



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년03월30일  
(11) 등록번호 10-1026021  
(24) 등록일자 2011년03월23일

(51) Int. Cl.

H04B 7/04 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0087731  
(22) 출원일자 2009년09월16일  
심사청구일자 2009년09월16일  
(65) 공개번호 10-2011-0029879  
(43) 공개일자 2011년03월23일

(56) 선행기술조사문현

논문 : IEEE (2003.07)

KR100731984 B1

KR1020070019345 A

KR1020090052657 A

전체 청구항 수 : 총 8 항

(73) 특허권자

포항공과대학교 산학협력단

경상북도 포항시 남구 효자동 산31 포항공과대학  
교내

(72) 발명자

전경훈

경상북도 포항시 남구 지곡동 교수아파트 4-901

김정창

경상북도 포항시 남구 지곡동 낙원아파트 6-204

(74) 대리인

양문옥

심사관 : 김병균

(54) 시공간 블록 부호의 검출 방법 및 장치

### (57) 요 약

시공간 블록 부호를 수신하여 검출하는 방법에 있어서, 신호 벡터  $\tilde{y}$ 에 대해 p개의 초기 후보 레이어들 ( $x_N, \dots, x_{N-p+1}$ )을 먼저 임의로 선택하고 상기 초기 후보 레이어들 내의 모든 가능한 후보 심벌 벡터들 조합 각각에 대해서 처음 K개의 레이어들 ( $x_{N-p}, \dots, x_{N-p-K+1}$ )에 DF 알고리즘을 적용하여 상기 K개의 레이어 각각에서 후보 심벌들을 생성하는 단계, 상기 K개의 레이어들을 재배열 하는 단계, 상기 열 순서 정렬을 수행한 후 맨 아래 p 개의 레이어들을 새로운 후보 레이어들로 선택하고 상기 새로운 후보 레이어들을 제외한 나머지 레이어들에 DF 알고리즘을 수행하여 N 차원 후보 벡터들  $\hat{x}_i$ 를 생성하는 단계, 상기 N 차원 후보 심벌 벡터들  $\hat{x}_i$ 에 대해 최대 우도 검출을 수행하여 N차원 입력 벡터  $\hat{x}$ 를 검출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 시공간 블록 부호의 검출 방법에 대하여 개시한다.

### 대 표 도 - 도2



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

시공간 블록 부호를 수신하여 검출하는 방법에 있어서,

신호 벡터  $\tilde{\mathbf{y}}$ 에 대해 하나의 초기 후보 레이어( $x_N$ )를 임의로 선택하여 상기 초기 후보 레이어( $x_N$ ) 내의 모든 가능한 후보 심벌들 각각에 대해서 처음  $J$ 개의 레이어들( $x_{N-1}, x_{N-2}, \dots, x_{N-J}$ )에 DF 알고리즘을 적용하여 상기  $J$ 개의 레이어들에서 각각 후보 심벌들을 생성하는 단계;

상기  $J$ 개의 레이어들을 재배열 하는 단계;

상기 재배열 결과 제일 아래에 위치한 레이어를 새로운 후보 레이어로 선택하고 상기 새로운 후보 레이어를 제외한 나머지 레이어들에 DF 과정을 수행하여  $N$  차원 후보 심벌 벡터들  $\mathbf{x}_i$ 를 생성하는 단계;

상기 후보 심벌 벡터들  $\mathbf{x}_i$ 에 대해 최대 우도 검출을 수행하여  $N$  차원 입력 벡터  $\hat{\mathbf{x}}$ 를 검출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 시공간 블록 부호의 검출 방법.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기  $J$ 개의 레이어들의 재배열은 상기  $J$ 개의 레이어들 각각에서 생성된 서로 다른 후보 심벌들의 개수  $\mathbb{I}_i$ 들 중에서 최소 후보 심벌 개수  $a$  ( $\alpha \triangleq \min_i \alpha_i, i = 1, 2, \dots, J+1$ )를 가지는 레이어가 맨 아래에 위치되도록 등가 시공간 채널 행렬  $\mathbf{H}$  내에서 열 순서 정렬을 수행하는 것으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 시공간 블록 검출 방법.

### 청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 신호 벡터  $\hat{\mathbf{y}}$ 는 수신 안테나들로 수신된  $N$  차원 수신 벡터  $\mathbf{y}$ 에 대해 등가 시공간 신호 모델로 재정리된  $N$  차원 신호 벡터  $\hat{\mathbf{y}}$ 를 구하는 단계;

등가 시공간 채널 행렬( $\mathbf{H}$ )을  $\mathbf{H}=QR$ 로 QR-분해하여 유니터리 행렬  $\mathbf{Q}$ 와 상위삼각행렬  $\mathbf{R}$ 을 생성하는 단계;

상기 신호 벡터  $\hat{\mathbf{y}}$ 의 원편에 상기 유니터리 행렬  $\mathbf{Q}$ 의 복소공액 전치행렬  $\mathbf{Q}^H$ 를 곱하여  $N$  차원의 상기 신호 벡터  $\tilde{\mathbf{y}}$ 를 생성하는 단계;로부터 구해지는 것을 특징으로 하는 시공간 블록 부호의 검출 방법.

### 청구항 4

시공간 블록 부호를 수신하여 검출하는 방법에 있어서,

신호 벡터  $\tilde{\mathbf{y}}$ 에 대해  $p$  ( $p \geq 2$ )개의 초기 후보 레이어들( $x_N, \dots, x_{N-p+1}$ )을 먼저 임의로 선택하고 상기 초기 후보 레이어들 내의 모든 가능한 후보 심벌 벡터들 조합 각각에 대해서 처음  $K$ 개의 레이어들( $x_{N-p}, \dots, x_{N-p-K+1}$ )에 DF 알고리즘을 적용하여 상기  $K$ 개의 레이어 각각에서 후보 심벌들을 생성하는 단계;

상기  $K$ 개의 레이어들을 재배열 하는 단계;

상기 열 순서 정렬을 수행한 후 맨 아래  $p$  개의 레이어들을 새로운 후보 레이어들로 선택하고 상기 새로운 후보

레이어들을 제외한 나머지 레이어들에 DF 알고리즘을 수행하여 N 차원 후보 벡터들  $\mathbf{x}_i$ 를 생성하는 단계;

상기 N 차원 후보 심벌 벡터들  $\mathbf{x}_i$ 에 대해 최대 우도 검출을 수행하여 N 차원 입력 벡터  $\hat{\mathbf{x}}$ 를 검출하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 시공간 블록 부호의 검출 방법.

## 청구항 5

제4항에 있어서,

상기 K개의 레이어들의 재배열은 상기 K개의 레이어들 조합 각각에서 생성된 서로 다른 p차원 후보 심벌 벡터들

$$\beta \triangleq \min_i \beta_i, \quad i = 1, 2, \dots, \binom{K}{p}$$

의 개수  $\beta_i$ 들 중에서 최소 후보 심벌 벡터 개수  $\beta$  ( )를 가지는 레이어들 조

합을 선택하여 맨 아래에 위치되도록 등가 시공간 채널 행렬  $\mathbf{H}$  내에서 열 순서 정렬을 수행하는 것을 특징으로 하는 시공간 블록 검출 방법.

## 청구항 6

제 4항에 있어서,

상기 신호 벡터  $\tilde{\mathbf{y}}$ 는 수신 안테나들로 수신된 N 차원 수신 벡터  $\mathbf{y}$ 에 대해 등가 시공간 신호 모델로 재정리된 N 차원 신호 벡터  $\hat{\mathbf{y}}$ 를 구하는 단계;

등가 시공간 채널 행렬( $\mathbf{H}$ )을  $\mathbf{H}=\mathbf{Q}\mathbf{R}$ 로 QR-분해하여 유니터리 행렬  $\mathbf{Q}$ 와 상위삼각행렬  $\mathbf{R}$ 을 생성하는 단계;

상기 신호 벡터  $\hat{\mathbf{y}}$ 의 원편에 상기 유니터리 행렬  $\mathbf{Q}$ 의 복소공액 전치행렬  $\mathbf{Q}^H$ 를 곱하여 N 차원의 상기 신호 벡터  $\tilde{\mathbf{y}}$ 를 생성하는 단계;로부터 구해지는 것을 특징으로 하는 시공간 블록 부호의 검출 방법.

## 청구항 7

신호 벡터  $\tilde{\mathbf{y}}$ 에 대해 하나의 초기 후보 레이어( $\mathbf{x}_N$ )를 임의로 선택하여 상기 초기 후보 레이어( $\mathbf{x}_N$ ) 내의 모든 가능한 후보 심벌들 각각에 대해서 처음 J개의 레이어들( $\mathbf{x}_{N-1}, \mathbf{x}_{N-2}, \dots, \mathbf{x}_{N-J}$ )에 DF 알고리즘을 적용하여 상기 J개의 레이어들에서 각각 후보 심벌들을 생성하고, 상기 J개의 레이어들을 재배열 하며, 상기 재배열 결과 제일 아래에 위치한 레이어를 새로운 후보 레이어로 선택하고 상기 새로운 후보 레이어를 제외한 나머지 레이어들에 DF 과정을 수행하여 N 차원 후보 심벌 벡터들  $\mathbf{x}_i$ 를 생성하고, 상기 후보 심벌 벡터들  $\mathbf{x}_i$ 에 대해 최대 우도 검출을 수행하여 N 차원 입력 벡터  $\hat{\mathbf{x}}$ 를 검출하는 프로세서; 및

상기 프로세서와 연결되는 트랜스시버를 포함하는 수신기.

## 청구항 8

신호 벡터  $\tilde{\mathbf{y}}$ 에 대해  $p(p \geq 2)$ 개의 초기 후보 레이어들( $\mathbf{x}_N, \dots, \mathbf{x}_{N-p+1}$ )을 먼저 임의로 선택하고 상기 초기 후보 레이어들 내의 모든 가능한 후보 심벌 벡터들 조합 각각에 대해서 처음 K개의 레이어들( $\mathbf{x}_{N-p}, \dots, \mathbf{x}_{N-p-K+1}$ )에 DF 알고리즘을 적용하여 상기 K개의 레이어 각각에서 후보 심벌들을 생성하고, 상기 K개의 레이어들을 재배열 하고, 상기 열 순서 정렬을 수행한 후 맨 아래 p 개의 레이어들을 새로운 후보 레이어들로 선택하고 상기 새로운 레이어들을 제외한 나머지 레이어들에 DF 알고리즘을 수행하여 N 차원 후보 벡터들  $\mathbf{x}_i$ 를 생성하여, 상기 N 차원 후

보 심벌 벡터들  $\mathbf{x}_i$ 에 대해 최대 우도 검출을 수행하여 N 차원 입력 벡터  $\hat{\mathbf{x}}$ 를 검출하는 프로세서; 및 상기 프로세서와 연결되는 트랜스시버를 포함하는 수신기.

## 명세서

### 발명의 상세한 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 무선통신에 관한 것으로 보다 상세하게는 시공간 블록 부호의 복호 방법 및 장치에 관한 것이다.

#### 배경기술

[0002] 다수의 송수신 안테나들을 사용하는 방식으로는 공간 다중화(spatial multiplexing) 방식 및 시공간 부호화(space-time coding) 방식이 있다. V-BLAST(Vertical Bell Laboratory Space-Time)과 같은 공간 다중화 방식은 독립적인 데이터 신호들을 서로 다른 송신 안테나들을 통하여 동시에 전송하는 방식이다. V-BLAST 시스템의 수신기에서는 등가 시공간 채널 행렬(equivalent space-time channel matrix)의 QR 분해(QR decomposition)를 이용한 검출 기법들이 사용되고 있으며 DF(decision feedback), 최대 우도(maximum likelihood, ML)와 DF를 결합한 ML/DF, PD(parallel detection),  $p$ -PD 알고리즘 등이 대표적인 검출 기법들이다.  $p$ -PD 알고리즘을 비롯한 상기 검출 기법들의 정의, 내용 등과 관련하여 한국 등록특허 제10-0659281호를 참조할 수 있다. 간섭 무효화(interference nulling) 및 간섭 제거(interference cancellation)를 기반으로 하는 DF 알고리즘은 매우 간단한 반면 오류 전파(error propagation)로 인한 심각한 성능 열화를 유발시킨다. ML/DF 알고리즘에서는 처음 몇 개의 전송 레이어(layer)는 ML을 이용하여 검출하고 나머지 레이어들은 DF 알고리즘을 이용하여 검출한다. 그러므로 간섭 제거 과정에서 사용되는 데이터 심볼들의 신뢰성(reliability)이 향상된다. PD 알고리즘은 후보 레이어(candidate layer)라고 불리는 하나의 레이어를 먼저 선택하여 후보 레이어 내의 후보 심볼들 각각에 대해서 나머지 레이어들에 대해 DF 알고리즘을 적용함으로써 DF 알고리즘에 비해 성능을 향상시키는 방법이다. 위 과정에서 얻은 후보 심벌 벡터들과 수신 벡터 사이의 유클리드 거리(Euclidean distance)를 최소화하는 후보 심벌 벡터를 선택함으로써 최종 결정을 내리게 된다. 다음으로  $p$ -PD 알고리즘은 PD 알고리즘의 확장으로서 후보 레이어를 하나 대신 2개 이상 선택하는 방법이다. 4개의 송신 안테나까지, PD 알고리즘은 합리적인 검출 복잡도를 가지면서 ML에 근접하는 성능을 제공한다. 하지만 안테나 개수가 증가하면서 심각한 성능 저하가 발생한다. 그러므로 ML 성능을 유지하기 위해서는 2개 이상의 후보 레이어들을 사용하는  $p$ -PD 방식을 요구하게 된다. 그러나 2개 이상의 후보 레이어들을 사용하게 되면 검출 복잡도가 심각하게 증가한다.

[0003] 반면, 시공간 부호화 방식은 공간 다이버시티(spatial diversity) 및 코딩 이득(coding gain)을 동시에 얻기 위해 시간 축과 공간 축으로 부호화를 적용하는 방법이다. 최적의 송신 안테나 다이버시티 이득을 얻기 위한 기법으로 직교 설계 이론에 근거하여 직교 특성을 갖는 시공간 블록 부호 (Space-Time Block Code: STBC)들이 제안되었다. 이러한 직교 시공간 블록 부호(Orthogonal STBC: O-STBC)들은 최대 다이버시티 차수(diversity order)를 가지며 수신단에서 간단한 선형 처리만으로도 최대 우도 검출이 가능하다는 장점을 갖는다. 직교성(orthogonality)과 같은 특별한 구조를 가지지 않는 시공간 블록 부호의 경우 최대 우도 검출 복잡도는 변조 차수(modulation order) Q와 송신 안테나 개수 N에 대해  $Q^N$ 으로 기하 급수적으로 증가된다.

[0004] 최근에는 시공간 블록 부호 검출에 DF 알고리즘이 적용되는 시도가 있었으나 ML 검출에 비해 심각한 성능 열화가 발생한다. 합리적인 검출 복잡도를 가지면서 ML에 근접하는 성능을 얻기 위하여 스피어 복호(sphere decoding, SD)기법이 시공간 블록 부호 검출에 적용되었다. SD 알고리즘 이외에 PD 및  $p$ -PD 알고리즘들과 같은 V-BLAST 검출 알고리즘들도 등가 시공간 채널 행렬을 가지는 시공간 블록 부호 시스템에 적용할 수 있다. PD 알고리즘은 ML 검출에 비해 약간의 성능 손실을 유발시키지만  $p$ -PD 알고리즘은 ML 검출과 거의 동일한 성능을 제공한다. 비록 PD 및  $p$ -PD 알고리즘들의 검출 복잡도가 ML 검출에 비해 크게 작지만 큰 변조 차수에 대해서 검출 복잡도는 여전히 구현하기 힘들 정도로 크다는 문제점이 있다.

## 발명의 내용

### 해결 하고자하는 과제

[0005]

본 발명의 목적은 일반적인 시공간 블록 부호 시스템의 수신기에서 검출 복잡도를 발본적으로 줄일 수 있는 준최적 검출 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

### 과제 해결수단

[0006]

상기한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 양태에 따른 시공간 블록 부호를 수신하여 검출하는 방법은 신호 벡터  $\tilde{\mathbf{y}}$ 에 대해 하나의 초기 후보 레이어( $x_N$ )를 임의로 선택하여 상기 초기 후보 레이어( $x_N$ ) 내의 모든 가능한 후보 심벌들 각각에 대해서 처음  $J$ 개의 레이어들( $x_{N-1}, x_{N-2}, \dots, x_{N-J}$ )에 DF 알고리즘을 적용하여 상기  $J$ 개의 레이어들에서 각각 후보 심벌들을 생성하는 단계, 상기  $J$ 개의 레이어들을 재배열 하는 단계, 상기 재배열 결과 제일 아래에 위치한 레이어를 새로운 후보 레이어로 선택하고 상기 새로운 후보 레이어를 제외한 나머지 레이어들에 DF 과정을 수행하여  $N$  차원 후보 심벌 벡터들  $\mathbf{x}_i$ 를 생성하는 단계, 상기 후보 심벌 벡터들  $\mathbf{x}_i$ 에 대해 최대 우도 검출을 수행하여  $N$ 차원 입력 벡터  $\hat{\mathbf{x}}$ 를 검출하는 단계를 포함한다.

[0007]

상기한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 다른 일 양태에 따른 시공간 블록 부호를 수신하여 검출하는 방법은 신호 벡터  $\mathbf{x}_i$ 에 대해  $p$  ( $p \geq 2$ )개의 초기 후보 레이어들( $x_N, \dots, x_{N-p+1}$ )을 먼저 임의로 선택하고 상기 초기 후보 레이어들 내의 모든 가능한 후보 심벌 벡터들 조합 각각에 대해서 처음  $K$ 개의 레이어들( $x_{N-p}, \dots, x_{N-p-K+1}$ )에 DF 알고리즘을 적용하여 상기  $K$ 개의 레이어 각각에서 후보 심벌들을 생성하는 단계, 상기  $K$ 개의 레이어들을 재배열 하는 단계, 상기 열 순서 정렬을 수행한 후 맨 아래  $p$  개의 레이어들을 새로운 후보 레이어들로 선택하고 상기 새로운 후보 레이어들을 제외한 나머지 레이어들에 DF 알고리즘을 수행하여  $N$  차원 후보 벡터들  $\mathbf{x}_i$ 를 생성하는 단계, 상기  $N$  차원 후보 심벌 벡터들  $\mathbf{x}_i$ 에 대해 최대 우도 검출을 수행하여  $N$  차원 입력 벡터  $\hat{\mathbf{x}}$ 를 검출하는 단계를 포함한다.

### 효과

[0008]

본 발명에 따른 임의의 복소 변조 방식 및 임의의 송수신 안테나의 시공간 블록 부호를 사용하는 무선 통신 시스템의 수신기에서 시공간 블록 부호의 검출하는 방법은 기존의 PD 및  $p$ -PD 검출 방법에 비해 동일한 성능을 유지하면서 검출 복잡도를 획기적으로 줄일 수 있다.

## 발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0009]

이하, 본 발명의 따른 검출 방법을 첨부된 도면을 참조하여 설명한다.

[0010]

본 발명에 따른 일반적인 시공간 블록 부호의 검출 방법은 임의의  $N$ 개의 송신 안테나와 임의의  $M$ 개의 수신 안테나들로 이루어진 무선 통신 시스템에 적용할 수 있다. 여기에서는 설명의 편의를 위하여 하나의 수신 안테나를 사용하는 시스템을 실시예로 들어 설명하나 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.

[0011]

도 1은 본 발명의 실시예에 따른 검출 방법을 개략적으로 보인 흐름도이다.

[0012]

도 1에서 보는 바와 같이, 본 발명에 따른 검출 방법은 수신 안테나로 수신된  $N$  차원 수신 벡터  $\mathbf{y}$ 에 대해 등가 시공간 신호 모델로 재정리된  $N$  차원 신호 벡터  $\hat{\mathbf{y}}$ 를 출력하는 단계(S20), 상기 등가 시공간 신호 모델에 해당하는 등가 시공간 채널 행렬  $\mathbf{H}$ 를 QR 분해하여 유니터리 행렬  $\mathbf{Q}$ 와 상위삼각행렬  $\mathbf{R}$ 을 생성하는 QR 분해하는 단계(S30), 상기 신호 벡터  $\hat{\mathbf{y}}$ 의 원편에 상기 유니터리 행렬  $\mathbf{Q}$ 의 복소공액 전치행렬  $\mathbf{Q}^H$ 를 곱하여  $N$  차원 신호 벡터

$\tilde{\mathbf{y}}$  를 생성하는 단계(S40), 상기 신호 벡터  $\tilde{\mathbf{y}}$ 에 대해 N 차원 입력 벡터  $\hat{\mathbf{x}}$ 를 검출하는 단계(S50)로 구성된다.

[0013] 일반적인 시공간 블록 부호에서는 길이 N 인 입력 열 벡터  $\mathbf{x}^T = [x_1, \dots, x_N]$  가 시공간 블록 부호화기 (space-time encoder)에 입력되어 NXN 부호어 행렬 (codeword matrix)  $\mathbf{G}(\mathbf{x}) = \{g_{t,n}\}$  가 생성된다. 여기서 부호어 심별  $g_{t,n}$  은 t 번째 시간 구간에서 n 번째 송신 안테나로 전송된다.

[0014] 각각의 송신 안테나와 수신 안테나 사이의 채널은 독립적인 레일리 (Rayleigh) 페이딩 채널이라고 가정한다. 또한 채널은 하나의 부호어 행렬이 전송되는 동안 채널 값이 변화하지 않는 준정상 (quasi-static) 채널이라고 가정한다. 그러면 t 번째 시간 구간 동안에 수신 안테나의 정합 필터 출력 값  $y_t$  는 다음과 같이 주어진다.

### 수학식 1

$$y_t = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=1}^N h_n g_{t,n} + w_t, \quad t = 1, 2, \dots, N$$

[0015] 여기서 채널 상수  $h_n \triangleq h_n^I + jh_n^Q$  는 n 번째 송신 안테나와 수신 안테나 사이의 복소 채널 이득으로서  $h_n^I$  와  $h_n^Q$  들은 0의 평균 값과 0.5의 분산 값을 갖는 i.i.d. (Independent and identically-distributed) 가우시안 (Gaussian) 랜덤 변수이다. 또한  $w_t \triangleq w_t^I + jw_t^Q$  는 t 번째 시간 구간에서 열 잡음 (thermal noise)의 기여 (contribution)를 나타내며  $w_t^I$  와  $w_t^Q$  들은 0의 평균 값과  $N_0/2$ 의 분산 값을 갖는 i.i.d. 가우시안 랜덤 변수이다. 주어진 시간에 전체 전송 전력이 단일 안테나 시스템과 동일하도록 하기 위해서 각 송신 안테나에서 전송 전력이 정규화 (normalization) 되어 있다.

[0017] 상기 정합 필터 출력 값들  $y_t$  는 다음과 같이 N 차원 수신 열 벡터  $\mathbf{y}^T = [y_1, \dots, y_N]$  로 나타낼 수 있다.

### 수학식 2

$$\mathbf{y} = \frac{1}{\sqrt{N}} \mathbf{G} \mathbf{h} + \mathbf{w}$$

[0019] 여기서  $\mathbf{h}^T = [h_1, \dots, h_N]$  이고  $\mathbf{w}^T = [w_1, \dots, w_N]$  이다.

[0020] 상기 N 차원 수신 벡터  $\mathbf{y}$  는 등가 시공간 신호 모델을 따라 다음과 같이 나타낼 수 있다.

### 수학식 3

$$\hat{\mathbf{y}} = \mathbf{H} \mathbf{x} + \hat{\mathbf{w}}$$

[0022] 여기서 N 차원 행렬  $\hat{\mathbf{y}}$  은  $\mathbf{y}$  내의 적절한 원소들을 복소 공액을 취함으로써 얻어진다.

[0023] 행렬  $\mathbf{H}$  는  $h_1, \dots, h_N$  과 이들의 복소 공액들의 복소 선형 결합으로 구성되는 NXN 등가 시공간 채널 행렬이며 최대 랭크 (rank)로 가정된다. 그리고  $\hat{\mathbf{w}}$  는  $w_1, \dots, w_N$  과 이들의 복소 공액들로 이루어지는 N 차원 등가 잡음 벡터이다.

[0024] 수신단에서는 등가 시공간 채널 행렬  $\mathbf{H}$  값을 완벽히 안다는 가정 하에 아래 수학식 4와 같이 최대 우도 검출을 수행하여 N 차원 입력 벡터  $\hat{\mathbf{x}}$  를 선택할 수 있다.

### 수학식 4

$$\hat{\mathbf{x}} = \arg \min_{\tilde{\mathbf{x}}} \|\hat{\mathbf{y}} - \mathbf{H} \tilde{\mathbf{x}}\|^2$$

[0026] 여기서  $\| \cdot \|$  는 프로베니우스 놈 (Frobenius norm) 값을 나타낸다.

[0027] 상기 등가 시공간 채널 모델로 재정리 하는 단계(S20)에서는 수신 벡터  $\mathbf{y}$ 내의 적절한 원소들을 복소 공액을 취함으로써 N 차원 신호 벡터  $\hat{\mathbf{y}}$ 을 생성한다.

[0028] 상기 QR 분해 단계(S30)에서는 등가 시공간 채널 행렬  $\mathbf{H}$ 를 QR 분해하여 다음과 같이 NXN 유니터리 행렬  $\mathbf{Q}$ 와 NXN 상위삼각행렬  $\mathbf{R}$ 을 생성한다.

## 수학식 5

$\mathbf{H} = \mathbf{Q}\mathbf{R}$

[0030] 신호벡터  $\tilde{\mathbf{y}}$  생성 단계(S40)에서는 입력된 N 차원 신호 벡터  $\hat{\mathbf{y}}$ 의 왼편에 상기 유니터리 행렬  $\mathbf{Q}$ 의 복소공액 전치행렬  $\mathbf{Q}^H$ 를 곱하여 다음과 같이 N 차원 신호 벡터  $\tilde{\mathbf{y}}$ 를 생성한다.

## 수학식 6

$$\tilde{\mathbf{y}} \triangleq \mathbf{Q}^H \hat{\mathbf{y}} = \mathbf{R}\mathbf{x} + \tilde{\mathbf{w}} = \begin{bmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \cdots & r_{1,N} \\ 0 & r_{2,2} & \cdots & r_{2,N} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & r_{N,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{w}_1 \\ \tilde{w}_2 \\ \vdots \\ \tilde{w}_N \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R} \triangleq \begin{bmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \cdots & r_{1,N} \\ 0 & r_{2,2} & \cdots & r_{2,N} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & r_{N,N} \end{bmatrix}$$

[0032] 여기서  $\tilde{\mathbf{w}} \triangleq [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_N]^T = \mathbf{Q}^H \tilde{\mathbf{w}}$  는  $\mathbf{w}$ 와 동일한 통계적 특성을 가진다.

[0033] 등가 시공간 채널 행렬  $\mathbf{H}$ 를 QR 분해함으로써 시공간 블록 부호에 V-BLAST 검출 알고리즘의 적용이 가능하다.

[0034] 도 2는 도 1의 시공간 블록 부호 검출 단계(S50)의 세부 단계를 보인 흐름도이다. 도 2를 참조하여 시공간 블록 부호 검출 방법을 살펴보면, 도 1의 신호 벡터  $\tilde{\mathbf{y}}$  생성 단계(S40)로부터 생성된 신호 벡터  $\tilde{\mathbf{y}}$ 가 입력되면(S51) 이후 DF 알고리즘을 적용하여 각각의 레이어에서 후보 심벌들을 생성하는 제1 DF 수행단계(S52), 생성된 후보 심벌들 값에 따라 레이어들을 재배열 하는 단계(S54), 재배열된 레이어 배열에 의하여 소정의 기준에 따라 선택된 레이어들에 대하여 다시 DF 알고리즘을 적용하여 후보 심벌들을 생성하는 제2 DF 수행단계(S54), N 차원 입력 벡터  $\hat{\mathbf{x}}$ 를 검출하기 위한 최대 우도 결정 연산 단계(S58)를 거친다.

[0035] 상기 제 1DF 수행단계(S52), 레이어 재배열 단계(S54), 제 2 DF 수행단계(S56)는 RR-PD 검출방법 또는 RR-p-PD 검출방법 등을 통하여 이루어 질 수 있다.

[0036] 먼저, 본 발명이 제안하는 상기 단계들의 수행 방법 중 하나로 RR-PD 검출방법에 따른 수행방법을 설명한다. RR-PD 검출방법에 의하면 제 1DF 수행단계(S52), 레이어 재배열 단계(S54), 제 2 DF 수행단계(S56)는 입력된 신호 벡터  $\tilde{\mathbf{y}}$ 에 대해 하나의 초기 후보 레이어를 임의로 선택하여 이를 각각에 대해서 처음  $J$  ( $1 \leq J \leq N-1$ ) 개의 레이어들에 DF 알고리즘을 적용하여 각각의 레이어에서 후보 심벌들을 생성하는 제1 DF 수행 단계(S52), 상기 생성된 각각의 레이어에 해당하는 후보 심벌들 중에서 가장 작은 값을 가지는 레이어가 맨 아래에 위치하도록 등가 시공간 채널 행렬  $\mathbf{H}$ 내의 열 순서를 바꾸는 과정을 수행하는 레이어 재배열 단계(S54), 상기 열 순서 정렬 후에 맨 아래 레이어를 새로운 후보 레이어로 선택하고 나머지 레이어들에 DF 과정을 수행하여 N 차원 후보 심벌 벡터들  $\mathbf{x}_i$ 를 생성하는 제2 DF 수행 단계(S54)와 같이 수행된다.

[0037] 도 3은 RR-PD 검출방법의 예를 보인 것이다.

[0038] 상기 입력된 신호 벡터  $\tilde{\mathbf{y}}$ 에 대해 제 1 DF 수행단계(S52)에서는 하나의 초기 후보 레이어를 먼저 임의로 선택하여 초기 후보 레이어( $\mathbf{x}_N, 300$ ) 내의  $Q$  개의 모든 가능한 후보 심벌들(320) 각각에 대해서 처음  $J$  ( $1 \leq J \leq N-1$ ) 개의 레이어들(310)에 DF 알고리즘을 적용하여 각각의 레이어에서 후보 심벌들을 생성한다. 여기서  $i$  번째 ( $i=1, 2, \dots, J+1$ ) 레이어에서 생성된 서로 다른 후보 심벌들의 개수를  $a_i$ 라고 한다.

[0039] 서로 다른 후보 심벌들 개수  $a_i$ 들 중에서 다음과 같이 최소의 후보 심벌들 개수를  $a$ 라고 하면  $a$ 는 수학식 7과 같이 나타낼 수 있다.

### 수학식 7

$$\alpha \triangleq \min_i \alpha_i, \quad i = 1, 2, \dots, J+1$$

[0040] [0041] 레이어 재배열 단계(S54)에서는 최소 후보 심벌들 개수  $a$ 를 가지는 레이어가 맨 아래에 위치되도록 등가 시공간 채널 행렬  $\mathbf{H}$  내에서 열 순서 정렬(재배열)을 수행하여 원래의 초기 후보 레이어를 교체한다. 등가 시공간 채널 행렬  $\mathbf{H}$  내에서 열 순서 정렬을 수행한 후 생성된 새로운  $\mathbf{H}_{\text{ordered,RR-PD}}$ 에 대해 QR 분해를 수행한다. 도 3에서는 두 번째 레이어 ( $\mathbf{x}_{N-1}, 360$ )에서 생성된 서로 다른 후보 심벌들의 개수  $a_2$ 가 가장 작은 경우를 예로 들고 있다.

[0042] 제 2 DF 수행 단계(S56)에서는 새로운 후보 레이어에 내의  $a$  개의 후보 심벌들 각각에 DF 알고리즘을 적용하여  $a$  개의 후보 벡터들  $\mathbf{x}_i$  ( $i=1, 2, \dots, a$ )를 생성한다.

[0043] 최대 우도 결정 연산 단계(S58)에서는 상기  $a$  개의 후보 벡터들( $\mathbf{x}_i$ )에 대해서 최대 우도 결정 연산을 수행하여  $N$  차원 입력 벡터  $\hat{\mathbf{x}}$ 를 검출한다.

[0044] 다음으로, 본 발명이 제안하는 상기 단계들의 수행 방법 중 다른 방법으로 RR- $p$ -PD 검출방법에 따른 수행방법을 설명한다. RR- $p$ -PD 검출방법에 의하면 제 1DF 수행단계(S52), 레이어 재배열 단계(S54), 제 2 DF 수행단계(S56)는 입력된 신호 벡터  $\tilde{\mathbf{y}}$ 에 대해  $p$  개의 초기 후보 레이어들 내의 가능한  $p$  차원 후보 심벌 벡터들 각각에 대해서 처음  $K$  개의 레이어들에 DF 알고리즘을 적용하여 각각의 레이어에서 후보 심벌들을 생성하는 제1 DF 수행 단계(S52), 상기  $K$  개의 레이어들로부터  $p$  개의 모든 가능한 레이어 조합들에 대해 서로 다른 후보 심벌 벡터들의 개수가 가장 작은 값에 해당하는  $p$  개의 레이어들 조합을 맨 아래에 위치하도록 등가 시공간 채널 행렬  $\mathbf{H}$  내의 열 순서를 바꾸는 레이어 재배열 단계(S54), 레이어 재배열을 수행한 후 맨 아래  $p$  개의 레이어들을 새로운 후보 레이어들로 선택하고 나머지 레이어들에 DF 알고리즘을 수행하여  $N$  차원 후보 벡터들  $\mathbf{x}_i$ 를 생성하는 제 2 DF 수행 단계(S56)와 같은 방식으로 수행된다.

[0045] 도 4는 RR- $p$ -PD 검출방법의 예를 보인 것이다.

[0046] 입력된 신호 벡터  $\tilde{\mathbf{y}}$ 에 대해 제 1 DF 수행단계(S52)에서는  $p$  개의 초기 후보 레이어들(400)을 먼저 임의로 선택하여 초기 후보 레이어들 내의  $Q^p$  개의 모든 가능한 후보 심벌 벡터들(420) 각각에 대해서 처음  $K$  ( $p \leq K \leq N-p$ ) 개의 레이어들 (410)에 대해 DF 알고리즘을 적용하여 각각의 레이어에서 후보 심벌들을 생성한다. 상기  $K$  개의 레이어들로부터 서로 다른  $p$  개의 레이어들을 조합함으로써

$$\binom{K}{p} \text{ 개의 조합들을 생성할 수 있으며 각각의 레이어 } \beta_i (1 \leq \beta_i \leq Q^p, i = 1, 2, \dots, \binom{K}{p}) \text{ 개의 } p \text{ 차원 후보 심벌 벡터들이 존재한다.}$$

[0047] 상기  $p$  차원 후보 심벌 벡터들 개수  $\beta_i$ 들 중에서 다음과 같이 최소의 후보 심벌 벡터들 개수를  $\beta$ 라고 하면,  $\beta$ 는 수학식 8과 같이 나타낼 수 있다.

## 수학식 8

$$\beta \triangleq \min_i \beta_i, \quad i = 1, 2, \dots, \binom{K}{p}$$

[0048] 레이어 재배열 단계(S54)에서는 상기 최소 후보 심벌 벡터들 개수  $\beta$ 를 가지는  $p$  개의 레이어들이 맨 아래에 위치되도록 등가 시공간 채널 행렬  $\mathbf{H}$  내에서 열 순서 정렬을 수행하여 원래의 초기 후보 레이어들을 교체한다. 등가 시공간 채널 행렬  $\mathbf{H}$  내에서 열 순서 정렬을 수행한 후 생성된 새로운  $\mathbf{H}_{\text{ordered,RR-p-PD}}$ 에 대해 QR 분해를 수행한다. 도 4는 레이어 인덱스  $p+1, p+2, \dots, p+K$ 에 해당하는 레이어들의 조합에 대한 서로 다른 후보 심벌 벡터들의 개수가 가장 작은 경우를 예로 들고 있다.

[0050] 제 2 DF 수행 단계(S56)에서는 새로운 후보 레이어들 내의  $\beta$  개의  $p$  차원 후보 심벌 벡터들 각각에 DF 알고리즘을 적용하여  $\beta$  개의  $N$  차원 후보 심벌 벡터들  $\mathbf{x}_i$  ( $i=1, 2, \dots, \beta$ )를 생성한다.

[0051] 최대 우도 결정 연산 단계(S58)에서는 상기  $\beta$  개의 후보 벡터들( $\mathbf{x}_i$ )에 대해서 최대 우도 결정 연산을 수행하여  $N$  차원 입력 벡터  $\hat{\mathbf{x}}$ 를 검출한다.

[0052] 도 5는 본 발명의 일 실시예가 구현되는 수신기를 나타낸 블록도이다. 수신기(500)는 프로세서(510), 메모리(520), 트랜스시버(530)를 포함한다. 트랜스시버(530)는 무선신호를 송신/수신한다. 프로세서(510)는 트랜스시버(530)와 연결되어 전술한 시공간 블록부호 검출방법을 구현할 수 있다.

[0053] 프로세서(510) 및/또는 트랜스시버(530)는 ASIC(application-specific integrated circuit), 다른 칩셋, 논리 회로 및/또는 데이터 처리 장치를 포함할 수 있다. 메모리(520)는 ROM(read-only memory), RAM(random access memory), 플래쉬 메모리, 메모리 카드, 저장 매체 및/또는 다른 저장 장치를 포함할 수 있다. 실시예가 소프트웨어로 구현될 때, 상술한 기법은 상술한 기능을 수행하는 모듈(과정, 기능 등)로 구현될 수 있다. 모듈은 메모리(520)에 저장되고, 프로세서(510)에 의해 실행될 수 있다. 메모리(520)는 프로세서(510) 내부 또는 외부에 있을 수 있고, 잘 알려진 다양한 수단으로 프로세서(510)와 연결될 수 있다.

[0054] 도 6은 레일리 페이딩 채널(Rayleigh fading channel)하에서 A-ST-CR(Alamouti Space-Time Constellation-Rotating) 부호를 사용하여 시험하였을 때, 각 방식에 따른 평균 심벌 에러율(Average SER)을 나타내고 있다. 실험에 사용된 부호 A-ST-CR은 시공간 블록부호로서 형식과 내용에 관하여 다음의 참고문헌을 참조할 수 있다.

[0055] [참고문헌] T. Jung and K. Cheun, Design of concatenated space-time block codes using signal space-diversity and the Alamouti scheme, IEEE Communications Letters, vol. 7, no. 7, pp. 329-331, July 2003.

[0056] 도 6의 그레프에 나타난 바와 같이 본 발명의 RR-PD 방식은 기존의 PD 방식과 거의 동일한 성능을 나타내며 본 발명의 RR-p-PD 방식은 기존의 p-PD 방식과 거의 동일한 성능을 나타낸다.

[0057] 도 7은 레일리 페이딩 채널(Rayleigh fading channel)하에서 ST-CR (Space-Time Constellation-Rotating) 부호를 사용하여 시험하였을 때, 각 방식에 따른 평균 심벌 에러율(Average SER)을 나타내고 있다. 실험에 사용된 부호 ST-CR은 시공간 블록부호로서 형식과 내용에 관하여 다음의 참고문헌을 참조할 수 있다.

[0058] [참고문헌] Y. Xin, Z. Wang and G. B. Giannakis, Space-time constellation-rotating codes maximizing diversity and coding gains, in Proc. Int. Conf. on GLOBECOM, vol. 1, pp. 455-459.

[0059] 도 7의 그레프에 나타난 바와 같이 본 발명의 RR-PD 방식은 기존의 PD 방식과 거의 동일한 성능을 나타내며 본 발명의 RR-p-PD 방식은 기존의 p-PD 방식과 거의 동일한 성능을 나타낸다.

표 1

Codes	Algorithm	Number of real multiplications			
		QPSK	16-QAM	64-QAM	256-QAM
A-ST-CR	ML	18432	$4.72 \times 10^6$	$1.21 \times 10^9$	$3.09 \times 10^{11}$
	Sphere decoding	468	1325	9631	138645
	PD	413	697	1815	6246
	RR-PD ( $J = 1$ )	669	757	<b>1077</b>	<b>2274</b>
	$p$ -PD ( $p = 2$ )	458	1283	10324	138659
	RR- $p$ -PD ( $p = 2, K = 2$ )	733	<b>1038</b>	<b>2316</b>	<b>8836</b>
ST-CR	ML	18432	$4.72 \times 10^6$	$1.21 \times 10^9$	$3.09 \times 10^{11}$
	Sphere decoding	484	1377	11259	220265
	PD	420	733	1956	6797
	RR-PD ( $J = 1$ )	682	813	<b>1299</b>	<b>3138</b>
	$p$ -PD ( $p = 2$ )	466	1322	10496	139302
	RR- $p$ -PD ( $p = 2, K = 2$ )	762	<b>1200</b>	<b>3161</b>	<b>14349</b>

[0060] 표 1은 각 방식에 의할 때, 곱셈 연산의 수에 따른 계산 복잡도를 비교한 표이다.

[0061] 표 1에서 Sphere decoding은 종래의 방식으로서 그 형식과 내용은 다음의 참고문헌에서 참고할 수 있다.

[0062] [참고문헌] O. Damen, A. Chkeif, and J.-C. Belfiore, Lattice code decoder for space-time codes, IEEE Communications Letters., vol. 4, no. 5, pp. 161-163, May 2000.

[0063] 표 1에 따르면 본 발명의 RR-PD 방식은 기존의 PD 방식에 비해 변조 차수가 증가할수록 계산 복잡도 감소 이득이 크게 증가하며 본 발명의 RR- $p$ -PD 방식은 기존의  $p$ -PD 방식에 비해 변조 차수가 증가할수록 계산 복잡도 감소 이득이 크게 증가함을 알 수 있다.

[0064] 또한, 본 발명의 RR-PD 방식 및 RR- $p$ -PD 방식은 기존의 sphere decoding 방식과 비교할 때에도 변조 차수가 증가할수록 계산 복잡도 감소 이득이 크게 증가한다.

[0065] 상기 점들을 종합하여 고려하면, 본 발명이 제안하는 시공간 블록부호의 검출방법은 종래의 검출방법과 비교하여 거의 동일한 성능을 보여주면서, 시스템의 복잡도는 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

[0066] 상술한 예시적인 시스템에서, 방법들은 일련의 단계 또는 블록으로써 순서도를 기초로 설명되고 있지만, 본 발명은 단계들의 순서에 한정되는 것은 아니며, 어떤 단계는 상술한 바와 다른 단계와 다른 순서로 또는 동시에 발생할 수 있다. 또한, 당업자라면 순서도에 나타낸 단계들이 배타적이지 않고, 다른 단계가 포함되거나 순서도의 하나 또는 그 이상의 단계가 본 발명의 범위에 영향을 미치지 않고 삭제될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

[0067] 상술한 실시예들은 다양한 양태의 예시들을 포함한다. 다양한 양태들을 나타내기 위한 모든 가능한 조합을 기술할 수는 없지만, 해당 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자는 다른 조합이 가능함을 인식할 수 있을 것이다. 따라서, 본 발명은 이하의 특허청구범위 내에 속하는 모든 다른 교체, 수정 및 변경을 포함한다고 할 것이다. 이상에서 상세하게 설명한 본 발명의 실시예는 단지 본 발명의 기술 사상을 보여주기 위한 예시적인 것으로서, 상기 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상이 한정되는 것으로 해석될 수 없으며, 본 발명의 보호 범위는 후술하는 본 발명의 특허청구범위에 의하여 특정된다.

### 도면의 간단한 설명

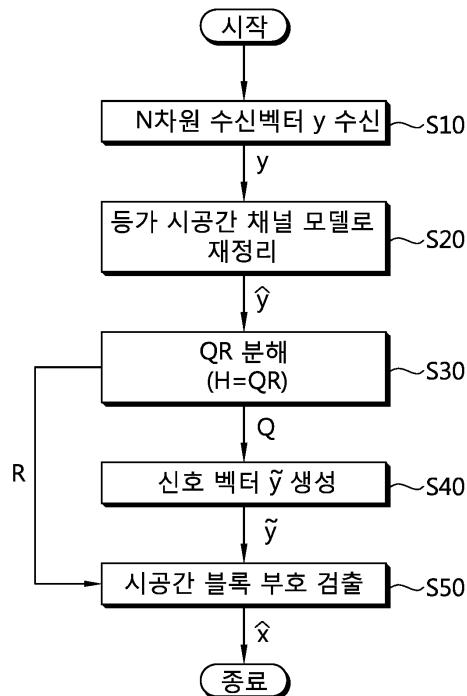
[0068] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 검출 방법을 개략적으로 보인 흐름도이다.

[0069] 도 2는 도 1의 시공간 블록 부호 검출 단계의 세부 단계를 보인 흐름도이다.

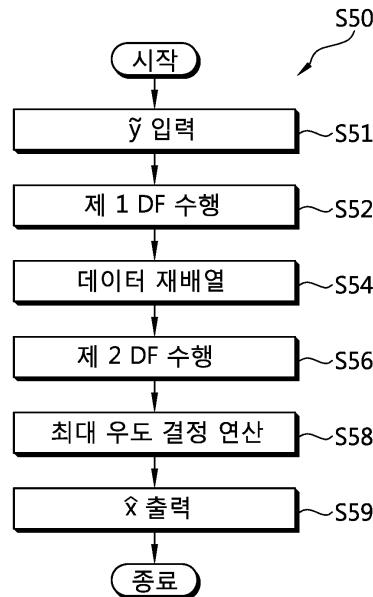
- [0071] 도 3은 RR-PD 검출방법의 예를 설명하는 그림이다.
- [0072] 도 4는 RR- $p$ -PD 검출방법의 예를 설명하는 그림이다.
- [0073] 도 5는 본 발명의 일 실시예가 구현되는 수신기를 나타낸 블록도이다.
- [0074] 도 6은 레일리 페이딩 채널하에서 A-ST-CR 부호를 사용하여 시험하였을 때, 각 방식에 따른 평균 심벌 에러율을 나타낸 그래프이다.
- [0075] 도 7은 레일리 페이딩 채널하에서 ST-CR 부호를 사용하여 시험하였을 때, 각 방식에 따른 평균 심벌 에러율을 나타낸 그래프이다.

## 도면

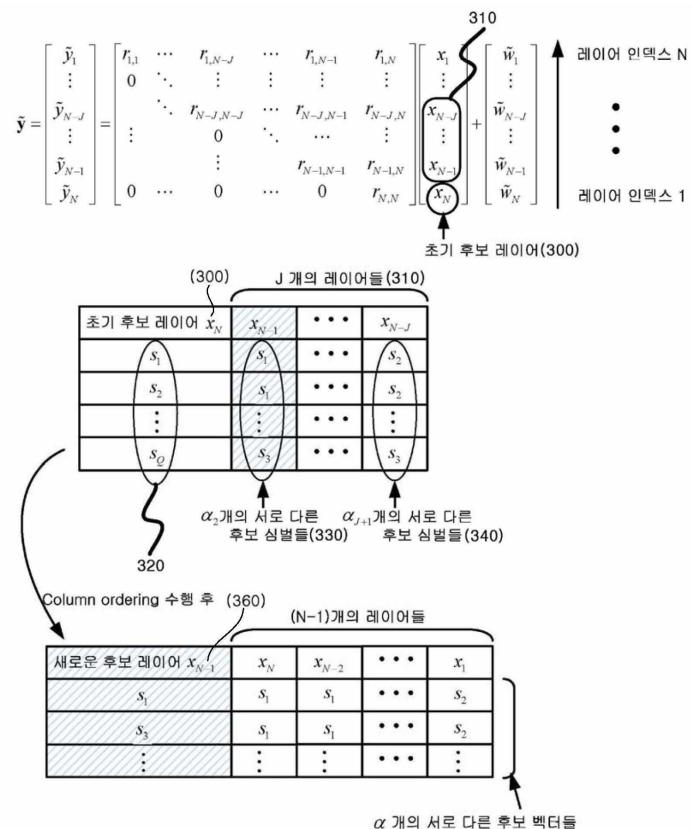
### 도면1



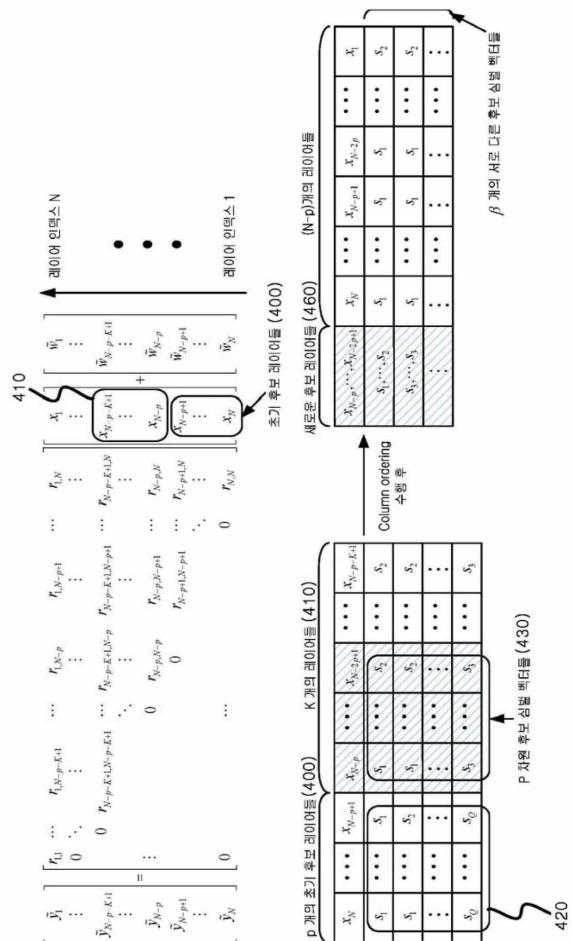
## 도면2



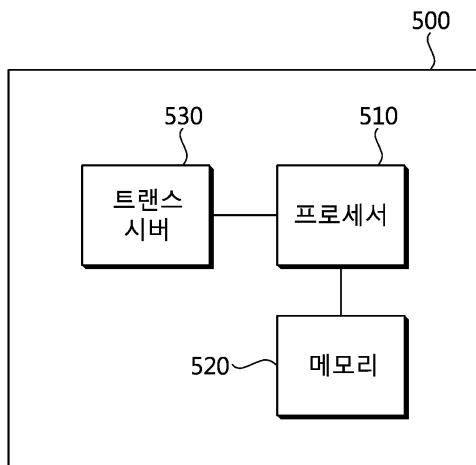
## 도면3



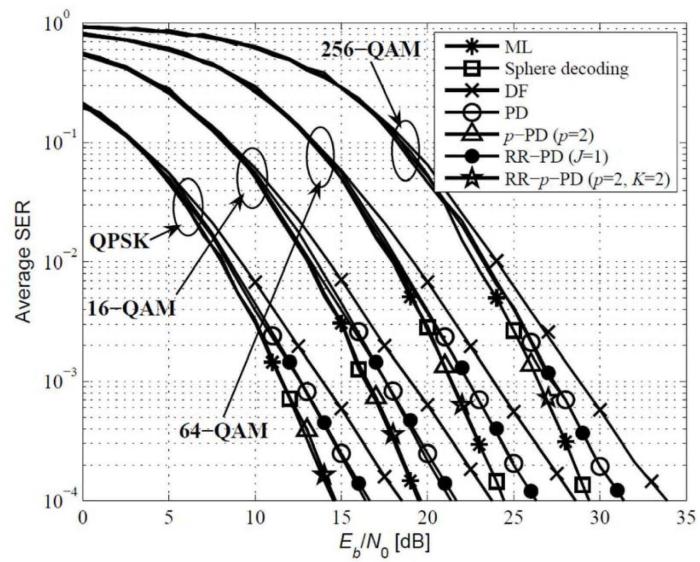
## 도면4



## 도면5



도면6



도면7

