



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0074687  
(43) 공개일자 2022년06월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H04L 1/00 (2006.01) H04B 7/0413 (2017.01)  
H04W 4/40 (2018.01)  
(52) CPC특허분류  
H04L 1/0048 (2013.01)  
H04B 7/0413 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2021-0054255  
(22) 출원일자 2021년04월27일  
심사청구일자 2021년04월27일  
(30) 우선권주장  
1020200161958 2020년11월27일 대한민국(KR)

(71) 출원인  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
이충용  
서울특별시 서대문구 연세로 50, 제3공학관 C527호(신촌동, 연세대학교)  
임채훈  
서울특별시 서대문구 연세로 50, 제3공학관 C418호(신촌동, 연세대학교)  
(74) 대리인  
특허법인우인

전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 차량용 MIMO 통신을 위한 강화 학습 기반의 신호 검출 장치 및 방법

(57) 요약

본 실시예들은 MIMO 신호 검출 과정에서 강화 학습을 적용하고, MIMO 신호 검출의 성능과 복잡도 간의 상충 관계를 개선하고 차량의 속도에 따라 강화 학습의 에피소드 개수를 제어하여 성능과 복잡도를 유연하게 조절할 수 있는 차량용 MIMO 통신을 위한 강화 학습 기반의 신호 검출 장치 및 방법을 제공한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

*H04W* 4/40 (2020.05)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

차량용 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 통신을 위한 신호 검출 장치에 있어서,

무선 주파수를 이용하여 수신 신호를 수신하는 안테나; 및

채널 행렬, 송신 신호, 및 수신 잡음의 관계가 상기 수신 신호로 표현된 송수신 관계에 대해서, 강화 학습을 통해 상기 송신 신호를 검출하는 신호 처리부를 포함하는 신호 검출 장치.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 신호 처리부는 상기 채널 행렬을 상기 유니터리 행렬(unitary matrix)과 하삼각 행렬(lower triangular matrix)로 분해하고,

상기 유니터리 행렬을 이용하여 상기 송수신 관계를 재구성하는 것을 특징으로 하는 신호 검출 장치.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 신호 처리부는 상기 재구성한 송수신 관계로부터 상기 송신 신호의 검출 기준을 산출하는 것을 특징으로 하는 신호 검출 장치.

#### 청구항 4

제2항에 있어서,

상기 신호 처리부는 상기 재구성한 송수신 관계에 마르코프 결정 프로세스(Markov Decision Process)를 적용하고, 상기 마르코프 결정 프로세스에 따라 상태(state), 행동(action), 및 보상(reward)을 정의하여, 상기 송신 신호를 검출하는 것을 특징으로 하는 신호 검출 장치.

#### 청구항 5

제4항에 있어서,

상기 신호 처리부는 상기 송신 신호의 정상도(constellation)에서 실수부 집합의 개수를 인덱스로 갖는 행동으로 정의하는 것을 특징으로 하는 신호 검출 장치.

#### 청구항 6

제4항에 있어서,

상기 보상은 상기 재구성한 송수신 관계로부터 산출한 상기 송신 신호의 검출 기준을 이용하며, 신호 검출 오류가 작을수록 보상이 커지도록 마이너스 연산자를 적용하는 것을 특징으로 하는 신호 검출 장치.

#### 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 신호 처리부는 차량의 속도에 따라 상기 강화 학습의 학습 에피소드 개수를 조절하여 신호 검출의 복잡도 및 성능을 제어하는 것을 특징으로 하는 신호 검출 장치.

#### 청구항 8

차량용 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 통신을 위한 신호 검출 방법에 있어서,

채널 행렬, 송신 신호, 및 수신 잡음의 관계가 상기 수신 신호로 표현된 송수신 관계를 재구성하는 단계;  
 상기 재구성한 송수신 관계에 마르코프 결정 프로세스(Markov Decision Process)를 적용하는 단계;  
 상기 마르코프 결정 프로세스에 따라 정의된 상태 행동 가치 함수를 학습하는 단계; 및  
 상기 상태 행동 가치 함수를 통해 상기 송신 신호를 검출하는 단계를 포함하는 신호 검출 방법.

#### 청구항 9

제8항에 있어서,  
 상기 마르코프 결정 프로세스를 적용하는 단계는,  
 상기 송신 신호의 성상도(constellation)에서 실수부 집합의 개수를 인덱스로 갖는 행동으로 정의하는 것을 특징으로 하는 신호 검출 방법.

#### 청구항 10

제8항에 있어서,  
 상기 상태 행동 가치 함수를 학습하는 단계는,  
 차량의 속도에 따라 상기 상태 행동 가치 함수의 학습 에피소드 개수를 조절하여 신호 검출의 복잡도 및 성능을 제어하는 것을 특징으로 하는 신호 검출 방법.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명이 속하는 기술 분야는 차량용 MIMO 통신을 위한 신호 검출 장치 및 방법에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 이 부분에 기술된 내용은 단순히 본 실시예에 대한 배경 정보를 제공할 뿐 종래기술을 구성하는 것은 아니다.

[0003] N개의 안테나를 구비하는 송신 장치(Tx)와 송신 장치(Tx)의 지정된 커버리지 내에 M개의 안테나를 장착한 수신 장치(Rx)로 구성되는 차량용 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 통신 시스템이 있다. V2X(Vehicular to Everything) 애플리케이션에 따라 송신 장치와 수신 장치는 차량, 보행자, 기지국 인프라 등 다양한 요소로 이루어질 수 있다.

[0004] 종래에는 복잡도를 완화하기 위해 수신 신호에 선형 필터를 곱하여 신호를 검출하는 ZF(Zero-Forcing) 또는 MMSE(Minimum Mean Square Error) 등과 같은 방법이 고려되었다.

[0005] 선형 필터 기반의 신호 검출 기술은 복잡도는 낮으나 신호 검출 성능이 떨어지는 문제점이 있다. 종래의 MIMO 신호 검출 기술은 성능과 복잡도 간 상충 관계가 크기 때문에 초신뢰-저지연 통신을 필요로 하는 차량용 통신 시스템에는 적합하지 않다. 종래의 MIMO 신호 검출 방법은 기법마다 성능과 복잡도가 고정적이기 때문에 V2X 애플리케이션에 따라 다양한 지연시간과 신뢰도를 요구하는 차량용 통신 시스템에는 적합하지 않다.

### 선행기술문헌

#### 특허문헌

- [0006] (특허문헌 0001) US 8000416 (2011.08.16.)  
 (특허문헌 0002) KR 10-1048976 (2011.07.06.)  
 (특허문헌 0003) KR 10-1571103 (2015.11.17.)  
 (특허문헌 0004) KR 10-1752491 (2017.06.23.)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0007] 본 발명의 실시예들은 MIMO 신호 검출 과정에서 강화 학습을 적용하고, MIMO 신호 검출의 성능과 복잡도 간의 상충 관계를 개선하고 차량의 속도에 따라 강화 학습의 에피소드 개수를 제어하여 성능과 복잡도를 유연하게 조절하는 데 주된 목적이 있다.
- [0008] 본 발명의 명시되지 않은 또 다른 목적들은 하기의 상세한 설명 및 그 효과로부터 용이하게 추론할 수 있는 범위 내에서 추가적으로 고려될 수 있다.

### 과제의 해결 수단

- [0009] 본 실시예의 일 측면에 의하면, 차량용 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 통신을 위한 신호 검출 장치에 있어서, 무선 주파수를 이용하여 수신 신호를 수신하는 안테나; 및 채널 행렬, 송신 신호, 및 수신 잡음의 관계가 상기 수신 신호로 표현된 송수신 관계에 대해서, 강화 학습을 통해 상기 송신 신호를 검출하는 신호 처리부를 포함하는 신호 검출 장치를 제공한다.
- [0010] 상기 신호 처리부는 상기 채널 행렬을 상기 유니터리 행렬(unitary matrix)과 하삼각 행렬(lower triangular matrix)로 분해하고, 상기 유니터리 행렬을 이용하여 상기 송수신 관계를 재구성할 수 있다.
- [0011] 상기 신호 처리부는 상기 재구성한 송수신 관계로부터 상기 송신 신호의 검출 기준을 산출할 수 있다.
- [0012] 상기 신호 처리부는 상기 재구성한 송수신 관계에 마르코프 결정 프로세스(Markov Decision Process)를 적용하고, 상기 마르코프 결정 프로세스에 따라 상태(state), 행동(action), 및 보상(reward)을 정의하여, 상기 송신 신호를 검출할 수 있다.
- [0013] 상기 신호 처리부는 상기 송신 신호의 성상도(constellation)에서 실수부 집합의 개수를 인덱스로 갖는 행동으로 정의할 수 있다.
- [0014] 상기 보상은 상기 재구성한 송수신 관계로부터 산출한 상기 송신 신호의 검출 기준을 이용하며, 신호 검출 오류가 작을수록 보상이 커지도록 마이너스 연산자를 적용할 수 있다.
- [0015] 상기 신호 처리부는 차량의 속도에 따라 상기 강화 학습의 학습 에피소드 개수를 조절하여 신호 검출의 복잡도 및 성능을 제어할 수 있다.
- [0016] 본 실시예의 다른 측면에 의하면, 차량용 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 통신을 위한 신호 검출 방법에 있어서, 채널 행렬, 송신 신호, 및 수신 잡음의 관계가 상기 수신 신호로 표현된 송수신 관계를 재구성하는 단계; 상기 재구성한 송수신 관계에 마르코프 결정 프로세스(Markov Decision Process)를 적용하는 단계; 상기 마르코프 결정 프로세스에 따라 정의된 상태 행동 가치 함수를 학습하는 단계; 및 상기 상태 행동 가치 함수를 통해 상기 송신 신호를 검출하는 단계를 포함하는 신호 검출 방법을 제공한다.
- [0017] 상기 마르코프 결정 프로세스를 적용하는 단계는, 상기 송신 신호의 성상도(constellation)에서 실수부 집합의 개수를 인덱스로 갖는 행동으로 정의할 수 있다.
- [0018] 상기 상태 행동 가치 함수를 학습하는 단계는, 차량의 속도에 따라 상기 상태 행동 가치 함수의 학습 에피소드 개수를 조절하여 신호 검출의 복잡도 및 성능을 제어할 수 있다.

### 발명의 효과

- [0019] 이상에서 설명한 바와 같이 본 발명의 실시예들에 의하면, MIMO 신호 검출 과정에서 강화 학습을 적용하고, MIMO 신호 검출의 성능과 복잡도 간의 상충 관계를 개선하고 차량의 속도에 따라 강화 학습의 에피소드 개수를 제어하여 성능과 복잡도를 유연하게 조절할 수 있는 효과가 있다.
- [0020] 여기에서 명시적으로 언급되지 않은 효과라 하더라도, 본 발명의 기술적 특징에 의해 기대되는 이하의 명세서에서 기재된 효과 및 그 잠정적인 효과는 본 발명의 명세서에 기재된 것과 같이 취급된다.

### 도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 다양한 V2X 애플리케이션 및 시나리오를 예시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 검출 장치를 예시한 블록도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 검출 장치가 처리하는 N개의 송신 안테나를 장착한 MIMO 통신 시스템에 4-QAM 모듈레이션을 적용한 상황에 대한 의사 결정 트리를 예시한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 검출 장치가 처리하는 상태 행동 가치 함수의 학습 동작을 예시한 도면이다.

도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 신호 검출 방법을 예시한 흐름도이다.

도 6은 본 발명의 실시예들을 시뮬레이션한 결과, 비트 에너지 대 잡음 비( $E_b/N_0$ )에 따른 비트 오류율 성능을 예시한 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시예들을 시뮬레이션한 결과, 학습 에피소드에 따른 비트 오류율 성능을 예시한 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 이하, 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지기능에 대하여 이 분야의 기술자에게 자명한 사항으로서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하고, 본 발명의 일부 실시예들을 예시적인 도면을 통해 상세하게 설명한다.

[0023] 도 1은 다양한 V2X 애플리케이션 및 시나리오를 예시한 도면이다.

[0024] 도 1에서는 일 예로 N개의 안테나를 구비하는 송신 장치(Tx)와 송신 장치(Tx)의 지정된 커버리지 내에 M개의 안테나를 장착한 수신 장치(Rx)로 구성되는 차량용 MIMO 통신 시스템을 도시하였다. V2X 애플리케이션에 따라 송신 장치와 수신 장치는 차량, 보행자, 기지국 인프라 등 다양한 요소로 이루어질 수 있다. 또한, 본 발명의 차량용 MIMO 통신 시스템에서 사용하는 무선 통신은 셀룰러 이동통신(LTE, NR 등)과 무선랜(IEEE802.11p, IEEE802.11bd 등)의 다양한 통신 규격 및 표준에 맞춰 사용할 수 있다. 예컨대, 5G, 6G 등의 차세대 이동통신을 적용할 수 있다.

[0025] N개의 송신 안테나와 M개의 수신 안테나를 장착한 MIMO 통신 시스템에서 송수신 관계는 수학식 1과 같이 표현된다.

### 수학식 1

$$\tilde{\mathbf{y}} = \tilde{\mathbf{H}}\tilde{\mathbf{x}} + \tilde{\mathbf{n}}$$

[0026]

[0027] 여기서,  $\tilde{\mathbf{y}} \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 는 수신 신호 벡터,  $\tilde{\mathbf{x}} \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ 는 송신 신호 벡터,  $\tilde{\mathbf{H}} \in \mathbb{C}^{M \times N}$ 는 채널 행렬,  $\tilde{\mathbf{n}} \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 은 수신잡음 벡터를 나타낸다. 수학식 1에서 채널 행렬  $\tilde{\mathbf{H}}$ 의 i번째 행, j번째 열의 원소  $\tilde{h}_{i,j}$ 는 j번째 송신 안테나와 i번째 수신 안테나 사이의 채널 왜곡을 나타낸다. 또한, 수신잡음 벡터  $\tilde{\mathbf{n}}$ 의 i번째 원소  $\tilde{n}_i$ 는 i번째 수신 안테나에서 수신된 잡음 신호를 나타낸다. 복소수로 이루어진 수학식 1에서 실수부와 허수부를 분리함으로써 수학식 2와 같이 실수 값으로 이루어진 송수신 관계로 재구성할 수 있다.

### 수학식 2

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{n} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} \Re(\tilde{\mathbf{y}}) \\ \Im(\tilde{\mathbf{y}}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Re(\tilde{\mathbf{H}}) & -\Im(\tilde{\mathbf{H}}) \\ \Im(\tilde{\mathbf{H}}) & \Re(\tilde{\mathbf{H}}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Re(\tilde{\mathbf{x}}) \\ \Im(\tilde{\mathbf{x}}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Re(\tilde{\mathbf{n}}) \\ \Im(\tilde{\mathbf{n}}) \end{bmatrix}$$

[0028]

[0029] 여기서,  $\Re(\cdot)$ 는 실수부를 취하는 연산자,  $\Im(\cdot)$ 는 허수부를 취하는 연산자를 나타낸다.

[0030] 수학식 2에서 최대우도 추정(Maximum Likelihood Estimation)에 근거한 최적의 송신 신호 검출 기준은 수학식 3

과 같다.

### 수학식 3

$$\hat{\mathbf{x}}_{\text{ML}} = \underset{\mathbf{x} \in \mathcal{X}^{2N}}{\operatorname{argmin}} \|\mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{x}\|^2$$

여기서,  $\hat{\mathbf{x}}$ 는 검출 신호,  $\mathcal{X}$ 는 송신 신호의 성상도(constellation)에서 실수부 집합을 나타낸다. 수학식 3의 검출 기준을 통해 최적의 검출 성능을 얻을 수 있지만 모든 송신 신호의 경우의 수를 완전 탐색해야 하므로 매우 높은 복잡도가 요구된다. 따라서 종래에는 복잡도를 완화하기 위해 수신 신호에 선형 필터를 곱하여 신호를 검출하는 ZF(Zero-Forcing) 또는 MMSE(Minimum Mean Square Error) 등과 같은 방법이 고려되었다.

### 수학식 4

$$\hat{\mathbf{x}}_{\{\text{ZF,MMSE}\}} = \mathbf{G}_{\{\text{ZF,MMSE}\}} \mathbf{y}$$

하지만 선형 필터 기반의 신호 검출 기술은 복잡도는 낮으나 신호 검출 성능이 떨어지는 문제점이 있다. 이처럼 종래의 MIMO 신호 검출 기술은 성능과 복잡도 간 상충 관계가 크기 때문에 초신뢰-저지연 통신을 필요로 하는 차량용 통신 시스템에는 적합하지 않다.

종래의 MIMO 신호 검출 방법은 기법 별로 성능과 복잡도가 고정적이기 때문에 V2X 애플리케이션에 따라 다양한 지연시간과 신뢰도를 요구하는 차량용 통신 시스템에는 적합하지 않다.

본 발명에서는 MIMO 문제를 MDP(Markov Decision Process) 문제로 변경하여 이러한 문제를 해결한다. 본 발명은 MIMO 신호 검출의 성능과 복잡도 간의 상충 관계를 개선하고 성능과 복잡도를 유연하게 조절할 수 있는 차량용 MIMO 통신 시스템을 위한 강화 학습 기반의 신호 검출 장치 및 방법을 제안한다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 검출 장치를 예시한 블록도이다.

차량용 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 통신을 위한 신호 검출 장치(100)는 안테나(110) 및 신호 처리부(120)를 포함한다. 신호 검출 장치는 송신기, 수신기, 또는 송신기와 수신기가 결합된 시스템으로 구현될 수 있다.

안테나(110)는 무선 주파수를 이용하여 수신 신호를 수신한다.

신호 처리부(120)는 채널 행렬, 송신 신호, 및 수신 잡음의 관계가 수신 신호로 표현된 송수신 관계에 대해서, 강화 학습을 통해 송신 신호를 검출한다.

MIMO 통신 시스템에서 강화학습을 적용하여 신호를 검출하기 위해서는 수학식 2의 송수신 관계를 마르코프 결정 프로세스(Markov Decision Process)으로 해석할 수 있어야 한다.

신호 처리부는 채널 행렬을 유니터리 행렬(unitary matrix)과 하삼각 행렬(lower triangular matrix)로 분해하고, 유니터리 행렬을 이용하여 송수신 관계를 재구성한다. 채널 행렬  $\mathbf{H}$ 를 수학식 5와 같이 QL 분해를 수행한다.

### 수학식 5

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

여기서,  $\mathbf{Q} \in \mathbb{R}^{2M \times 2N}$ 는 유니터리 행렬(unitary matrix),  $\mathbf{L} \in \mathbb{R}^{2N \times 2N}$ 은 하삼각 행렬(lower triangular matrix)을 나타낸다. QL 분해를 통해 얻은 유니터리 행렬  $\mathbf{Q}$ 를 수학식 2의 좌변과 우변에 곱하여 수학식 6과 같이 MIMO 송수신 관계를 재구성할 수 있다.

## 수학식 6

$$\mathbf{z} \triangleq \mathbf{Q}^T \mathbf{y} = \mathbf{Lx} + \mathbf{Q}^T \mathbf{n} = \mathbf{Lx} + \bar{\mathbf{n}}$$

신호 처리부는 재구성한 송수신 관계로부터 송신 신호의 검출 기준을 산출한다. 수학식 6의 송수신 관계에서 최적의 송신 신호 검출 기준은 수학식 7과 같이 주어진다.

## 수학식 7

$$\hat{\mathbf{x}} = \underset{\mathbf{x}_l \in \mathcal{X}}{\operatorname{argmin}} \sum_{n=1}^{2N} \left( z_n - \sum_{l=1}^n L_{n,l} x_l \right)^2$$

여기서,  $z_n$ 는  $\mathbf{z}$ 의  $n$ 번째 원소,  $L_{n,l}$ 은  $\mathbf{L}$ 의  $n$ 번째 행,  $l$ 번째 열의 원소를 나타낸다. 기존 수학식 2의 송수신 관계는 모든 송신 신호가 서로 간섭으로 작용을 하지만 QL 분해를 통해 얻은 수학식 6에서는 인접한 안테나의 송신 신호만 간섭으로 영향을 미치기 때문에 마르코프 결정 프로세스(Markov Decision Process)으로 해석할 수 있다. 이전 안테나 인덱스의 심볼만을 다음 안테나에 영향을 주도록 처리할 수 있다.

신호 처리부는 재구성한 송수신 관계에 마르코프 결정 프로세스(Markov Decision Process)를 적용하고, 마르코프 결정 프로세스에 따라 상태(state), 행동(action), 및 보상(reward)을 정의하여, 송신 신호를 검출한다.

수학식 6에서의 신호 검출 과정을 마르코프 결정 프로세스(Markov Decision Process)에 따른 의사 결정 트리로 표현하면 도 3과 같이 도시할 수 있다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 검출 장치가 처리하는  $N$ 개의 송신 안테나를 장착한 MIMO 통신 시스템에 4-QAM 모듈레이션을 적용한 상황에 대한 의사 결정 트리를 예시한 도면이다.

도 3의 의사 결정 트리에서 다음과 같이 상태(state), 행동(action), 보상(reward)을 정의하여 강화 학습 환경을 구축한다. 의사 결정 트리의 노드로 이루어진 상태(state) 집합 ( $\mathcal{S} = \{s_{1,1}, s_{2,1}, \dots, s_{i,j}, \dots\}$ )을 정의한다. 여기서,  $s_{i,j}$ 는 의사 결정 트리의  $i$ 번째 레벨의  $j$ 번째 노드인 상태(state)를 나타낸다. 신호의 정상도의 실수부 집합( $X$ )의 개수를 인덱스로 가지는 행동(action) 집합( $\mathcal{A} = \{1, 2, \dots, |\mathcal{X}|\}$ )을 정의한다. 예를 들어  $t$  레벨의 현재 상태(current state)  $s(t)$ 에서 행동(action)  $a(t) \in \mathcal{A}$ 을 수행하여 다음 상태(next state)  $s(t+1)$ 로 이동한다고 할 때 수행한 행동(action)을 연속적으로 모아보면 송신 신호  $\hat{\mathbf{x}}$ 를 검출할 수 있다. 이때 현재 상태(current state)  $s(t)$ 에서 최적의 행동(action)  $a(t)$ 를 결정하기 위한 정책(policy) 함수  $\pi(s(t))$ 는 수학식 8과 같이 주어진다.

## 수학식 8

$$\pi(s(t)) = \underset{a(t) \in \mathcal{A}}{\operatorname{argmax}} Q^*(s(t), a(t))$$

여기서,  $Q^*(s(t), a(t))$ 는 상태(state)  $s(t)$ 와 행동(action)  $a(t)$ 에 대한 최적의 상태(state) 행동(action) 가치 함수를 나타낸다. 최적의 상태 행동 가치 함수를 학습하기 위해서는 보상(reward)을 기반으로 벨먼(Bellman) 방정식에 기초하여 반복적으로 수학식 9과 같이 업데이트한다.



## 수학식 9

$$Q(s(t), a(t)) \leftarrow Q(s(t), a(t)) + \alpha[r(t) + \gamma \max_a Q(s(t+1), a(t)) - Q(s(t), a(t))]$$

[0055]

[0056]

여기서,  $\alpha \in (0,1)$ 는 학습 비율,  $\gamma \in (0,1)$ 는 감가 비율을 나타낸다. 이때 행동(action)  $a(t)$ 를 수행한 후에 받은 보상(reward)  $r(t+1)$ 은 수학식 7에 따라 수학식 10과 같이 정의한다.

## 수학식 10

$$r(t) = - \left( z_t - \sum_{l=1}^t L_{t,l} \hat{x}_l \right)^2$$

[0057]

[0058]

수학식 10에서 신호 검출 오류가 작을수록 큰 보상을 받도록 마이너스 연산자를 취하였다. 최종적으로 본 발명의 일 실시예에 따른 MIMO 정보 검출을 위한 최적의 정책 함수를 학습하는 과정을 요약하면 도 4과 같다.

[0059]

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 검출 장치가 처리하는 상태 행동 가치 함수의 학습 동작을 예시한 도면이다.

[0060]

일반적으로 차량의 속도가 빠르면 무선 채널에 의한 왜곡이 심하게 발생하기 때문에 신호 검출의 신뢰도를 높이는 것이 더욱 중요하다. 사전에 차량의 속도에 따른 적절한 학습 에피소드 수를 지정하여 테이블로 매핑하고, 주행하는 차량의 속도에 맞게 적응적으로 학습 에피소드 개수를 적용함으로써 차량의 현재 상황을 고려하면서 신호 검출의 신뢰도를 보장할 수 있다. V2X 애플리케이션에 따라 사전에 학습 에피소드 개수를 지정하여 다양한 V2X 시나리오에 따라 신뢰도와 복잡도를 유연하게 조절할 수 있다.

[0061]

도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 신호 검출 방법을 예시한 흐름도이다. 차량용 MIMO 통신을 위한 신호 검출 방법은 차량용 MIMO 통신을 위한 신호 검출 장치에 의해 수행될 수 있다.

[0062]

단계 S10에서 채널 행렬, 송신 신호, 및 수신 잡음의 관계가 상기 수신 신호로 표현된 송수신 관계를 재구성한다.

[0063]

단계 S20에서 재구성한 송수신 관계에 마르코프 결정 프로세스(Markov Decision Process)를 적용한다. 상기 마르코프 결정 프로세스를 적용하는 단계(S20)는 송신 신호의 성상도(constellation)에서 실수부 집합의 개수를 인덱스로 갖는 행동으로 정의한다.

[0064]

단계 S30에서 마르코프 결정 프로세스에 따라 정의된 상태 행동 가치 함수를 학습한다. 상태 행동 가치 함수를 학습하는 단계(S30)는 차량의 속도에 따라 상태 행동 가치 함수의 학습 에피소드 개수를 조절하여 신호 검출의 복잡도 및 성능을 제어한다.

[0065]

단계 S40에서 상태 행동 가치 함수를 통해 송신 신호를 검출한다.

[0066]

종래기술과 발명의 MIMO 신호 검출 성능을 비교하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에 사용된 변수는 표 1과 같다.

표 1

변수	값
송신 안테나 개수	$N = 4$
수신 안테나 개수	$M = 4$
무선 채널	Rayleigh fading channel
모듈레이션	16-QAM
학습 비율	$\alpha = 0.5$
감가 비율	$\gamma = 0.9$

[0067]

[0068]

도 6은 ZF, MMSE, MLD(Maximum Likelihood Detection) 신호 검출 기법과 본 발명인 RLD(Reinforcement Learning-based Detection) 신호 검출 기법의 비트 에너지 대 잡음 비( $E_b/N_0$ )에 따른 비트 오류율(bit error rate, BER) 성능을 도시한 것이다. 도 7은 비트 에너지 대 잡음 비( $E_b/N_0$ )가 16dB일 때 학습 에피소드 수(L)의 증가에 따른 비트 오류율 성능을 도시한 것이다.

[0069]

학습 에피소드의 수(L)가 커질수록 송신 신호 검출 성능이 높아진다. 특히, 학습 에피소드가 50 이상인 경우 ZF와 MMSE보다 높은 신호 검출 성능을 보이며 500 근처에서 최적의 MLD의 성능에 도달하였다. 예컨대, 300 정도로 초기화하고 상황에 맞게 50으로 점진적으로 감소시키거나 500으로 점진적으로 증가시킬 수 있다. 즉 학습 에피소드의 수를 조절하여 MIMO 신호 검출의 복잡도와 성능을 유연하게 조절할 수 있으며 비교적 낮은 복잡도로 최적의 MLD 성능에 도달함을 확인하였다.

[0070]

따라서, 본 발명은 초신뢰-저지연 통신을 필요로 하는 차량용 MIMO 통신 시스템에 적합한 신호 검출 방법이라 할 수 있다.

[0071]

신호 검출 장치는 적어도 하나의 프로세서, 컴퓨터 판독 가능한 저장매체 및 통신 버스를 포함할 수 있다.

[0072]

프로세서는 신호 검출 장치로 동작하도록 제어할 수 있다. 예컨대, 프로세서는 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체에 저장된 하나 이상의 프로그램들을 실행할 수 있다. 하나 이상의 프로그램들은 하나 이상의 컴퓨터 실행 가능 명령어를 포함할 수 있으며, 컴퓨터 실행 가능 명령어는 프로세서에 의해 실행되는 경우 신호 검출 장치로 하여금 예시적인 실시예에 따른 동작들을 수행하도록 구성될 수 있다.

[0073]

컴퓨터 판독 가능한 저장 매체는 컴퓨터 실행 가능 명령어 내지 프로그램 코드, 프로그램 데이터 및/또는 다른 적합한 형태의 정보를 저장하도록 구성된다. 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체에 저장된 프로그램은 프로세서에 의해 실행 가능한 명령어의 집합을 포함한다. 일 실시예에서, 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체는 메모리(랜덤 액세스 메모리와 같은 휘발성 메모리, 비휘발성 메모리, 또는 이들의 적절한 조합), 하나 이상의 자기 디스크 저장 디바이스들, 광학 디스크 저장 디바이스들, 플래시 메모리 디바이스들, 그 밖에 신호 검출 장치에 의해 액세스되고 원하는 정보를 저장할 수 있는 다른 형태의 저장 매체, 또는 이들의 적합한 조합일 수 있다.

[0074]

통신 버스는 프로세서, 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체를 포함하는 신호 검출 장치의 다른 다양한 컴포넌트들을 상호 연결한다.

[0075]

신호 검출 장치는 또한 하나 이상의 입출력 장치를 위한 인터페이스를 제공하는 하나 이상의 입출력 인터페이스 및 하나 이상의 통신 인터페이스를 포함할 수 있다. 입출력 인터페이스 및 통신 인터페이스는 통신 버스에 연결된다. 입출력 장치는 입출력 인터페이스를 통해 신호 검출 장치의 다른 컴포넌트들에 연결될 수 있다.

[0076]

신호 검출 장치는 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어 또는 이들의 조합에 의해 로직회로 내에서 구현될 수 있고, 범용 또는 특정 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수도 있다. 장치는 고정배선형(Hardwired) 기기, 필드 프로그램

가능한 게이트 어레이(Field Programmable Gate Array, FPGA), 주문형 반도체(Application Specific Integrated Circuit, ASIC) 등을 이용하여 구현될 수 있다. 또한, 장치는 하나 이상의 프로세서 및 컨트롤러를 포함한 시스템온칩(System on Chip, SoC)으로 구현될 수 있다.

[0077] 신호 검출 장치는 하드웨어적 요소가 마련된 컴퓨팅 디바이스 또는 서버에 소프트웨어, 하드웨어, 또는 이들의 조합하는 형태로 탑재될 수 있다. 컴퓨팅 디바이스 또는 서버는 각종 기기 또는 유무선 통신망과 통신을 수행하기 위한 통신 모듈 등의 통신장치, 프로그램을 실행하기 위한 데이터를 저장하는 메모리, 프로그램을 실행하여 연산 및 명령하기 위한 마이크로프로세서 등을 전부 또는 일부 포함한 다양한 장치를 의미할 수 있다.

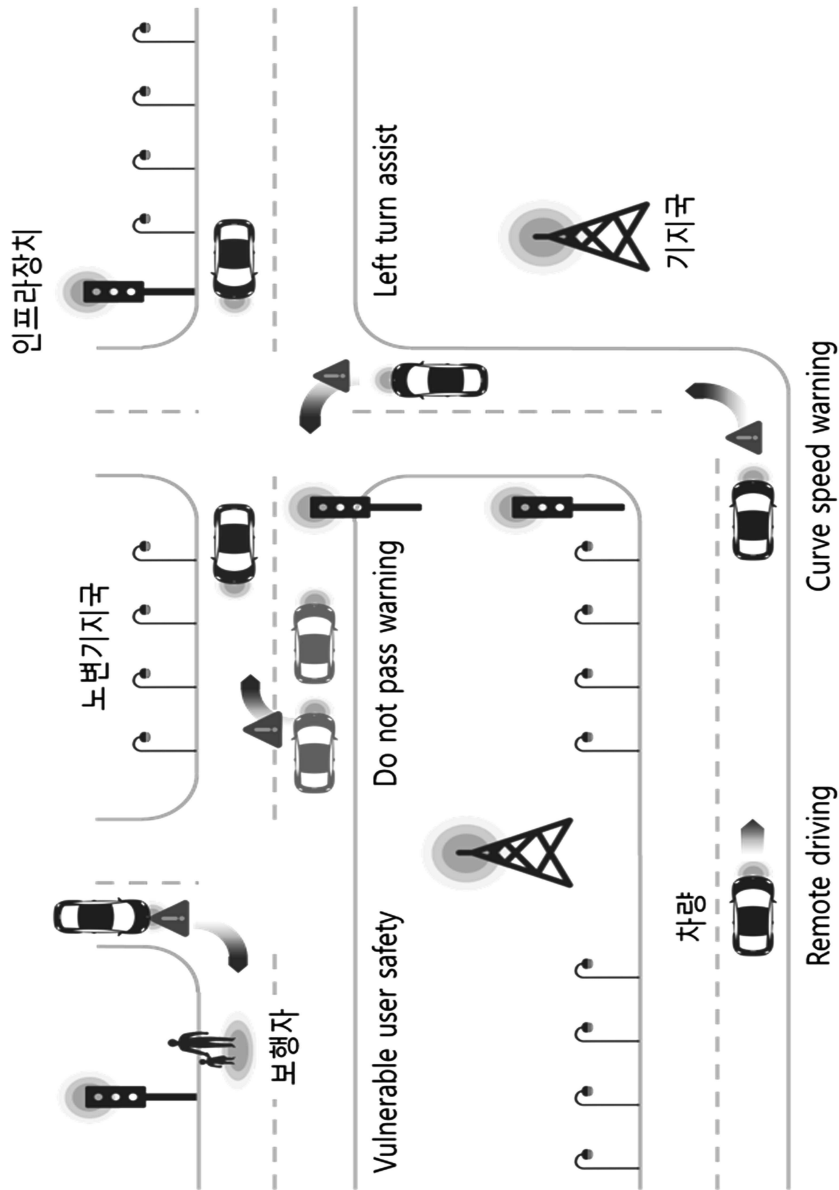
[0078] 도 5에서는 각각의 과정을 순차적으로 실행하는 것으로 기재하고 있으나 이는 예시적으로 설명한 것에 불과하고, 이 분야의 기술자라면 본 발명의 실시예의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 도 5에 기재된 순서를 변경하여 실행하거나 또는 하나 이상의 과정을 병렬적으로 실행하거나 다른 과정을 추가하는 것으로 다양하게 수정 및 변형하여 적용 가능할 것이다.

[0079] 본 실시예들에 따른 동작은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능한 매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능한 매체는 실행을 위해 프로세서에 명령어를 제공하는 데 참여한 임의의 매체를 나타낸다. 컴퓨터 판독 가능한 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 예를 들면, 자기 매체, 광기록 매체, 메모리 등이 있을 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어 분산 방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수도 있다. 본 실시예를 구현하기 위한 기능적인(Functional) 프로그램, 코드, 및 코드 세그먼트들은 본 실시예가 속하는 기술분야의 프로그래머들에 의해 용이하게 추론될 수 있을 것이다.

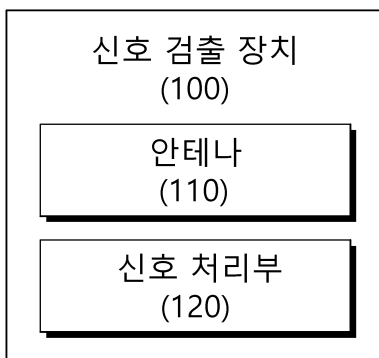
[0080] 본 실시예들은 본 실시예의 기술 사상을 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 실시예의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 실시예의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 실시예의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

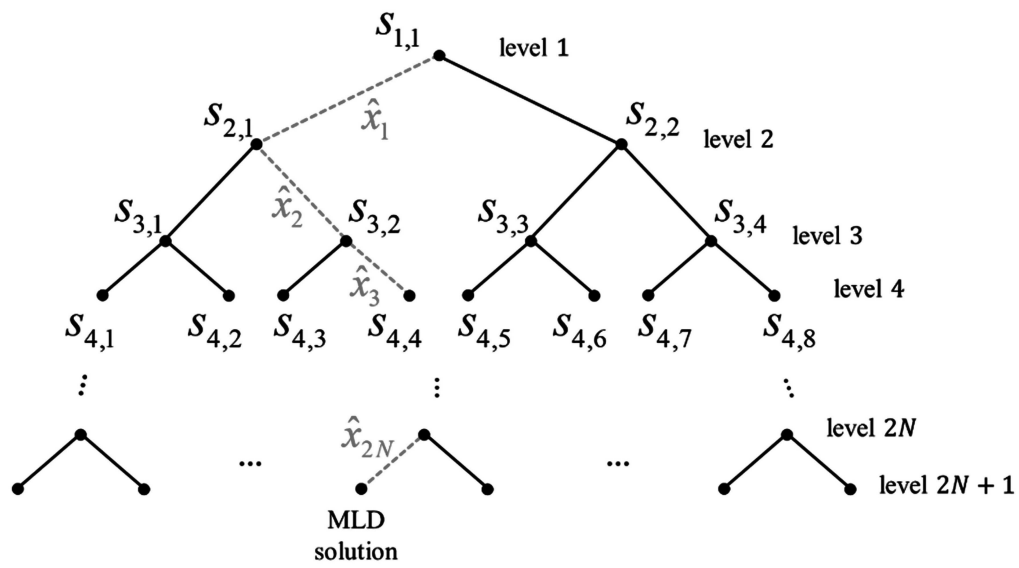
도면1



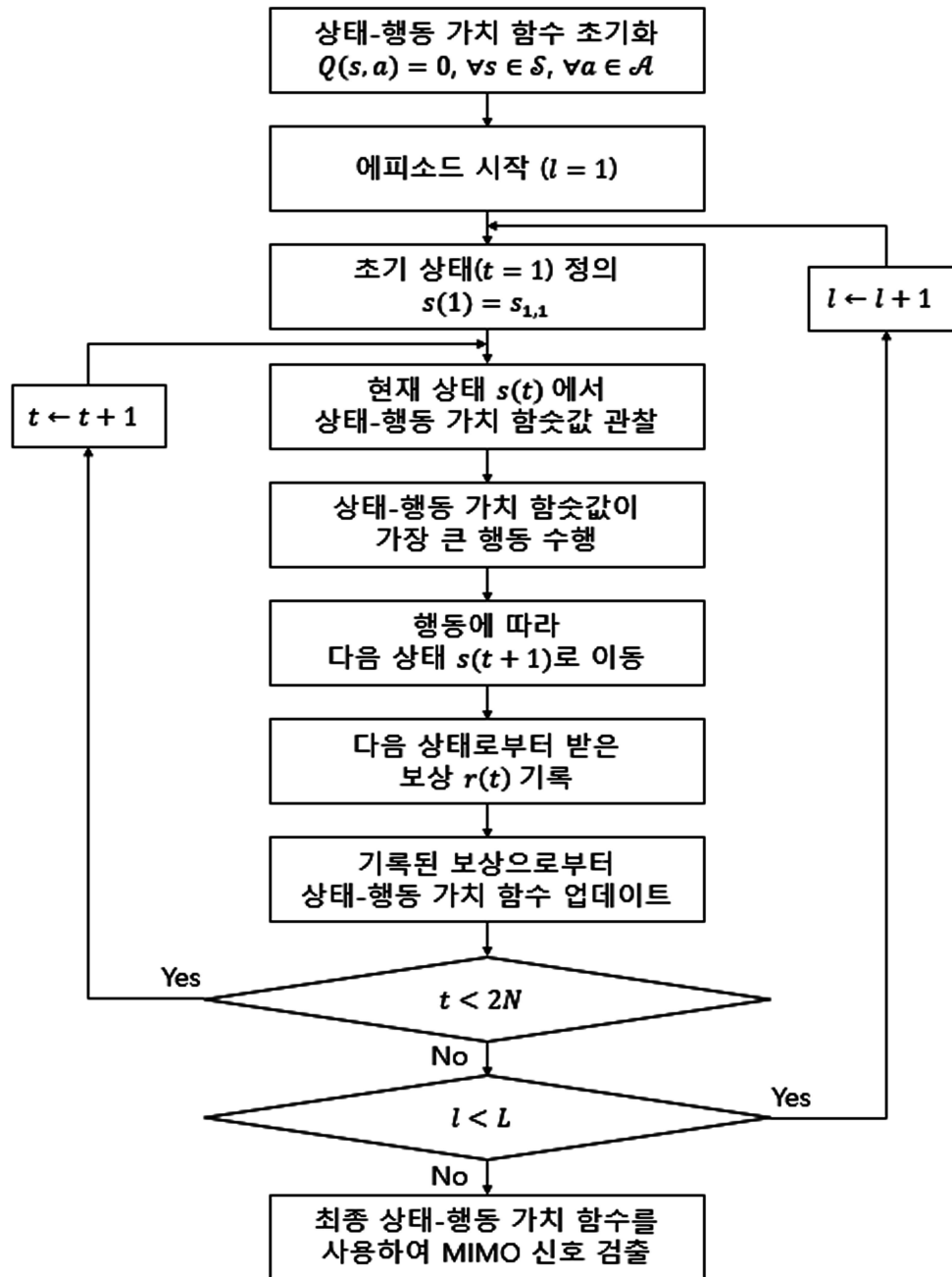
도면2



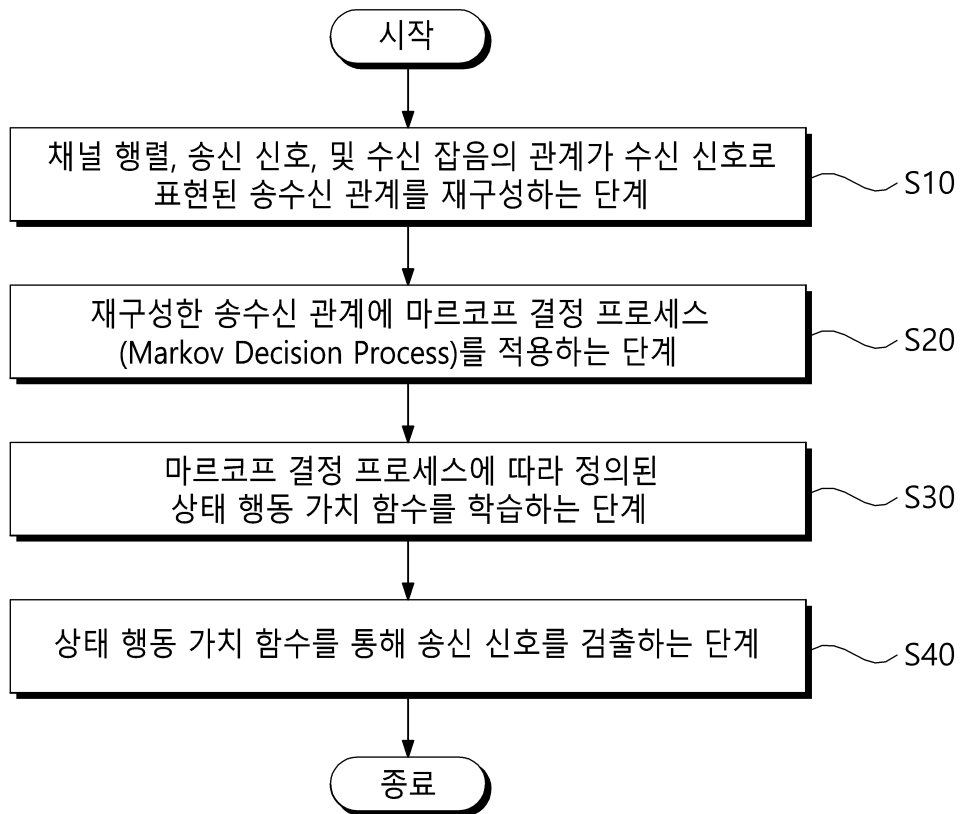
도면3



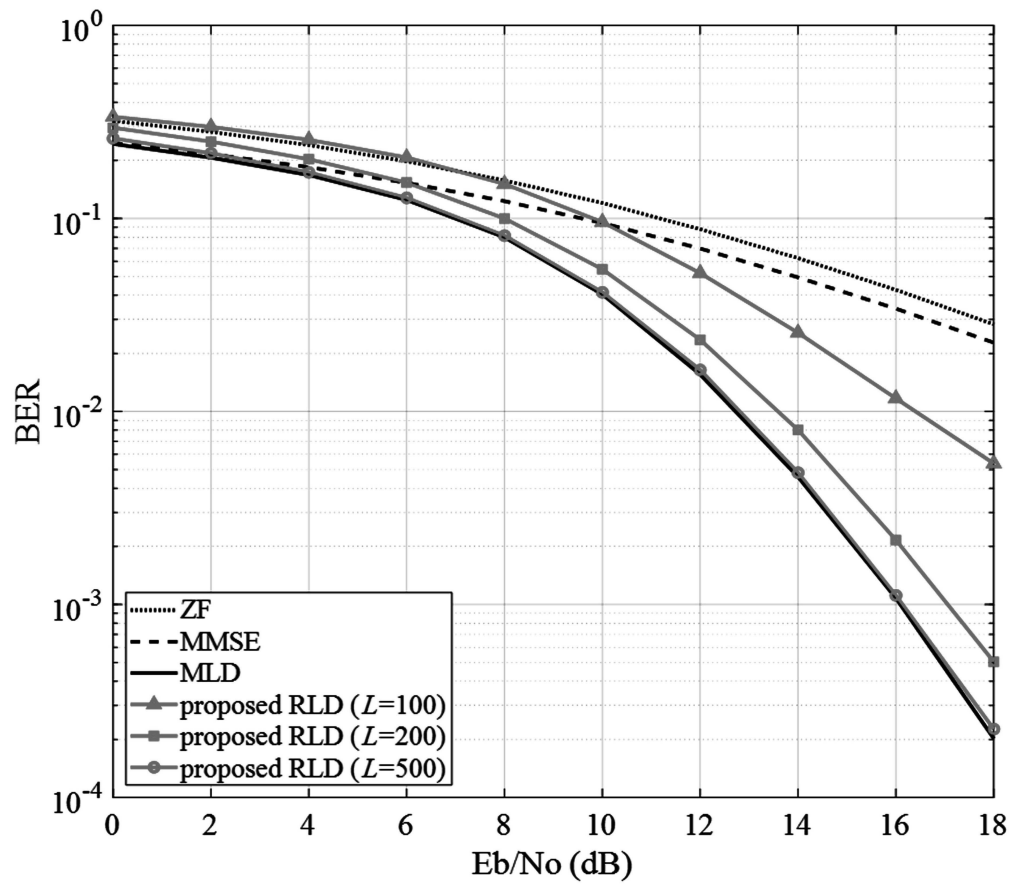
도면4



도면5



도면6





도면7

