



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년10월14일  
(11) 등록번호 10-2165916  
(24) 등록일자 2020년10월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H04B 7/0456 (2017.01) H04B 7/08 (2017.01)  
(52) CPC특허분류  
H04B 7/0456 (2013.01)  
H04B 7/0837 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2018-0170231  
(22) 출원일자 2018년12월27일  
심사청구일자 2018년12월27일  
(65) 공개번호 10-2020-0080610  
(43) 공개일자 2020년07월07일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR101769715 B1  
JP2011211486 A  
안홍선 외, "다중 사용자 MIMO 시스템을 위한  
Seysen 알고리즘 기반 Lattice Reduction Aided  
프리코딩", 한국통신학회, 2009.09  
Lin Bai, "Lattice reduction and list based  
low complexity MIMO detection and its  
application", Swansea University  
E-Theses(2010.10.15.)

(73) 특허권자  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대  
학교)  
(72) 발명자  
김재석  
서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3  
공학관 533호(신촌동)  
이혁연  
서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3  
공학관 533호(신촌동)  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
민영준

전체 청구항 수 : 총 11 항

심사관 : 김성태

(54) 발명의 명칭 다중 입출력 무선 통신 시스템의 격자 감소 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 Seysen 알고리즘을 기반으로 낮은 복잡성은 유지하면서, 가능한 모든 인덱스 중 두 개의 인덱스를 선택하여 병렬로 반복 업데이트 함으로써, 반복 횟수를 크게 줄일 수 있는 격자 감소 장치 및 방법을 제공할 수 있다.

대표도



(72) 발명자

**오경목**

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공  
학관 533호(신촌동)

**조민정**

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공  
학관 533호(신촌동)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

기저 행렬에 대한 그램 행렬과 상기 그램 행렬의 듀얼 행렬인 듀얼 그램 행렬을 계산하는 그램 행렬 계산부;

이전 업데이트 되거나 상기 그램 행렬 계산부에서 전달된 그램 행렬의 인덱스 쌍에 대한 업데이트 변수와 상기 업데이트 변수에 따른 직교성 감소량을 계산하는 업데이트 변수 계산부;

업데이트 횟수 및 상기 직교성 감소량에 따라 업데이트 계속 수행 여부를 판별하는 업데이트 판별부;

상기 그램 행렬에서 행과 열이 중복되지 않으면서 상기 직교성 감소량을 최대로 하는 2개의 인덱스 쌍을 2개의 기저 쌍으로 선택하는 기저 쌍 선택부; 및

선택된 2개의 기저 쌍에 따라 상기 그램 행렬과 상기 듀얼 그램 행렬, 상기 기저 행렬에 대응하는 복소 유니모듈러 행렬 및 상기 복소 유니모듈러 행렬의 듀얼 행렬인 듀얼 유니모듈러 행렬을 상기 업데이트 변수에 따라 업데이트하는 업데이트부; 를 포함하는 격자 감소 장치.

#### 청구항 2

제1 항에 있어서, 상기 업데이트 판별부는

상기 업데이트 횟수가 기지정된 최대 반복 횟수를 초과하거나, 상기 직교성 감소량이 0이면 업데이트를 중지하는 격자 감소 장치.

#### 청구항 3

제1 항에 있어서, 상기 그램 행렬 계산부는

기저 행렬(H)에 대한 상기 그램 행렬과 상기 듀얼 그램 행렬을 각각  $\mathbf{G} = \mathbf{H}^H \mathbf{H}$  및  $\tilde{\mathbf{G}} = \mathbf{G}^{-1}$ 로 계산하여 획득하고,

상기 업데이트 변수 계산부는

상기 그램 행렬에서  $j \neq k$  인 모든 인덱스 쌍(j,k)에 대해 업데이트 변수( $\bar{\lambda}$ )와 직교성 감소량( $\bar{\Delta}$ )을 각각 수학식

$$\bar{\lambda}_{j,k} = \text{sgn}(\tilde{\mathbf{G}}_{k,k} \mathbf{G}_{j,j}) \{ \text{sgn}(\Re[\alpha_{j,k}]) + i \cdot \text{sgn}(\Im[\alpha_{j,k}]) \} \quad \text{및}$$

$$\bar{\Delta}_{j,k} = -2 \left( \mathbf{G}_{k,k} \tilde{\mathbf{G}}_{j,j} |\bar{\lambda}_{j,k}|^2 - \mathbf{G}_{k,k} \Re[\bar{\lambda}_{j,k}^* \tilde{\mathbf{G}}_{k,j}] + \tilde{\mathbf{G}}_{j,j} \Re[\bar{\lambda}_{j,k}^* \mathbf{G}_{j,k}^*] \right)$$

(여기서  $\alpha_{j,k} = \tilde{\mathbf{G}}_{k,j} \mathbf{G}_{k,k} - \mathbf{G}_{k,j} \tilde{\mathbf{G}}_{j,j}$  이고,  $\Re[\cdot]$  및  $\Im[\cdot]$ 는 각각 실수부 및 허수부 추출 함수이며,  $(\cdot)^*$ 은 복소 켤레 전치(complex conjugate transpose))

에 따라 계산하는 격자 감소 장치.

#### 청구항 4

제3 항에 있어서, 상기 격자 감소 장치는

업데이트된 그램 행렬에서 이후 기저 쌍 선택부가 2개의 기저 쌍((s,t), (u,v))을 선택하기 위한 인덱스 쌍의 집합인 인덱스 집합( $\Gamma_{\hat{s}, \hat{t}}, \Gamma_{\hat{u}, \hat{v}}$ )을 수학식

$$\Gamma_{\dot{s}, \dot{t}} = \bigcup_{1 \leq j, k \leq N_T, j \neq \dot{s}, k \neq \dot{t}} \{(\dot{s}, j), (j, \dot{s}), (\dot{t}, k), (k, \dot{t})\}$$

및

$$\Gamma_{\dot{u}, \dot{v}} = \bigcup_{\text{for } 1 \leq j, k \leq N_T, j \neq \dot{u}, k \neq \dot{v}} \{(\dot{u}, j), (j, \dot{u}), (\dot{v}, k), (k, \dot{v})\}$$

(여기서  $N_T$ 는 송신단 안테나의 개수)

에 따라 추출하는 인덱스 집합 추출부; 를 더 포함하는 격자 감소 장치.

#### 청구항 5

제4 항에 있어서, 상기 기저 쌍 선택부는

상기 인덱스 집합 추출부에서 추출된 인덱스 집합( $\Gamma_{\dot{s}, \dot{t}}, \Gamma_{\dot{u}, \dot{v}}$ )에서 수학식

$$(s, t) = \arg \max_{(j, k)} \bar{\Delta}_{j, k}, \text{ for } (j, k) \in \{\Gamma_{\dot{s}, \dot{t}} \cup \Gamma_{\dot{u}, \dot{v}}\}$$

및

$$(u, v) = \arg \max_{(j, k)} \bar{\Delta}_{j, k}, \text{ for } (j, k) \in \{\Gamma_{\dot{s}, \dot{t}} \cup \Gamma_{\dot{u}, \dot{v}} - \Gamma_{s, t}\}$$

에 따라 상기 2개의 기저 쌍((s, t), (u, v))을 선택하는 격자 감소 장치.

#### 청구항 6

제4 항에 있어서, 상기 업데이트부는

상기 그래프 행렬 및 상기 듀얼 그래프 행렬을 수학식

$$\mathbf{G}_{s, j} = \mathbf{G}_{s, j} + \bar{\lambda}_{s, t}^* \mathbf{G}_{t, j}, \mathbf{G}_{u, k} = \mathbf{G}_{u, k} + \bar{\lambda}_{u, v}^* \mathbf{G}_{v, k}, \text{ for } j \neq s, k \neq u,$$

$$\mathbf{G}_{s, s} = \mathbf{G}_{s, s} + 2\Re[\bar{\lambda}_{s, t}^* \mathbf{G}_{t, s}] + |\bar{\lambda}_{s, t}|^2 \mathbf{G}_{t, t}$$

$$\text{and } \mathbf{G}_{u, u} = \mathbf{G}_{u, u} + 2\Re[\bar{\lambda}_{u, v}^* \mathbf{G}_{v, u}] + |\bar{\lambda}_{u, v}|^2 \mathbf{G}_{v, v}$$

및

$$\tilde{\mathbf{G}}_{t, j} = \tilde{\mathbf{G}}_{t, j} - \bar{\lambda}_{s, t} \tilde{\mathbf{G}}_{s, j}, \tilde{\mathbf{G}}_{v, k} = \tilde{\mathbf{G}}_{v, k} - \bar{\lambda}_{u, v} \tilde{\mathbf{G}}_{u, k}, \text{ for } j \neq t, k \neq v,$$

$$\tilde{\mathbf{G}}_{t, t} = \tilde{\mathbf{G}}_{t, t} - 2\Re[\bar{\lambda}_{s, t}^* \tilde{\mathbf{G}}_{s, t}] + |\bar{\lambda}_{s, t}|^2 \tilde{\mathbf{G}}_{s, s}$$

$$\text{and } \tilde{\mathbf{G}}_{v, v} = \tilde{\mathbf{G}}_{v, v} - 2\Re[\bar{\lambda}_{u, v}^* \tilde{\mathbf{G}}_{u, v}] + |\bar{\lambda}_{u, v}|^2 \tilde{\mathbf{G}}_{u, u}$$

에 따라 업데이트하고,

상기 복소 유니모듈러 행렬 및 상기 듀얼 유니모듈러 행렬을

$$\mathbf{T}_s = \mathbf{T}_s + \bar{\lambda}_{s, t} \mathbf{T}_t, \mathbf{T}_u = \mathbf{T}_u + \bar{\lambda}_{u, v}$$

및

$$\tilde{\mathbf{T}}_{t, *} = \tilde{\mathbf{T}}_{t, *} - \bar{\lambda}_{s, t} \tilde{\mathbf{T}}_{s, *}, \tilde{\mathbf{T}}_{v, *} = \tilde{\mathbf{T}}_{v, *} - \bar{\lambda}_{u, v} \tilde{\mathbf{T}}_{u, *}$$

(여기서  $T_s$ ,  $T_t$ 는 복소 유니모듈러 행렬( $T$ )의  $s$ 열 및  $t$ 열을 나타내고,  $\tilde{T}_{s,*}$ ,  $\tilde{T}_{t,*}$ ,  $\tilde{T}_{v,*}$ ,  $\tilde{T}_{u,*}$ 는 복소 유니모듈러 행렬( $T$ )의 듀얼 행렬( $\tilde{T}$ )의  $s$ 행,  $t$ 행,  $v$ 행 및  $u$ 행을 나타낸다.)

에 따라 업데이트하는 격자 감소 장치.

#### 청구항 7

기저 행렬에 대한 그램 행렬과 상기 그램 행렬의 듀얼 행렬인 듀얼 그램 행렬을 계산하는 단계;

이전 업데이트 되거나 상기 기저 행렬에서 계산된 그램 행렬의 인덱스 쌍에 대한 업데이트 변수와 상기 업데이트 변수에 따른 직교성 감소량을 계산하는 단계;

업데이트 횟수 및 상기 직교성 감소량을 확인하여, 상기 업데이트 횟수가 기지정된 최대 반복 횟수를 초과하거나, 상기 직교성 감소량이 0이면, 업데이트를 중지시키고, 상기 업데이트 횟수가 상기 최대 반복 횟수 이하이고 직교성 감소량이 0이 아니면 업데이트를 계속 수행하도록 결정하는 단계;

상기 그램 행렬에서 행과 열이 중첩되지 않으면서 상기 직교성 감소량을 최대로 하는 2개의 인덱스 쌍을 2개의 기저 쌍으로 선택하는 단계;

선택된 2개의 기저 쌍에 따라 상기 그램 행렬과 상기 듀얼 그램 행렬, 상기 기저 행렬에 대응하는 복소 유니모듈러 행렬 및 상기 복소 유니모듈러 행렬의 듀얼 행렬인 듀얼 유니모듈러 행렬을 상기 업데이트 변수에 따라 업데이트하는 단계; 및

업데이트된 그램 행렬에서 이후 2개의 기저 쌍을 선택하기 위한 인덱스 쌍의 집합인 인덱스 집합을 추출하는 단계; 를 포함하는 격자 감소 방법.

#### 청구항 8

제7 항에 있어서, 상기 그램 행렬을 계산하는 단계는

기저 행렬( $H$ )에 대한 상기 그램 행렬과 상기 듀얼 그램 행렬을 각각  $G = H^H H$  및  $\tilde{G} = G^{-1}$ 로 계산하여 획득하고,

상기 직교성 감소량을 계산하는 단계는

그램 행렬( $G$ )에서  $j \neq k$  인 모든 인덱스 쌍( $j, k$ )에 대해 업데이트 변수( $\bar{\lambda}$ )와 직교성 감소량( $\bar{\Delta}$ )을 각각 수학식

$$\bar{\lambda}_{j,k} = \text{sgn}(\tilde{G}_{k,k} G_{j,j}) \{ \text{sgn}(\Re[\alpha_{j,k}]) + i \cdot \text{sgn}(\Im[\alpha_{j,k}]) \} \text{ 및}$$

$$\bar{\Delta}_{j,k} = -2 \left( G_{k,k} \tilde{G}_{j,j} |\bar{\lambda}_{j,k}|^2 - G_{k,k} \Re[\bar{\lambda}_{j,k}^* \tilde{G}_{k,j}] + \tilde{G}_{j,j} \Re[\bar{\lambda}_{j,k}^* G_{j,k}^*] \right)$$

(여기서  $\alpha_{j,k} = \tilde{G}_{k,j} G_{k,k} - G_{k,j} \tilde{G}_{j,j}$  이고,  $\Re[\cdot]$  및  $\Im[\cdot]$ 는 각각 실수부 및 허수부 추출 함수이며,  $(\cdot)^*$ 은 복소 켤레 전치(complex conjugate transpose))

에 따라 계산하는 격자 감소 방법.

#### 청구항 9

제8 항에 있어서, 상기 인덱스 집합을 추출하는 단계는

업데이트된 그램 행렬에서 상기 인덱스 집합을 수학식

$$\Gamma_{\dot{s}, \dot{t}} = \bigcup_{1 \leq j, k \leq N_T, j \neq \dot{s}, k \neq \dot{t}} \{(\dot{s}, j), (j, \dot{s}), (\dot{t}, k), (k, \dot{t})\}$$

및

$$\Gamma_{\dot{u}, \dot{v}} = \bigcup_{\text{for } 1 \leq j, k \leq N_T, j \neq \dot{u}, k \neq \dot{v}} \{(\dot{u}, j), (j, \dot{u}), (\dot{v}, k), (k, \dot{v})\}$$

(여기서  $N_T$ 는 송신단 안테나의 개수)

에 따라 추출하는 격자 감소 방법.

#### 청구항 10

제9 항에 있어서, 상기 기저 쌍으로 선택하는 단계는

상기 인덱스 집합에서

수학식

$$(s, t) = \arg \max_{(j, k)} \bar{\Delta}_{j, k}, \text{ for } (j, k) \in \{\Gamma_{\dot{s}, \dot{t}} \cup \Gamma_{\dot{u}, \dot{v}}\}$$

및

$$(u, v) = \arg \max_{(j, k)} \bar{\Delta}_{j, k}, \text{ for } (j, k) \in \{\Gamma_{\dot{s}, \dot{t}} \cup \Gamma_{\dot{u}, \dot{v}} - \Gamma_{s, t}\}$$

에 따라 상기 2개의 기저 쌍((s,t), (u,v))을 선택하는 격자 감소 방법.

#### 청구항 11

제10 항에 있어서, 상기 업데이트하는 단계는

상기 그래프 행렬 및 상기 듀얼 그래프 행렬을 수학식

$$\mathbf{G}_{s, j} = \mathbf{G}_{s, j} + \bar{\lambda}_{s, t}^* \mathbf{G}_{t, j}, \quad \mathbf{G}_{u, k} = \mathbf{G}_{u, k} + \bar{\lambda}_{u, v}^* \mathbf{G}_{v, k}, \text{ for } j \neq s, k \neq u,$$

$$\mathbf{G}_{s, s} = \mathbf{G}_{s, s} + 2\Re[\bar{\lambda}_{s, t}^* \mathbf{G}_{t, s}] + |\bar{\lambda}_{s, t}|^2 \mathbf{G}_{t, t}$$

$$\text{and } \mathbf{G}_{u, u} = \mathbf{G}_{u, u} + 2\Re[\bar{\lambda}_{u, v}^* \mathbf{G}_{v, u}] + |\bar{\lambda}_{u, v}|^2 \mathbf{G}_{v, v}$$

및

$$\tilde{\mathbf{G}}_{t, j} = \tilde{\mathbf{G}}_{t, j} - \bar{\lambda}_{s, t} \tilde{\mathbf{G}}_{s, j}, \quad \tilde{\mathbf{G}}_{v, k} = \tilde{\mathbf{G}}_{v, k} - \bar{\lambda}_{u, v} \tilde{\mathbf{G}}_{u, k}, \text{ for } j \neq t, k \neq v,$$

$$\tilde{\mathbf{G}}_{t, t} = \tilde{\mathbf{G}}_{t, t} - 2\Re[\bar{\lambda}_{s, t} \tilde{\mathbf{G}}_{s, t}] + |\bar{\lambda}_{s, t}|^2 \tilde{\mathbf{G}}_{s, s}$$

$$\text{and } \tilde{\mathbf{G}}_{v, v} = \tilde{\mathbf{G}}_{v, v} - 2\Re[\bar{\lambda}_{u, v} \tilde{\mathbf{G}}_{u, v}] + |\bar{\lambda}_{u, v}|^2 \tilde{\mathbf{G}}_{u, u}$$

에 따라 업데이트하고,

상기 복소 유니모듈러 행렬 및 상기 듀얼 유니모듈러 행렬을

$$\mathbf{T}_s = \mathbf{T}_s + \bar{\lambda}_{s, t} \mathbf{T}_t, \quad \mathbf{T}_u = \mathbf{T}_u + \bar{\lambda}_{u, v} \mathbf{T}_v$$

및

$$\tilde{\mathbf{T}}_{t, *} = \tilde{\mathbf{T}}_{t, *} - \bar{\lambda}_{s, t} \tilde{\mathbf{T}}_{s, *}, \quad \tilde{\mathbf{T}}_{v, *} = \tilde{\mathbf{T}}_{v, *} - \bar{\lambda}_{u, v} \tilde{\mathbf{T}}_{u, *}$$

(여기서  $T_s$ ,  $T_t$ 는 복소 유니모듈러 행렬( $T$ )의  $s$ 열 및  $t$ 열을 나타내고,  $\tilde{T}_{s,*}$ ,  $\tilde{T}_{t,*}$ ,  $\tilde{T}_{v,*}$ ,  $\tilde{T}_{u,*}$ 는 복소 유니모듈러 행렬( $T$ )의 듀얼 행렬( $\tilde{T}$ )의  $s$ 행,  $t$ 행,  $v$ 행 및  $u$ 행을 나타낸다.)  
에 따라 업데이트하는 격자 감소 방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 다중 입출력 무선 통신 시스템의 격자 감소 장치 및 방법에 관한 것으로, 연산 복잡성과 메모리 사용 및 레이턴시를 줄일 수 있는 병렬 격자 감소 장치 및 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 최근 무선 통신 기기의 수가 급격하게 증가됨에 따라 대형 다중 입출력 (multiple-input multiple-output: dlglk MIMO) 통신 시스템을 채택하고 있으며, 이에 효율적인 MIMO 신호의 탐지에 대한 연구가 활발하게 수행되고 있다.

[0003] 대형 MIMO 시스템의 송신기에서 다수의 안테나 각각을 통해 독립된 신호들이 동시에 송신되는 경우, 수신기에서는 독립적으로 전송된 다수의 신호 중 필요로 하는 신호를 효과적으로 검출하는 기법이 요구된다.

[0004] 이러한 수신 신호 검출 기법은 크게 비선형 기법과 선형 기법으로 구분된다. 비선형 검출 기법 중 최대 우도 (Maximum Likelihood: 이하 ML) 기법은 송신신호 벡터 검출을 위해 가능한 모든 조합의 송신 신호 벡터 각각에 대한 ML 메트릭을 계산하여 가장 작은 ML 메트릭을 갖는 벡터를 찾는 방법으로, 최적의 오류 성능을 나타내지만 송신 안테나 수와 변조차수가 증가함에 따라 소요되는 계산량이 지수함수적으로 증가하기 때문에 실제 구현에는 한계가 있다.

[0005] 한편, 선형 기법에서 대표적인 선형 검출(linear detector) 기법은 다수의 수신 안테나에서 받은 신호를 사용해, 송신 안테나로부터 보내진 특정 신호를 검출하고, 다른 송신 안테나로부터 보내진 신호들은 간섭신호로 간주하여 간섭으로 작용하는 신호의 영향을 최소화시키는 검출 기법이다. 선형 검출 기법에는 영-강압 (zero-forcing: ZF) 검출기법과 최소평균제곱오차(minimum mean squared error: MMSE) 검출기법이 있다. 그러나 선형 검출 기법은 선형 필터를 사용함으로써 낮은 복잡도를 제공하여 실제 시스템에의 적용이 용이한 반면, 잡음에 취약하기 때문에 ML기법에 비해 상당한 성능 저하를 갖는다는 문제가 있다.

[0006] 이에 선형 검출 기법의 성능을 향상시키기 위해 낮은 복잡도의 전처리 기법인 격자 감소(Lattice Reduction: LR) 기법이 제안되었다. 격자 감소 기법은 주어진 기저(basis) 벡터에 대해 가장 작고, 직교에 가까운 격자를 갖는 기저를 찾는 방법으로, 채널 행렬( $H$ )의 조건 수(condition number)를 감소시켜 ZF이나 MMSE와 같은 간단한 선형검출기를 사용해도 우수한 성능을 달성할 수 있도록 한다. 격자 감소 기법에는 Lenstra Lenstra Lovasz(이하 LLL), Minkowski reduction, Gauss reduction, Seysen reduction 알고리즘 등이 있으며, 이중 가장 널리 이용되는 LLL은 인접한 기저를 갖는 로컬 최적화에 집중하여 선형 검출 기법의 성능을 저하시키며, 또한 Seysen 알고리즘보다 기저를 찾기 위한 평균 반복 횟수가 많다.

[0007] 반면, Seysen 알고리즘은 기본 벡터간의 전체적인 직교성을 향상시켜 선형 검출 기법의 성능을 향상시킬 수 있다. 다만 LLL와 유사하게 대형 MIMO 시스템에서는 반복 횟수가 증가되는 문제가 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 한국 공개 특허 제10-2018-0092794호 (2018.08.20 공개)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제



- [0009] 본 발명의 목적은 병렬 기반 업데이트를 수행하여 반복 횟수를 크게 줄일 수 있는 격자 감소 장치 및 방법을 제공하는데 있다.
- [0010] 본 발명의 다른 목적은 낮은 복잡성을 갖고 시스템 효율성을 극대화하여 대기 시간을 저감할 수 있는 격자 감소 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

### 과제의 해결 수단

- [0011] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 격자 감소 장치는 기저 행렬에 대한 그램 행렬과 상기 그램 행렬의 듀얼 행렬인 듀얼 그램 행렬을 계산하는 그램 행렬 계산부; 이전 업데이트 되거나 상기 그램 행렬 계산부에서 전달된 그램 행렬의 인덱스 쌍에 대한 업데이트 변수와 상기 업데이트 변수에 따른 직교성 감소량을 계산하는 업데이트 변수 계산부; 업데이트 횟수 및 상기 직교성 감소량에 따라 업데이트 계속 수행 여부를 판별하는 업데이트 판별부; 상기 그램 행렬에서 행과 열이 중첩되지 않으면서 상기 직교성 감소량을 최대화 하는 2개의 인덱스 쌍을 2개의 기저 쌍으로 선택하는 기저 쌍 선택부; 및 선택된 2개의 기저 쌍에 따라 상기 그램 행렬과 상기 듀얼 그램 행렬, 상기 기저 행렬에 대응하는 복소 유니모듈러 행렬 및 상기 복소 유니모듈러 행렬의 듀얼 행렬인 듀얼 유니모듈러 행렬을 상기 업데이트 변수에 따라 업데이트하는 업데이트부; 를 포함한다.
- [0012] 상기 업데이트 판별부는 상기 업데이트 횟수가 기지정된 최대 반복 횟수를 초과하거나, 상기 직교성 감소량이 0이면 업데이트를 중지할 수 있다.
- [0013] 상기 격자 감소 장치는 업데이트된 그램 행렬에서 이후 기저 쌍 선택부가 2개의 기저 쌍을 선택하기 위한 인덱스 쌍의 집합인 인덱스 집합을 추출하는 인덱스 집합 추출부; 를 더 포함할 수 있다.
- [0014] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 격자 감소 방법은 기저 행렬에 대한 그램 행렬과 상기 그램 행렬의 듀얼 행렬인 듀얼 그램 행렬을 계산하는 단계; 이전 업데이트 되거나 상기 그램 행렬 계산부에서 전달된 그램 행렬의 인덱스 쌍에 대한 업데이트 변수와 상기 업데이트 변수에 따른 직교성 감소량을 계산하는 단계; 업데이트 횟수 및 상기 직교성 감소량을 확인하여, 상기 업데이트 횟수가 기지정된 최대 반복 횟수를 초과하거나, 상기 직교성 감소량이 0이면, 업데이트를 중지시키고, 상기 업데이트 횟수가 상기 최대 반복 횟수 이하이고 직교성 감소량이 0이 아니면 업데이트를 계속 수행하도록 결정하는 단계; 상기 그램 행렬에서 행과 열이 중첩되지 않으면서 상기 직교성 감소량을 최대화 하는 2개의 인덱스 쌍을 2개의 기저 쌍으로 선택하는 단계; 선택된 2개의 기저 쌍에 따라 상기 그램 행렬과 상기 듀얼 그램 행렬, 상기 기저 행렬에 대응하는 복소 유니모듈러 행렬 및 상기 복소 유니모듈러 행렬의 듀얼 행렬인 듀얼 유니모듈러 행렬을 상기 업데이트 변수에 따라 업데이트하는 단계; 및 업데이트된 그램 행렬에서 이후 2개의 기저 쌍을 선택하기 위한 인덱스 쌍의 집합인 인덱스 집합을 추출하는 단계; 를 포함한다.

### 발명의 효과

- [0015] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 다중 입출력 무선 통신 시스템을 위한 격자 감소 장치 및 방법은 Seysen 알고리즘을 기반으로 낮은 복잡성은 유지하면서, 가능한 모든 인덱스 중 두 개의 인덱스를 선택하여 병렬로 반복 업데이트 함으로써, 반복 횟수를 크게 줄일 수 있다. 그러므로 대형 MIMO 시스템에서도 빠르게 요구되는 신호를 검출할 수 있도록 할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0016] 도1 은 MIMO 시스템의 개략적 구조를 나타낸다.
- 도2 는 본 발명의 일 실시예에 따른 격자 감소 장치의 개략적 구조를 나타낸다.
- 도3 은 본 발명의 일 실시예에 따른 격자 감소 방법을 나타낸다.
- 도4 및 도5 는 본 실시예에 따른 격자 감소 방법의 성능을 시뮬레이션한 결과를 나타낸다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0017] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시예에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부 도면 및 첨부 도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다.
- [0018] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명함으로써, 본 발명을 상세히 설명한다. 그러



나, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니다. 그리고, 본 발명을 명확하게 설명하기 위하여 설명과 관계없는 부분은 생략되며, 도면의 동일한 참조부호는 동일한 부재임을 나타낸다.

[0019] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라, 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "블록" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0020] 도1 은 MIMO 시스템의 개략적 구조를 나타낸다.

[0021] 도1 에서는 일예로 송신 안테나의 개수가  $N_T$  개이고, 수신 안테나의 개수가  $N_R$  개인 MIMO 시스템을 도시하였다. 여기서는 MIMO 시스템이 M-QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 방식을 이용하는 시스템인 것으로 가정하며, 일예로 I/Q가 각각  $8 \times 8$ 인 64-QAM(M=64) 또는  $16 \times 16$ 인 256-QAM(M=256) MIMO 시스템일 수 있다.

[0022] 송신단(110)에서  $N_T$  개의 송신 안테나 각각이 독립적인 심볼을 전송하는 경우, 수신단(120)은  $N_T$  개의 송신 안테나에서 전송된  $N_T$  개의 심볼 중 자신에게 요구되는 신호만을 검출해야 한다.

[0023] 도1 과 같이,  $N_R$  개의 수신 안테나와  $N_T$  개의 송신 안테나가 포함된 MIMO 시스템에서 수신단(120)에 수신된 수신 신호(y)는 수학식 1로 표현될 수 있다.

### 수학식 1

[0024]  $\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{s} + \mathbf{n}$

[0025] 여기서 H는 복소수 집합( $\mathbb{C}$ )에 대해  $\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{N_R \times N_T}$ 를 만족하는 비상관 레일리 페이딩 채널 행렬(uncorrelated Rayleigh fading channel matrix)로서 기저 행렬(base matrix)이며, s는 M-QAM 방식으로 전송된 심볼 벡터로서  $\mathbf{s} \in \Omega_M^{N_T \times 1}$  (여기서  $\Omega_M$ 은 M-QAM의 집합)이며, n 은  $\mathbf{n} \in \mathbb{C}^{N_R \times 1}$ 인 부가적 백색 가우시안 잡음 벡터(additive white Gaussian noise vector)이다.

[0026] 격자 감소 기법은 기저 행렬(H)의 조건 수(condition number)를 감소시켜 오류 발생 가능성을 줄이는 기법이므로, 기저 행렬(H)을 격자 간격이 짧고 근사 수직 벡터(near-orthogonal vector)인 새로운 축소 기저 행렬( $\bar{\mathbf{H}}$ )로 변환한다. 기저 행렬(H)과 축소 기저 행렬( $\bar{\mathbf{H}}$ )은  $\mathbf{H} = \bar{\mathbf{H}}\mathbf{T}$  관계를 갖는다. 여기서 T는 복소 유니모듈러 행렬(complex unimodular matrix)이다.

[0027] 새로운 축소 기저 행렬( $\bar{\mathbf{H}}$ )로 변환된 격자 감소 도메인에서 심볼 벡터(s)의 원소는 연속된 정수 집합  $(\bar{\mathbf{s}} = \alpha\mathbf{s} + \beta\mathbf{I} \in \Phi_M^{N_T})$ 으로 변환된 것으로 볼 수 있다. 여기서  $\Phi_M = \{p + qj | p, q \in \{0, 1, \dots, \sqrt{M} - 1\}\}$  이고,  $\alpha = (\sqrt{\frac{3E_s}{2(M-1)}})^{-1}$  이며,  $\beta = \frac{\log_2 M - 1}{2}(1 + j)$  이다. 또한  $E_s$ 는 심볼 에너지로서  $E_s = E[|s|^2]$ (여기서  $|\cdot|$ 는 절대값 함수)이다.

[0028] 그리고 변환된 심볼 벡터( $\bar{\mathbf{s}}$ )의 원소에 따라 수신 신호(y)는 기저 행렬(H)의 특정 위치에서 축소 기저 행렬( $\bar{\mathbf{H}}$ )에서 대응하는 특정 위치로 시프트된 수신 신호( $\bar{\mathbf{y}}$ )로 변환되며, 시프트된 수신 신호( $\bar{\mathbf{y}}$ )는 수학식2 와 같이 표현된다.

## 수학식 2

[0029]

$$\bar{\mathbf{y}} = \alpha \mathbf{y} + \beta + \mathbf{H}\mathbf{1} = \bar{\mathbf{H}}\bar{\mathbf{s}} + \bar{\mathbf{n}}$$

[0030]

상기한 바와 같이, 격자 감소 기법은 선형 처리 기법의 전처리 기법으로 주로 이용되므로, 시프트된 수신 신호 ( $\bar{\mathbf{y}}$ )는 선형 처리 기법에 적합한 형태로 수학식 3과 같이 다시 표현할 수 있다.

## 수학식 3

[0031]

$$\bar{\mathbf{y}} = \bar{\mathbf{H}}\bar{\mathbf{s}} + \bar{\mathbf{n}} = \bar{\mathbf{H}}\mathbf{c} + \bar{\mathbf{n}}$$

[0032]

격자 감소 기법이 적용되는 선형 검출 기법은 기저 행렬( $\mathbf{H}$ )에 따라 변환된 심볼의 관정값  $\hat{\mathbf{c}} = \mathbf{W}^H \bar{\mathbf{y}}$ 를 찾아야 한다. 여기서  $\mathbf{W}^H = (\bar{\mathbf{H}}^H \bar{\mathbf{H}})^{-1} \bar{\mathbf{H}}$  (여기서  $(\cdot)^H$ 는 에르미트 전치(Hermitian transpose) 함수)이다.

[0033]

한편 축소 기저 행렬( $\bar{\mathbf{H}}$ )에 대한  $\mathbf{c}$ 의 경관정값은  $\hat{\mathbf{c}} = \frac{1}{\alpha} ([\alpha \hat{\mathbf{c}} + \beta \mathbf{T}\mathbf{1}] - \beta \mathbf{U}\mathbf{1})$ 에 의해 주어진다. 이  
에 수신단(120)은 최종적으로 관정 심볼 벡터( $\hat{\mathbf{s}}$ )를  $\hat{\mathbf{s}} = Q(\mathbf{T}^{-1} \hat{\mathbf{c}})$ 로 획득할 수 있다. 여기서  $[\cdot]$ 는 반올림 함수이며,  $Q(\cdot)$ 는 신호 성상(signal constellation)에 대한 양자화 함수이다.

[0034]

즉 수신단(120)은 기저 행렬( $\mathbf{H}$ )과 축소 기저 행렬( $\bar{\mathbf{H}}$ ) 사이의  $\mathbf{H} = \bar{\mathbf{H}}\mathbf{T}$  관계를 만족하는 복소 유니모듈러 행렬( $\mathbf{T}$ )을 획득하면, 관정 심볼 벡터( $\hat{\mathbf{s}}$ )를 판별할 수 있다.

[0035]

도2 는 본 발명의 일 실시예에 따른 격자 감소 장치의 개략적 구조를 나타낸다.

[0036]

본 실시예에 따른 격자 감소 장치를 설명하기에 앞서, 격자 감소 기법 중 Seysen 알고리즘의 기본 동작을 살펴보면 아래와 같다.

[0037]

Seysen 알고리즘은 기저 행렬( $\mathbf{H}$ )과 기저 행렬( $\mathbf{H}$ )에 대한 듀얼 행렬(dual matrix)( $\tilde{\mathbf{H}} = (\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}$ ) 양쪽의 직교성을 증가키는 반복적 열 연산(column operation)에 기초하여 실제 신호 검출 과정에서 성능을 향상시킨다. Seysen 알고리즘에서 메트릭( $S(\mathbf{H})$ )은 기저 행렬( $\mathbf{H}$ )의 직교성을 정량화하기 위해 수학식 4와 같이 정의된다.

## 수학식 4

[0038]

$$S(\mathbf{H}) = \sum_{k=1}^{N_T} \|\mathbf{H}_k\|^2 \|\tilde{\mathbf{H}}_k\|^2$$

[0039]

Seysen 알고리즘은 우선 기저 행렬( $\mathbf{H}$ )을 이용하여, 기저 행렬( $\mathbf{H}$ )에 대한 그램 행렬( $\mathbf{G}$ )과 그램 행렬( $\mathbf{G}$ )의 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{G}}$ )을 획득한다. 여기서 그램 행렬( $\mathbf{G}$ )은  $\mathbf{G} = \mathbf{H}^H \mathbf{H}$ 로 계산되어 획득되고, 그 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{G}}$ )은  $\tilde{\mathbf{G}} = \mathbf{G}^{-1}$ 로 계산되어 획득된다.

[0040]

그리고 획득된 그램 행렬( $\mathbf{G}$ )에서  $1 \leq j, k \leq N_T$  및  $j \neq k$ 의 조건을 만족하는 가능한 모든 인덱스 쌍( $j, k$ ) 각각에 대해 기저 행렬( $\mathbf{H}$ )과 그 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{H}}$ ) 사이의 직교성 차를 나타내는 업데이트 변수( $\lambda$ )와 직교성 감소량( $\Delta$ )을 각각 수학식 5 및 6에 따라 계산한다.

### 수학식 5

$$\lambda_{j,k} = \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{\tilde{\mathbf{G}}_{k,j}}{\tilde{\mathbf{G}}_{j,j}} - \frac{\mathbf{G}_{k,j}}{\mathbf{G}_{k,k}} \right) \right]$$

### 수학식 6

$$\Delta_{j,k} = S(\mathbf{H}) - S(\mathbf{H}_{j,k}) = 2\mathbf{G}_{k,k}\tilde{\mathbf{G}}_{j,j} \left[ \Re \left[ \lambda_{j,k}^* \left( \frac{\tilde{\mathbf{G}}_{k,j}}{\tilde{\mathbf{G}}_{j,j}} - \frac{\mathbf{G}_{j,k}^*}{\mathbf{G}_{k,k}} \right) \right] - |\lambda_{j,k}|^2 \right]$$

수학식 6에서  $\Re[\cdot]$ 은 실수부 추출 함수이고,  $(\cdot)^*$ 은 복소 켤레 전치(complex conjugate transpose)를 나타낸다.

그리고 수학식 6에 따라 직교성 감소량( $\Delta$ )이 획득되면, 획득된 그래프 행렬( $\mathbf{G}$ )에서 기저 쌍(basis pair)( $s, t$ )을 수학식 7에 따라 획득한다.

### 수학식 7

$$(s, t) = \arg \max_{(j,k)} \Delta_{j,k}$$

수학식 7에서 기저 쌍( $s, t$ )이 획득되면, 그래프 행렬( $\mathbf{G}$ )과 그 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{G}}$ ) 각각에서 선택된 기저 쌍( $s, t$ )에 대응하는 행과 열 벡터를 업데이트 변수( $\lambda$ )를 이용하여 기지정된 방식으로 업데이트한다.

이후 업데이트된 그래프 행렬( $\mathbf{G}$ )과 그 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{G}}$ )에서 다시 업데이트 변수( $\lambda$ )와 직교성 감소량( $\Delta$ )을 계산하고, 기저 쌍( $s, t$ )을 획득하여 반복적으로 업데이트를 수행한다.

Seysen 알고리즘은 업데이트되는 그래프 행렬( $\mathbf{G}$ )에 대한 모든 업데이트 변수( $\lambda$ )가 기지정된 값(일예로 0)이 될 때까지 반복하여 업데이트를 수행한다. 이 경우, 가능한 모든 인덱스 쌍의 개수( $N_T \cdot (N_T - 1)$ )를 고려한 인덱스 선택은 각 반복에서  $N_T^2 - N_T - 1$ 회의 비교 연산이 요구되므로, 복잡도가 크고 대기시간이 길며, 모든  $(N_T \cdot (N_T - 1))$ 개의 모든  $\Delta$ 를 저장하기 위해 대용량의 메모리가 요구된다.

이에 본 실시예에 따른 격자 감소 장치는 두 개의 기저 쌍을 선택하여 업데이트하는 방식을 이용한다.

도2를 참조하면, 격자 감소 장치(200)는 그래프 행렬 계산부(210), 업데이트 변수 계산부(220), 업데이트 판별부(230), 기저 쌍 선택부(240), 업데이트부(250) 및 인덱스 집합 추출부(260)를 포함한다.

도2를 참조하여, 본 실시예에 따른 격자 감소 장치를 설명하면, 우선 그래프 행렬 계산부(210)는 기저 행렬( $\mathbf{H}$ )에 대한 그래프 행렬( $\mathbf{G}$ )과 그래프 행렬( $\mathbf{G}$ )의 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{G}}$ )을 각각  $\mathbf{G} = \mathbf{H}^H \mathbf{H}$  및  $\tilde{\mathbf{G}} = \mathbf{G}^{-1}$ 로 계산한다.

업데이트 변수 계산부(220)는 그래프 행렬( $\mathbf{G}$ )에서  $1 \leq j, k \leq N_T$  및  $j \neq k$ 인 모든 인덱스 쌍( $j, k$ )에 대해 업데이트 변수( $\bar{\lambda}$ )와 직교성 감소량( $\bar{\Delta}$ )을 각각 수학식 8 및 9에 따라 계산한다.

### 수학식 8

$$\bar{\lambda}_{j,k} = \text{sgn}(\tilde{\mathbf{G}}_{k,k} \mathbf{G}_{j,j}) \{ \text{sgn}(\Re[\alpha_{j,k}]) + i \cdot \text{sgn}(\Im[\alpha_{j,k}]) \}$$

### 수학식 9

$$\bar{\Delta}_{j,k} = -2 \left( \mathbf{G}_{k,k} \tilde{\mathbf{G}}_{j,j} |\bar{\lambda}_{j,k}|^2 - \mathbf{G}_{k,k} \Re [\bar{\lambda}_{j,k}^* \tilde{\mathbf{G}}_{k,j}] + \tilde{\mathbf{G}}_{j,j} \Re [\bar{\lambda}_{j,k}^* \mathbf{G}_{j,k}^*] \right)$$

여기서  $\alpha_{j,k} = \tilde{\mathbf{G}}_{k,j} \mathbf{G}_{k,k} - \mathbf{G}_{k,j} \tilde{\mathbf{G}}_{j,j}$  이고,  $\Im[\cdot]$ 은 허수부 추출 함수이다.

수학식 8 의 업데이트 변수( $\bar{\lambda}$ )를 계산하는 수학식은 수학식 5 에 나타난 업데이트 변수( $\bar{\lambda}_{j,k}$ )를 계산하는 수학식에 비해 라운드 연산을 제거하고, 실수부 및 허수부의 범위를 sgn 함수를 이용하여  $\{-1, 0, 1\}$ 로 제한함으로써, 복잡성을 크게 줄인다.

업데이트 변수 계산부(220)에서 업데이트 변수( $\bar{\lambda}$ )와 직교성 감소량( $\bar{\Delta}$ )이 계산되면, 업데이트 판별부(230)는 업데이트 수행 여부를 판별한다. 업데이트 판별부(230)는 반복하여 수행된 업데이트 횟수가 기지정된 최대 반복 횟수( $N_{iter}$ )를 초과하거나, 계산된 직교성 감소량( $\bar{\Delta}$ )이 0이면, 업데이트를 중지하고 현재까지 업데이트된 복소 유니모듈러 행렬(T) 및 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{T}}$ )을 출력한다.

그러나 반복하여 수행된 업데이트 횟수가 최대 반복 횟수( $N_{iter}$ ) 이하이고, 계산된 직교성 감소량( $\bar{\Delta}$ )이 0이 아니면, 계속적으로 업데이트를 수행하도록 한다.

기지 쌍 선택부(240)는 업데이트 변수 계산부(210)에서 계산된 직교성 감소량( $\bar{\Delta}$ )에 기초하여, 그래프 행렬(G)에서 2개의 기저 쌍((s,t), (u,v))을 선택한다.

기지 쌍 선택부(240)는 초기에 그래프 행렬 계산부(210)에서 획득된 그래프 행렬(G)에서  $1 \leq j, k \leq N_t$  및  $j \neq k$ 의 조건을 만족하는 모든 가능한 인덱스(j, k)에 대해 첫번째 기저 쌍(s,t)을 수학식 10에 따라 선택한다.

### 수학식 10

$$(s, t) = \arg \max_{(j,k)} \bar{\Delta}_{j,k}$$

그리고 그래프 행렬(G)에서 선택된 첫 번째 기저 쌍(s,t)이 배치된 행과 열을 제외한 나머지 인덱스 쌍(j, k) 중에서 다시  $1 \leq j, k \leq N_t$  및  $j \neq k$ 의 조건을 만족하는 두 번째 기저 쌍(u,v)을 수학식 11에 따라 선택한다.

### 수학식 11

$$(u, v) = \arg \max_{(j,k)} \bar{\Delta}_{j,k}$$

즉 기저 쌍 선택부(240)는 초기에 그래프 행렬(G)에서 행과 열이 중복되지 않으면서, 직교성 감소량( $\bar{\Delta}$ )을 최대로 하는 2개의 인덱스 쌍(j, k)을 2개의 기저 쌍((s,t), (u,v))으로 선택한다.

한편 기저 쌍 선택부(240)는 업데이트부(250)에서 업데이트가 1회이상 수행된 경우, 수학식 12 및 13 과 같이 그래프 행렬(G)이 아닌 인덱스 집합 추출부(260)에서 추출된 인덱스 집합( $\Gamma_{\dot{s}, \dot{t}}, \Gamma_{\dot{u}, \dot{v}}$ )에서 행과 열이 중복되지 않으면서, 직교성 감소량( $\bar{\Delta}$ )을 최대로 하는 2개의 인덱스 쌍(j, k)을 2개의 기저 쌍((s,t), (u,v))으로 선택한다.

수학식 12

$$(s, t) = \arg \max_{(j, k)} \bar{\Delta}_{j, k}, \text{ for } (j, k) \in \{\Gamma_{\dot{s}, \dot{t}} \cup \Gamma_{\dot{u}, \dot{v}}\}$$

[0066]

수학식 13

$$(u, v) = \arg \max_{(j, k)} \bar{\Delta}_{j, k}, \text{ for } (j, k) \in \{\Gamma_{\dot{s}, \dot{t}} \cup \Gamma_{\dot{u}, \dot{v}} - \Gamma_{s, t}\}$$

[0067]

[0068]

업데이트부(250)는 기저 쌍 선택부(240)에서 2개의 기저 쌍((s,t), (u,v))이 선택되면, 선택된 2개의 기저 쌍((s,t), (u,v))에 따라 그래프 행렬(G) 및 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{G}}$ ) 각각에서 선택된 2개의 기저 쌍((s,t), (u,v))에 대응하는 행 벡터를 업데이트 변수( $\lambda$ )에 따라 수학식 14 및 15 와 같이 업데이트한다.

수학식 14

$$\mathbf{G}_{s, j} = \mathbf{G}_{s, j} + \bar{\lambda}_{s, t}^* \mathbf{G}_{t, j}, \quad \mathbf{G}_{u, k} = \mathbf{G}_{u, k} + \bar{\lambda}_{u, v}^* \mathbf{G}_{v, k}, \text{ for } j \neq s, k \neq u,$$

$$\mathbf{G}_{s, s} = \mathbf{G}_{s, s} + 2\Re[\bar{\lambda}_{s, t}^* \mathbf{G}_{t, s}] + |\bar{\lambda}_{s, t}|^2 \mathbf{G}_{t, t}$$

$$\text{and } \mathbf{G}_{u, u} = \mathbf{G}_{u, u} + 2\Re[\bar{\lambda}_{u, v}^* \mathbf{G}_{v, u}] + |\bar{\lambda}_{u, v}|^2 \mathbf{G}_{v, v}$$

[0069]

수학식 15

$$\tilde{\mathbf{G}}_{t, j} = \tilde{\mathbf{G}}_{t, j} - \bar{\lambda}_{s, t} \tilde{\mathbf{G}}_{s, j}, \quad \tilde{\mathbf{G}}_{v, k} = \tilde{\mathbf{G}}_{v, k} - \bar{\lambda}_{u, v} \tilde{\mathbf{G}}_{u, k}, \text{ for } j \neq t, k \neq v,$$

$$\tilde{\mathbf{G}}_{t, t} = \tilde{\mathbf{G}}_{t, t} - 2\Re[\bar{\lambda}_{s, t} \tilde{\mathbf{G}}_{s, t}] + |\bar{\lambda}_{s, t}|^2 \tilde{\mathbf{G}}_{s, s}$$

$$\text{and } \tilde{\mathbf{G}}_{v, v} = \tilde{\mathbf{G}}_{v, v} - 2\Re[\bar{\lambda}_{u, v} \tilde{\mathbf{G}}_{u, v}] + |\bar{\lambda}_{u, v}|^2 \tilde{\mathbf{G}}_{u, u}$$

[0070]

[0071]

수학식 14 및 15 에 나타난 바와 같이, 본 실시예에서는 그래프 행렬(G) 및 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{G}}$ ) 각각에서 2개의 기저 쌍((s,t), (u,v))에 대응하는 2개의 행 벡터가 병목 현상을 유발하지 않고 병렬로 업데이트된다. 따라서 업데이트 반복 횟수를 줄일 수 있다.

[0072]

또한 수학식 8에서 업데이트 변수( $\bar{\lambda}$ )가 제한된 범위의 값으로 계산되므로, 수학식 14 및 15에 나타난 업데이트를 위한 연산 복잡성이 크게 감소 된다. 뿐만 아니라, 쉬프터 및 가산기의 단순 연산 구조로 업데이트를 수행할 수 있다.

[0073]

그리고 수학식 14 및 15에 따른 그래프 행렬(G) 및 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{G}}$ )의 업데이트와 함께 복소 유니모듈러 행렬(T) 및 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{T}}$ )을 수학식 16 및 17과 같이 업데이트한다.

수학식 16

$$\mathbf{T}_s = \mathbf{T}_s + \bar{\lambda}_{s, t} \mathbf{T}_t, \quad \mathbf{T}_u = \mathbf{T}_u + \bar{\lambda}_{u, v}$$

[0074]

수학식 17

$$\tilde{\mathbf{T}}_{t,*} = \tilde{\mathbf{T}}_{t,*} - \bar{\lambda}_{s,t} \tilde{\mathbf{T}}_{s,*}, \quad \tilde{\mathbf{T}}_{v,*} = \tilde{\mathbf{T}}_{v,*} - \bar{\lambda}_{u,v} \tilde{\mathbf{T}}_{u,*}$$

여기서  $\mathbf{T}_s$ ,  $\mathbf{T}_t$ 는 복소 유니모듈러 행렬( $\mathbf{T}$ )의  $s$ 열 및  $t$ 열을 나타내고,  $\tilde{\mathbf{T}}_{s,*}$ ,  $\tilde{\mathbf{T}}_{t,*}$ ,  $\tilde{\mathbf{T}}_{v,*}$ ,  $\tilde{\mathbf{T}}_{u,*}$ 는 복소 유니모듈러 행렬( $\mathbf{T}$ )의 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{T}}$ )의  $s$ 행,  $t$ 행,  $v$ 행 및  $u$ 행을 나타낸다.

업데이트부(250)에서 그래프 행렬( $\mathbf{G}$ )과 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{G}}$ ) 및 복소 유니모듈러 행렬( $\mathbf{T}$ )과 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{T}}$ )이 업데이트되면, 인덱스 집합 추출부(260)는 업데이트된 그래프 행렬( $\mathbf{G}$ ) 및 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{G}}$ )에서 인덱스 집합( $\Gamma_{\dot{s},\dot{t}}$ ,  $\Gamma_{\dot{u},\dot{v}}$ )을 수학식 18 및 19에 따라 추출하여, 업데이트 변수 계산부(220)로 전달한다.

수학식 18

$$\Gamma_{\dot{s},\dot{t}} = \bigcup_{1 \leq j, k \leq N_T, j \neq \dot{s}, k \neq \dot{t}} \{(\dot{s}, j), (j, \dot{s}), (\dot{t}, k), (k, \dot{t})\}$$

수학식 19

$$\Gamma_{\dot{u},\dot{v}} = \bigcup_{\text{for } 1 \leq j, k \leq N_T, j \neq \dot{u}, k \neq \dot{v}} \{(\dot{u}, j), (j, \dot{u}), (\dot{v}, k), (k, \dot{v})\}$$

인덱스 집합 추출부(260)가 그래프 행렬( $\mathbf{G}$ ) 및 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{G}}$ )에서 인덱스 집합( $\Gamma_{\dot{s},\dot{t}}$ ,  $\Gamma_{\dot{u},\dot{v}}$ )을 추출하는 것은 상기한 바와 같이, 이후 기저 쌍 선택부(240)가 수학식 10 및 11에 따라 업데이트된 그래프 행렬( $\mathbf{G}$ ) 전체의 인덱스 쌍( $j, k$ )을 검색하여 2개의 기저 쌍( $(s, t)$ ,  $(u, v)$ )을 선택하는 것이 아니라, 수학식 12 및 13과 같이 추출된 인덱스 집합( $\Gamma_{\dot{s},\dot{t}}$ ,  $\Gamma_{\dot{u},\dot{v}}$ )에서 2개의 기저 쌍( $(s, t)$ ,  $(u, v)$ )을 선택하도록 함으로써, 대기시간을 줄이고 메모리 용량을 저감할 수 있도록 하기 위함이다.

도3 은 본 발명의 일 실시예에 따른 격자 감소 방법을 나타낸다.

도2 를 참조하여, 도3 의 격자 감소 방법을 설명하면, 우선 기저 행렬( $\mathbf{H}$ )에 대한 그래프 행렬( $\mathbf{G}$ )과 그래프 행렬( $\mathbf{G}$ )의 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{G}}$ )을 각각  $\mathbf{G} = \mathbf{H}^H \mathbf{H}$  및  $\tilde{\mathbf{G}} = \mathbf{G}^{-1}$ 로 계산하여 획득한다(S10).

그리고 획득된 그래프 행렬( $\mathbf{G}$ )에서  $1 \leq j, k \leq N_T$  및  $j \neq k$ 인 모든 인덱스 쌍( $j, k$ )에 대해 업데이트 변수( $\bar{\lambda}$ )와 직교성 감소량( $\bar{\Delta}$ ) 각각을 수학식 8 및 9와 같이 계산하여 획득한다(S20).

업데이트 변수( $\bar{\lambda}$ )와 직교성 감소량( $\bar{\Delta}$ )이 획득되면, 업데이트 반복 횟수와 직교성 감소량( $\bar{\Delta}$ )에 기초하여 업데이트를 계속 수행할지 여부를 판별한다(S30).

만일 반복 수행된 업데이트 횟수가 최대 반복 횟수( $N_{iter}$ ) 이하이고, 직교성 감소량( $\bar{\Delta}$ )이 0이 아니면, 그래프 행렬( $\mathbf{G}$ )에서 직교성 감소량( $\bar{\Delta}$ )에 따라 2개의 기저 쌍( $(s, t)$ ,  $(u, v)$ )을 선택한다(S40).

이때, 초기에 그래프 행렬( $\mathbf{G}$ )에서는 행과 열이 중첩되지 않으면서, 직교성 감소량( $\bar{\Delta}$ )을 최대로 하는 2개의 인덱스 쌍( $j, k$ )이 2개의 기저 쌍( $(s, t)$ ,  $(u, v)$ )으로 선택된다. 그러나 그래프 행렬( $\mathbf{G}$ )이 1회 이상 업데이트 된 이후



에는 기지정된 방식으로 추출된 인덱스 집합( $\Gamma_{\dot{s}, \dot{t}}, \Gamma_{\dot{u}, \dot{v}}$ )에서 직교성 감소량( $\bar{\Delta}$ )을 최대로 하는 2개의 인덱스 쌍(j, k)을 탐색하여 2개의 기저 쌍((s, t), (u, v))으로 선택한다.

[0087] 선택된 2개의 기저 쌍((s, t), (u, v))에 따라 그래프 행렬(G) 및 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{G}}$ ) 각각에서 선택된 2개의 기저 쌍((s, t), (u, v))에 대응하는 행 벡터를 업데이트 변수( $\lambda$ )에 따라 수학적식 14 및 15 와 같이 업데이트하고, 복소 유니모듈러 행렬(T) 및 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{T}}$ )을 수학적식 16 및 17과 같이 업데이트한다(S50).

[0088] 그래프 행렬(G)과 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{G}}$ ) 및 복소 유니모듈러 행렬(T)과 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{T}}$ )이 업데이트되면, 업데이트된 그래프 행렬(G) 및 듀얼 행렬( $\tilde{\mathbf{G}}$ )에서 인덱스 집합( $\Gamma_{\dot{s}, \dot{t}}, \Gamma_{\dot{u}, \dot{v}}$ )을 수학적식 18 및 19에 따라 추출한다(S60).

[0089] 이후 다시 업데이트된 그래프 행렬(G)에서  $1 \leq j, k \leq N_T$  및  $j \neq k$  인 모든 인덱스 쌍(j, k)에 대해 업데이트 변수( $\bar{\lambda}$ )와 직교성 감소량( $\bar{\Delta}$ ) 각각을 수학적식 8 및 9와 같이 계산하여 획득한다(S20).

[0090] 한편, 업데이트를 계속 수행할지 여부를 판별하는 단계(S30)에서, 만일 반복 수행된 업데이트 횟수가 최대 반복 횟수( $N_{iter}$ )를 초과하거나 직교성 감소량( $\bar{\Delta}$ )이 0이면, 현재까지 업데이트된 복소 유니모듈러 행렬(T)을 출력한다(S70).

[0091] 도4 및 도5 는 본 실시예에 따른 격자 감소 방법의 성능을 시뮬레이션한 결과를 나타낸다.

[0092] 도4 에서는  $8 \times 8$ 인 64-QAM 또는  $16 \times 16$ 인 256-QAM MIMO 시스템에 대해 격자 감소 기법을 적용하지 않은 최소 평균 제곱 선형 검출 기법(MMSE-LD)과 본 실시예의 격자 감소 방법(PSA), 기존의 Seysen 알고리즘(SA) 및 LLL 알고리즘(LLL)의 비트 에러율(BER)을 비교하여 시뮬레이션 하였으며, 최대 반복 횟수( $N_{iter}$ )는 각 알고리즘에서 실제 구현을 위한 합리적인 값을 도출하여 설정하였다.

[0093] 도4 를 참조하면, LLL 알고리즘(LLL)은 Seysen 알고리즘(SA) 및 본 실시예의 격자 감소 방법(PSA)에 비해 매우 큰 반복 횟수( $N_{iter} = 100$ )가 설정되어 있음에도 Seysen 알고리즘(SA) 및 본 실시예의 격자 감소 방법(PSA)보다 비트 에러율(BER)이 유사하거나 높다는 것을 알 수 있다. 즉 LLL 알고리즘(LLL)에 비해, Seysen 알고리즘(SA) 및 본 실시예의 격자 감소 방법(PSA)의 성능이 확연히 우수하다는 것을 알 수 있다.

[0094] 그리고 Seysen 알고리즘(SA)과 본 실시예의 격자 감소 방법(PSA)을 비교하면, 본 실시예의 격자 감소 방법(PSA)에서 12회 및 18회의 반복 수행 성능은 각각 Seysen 알고리즘(SA)의 20회 및 32회 반복 수행 성능과 유사하게 나타난다. 즉 반복 횟수를 40% 이상 줄였음에도 유사한 성능을 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

[0095] 도5 에서 (a)와 (b)는 각각  $8 \times 8$ 인 64-QAM 또는  $16 \times 16$ 인 256-QAM MIMO 시스템에서 본 실시예의 격자 감소 방법(PSA), 기존의 Seysen 알고리즘(SA) 및 LLL 알고리즘(LLL)에 따른 반복 횟수의 누적 분포 함수(cumulative distribution functions: CDF)를 도시하였다.

[0096] 도5 를 참조하면, 본 실시예의 격자 감소 방법(PSA)은 Seysen 알고리즘(SA) 및 LLL 알고리즘(LLL)에 비해 50% 이상 더 적은 반복 횟수를 필요로 하는 것을 알 수 있다. 즉 반복 횟수를 크게 줄일 수 있다.

[0097] 표1 은 본 실시예의 격자 감소 방법(PSA)과 Seysen 알고리즘(SA) 및 LLL 알고리즘(LLL)의 부동 소수점 연산(floating point operations: FLOPs)의 관점에서 연산 복잡도를 비교한 결과이다. 여기서 최대 반복 횟수는 도4 의 시뮬레이션 환경과 동일하게 설정되었다.

표 1

	Proposed $N_{iter}=(12, 18)$	SA [4] $N_{iter}=(20, 32)$	LLL [2] $N_{iter}=(60, 100)$
$8 \times 8$	25,196.3	26,527.5	21,180.7
$16 \times 16$	131,676.6	143,374.2	174,603.4

[0098]

[0099] 표1 을 참조하면, LLL 알고리즘(LLL)의 복잡도는 Seysen 알고리즘(SA) 및 본 실시예의 격자 감소 방법(PSA)에



비해,  $16 \times 16$ 인 256-QAM MIMO 시스템에서 더욱 빠르게 증가한다.

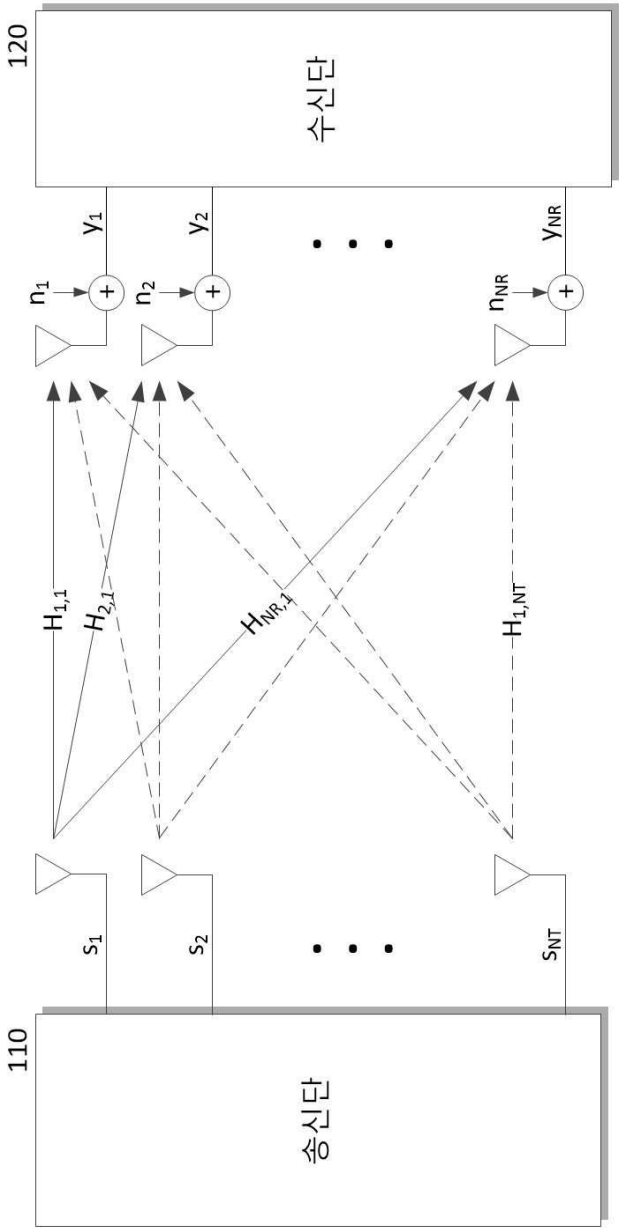
- [0100] 그에 반해 본 실시예의 격자 감소 방법(PSA)은 기저 쌍 선택 및 제한된 범위의 값을 갖는 업데이트 변수( $\bar{\lambda}$ )를 이용하여 복잡도가 Seysen 알고리즘(SA)보다 낮게 나타난다.
- [0101] 결과적으로 본 실시예의 격자 감소 장치 및 방법은 낮은 복잡성은 유지하면서, 반복 횟수를 줄일 수 있어 대기 시간을 저감할 수 있으며, 요구되는 메모리 용량을 줄일 수 있다.
- [0102] 본 발명에 따른 방법은 컴퓨터에서 실행 시키기 위한 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다. 여기서 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스 될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 또한 컴퓨터 저장 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함하며, ROM(판독 전용 메모리), RAM(랜덤 액세스 메모리), CD(컴팩트 디스크)-ROM, DVD(디지털 비디오 디스크)-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광데이터 저장장치 등을 포함할 수 있다.
- [0103] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다.
- [0104] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

### 부호의 설명

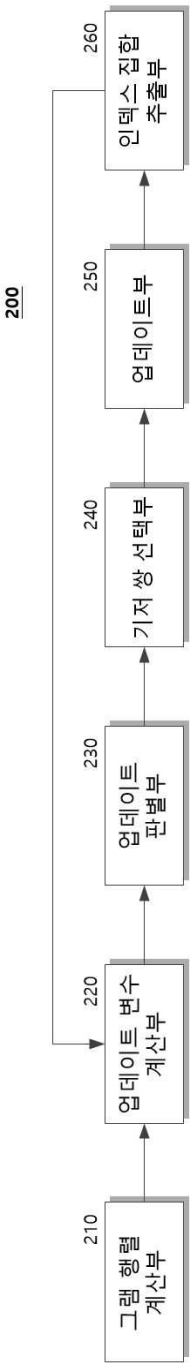
- |        |                 |                  |
|--------|-----------------|------------------|
| [0105] | 110: 송신단        | 120: 수신단         |
|        | 210: 그래프 행렬 계산부 | 220: 업데이트 변수 계산부 |
|        | 230: 업데이트 판별부   | 240: 기저 쌍 선택부    |
|        | 250: 업데이트부      | 260: 인덱스 집합 추출부  |

도면

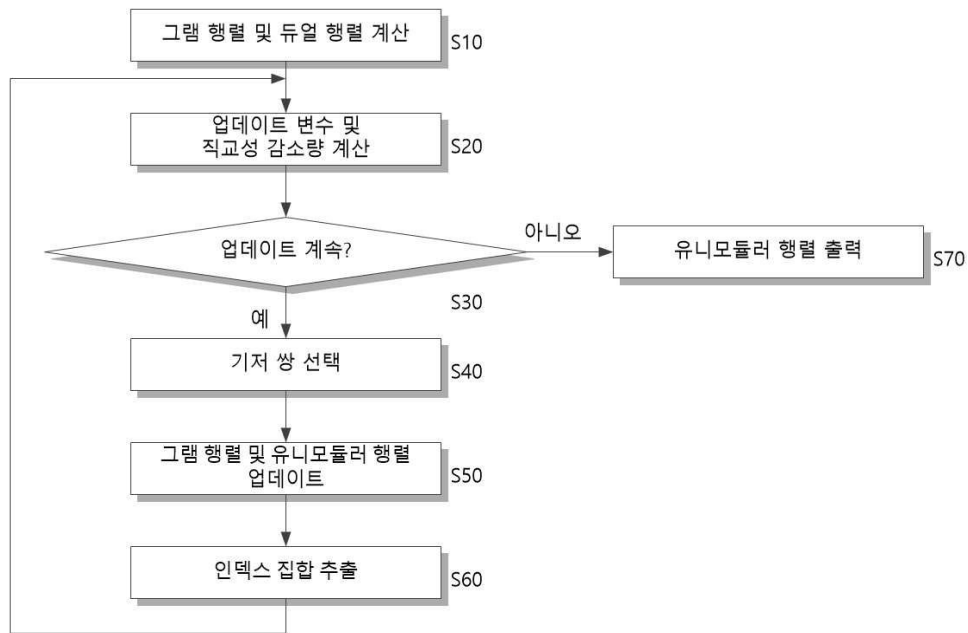
도면1



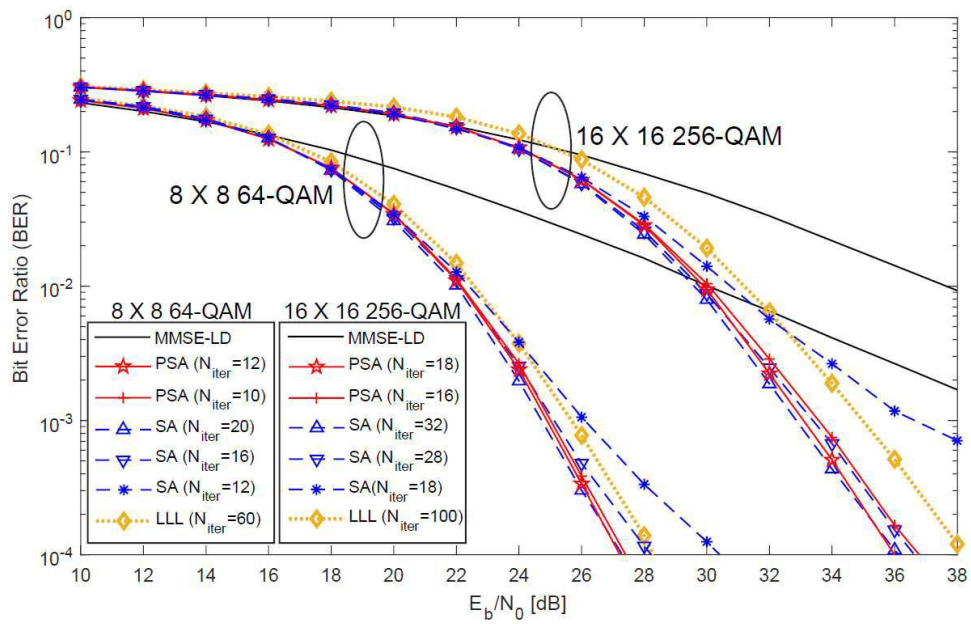
도면2



도면3



도면4



도면5

