중 송수신 디지털 시스템의 수신 장치 및 방법을 제공함을 목적으로 한다.

발명의 구성 및 작용

- <14> 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명에 따른 다중 송수신 시스템에서의 신호 검출장치는, 복수의 안테나로 구성된 안테나단으로 구성되며, M개의 다중전송 안테나를 통해 전송된 신호를 수신하는 안테나 어레이; 수신된 신호를 검출하기 위해 임시로 검출될 후보군의 수 V를 결정하는 후보군 설정부; 상기 후보군 설정부에서 설정된 후보군의 수 V에 따라 처음으로 검출되는 심볼을 V개 검출하는 제1수단과, 그 이후의 나머지 M-1길이의 검출열을 V개 만큼 검출하여 최종 M의 길이를 갖는 V개의 후보군을 검출하는 제2수단을 갖는 신호 검출부; 검출된 후보군들 가운데 ML(maxim likelihood) 검사를 통해 가장 수신신호와 가까운 신호열 하나를 선택하여 최종 검출신호로서 결정하는 최종신호 선택부를 포함한다.
- <15> 또한, 본 발명의 다른 특징에 따른, 다중 송수신 시스템에서의 신호 검출방법은, M개의 다중전송 안테나를 통해 전송된 신호를 수신하는 단계; 수신된 신호를 검출하기 위해 임시로 검출될 후보군의 수 V를 결정하는 후보군 설정단계; 상기 후보군 설정단계에서 설정된 후보군의 수 V에 따라 처음으로 검출되는 심볼을 V개 검출하는 제1단계와, 그 이후의 나머지 M-1길이의 검출열을 V개 만큼 검출하여 최종 M의 길이를 갖는 V개의 후보군을 검출하는 제2단계를 갖는 신호 검출단계; 검출된 후보군들 가운데 ML(maxim likelihood) 검사를 통해 가장 수신신호와 가까운 신호열 하나를 선택하여 최종 검출신호로서 결정하는 최종신호 선택단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- <16> 이하, 도면을 참조하여 본 발명에 따른 다중 송수신 시스템에서의 신호 검출장치 및 방법의 실시예를 설명한다.
- <17> 도 1은 본 발명에 따른 신호검출 장치의 구성을 나타낸다. 도 1에서는 신호의 전송단에 대해서는 생략되어 있고, 신호 수신단에 대해서만 도시하고 있다.
- <18> 본 발명에 따른 다중 송수신 시스템에서 효율적인 신호 검출장치는 복수의 안테나(5)로 구성되며, M개의 다중 전송안테나(미도시)를 통해 각 전송안테나별로 독립적으로 변조된 전송신호들이 전송된 신호를 수신하는 안테나 어레이(10); 수신된 신호를 검출하기 위해 임시로 검출될 후보군의 수 V를 결정하는 후보군 설정부(20); 상기 설정된 후보군의 수 V에 따라 처음으로 검출되는 심볼을 V개 검출한 후 그에 따라 나머지 M-1길이의 검출열을 V개 만큼 검출하여 최종 M의 길이를 갖는 V개의 후보군을 검출하는 신호 검출부(30); 검출된 후보군들 중에서, ML(maximum likelihood) 검사를 통해 가장 수신신호와 가까운 신호열 하나를 선택하여 최종 검출신호로서 결정하는 최종신호 선택부(40)를 구비한다.

<19> 도 2는 도 1의 각 구성요소의 기능을 설명함과 동시에 본 발명에 따른 신호검출 방법의 처리흐름을 나타낸다. 도 2에서, 전송단은 전송안테나별로 독립적인 코딩과 변조를 이용해 전송신호를 발생시켜서, 이 전송신호를 다중 송신안테나를 통해 송신한다(전송단에 대해서는 도 1에서 생략되어 있음). 수신단에서는 안테나어레이(10)의 각 안테나(5)를 통해 전송신호를 수신한다(100). 수신단의 후보군설정부(20)는 검출될 임시 신호열의 개수 V를 결정한다(200). 수신단의 신호 검출부(30)는 V개의 신호열을 검출하고(300), 최종신호선택부(40)는 ML 검사를 통하여 V개의 신호 가운데 수신신호와 가장 근접한 최종 검출 신호열을 결정한다(400).

<20> 이하, 상기 각 단계별로 구체적 기술적 사항에 대해서 도면 및 수학적식을 참조하여 설명한다.

<21> M개의 전송안테나와 N개의 수신안테나를 사용하는 V-BLAST 시스템의 전송신호 $\mathbf{s}$ 는 수학적식 1과 같이 주어진다.

수학적식 1

<22>
$$\mathbf{s} = [s_1 \ s_2 \ \dots \ s_M]^T$$

<23> (여기서 s_i 는 i번째 전송안테나를 통해 전송된 신호를 나타내며 $(\cdot)^T$ 는 행렬의 트랜스포즈(transpose)를 나타냄).

<24> 전송된 신호는 다중채널을 거쳐 수신안테나 어레이(10)에 수신된다. 수신된 신호는 다음의 수학적식으로 표현된다.

수학적식 2

<25>
$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{s} + \mathbf{w}$$

<26> (여기서 $\mathbf{H}$ 는 $N \times M$ 의 채널 계수 행렬이고 행렬의 각 원소들은 서로 독립적임. $\mathbf{w}$ 는 $N \times 1$ 의 백색 가우시안 잡음(Additive White Gaussian Noise: AWGN)을 나타냄)

<27> 수신단은 수신된 신호 $\mathbf{y}$ 에서 전송신호 $\mathbf{s}$ 를 검출하기 위해 기본적인 감산형 간섭제거 방식을 이용한다. 채널 계수 $\mathbf{H}$ 의 Moore-Penrose 의사역행렬변환(pseudo inverse)을 수행하는데, 이 변환은 다음의 수학적식에 의해 표현될 수 있다.

수학적식 3

<28>
$$\mathbf{G} = \mathbf{H}^+ = (\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^H$$

<29> (여기서 $(\cdot)^+$ 는 Moore-Penrose 의사역행렬변환을 나타내고 $(\cdot)^H$ 는 Hermitian변환을 나타냄.)

<30> 이렇게 구해진 역행렬은 최소 평균제곱 에러(minimum mean square error: MMSE) 역행렬로 확장가능하며 다음 수학적식과 같이 나타낼 수 있다.

수학적식 4

<31>
$$\mathbf{G}_{\text{MMSE}} = \underline{\mathbf{H}}^+ = (\underline{\mathbf{H}}^H \underline{\mathbf{H}})^{-1} \underline{\mathbf{H}}^H$$

<32> ($\underline{\mathbf{H}}$ 는 $(N+M) \times M$ 의 확장된 행렬로 다음 수학적식과 같다.)

수학적식 5

<33>
$$\underline{\mathbf{H}} = \begin{bmatrix} \mathbf{H} \\ \sigma_n \mathbf{I}_M \end{bmatrix}$$

<34> (여기서 σ_n 은 잡음의 분산을 나타낸다.)

<35> 위에서 구해진 $\mathbf{G}_{\text{MMSE}}$ 행렬의 norm값인 $\|\mathbf{G}_{\text{MMSE}}\|^2$ 을 가장 큰 열부터 작은 열로 정렬한다. 확장된 채널 계수 $\mathbf{H}$ 의 열 역시 $\|\mathbf{G}_{\text{MMSE}}\|^2$ 의 정렬 순서와 동일하게 정렬하여 $\mathbf{H}_{\text{sort}}$ 를 만든다. 정렬된 $\mathbf{H}_{\text{sort}}$ 를 QR 분해를 통해 다음 수학적식과 같이 Q와 R로 분해한다.

수학적식 6

<36>
$$\mathbf{H}_{\text{sort}} = \mathbf{Q}\mathbf{R} = [\mathbf{Q}_1 \ \mathbf{Q}_2 \ \dots \ \mathbf{Q}_M] \begin{bmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \dots & r_{1,M} \\ 0 & r_{2,2} & \dots & r_{2,M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & r_{M,M} \end{bmatrix}$$

<37> ($\mathbf{R}$ 은 상삼각 행렬(upper triangular matrix)이고 $\mathbf{Q}$ 는 $\mathbf{Q}^H \mathbf{Q} = \mathbf{I}$ 를 만족하는 정규직교 행렬(orthonormal matrix)임).

<38> $\mathbf{Q}^H$ 를 이용해 수신된 신호에서 Q성분이 제거된 $M \times 1$ 벡터를 아래의 수학적식과 같이 구한다.

수학적식 7

<39>
$$\mathbf{z} = \mathbf{Q}^H \mathbf{y} = \mathbf{R}\mathbf{x} + \boldsymbol{\eta}$$

<40> (여기서 $\mathbf{z} = [z_1 \ z_2 \ \dots \ z_M]^T$ 이고 $\boldsymbol{\eta} = \mathbf{Q}^H \mathbf{w}$ 이다.)

<41> 이상에서와 같이 감산형 간섭제거 기법을 사용할 경우에는 가장 처음으로 검출되는 신호가, 다음으로 검출되는 신호부터 마지막으로 검출되는 신호에까지 전체적으로 영향을 미치므로, 첫 번째로 검출되는 신호가 정확하게 검출되는 것이 매우 중요하다. 이러한 점을 보완하기 위해, 본 발명은 처음으로 검출되는 심볼을 V개 검출한다. 검출될 후보 심볼의 수 V는 도 1의 후보군 설정부(20)에서 결정한다. 후보군 설정부에서 검출될 후보 심볼의 수 V를 결정하면 신호검출부에서 첫 번째 신호의 검출을 수행한다. 우선 처음으로 신호를 검출하기 전에 신호 검출부는 첫 번째로 검출될 심볼의 채널성분을 제거하며, 이는 다음 수학적식과 같이 표현된다.

수학적식 8

<42>
$$\hat{s}_M = z_1 / r_{M,M} = (r_{M,M}s_M + \eta_M) / r_{M,M}$$

<43> 위와 같이 채널 성분이 제거된 신호를 이용해 V개의 후보신호를 결정하게 된다. V개의 심볼을 결정하는 절차는 다음의 수학적식과 같다.

수학적식 9

<44>
$$\hat{\mathbf{s}}_M = \mathbf{Q}^{(V)}(\hat{s}_M)$$

<45> ($\mathbf{Q}^{(V)}(k)$ 는 k부터 각 심볼 사이의 유클리디안 거리를 측정하여 L-QAM 또는 L-PSK를 이용하는 시스템에서 V($V \in L$)개의 심볼을 결정하는 결정함수). 도 3은 $V=4$ 인 경우의 결정함수 $\mathbf{Q}^{(V)}(k)$ 의 결정절차를 예시하고 있다. 채널의 영향이 제거된 후의 심볼인 k를 전송심볼로 맵핑을 하게 된다. 이때 V는 4이므로 맵핑되는 심볼이 유클리디안 거리에 따라 4개가 선택된다. 수학적식 9의 결정함수는, 본 발명에서 정의한 것으로서, 이 결정함수가 하는 일은 처음으로 검출될 신호를 V개만큼 결정하는 역할을 한다.

<46> 결정함수를 거친 후 첫 번째로 검출되는 신호는 V개가 되며 아래의 수학적식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 10

$$\hat{\mathbf{s}}_M = [s_M^{(1)} \dots s_M^{(v)} \dots s_M^{(V)}]$$

$$(\hat{s}_M^{(v)} \text{ 는 } \tilde{s}_M \text{ 으로부터 } v\text{번째로 가까운 심볼})$$

처음으로 검출된 심볼이 결정된 후에는 도 4와 같이 처음 검출된 신호에 따라 길이 M을 갖는 V개의 신호열을 검출한다. 도 4에서, 처음으로 검출된 V개의 심볼들(310)과, 처음 검출된 V개의 심볼에 따라 검출된 V개의 신호열(320)을 볼 수 있다. V개의 신호열을 검출하는 절차는 다음 수학식과 같다.

수학식 11

$$\hat{s}_{M-1}^{(1)} = Q[(z_M - r_{M-1,M} \hat{s}_M^{(1)})/r_{M-1,M-1}], \dots$$

$$\hat{s}_1^{(1)} = Q[(z_1 - \sum_{i=2}^M r_{1,i} \hat{s}_i^{(1)})/r_{1,1}],$$

$$\vdots$$

$$\hat{s}_{M-1}^{(v)} = Q[(z_M - r_{M-1,M} \hat{s}_M^{(v)})/r_{M-1,M-1}], \dots$$

$$\hat{s}_1^{(v)} = Q[(z_1 - \sum_{i=2}^M r_{1,i} \hat{s}_i^{(v)})/r_{1,1}],$$

$$\vdots$$

$$\hat{s}_{M-1}^{(V)} = Q[(z_M - r_{M-1,M} \hat{s}_M^{(V)})/r_{M-1,M-1}], \dots$$

$$\hat{s}_1^{(V)} = Q[(z_1 - \sum_{i=2}^M r_{1,i} \hat{s}_i^{(V)})/r_{1,1}],$$

여기서, $Q[\cdot]$ 는 사용되는 성상도에 의한 양자화 함수를 의미한다. 성상도란 신호를 전송하는 심볼의 위치를 나타낸다. 가령, 0과 1의 2진 신호를 도 7과 같이 QAM심볼로 맵핑하여 보내게 되는데, 이 도 7과 같은 그림을 성상도라고 한다. 양자화 함수란 수신신호를 유클리디안 거리에 따라 위의 성상도의 한 점으로 맵핑하는 함수를 의미한다.

위의 절차에 따라 검출된 모든 신호는 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 12

$$\hat{\mathbf{s}} = [\hat{\mathbf{s}}^{(1)} \dots \hat{\mathbf{s}}^{(v)} \dots \hat{\mathbf{s}}^{(V)}]$$

$$(\text{위의 식에서 } \hat{\mathbf{s}}^{(v)} = (\hat{s}_{1^{(v)}}^{(v)} \hat{s}_{2^{(v)}}^{(v)} \dots \hat{s}_{M^{(v)}}^{(v)}))$$

최종적으로 ML 검사를 통해 위와 같이 구해진 V개의 열 가운데 전송신호와 가장 가까운 신호열을 선택한다. ML 검사는 아래의 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 13

$$\hat{\mathbf{s}}_{\text{final}} = \underset{\mathbf{s}}{\arg \min} \| \mathbf{y} - \mathbf{H} \cdot \hat{\mathbf{s}}^{(v)} \|$$

<63>

<64> 위의 수학식에 의해 구해진 $\hat{\mathbf{s}}_{\text{final}}$ 이 최종적으로 검출된 신호가 된다.

<65> 본 발명에서 $V=L$ 일 경우에는 역정렬(reverse ordering)을 통해 검출 성능을 크게 높일 수 있다. 앞에서는, 일반적인 시스템에서 수행하는 순정렬을 설명하였었다. 일반 시스템에서 순정렬을 수행하는 이유는 수신 전력이 가장 높은 심볼을 먼저 검출하여 에러확률을 최소화하기 위해서이다. 하지만 시스템의 성능을 크게 좌우하는 주된 요인은 수신 전력이 가장 낮은 심볼이다. L 개의 심볼을 사용하는 시스템에서 $V<L$ 이라면 모든 심볼을 후보군으로 고려하지 않으므로 첫 번째로 검출되는 신호가 정확하게 검출될 확률이 높지 않다. 그러므로 순정렬에 따라 수신 전력이 높은 심볼을 먼저 검출하여 에러확률을 최소화한다.

<66> 만일 $V=L$ 이라면 모든 심볼을 후보군으로 고려하고 있으므로 첫 번째로 검출되는 신호가 매우 정확하게 검출될 수 있으므로 역정렬을 통해 시스템의 성능을 크게 좌우하는 수신 전력이 가장 낮은 심볼을 정확하게 검출하여 시스템 성능을 크게 높일 수 있다. 따라서, 본 발명에서는, $V<L$ 인 경우는 가장 전력이 높은 심볼을 먼저 검출하여 에러확률을 최소화하기 위해 순정렬을 수행하고, $V=L$ 인 경우에는 첫 번째로 검출되는 신호가 매우 정확하게 검출될 수 있으므로 시스템의 성능을 크게 좌우하는 수신전력이 가장 낮은 신호를 처음으로 검출하기 위해 역정렬을 수행한다.

<67> 반복해서 설명하자면, 처음으로 검출되는 심볼 외에 검출성능을 좌우하는 다른 요소는 가장 낮은 전력으로 수신된 심볼이다. 가장 낮은 전력으로 수신된 심볼은 수신기의 검출성능을 크게 떨어뜨리는 원인이 된다. 그러므로 가장 낮은 전력으로 수신된 심볼을 가장 먼저 정확하게 검출할 수 있다면 수신기의 검출 성능을 크게 높일 수 있다. 위와 같이 가장 낮은 전력으로 수신된 심볼을 이용하여 검출 성능을 높일 수 있는 간단한 방법이 역정렬이다. 일반적인 감산형 간섭제거 기법에서는 수신 전력이 가장 큰 신호를 먼저 검출하므로 처음 검출되는 심볼이 정확하게 검출될 수 있도록 한다.

<68> 하지만 본 발명에 있어서 $V=L$ 인 경우에는 후보군으로 모든 가능한 심볼을 고려하므로 처음 검출되는 심볼을 매우 정확하게 검출하는 것이 가능하기 때문에 시스템의 성능을 좌우하는 낮은 전력의 수신신호를 역정렬을 통해 정확하게 검출하여 시스템의 성능을 최적의 기법인 ML검출기법과 유사하게 향상시킬 수 있다. 역정렬은 $\| \mathbf{G}_{\text{MMSE}} \|^2$ 을 계산하여 높은 값부터 정렬하여 정렬된 값에 따라 $\mathbf{H}$ 를 정렬하는 일반적인 정렬과 반대로, $\| \mathbf{G}_{\text{MMSE}} \|^2$ 을 계산하여 낮은 값부터 정렬하고 그에 따라 $\mathbf{H}$ 를 정렬하여 수행된다. 이렇게 역정렬을 수행한 후에는 수학식 6~12까지의 절차를 다른 변경없이 수행하게 된다. 이렇게 $V=L$ 인 경우에는 간단한 정렬의 변환인 역정렬을 통해 시스템의 성능을 크게 높이는 것이 가능하다.

<69> 본 발명에서는 수학식 5에 명시된 확장행렬을 사용하지 않고 보통의 $\mathbf{H}$ 를 이용해 zero forcing(ZF) 검출기로 본 발명을 수행하는 것이 가능하며, 명시된 QR분해 뿐만 아니라 일반적인 모든 감산형 검출기법을 이용하여 본 발명을 수행하는 것 역시 가능하다.

<70> 이상에서 설명한 본 발명은 컴퓨터 기록매체에 저장된 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드(프로그램 등)로써 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치를 포함한다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피디스크, 광데이터 저장장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현되는 것도 포함한다. 또한 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다.

<71> 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특징의 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 청구범위 기재의 범위 내에 있게 된다.

발명의 효과

<72> 도 5는 16QAM을 사용하는 $M=N=3$ 인 V-BLAST 시스템의 V 의 수에 따른 BER(beat error rate) 성능을 보여주는 그래프이다. V 의 수가 증가할수록 더 많은 후보군을 고려해 정확하게 처음 심볼을 검출할 수 있으므로 BER 성능이 높아지는 것을 확인할 수 있다. $V=16$ 인 경우에는 가능한 모든 16개의 심볼이 후보군으로 고려되므로 MMSE와 ZF 검출기의 성능이 매우 유사하다. 역정렬의 경우 가장 저전력의 수신신호를 매우 정확하게 검출하는 것이 가능하기 때문에 본 발명에 따른 검출기의 성능이 최적의 검출기인 ML검출기의 성능과 매우 유사한 값을 갖는다. 도 6은 16QAM을 사용하는 $M=N=2$, $M=N=4$ 인 V-BLAST시스템의 V 의 수에 따른 BER성능을 보여주는 그래프이다. 안테나의 수와 상관없이, 모든 경우에서 V 가 증가할수록 검출성능이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한 도 5에서와 같이 역정렬을 수행한 경우에는 검출성능이 크게 증가하는 것을 확인할 수 있다.

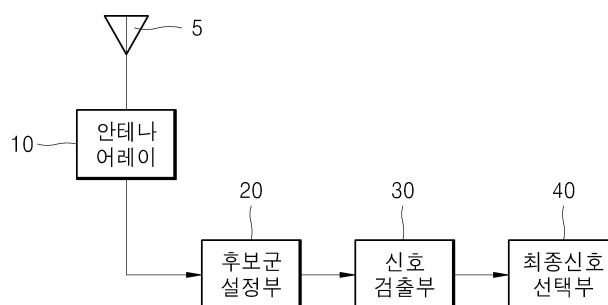
<73> 본 발명에 따른 다중 송수신 시스템에서 효율적인 신호 검출장치 및 방법에 의하면, 다중 안테나를 사용하는 디지털 무선 통신 시스템에서 보다 더 정확한 전송신호의 검출을 위해 효율적인 신호 검출 방법을 적용함으로써 신호의 검출성능을 효과적으로 증가시킬 수 있으며, 역정렬을 통해 매우 낮은 복잡도를 가지며 최적의 검출성능과 유사한 성능을 제공하여 안정적인 신호검출과 함께 그에 따른 시스템의 용량을 증대할 수 있다.

도면의 간단한 설명

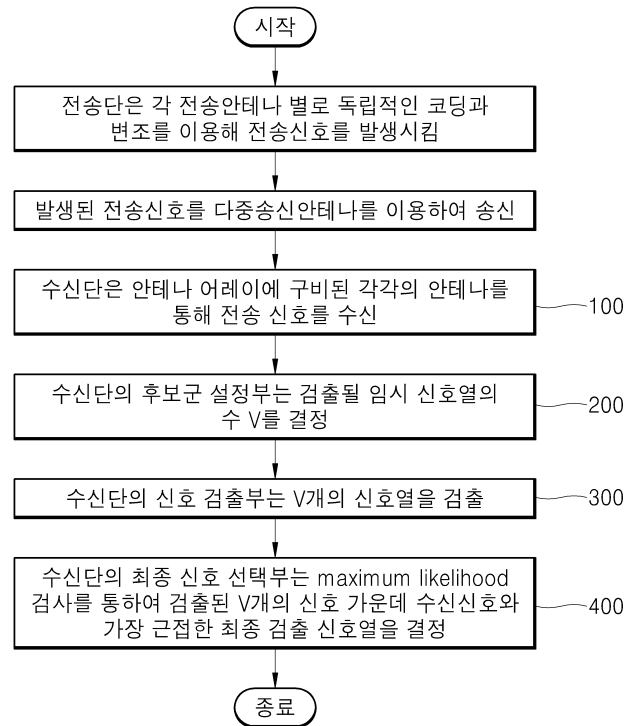
- <1> 도 1은 본 발명에 따른 다중 송수신 시스템에서 신호 검출장치를 포함한 수신단의 구성을 도시한 블록도,
- <2> 도 2는 본 발명에 따른 다중 송수신 시스템에서 효율적인 신호검출방법의 수행과정을 도시한 흐름도,
- <3> 도 3은 V 개의 후보군을 결정하는 함수의 동작절차를 도시한 도면,
- <4> 도 4는 첫 번째 검출된 V 개의 심볼에 따라 V 개의 열이 검출된 결과를 도시한 도면,
- <5> 도 5는 본 발명에 따른 효율적인 신호검출기법이 적용된 3×3 다중안테나 시스템의 성능을 보여주는 그래프,
- <6> 도 6은 본 발명에 따른 효율적인 신호검출기법이 적용된 2×2 , 4×4 다중안테나 시스템의 성능을 보여주는 그래프이다.
- <7> 도 7은 정상도를 설명하기 위한 참고도면.

도면

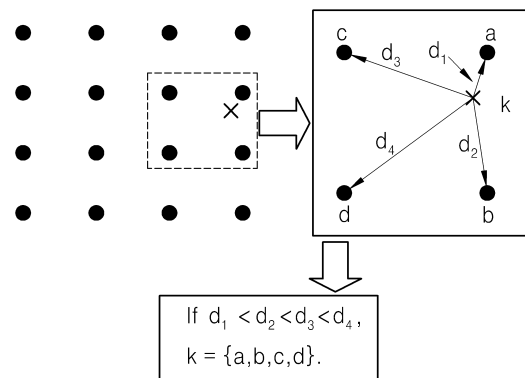
도면1



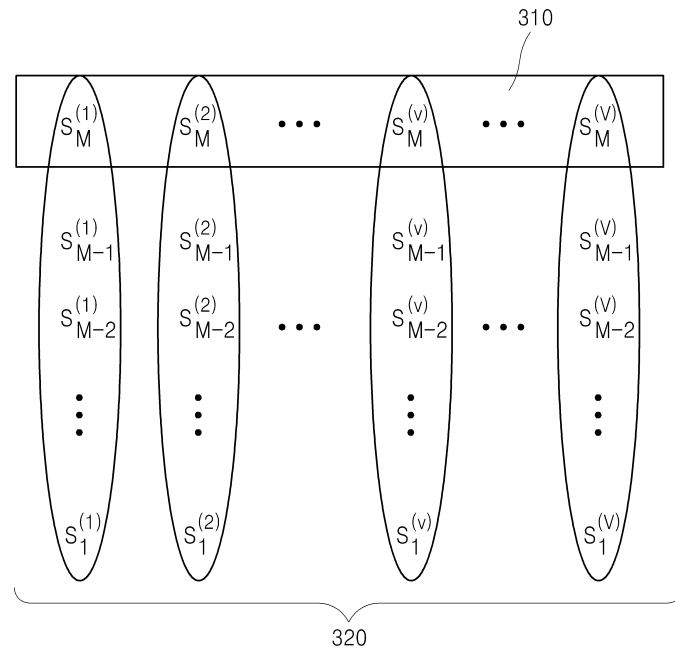
도면2



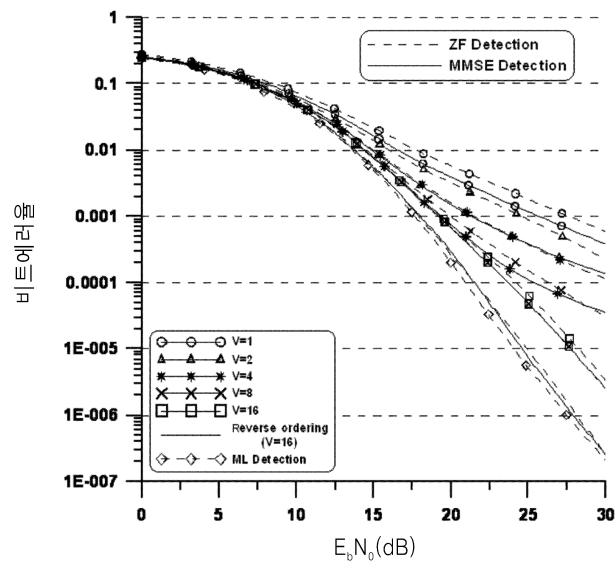
도면3



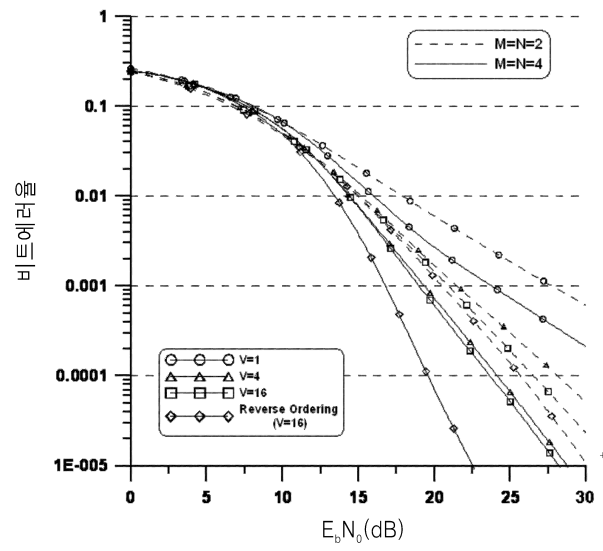
도면4



도면5



도면6



도면7

