



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년11월27일

(11) 등록번호 10-2183832

(24) 등록일자 2020년11월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H04B 7/08 (2017.01) H04L 1/06 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0125253

(22) 출원일자 2014년09월19일

심사청구일자 2019년08월26일

(65) 공개번호 10-2016-0034116

(43) 공개일자 2016년03월29일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020130138327 A\*

US20120189083 A1\*

Michael D. Larsen, et.al., MIMO SVD-based multiplexing with imperfect channel knowledge, ICASSP 2010, pp.3454-3457 (2010.03.19.)\*

MinJoon Kim, et.al., Efficient Near-Optimal Detection with Generalized Sphere Decoder for Blind MU-MIMO Systems, ETRI Journal, Vol. 36, Issue. 4, pp.682-685 (2014.08.01.)\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

삼성전자주식회사

경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

구지훈

경기도 화성시 병점중앙로 204 월드메르디앙1단지 아파트 105동 603호

김민준

서울특별시 서초구 반포대로22길 54 JC라디앙아파트 702호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

이건주, 김정훈

전체 청구항 수 : 총 10 항

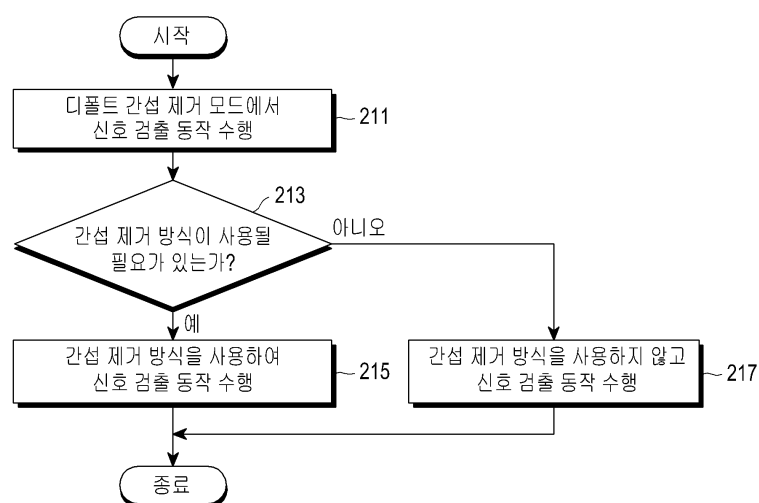
심사관 : 양찬호

(54) 발명의 명칭 다중 사용자 다중-입력 다중-출력 방식을 지원하는 통신 시스템에서 간섭 제거 장치 및 방법

### (57) 요약

본 발명은 다중 사용자(multiple user) 다중-입력 다중-출력(multiple-input multiple-output: MIMO) 방식을 지원하는 통신 시스템의 신호 수신 장치에서 간섭을 제거하는 방법에 있어서, 신호 검출 동작을 수행하는 중에 간섭 제거 방식이 사용될 필요가 있는지 결정하는 과정과, 상기 결정 결과를 기반으로 상기 간섭 제거 방식을 사용하여 상기 신호 검출 동작을 수행하거나, 혹은 상기 간섭 제거 방식을 사용하지 않고 상기 신호 검출 동작을 수행하는 과정을 포함함을 특징으로 한다.

### 대표도 - 도2



(72) 발명자

**박장용**

서울특별시 성북구 한천로99길 43-3

**이혁연**

강원도 원주시 남원로 526 한일아파트 103동 902호

**김재석**

서울특별시 구로구 경인로65길 16-15 신도림4차 e

편한세상아파트 1104동 502호

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

다중 사용자(multiple user) 다중-입력 다중-출력(multiple-input multiple-output: MIMO) 방식을 지원하는 통신 시스템의 신호 수신 장치에서 간섭을 제거하는 방법에 있어서,

신호 검출 동작을 수행하는 중에, 간섭 신호를 고려하지 않고 검출된 전송 신호의 에러가 상기 간섭 신호를 고려하여 검출된 전송 신호의 에러보다 작은 경우에 에러 예측 방식 기준이 충족된 것으로 판단하는 과정과,

상기 에러 예측 방식 기준이 충족된 것으로 판단한 것에 대응하여, 간섭 제거 방식을 사용하여 상기 신호 검출 동작을 수행하는 과정을 포함하고,

상기 간섭 신호를 고려하지 않고 검출된 상기 전송 신호의 상기 에러는:

추정된 프리코딩 행렬, 채널 행렬, 신호 송신 장치에서 송신한 심볼 벡터, 및 수신 신호,

상기 추정된 프리코딩 행렬, 상기 채널 행렬, 상기 신호 송신 장치에서 송신한 상기 심볼 벡터, 및 추정된 송신 심볼 벡터,

상기 채널 행렬의 특이값 분해(singular value decomposition: SVD) 값, 및 송신 심볼의 성상도(constellation) 상의 두 포인트들 간의 최소 거리, 또는

상기 채널 행렬, 및 상기 송신 심볼의 상기 성상도 상의 두 포인트들 간의 상기 최소 거리에 의해 결정됨을 특징으로 하는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템의 신호 수신 장치에서 간섭을 제거하는 방법.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 에러 예측 방식 기준은;

상기 추정된 프리코딩 행렬, 상기 채널 행렬, 상기 신호 송신 장치에서 송신한 상기 심볼 벡터, 및 상기 수신 신호를 기반으로 결정됨을 특징으로 하는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템의 신호 수신 장치에서 간섭을 제거하는 방법.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 에러 예측 방식 기준은;

상기 추정된 프리코딩 행렬, 상기 채널 행렬, 상기 신호 송신 장치에서 송신한 상기 심볼 벡터, 상기 추정된 송신 심볼 벡터, 및 잡음을 기반으로 결정됨을 특징으로 하는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템의 신호 수신 장치에서 간섭을 제거하는 방법.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 에러 예측 방식 기준은;

상기 채널 행렬의 상기 특이값 분해 값, 상기 송신 심볼의 상기 성상도 상의 두 포인트들 간의 상기 최소 거리, 상기 채널 행렬, 및 잡음을 기반으로 결정됨을 특징으로 하는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템의 신호 수신 장치에서 간섭을 제거하는 방법.

#### 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 에러 예측 방식 기준은;

상기 채널 행렬, 상기 송신 심볼의 상기 성상도 상의 두 포인트들 간의 상기 최소 거리, 및 잡음을 기반으로 결정됨을 특징으로 하는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템의 신호 수신 장치에서 간섭을 제거하는 방법.

#### 청구항 8

삭제

#### 청구항 9

삭제

#### 청구항 10

삭제

#### 청구항 11

삭제

#### 청구항 12

삭제

#### 청구항 13

삭제

#### 청구항 14

삭제

#### 청구항 15

다중 사용자(multiple user) 다중-입력 다중-출력(multiple-input multiple-output: MIMO) 방식을 지원하는 통신 시스템의 신호 수신 장치에 있어서,

상기 신호 수신 장치는 수신기와 제어기를 포함하고, 상기 제어기는:

신호 검출 동작을 수행하는 중에, 간섭 신호를 고려하지 않고 검출된 전송 신호의 에러가 상기 간섭 신호를 고려하여 검출된 전송 신호의 에러보다 작은 경우에 에러 예측 방식 기준이 충족된 것으로 판단하고,

상기 에러 예측 방식 기준이 충족된 것으로 판단한 것에 대응하여, 간섭 제거 방식을 사용하여 상기 신호 검출

동작을 수행하고,

상기 간섭 신호를 고려하지 않고 검출된 상기 전송 신호의 상기 에러는:

추정된 프리코딩 행렬, 채널 행렬, 신호 송신 장치에서 송신한 심볼 벡터, 및 수신 신호,

상기 추정된 프리코딩 행렬, 상기 채널 행렬, 상기 신호 송신 장치에서 송신한 상기 심볼 벡터, 및 추정된 송신 심볼 벡터,

상기 채널 행렬의 특이값 분해(singular value decomposition: SVD) 값, 및 송신 심볼의 성상도(constellation) 상의 두 포인트들 간의 최소 거리, 또는

상기 채널 행렬, 및 상기 송신 심볼의 상기 성상도 상의 두 포인트들 간의 상기 최소 거리에 의해 결정됨을 특징으로 하는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템의 신호 수신 장치.

#### 청구항 16

삭제

#### 청구항 17

삭제

#### 청구항 18

제15항에 있어서,

상기 에러 예측 방식 기준은;

상기 추정된 프리코딩 행렬, 상기 채널 행렬, 상기 신호 송신 장치에서 송신한 상기 심볼 벡터, 및 상기 수신 신호를 기반으로 결정됨을 특징으로 하는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템의 신호 수신 장치.

#### 청구항 19

제15항에 있어서,

상기 에러 예측 방식 기준은;

상기 추정된 프리코딩 행렬, 상기 채널 행렬, 상기 신호 송신 장치에서 송신한 상기 심볼 벡터, 상기 추정된 송신 심볼 벡터, 및 잡음을 기반으로 결정됨을 특징으로 하는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템의 신호 수신 장치.

#### 청구항 20

제15항에 있어서,

상기 에러 예측 방식 기준은;

상기 채널 행렬의 상기 특이값 분해 값, 상기 송신 심볼의 상기 성상도 상의 두 포인트들 간의 상기 최소 거리, 상기 채널 행렬, 및 잡음을 기반으로 결정됨을 특징으로 하는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템의 신호 수신 장치.

#### 청구항 21

제15항에 있어서,

상기 에러 예측 방식 기준은;

상기 채널 행렬, 상기 송신 심볼의 상기 성상도 상의 두 포인트들 간의 상기 최소 거리, 및 잡음을 기반으로 결정됨을 특징으로 하는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템의 신호 수신 장치.

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

## 발명의 설명

### 기술 분야

- [0001] 본 발명은 다중 사용자(multiple user) 다중-입력 다중-출력(multiple-input multiple-output: MIMO, 이하 ‘MIMO’ 라 칭하기로 한다) 방식을 지원하는 통신 시스템에서 간섭 제거 장치 및 방법에 관한 것으로, 특히 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템에서 적응적으로 간섭을 제거하는 장치 및 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

- [0002] 통신 시스템은 지속적으로 증가하는 무선 데이터 트래픽(data traffic) 수요를 충족시키기 위해 보다 높은 데이터 전송률을 지원하도록 발전하고 있다. 예를 들어, 통신 시스템은 데이터 전송률 증가를 위해 MIMO 방식 등과 같은 다양한 방식들을 기반으로 주파수 효율성(spectral efficiency)을 개선하고, 채널 용량을 증대시키도록 개발되고 있다.
- [0003] 한편, 통신 시스템에 있어서, 셀 중심에서 먼 셀 경계 영역의 낮은 신호대 잡음비(signal-to-noise ratio, 이하 ‘SNR’ 이라 칭하기로 한다)의 상황이나, 인접 셀에 위치하고 있는 기지국으로부터 간섭의 영향을 크게 받는 낮은 캐리어 대 간섭 잡음 비(carrier-to-interference and noise ratio: CINR, 이하 ‘CINR’ 이라 칭하기로 한다)의 상황에 처해 있는 셀 경계 (cell-edge) 단말기(station: STA, 이하, ‘STA’ 라 칭하기로 한다)들은 상기 통신 시스템의 전체 시스템 성능을 저하시킬 수 있는 요인이 된다.
- [0004] 따라서, 상기 통신 시스템에서는 상기 셀 경계 STA들에 대한 전송 효율을 증대시키기 위해, 셀간 간섭 협력(inter-cell interference-coordination: ICIC, 이하 ‘ICIC’ 라 칭하기로 한다) 방식과, 협력 다중-포인트들(coordinated multi-points: CoMP, 이하 ‘CoMP’ 라 칭하기로 한다) 방식과, 간섭 제거(interference cancellation) 방식 등과 같은 다양한 방식들이 개발되고 있다.
- [0005] 한편, 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템의 다운링크(downlink)에서는 액세스 포인트(access point: AP, 이하 ‘AP’ 라 칭하기로 한다)가 다수개의 STA들에게 데이터를 송신할 수 있으며, 따라서 상기 AP가

다수개의 STA들에게 서비스를 제공할 경우 높은 처리량(throughput)을 제공할 수 있다.

- [0006] 상기 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템의 다운링크에서 상기 AP는 송신 신호에 대해 다운링크 채널 스테이트 정보(channel state information: CSI, 이하 ‘CSI’ 라 칭하기로 한다) 피드백(feedback)을 기반으로 생성된 프리코딩 행렬(precoding matrix)을 적용한다.
- [0007] 한편, 종래의 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 시스템의 다운링크는 송신 신호에 대해 완벽한 프리코딩이 적용되므로 STA에는 요구 신호(required signal)만 수신된다고 가정하여 모델링되었다. 하지만, 상기 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 시스템에서 다운링크의 실제 채널 환경에서는 양자화 에러(quantization error)와 채널 추정 에러가 존재하고, 따라서 상기 양자화 에러 및 채널 추정 에러로 인해 송신 신호에 대해 프리코딩이 완전하게 적용되는 것은 어렵다.
- [0008] 만약, 송신 신호에 대해 에러가 포함된 CSI를 기반으로 생성된 프리코딩 행렬이 적용될 경우, 각 STA에는 각 STA를 위해 필요한 정보, 일 예로 요구 신호와 다른 STA들을 위한 불필요한 정보, 일 예로 간섭 신호들이 함께 수신된다. 그리고 이런 간섭 신호들은 각 STA에서 수신율 하락을 초래하게 된다.
- [0009] 따라서, 상기 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템에서는 간섭 신호들로 인해 발생될 수 있는 상황들을 해결하기 위해 다양한 간섭 제거 방식들이 제안된 바 있다.
- [0010] 하지만, 상기 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템에서 현재까지 제안된 바 있는 간섭 제거 방식들은 높은 프로세싱(processing) 복잡도를 가지고 있고, 또한 간섭 신호가 요구 신호를 검출하는 동작에 영향을 미치지 않더라도 항상 간섭 제거 동작이 수행되어야 하므로 비효율적이다. 또한, 상기와 같은 간섭 제거 방식들은 간섭 신호가 요구 신호를 검출하는 동작에 영향을 미치지 않더라도 항상 간섭 제거 동작이 수행되므로 높은 프로세싱 연산량과 많은 전력 소비를 필요로 한다.
- [0011] 따라서, 상기 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템에서 프로세싱 복잡도를 감소시키면서도 프로세싱 연산량 및 전력 소비량을 감소시키는 새로운 간섭 제거 방식에 대한 필요성이 대두되고 있다.
- [0012] 한편, 상기와 같은 정보는 본 발명의 이해를 돕기 위한 백그라운드(background) 정보로서만 제시될 뿐이다. 상기 내용 중 어느 것이라도 본 발명에 관한 종래 기술로서 적용 가능할지 여부에 관해, 어떤 결정도 이루어지지 않았고, 또한 어떤 주장도 이루어지지 않는다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0013] 본 발명의 일 실시예는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템에서 간섭 제거 장치 및 방법을 제안한다.
- [0014] 또한, 본 발명의 일 실시예는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템에서 적응적으로 간섭을 제거하는 장치 및 방법을 제안한다.
- [0015] 또한, 본 발명의 일 실시예는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템에서 에러 예측 방식을 기반으로 적응적으로 간섭을 제거하는 장치 및 방법을 제안한다.
- [0016] 또한, 본 발명의 일 실시예는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템에서 프로세싱 복잡도를 감소시키는 것이 가능한 간섭 제거 장치 및 방법을 제안한다.
- [0017] 또한, 본 발명의 일 실시예는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템에서 프로세싱 연산량을 감소시키는 것이 가능한 간섭 제거 장치 및 방법을 제안한다.
- [0018] 또한, 본 발명의 일 실시예는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템에서 소비 전력량을 감소시키는 것이 가능한 간섭 제거 장치 및 방법을 제안한다.

### 과제의 해결 수단

- [0019] 본 발명의 일 실시예에서 제안하는 방법은; 다중 사용자(multiple user) 다중-입력 다중-출력(multiple-input

multiple-output: MIMO) 방식을 지원하는 통신 시스템의 신호 수신 장치에서 간섭을 제거하는 방법에 있어서, 신호 검출 동작을 수행하는 중에 간섭 제거 방식이 사용될 필요가 있는지 결정하는 과정과, 상기 결정 결과를 기반으로 상기 간섭 제거 방식을 사용하여 상기 신호 검출 동작을 수행하거나, 혹은 상기 간섭 제거 방식을 사용하지 않고 상기 신호 검출 동작을 수행하는 과정을 포함함을 특징으로 한다.

[0020] 본 발명의 일 실시예에서 제안하는 다른 방법은; 다중 사용자(multiple user) 다중-입력 다중-출력(multiple-input multiple-output: MIMO) 방식을 지원하는 통신 시스템의 신호 수신 장치에서 간섭을 제거하는 방법에 있어서, 신호 검출 동작을 수행하는 중에 간섭 제거 방식에서 사용되는 간섭 제거 개수가 조정될 필요가 있는지 결정하는 과정과, 상기 결정 결과를 기반으로 상기 간섭 제거 개수를 조정하여 상기 신호 검출 동작을 수행하거나, 혹은 상기 간섭 제거 개수를 조정하지 않고 상기 신호 검출 동작을 수행하는 과정을 포함함을 특징으로 한다.

[0021] 본 발명의 일 실시예에서 제안하는 장치는; 다중 사용자(multiple user) 다중-입력 다중-출력(multiple-input multiple-output: MIMO) 방식을 지원하는 통신 시스템의 신호 수신 장치에 있어서, 신호 검출 동작을 수행하는 중에 간섭 제거 방식이 사용될 필요가 있는지 결정하는 제어기와, 상기 결정 결과를 기반으로 상기 간섭 제거 방식을 사용하여 상기 신호 검출 동작을 수행하거나, 혹은 상기 간섭 제거 방식을 사용하지 않고 상기 신호 검출 동작을 수행하는 제어기를 포함함을 특징으로 한다.

[0022] 본 발명의 일 실시예에서 제안하는 다른 장치는; 다중 사용자(multiple user) 다중-입력 다중-출력(multiple-input multiple-output: MIMO) 방식을 지원하는 통신 시스템의 신호 수신 장치에 있어서, 신호 검출 동작을 수행하는 중에 간섭 제거 방식에서 사용되는 간섭 제거 개수가 조정될 필요가 있는지 결정하는 제어기와, 상기 결정 결과를 기반으로 상기 간섭 제거 개수를 조정하여 상기 신호 검출 동작을 수행하거나, 혹은 상기 간섭 제거 개수를 조정하지 않고 상기 신호 검출 동작을 수행하는 수신기를 포함함을 특징으로 한다.

[0023] 본 발명의 다른 측면들과, 이득들 및 핵심적인 특징들은 부가 도면들과 함께 처리되고, 본 발명의 바람직한 실시예들을 제시하는, 하기의 구체적인 설명으로부터 해당 기술 분야의 당업자에게 자명할 것이다.

[0024] 하기의 본 게시의 구체적인 설명 부분을 처리하기 전에, 이 특허 문서를 통해 사용되는 특정 단어 및 구문들에 대한 정의들을 설정하는 것이 효과적일 수 있다: 상기 용어들 “포함하다(include)” 및 “포함하다(comprise)” 과 그 파생어들은 한정없는 포함을 의미하며; 상기 용어 “혹은(or)” 은 포괄적이고 ‘및/또는’ 을 의미하고; 상기 구문들 “~와 연관되는(associated with)” 및 “~와 연관되는(associated therewith)” 과 그 파생어들은 포함하고(include), ~내에 포함되고(be included within), ~와 서로 연결되고(interconnect with), 포함하고(contain), ~내에 포함되고(be contained within), ~에 연결하거나 혹은 ~와 연결하고(connect to or with), ~에 연결하거나 혹은 ~와 연결하고(couple to or with), ~와 통신 가능하고(be communicable with), ~와 협조하고(cooperate with), 인터리빙하고(interleave), 병치하고(juxtapose), ~로 가장 근접하고(be proximate to), ~로 ~할 가능성이 크거나 혹은 ~와 ~할 가능성이 크고(be bound to or with), 가지고(have), 소유하고(have a property of) 등과 같은 것을 의미하고; 상기 용어 “제어기” 는 적어도 하나의 동작을 제어하는 임의의 디바이스, 시스템, 혹은 그 부분을 의미하고, 상기과 같은 디바이스는 하드웨어, 펌웨어 혹은 소프트웨어, 혹은 상기 하드웨어, 펌웨어 혹은 소프트웨어 중 적어도 2개의 몇몇 조합에서 구현될 수 있다. 어떤 특정 제어기와 연관되는 기능성이라도 집중화되거나 혹은 분산될 수 있으며, 국부적이거나 원격적일 수도 있다는 것에 주의해야만 할 것이다. 특정 단어 및 구문들에 대한 정의들은 이 특허 문서에 걸쳐 제공되고, 해당 기술 분야의 당업자는 많은 경우, 대부분의 경우가 아니라고 해도, 상기와 같은 정의들이 종래 뿐만 아니라 상기와 같이 정의된 단어 및 구문들의 미래의 사용에도 적용된다는 것을 이해해야만 할 것이다.

## 발명의 효과

[0025] 본 발명의 일 실시예는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템에서 적응적으로 간섭을 제거하는 것을 가능하게 한다는 효과가 있다.

[0026] 또한, 본 발명의 일 실시예는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템에서 여러 예측 방식을 기반으로 적응적으로 간섭을 제거하는 것을 가능하게 한다는 효과가 있다.

[0027] 또한, 본 발명의 일 실시예는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템에서 프로세싱 복잡도를 감소시키는 것이 가능하도록 간섭을 제거하는 것을 가능하게 한다는 효과가 있다.



[0028] 또한, 본 발명의 일 실시예는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템에서 프로세싱 연산량을 감소시키는 것이 가능하도록 간섭을 제거하는 것을 가능하게 한다는 효과가 있다.

[0029] 또한, 본 발명의 일 실시예는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템에서 소비 전력량을 감소시키는 것이 가능하도록 간섭을 제거하는 것을 가능하게 한다는 효과가 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0030] 본 발명의 특정한 바람직한 실시예들의 상기에서 설명한 바와 같은 또한 다른 측면들과, 특징들 및 이득들은 첨부 도면들과 함께 처리되는 하기의 설명으로부터 보다 명백하게 될 것이다:

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템의 내부 구조를 개략적으로 도시한 도면이다;

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 AIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작을 수행하는 과정을 개략적으로 도시한 도면이다;

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 SIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작을 수행하는 과정을 개략적으로 도시한 도면이다;

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 간섭 제거 개수를 결정하는 과정을 개략적으로 도시한 도면이다;

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 AIC 방식을 사용할 경우의 BER 성능을 개략적으로 도시한 도면이다;

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 AIC 방식을 사용할 경우의 추정 에러 레이트 성능을 개략적으로 도시한 도면이다;

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 SIC 방식을 사용할 경우의 BER 성능을 개략적으로 도시한 도면이다;

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 SIC 방식을 사용할 경우의 추정 에러 레이트 성능을 개략적으로 도시한 도면이다;

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 송신 장치의 내부 구조를 개략적으로 도시한 도면이다;

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치의 내부 구조를 개략적으로 도시한 도면이다.

상기 도면들을 통해, 유사 참조 번호들은 동일한 혹은 유사한 엘리먼트들과, 특징들 및 구조들을 도시하기 위해 사용된다는 것에 유의해야만 한다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0031] 이하, 본 발명의 실시 예들을 첨부한 도면들을 참조하여 상세히 설명한다. 그리고, 하기에서는 본 발명의 실시 예들에 따른 동작을 이해하는데 필요한 부분만이 설명되며, 그 이외의 부분의 설명은 본 발명의 요지를 흐트리지 않도록 생략될 것이라는 것을 유의하여야 한다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명의 실시예들에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0032] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시 예들을 가질 수 있는 바, 특정 실시 예들을 도면들에 예시하여 상세하게 설명한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0033] 또한, 본 명세서에서 명백하게 다른 내용을 지시하지 않는 “한” 과, “상기” 와 같은 단수 표현들은 복수 표현들을 포함한다는 것이 이해될 수 있을 것이다. 따라서, 일 예로, “컴포넌트 표면(component surface)” 은 하나 혹은 그 이상의 컴포넌트 표면들을 포함한다.

- [0034] 또한, 제1, 제2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되지는 않는다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.
- [0035] 또한, 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0036] 또한, 본 발명의 실시예들에서, 별도로 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 발명의 실시예에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0037] 본 발명의 다양한 실시예들에 따르면, 전자 디바이스는 통신 기능을 포함할 수 있다. 일 예로, 전자 디바이스는 스마트 폰(smart phone)과, 태블릿(tablet) 개인용 컴퓨터(personal computer: PC, 이하 'PC' 라 칭하기로 한다)와, 이동 전화기와, 화상 전화기와, 전자책 리더(e-book reader)와, 데스크 탑(desktop) PC와, 랩탑(laptop) PC와, 넷북(netbook) PC와, 개인용 복합 단말기(personal digital assistant: PDA, 이하 'PDA' 라 칭하기로 한다)와, 휴대용 멀티미디어 플레이어(portable multimedia player: PMP, 이하 'PMP' 라 칭하기로 한다)와, 엠펙3 플레이어(mp3 player)와, 이동 의료 디바이스와, 카메라와, 웨어러블 디바이스(wearable device)(일 예로, 헤드-마운트 디바이스(head-mounted device: HMD, 일 예로 'HMD' 라 칭하기로 한다)와, 전자 의류와, 전자 팔찌와, 전자 목걸이와, 전자 액세서리(appcessory)와, 전자 문신, 혹은 스마트 워치(smart watch) 등이 될 수 있다.
- [0038] 본 발명의 다양한 실시예들에 따르면, 전자 디바이스는 통신 기능을 가지는 스마트 가정용 기기(smart home appliance)가 될 수 있다. 일 예로, 상기 스마트 가정용 기기는 텔레비전과, 디지털 비디오 디스크(digital video disk: DVD, 이하 'DVD' 라 칭하기로 한다) 플레이어와, 오디오와, 냉장고와, 에어 컨디셔너와, 진공 청소기와, 오븐과, 마이크로웨이브 오븐과, 워셔와, 드라이어와, 공기 청정기와, 셋-탑 박스(set-top box)와, TV 박스 (일 예로, Samsung HomeSync<sup>TM</sup>, Apple TV<sup>TM</sup>, 혹은 Google TV<sup>TM</sup>)와, 게임 콘솔(gaming console)과, 전자 사진과, 캠코더와, 전자 사진 프레임 등이 될 수 있다.
- [0039] 본 발명의 다양한 실시예들에 따르면, 전자 디바이스는 의료 기기(일 예로, 자기 공명 혈관 조영술(magnetic resonance angiography: MRA, 이하 'MRA' 라 칭하기로 한다) 디바이스와, 자기 공명 화상법(magnetic resonance imaging: MRI, 이하 "MRI" 라 칭하기로 한다)과, 컴퓨터 단층 촬영(computed tomography: CT, 이하 'CT' 라 칭하기로 한다) 디바이스와, 활상 디바이스, 혹은 초음파 디바이스)와, 네비게이션(navigation) 디바이스와, 전 세계 위치 시스템(global positioning system: GPS, 이하 'GPS' 라 칭하기로 한다) 수신기와, 사고 기록 장치(event data recorder: EDR, 이하 'EDR' 이라 칭하기로 한다)와, 비행 기록 장치(flight data recorder: FDR, 이하 'FER' 이라 칭하기로 한다)와, 자동차 인포테인먼트 디바이스(automotive infotainment device)와, 항해 전자 디바이스(일 예로, 항해 네비게이션 디바이스, 자이로스코프(gyroscope), 혹은 나침반)와, 항공 전자 디바이스와, 보안 디바이스와, 산업용 혹은 소비자용 로봇(robot) 등이 될 수 있다.
- [0040] 본 발명의 다양한 실시예들에 따르면, 전자 디바이스는 통신 기능을 포함하는, 가구와, 빌딩/구조의 일부와, 전자 보드와, 전자 서명 수신 디바이스와, 프로젝터와, 다양한 측정 디바이스들(일 예로, 물과, 전기와, 가스 혹은 전자기 파 측정 디바이스들) 등이 될 수 있다.
- [0041] 본 발명의 다양한 실시예들에 따르면, 전자 디바이스는 상기에서 설명한 바와 같은 디바이스들의 조합이 될 수 있다. 또한, 본 발명의 바람직한 실시예들에 따른 전자 디바이스는 상기에서 설명한 바와 같은 디바이스에 한정되는 것이 아니라는 것은 당업자에게 자명할 것이다.
- [0042] 본 발명의 다양한 실시예들에 따르면, 단말기(station: STA, 이하 'STA' 라 칭하기로 한다)는 일 예로 전자 디

바이스가 될 수 있다.

- [0043] 또한, 본 발명의 다양한 실시예들에 따르면, 일 예로 STA는 신호 수신 장치로서 동작하고, 일 예로 액세스 포인트(access point: AP, 이하 ‘AP’ 라 칭하기로 한다)는 신호 송신 장치로 동작한다.
- [0044] 본 발명의 일 실시예는 다중 사용자(multiple user) 다중-입력 다중-출력(multiple-input multiple-output: MIMO, 이하 ‘MIMO’ 라 칭하기로 한다) 방식을 지원하는 통신 시스템에서 간섭 제거 장치 및 방법을 제안한다.
- [0045] 또한, 본 발명의 일 실시예는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템에서 적응적으로 간섭을 제거하는 장치 및 방법을 제안한다.
- [0046] 또한, 본 발명의 일 실시예는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템에서 에러 예측 방식을 기반으로 적응적으로 간섭을 제거하는 장치 및 방법을 제안한다.
- [0047] 또한, 본 발명의 일 실시예는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템에서 프로세싱(processing) 복잡도를 감소시키는 것이 가능한 간섭 제거 장치 및 방법을 제안한다.
- [0048] 또한, 본 발명의 일 실시예는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템에서 프로세싱 연산량을 감소시키는 것이 가능한 간섭 제거 장치 및 방법을 제안한다.
- [0049] 또한, 본 발명의 일 실시예는 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템에서 소비 전력량을 감소시키는 것이 가능한 간섭 제거 장치 및 방법을 제안한다.
- [0050] 한편, 본 발명의 일 실시예에서 제안하는 방법 및 장치는 국제 전기 전자 기술자 협회(institute of electrical and electronics engineers: IEEE, 이하 ‘IEEE’ 라 칭하기로 한다) 802.11ac 통신 시스템과, IEEE 802.16 통신 시스템과, 디지털 멀티미디어 방송(digital multimedia broadcasting: DMB, 이하 ‘DMB’ 라 칭하기로 한다) 서비스와, 휴대용 디지털 비디오 방송(digital video broadcasting-handheld: DVB-H, 이하 ‘DVB-H’ 라 칭하기로 한다), 및 모바일/휴대용 진화된 텔레비전 시스템 협회(advanced television systems committee-mobile/handheld: ATSC-M/H, 이하 ‘ATSC-M/H’ 라 칭하기로 한다) 서비스 등과 같은 모바일 방송 서비스와, 인터넷 프로토콜 텔레비전(internet protocol television: IPTV, 이하 ‘IPTV’ 라 칭하기로 한다) 서비스와 같은 디지털 비디오 방송 시스템과, 엠펙 미디어 트랜스포트(MPEG(moving picture experts group) media transport: MMT, 이하 ‘MMT’ 라 칭하기로 한다) 시스템과, 진화된 패킷 시스템(evolved packet system: EPS, 이하 ‘EPS’ 라 칭하기로 한다)과, 롱-텀 에볼루션(long-term evolution: LTE, 이하 ‘LTE’ 라 칭하기로 한다) 이동 통신 시스템과, 롱-텀 에볼루션-어드밴스드(long-term evolution-advanced: LTE-A, 이하 ‘LTE-A’ 라 칭하기로 한다) 이동 통신 시스템과, 고속 하향 링크 패킷 접속(high speed downlink packet access: HSDPA, 이하 ‘HSDPA’ 라 칭하기로 한다) 이동 통신 시스템과, 고속 상향 링크 패킷 접속(high speed uplink packet access: HSUPA, 이하 ‘HSUPA’ 라 칭하기로 한다) 이동 통신 시스템과, 3세대 프로젝트 파트너십 2(3rd generation project partnership 2: 3GPP2, 이하 ‘3GPP2’ 라 칭하기로 한다)의 고속 레이트 패킷 데이터(high rate packet data: HRPD, 이하 ‘HRPD’ 라 칭하기로 한다) 이동 통신 시스템과, 3GPP2의 광대역 부호 분할 다중 접속(wideband code division multiple access: WCDMA, 이하 ‘WCDMA’ 라 칭하기로 한다) 이동 통신 시스템과, 3GPP2의 부호 분할 다중 접속(code division multiple access: CDMA, 이하 ‘CDMA’ 라 칭하기로 한다) 이동 통신 시스템과, 모바일 인터넷 프로토콜(mobile internet protocol: Mobile IP, 이하 ‘Mobile IP’ 라 칭하기로 한다) 시스템 등과 같은 다양한 통신 시스템들에 적용 가능함은 물론이다.
- [0051] 먼저, 도 1을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템의 구조에 대해서 설명하기로 한다.
- [0052] 이하, 설명의 편의상 다중 사용자 MIMO 방식을 지원하는 통신 시스템을 ‘다중 사용자 MIMO 통신 시스템’이라 칭하기로 한다.
- [0053] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템의 내부 구조를 개략적으로 도시한 도면이다.
- [0054] 도 1을 참조하면, 상기 다중 사용자 MIMO 통신 시스템은 액세스 포인트(access point: AP, 이하 ‘AP’ 라 칭하기로 한다)(110)와, 다수 개, 일 예로 2개의 STA들, 즉 STA#1(120)과 STA#2(130)를 포함한다.
- [0055] 또한, 상기 AP(110)는 다수 개, 일 예로 4개의 안테나들, 즉 안테나#1(111-1)과, 안테나#2(111-2)와, 안테나#3(111-3)과, 안테나#4(111-4)를 포함한다.
- [0056] 또한, 상기 STA#1(120)과 STA#2(130) 각각은 다수 개, 일 예로 2개의 안테나들을 포함한다. 즉, 상기

STA#1(120)는 안테나#1(121-1)과 안테나#2(121-2)를 포함하고, 상기 STA#2(130)는 안테나#1(131-1)과 안테나#2(131-2)를 포함한다.

[0057] 또한, 도 1에 도시되어 있는 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서는 채널 상태 정보(channel state information: CSI, 이하 'CSI' 라 칭하기로 한다) 피드백(feedback) 에러로 인해 간섭 신호가 존재한다고 가정하기로 한다.

[0058] 먼저,  $N_{user}$  개의 STA들 중  $i$  번째 STA가 수신하는 수신 신호 벡터를  $\mathbf{Y}_i$ 라고 가정하고,  $i$  번째 STA에 대한 채널을  $\mathbf{H}_i$ 라고 가정하고 송신 심볼 벡터(vector)를  $\mathbf{X}$ 라고 가정하고, CSI 피드백 에러와 채널 추정 에러를 포함하는 프리코딩 행렬(pre-coding matrix)를  $\mathbf{V}$ 라고 가정하고,  $i$  번째 STA에 대한 가우시안 잡음(Gaussian noise)을  $\mathbf{N}_i$ 라고 가정하면, 상기 다중 사용자 MIMO 통신 시스템은 하기 수학식 1과 같이 모델링(modeling) 될 수 있다.

### 수학식 1

$$\mathbf{Y}_i = \mathbf{H}_i \hat{\mathbf{V}} \mathbf{X} + \mathbf{N}_i$$

[0059]

[0060] 상기 수학식 1에서,  $\hat{\mathbf{V}}$ 은 추정된 프리코딩 행렬을 나타낸다.

[0061] 또한, 상기 수학식 1에 나타낸 바와 같은 수신 신호 벡터  $\mathbf{Y}_i$ 는 요구 신호(desired signal) 성분과 간섭 신호(interference signal) 성분으로 구분될 수 있으며, 따라서 상기 수학식 1은 하기 수학식 2와 같이 요구 신호 성분과 간섭 신호 성분이 구분된 형태를 가지도록 표현될 수 있다.

### 수학식 2

$$\begin{aligned} \mathbf{Y}_i &= \underbrace{\mathbf{H}_i \hat{\mathbf{V}}_i \mathbf{X}_i}_{\text{Desired Signal}} + \underbrace{\sum_{j=1, j \neq i}^{N_{user}} \mathbf{H}_i \hat{\mathbf{V}}_j \mathbf{X}_j}_{\text{Interference Signal}} + \mathbf{N}_i \\ &= \underbrace{\tilde{\mathbf{H}}_i \mathbf{X}_i}_{\text{Desired Signal}} + \underbrace{\sum_{j=1, j \neq i}^{N_{user}} \tilde{\mathbf{H}}_j \mathbf{X}_j}_{\text{Interference Signal}} + \mathbf{N}_i \end{aligned}$$

[0062]

[0063] 상기 수학식 2에서  $\mathbf{X}_i$ 는  $i$  번째 STA에 대한 송신 심볼 벡터를 나타내고,  $j$ 는  $i$  번째 STA를 기준으로 상기  $i$  번째 STA에 대해 간섭 신호를 발생시키는 STA들의 개수, 즉  $N_{user}-1$ 를 나타낸다. 여기서,  $i$ 는  $i$  번째 심볼 벡터를 요구 신호로 하는 STA를 나타낸다. 상기  $i$  번째 STA를 기준으로 할 경우, 상기  $i$  번째 STA 자신에게 필요한  $i$  번째 요구 신호 성분을 제외한, 나머지 STA들을 위한 신호들은 모두 간섭 신호 성분이 된다.

[0064] 또한, 상기 수학식 2에서  $\mathbf{H}_i \hat{\mathbf{V}}_i \mathbf{X}_i$ 은 요구 신호 성분을 나타내고,  $\sum_{j=1, j \neq i}^{N_{user}} \mathbf{H}_i \hat{\mathbf{V}}_j \mathbf{X}_j$ 는 간섭 신호 성분을 나타

낸다. 또한, 상기 수학적 식 2에서  $\tilde{\mathbf{H}}_i$ 는  $\mathbf{H}_i \hat{\mathbf{V}}_i$ 를 나타내며, 따라서 상기 요구 신호 성분  $\mathbf{H}_i \hat{\mathbf{V}}_i \mathbf{X}_i$ 는  $\tilde{\mathbf{H}}_i \mathbf{X}_i$ 와 같이 나타낼 수 있고, 상기 간섭 신호 성분  $\sum_{j=1, j \neq i}^{N_{user}} \mathbf{H}_i \hat{\mathbf{V}}_j \mathbf{X}_j$ 는  $\sum_{j=1, j \neq i}^{N_{user}} \tilde{\mathbf{H}}_j \mathbf{X}_j$ 와 같이 나타낼 수 있다.

[0065] 한편, 상기 수학적 식 2에 나타낸 바와 같은 수신 신호 벡터  $\mathbf{Y}_i$ 에 요구 신호만을 고려하는 최대 우도(maximum likelihood: ML, 이하 'ML'이라 하기로 한다) 검출 방식이 적용될 경우  $i$ 번째 STA에 대한 요구 신호, 즉 송신 심볼 벡터  $\mathbf{X}_{i, ML}$ 는 하기 수학적 식 3과 같이 나타낼 수 있다.

### 수학적 식 3

$$\mathbf{X}_{i, ML} = \arg \min_{\mathbf{X}_i \in |\Omega|^{N_{RX, i}}} \left\| \mathbf{Y}_i - \tilde{\mathbf{H}}_i \mathbf{X}_i \right\|^2$$

[0066] 상기 수학적 식 3에서  $N_{RX, i}$ 는  $i$ 번째 STA가 포함하는 안테나들의 개수를 나타내고,  $|\Omega|^{N_{RX}}$ 은  $N_{RX}$ 개의 수신

안테나들을 통해 수신 가능한 심볼 후보 벡터들, 즉 가능한 모든  $\Omega^{N_{RX}}$ 개의 심볼 조합들을 나타낸다. 일 예로, STA가 16QAM 방식을 사용하고, 상기 STA가 사용하고 있는 수신 안테나들의 개수가 4개일 경우,

$|\Omega|^{N_{RX}}$ 는  $16^4$  (= 65536)개의 심볼 조합들을 나타낸다. 또한,  $\Omega$ 는 현재 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 사용하는 심볼 성상도(constellation)를 나타낸다. 일 예로, STA가 16QAM 방식을 사용할 경우  $\Omega \in \{-3-3i, -3-i, -3+i, \dots, 3+i, 3+3i\}$ 와 같이 나타낼 수 있다.

[0067] 상기 수학적 식 3에 나타낸 바와 같이 요구 신호만을 고려하는 ML 검출 방식의 경우, 신호 수신 장치, 즉  $i$ 번째 STA는 상기 요구 신호만을 고려하여 신호 검출 동작을 수행하므로 간섭 신호로 인한 성능 열화가 발생할 수 있다.

[0068] 그러므로, 상기 간섭 신호로 인한 성능 열화를 해결하기 위하여 요구 신호와 간섭 신호가 모두 고려되는 조인트 최대 우도(joint maximum likelihood: JML, 이하 'JML'이라 칭하기로 한다) 검출 방식이 제안된 바 있으며, 상기 JML 검출 방식은 하기 수학적 식 4와 같이 나타낼 수 있다.

### 수학적 식 4

$$\mathbf{X}_{i, JML} = \arg \min_{\mathbf{X}_i} \left[ \min_{\substack{\mathbf{X}_1, \dots, \mathbf{X}_{i-1}, \\ \mathbf{X}_{i+1}, \dots, \mathbf{X}_{N_{user}}} \left\| \mathbf{Y}_i - \tilde{\mathbf{H}}_i \mathbf{X}_i - \sum_{j=1, j \neq i}^{N_{user}} \tilde{\mathbf{H}}_j \mathbf{X}_j \right\|^2 \right]$$



- [0071] 상기 수학식 4에서,  $\mathbf{X}_{i, \text{JML}}$ 은 수신 신호 벡터  $\mathbf{Y}_i$ 에 요구 신호와 간섭 신호가 함께 고려되는 JML 검출 방식이 적용될 경우  $i$ 번째 STA에 대한 요구 신호, 즉 송신 심볼 벡터를 나타낸다.
- [0072] 상기 수학식 4에 나타난 바와 같이 상기 JML 검출 방식이 사용될 경우, 상기  $i$ 번째 STA는 요구 신호와 간섭 신호를 모두 고려하여 상기 요구 신호를 검출한다. 따라서, 상기 JML 검출 방식이 사용될 경우 상기 ML 검출 방식이 사용될 경우에 비해 신호 검출 성능이 향상될 수 있다.
- [0073] 하지만, 상기 JML 검출 방식이 사용될 경우 신호 수신 장치는 요구 신호와 간섭 신호 모두를 고려하여 신호를 검출하므로 요구 신호만이 고려되는 ML 검출 방식이 사용될 경우에 비해 상대적으로 높은 프로세싱 복잡도 및 프로세싱 연산량을 가지게 된다. 또한, 이런 상대적으로 높은 프로세싱 연산량은 신호 수신 장치의 전력 소비량 역시 증가시키게 된다.
- [0074] 따라서, 본 발명의 일 실시예에서는 간섭 신호가 송신 신호의 검출에 영향을 미치는 경우에만 간섭 제거 동작이 수행되는 적응적 간섭 제거(adaptive interference cancellation: AIC, 이하 'AIC'라 칭하기로 한다) 방식을 제안하며, 이에 대해서 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0075] 상기 AIC 방식은 제1 에러 예측 방식을 기반으로 간섭 제거 방식, 일 예로 JML 검출 방식을 사용할지 여부를 결정하는 과정을 포함하며, 상기 제1 에러 예측 방식은 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 상기 제1 에러 예측 방식에 대해서는 하기에서 설명할 것이므로, 여기서는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다.
- [0076] 그러면 여기서 도 2를 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 AIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작을 수행하는 과정에 대해서 설명하기로 한다.
- [0077] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 AIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작을 수행하는 과정을 개략적으로 도시한 도면이다.
- [0078] 도 2를 참조하면, 먼저 211단계에서 상기 신호 수신 장치는 디폴트(default)로 설정되어 있는 간섭 제거 모드에서 신호 검출 동작을 수행한다. 여기서, 상기 디폴트로 설정되어 있는 간섭 제거 모드인 디폴트 간섭 제거 모드는 간섭 제거 방식, 일 예로 JML 검출 방식이 사용되지 않는 노말 모드(normal mode)와 JML 검출 방식이 사용되는 JML 검출 모드 중 어느 하나로 설정될 수 있으며, 상기 디폴트 간섭 제거 모드는 상기 다중 사용자 MIMO 통신 시스템의 필요에 따라 설정될 수 있다.
- [0079] 이렇게, 상기 신호 수신 장치는 상기 디폴트 간섭 제거 모드에서 신호 검출 동작을 수행하다가 213단계에서 상기 간섭 제거 방식, 즉 상기 JML 검출 방식이 사용될 필요가 있는지 검사한다. 여기서, 상기 신호 수신 장치는 제1 에러 예측 방식을 기반으로 상기 JML 검출 방식이 사용될 필요가 있는지 결정할 수 있으며, 이에 대해서 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0080] 먼저, 상기 제1 에러 예측 방식은 하기 수학식 5와 같이 송신 신호에 대한 채널 행렬과, 간섭 신호에 대한 채널 행렬과 잡음의 분산을 기반으로 하는 에러 예측 방식 조건을 기반으로 수행될 수 있다.

## 수학식 5

$$\left\| \mathbf{Y}_i - \tilde{\mathbf{H}}_i \mathbf{X}_i \right\|^2 < \left\| \mathbf{Y}_i - \tilde{\mathbf{H}}_i \hat{\mathbf{X}}_i \right\|^2$$

[0081]

$$\mathbf{X}_i \neq \hat{\mathbf{X}}_i$$

[0082]

상기 수학식 5에서,  $\hat{\mathbf{X}}_i$ 이다. 상기 수학식 5는 간섭 신호를 고려하지 않고 검출된 송신 심볼 벡터  $\mathbf{X}_i$ 의 에러가 간섭 신호를 고려하여 검출된 송신 심볼 벡터  $\hat{\mathbf{X}}_i$ 의 에러 보다 작을 경우를 나타낸다. 즉, 상기 수학식 5에 나타난 바와 같은 에러 예측 방식 조건은 상기 에러 예측 방식 조건이 만족될 경우 간섭 신호를 고려하지 않고 검출되는 송신 심볼 벡터  $\mathbf{X}_i$ 가 간섭 신호를 고려하여 검출되는 송신 심볼 벡터  $\hat{\mathbf{X}}_i$  보다 정확하다는

것을 나타낸다.

[0083] 따라서, 상기 제1 에러 예측 방식이 사용될 경우 상기 수학식 5에 나타난 바와 같은 에러 예측 조건이 만족되면, 상기 신호 수신 장치는 상기 JML 검출 방식이 사용될 필요가 없다고 결정하며, 따라서 상기 신호 수신 장치는 프로세싱 복잡도 및 프로세싱 연산량을 감소시키는 것이 가능하도록 송신 신호를 검출할 수 있다. 즉, 상기 신호 수신 장치는 간섭 신호를 고려하지 않고 신호 검출 동작을 수행할지라도 간섭 신호를 고려하여 신호 검출 동작을 수행할 경우에 비해 정확하게 신호를 검출할 수 있으므로, 상기 JML 검출 방식을 사용하지 않기로 결정하는 것이다.

[0084] 물론, 이와는 달리, 상기 수학식 5에 나타난 바와 같은 에러 예측 방식 조건이 만족되지 않을 경우, 즉 상기 간섭 신호를 고려하지 않고 검출된 송신 심볼 벡터  $\mathbf{X}_i$ 의 에러가 간섭 신호를 고려하여 검출된 송신 심볼 벡터  $\mathbf{X}_i$ 의 에러 보다 크거나 같을 경우, 간섭 신호를 고려하지 않고 검출되는 송신 심볼 벡터  $\mathbf{X}_i$ 가 간섭 신호를 고려하여 검출되는 송신 심볼 벡터  $\mathbf{X}_i$  보다 정확하지 않다는 것을 나타내므로, 상기 제1 에러 예측 방식을 기반으로 상기 신호 수신 장치는 상기 JML 검출 방식이 사용될 필요가 있다고 결정한다.

[0085] 즉, 상기 수학식 5에 나타난 바와 같은 에러 예측 방식 조건이 만족되지 않을 경우에는 간섭을 제거하지 않고 송신 신호를 검출할 경우 검출한 송신 신호에 에러가 발생될 확률이 높고, 따라서 상기 신호 수신 장치는 상기 JML 검출 방식을 사용하여 간섭 제거 동작을 수행함으로써 송신 신호를 검출하게 되고, 따라서 상기 송신 신호의 신뢰성을 증가시킬 수 있다.

[0086] 결국, 상기 수학식 5는 상기에서 설명한 바와 같이 수신 신호 장치가 다중 사용자의 간섭 신호가 존재하는 상황에서 송신 신호를 정확하게 검출하기 위한 에러 예측 방식 조건을 의미한다. 즉, 상기 수학식 5에서 간섭 신호의 크기가 송신 신호 검출에 영향을 미치지 않는 경우에만 신호 수신 장치가 에러 없이 송신 신호를 검출할 수 있다.

[0087] 한편, 상기 수학식 5는 다시 하기 수학식 6과 같이 나타낼 수 있다.

### 수학식 6

$$\min_{\substack{\hat{\mathbf{X}}_i \in \Omega^{N_{RX},i} \\ \hat{\mathbf{X}}_i \neq \mathbf{X}_i}} \frac{\left\| \tilde{\mathbf{H}}_i (\mathbf{X}_i - \hat{\mathbf{X}}_i) \right\|^2}{4} \leq \left\| \sum_{j=1, j \neq i}^{N_{user}} \tilde{\mathbf{H}}_j \mathbf{X}_j + \mathbf{N}_i \right\|$$

[0088]

[0089] 상기 수학식 6에 나타난 바와 같은 에러 예측 방식 조건이 만족될 경우 신호 수신 장치는 JML 검출 방식을 사용하여 송신 신호를 검출하며, 상기 수학식 6에 나타난 바와 같은 에러 예측 방식 조건이 만족되지 않을 경우 상기 신호 수신 장치는 JML 검출 방식을 사용하지 않고 송신 신호를 검출한다.

[0090] 상기 수학식 6은 간섭 신호를 고려하지 않고 송신 신호를 항상 에러없이 검출할 수 없는 에러 예측 방식 조건을 나타낸다. 즉, 상기 수학식 6에 나타난 바와 같은 에러 예측 방식 조건이 만족되는 경우에는 간섭 신호가 송신 신호의 검출에 영향을 미치므로, 신호 수신 장치에서 검출되는 송신 신호에는 항상 에러가 포함된다.

[0091] 따라서, 상기 수학식 6에 나타난 바와 같은 에러 예측 방식 조건이 만족되는 경우에는, 신호 수신 장치는 JML 검출 방식을 사용하여 송신 신호를 검출하며, 따라서 간섭 신호의 영향없이 송신 신호를 정확하게 검출할 수 있다.

[0092] 한편, 상기 수학식 6에 나타난 바와 같은 에러 예측 방식 조건은 신호 수신 장치가 알 수 없는 잡음 성분과 신호 수신 장치에서 송신한 송신 심볼 정보를 포함하기 때문에, 실제 채널 환경에서 상기 신호 수신 장치는 상기 수학식 6을 기반으로 하는 제1 에러 예측 방식을 사용하는 것이 어려울 수 있다.

[0093] 따라서, 상기 수학식 6의 양변에 상위 바운드(upper bound)와 하위 바운드(lower bound)를 각각 적용하면 상기

수학식 6은 하기 수학식 7과 같이 변환될 수 있다.

### 수학식 7

$$\frac{\lambda_{\min} d_{\min}}{2} < C \sum_{j=1, j \neq i}^{N_{\text{user}}} \sum_l^{N_{RX,j}} \|\mathbf{h}_{j,l}\| + \sigma \sqrt{N_{RX,i}}$$

[0094]

[0095]

상기 수학식 7에서,  $\lambda_{\min}$ 은  $\tilde{\mathbf{H}}_i$ 에 대해서 특이값 분해(singular value decomposition: SVD, 이하 ‘SVD’라 칭하기로 한다) 연산이 적용될 경우, 대각 행렬 엘리먼트(element)의 최소값을 나타낸다. 상기 수학식 7에서  $\tilde{\mathbf{H}}_i$ 에 대해서 상기 SVD 연산을 적용하는 이유는 상기 수학식 6의 좌변에서 하위 바운드를 검출하기 위해서이다. 또한, 상기 수학식 7에서,  $d_{\min}$ 은 송신 심볼의 constellation 상에서 두 포인트들간의 최소 거리를 나타내고, C는 간섭 제거 기준의 범위를 조절하기 위한 변수를 나타낸다. 여기서, 상기 C의 값은 필요에 따라 변경될 수 있음은 물론이다. 또한, 상기 수학식 7에서  $\mathbf{h}_{j,l}$ 는  $\tilde{\mathbf{H}}_j$ 가 포함하는 1번째 열 벡터를 나타낸다. 여기서, 1은  $\tilde{\mathbf{H}}_j$ 가 포함하는 열 벡터들에 대한 인덱스를 나타낸다. 상기 수학식 7에 나타난 바와 같이 상기 수학식 6의 우변의 상위 바운드를 구하는 과정에서  $\tilde{\mathbf{H}}_j$  열 벡터의 놈(norm) 값들의 합을 계산한다.

[0096]

한편, 상기 수학식 7에 나타난 바와 같은 에러 예측 방식 조건은 신호 수신 장치에서 획득할 수 있는 채널 정보와 잡음의 분산을 포함한다. 따라서, 상기 신호 수신 장치는 실제 채널 환경에서도 상기 수학식 7을 사용하여 JML 검출 방식이 사용될지 여부를 결정할 수 있다.

[0097]

한편, 상기 수학식 7에 1보다 작은 변수 C를 적용하여 에러 예측 방식 조건의 범위를 좁힘으로써 프로세싱 복잡도 및 프로세싱 연산량을 감소시킬 수 있는데, 이를 설명하면 다음과 같다.

[0098]

먼저, 상기 수학식 7에 나타난 바와 같은 에러 예측 기준에서 좌변은 비교적 높은 복잡도를 가지는 SVD 연산을 필요로 한다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에서는 프로세싱 복잡도 및 프로세싱 연산량을 감소시키기 상기 수학식 7에 나타난 바와 같은 에러 예측 기준을 채널 놈 값을 기반으로 하기 수학식 8과 같이 변환할 수 있다.

### 수학식 8

$$\min_{m=1, \dots, N_{RX,i}} \left\| [\tilde{\mathbf{H}}_i]_m \right\| \frac{d_{\min}}{2} < \sum_{j=1, j \neq i}^{N_{\text{user}}} \sum_l^{N_{RX,j}} \|\mathbf{h}_{j,l}\| + \sigma \sqrt{N_{RX,i}}$$

[0099]

[0100]

상기 수학식 8에서,  $\sigma$ 는 잡음의 분산(noise variance)을 나타내며,  $\sigma$ 는 현재 채널 상황에 따라 결정되는 변수이다. 상기  $\sigma$ 는 신호 수신 장치에서 채널 상황을 기반으로 결정된다. 또한, 상기 m은  $\tilde{\mathbf{H}}_i$ 가 포함하는 열 벡터들에 대한 인덱스를 나타낸다. 상기 수학식 7에서 설명한 바와 같이 SVD 연산으로 인한 연산 복잡도를 감소



시키기 위해 좌변을 채널 높 값을 기반으로 변환하는 것이다.

- [0101] 한편, 상기 213단계에서 검사 결과 상기 JML 검출 방식이 사용될 필요가 있을 경우 상기 신호 수신 장치는 215 단계로 진행한다. 상기 215단계에서 상기 신호 수신 장치는 JML 검출 모드를 기반으로 하는 신호 검출 동작을 수행한다. 여기서 상기 신호 수신 장치는 디폴트 간섭 제거 모드를 기반으로 하는 신호 검출 동작 수행을 종료하고, 상기 JML 검출 모드를 기반으로 하는 신호 검출 동작을 수행한다. 즉, 상기 디폴트 간섭 제거 모드가 JML 검출 모드일 경우 상기 신호 수신 장치는 그대로 상기 JML 검출 모드를 기반으로 하는 신호 검출 동작을 수행하면 되고, 이와는 달리 상기 디폴트 간섭 제거 모드가 노말 모드일 경우 상기 신호 수신 장치는 상기 노말 모드를 기반으로 하는 신호 검출 동작을 종료하고, 상기 JML 검출 모드를 기반으로 하는 신호 검출 동작을 수행하면 된다.
- [0102] 한편, 상기 213단계에서 검사 결과 간섭 제거 방식이 사용될 필요가 없을 경우, 상기 신호 수신 장치는 217단계로 진행한다. 상기 217단계에서 상기 신호 수신 장치는 간섭 제거 방식을 사용하지 않고, 즉 JML 검출 방식을 사용하지 않고 송신 신호 검출 동작을 수행한다. 여기서 상기 신호 수신 장치는 상기 디폴트 간섭 제거 모드를 기반으로 하는 신호 검출 동작 수행을 종료하고, 상기 노말 모드를 기반으로 하는 신호 검출 동작을 수행한다. 즉, 상기 디폴트 간섭 제거 모드가 노말 모드일 경우 상기 신호 수신 장치는 그대로 상기 노말 모드를 기반으로 하는 신호 검출 동작을 수행하면 되고, 이와는 달리 상기 디폴트 간섭 제거 모드가 JML 검출 모드일 경우 상기 신호 수신 장치는 상기 JML 검출 모드를 기반으로 하는 신호 검출 동작을 종료하고, 상기 노말 모드를 기반으로 하는 신호 검출 동작을 수행하면 된다.
- [0103] 한편, 도 2에서는 디폴트 간섭 제거 모드를 기반으로 신호 검출 동작을 수행하는 중에 제1 에러 예측 방식을 기반으로 간섭 제거 방식이 수행될 필요가 있는지 여부를 결정하는 경우를 설명하였다. 하지만, 상기 디폴트 간섭 제거 모드를 기반으로 신호 검출 동작을 수행하는 중에 필요에 따라 언제라도 제1 에러 예측 방식을 기반으로 간섭 제거 방식이 수행될 필요가 있는지 여부를 결정할 수 있음은 물론이다.
- [0104] 일 예로, 신호 수신 장치는 미리 설정되어 있는 주기로 상기 제1 에러 예측 방식을 기반으로 간섭 제거 방식이 수행될 필요가 있는지 여부를 결정할 수도 있고, 미리 설정되어 있는 조건이 만족되면 상기 제1 에러 예측 방식을 기반으로 간섭 제거 방식이 수행될 필요가 있는지 여부를 결정할 수도 있고, 이뿐만 아니라 다른 다양한 파라미터들을 고려하여 상기 제1 에러 예측 방식을 기반으로 간섭 제거 방식이 수행될 필요가 있는지 여부를 결정할 수도 있다.
- [0105] 상기 신호 수신 장치가 상기 제1 에러 예측 방식을 기반으로 간섭 제거 방식이 수행될 필요가 있는지 여부를 결정하는 것을 트리거(trigger)하는 주기 혹은 조건 혹은 다양한 파라미터들은 신호 송신 장치가 상기 신호 수신 장치로 알려줄 수도 있고, 상기 신호 수신 장치가 자체적으로 설정할 수도 있음은 물론이며, 본 발명에서는 이에 대한 구체적인 설명을 생략하기로 한다.
- [0106] 한편, 도 2가 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 AIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작을 수행하는 과정을 도시하고 있더라도, 다양한 변형들이 도 2에 대해 이루어질 수 있음은 물론이다. 일 예로, 도 2에는 연속적인 단계들이 도시되어 있지만, 도 2에서 설명한 단계들은 오버랩될 수 있고, 병렬로 발생할 수 있고, 다른 순서로 발생할 수 있거나, 혹은 다수 번 발생할 수 있음은 물론이다.
- [0107] 도 2에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 AIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작을 수행하는 과정에 대해서 설명하였으며, 다음으로 도 3을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 선택적 간섭 제거(selective interference cancellation: SIC, 이하 ‘SIC’ 라 칭하기로 한다) 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작을 수행하는 과정에 대해서 설명하기로 한다.
- [0108] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 SIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작을 수행하는 과정을 개략적으로 도시한 도면이다.
- [0109] 도 3을 참조하면, 먼저 311단계에서 상기 신호 수신 장치는 디폴트로 설정되어 있는 간섭 제거 모드인 디폴트 간섭 제거 모드를 기반으로 신호 검출 동작을 수행한다. 여기서, 상기 디폴트 간섭 제거 모드는 디폴트 간섭 제거 개수가 설정되어 있는 선택적 JML(selective JML: s-JML, 이하 ‘s-JML’ 이라 칭하기로 한다) 검출 모드인 디폴트 s-JML 검출 모드라고 가정하기로 한다. 여기서, 상기 간섭 제거 개수라 함은 상기 신호 수신 장치가 JML 검출 방식을 기반으로 신호 검출 동작을 수행할 경우 해당 시점에서 제거할 간섭 신호들의 개수를 나타내며, 상기 디폴트 간섭 제거 개수는 디폴트로 설정되어 있는, 상기 해당 시점에서 상기 신호 수신 장치가 제거할 간섭

신호들의 개수를 나타낸다. 여기서, 상기 디폴트 간섭 제거 개수는 상황에 따라 다양한 값들로 변경될 수 있음은 물론이다.

[0110] 이렇게, 상기 신호 수신 장치는 디폴트 간섭 제거 모드 즉 디폴트 s-JML 검출 모드를 기반으로 신호 검출 동작을 수행하다가 313단계에서 상기 간섭 제거 방식, 즉 상기 s-JML 검출 방식에서 사용되는 간섭 제거 개수가 변경될 필요가 있는지 검사한다. 여기서, 상기 신호 수신 장치는 제2 에리 예측 방식을 기반으로 상기 s-JML 검출 방식에서 사용되는 간섭 제거 개수가 변경될 필요가 있는지 결정할 수 있으며, 이에 대해서 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

[0111] 먼저, 상기 AIC 방식에서 설명된 제1 에리 예측 방식의 경우 간섭 제거 방식을 사용할지 여부, 즉 JML 검출 방식을 사용할지 여부를 결정하며, 일 예로 수학적 식 8을 기반으로 상기 JML 검출 방식을 사용할지 여부를 결정한다.

[0112] 따라서, 상기 수학적 식 8이 사용될 경우 상기 신호 수신 장치는 상기 JML 검출 방식을 사용할 지 여부만을 결정할 수 있고, 상기 신호 수신 장치가 상기 JML 검출 방식을 사용하기로 결정할 경우 해당 시점에서 몇 개의 간섭 신호들을 제거할지에 대해서는 결정하는 것이 어려울 수 있다.

[0113] 따라서, 본 발명의 일 실시예에서는 간섭 제거 방식이 사용될 경우 몇 개의 간섭 신호들을 제거할지를 결정하는데 사용되는 새로운 기준, 즉 제2 에리 예측 방식을 제안하며, 이에 대해서 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

[0114] 먼저, 상기 s-JML 검출 방식에서 사용되는 간섭 제거 개수를 결정하기 위한 제2 에리 예측 방식은 하기 수학적 식 9에 나타낸 바와 같은 에리 예측 방식 조건을 기반으로 수행될 수 있다.

### 수학적 식 9

$$\left\| \mathbf{Y}_i - \tilde{\mathbf{H}}_i \mathbf{X}_i - \tilde{\mathbf{H}}_{IC} \mathbf{X}_{IC, \min} \right\|^2 < \left\| \mathbf{Y}_i - \tilde{\mathbf{H}}_i \hat{\mathbf{X}}_i - \tilde{\mathbf{H}}_{IC} \hat{\mathbf{X}}_{IC} \right\|^2$$

[0115]

[0116] 상기 수학적 식 9에서,  $\mathbf{X}_i \neq \hat{\mathbf{X}}_i$  이다. 또한, 상기 수학적 식 9에서,  $\mathbf{X}_{IC}$  는 간섭 신호 중 상기 신호 수신 장치가 검출을 진행하는 성분을 나타내고,  $\mathbf{X}_{NIC}$  는 상기 간섭 신호 중 상기 신호 수신 장치가 검출을 진행하지 않는 성분을 나타낸다. 또한, 상기 수학적 식 9에서,  $\tilde{\mathbf{H}}_{IC}$  는 간섭 채널 중 상기 신호 수신 장치가 검출을 진행하는 성분을 나타내고,  $\tilde{\mathbf{H}}_{NIC}$  는 간섭 채널 중 상기 신호 수신 장치가 검출을 진행하지 않는 성분을 나타낸다. 또한, 상기 수학적 식 9에서  $\mathbf{X}_{IC, \min}$  는 상기 수학적 식 9의 좌변의 값이 최소가 되도록 할 수 있는  $\mathbf{X}$  벡터를 나타낸다. 즉, 상기 수학적 식 9의 좌변에 있는  $\mathbf{H}_i \mathbf{X}_i$  에 따라  $\mathbf{X}_{IC, \min}$  는 가변적이며, 상기 수학적 식 9의 좌변의 값을 최소가 되도록 결정된다.

[0117] 즉, 상기 수학적 식 9는 상기 신호 수신 장치가 s-JML 검출 방식을 사용할 경우 다수의 간섭 신호들 중 제거할 간섭 신호들의 개수, 즉 간섭 제거 개수를 선택할 때 송신 신호를 정확하게 검출하기 위한 조건을 나타낸다. 즉, 상기 수학적 식 9에서 상기 신호 수신 장치가 검출 불가능한 간섭 신호의 크기가 송신 신호의 검출에 영향을 미치지 않는 경우에만 상기 신호 수신 장치가 에리 없이 송신 신호를 검출할 수 있다. 여기서, 상기 간섭 제거 개수는 L이다. 또한, 상기 간섭 제거 개수 L이 0일 경우 상기 수학적 식 9는 상기 수학적 식 7과 동일하게 된다.

[0118] 한편, 상기 수학적 식 9는 다시 하기 수학적 식 10과 같이 나타낼 수 있다.

### 수학식 10

$$\min_{\substack{\hat{\mathbf{X}}_i \in \Omega^{N_{RX,i}}, \hat{\mathbf{X}}_i \neq \mathbf{X}_i, \\ \hat{\mathbf{X}}_{IC} \in \Omega^L}} \left[ \frac{\left\| \tilde{\mathbf{H}}_i(\mathbf{X}_i - \hat{\mathbf{X}}_i) + \tilde{\mathbf{H}}_{IC}(\mathbf{X}_{IC,\min} - \hat{\mathbf{X}}_{IC}) \right\|^2}{4} \right] \leq \left\| \tilde{\mathbf{H}}_{NIC} \mathbf{X}_{NIC} + \mathbf{N}_i \right\|^2$$

[0119]

[0120] 상기 수학식 10에서,  $\Omega^L$  는 L개의 간섭 신호들에 대한 심볼 후보 벡터들을 나타낸다.

[0121] 상기 수학식 10은 L개의 간섭 신호들을 기반으로 s-JML 검출 방식에 따른 신호 검출 동작이 수행될 경우, 신호 수신 장치가 송신 신호를 항상 에러없이 검출할 수 있는 조건을 나타낸다. 즉, 상기 수학식 10에서 L이 0인 경우(L=0), 상기 수학식 10은 상기 수학식 6에 나타난 바와 동일한 조건을 나타낸다. 또한, 상기 간섭 제거 개수 L이 0일 경우 상기 수학식 10은 상기 수학식 7과 동일하게 된다.

[0122] 상기 신호 수신 장치가 L개의 간섭 신호들을 검출하고, 에러가 발생할 경우 상기 수학식 10에 나타난 바와 같은 조건은 항상 성립하며, 따라서 상기 L개의 간섭 신호들 이외의 추가적인 간섭 신호들에 대한 검출 동작은 불필요하게 된다.

[0123] 한편, 상기 수학식 10에 나타난 바와 같은 에러 예측 방식 조건은 신호 수신 장치가 알 수 없는 잡음 성분과 신호 송신 장치에서 송신한 송신 심볼 정보를 포함하기 때문에, 실제 채널 환경에서 상기 신호 수신 장치는 상기 수학식 10을 기반으로 하는 제2 에러 예측 방식을 사용하는 것이 어려울 수 있다.

[0124] 따라서, 상기 수학식 10의 양변에 상위 바운드와 하위 바운드를 각각 적용하면 상기 수학식 10은 하기 수학식 11과 같이 변환될 수 있다.

### 수학식 11

$$\frac{\lambda_{\min} d_{\min}}{2} < \sum_{j=1}^{K-L} \left| \tilde{\mathbf{h}}_{j,NIC} \right| + \sigma \sqrt{N_{RX,i}}$$

[0125]

[0126] 상기 수학식 11에서, K는  $N_{user}$ 개의 STA들이 송신한 송신 스트림들의 총 개수를 나타낸다. 일 예로, 4개의 STA들이 각각 2개의 송신 스트림들과, 2개의 송신 스트림들과, 2개의 송신 스트림들과, 3개의 송신 스트림들을 송신할 경우, K는 9가 된다. 또한, 상기 수학식 11에서 K-L은 총 송신 스트림들 중 간섭 검출이 진행되지 않는 송신 스트림들의 개수, 즉  $X_{NIC}$ 의 크기를 나타낸다.

[0127] 한편, 상기 수학식 11에 나타난 바와 같은 에러 예측 방식 조건은 신호 수신 장치에서 획득할 수 있는 채널 정보와 잡음의 분산을 포함한다. 따라서, 상기 신호 수신 장치는 실제 채널 환경에서도 상기 수학식 11을 사용하여 s-JML 검출 방식에서 사용되는 간섭 제거 개수를 결정할 수 있다.

[0128] 한편, 상기 수학식 11에 1보다 작은 변수 C를 적용하여 에러 예측 방식 조건의 범위를 좁힘으로써 프로세싱 복잡도 및 프로세싱 연산량을 감소시킬 수 있는데, 이를 설명하면 다음과 같다.

[0129] 먼저, 상기 수학식 11에 나타난 바와 같은 에러 예측 기준에서 좌변은 비교적 높은 복잡도를 가지는 SVD 연산을

필요로 한다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에서는 프로세싱 복잡도 및 프로세싱 연산량을 감소시키기 상기 수학식 11에 나타난 바와 같은 에러 예측 기준을 채널 노이즈 값을 기반으로 하기 수학식 12와 같이 변환할 수 있다.

### 수학식 12

$$\min_{m=1,\dots,N_{RX,i}} \left\| \left[ \tilde{\mathbf{H}}_i \right]_m \right\| \frac{d_{\min}}{2} < \sum_{j=1}^{K-L} \left\| \tilde{\mathbf{h}}_{j,NIC} \right\| + \sigma \sqrt{N_{RX,i}}$$

[0130]

[0131] 한편, 상기 313단계에서 검사 결과 상기 s-JML 검출 방식에서 사용되는 간섭 제거 개수가 변경될 필요가 있을 경우 상기 신호 수신 장치는 315단계로 진행한다. 상기 315단계에서 상기 신호 수신 장치는 s-JML 검출 방식에서 사용되는 간섭 제거 개수를 변경하고, 변경된 간섭 제거 개수를 사용하는 s-JML 검출 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작을 수행한다.

[0132] 한편, 상기 313단계에서 검사 결과 s-JML 검출 방식에서 사용되는 간섭 제거 개수가 변경될 필요가 없을 경우, 상기 신호 수신 장치는 317단계로 진행한다. 상기 317단계에서 상기 신호 수신 장치는 s-JML 검출 방식에서 사용되는 간섭 제거 개수를 변경하지 않고, 현재 설정되어 있는 간섭 제거 개수를 사용하는 s-JML 검출 방식을 기반으로 하는 송신 신호 검출 동작을 수행한다.

[0133] 한편, 도 3에서는 디폴트로 설정되어 있는 간섭 제거 개수를 사용하는 s-JML 검출 방식을 기반으로 신호 검출 동작을 수행하는 중에 제2 에러 예측 방식을 기반으로 상기 s-JML 검출 방식에서 사용되는 간섭 제거 개수를 변경할 필요가 있는지 여부를 결정하는 경우를 설명하였다. 하지만, 상기 디폴트로 설정되어 있는 간섭 제거 개수를 사용하는 s-JML 검출 방식을 기반으로 신호 검출 동작을 수행하는 중에 아니라 필요에 따라 언제든지 제2 에러 예측 방식을 기반으로 상기 s-JML 검출 방식에서 사용되는 간섭 제거 개수를 변경할 필요가 있는지 여부를 결정할 수 있음은 물론이다.

[0134] 일 예로, 신호 수신 장치는 미리 설정되어 있는 주기로 상기 제2 에러 예측 방식을 기반으로 상기 s-JML 검출 방식에서 사용되는 간섭 제거 개수를 변경할 필요가 있는지 여부를 결정할 수도 있고, 미리 설정되어 있는 조건이 만족되면 상기 제2 에러 예측 방식을 기반으로 상기 s-JML 검출 방식에서 사용되는 간섭 제거 개수를 변경할 필요가 있는지 여부를 결정할 수도 있고, 이뿐만 아니라 다른 다양한 파라미터들을 고려하여 상기 제2 에러 예측 방식을 기반으로 상기 s-JML 검출 방식에서 사용되는 간섭 제거 개수를 변경할 필요가 있는지 여부를 결정할 수도 있다.

[0135] 상기 신호 수신 장치가 상기 제2 에러 예측 방식을 기반으로 상기 s-JML 검출 방식에서 사용되는 간섭 제거 개수를 변경할 필요가 있는지 여부를 결정하는 것을 트리거하는 주기 혹은 조건 혹은 다양한 파라미터들은 신호 송신 장치가 상기 신호 수신 장치로 알려줄 수도 있고, 상기 신호 수신 장치가 자체적으로 설정할 수도 있음은 물론이며, 본 발명에서는 이에 대한 구체적인 설명을 생략하기로 한다.

[0136] 한편, 도 3이 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 SIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작을 수행하는 과정을 도시하고 있더라도, 다양한 변형들이 도 3에 대해 이루어질 수 있음은 물론이다. 일 예로, 도 3에는 연속적인 단계들이 도시되어 있지만, 도 3에서 설명한 단계들은 오버랩될 수 있고, 병렬로 발생할 수 있고, 다른 순서로 발생할 수 있거나, 혹은 다수 번 발생할 수 있음은 물론이다.

[0137] 도 3에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 SIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작을 수행하는 과정에 대해서 설명하였으며, 다음으로 도 4를 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 간섭 제거 개수를 결정하는 과정에 대해서 설명하기로 한다.

[0138] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 간섭 제거 개수를 결정하는 과정을 개략적으로 도시한 도면이다.

[0139] 도 4를 참조하면, 먼저 411단계에서 상기 신호 수신 장치는 간섭 제거 개수 L이 0일 경우(L = 0) 제2 에러 예측

방식에서 사용되는 조건, 즉 제2에러 예측 방식 조건이 만족되는지 검사한다. 여기서, 상기 제2에러 예측 방식 조건은 수학적 식 11에 나타낸 바와 같은 조건 혹은 수학적 식 12에 나타낸 바와 같은 조건이 될 수 있다.

[0140] 상기 411단계에서 검사 결과 상기 간섭 제거 개수  $L$ 이 0일 경우 상기 제2에러 예측 방식 조건이 만족되지 않으면 상기 신호 수신 장치는 413단계로 진행한다. 상기 413단계에서 상기 신호 수신 장치는 상기 간섭 제거 개수  $L$ 을 0으로 설정한다( $L=0$ ).

[0141] 한편, 상기 411단계에서 검사 결과 상기 간섭 제거 개수  $L$ 이 0일 경우 상기 제2에러 예측 방식 조건이 만족되면 상기 신호 수신 장치는 415단계로 진행한다. 상기 415단계에서 상기 신호 수신 장치는 상기 간섭 제거 개수  $L$ 이 1일 경우( $L = 1$ ) 상기 제2에러 예측 방식 조건이 만족되는지 검사한다.

[0142] 상기 검사 결과 상기 간섭 제거 개수  $L$ 이 1일 경우 상기 제2에러 예측 방식 조건이 만족되지 않으면 상기 신호 수신 장치는 417단계로 진행한다. 상기 417단계에서 상기 신호 수신 장치는 상기 간섭 제거 개수  $L$ 을 1로 설정한다( $L=1$ ).

[0143] 이와 같은 방식으로, 419단계에서 상기 신호 수신 장치는 상기 간섭 제거 개수  $L$ 이

$$\sum_{i=1}^{N_{user}} (N_{RX,i}) - N_{RX,i} - 1 \quad L = \sum_{i=1}^{N_{user}} (N_{RX,i}) - N_{RX,i} - 1$$

일 경우 ( ) 상기 제2에러 예측 방식

$$\sum_{i=1}^{N_{user}} (N_{RX,i})$$

조건이 만족되는지 검사한다. 여기서, 는  $K$ 와 동일하다.

$$\sum_{i=1}^{N_{user}} (N_{RX,i}) - N_{RX,i} - 1$$

[0144] 상기 검사 결과 상기 간섭 제거 개수  $L$ 이 일 경우 상기 제2에러 예측 방식 조건이 만족되지 않으면 상기 신호 수신 장치는 421단계로 진행한다. 상기 421단계에서 상기 신호 수신 장치는

$$\sum_{i=1}^{N_{user}} (N_{RX,i}) - N_{RX,i} - 1$$

상기 간섭 제거 개수  $L$ 을 로 설정한다.

$$L = \sum_{i=1}^{N_{user}} (N_{RX,i}) - N_{RX,i} - 1$$

( ) .

$$\sum_{i=1}^{N_{user}} (N_{RX,i}) - N_{RX,i} - 1$$

[0145] 한편, 상기 419단계에서 검사 결과 간섭 제거 개수  $L$ 이 일 경우 상기 제2에러 예측 방식 조건이 만족되면 상기 신호 수신 장치는 423단계로 진행한다. 상기 423단계에서 상기 신호 수신 장치



는 상기 간섭 제거 개수 L을 
$$\sum_{i=1}^{N_{user}} (N_{RX,i}) - N_{RX,i}$$
로 설정한다

( 
$$L = \sum_{i=1}^{N_{user}} (N_{RX,i}) - N_{RX,i}$$
 ) .

- [0146] 한편, 도 4가 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 간섭 제거 개수를 결정하는 과정을 도시하고 있더라도, 다양한 변형들이 도 4에 대해 이루어질 수 있음은 물론이다. 일 예로, 도 4에는 연속적인 단계들이 도시되어 있지만, 도 4에서 설명한 단계들은 오버랩될 수 있고, 병렬로 발생할 수 있고, 다른 순서로 발생할 수 있거나, 혹은 다수 번 발생할 수 있음은 물론이다.
- [0147] 도 4에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 간섭 제거 개수를 결정하는 과정에 대해서 설명하였으며, 다음으로 도 5를 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 AIC 방식을 사용할 경우의 비트 에러 레이트(bit error rate: BER, 이하 “BER” 이라 칭하기로 한다) 성능에 대해서 설명하기로 한다.
- [0148] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 AIC 방식을 사용할 경우의 BER 성능을 개략적으로 도시한 도면이다.
- [0149] 도 5를 참조하면, 도 5에 도시되어 있는 성능 그래프는 신호 수신 장치들의 개수가 2이고, 송신 안테나들의 개수가 4이고, 수신 안테나들의 개수가 2인 4 x [2,2] 다중 사용자 MIMO 시스템에서 변조 및 코딩 방식(modulation and coding scheme: MCS, 이하 ‘MCS’ 라 칭하기로 한다) 레벨이 MCS 7이고, 채널 추정 방식은 최소 제곱 추정(least square estimation) 방식이고, 피드백 양자화 비트(feedback quantization bit)의 개수는 5이고, 서브 캐리어 그룹 사이즈(subcarrier group size)  $N_g$ 는 2이고( $N_g = 2$ ), 패킷 사이즈(packet size)는 1024바이트이고, 반복 횟수(iteration number)는 1000이고, 채널 모델은 D일 경우의 성능 그래프이다. 일 예로, 상기 4 x [2,2] 다중 사용자 MIMO 시스템은 IEEE 802.11ac 통신 시스템이라고 가정하기로 하며, 상기 MCS 7은 64 직교 진폭 변조(quadrature amplitude modulation: QAM, 이하 ‘QAM’ 이라 칭하기로 한다) 방식과 4/5 코딩 레이트(coding rate)를 사용하는 MCS 레벨을 나타낸다. 또한, 상기 피드백 양자화 비트는 채널 스테이트 정보(channel state information: CSI, 이하 ‘CSI’ 라 칭하기로 한다) 피드백 비트를 나타내며, 상기 CSI 피드백 비트는 상기 IEEE 802.11ac 통신 시스템에 명시된 타입 3(type 3)라고 가정하기로 한다. 이렇게 타입 3인 CIS 피드백 비트를 사용할 경우 프리코딩의 에러를 생성할 수 있는 환경이 생성된다. 또한, 상기 채널 모델 D는 상기 IEEE 802.11ac 통신 시스템에 명시된 채널 모델이며, 상기 채널 모델 D에 대한 구체적인 설명은 생략하기로 한다.
- [0150] 도 5에 도시되어 있는 성능 그래프는 신호 수신 장치가 ML 검출 방식을 사용할 경우와, ML + 간섭 화이트닝(interference whitening: IW, 이하 ‘IW’ 라 칭하기로 한다) 방식을 사용할 경우와, JML 검출 방식을 사용할 경우와, 본 발명의 일 실시예에 따른 AIC 방식을 사용할 경우 각각에 대한 BER 성능을 나타낸다.
- [0151] 상기 신호 수신 장치가 본 발명의 일 실시예에 따른 AIC 방식을 사용할 경우 획득되는 BER 성능은 수학적 6을 기반으로 획득되는 BER 성능, 즉 이론적인 BER 성능과, 수학적 7을 기반으로 획득되는 BER 성능( $C$ 가 1/2일 경우( $C = 1/2$ ))과, 수학적 8을 기반으로 하는 BER 성능으로 구분될 수 있다.
- [0152] 도 5에서 ‘ML’ 로 도시되어 있는 성능 그래프가 상기 신호 수신 장치가 ML 검출 방식을 사용할 경우 획득되는 BER 성능을 나타내며, ‘ML + IW’ 로 도시되어 있는 성능 그래프가 상기 신호 수신 장치가 ML 검출 방식을 사용할 경우 획득되는 BER 성능을 나타내며, ‘JMLD’ 로 도시되어 있는 성능 그래프가 상기 신호 수신 장치가 JML 검출 방식을 사용할 경우 획득되는 BER 성능을 나타낸다.
- [0153] 또한, 도 5에서 ‘A-IC JMLD (Theoretical)’ 로 도시되어 있는 성능 그래프가 상기 수학적 6을 기반으로 획득되는 BER 성능을 나타내며, ‘A-IC JMLD (Practical  $C = 1/2$ )’ 로 도시되어 있는 성능 그래프가 상기 수학적 7을 기반으로 획득되는 BER 성능을 나타내며, ‘A-IC JMLD (LC Practical)’ 로 도시되어 있는 성능 그래프가 상기

수학식 8을 기반으로 획득되는 BER 성능을 나타낸다.

- [0154] 또한, 도 5에서 세로축은 BER을 나타내고, 가로축은 비트 에너지 대 잡음 전력비(energy per bit to noise power spectral density ratio:  $E_b/N_0$ , 이하 ‘ $E_b/N_0$ ’ 라 칭하기로 한다)를 나타낸다.
- [0155] 도 5에 도시되어 있는 바와 같이 신호 수신 장치가 본 발명의 일 실시예에 따른 AIC 방식을 사용할 경우 JML 검출 성능과 거의 유사한 BER 성능을 획득할 수 있음을 알 수 있다.
- [0156] 도 5에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 AIC 방식을 사용할 경우의 BER 성능에 대해서 설명하였으며, 다음으로 도 6을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 AIC 방식을 사용할 경우의 추정 에러 레이트(estimation error rate) 성능에 대해서 설명하기로 한다.
- [0157] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 AIC 방식을 사용할 경우의 추정 에러 레이트 성능을 개략적으로 도시한 도면이다.
- [0158] 도 6을 참조하면, 도 6에 도시되어 있는 성능 그래프는 신호 수신 장치들의 개수가 2이고, 송신 안테나들의 개수가 4이고, 수신 안테나들의 개수가 2인  $4 \times [2,2]$  다중 사용자 MIMO 시스템에서 MCS 레벨이 MCS 7이고, 채널 추정 방식은 최소 제곱 추정 방식이고, 피드백 양자화 비트의 개수는 5이고, 서브 캐리어 그룹 사이즈  $N_g$ 는 2이고( $N_g = 2$ ), 패킷 사이즈는 1024바이트이고, 반복 횟수는 1000이고, 채널 모델은 D일 경우의 성능 그래프이다. 일 예로, 상기  $4 \times [2,2]$  다중 사용자 MIMO 시스템은 IEEE 802.11ac 통신 시스템이라고 가정하기로 한다. 또한, 상기 피드백 양자화 비트는 CSI 피드백 비트를 나타내며, 상기 CSI 피드백 비트는 상기 IEEE 802.11ac 통신 시스템에 명시된 타입 3이라고 가정하기로 한다. 이렇게 타입 3인 CIS 피드백 비트를 사용할 경우 프리코딩의 에러를 생성할 수 있는 환경이 생성된다. 또한, 상기 채널 모델 D는 상기 IEEE 802.11ac 통신 시스템에 명시된 채널 모델이며, 상기 채널 모델 D에 대한 구체적인 설명은 생략하기로 한다.
- [0159] 도 6에는 신호 수신 장치가 수학식 6을 기반으로 획득하는 추정 에러 레이트 성능 그래프와, 즉 이론적인 추정 에러 레이트 성능 그래프와, 수학식 7을 기반으로 획득하는 추정 에러 레이트( $C$ 가  $1/2$ 일 경우( $C = 1/2$ )) 성능 그래프와, 수학식 8을 기반으로 하는 획득하는 추정 에러 레이트 성능 그래프가 도시되어 있다.
- [0160] 도 6에서 ‘A-IC (Theoretical)’ 로 도시되어 있는 성능 그래프가 상기 수학식 6을 기반으로 획득되는 추정 에러 레이트를 나타내며, ‘A-IC (Practical  $C = 1/2$ )’ 로 도시되어 있는 성능 그래프가 상기 수학식 7을 기반으로 획득되는 추정 에러 레이트를 나타내며, ‘A-IC (LC Practical)’ 로 도시되어 있는 성능 그래프가 상기 수학식 8을 기반으로 획득되는 추정 에러 레이트를 나타낸다.
- [0161] 또한, 도 6에 도시되어 있는 추정 에러 레이트 성능 그래프는 상기 신호 수신 장치가 전체 심볼들 중 특정 심볼을 에러라고 추정하는 레이트인 추정 에러 레이트를 나타낸다.
- [0162] 또한, 도 6에서 가로축은  $E_b/N_0$ 를 나타내고, 세로축은 전체 심볼들 중 에러라고 추정되는 심볼의 확률  $P_E$ 을 나타낸다. 즉, 상기  $P_E$ 는 전체 심볼들 중 간섭 신호 제거 방식이 적용될 심볼들의 비율이라고 해석될 수 있다. 따라서, ‘A-IC (Theoretical)’ 로 도시되어 있는 성능 그래프가 가장 낮은 추정 에러 레이트를 나타내고, ‘A-IC (Practical  $C = 1/2$ )’ 로 도시되어 있는 성능 그래프가 그 다음으로 낮은 추정 에러 레이트를 나타내고, ‘A-IC (LC Practical)’ 로 도시되어 있는 성능 그래프가 가장 높은 추정 에러 레이트를 나타냄을 알 수 있다.
- [0163] 특히, 도 6에 도시되어 있는 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 AIC 방식은 간섭 신호의 검출 횟수를  $E_b/N_0$ 에 따라 약 50%까지 감소시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.
- [0164] 도 6에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 AIC 방식을 사용할 경우의 추정 에러 레이트 성능에 대해서 설명하였으며, 다음으로 도 7을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 SIC 방식을 사용할 경우의 BER 성능에 대해서 설명하기로 한다.
- [0165] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 SIC 방식을 사용할 경우의 BER 성능을 개략적으로 도시한 도면이다.
- [0166] 도 7을 참조하면, 도 7에 도시되어 있는 성능 그래프는 신호 수신 장치들의 개수가 2이고, 송신 안테나들의 개수가 4이고, 수신 안테나들의 개수가 2인  $4 \times [2,2]$  다중 사용자 MIMO 시스템에서 MCS 레벨이 MCS 7이고, 채널 추정 방식은 최소 제곱 추정 방식이고, 피드백 양자화 비트의 개수는 5이고, 서브 캐리어 그룹 사이즈  $N_g$ 는 2이

고( $N_g = 2$ ), 패킷 사이즈는 1024바이트이고, 반복 횟수는 1000이고, 채널 모델은 D일 경우의 성능 그래프이다. 일 예로, 상기 4 x [2,2] 다중 사용자 MIMO 시스템은 IEEE 802.11ac 통신 시스템이라고 가정하기로 한다. 또한, 상기 피드백 양자화 비트는 CSI 피드백 비트를 나타내며, 상기 CSI 피드백 비트는 상기 IEEE 802.11ac 통신 시스템에 명시된 타입 3이라고 가정하기로 한다. 이렇게 타입 3인 CIS 피드백 비트를 사용할 경우 프리코딩의 에러를 생성할 수 있는 환경이 생성된다. 또한, 상기 채널 모델 D는 상기 IEEE 802.11ac 통신 시스템에 명시된 채널 모델이며, 상기 채널 모델 D에 대한 구체적인 설명은 생략하기로 한다.

[0167] 도 7에 도시되어 있는 성능 그래프는 신호 수신 장치가 ML 검출 방식을 사용할 경우와, ML + IW 방식을 사용할 경우와, JML 검출 방식을 사용할 경우와, 본 발명의 일 실시예에 따른 SIC 방식을 사용할 경우 각각에 대한 BER 성능을 나타낸다.

[0168] 상기 신호 수신 장치가 본 발명의 일 실시예에 따른 SIC 방식을 사용할 경우 획득되는 BER 성능은 수학적 10을 기반으로 획득되는 BER 성능, 즉 이론적인 BER 성능과, 수학적 11을 기반으로 획득되는 BER 성능( $C = 1/2$ 일 경우( $C = 1/2$ ))과, 수학적 12를 기반으로 하는 BER 성능으로 구분될 수 있다.

[0169] 도 7에서 'ML'로 도시되어 있는 성능 그래프가 상기 신호 수신 장치가 ML 검출 방식을 사용할 경우 획득되는 BER 성능을 나타내며, 'ML + IW'로 도시되어 있는 성능 그래프가 상기 신호 수신 장치가 ML 검출 방식을 사용할 경우 획득되는 BER 성능을 나타내며, 'JMLD'로 도시되어 있는 성능 그래프가 상기 신호 수신 장치가 JML 검출 방식을 사용할 경우 획득되는 BER 성능을 나타낸다.

[0170] 또한, 도 7에서 'S-IC JMLD (Theoretical)'로 도시되어 있는 성능 그래프가 상기 수학적 10을 기반으로 획득되는 BER 성능을 나타내며, 'S-IC JMLD (Practical  $C = 1/2$ )'로 도시되어 있는 성능 그래프가 상기 수학적 11을 기반으로 획득되는 BER 성능을 나타내며, 'S-IC JMLD (LC Practical)'로 도시되어 있는 성능 그래프가 상기 수학적 12를 기반으로 획득되는 BER 성능을 나타낸다.

[0171] 또한, 도 7에서 세로축은 BER을 나타내고, 가로축은  $E_b/N_0$ 를 나타낸다.

[0172] 도 7에 도시되어 있는 바와 같이 신호 수신 장치가 본 발명의 일 실시예에 따른 SIC 방식을 사용할 경우 JML 검출 성능과 거의 유사한 BER 성능을 획득할 수 있음을 알 수 있다.

[0173] 도 7에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 SIC 방식을 사용할 경우의 BER 성능에 대해서 설명하였으며, 다음으로 도 8을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 SIC 방식을 사용할 경우의 추정 에러 레이트 성능에 대해서 설명하기로 한다.

[0174] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 SIC 방식을 사용할 경우의 추정 에러 레이트 성능을 개략적으로 도시한 도면이다.

[0175] 도 8을 참조하면, 도 8에 도시되어 있는 성능 그래프는 신호 수신 장치들의 개수가 2이고, 송신 안테나들의 개수가 4이고, 수신 안테나들의 개수가 2인 4 x [2,2] 다중 사용자 MIMO 시스템에서 MCS 레벨이 MCS 7이고, 채널 추정 방식은 최소 제곱 추정 방식이고, 피드백 양자화 비트의 개수는 5이고, 서브 캐리어 그룹 사이즈  $N_g$ 는 2이고( $N_g = 2$ ), 패킷 사이즈는 1024바이트이고, 반복 횟수는 1000이고, 채널 모델은 D일 경우의 성능 그래프이다. 일 예로, 상기 4 x [2,2] 다중 사용자 MIMO 시스템은 IEEE 802.11ac 통신 시스템이라고 가정하기로 한다. 또한, 상기 피드백 양자화 비트는 CSI 피드백 비트를 나타내며, 상기 CSI 피드백 비트는 상기 IEEE 802.11ac 통신 시스템에 명시된 타입 3이라고 가정하기로 한다. 이렇게 타입 3인 CIS 피드백 비트를 사용할 경우 프리코딩의 에러를 생성할 수 있는 환경이 생성된다. 또한, 상기 채널 모델 D는 상기 IEEE 802.11ac 통신 시스템에 명시된 채널 모델이며, 상기 채널 모델 D에 대한 구체적인 설명은 생략하기로 한다.

[0176] 도 8에는 간섭 제거 개수  $L$ 이 1로 설정될 경우( $L = 1$ ), 신호 수신 장치가 수학적 10을 기반으로 획득하는 추정 에러 레이트 성능 그래프와, 즉 이론적인 추정 에러 레이트 성능 그래프와, 수학적 11을 기반으로 획득하는 추정 에러 레이트( $C = 1/2$ 일 경우( $C = 1/2$ )) 성능 그래프와, 수학적 12를 기반으로 하는 획득하는 추정 에러 레이트 성능 그래프가 도시되어 있다. 또한, 도 8에는 상기 간섭 제거 개수  $L$ 이 2로 설정될 경우( $L = 2$ ), 신호 수신 장치가 수학적 10을 기반으로 획득하는 추정 에러 레이트 성능 그래프와, 즉 이론적인 추정 에러 레이트 성능 그래프와, 수학적 11을 기반으로 획득하는 추정 에러 레이트( $C = 1/2$ 일 경우( $C = 1/2$ )) 성능 그래프와, 수학적 12를 기반으로 하는 획득하는 추정 에러 레이트 성능 그래프가 도시되어 있다.



- [0177] 도 8에서 'L = 1 (Theoretical)' 로 도시되어 있는 성능 그래프가 L이 1로 설정될 경우 상기 수학식 10을 기반으로 획득되는 추정 에러 레이트를 나타내며, 'L = 1 (Practical C = 1/2)' 로 도시되어 있는 성능 그래프가 L이 1로 설정될 경우 상기 수학식 11을 기반으로 획득되는 추정 에러 레이트를 나타내며, 'L = 1 (LC Practical)' 로 도시되어 있는 성능 그래프가 L이 1로 설정될 경우 상기 수학식 12를 기반으로 획득되는 추정 에러 레이트를 나타낸다.
- [0178] 또한, 도 8에서 'L = 2 (Theoretical)' 로 도시되어 있는 성능 그래프가 L이 2로 설정될 경우 상기 수학식 10을 기반으로 획득되는 추정 에러 레이트를 나타내며, 'L = 2 (Practical C = 1/2)' 로 도시되어 있는 성능 그래프가 L이 2로 설정될 경우 상기 수학식 11을 기반으로 획득되는 추정 에러 레이트를 나타내며, 'L = 2 (LC Practical)' 로 도시되어 있는 성능 그래프가 L이 2로 설정될 경우 상기 수학식 12를 기반으로 획득되는 추정 에러 레이트를 나타낸다.
- [0179] 또한, 도 8에 도시되어 있는 추정 에러 레이트 성능 그래프는 상기 신호 수신 장치가 전체 심볼들 중 특정 심볼을 에러라고 추정하는 레이트인 추정 에러 레이트를 나타낸다.
- [0180] 또한, 도 8에서 가로축은 Eb/NO를 나타내고, 세로축은 전체 심볼들 중 L개만큼 간섭 신호가 제거될 확률 P<sub>E</sub>을 나타낸다. 즉, 상기 P<sub>E</sub>는 전체 심볼들 중 간섭 신호 제거 방식이 적용될 심볼들의 비율이라고 해석될 수 있다.
- [0181] 따라서, 도 8에서 L=2인 경우는 Eb/NO가 증가할수록 P<sub>E</sub>는 감소되고, L=1인 경우는 Eb/NO가 증가할수록 P<sub>E</sub>는 약간 증가되는 것을 확인할 수 있다. 상기 수학식 11 및 수학식 12를 기반으로 신호 검출 동작이 수행될 경우, 28Db를 기준으로 L이 1일 경우(L=1) 약 40%의 P<sub>E</sub>를 나타내고, L이 2일 경우(L=2)이 약 15%의 P<sub>E</sub>를 나타냄을 알 수 있다. 즉, 전체 심볼들 중에서 간섭 제거 방식이 사용되지 않는 경우는 45%, L=1인 간섭 제거 방식이 사용되는 경우는 40%, L=2인 간섭 제거 방식이 사용되는 경우는 15%임을 알 수 있다.
- [0182] 따라서, 도 8에서 설명한 바와 같이 간섭 제거 방식이 필요할 경우에만 간섭 제거 방식을 사용하도록 함으로써 신호 검출을 위해 필요로 되는 프로세싱 복잡도 및 프로세싱 연산량을 감소시킬 수 있으며, 이를 하기 표 1을 참조하여 설명하면 다음과 같다.

표 1

[0183]

Number of Multiplications	JMLD		
	JMLD(L=2)	A-IC JMLD	S-IC JMLD
Error Estimation Complexity	0	16	16
Calculation of EDs	65536x4	37888x4	18719x4
Total	262144 (100%)	151552 (58%)	74876 (29%)

- [0184] 상기 표 1에서, A-IC JMLD는 본 발명의 일 실시예에 따른 AIC 방식을 나타내며, S-IC JMLD는 본 발명의 일 실시예에 따른 SIC 방식을 나타내며, JMLD(L= 2)는 제거되는 간섭 신호의 개수를 2개로 고려하는 노말한 JMLD 방식을 나타낸다. 또한, 상기 표 1에 나타난 바와 같은 프로세싱 복잡도 및 프로세싱 연산량은 MCS 7을 기준으로 할 경우 JMLD 방식에 근접한 성능을 가짐을 알 수 있다.
- [0185] 표 1에 나타나 있는 프로세싱 복잡도 및 프로세싱 연산량은 상기 JML 검출 방식과, 상기 AIC 방식과 SIC 방식 각각에서 수행되는 곱셈 연산의 횟수를 기반으로 나타난 것이다. 표 1에 나타난 바와 같이 상기 AIC 방식 및 SIC 방식 각각이 사용될 경우의 곱셈 연산의 횟수는 JML 검출 방식이 사용될 경우의 곱셈 연산의 횟수 대비 약 42% 및 71%가 감소됨을 알 수 있다.
- [0186] 도 8에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치가 SIC 방식을 사용할 경우의 추정 에러 레이트 성능에 대해서 설명하였으며, 다음으로 도 9를 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 송신 장치의 내부 구조에 대해서 설명하기로 한다.
- [0187] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 송신 장치의 내부 구조를 개략적으로 도시한 도면이다.
- [0188] 도 9를 참조하면, 신호 송신 장치(900)는 송신기(911)와, 제어기(913)와, 수신기(915)와, 저장 유닛(917)을 포

함한다.

- [0189] 먼저, 상기 제어기(913)는 상기 신호 송신 장치(900)의 전반적인 동작을 제어한다. 상기 제어기(913)는 상기 신호 송신 장치(900)가 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 검출 동작, 즉 AIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작 및 SIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작을 수행하는 동작에 관련된 전반적인 동작을 수행하도록 제어한다. 여기서, 본 발명의 일 실시예에 따른 AIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작 및 SIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작에 대해서는 도 1 내지 도 8에서 설명한 바와 동일하므로, 여기서는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다.
- [0190] 상기 송신기(911)는 상기 제어기(913)의 제어에 따라 신호 수신 장치 등으로 각종 신호들 및 각종 메시지들을 송신한다. 여기서, 상기 송신기(911)가 송신하는 각종 신호들 및 각종 메시지들은 도 1 내지 도 8에서 설명한 바와 동일하므로, 여기서는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다.
- [0191] 또한, 상기 수신기(915)는 상기 제어기(913)의 제어에 따라 상기 신호 수신 장치 등으로부터 각종 신호들 및 각종 메시지들을 등을 수신한다. 여기서, 상기 수신기(915)가 수신하는 각종 신호들 및 각종 메시지들은 도 1 내지 도 8에서 설명한 바와 동일하므로, 여기서는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다.
- [0192] 상기 저장 유닛(917)은 상기 신호 송신 장치(900)의 동작에 필요한 프로그램(program)과 각종 데이터 등, 특히 본 발명의 일 실시예에 따른 AIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작 및 SIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작에 관련된 정보 등을 저장한다. 또한, 상기 저장 유닛(917)은 상기 수신기(915)가 상기 신호 수신 장치 등으로부터 수신한 각종 신호들 및 각종 메시지들을 등을 저장한다.
- [0193] 한편, 도 9에는 상기 신호 송신 장치(900)가 상기 송신기(911)와, 제어기(913)와, 수신기(915)와, 저장 유닛(917)과 같이 별도의 유닛들로 구현된 경우가 도시되어 있으나, 상기 신호 수신 장치(900)는 상기 송신기(911)와, 제어기(913)와, 수신기(915)와, 저장 유닛(917) 중 적어도 두 개가 1개의 유닛으로 통합된 형태로 구현 가능함은 물론이다.
- [0194] 도 9에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 송신 장치의 내부 구조에 대해서 설명하였으며, 다음으로 도 10을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치의 내부 구조에 대해서 설명하기로 한다.
- [0195] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 MIMO 통신 시스템에서 신호 수신 장치의 내부 구조를 개략적으로 도시한 도면이다.
- [0196] 도 10을 참조하면, 신호 수신 장치(1000)는 송신기(1011)와, 제어기(1013)와, 수신기(1015)와, 저장 유닛(1017)을 포함한다.
- [0197] 먼저, 상기 제어기(1013)는 상기 신호 수신 장치(1000)의 전반적인 동작을 제어한다. 상기 제어기(1013)는 상기 신호 수신 장치(2000)가 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 검출 동작, 즉 AIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작 및 SIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작을 수행하는 동작에 관련된 전반적인 동작을 수행하도록 제어한다. 여기서, 본 발명의 일 실시예에 따른 AIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작 및 SIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작에 대해서는 도 1 내지 도 8에서 설명한 바와 동일하므로, 여기서는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다.
- [0198] 상기 송신기(1011)는 상기 제어기(1013)의 제어에 따라 신호 송신 장치 등으로 각종 신호들 및 각종 메시지들을 송신한다. 여기서, 상기 송신기(1011)가 송신하는 각종 신호들 및 각종 메시지들은 도 1 내지 도 8에서 설명한 바와 동일하므로, 여기서는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다.
- [0199] 또한, 상기 수신기(1015)는 상기 제어기(1013)의 제어에 따라 상기 신호 송신 장치 등으로부터 각종 신호들 및 각종 메시지들을 등을 수신한다. 여기서, 상기 수신기(1015)가 수신하는 각종 신호들 및 각종 메시지들은 도 1 내지 도 8에서 설명한 바와 동일하므로, 여기서는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다.
- [0200] 상기 저장 유닛(1017)은 상기 신호 수신 장치(1000)의 동작에 필요한 프로그램과 각종 데이터 등, 특히 본 발명의 일 실시예에 따른 AIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작 및 SIC 방식을 기반으로 하는 신호 검출 동작에 관련된 정보 등을 저장한다. 또한, 상기 저장 유닛(1017)은 상기 수신기(1015)가 상기 신호 송신 장치 등으로부터 수신한 각종 신호들 및 각종 메시지들을 등을 저장한다.
- [0201] 한편, 도 10에는 상기 신호 수신 장치(1000)가 상기 송신기(1011)와, 제어기(1013)와, 수신기(1015)와, 저장 유

닛(1017)과 같이 별도의 유닛들로 구현된 경우가 도시되어 있으나, 상기 신호 수신 장치(1000)는 상기 송신기(1011)와, 제어기(1013)와, 수신기(1015)와, 저장 유닛(1017) 중 적어도 두 개가 1개의 유닛으로 통합된 형태로 구현 가능함은 물론이다.

[0202] 본 발명의 특정 측면들은 또한 컴퓨터 리드 가능 기록 매체(computer readable recording medium)에서 컴퓨터 리드 가능 코드(computer readable code)로서 구현될 수 있다. 컴퓨터 리드 가능 기록 매체는 컴퓨터 시스템에 의해 리드될 수 있는 데이터를 저장할 수 있는 임의의 데이터 저장 디바이스이다. 상기 컴퓨터 리드 가능 기록 매체의 예들은 리드 온니 메모리(read only memory: ROM, 이하 'ROM' 이라 칭하기로 한다)와, 랜덤-접속 메모리(random access memory: RAM, 이하 'RAM' 라 칭하기로 한다)와, 콤팩트 디스크- 리드 온니 메모리(compact disk-read only memory: CD-ROM)들과, 마그네틱 테이프(magnetic tape)들과, 플로피 디스크(floppy disk)들과, 광 데이터 저장 디바이스들, 및 캐리어 웨이브(carrier wave)들(상기 인터넷을 통한 데이터 송신과 같은)을 포함할 수 있다. 상기 컴퓨터 리드 가능 기록 매체는 또한 네트워크 연결된 컴퓨터 시스템들을 통해 분산될 수 있고, 따라서 상기 컴퓨터 리드 가능 코드는 분산 방식으로 저장 및 실행된다. 또한, 본 발명을 성취하기 위한 기능적 프로그램들, 코드, 및 코드 세그먼트(segment)들은 본 발명이 적용되는 분야에서 숙련된 프로그래머들에 의해 쉽게 해석될 수 있다.

[0203] 또한 본 발명의 일 실시예에 따른 장치 및 방법은 하드웨어, 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 조합의 형태로 실현 가능하다는 것을 알 수 있을 것이다. 이러한 임의의 소프트웨어는 예를 들어, 삭제 가능 또는 재기록 가능 여부와 상관없이, ROM 등의 저장 장치와 같은 휘발성 또는 비휘발성 저장 장치, 또는 예를 들어, RAM, 메모리 칩, 장치 또는 집적 회로와 같은 메모리, 또는 예를 들어 콤팩트 디스크(compact disk: CD), DVD, 자기 디스크 또는 자기 테이프 등과 같은 광학 또는 자기적으로 기록 가능함과 동시에 기계(예를 들어, 컴퓨터)로 읽을 수 있는 저장 매체에 저장될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 방법은 제어부 및 메모리를 포함하는 컴퓨터 또는 휴대 단말에 의해 구현될 수 있고, 상기 메모리는 본 발명의 실시 예들을 구현하는 지시들을 포함하는 프로그램 또는 프로그램들을 저장하기에 적합한 기계로 읽을 수 있는 저장 매체의 한 예임을 알 수 있을 것이다.

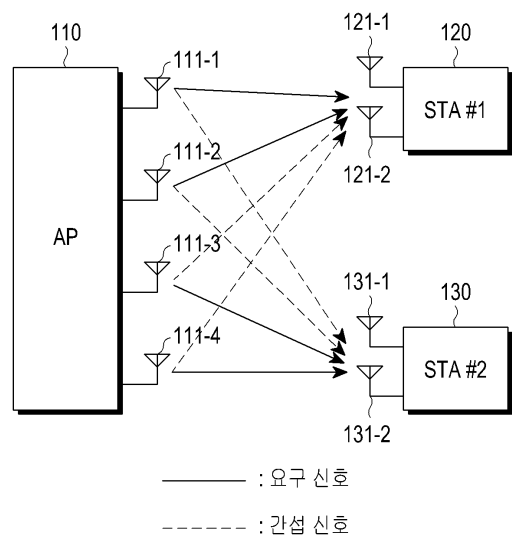
[0204] 따라서, 본 발명은 본 명세서의 임의의 청구항에 기재된 장치 또는 방법을 구현하기 위한 코드를 포함하는 프로그램 및 이러한 프로그램을 저장하는 기계(컴퓨터 등)로 읽을 수 있는 저장 매체를 포함한다. 또한, 이러한 프로그램은 유선 또는 무선 연결을 통해 전달되는 통신 신호와 같은 임의의 매체를 통해 전자적으로 이송될 수 있고, 본 발명은 이와 균등한 것을 적절하게 포함한다.

[0205] 또한 본 발명의 일 실시예에 따른 장치는 유선 또는 무선으로 연결되는 프로그램 제공 장치로부터 상기 프로그램을 수신하여 저장할 수 있다. 상기 프로그램 제공 장치는 상기 프로그램 처리 장치가 기 설정된 콘텐츠 보호 방법을 수행하도록 하는 지시들을 포함하는 프로그램, 콘텐츠 보호 방법에 필요한 정보 등을 저장하기 위한 메모리와, 상기 그래픽 처리 장치와의 유선 또는 무선 통신을 수행하기 위한 통신부와, 상기 그래픽 처리 장치의 요청 또는 자동으로 해당 프로그램을 상기 송수신 장치로 전송하는 제어부를 포함할 수 있다.

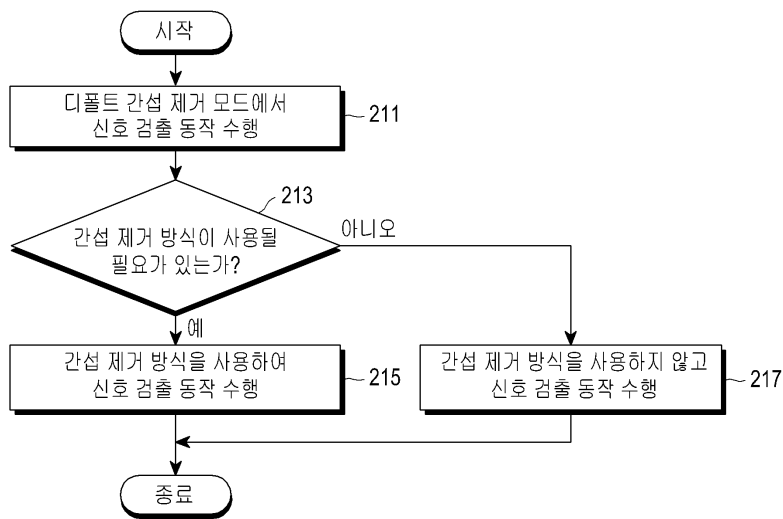
[0206] 한편 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 안되며 후술하는 특허청구의 범위뿐 아니라 이 특허청구의 범위와 균등한 것들에 의해서 정해져야 한다.

도면

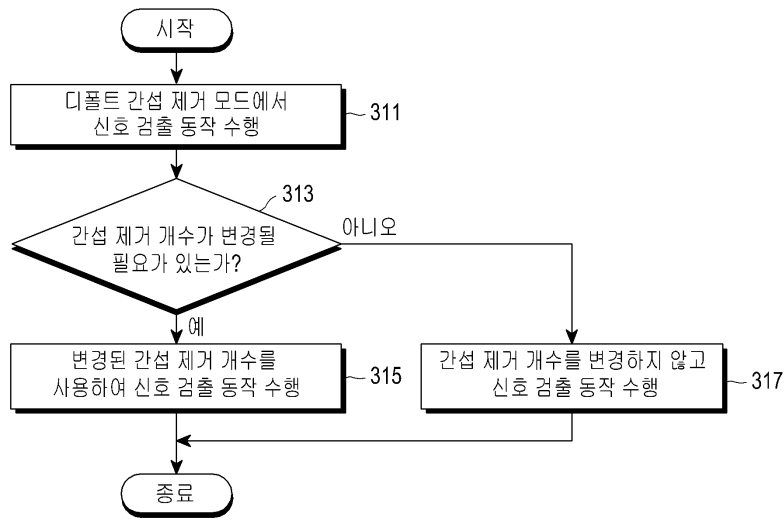
도면1



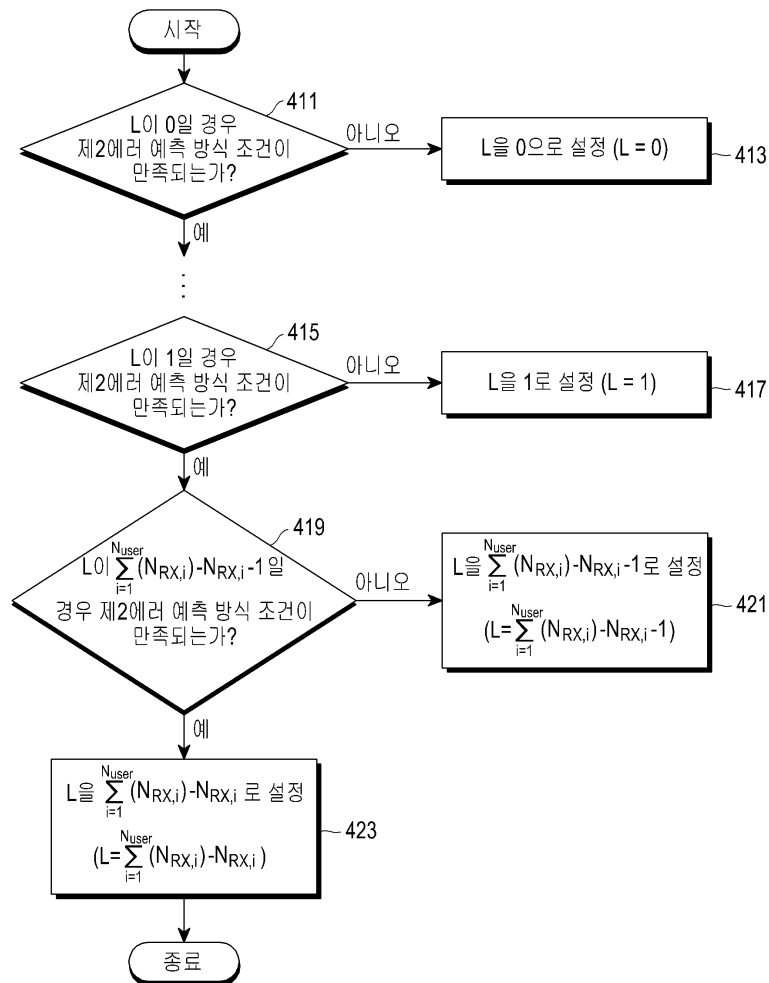
도면2



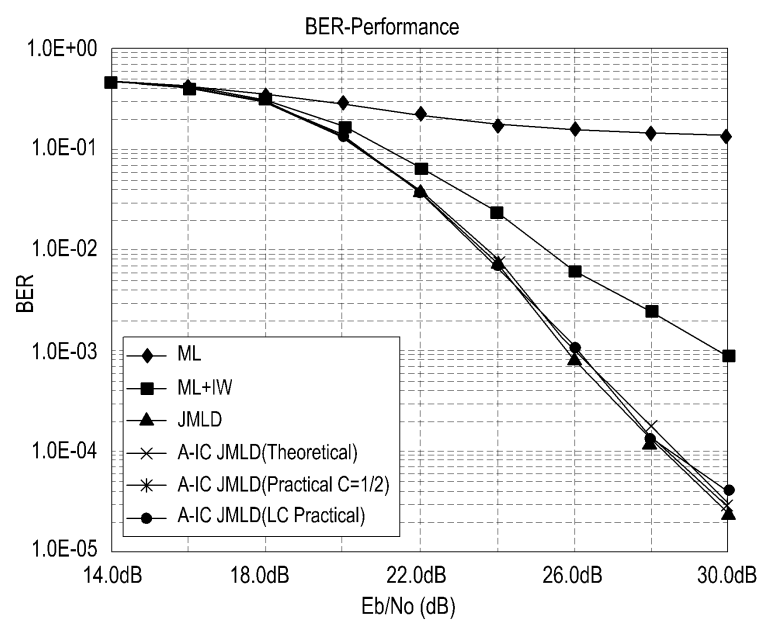
도면3



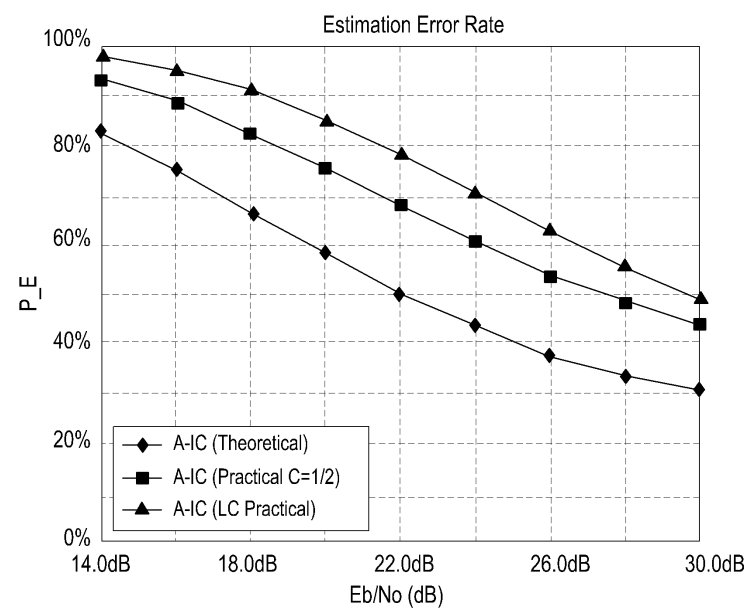
도면4



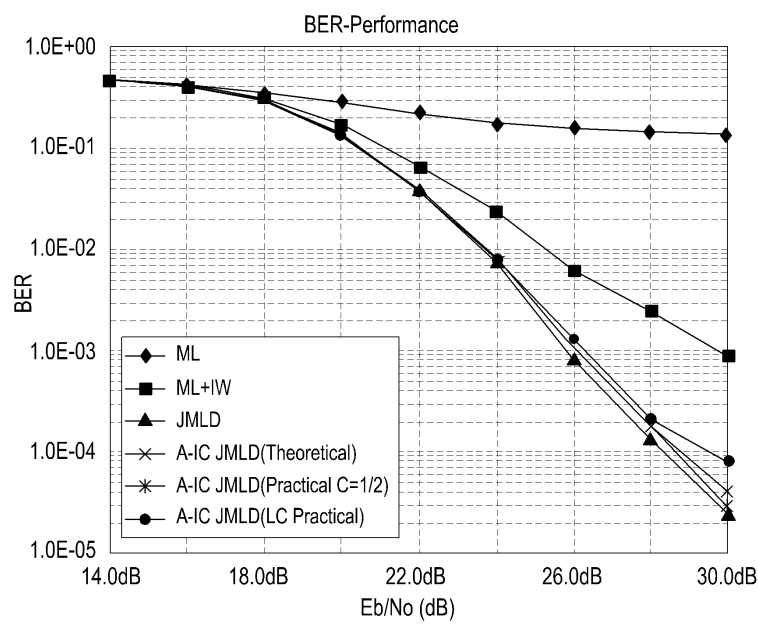
도면5



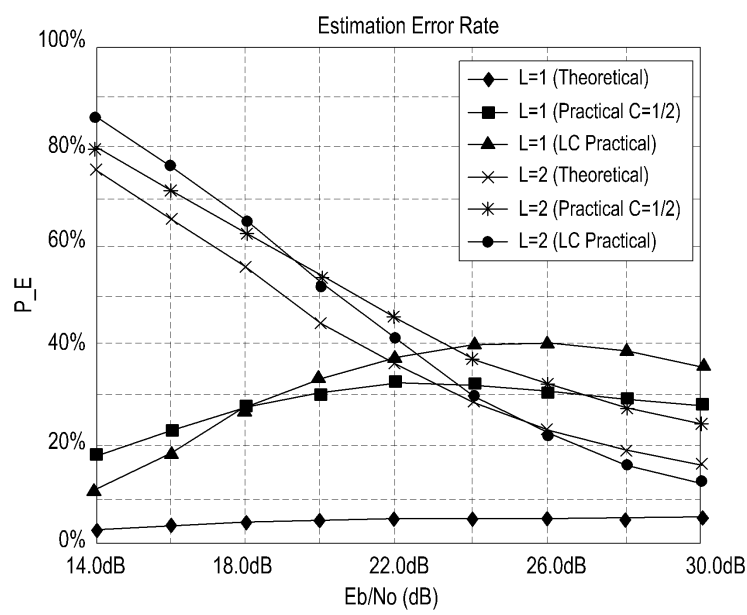
도면6



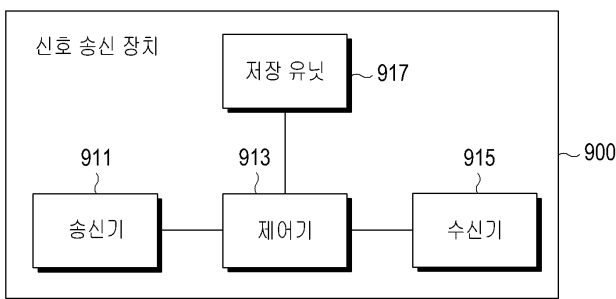
도면7



도면8



도면9



도면10

