



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2010년06월22일  
(11) 등록번호 10-0965347  
(24) 등록일자 2010년06월14일

(51) Int. Cl.

*H04L 27/26* (2006.01) *H04L 1/00* (2006.01)

*H04L 1/06* (2006.01) *H04B 7/04* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2005-7007138

(22) 출원일자(국제출원일자) 2003년10월24일

심사청구일자 2008년10월16일

(85) 번역문제출일자 2005년04월25일

(65) 공개번호 10-2005-0071620

(43) 공개일자 2005년07월07일

(86) 국제출원번호 PCT/US2003/034519

(87) 국제공개번호 WO 2004/038984

국제공개일자 2004년05월06일

(30) 우선권주장

10/693,429 2003년10월23일 미국(US)

60/421,309 2002년10월25일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

US06351499 B1\*

US06937592 B1\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

전체 청구항 수 : 총 76 항

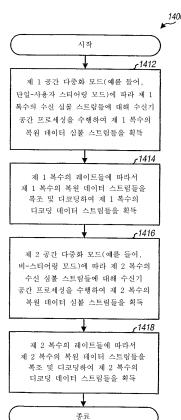
심사관 : 김재문

(54) 다수의 공간 다중화 모드들을 이용한 MIMO 시스템

(57) 요약

MIMO 시스템은 향상된 성능과 보다 큰 유연성을 위한 다중 공간 다중화 모드를 지원하며, 이들 모드로는 (1)직교 공간 채널을 통해 단일 수신기로 다수의 데이터 스트림을 전송하는 단일 사용자 스티어링된 모드, (2)송신기에서 공간 처리없이 다중안테나로부터 단일 수신기로 다수의 데이터 스트림을 전송하는 단일 사용자 스티어링안된 모드, (3)송신기에서 공간처리와 함께 다중 수신기에 동시에 다수의 데이터 스트림을 송신하는 다중 사용자 스티어링된 모드, (4)송신기에서의 공간처리 없이 다중안테나로부터(공동으로 위치하거나 위치하지 않거나) 다중 안테나를 갖는 수신기로 다수의 데이터 스트림을 송신하는 다중 사용자 스티어링 안된 모드를 포함한다. 하향링크 및 /또는 상향링크 상에서 데이터 송신을 위해 선택된 각 조의 사용자 단말의 경우, 공간 다중화모드는 시스템에 의해 지원된 다중 공간 다중화 모드로부터 사용자 단말 세트를 위해 선택된다.

대표도 - 도14



(72) 발명자  
    왈라스, 마크  
    미국 01730 매사추세츠 베드포드 마델 레인 4

하워드, 스티븐, 제이.  
    미국 01721 매사추세츠 애쉬랜드 헤리타지 애브뉴  
    75

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

무선 다중-액세스 다중-입력 다중-출력(multiple-input multiple-output, MIMO) 통신 시스템에서 데이터를 전송하는 방법으로서:

데이터 전송을 위해 하나의 사용자 단말을 선택하는 단계;

상기 시스템에 의해 지원되는 복수의 공간 다중화 모드들 중에서, 상기 하나의 사용자 단말에 사용할 스티어링된(steered) 공간 다중화 모드를 선택하는 단계;

상기 하나의 사용자 단말에 대한 MIMO 채널의 복수의 공간 채널을 통해 전송될 복수의 데이터 스트림들에 대한 복수의 레이트들을 선택하는 단계; 및

상기 선택된 복수의 레이트들과 상기 선택된 스티어링된 공간 다중화 모드를 이용하여 데이터 전송을 위해 상기 하나의 사용자 단말을 스케줄링하는 단계를 포함하는, 데이터를 전송하는 방법.

### 청구항 2

삭제

### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 데이터 스트림들을 직교 공간 채널들을 통해 상기 하나의 사용자 단말에게 전송하기 위해 복수의 스티어링 벡터들을 이용하여 상기 복수의 데이터 스트림들을 공간적으로 처리하는 단계를 더 포함하는, 데이터를 전송하는 방법.

### 청구항 4

무선 다중-액세스 다중-입력 다중-출력(multiple-input multiple-output, MIMO) 통신 시스템에서 데이터를 전송하는 방법으로서:

데이터 전송을 위해 하나의 사용자 단말을 선택하는 단계;

상기 시스템에 의해 지원되는 복수의 공간 다중화 모드들 중에서, 상기 하나의 사용자 단말에 사용할 비-스티어링된(non-steered) 공간 다중화 모드를 선택하는 단계;

상기 하나의 사용자 단말에 대한 MIMO 채널의 복수의 공간 채널들을 통해 전송될 복수의 데이터 스트림들에 대한 복수의 레이트들을 선택하는 단계; 및

상기 선택된 복수의 레이트들과 상기 선택된 비-스티어링된 공간 다중화 모드를 이용하여 데이터 전송을 위해 상기 하나의 사용자 단말을 스케줄링하는 단계를 포함하는, 데이터를 전송하는 방법.

### 청구항 5

제 4 항에 있어서,

복수의 안테나로부터 상기 하나의 사용자 단말로의 전송을 위한 상기 복수의 데이터 스트림들을 제공하는 단계를 더 포함하는, 데이터를 전송하는 방법.

### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

복수의 사용자 단말들이 데이터 전송을 위해 선택되는, 데이터를 전송하는 방법.

### 청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 복수의 데이터 스트림들을 상기 복수의 사용자 단말들로 스티어링하기 위해 복수의 스티어링 벡터들을 이용하여 상기 복수의 데이터 스트림들을 공간적으로 처리하는 단계를 더 포함하는, 데이터를 전송하는 방법.

#### 청구항 8

제 6 항에 있어서,

상기 복수의 사용자 단말들에 의해 전송되는 상기 복수의 데이터 스트림들의 추정들을 얻기 위해 복수의 수신 심볼 스트림들에 대해 수신기 공간 처리를 실행하는 단계를 더 포함하며, 각 데이터 스트림은 상기 데이터 스트림을 스티어링하기 위한 각각의 스티어링 벡터를 이용하여 처리되는, 데이터를 전송하는 방법.

#### 청구항 9

무선 다중-액세스 다중-입력 다중-출력(multiple-input multiple-output, MIMO) 통신 시스템에서 데이터를 전송하는 방법으로서:

데이터 전송을 위해 복수의 사용자 단말들을 선택하는 단계;

상기 시스템에 의해 지원되는 복수의 공간 다중화 모드들 중에서, 상기 복수의 사용자 단말에 사용할 비-스티어링된(non-steered) 공간 다중화 모드를 선택하는 단계;

상기 복수의 사용자 단말들에 대한 MIMO 채널의 복수의 공간 채널들을 통해 전송될 복수의 데이터 스트림들에 대한 복수의 레이트들을 선택하는 단계; 및

상기 선택된 복수의 레이트들과 상기 선택된 비-스티어링된 공간 다중화 모드를 이용하여 데이터 전송을 위해 상기 복수의 사용자 단말들을 스케줄링하는 단계를 포함하는, 데이터를 전송하는 방법.

#### 청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 복수의 사용자 단말들에 의해 전송되는 상기 복수의 데이터 스트림들의 추정들을 얻기 위해 복수의 수신 심볼 스트림들에 대해 수신기 공간 처리를 실행하는 단계를 더 포함하는, 데이터를 전송하는 방법.

#### 청구항 11

제 9 항에 있어서,

복수의 안테나들로부터, 복수의 안테나들을 각각 포함하는 상기 복수의 사용자 단말들로의 전송을 위한 상기 복수의 데이터 스트림들을 제공하는 단계를 더 포함하는, 데이터를 전송하는 방법.

#### 청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 MIMO 시스템은 시분할 이중화(TDD:time division duplex) 시스템인, 데이터를 전송하는 방법.

#### 청구항 13

삭제

#### 청구항 14

제 12 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 사용자 단말이 캘리브레이트되지 않고 하향링크 채널 응답이 상향링크 채널 응답에 대해 가역성을 갖지 않는 경우 상기 선택된 공간 다중화 모드는 비스티어링된 공간 다중화 모드인, 데이터를 전송하는 방법.

#### 청구항 15

제 1 항에 있어서, 상기 복수의 레이트들을 선택하는 단계는:

상기 복수의 공간 채널들의 신호대 잡음 및 간섭비(signal-to-noise-and-interference:SNIR)들을 추정하는 단계; 및

상기 복수의 공간 채널들의 추정된 신호대 잡음 및 간섭비들에 기반하여 상기 복수의 레이트들을 선택하는 단계를 포함하는, 데이터를 전송하는 방법.

#### 청구항 16

무선 다중-액세스 다중-입력 다중-출력(multiple-input multiple-output, MIMO) 통신 시스템의 장치로서:

데이터 전송을 위해 적어도 하나의 사용자 단말을 선택하도록 동작하는 단말 선택기;

상기 시스템에 의해 지원되는 복수의 공간 다중화 모드들 중에서 상기 적어도 하나의 사용자 단말에 사용할 스티어링된(steered) 공간 다중화 모드를 선택하도록 동작하는 모드 선택기;

상기 적어도 하나의 사용자 단말에 대한 MIMO 채널의 복수의 공간 채널들을 통해 전송될 복수의 데이터 스트림들에 대한 복수의 레이트들을 선택하기 위한 레이트 선택기; 및

상기 복수의 선택된 레이트들과 상기 선택된 스티어링된 공간 다중화 모드를 이용하여 데이터 전송을 위해 상기 적어도 하나의 사용자 단말을 스케줄링하도록 동작하는 스케줄러를 포함하는, 통신 시스템의 장치.

#### 청구항 17

제 16 항에 있어서,

복수의 안테나들로부터 상기 적어도 하나의 사용자 단말로의 전송을 위한 복수의 전송 심볼 스트림들을 획득하기 위해 상기 선택된 스티어링된 공간 다중화 모드에 따라 상기 복수의 데이터 스트림들을 공간적으로 처리하도록 동작하는 송신 공간 프로세서를 더 포함하는, 통신 시스템의 장치.

#### 청구항 18

제 16 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 사용자 단말에 의해 전송되는 상기 복수의 데이터 스트림들의 추정들을 얻기 위해 상기 선택된 스티어링된 공간 다중화 모드에 따라 복수의 수신 심볼 스트림들을 공간적으로 처리하도록 동작하는 수신 공간 프로세서를 더 포함하는, 통신 시스템의 장치.

#### 청구항 19

무선 다중 액세스 다중 입력 다중 출력(multiple-input multiple-output, MIMO) 통신 시스템의 장치로서:

데이터 전송을 위해 적어도 하나의 사용자 단말을 선택하기 위한 수단;

상기 시스템에 의해 지원되는 복수의 공간 다중화 모드들 중에서 상기 적어도 하나의 사용자 단말에 사용할 스티어링된 공간 다중화 모드를 선택하기 위한 수단;

상기 적어도 하나의 사용자 단말에 대한 MIMO 채널의 복수의 공간 채널들을 통해 전송될 복수의 데이터 스트림들에 대한 복수의 레이트들을 선택하기 위한 수단; 및

상기 복수의 선택된 레이트들과 상기 선택된 스티어링된 공간 다중화 모드를 이용하여 데이터 전송을 위해 상기 적어도 하나의 사용자 단말을 스케줄링하기 위한 수단을 포함하는, 통신 시스템의 장치.

#### 청구항 20

제 19 항에 있어서,

복수의 안테나들로부터 상기 적어도 하나의 사용자 단말로의 전송을 위한 복수의 전송 심볼 스트림들을 획득하기 위해 상기 선택된 스티어링된 공간 다중화 모드에 따라 상기 복수의 데이터 스트림들을 공간적으로 처리하기 위한 수단을 더 포함하는, 통신 시스템의 장치.

#### 청구항 21

제 19 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 사용자 단말에 의해 전송되는 상기 복수의 데이터 스트림들의 추정들을 얻기 위해 상기 선택된 스터어링된 공간 다중화 모드에 따라 복수의 수신 심볼 스트림들을 공간적으로 처리하기 위한 수단을 더 포함하는, 통신 시스템의 장치.

### 청구항 22

무선 다중-액세스 다중-입력 다중-출력(multiple-input multiple-output, MIMO) 통신 시스템에서 데이터를 전송하는 방법으로서:

제 1 전송 구간에서의 데이터 전송을 위해 제 1 사용자 단말을 선택하는 단계;

상기 제 1 사용자 단말에 이용할 제 1 공간 다중화 모드를 선택하는 단계;

제 2 전송 구간에서의 데이터 전송을 위해 제 2 사용자 단말을 선택하는 단계;

상기 제 2 사용자 단말에 이용할 제 2 공간 다중화 모드를 선택하는 단계;

상기 제 1 전송 구간에서의 데이터 전송을 위해 상기 제 1 공간 다중화 모드를 이용하여 상기 제 1 사용자 단말을 스케줄링하는 단계; 및

상기 제 2 전송 구간에서의 데이터 전송을 위해 상기 제 2 공간 다중화 모드를 이용하여 상기 제 2 사용자 단말을 스케줄링하는 단계를 포함하는, 데이터를 전송하는 방법.

### 청구항 23

제 22 항에 있어서,

상기 제 1 공간 다중화 모드는 스터어링된 공간 다중화 모드이고, 상기 제 2 공간 다중화 모드는 비스터어링된 공간 다중화 모드인, 데이터를 전송하는 방법.

### 청구항 24

제 23 항에 있어서,

상기 제 1 사용자 단말에 대해, MIMO 채널의 직교 공간 채널들 상으로 복수의 제 1 데이터 스트림들을 전송하기 위해 복수의 스터어링 벡터들을 이용하여 상기 복수의 제 1 데이터 스트림들을 공간적으로 처리하는 단계; 및

복수의 안테나들로부터 상기 제 2 사용자 단말로의 전송을 위한 복수의 제 2 데이터 스트림들을 제공하는 단계를 더 포함하는, 데이터를 전송하는 방법.

### 청구항 25

제 23 항에 있어서,

상기 제 1 사용자 단말에 의해 전송되는 복수의 제 1 데이터 스트림들의 추정들을 얻기 위해 복수의 고유 벡터(eigenvector)들을 이용하여 복수의 제 1 수신 심볼 스트림들에 대해 수신기 공간 처리를 실행하는 단계; 및

상기 제 2 사용자 단말에 의해 전송되는 복수의 제 2 데이터 스트림들의 추정들을 얻기 위해 공간 필터에 따라 복수의 제 2 수신 심볼 스트림들에 대해 수신기 공간 처리를 실행하는 단계를 더 포함하는, 데이터를 전송하는 방법.

### 청구항 26

제 23 항에 있어서,

상기 제 1 사용자 단말을 위해 제 1 MIMO 채널의 제 1 복수의 공간 채널들을 통해 전송될 제 1 복수의 데이터 스트림들에 대한 제 1 복수의 레이트들을 선택하는 단계; 및

상기 제 2 사용자 단말을 위해 제 2 MIMO 채널의 제 2 복수의 공간 채널들을 통해 전송될 제 2 복수의 데이터 스트림들에 대한 제 2 복수의 레이트들을 선택하는 단계를 더 포함하고,

상기 제 1 사용자 단말은 상기 제 1 복수의 레이트들을 이용하여 추가로 스케줄링되고, 상기 제 2 사용자 단말은 상기 제 2 복수의 레이트들을 이용하여 스케줄링되는, 데이터를 전송하는 방법.

**청구항 27**

무선 다중-액세스 다중-입력 다중-출력(multiple-input multiple-output, MIMO) 통신 시스템의 장치로서:

제 1 전송 구간에서의 데이터 전송을 위해 제 1 사용자 단말을 선택하고, 제 2 전송 구간에서의 데이터 전송을 위해 제 2 사용자 단말을 선택하도록 동작하는 사용자 선택기;

상기 제 1 사용자 단말에 이용할 제 1 공간 다중화 모드를 선택하고, 상기 제 2 사용자 단말에 이용할 제 2 공간 다중화 모드를 선택하도록 동작하는 모드 선택기; 및

상기 제 1 전송 구간에서의 데이터 전송을 위해 상기 제 1 공간 다중화 모드를 이용하여 상기 제 1 사용자 단말을 스케줄링하고, 상기 제 2 전송 구간에서의 데이터 전송을 위해 상기 제 2 공간 다중화 모드를 이용하여 상기 제 2 사용자 단말을 스케줄링하도록 동작하는 스케줄러를 포함하는, 통신 시스템의 장치.

**청구항 28**

제 27 항에 있어서,

상기 제 1 공간 다중화 모드는 스티어링된 공간 다중화 모드이고, 상기 제 2 공간 다중화 모드는 비스티어링된 공간 다중화 모드인, 통신 시스템의 장치.

**청구항 29**

제 28 항에 있어서,

상기 제 1 사용자 단말을 위해, MIMO 채널의 직교 공간 채널들 상으로 제 1 복수의 데이터 스트림들을 전송하기 위해 복수의 스티어링 벡터들을 이용하여 상기 제 1 복수의 데이터 스트림들을 공간적으로 처리하고, 복수의 안테나들로부터 상기 제 2 사용자 단말로의 전송을 위한 제 2 복수의 데이터 스트림들을 제공하도록 동작하는 송신 공간 프로세서를 더 포함하는, 통신 시스템의 장치.

**청구항 30**

제 28 항에 있어서,

상기 제 1 사용자 단말에 의해 전송되는 제 1 복수의 데이터 스트림들의 추정들을 얻기 위해 복수의 고유 벡터들을 이용하여 제 1 복수의 수신 심볼 스트림들에 대해 수신기 공간 처리를 실행하고, 상기 제 2 사용자 단말에 의해 전송되는 제 2 복수의 데이터 스트림들의 추정들을 얻기 위해 공간 필터에 따라 제 2 복수의 수신 심볼 스트림들에 대해 수신기 공간 처리를 실행하도록 동작하는 수신 공간 프로세서를 더 포함하는, 통신 시스템의 장치.

**청구항 31**

무선 다중-액세스 다중-입력 다중-출력(multiple-input multiple-output, MIMO) 통신 시스템의 장치로서:

제 1 전송 구간에서의 데이터 전송을 위해 제 1 사용자 단말을 선택하기 위한 수단;

상기 제 1 사용자 단말에 이용할 제 1 공간 다중화 모드를 선택하기 위한 수단;

제 2 전송 구간에서의 데이터 전송을 위해 제 2 사용자 단말을 선택하기 위한 수단;

상기 제 2 사용자 단말에 이용할 제 2 공간 다중화 모드를 선택하기 위한 수단;

상기 제 1 전송 구간에서의 데이터 전송을 위해 상기 제 1 공간 다중화 모드를 이용하여 상기 제 1 사용자 단말을 스케줄링하기 위한 수단; 및

상기 제 2 전송 구간에서의 데이터 전송을 위해 상기 제 2 공간 다중화 모드를 이용하여 상기 제 2 사용자 단말을 스케줄링하기 위한 수단을 포함하는, 통신 시스템의 장치.

**청구항 32**

제 31 항에 있어서,

상기 제 1 공간 다중화 모드는 스티어링된 공간 다중화 모드이고, 상기 제 2 공간 다중화 모드는 비스티어링된

공간 다중화 모드인, 통신 시스템의 장치.

### 청구항 33

제 32 항에 있어서,

상기 제 1 사용자 단말을 위해, MIMO 채널의 직교 공간 채널들 상으로 제 1 복수의 데이터 스트림들을 전송하기 위해 복수의 스티어링 벡터들을 이용하여 상기 제 1 복수의 데이터 스트림들을 공간적으로 처리하기 위한 수단; 및

복수의 안테나들로부터 상기 제 2 사용자 단말로의 전송을 위한 제 2 복수의 데이터 스트림들을 제공하기 위한 수단을 더 포함하는, 통신 시스템의 장치.

### 청구항 34

제 32 항에 있어서,

상기 제 1 사용자 단말에 의해 전송되는 제 1 복수의 데이터 스트림들의 추정들을 얻기 위해 복수의 고유 벡터들을 이용하여 제 1 복수의 수신 심볼 스트림들에 대해 수신기 공간 처리를 실행하기 위한 수단; 및

상기 제 2 사용자 단말에 의해 전송되는 제 2 복수의 데이터 스트림들의 추정들을 얻기 위해 공간 필터에 따라 제 2 복수의 수신 심볼 스트림들에 대해 수신기 공간 처리를 실행하기 위한 수단을 더 포함하는, 통신 시스템의 장치.

### 청구항 35

무선 다중-입력 다중-출력(multiple-input multiple-output, MIMO) 통신 시스템에서 데이터를 전송하는 방법으로서:

제 1 복수의 데이터 심볼 스트림들을 얻기 위해 제 1 복수의 데이터 스트림들을 코딩 및 변조하는 단계;

스티어링된(steered) 공간 다중화 모드를 이용하여, 제 1 전송 구간에서 복수의 안테나들로부터 제 1 사용자 단말로의 전송을 위한 제 1 복수의 전송 심볼 스트림들을 얻기 위해 제 1 복수의 스티어링 벡터들로써 상기 제 1 복수의 데이터 심볼 스트림들을 공간적으로 처리하는 단계;

제 2 복수의 데이터 심볼 스트림들을 얻기 위해 제 2 복수의 데이터 스트림들을 코딩 및 변조하는 단계; 및

비-스티어링된 공간 다중화 모드를 이용하여, 제 2 전송 구간에서 상기 복수의 안테나들로부터 제 2 사용자 단말로의 전송을 위해 제 2 복수의 전송 심볼 스트림들로서 상기 제 2 복수의 데이터 심볼 스트림들을 제공하는 단계를 포함하는, 데이터를 전송하는 방법.

### 청구항 36

제 35 항에 있어서,

상기 제 1 복수의 데이터 스트림들이 상기 제 1 사용자 단말에 대해 제 1 MIMO 채널의 복수의 직교 공간 채널들 상으로 전송되도록 상기 제 1 복수의 스티어링 벡터들을 유도하는 단계를 더 포함하는, 데이터를 전송하는 방법.

### 청구항 37

제 35 항에 있어서,

제 3 복수의 데이터 심볼 스트림들을 얻기 위해 제 3 복수의 데이터 스트림들을 코딩 및 변조하는 단계; 및

제 3 전송 구간에서 상기 복수의 안테나들로부터 복수의 사용자 단말들로의 전송을 위한 제 3 복수의 전송 심볼 스트림들을 얻기 위해 제 2 복수의 스티어링 벡터들을 이용하여 상기 제 3 복수의 데이터 심볼 스트림들을 공간적으로 처리하는 단계를 더 포함하는, 데이터를 전송하는 방법.

### 청구항 38

제 37 항에 있어서,

상기 제 3 복수의 데이터 스트림들이 크로스토크가 억제된 상태로 상기 복수의 사용자 단말들에서 수신되도록 상기 제 2 복수의 스티어링 벡터들을 유도하는 단계를 더 포함하는, 데이터를 전송하는 방법.

#### 청구항 39

무선 다중-입력 다중-출력(multiple-input multiple-output, MIMO) 통신 시스템의 장치로서:

제 1 복수의 데이터 심볼 스트림들을 얻기 위해 제 1 복수의 데이터 스트림들을 코딩 및 변조하고, 제 2 복수의 데이터 심볼 스트림들을 얻기 위해 제 2 복수의 데이터 스트림들을 코딩 및 변조하도록 동작하는 송신 데이터 프로세서; 및

스티어링된(steered) 공간 다중화 모드를 이용하여, 제 1 전송 구간에서 복수의 안테나들로부터 제 1 사용자 단말로의 전송을 위한 제 1 복수의 전송 심볼 스트림들을 얻기 위해 제 1 복수의 스티어링 벡터들로써 상기 제 1 복수의 데이터 심볼 스트림들을 공간적으로 처리하고, 비-스티어링된(non-steered) 공간 다중화 모드를 이용하여, 제 2 전송 구간에서 상기 복수의 안테나들로부터 제 2 사용자 단말로의 전송을 위한 제 2 복수의 전송 심볼 스트림들로서 상기 제 2 복수의 데이터 심볼 스트림들을 제공하도록 동작하는 송신 공간 프로세서를 포함하는, 통신 시스템의 장치.

#### 청구항 40

무선 다중-입력 다중-출력(multiple-input multiple-output, MIMO) 통신 시스템에서 데이터를 수신하는 방법으로서:

스티어링된(steered) 공간 다중화 모드를 이용하여, 제 1 복수의 복원된 데이터 심볼 스트림들을 얻기 위해 제 1 복수의 수신된 심볼 스트림들을 처리하는 단계;

제 1 복수의 디코딩된 데이터 스트림들을 얻기 위해 제 1 복수의 레이트들에 따라 상기 제 1 복수의 복원된 데이터 심볼 스트림들을 복조 및 디코딩하는 단계;

비-스티어링된(non-steered) 공간 다중화 모드를 이용하여, 제 2 복수의 복원된 데이터 심볼 스트림들을 얻기 위해 제 2 복수의 수신된 심볼 스트림들을 처리하는 단계; 및

제 2 복수의 디코딩된 데이터 스트림들을 얻기 위해 제 2 복수의 레이트들에 따라 상기 제 2 복수의 복원된 데이터 심볼 스트림들을 복조 및 디코딩하는 단계를 포함하는, 데이터를 수신하는 방법.

#### 청구항 41

제 40 항에 있어서,

상기 제 1 복수의 수신된 심볼 스트림들은 사용자 단말에 대한 MIMO 채널의 복수의 공간 채널들에 대한 복수의 고유 벡터들을 이용하여 공간적으로 처리되는, 데이터를 수신하는 방법.

#### 청구항 42

삭제

#### 청구항 43

제 40 항에 있어서,

상기 제 2 복수의 디코딩된 데이터 스트림들은 단일 사용자 단말에 의해 전송되는 복수의 데이터 스트림들의 추정들인, 데이터를 수신하는 방법.

#### 청구항 44

제 40 항에 있어서,

상기 제 2 복수의 디코딩된 데이터 스트림들은 복수의 사용자 단말들에 의해 동시에 전송되는 복수의 데이터 스트림들의 추정들인, 데이터를 수신하는 방법.

#### 청구항 45

제 40 항에 있어서,

상기 제 2 복수의 수신된 심볼 스트림들은 채널 상관 행렬 인버전(channel correlation matrix inversion:CCMI) 기법을 기반으로 하여 공간적으로 처리되는, 데이터를 수신하는 방법.

#### 청구항 46

제 40 항에 있어서,

상기 제 2 복수의 수신된 심볼 스트림들은 최소 평균 제곱 오차(minimum mean square error:MMSE) 기법을 기반으로 하여 공간적으로 처리되는, 데이터를 수신하는 방법.

#### 청구항 47

제 40 항에 있어서,

상기 제 2 복수의 수신된 심볼 스트림들은 연속 간섭 소거(successive interference cancellation:SIC) 기법을 기반으로 하여 공간적으로 처리되는, 데이터를 수신하는 방법.

#### 청구항 48

무선 다중-입력 다중-출력(multiple-input multiple-output, MIMO) 통신 시스템의 장치로서:

스티어링된(steered) 공간 다중화 모드를 이용하여, 제 1 복수의 복원된 데이터 심볼 스트림들을 얻기 위해 제 1 복수의 수신된 심볼 스트림들을 처리하고, 비-스티어링된(non-steered) 공간 다중화 모드를 이용하여, 제 2 복수의 복원된 데이터 심볼 스트림들을 얻기 위해 복수의 제 2 수신된 심볼 스트림들을 처리하도록 동작하는 수신 공간 프로세서; 및

제 1 복수의 디코딩된 데이터 스트림들을 얻기 위해 제 1 복수의 레이트들에 따라 상기 제 1 복수의 복원된 데이터 심볼 스트림들을 복조 및 디코딩하고, 제 2 복수의 디코딩된 데이터 스트림들을 얻기 위해 제 2 복수의 레이트들에 따라 상기 제 2 복수의 복원된 데이터 심볼 스트림들을 복조 및 디코딩하도록 동작하는 수신 데이터 프로세서를 포함하는, 통신 시스템의 장치.

#### 청구항 49

무선 다중-입력 다중-출력(multiple-input multiple-output, MIMO) 통신 시스템에서 데이터를 전송하는 장치로서:

제 1 복수의 데이터 심볼 스트림들을 획득하기 위해 제 1 복수의 데이터 스트림들을 코딩 및 변조하기 위한 수단;

스티어링된(steered) 공간 다중화 모드를 이용하여, 제 1 전송 인터벌에서의 복수의 안테나들로부터 제 1 사용자 단말로의 전송을 위한 제 1 복수의 전송 심볼 스트림들을 획득하기 위해 제 1 복수의 스티어링 벡터들로써 상기 제 1 복수의 데이터 심볼 스트림들을 공간적으로 처리하기 위한 수단;

제 2 복수의 데이터 심볼 스트림들을 획득하기 위해 제 2 복수의 데이터 스트림들을 코딩 및 변조하기 위한 수단; 및

비-스티어링된(non-steered) 공간 다중화 모드를 이용하여, 제 2 전송 인터벌에서의 상기 복수의 안테나들로부터 제 2 사용자 단말로의 전송을 위한 제 2 복수의 전송 심볼 스트림들로서 상기 제 2 복수의 데이터 심볼 스트림들을 제공하기 위한 수단을 포함하는, 데이터를 전송하는 장치.

#### 청구항 50

제 49 항에 있어서,

상기 제 1 복수의 데이터 스트림들이 상기 제 1 사용자 단말에 대한 제 1 MIMO 채널의 복수의 직교 공간 채널들 상에서 전송되도록 상기 제 1 복수의 스티어링 벡터들을 유도하기 위한 수단을 더 포함하는, 데이터를 전송하는 장치.

#### 청구항 51

제 49 항에 있어서,

제 3 복수의 데이터 심볼 스트림들을 획득하기 위해 제 3 복수의 데이터 스트림들을 코딩 및 변조하기 위한 수단; 및

제 3 전송 인터벌에서의 상기 복수의 사용자 단말들로의 전송을 위한 제 3 복수의 전송 심볼 스트림들을 획득하기 위해 제 2 복수의 스티어링 벡터들로써 상기 제 3 복수의 데이터 심볼 스트림들을 공간적으로 처리하기 위한 수단을 더 포함하는, 데이터를 전송하는 장치.

#### 청구항 52

저장된 명령들의 세트를 포함하는 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체(computer readable medium)로서, 상기 명령들의 세트는 하나 이상의 프로세서들에 의해 실행가능하며, 상기 명령들의 세트는:

제 1 복수의 데이터 심볼 스트림들을 획득하기 위해 제 1 복수의 데이터 스트림들을 코딩 및 변조하기 위한 명령들;

스티어링된(steered) 공간 다중화 모드를 이용하여, 제 1 전송 인터벌에서의 복수의 안테나들로부터 제 1 사용자 단말로의 전송을 위한 제 1 복수의 전송 심볼 스트림들을 획득하기 위해 제 1 복수의 스티어링 벡터들로써 상기 제 1 복수의 데이터 심볼 스트림들을 공간적으로 처리하기 위한 명령들;

제 2 복수의 데이터 심볼 스트림들을 획득하기 위해 제 2 복수의 데이터 스트림들을 코딩 및 변조하기 위한 명령들; 및

비-스티어링된(non-steered) 공간 다중화 모드를 이용하여, 제 2 전송 인터벌에서의 상기 복수의 안테나들로부터 제 2 사용자 단말로의 전송을 위한 제 2 복수의 전송 심볼 스트림들로서 상기 제 2 복수의 데이터 심볼 스트림들을 제공하기 위한 명령들을 포함하는, 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체.

#### 청구항 53

제 52 항에 있어서,

상기 제 1 복수의 데이터 스트림들이 상기 제 1 사용자 단말에 대한 제 1 MIMO 채널의 복수의 직교 공간 채널들 상으로 전송되도록 상기 제 1 복수의 스티어링 벡터들을 유도하기 위한 명령들을 더 포함하는, 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체.

#### 청구항 54

제 52 항에 있어서,

제 3 복수의 데이터 심볼 스트림들을 획득하기 위해 제 3 복수의 데이터 스트림들을 코딩 및 변조하기 위한 명령들; 및

제 3 전송 인터벌에서의 상기 복수의 사용자 단말들로부터 복수의 사용자 단말들로의 전송을 위한 제 3 복수의 전송 심볼 스트림들을 획득하기 위해 제 2 복수의 스티어링 벡터들을 이용하여 상기 제 3 복수의 데이터 심볼 스트림들을 공간적으로 처리하기 위한 명령들을 더 포함하는, 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체.

#### 청구항 55

무선 다중-입력 다중-출력(MIMO) 통신 시스템에서 데이터를 수신하는 장치로서:

스티어링된(steered) 공간 다중화 모드를 이용하여, 제 1 복수의 복원된 데이터 심볼 스트림들을 획득하기 위해 제 1 복수의 수신된 심볼 스트림들을 처리하기 위한 수단;

제 1 복수의 디코딩된 데이터 스트림들을 획득하기 위해 제 1 복수의 레이트들에 따라 상기 제 1 복수의 복원된 데이터 심볼 스트림들을 복조 및 디코딩하기 위한 수단;

비-스티어링된 공간 다중화 모드를 이용하여, 제 2 복수의 복원된 데이터 심볼 스트림들을 획득하기 위해 제 2 복수의 수신된 심볼 스트림들을 처리하기 위한 수단; 및

제 2 복수의 디코딩된 데이터 스트림들을 획득하기 위해 제 2 복수의 레이트들에 따라 상기 제 2 복수의 복원된

데이터 심볼 스트림들을 복조 및 디코딩하기 위한 수단을 포함하는, 데이터를 수신하는 장치.

### 청구항 56

제 55 항에 있어서,

상기 제 1 복수의 수신된 심볼 스트림들은 사용자 단말에 대한 MIMO 채널의 복수의 공간 채널들에 대한 복수의 고유벡터(eigenvector)들을 이용하여 공간적으로 처리되는, 데이터를 수신하는 장치.

### 청구항 57

저장된 명령들의 세트를 포함하는 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체로서, 상기 명령들의 세트는 하나 이상의 프로세서들에 의해 실행가능하며, 상기 명령들의 세트는:

스티어링된(steered) 공간 다중화 모드를 이용하여, 제 1 복수의 복원된 데이터 심볼 스트림들을 획득하기 위해 제 1 복수의 수신된 심볼 스트림들을 처리하기 위한 명령들;

제 1 복수의 디코딩된 데이터 스트림들을 획득하기 위해 제 1 복수의 레이트들에 따라 상기 제 1 복수의 복원된 데이터 심볼 스트림들을 복조 및 디코딩하기 위한 명령들;

비-스티어링된(non-steered) 공간 다중화 모드를 이용하여, 제 2 복수의 복원된 데이터 심볼 스트림들을 획득하기 위해 제 2 복수의 수신된 심볼 스트림들을 처리하기 위한 명령들; 및

제 2 복수의 디코딩된 데이터 스트림들을 획득하기 위해 제 2 복수의 레이트들에 따라 상기 제 2 복수의 복원된 데이터 심볼 스트림들을 복조 및 디코딩하기 위한 명령들을 포함하는, 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체.

### 청구항 58

제 57 항에 있어서,

상기 제 1 복수의 수신된 심볼 스트림들은 사용자 단말에 대한 MIMO 채널의 복수의 공간 채널들에 대한 복수의 고유벡터들을 이용하여 공간적으로 처리되는, 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체.

### 청구항 59

제 39 항에 있어서,

상기 제 1 복수의 데이터 스트림들이 상기 제 1 사용자 단말에 대한 제 1 MIMO 채널의 복수의 직교 공간 채널들 상으로 전송되도록 상기 제 1 복수의 스티어링 벡터들을 유도하도록 동작하는 프로세서를 더 포함하는, 통신 시스템의 장치.

### 청구항 60

제 39 항에 있어서,

상기 송신 데이터 프로세서는 또한 제 3 복수의 데이터 심볼 스트림들을 획득하기 위해 제 3 복수의 데이터 스트림들을 코딩 및 변조하도록 동작하고; 그리고

상기 송신 공간 프로세서는 또한, 스티어링된(steered) 공간 다중화 모드를 이용하여, 제 3 전송 인터벌에서의 상기 복수의 안테나들로부터 복수의 사용자 단말들로의 전송을 위한 제 3 복수의 전송 심볼 스트림들을 획득하기 위해 제 2 복수의 스티어링 벡터들로써 상기 제 3 복수의 데이터 심볼 스트림들을 공간적으로 처리하도록 동작하는, 통신 시스템의 장치.

### 청구항 61

제 60 항에 있어서,

상기 제 3 복수의 데이터 스트림들이 상기 복수의 사용자 단말들에서 크로스토크(crosstalk)가 억제되어 수신되도록 상기 제 2 복수의 스티어링 벡터들을 유도하도록 동작하는 프로세서를 더 포함하는, 통신 시스템의 장치.

### 청구항 62

제 51 항에 있어서,

상기 제 3 복수의 데이터 스트림들이 상기 복수의 사용자 단말들에서 크로스토크가 억제되어 수신되도록 상기 제 2 복수의 스티어링 백터들을 유도하기 위한 수단을 더 포함하는, 데이터를 전송하는 장치.

#### 청구항 63

제 54 항에 있어서,

상기 제 3 복수의 데이터 스트림들이 상기 복수의 사용자 단말들에서 크로스토크가 억제되어 수신되도록 상기 제 2 복수의 스티어링 백터들을 유도하기 위한 명령들을 더 포함하는, 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체.

#### 청구항 64

제 48 항에 있어서,

상기 제 1 복수의 수신된 심볼 스트림들은 사용자 단말에 대한 MIMO 채널의 복수의 공간 채널들에 대한 복수의 고유백터들을 이용하여 공간적으로 처리되는, 통신 시스템의 장치.

#### 청구항 65

제 48 항에 있어서,

상기 제 2 복수의 디코딩된 데이터 스트림들은 단일 사용자 단말에 의해 전송되는 복수의 데이터 스트림들의 추정들인, 통신 시스템의 장치.

#### 청구항 66

제 48 항에 있어서,

상기 제 2 복수의 디코딩된 데이터 스트림들은 복수의 사용자 단말들에 의해 동시에 전송되는 복수의 데이터 스트림들의 추정들인, 통신 시스템의 장치.

#### 청구항 67

제 48 항에 있어서,

상기 제 2 복수의 수신된 심볼 스트림들은 채널 상관 행렬 인버전(CCMI) 기법에 기초하여 공간적으로 처리되는, 통신 시스템의 장치.

#### 청구항 68

제 48 항에 있어서,

상기 제 2 복수의 수신된 심볼 스트림들은 최소 평균 제곱 오차(MMSE) 기법에 기초하여 공간적으로 처리되는, 통신 시스템의 장치.

#### 청구항 69

제 48 항에 있어서,

상기 제 2 복수의 수신된 심볼 스트림들은 연속 간섭 소거(SIC) 기법에 기초하여 공간적으로 처리되는, 통신 시스템의 장치.

#### 청구항 70

제 55 항에 있어서,

상기 제 2 복수의 디코딩된 데이터 스트림들은 단일 사용자 단말에 의해 전송되는 복수의 데이터 스트림들의 추정들인, 데이터를 수신하는 장치.

#### 청구항 71

제 55 항에 있어서,

상기 제 2 복수의 디코딩된 데이터 스트림들은 복수의 사용자 단말들에 의해 동시에 전송되는 복수의 데이터 스트림들의 추정들인, 데이터를 수신하는 장치.

#### 청구항 72

제 55 항에 있어서,

상기 제 2 복수의 수신된 심볼 스트림들은 채널 상관 행렬 인버전(CCMI) 기법에 기초하여 공간적으로 처리되는, 데이터를 수신하는 장치.

#### 청구항 73

제 55 항에 있어서,

상기 제 2 복수의 수신된 심볼 스트림들은 최소 평균 제곱 오차(MMSE) 기법에 기초하여 공간적으로 처리되는, 데이터를 수신하는 장치.

#### 청구항 74

제 55 항에 있어서,

상기 제 2 복수의 수신된 심볼 스트림들은 연속 간섭 소거(SIC) 기법에 기초하여 공간적으로 처리되는, 데이터를 수신하는 장치.

#### 청구항 75

제 57 항에 있어서,

상기 제 2 복수의 디코딩된 데이터 스트림들은 단일 사용자 단말에 의해 전송되는 복수의 데이터 스트림들의 추정들인, 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체.

#### 청구항 76

제 57 항에 있어서,

상기 제 2 복수의 디코딩된 데이터 스트림들은 복수의 사용자 단말들에 의해 동시에 전송되는 복수의 데이터 스트림들의 추정들인, 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체.

#### 청구항 77

제 57 항에 있어서,

상기 제 2 복수의 수신된 심볼 스트림들은 채널 상관 행렬 인버전(CCMI) 기법에 기초하여 공간적으로 처리되는, 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체.

#### 청구항 78

제 57 항에 있어서,

상기 제 2 복수의 수신된 심볼 스트림들은 최소 평균 제곱 오차(MMSE) 기법에 기초하여 공간적으로 처리되는, 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체.

#### 청구항 79

제 57 항에 있어서,

상기 제 2 복수의 수신된 심볼 스트림들은 연속 간섭 소거(SIC) 기법에 기초하여 공간적으로 처리되는, 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체.

## 명세서

## 기술 분야

[0001]

본 출원은 "MIMO WLAN System"이란 명칭으로 2002년 10월 25일 출원된 미국 출원 No. 60/421,309를 우선권으로 청구하는데, 상기 출원은 본 발명의 양수인에게 양도되었으며, 본 명세서에 참조된다.

본 발명은 통신에 관한 것으로서, 특히, 다중 전송 모드를 갖는 다중입력 다중출력(Multiple-Input Multiple-Output:MIMO) 통신 시스템에 관한 것이다.

## 배경기술

[0002]

MIMO 시스템은 데이터 전송을 위해  $N_T$ 개의 다중 송신 안테나 및  $N_R$ 개의 다중 수신 안테나를 채용하는 시스템으로서 ( $N_T, N_R$ ) 시스템이라 한다. 상기  $N_T$ 개의 다중 송신 안테나 및 상기  $N_R$ 개의 다중 수신 안테나에 의해 형성되는 MIMO 채널은  $N_S$ 개의 공간 채널들로 구분될 수 있으며,  $N_S \leq \min\{N_T, N_R\}$ 이다. 상기  $N_S$ 개의 공간 채널들은 전체적인 스루풋(throughput)의 향상을 위해  $N_S$ 개의 독립 데이터 스트림들을 송신하는 데 이용될 수 있다. 일반적으로, 공간 처리는 송신기에서 실행될 수도 있고 실행되지 않을 수도 있으며, 상기 공간 처리는 다수의 데이터 스트림들을 동시에 송신하거나 복원하기 위해 수신기에서 통상적으로 실행된다.

[0003]

종래의 MIMO 시스템은 다수의 데이터 스트림을 동시에 송신하기 위해 특정한 전송 방법을 이용한다. 이 전송 방법은 시스템 요구사항, 상기 수신기로부터 상기 송신기로의 피드백 분량, 상기 송신기와 수신기의 성능과 같은 다양한 요소들의 교환에 기반하여 선택될 수 있다. 상기 송신기, 수신기 및 시스템은 상기 선택된 전송 방법을 지원하고 그에 따라 동작하도록 설계된다. 상기 전송 방법은 전형적으로 시스템 성능에 영향을 미칠 수 있는 양호한 특징 및 양호하지 않은 특징을 다 가지고 있다.

[0004]

따라서, 성능을 향상시킬 수 있는 MIMO 시스템에 대한 필요가 증대하고 있다.

## 발명의 상세한 설명

[0005]

향상된 성능 및 더 나은 유연성을 위한 다중 공간 다중화 모드를 지원하는 MIMO 시스템에 대해 설명된다. 공간 다중화는 MIMO 채널의 다중 공간 채널을 통한 다수의 데이터 스트림의 동시 전송을 나타낸다. 상기 다중 공간 다중화 모드는 (1) 다수의 데이터 스트림을 직교 공간 채널을 통해 단일 수신기로 전송하는 단일 사용자 스터링 모드, (2) 송신기에서의 공간 처리없이 다수의 데이터 스트림을 다중 안테나로부터 단일 수신기로 전송하는 단일 사용자 비스터링 모드, (3) 송신기에서의 공간 처리를 통해 다수의 데이터 스트림을 다중 수신기로 동시에 전송하는 복수 사용자 스터링 모드 및 (4) 송신기에서의 공간 처리없이 다수의 데이터 스트림을 다중 안테나(동일 장소에 배치되거나 배치되지 않은)로부터 다중 안테나를 갖는 수신기(들)로 전송하는 복수 사용자 비스터링 모드를 포함할 수 있다.

[0006]

적어도 하나의 사용자 단말 세트가 하향링크 및/또는 상향링크를 통한 데이터의 전송을 위해 선택된다. 공간 다중화 모드가 상기 시스템에 의해 지원되는 다중 공간 다중화 모드들 중에서 상기 사용자 단말을 위해 선택된다. 또한, 다중 레이트가 상기 사용자 단말 세트를 위한 MIMO 채널의 다중 공간 채널을 통해 전송될 다수의 데이터 스트림에 대해 선택된다. 상기 사용자 단말 세트는 상기 선택된 레이트 및 공간 다중화 모드를 이용하여 하향링크 및/또는 상향링크를 통한 데이터의 전송을 위해 스케줄링된다. 이후, 다수의 데이터 스트림은 상기 선택된 레이트에 따라 처리(예컨대, 코딩, 인터리빙 및 변조)된 후, 다중 공간 채널을 통해 전송되기 위해 상기 선택된 공간 다중화 모드에 따라 공간적으로 처리된다.

[0007]

본 발명의 다양한 관점 및 실시예들이 이하 상세히 설명된다.

## 실시예

[0022]

본 발명에서 사용되는 "예시(exemplary)"라는 단어는 보기로서 제공된 것을 의미한다. 본 발명에서 "예시"로서 설명된 실시예가 항상 다른 실시예들보다 바람직하거나 이로운 것으로 해석되는 것은 아니다.

[0023]

MIMO 시스템은 데이터를 전송하기 위해 단일 반송파 또는 다중 반송파를 이용할 수 있다. 다중 반송파는 직교주파수 분할 다중(OFDM) 방식, 다른 복수 반송파 변조 기법 또는 다른 구성에 의해 제공될 수 있다. OFDM 방식은 전체 시스템 대역폭을 톤(tone), 빈(bin), 반송파 및 주파수 채널로 공통적으로 지정되는  $N_F$ 개의 직교 서브 대역으로 효과적으로 나눌 수 있다. OFDM 방식을 이용하여 각 서브 대역은 데이터로 변조될 수 있는 각각의 반송

과와 연관된다. OFDM 방식을 이용하는 MIMO 시스템에 대해 설명한다. 그러나, 본 발명에서 설명된 개념은 단일 반송과 MIMO 시스템에도 동등하게 적용될 수 있다.

[0024] 상기 MIMO 시스템은 성능의 향상 및 더 나은 유연성(flexibility)을 위해 다중 공간 다중화 모드(multiple spatial multiplexing mode)를 지원한다. 표 1은 지원되는 공간 다중화 모드 및 그에 대한 간략한 설명을 나타낸다.

표 1

| 공간 다중화 모드                  | 설명   |
|----------------------------|--|
| 스티어링된(steered) 단일 사용자      | 다수의 데이터 스트림이 직교 공간 채널을 통해 단일 수신기로 전송됨  |
| 비스티어링된(non-steered) 단일 사용자 | 다수의 데이터 스트림이 송신기에서의 공간 처리없이 다중 안테나로부터 단일 수신기로 전송됨  |
| 스티어링된 복수 사용자               | 다수의 데이터 스트림이 단일 송신기로부터 다중 수신기로 동시에 전송되거나(1) 또는 단일 송신기로부터 단일 수신기로 동시에 전송되며(2), 이 두 가지 경우 모두 상기 송신기에서 공간 처리가 수행됨.    |
| 비스티어링된 복수 사용자              | 다수의 데이터 스트림이 다중 송신기로부터 단일 수신기로 동시에 전송되거나(1) 또는 단일 송신기로부터 다중 수신기로 동시에 전송됨(2), 이 두 가지 경우 모두 상기 송신기에서 공간 처리가 수행되지 않음. |

[0026] 또한, 상기 MIMO 시스템은 본 발명의 범주내에서 다른 공간 다중화 모드를 지원할 수 있다.

[0027] 각 공간 다중화 모드는 서로 다른 기능(capability) 및 요구를 갖는다. 스티어링된 공간 다중화 모드는 전형적으로 더 나은 성능을 획득할 수 있지만, 상기 송신기가 분해 또는 다른 기법을 통해 상기 공간 채널들을 직교화시키기 위해 충분한 채널 상태 정보를 갖는 경우에만 이용될 수 있다. 반대로, 스티어링되지 않은 공간 다중화 모드는 다수의 데이터 스트림을 동시에 송신하기 위해 매우 적은 정보를 필요로 하지만, 그 성능이 상기 스티어링된 공간 다중화 모드에 미치지 못한다. 따라서, 이용가능한 채널 상태 정보, 상기 송신기와 수신기의 성능, 시스템 요구사항 등에 따라 적당한 공간 다중화 모드가 선택되어 사용될 수 있다. 이하, 각 공간 다중화 모드에 대해 설명하기로 한다.

### 1. 단일 사용자 스티어링된 공간 다중화 모드

[0029]  $N_T$ 개의 송신 안테나 및  $N_R$ 개의 수신 안테나에 의해 형성된 주파수 선택 MIMO 시스템 채널은  $N_F$ 개의 주파수 영역 채널 응답 행렬  $H(k)$  ( $k=1 \dots N_F$ )에 의해 특징지어질 수 있으며, 각 행렬은  $(N_R \times N_T)$ 의 차원을 갖는다. 각 서브 대역에 대한 상기 채널 응답 행렬  $H(k)$ 은 다음의 수학식 1)과 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 1

$$\underline{H}(k) = \begin{bmatrix} h_{1,1}(k) & h_{1,2}(k) & \cdots & h_{1,N_T}(k) \\ h_{2,1}(k) & h_{2,2}(k) & \cdots & h_{2,N_T}(k) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N_R,1}(k) & h_{N_R,2}(k) & \cdots & h_{N_R,N_T}(k) \end{bmatrix}$$

[0031] 수학식 1)에서, 성분(entry)  $h_{i,j}(k)$  ( $i=1 \dots N_R$ ,  $j=1 \dots N_T$ 이고  $k=1 \dots N_F$ )는 서브 대역  $k$ 에 대한 송신 안테나  $j$  및 수신 안테나  $i$  간의 커플링 (즉, 복소 이득)을 나타낸다.

[0032] 각 서브 대역에 대한 상기 채널 응답 행렬  $H(k)$ 은 상기 서브 대역에 대한  $N_S$ 개의 고유 모드를 얻기 위해 대각선화될 수 있다. 이러한 대각선화는 상기 채널 응답 행렬  $H(k)$ 의 특이치 분해(singular value decomposition) 또는  $H(k)$ 의 상관 행렬(correlation matrix)의 고유값 분해(eigenvalue decomposition)를 실행함으로써 획득될

수 있다. 상기 상관 행렬  $\underline{R}(k)=\underline{H}^H(k)\underline{H}(k)$ 이며, 위첨자 "H"는 공액 전치 (conjugate transpose)를 나타낸다.

[0033] 각 서브 대역에 대한 상기 채널 응답 행렬  $\underline{H}(k)$ 의 특이치 분해는 다음의 수학식 2)와 같이 표현될 수 있다.

## 수학식 2

$$\underline{H}(k) = \underline{U}(k)\underline{\Sigma}(k)\underline{V}^H(k)$$

[0035] 수학식 2)에서,  $\underline{U}(k)$ 는  $\underline{H}(k)$ 의 좌측 고유벡터의  $(N_R \times N_R)$  유니터리 행렬이고,  $\underline{\Sigma}(k)$ 는  $\underline{H}(k)$ 의 특이치의  $(N_R \times N_R)$  대각 행렬이며,  $\underline{V}(k)$ 는  $\underline{H}(k)$ 의 우측 고유벡터의  $(N_T \times N_T)$  유니터리 행렬이다.

[0036] 유니터리 행렬  $\underline{M}$ 은 특성(property)  $\underline{M}^H\underline{M}=I$  {I는 단위(identity) 행렬}에 의해 특징지어진다. 유니터리 행렬의 열들은 서로 직교한다.

[0037] 각 서브 대역에 대한  $\underline{H}(k)$ 의 상관 행렬의 고유값 분해는 다음의 수학식 3)과 같이 표현될 수 있다.

## 수학식 3

$$\underline{R}(k) = \underline{H}^H(k)\underline{H}(k) = \underline{V}(k)\underline{\Lambda}(k)\underline{V}^H(k)$$

[0038] 수학식 3)에서,  $\underline{\Lambda}(k)$ 는  $\underline{R}(k)$ 의 고유값의  $(N_T \times N_T)$  대각 행렬이다. 수학식 2) 및 3)에 표현된 바와 같이,  $\underline{V}(k)$ 의 열들은  $\underline{H}(k)$ 의 우측 고유벡터들일뿐만 아니라  $\underline{R}(k)$ 의 고유벡터들이다.

[0040] 특이치 분해 및 고유값 분해는 1980년 아카데미 출판사에서 출판된 2판 "Linear Algebra and Its Applications"이라는 표제의 책에서 길버트 스트랭(Gilbert Strang)에 의해 설명된다. 상기 단일 사용자 스티어링된 공간 다중화 모드는 특이치 분해 또는 고유값 분해를 이용하여 실행될 수 있다. 특히, 특이치 분해가 다음의 설명을 위해 이용된다.

[0041]  $\underline{H}(k)$ 의 우측 고유벡터는 "스티어링(steering)" 벡터로도 지칭되며  $\underline{H}(k)$ 의  $N_S$ 개의 고유모드를 통해 데이터를 전송하기 위한 송신기의 공간 처리에 이용될 수 있다.  $\underline{H}(k)$ 의 좌측 고유벡터는  $N_S$ 개의 고유모드를 통해 전송된 데이터를 복원하기 위한 수신기의 공간 처리에 이용될 수 있다. 상기 고유모드는 분해를 통해 획득되는 직교 공간 채널로 간주될 수 있다. 상기 대각 행렬  $\underline{\Lambda}(k)$ 은 대각선을 따라 음의 실수가 아닌 값 및 0을 포함한다. 이 대각 성분은  $\underline{H}(k)$ 의 특이치로 지칭되며  $\underline{H}(k)$ 의  $N_S$ 개의 고유모드에 대한 채널 이득을 나타낸다.  $\underline{H}(k)$ 의 특이치  $\{\sigma_1(k) \ \sigma_2(k) \ \dots \ \sigma_{N_S}(k)\}$ 는  $\underline{R}(k)$ 의 고유값의 제곱근  $\{\lambda_1(k) \ \lambda_2(k) \ \dots \ \lambda_{N_S}(k)\}$  ( $\sigma_i(k) = \sqrt{\lambda_i(k)}$ )이다. 특이치 분해는 상기 서브 대역에 대한  $N_S$ 개의 고유모드들을 결정하기 위해  $N_F$ 개의 서브 대역 각각에 대한 상기 채널 응답 행렬  $\underline{H}(k)$ 을 통해 독립적으로 실행될 수 있다.

[0042] 각 서브 대역에 대해, 상기 행렬  $\Sigma(k)$ 에서의 특이치들은 큰 것부터 작은 순으로 배열될 수 있으며, 상기 행렬  $V(k)$  및  $U(k)$ 에서 고유벡터들도 서로 상응하게 배열될 수 있다. "광대역" 고유 모드는 상기 배열 후의 모든  $N_F$ 개의 서브 대역들의 동일 순서 고유 모드들의 집합으로 정의될 수 있다 (즉, 광대역 고유 모드  $\underline{m}$ 는 모든 서브 대역들의 고유 모드  $\underline{m}$ 를 포함한다). 일반적으로, 모든 서브 대역들 또는  $N_F$ 개의 서브 대역들보다 적은 서브 대역들이 0의 신호값으로 채워진 미사용 서브 대역들과 함께 전송을 위해 이용될 수 있다. 설명의 단순화를 위해, 모든  $N_F$ 개의 서브 대역들이 전송을 위해 이용된다는 가정을 기초로 한다.

[0043] 상기 단일 사용자 스티어링된 공간 다중화 모드 또는 단일 사용자 스티어링 모드는 MIMO 채널의  $N_S$ 개의 고유모드들을 통해  $N_S$ 개의 데이터 심볼 스트림을 전송한다. 이는 송신기 및 수신기에 의한 공간 처리를 필요로 한다.

[0044] 상기 단일 사용자 스티어링 모드에 대한 각 서브 대역에 있어 상기 송신기에서의 공간 처리는 다음의 수학식 4)와 같이 표현될 수 있다.

## 수학식 4

$$[0045] \quad \underline{\mathbf{x}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{V}}(k) \underline{\mathbf{s}}(k)$$

[0046] 수학식 4)에서,  $\underline{\mathbf{s}}(k)$ 는 서브 대역  $k$ 에 대해  $N_s$ 개의 고유모드들을 통해 전송될  $N_s$ 개의 데이터 심볼에 대한  $N_s$ 개의 비제로 성분(non-zero entry)을 갖는 ( $N_T \times 1$ ) 벡터이다. 또한,  $\underline{\mathbf{x}}_{su-s}(k)$ 는 서브 대역  $k$ 에 대해  $N_T$ 개의 송신 안테나로부터 송신될  $N_T$ 개의 전송 심볼에 대한  $N_T$ 개의 성분을 갖는 ( $N_T \times 1$ ) 벡터이다.

[0047]  $\underline{\mathbf{s}}(k)$ 의  $N_s$ 개의 성분들은  $N_s$ 개의 데이터 심볼 스트림을 나타낼 수 있으며,  $\underline{\mathbf{s}}(k)$ 의 남은 성분들은 0으로 채워지게 된다.

[0048] 각 서브 대역에 대해 상기 수신기에 의해 획득되는 수신 심볼은 다음의 수학식 5)와 같이 표현될 수 있다.

## 수학식 5

$$[0049] \quad \underline{\mathbf{r}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{H}}(k) \underline{\mathbf{x}}_{su-s}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) = \underline{\mathbf{H}}(k) \underline{\mathbf{V}}(k) \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k)$$

[0050] 수학식 5)에서,  $\underline{\mathbf{r}}_{su-s}(k)$ 는 서브 대역  $k$ 에 대해  $N_R$ 개의 수신 안테나에 의해 획득되는  $N_R$ 개의 수신 심볼들에 대해  $N_R$ 개의 성분을 갖는 ( $N_R \times 1$ ) 벡터이며,  $\underline{\mathbf{n}}(k)$ 는 서브 대역  $k$ 에 대한 잡음 벡터이다.

[0051] 각 서브 대역에 대해 상기 데이터 벡터  $\underline{\mathbf{s}}(k)$ 를 복원하기 위한 상기 수신기에서의 공간 처리는 다음의 수학식 6)과 같이 표현될 수 있다.

## 수학식 6

$$\begin{aligned} \hat{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k) &= \underline{\Sigma}^{-1}(k) \underline{\mathbf{U}}^H(k) \underline{\mathbf{r}}_{su-s}(k) , \\ &= \underline{\Sigma}^{-1}(k) \underline{\mathbf{U}}^H(k) (\underline{\mathbf{H}}(k) \underline{\mathbf{V}}(k) \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k)) , \\ &= \underline{\Sigma}^{-1}(k) \underline{\mathbf{U}}^H(k) (\underline{\mathbf{U}}(k) \underline{\Sigma}(k) \underline{\mathbf{V}}^H(k) \underline{\mathbf{V}}(k) \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k)) , \\ &= \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{su-s}(k) , \end{aligned}$$

[0052] [0053] 또는  $\tilde{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{U}}^H(k) \underline{\mathbf{r}}_{su-s}(k)$  및  $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k) = \underline{\Sigma}^{-1}(k) \tilde{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k)$

[0054] 수학식 6)에서,  $\tilde{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k)$ 는 서브 대역  $k$ 에 대해 검출된  $N_s$ 개의 데이터 심볼을 갖는 ( $N_T \times 1$ ) 벡터이고,  $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k)$ 는 서브 대역  $k$ 에 대해 복원된  $N_s$ 개의 데이터 심볼을 갖는 ( $N_T \times 1$ ) 벡터이며,  $\underline{\mathbf{n}}_{su-s}(k)$ 는 서브 대역  $k$ 에 대해 전처리된 잡음 벡터이다.

[0055] 상기 벡터  $\tilde{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k)$ 는 데이터 벡터  $\underline{\mathbf{s}}(k)$ 의 비정규화된 추정이며, 상기 벡터  $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k)$ 는  $\underline{\mathbf{s}}(k)$ 의 정규화된 추정이다. 수학식 6)에서  $\Sigma^{-1}(k)$ 에 의한 증가는  $N_R$ 개의 공간 채널의 (다를 가능성이 있는) 이득을 설명하고 상기 수신기 공간 처리의 출력을 정규화함으로써 적당한 크기를 갖는 복원된 데이터 심볼들이 후속 처리부에 제공되도록 한다.

[0056] 상기 단일 사용자 스티어링 모드에 있어서, 각 서브 대역에 대해 상기 송신기에 이용되는 스티어링 벡터의 행렬  $\underline{\mathbf{E}}_{su-s}(k)$ 은 다음의 수학식 7)과 같이 표현될 수 있다.

## 수학식 7

$$[0057] \quad \underline{\mathbf{E}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{V}}(k)$$

[0058] 각 서브 대역에 대해 상기 수신기에 이용되는 공간 필터 벡터는 다음의 수학식 8)과 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 8

$$\underline{M}_{SU-S}(k) = \underline{U}^H(k)$$

[0059] 상기 단일 사용자 스티어링 모드는 상기 송신기가 채널 응답 행렬  $\underline{H}(k)$  또는  $\underline{H}(k)$  ( $k = 1 \dots N_F$ )의 우측 고유 벡터의 행렬  $\underline{V}(k)$ 에 대한 채널 상태 정보를 가질 때 이용될 수 있다. 상기 송신기는 상기 수신기로부터 전송된 파일럿에 기반하여 각 서브 대역에 대한  $\underline{H}(k)$  또는  $\underline{V}(k)$ 를 추정할 수 있거나 또는 피드백 채널을 통해 상기 수신기로부터 이 정보를 제공받을 수 있다. 상기 수신기는 전형적으로 상기 송신기로부터 전송된 파일럿에 기반하여 각 서브 대역에 대한  $\underline{H}(k)$  또는  $\underline{V}(k)$ 를 획득할 수 있다. 수학식 6)은 전처리된 채널 잡음  $\underline{n}_{SU-S}(k)$ 에 의해서만 왜곡되는  $N_S$ 개의 데이터 심볼 스트림  $\underline{s}(k)$ 이 상기 송신기 및 수신기에서의 적절한 공간 처리를 통해 상기 단일 사용자 스티어링 모드에 대해 획득될 수 있음을 나타낸다.

[0061] 상기 단일 사용자 스티어링 모드에 대한 신호대 잡음 및 간섭비 (signal-to-noise-and-interference:SNR)는 다음의 수학식 9)와 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 9

$$\gamma_{su-s,m}(k) = \frac{P_m(k)\lambda_m(k)}{\sigma^2}, \quad m=1 \dots N_S$$

[0062]

수학식 9)에서,  $P_m(k)$ 는 광대역 고유 모드  $m$ 의 서브 대역  $k$ 를 통해 전송되는 데이터 심볼을 위해 이용되는 송신 전력이고,  $\lambda_m(k)$ 는  $\underline{\Lambda}(k)$ 의  $m$ 번째 대각 성분인 광대역 고유 모드  $m$ 의 서브 대역  $k$ 에 대한 고유치이며,

$$\gamma_{su-s,m}(k)$$

는 광대역 고유 모드  $m$ 의 서브 대역  $k$ 에 대한 SNR이다.

[0064]

### 2. 단일 사용자 비스티어링된 공간 다중화 모드

[0065]

상기 단일 사용자 비스티어링된 공간 다중화 모드 또는 단일 사용자 비스티어링 모드는 상기 송신기가 충분한 채널 상태 정보를 가지고 있지 않거나 상기 단일 사용자 스티어링 모드가 지원될 수 없을 때 이용될 수 있다. 상기 단일 사용자 비스티어링 모드는 상기 송신기에서의 공간 처리없이  $N_T$ 개의 송신 안테나로부터  $N_S$ 개의 데이터 심볼 스트림을 전송한다.

[0066]

상기 단일 사용자 비스티어링 모드에서, 각 서브 대역에 대해 상기 송신기에서 사용되는 스티어링 벡터의 행렬  $\underline{E}_{ns}(k)$ 은 다음의 수학식 10)과 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 10

$$\underline{F}_{ns}(k) = \underline{I}$$

[0067]

각 서브 대역에 대한 상기 송신기에서의 공간 처리는 다음의 수학식 11)과 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 11

$$\underline{x}_{ns}(k) = \underline{s}(k)$$

[0068]

수학식 11)에서,  $\underline{x}_{ns}(k)$ 는 상기 단일 사용자 비스티어링 모드에 대한 전송 심볼 벡터이다. 이 모드에 대한 "광대역" 공간 채널은 소정의 송신 안테나에 해당하는 공간 채널로 정의될 수 있다. (즉, 상기 단일 사용자 비스티어링 모드에 대한 광대역 공간 채널  $\underline{m}$ 은 송신 안테나  $\underline{m}$ 의 모든 서브 대역을 포함한다.)

[0069]

각 서브 대역에 대해 상기 수신기에 의해 수신되는 심볼은 다음의 수학식 12)와 같이 표현될 수 있다.

## 수학식 12

$$\underline{\mathbf{r}}_{ns}(k) = \underline{\mathbf{H}}(k) \underline{\mathbf{x}}_{ns}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) = \underline{\mathbf{H}}(k) \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k)$$

[0072]

[0073] 상기 수신기는 채널 상관 행렬 인버전(channel correlation matrix inversion:CCMI) 기법 (제로 포싱 기법이라고도 함), 최소 평균 제곱 오차(minimum mean square error:MMSE) 기법, 결정 케환 등화기(decision feedback equalizer:DFE) 및 직렬 간섭 제거 기법과 같은 다양한 수신기 처리 기법들을 이용하여 상기 데이터 벡터  $\underline{\mathbf{s}}(k)$ 를 복원할 수 있다.

[0074]

A. CCMI 공간 처리

[0075]

상기 수신기는 상기 CCMI 기법을 이용하여 데이터 심볼 스트림을 분리할 수 있다. CCMI 수신기는 다음의 수학식 13)과 같이 표현될 수 있는  $\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(k)$  ( $k = 1 \dots N_p$ )의 응답을 갖는 공간 필터를 이용한다.

## 수학식 13

$$\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(k) = [\underline{\mathbf{H}}^H(k) \underline{\mathbf{H}}(k)]^{-1} \underline{\mathbf{H}}^H(k) = \underline{\mathbf{R}}^{-1}(k) \underline{\mathbf{H}}^H(k)$$

[0076]

[0077] 상기 단일 사용자 비스티어링 모드에 있어서, 상기 CCMI 수신기에 의한 공간 처리는 다음의 수학식 14)와 같이 표현될 수 있다.

## 수학식 14

$$\begin{aligned} \hat{\underline{\mathbf{s}}}_{ccmi}(k) &= \underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(k) \underline{\mathbf{r}}_{ns}(k) , \\ &= \underline{\mathbf{R}}^{-1}(k) \underline{\mathbf{H}}^H(k) (\underline{\mathbf{H}}(k) \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k)) , \\ &= \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{ccmi}(k) , \end{aligned}$$

[0078]

[0079] 수학식 14)에서,  $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{ccmi}(k)$ 는 서브 대역  $k$ 에 대해 복원된  $N_s$ 개의 데이터 심볼을 갖는  $(N_t \times 1)$  벡터이며,  $\underline{\mathbf{n}}_{ccmi}(k) = \underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(k) \underline{\mathbf{n}}(k)$ 는 서브 대역  $k$ 에 대한 CCMI 필터링된 잡음이다.

[0080]

각 서브 대역  $k$ 에 대해 CCMI 필터링된 잡음의 자기 공분산 행렬(autocovariance matrix)  $\underline{\varphi}_{ccmi}(k)$ 은 다음의 수학식 15)와 같이 표현될 수 있다.

## 수학식 15

$$\begin{aligned} \underline{\varphi}_{ccmi}(k) &= E[\underline{\mathbf{n}}_{ccmi}(k) \underline{\mathbf{n}}_{ccmi}^H(k)] , \\ &= \underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(k) \underline{\varphi}_{nn}(k) \underline{\mathbf{M}}_{ccmi}^H(k) , \\ &= \sigma^2 \underline{\mathbf{R}}^{-1}(k) , \end{aligned}$$

[0081]

[0082] 수학식 15)에서,  $E[x]$ 는  $x$ 의 기대값이다. 수학식 15)에서 마지막 등식(equality)은, 상기 잡음  $\underline{\mathbf{n}}(k)$ 이 제로 평균,  $\sigma^2$ 의 분산 및  $\underline{\varphi}_{nn}(k) = E[\underline{\mathbf{n}}(k) \underline{\mathbf{n}}^H(k)] = \sigma^2 \underline{\mathbf{I}}$ 인 자기 공분산 행렬을 갖는 가산성 백색 가우시안 잡음(additive white Gaussian noise:AWGN)이라는 가정을 기초로 한다. 이 경우, 상기 CCMI 수신기에 대한 SNR은 다음의 수학식 16)과 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 16

$$\gamma_{ccmi,m}(k) = \frac{P_m(k)}{r_{mm}(k) \sigma^2} , \quad m = 1 \dots N_s$$

[0083] 수학식 16)에서,  $P_m(k)$ 는 광대역 공간 채널  $m$ 의 서브 대역  $k$ 를 통해 전송되는 데이터 심볼을 위해 이용되는 송신 전력이고,  $r_{mm}(k)$ 는 서브 대역  $k$ 에 대한  $R(k)$ 의  $m$ 번째 대각 성분이며,  $\gamma_{ccmi,m}(k)$ 는 광대역 공간 채널  $m$ 의 서브 대역  $k$ 에 대한 SNR이다.  $R(k)$ 의 구조로 인해 상기 CCMi 기법은 잡음을 증폭시킬 수 있다.

### [0084] B. MMSE 공간 처리

[0085] 상기 수신기는 상기 MMSE 기법을 이용하여 데이터 심볼 스트림들간 크로스토크(crosstalk)를 억제할 수 있으며, 복원된 데이터 심볼 스트림들의 SNR을 극대화할 수 있다. MMSE 수신기는 공간 필터로부터 추정되는 데이터 벡터와 상기 데이터 벡터  $s(k)$ 간 평균 제곱 오차가 최소화되도록 도출되는  $M_{mmse}(k)$  ( $k = 1 \dots N_F$ )의 응답을 갖는 공간 필터를 이용한다. 이 MMSE 표준은 다음의 수학식 17)과 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 17

$$\min_{(M_{mmse}(k))} E [(\underline{M}_{mmse}(k) \underline{r}_{ns}(k) - \underline{s}(k))^H (\underline{M}_{mmse}(k) \underline{r}_{ns}(k) - \underline{s}(k))]$$

[0086] 수학식 17)에서 제기된 최적화 문제에 대한 솔루션은 다양한 방법에 의해 획득될 수 있다. 하나의 예시적인 방법에 따르면, 각 서브 대역에 대한 MMSE 공간 필터 행렬  $M_{mmse}(k)$ 은 다음의 수학식 18)과 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 18

$$\begin{aligned} \underline{M}_{mmse}(k) &= \underline{H}^H(k) [\underline{H}(k) \underline{H}^H(k) + \underline{\varphi}_{nn}(k)]^{-1} \\ &= \underline{H}^H(k) [\underline{H}(k) \underline{H}^H(k) + \sigma^2 \underline{I}]^{-1} . \end{aligned}$$

[0087] 수학식 18)에서 두 번째 등식은 상기 잡음 벡터  $n(k)$ 가 제로 평균 및  $\sigma^2$ 의 분산을 갖는 가산성 백색 가우시안 잡음이라는 가정을 기초로 한다.

[0088] 상기 단일 사용자 비스티어링 모드에 있어서, 상기 MMSE 수신기에 의한 공간 처리는 두 개의 단계를 포함한다. 첫 번째 단계에서, 상기 MMSE 수신기는 검출된  $N_S$ 개의 심볼 스트림에 대한 벡터  $\tilde{s}_{mmse}(k)$ 를 구하기 위해, 수신된  $N_R$ 개의 심볼 스트림에 대한 벡터  $\underline{r}_{ns}(k)$ 와 상기 MMSE 공간 필터 행렬  $M_{mmse}(k)$ 을 다음의 수학식 19)에 표현된 바와 같이 곱셈 처리하게 된다.

### 수학식 19

$$\begin{aligned} \tilde{s}_{mmse}(k) &= \underline{M}_{mmse}(k) \underline{r}_{ns}(k) , \\ &= \underline{M}_{mmse}(k) (\underline{H}(k) \underline{s}(k) + \underline{n}(k)) , \\ &= \underline{Q}(k) \underline{s}(k) + \underline{n}_{mmse}(k) , \end{aligned}$$

[0089] 수학식 19)에서,  $\underline{n}_{mmse}(k) = \underline{M}_{mmse}(k) \underline{n}(k)$ 은 MMSE 필터링된 잡음이며,  $\underline{Q}(k) = \underline{M}_{mmse}(k) \underline{H}(k)$ 이다. 상기 검출된  $N_S$ 개의 심볼 스트림은  $N_S$ 개의 데이터 심볼 스트림의 비정규화된 추정이다.

[0090] 두 번째 단계에서, 상기 MMSE 수신기는 복원된  $N_S$ 개의 데이터 심볼 스트림에 대한 벡터  $\hat{s}_{mmse}(k)$ 를 구하기 위해 상기 벡터  $\tilde{s}_{mmse}(k)$ 와 스케일링(scaling) 행렬  $\underline{D}_{mmse}^{-1}(k)$ 을 다음의 수학식 20)에 표현된 바와 같이 곱셈

처리하게 된다.

### 수학식 20

$$\hat{\mathbf{s}}_{mmse}(k) = \underline{\mathbf{D}}_{mmse}^{-1}(k) \tilde{\mathbf{s}}_{mmse}(k)$$

[0095] [0096] 수학식 20)에서,  $\underline{\mathbf{D}}_{mmse}(k)$ 는 대각 성분이  $\underline{\mathbf{Q}}(k)$ 의 대각 성분인 대각 행렬로서,  $\underline{\mathbf{D}}_{mmse}(k) = \text{diag}[\underline{\mathbf{Q}}(k)]$ 이다. 상기 복원된  $N_s$ 개의 데이터 심볼 스트림은  $N_s$ 개의 데이터 심볼 스트림의 정규화된 추정이다.

[0097] 행렬 역 항등(matrix inverse identity)을 이용하여 상기 행렬  $\underline{\mathbf{Q}}(k)$ 는 다음의 수학식 21)과 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 21

$$\begin{aligned} \underline{\mathbf{Q}}(k) &= \underline{\mathbf{H}}^H(k) \underline{\varphi}_{nn}^{-1}(k) \underline{\mathbf{H}}(k) [\underline{\mathbf{H}}^H(k) \underline{\varphi}_{nn}^{-1}(k) \underline{\mathbf{H}}(k) + \underline{\mathbf{I}}]^{-1}, \\ &= \underline{\mathbf{H}}^H(k) \underline{\mathbf{H}}(k) [\underline{\mathbf{H}}^H(k) \underline{\mathbf{H}}(k) + \sigma^2 \underline{\mathbf{I}}]^{-1}. \end{aligned}$$

[0099] [0100] 수학식 21)에서 두 번째 등식은 상기 잡음이 제로 평균 및  $\sigma^2$ 의 분산을 갖는 가산성 백색 가우시안 잡음(AWG N)이라는 가정을 기초로 한다.

상기 MMSE 수신기에 대한 SNR은 다음의 수학식 22)과 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 22

$$\gamma_{mmse,m}(k) = \frac{q_{mm}(k)}{1 - q_{mm}(k)} P_m(k), \quad m = 1 \dots N_s$$

[0101] [0102] 수학식 22)에서,  $q_{mm}(k)$ 는 서브 대역  $k$ 에 대한  $\underline{\mathbf{Q}}(k)$ 의  $m$ 번째 대각 성분이며,  $\gamma_{mmse,m}(k)$ 는 광대역 공간 채널  $m$ 의 서브 대역  $k$ 에 대한 SNR이다.

### C. 직렬 간섭 제거 수신기 처리

[0103] [0104] 상기 수신기는  $N_s$ 개의 데이터 심볼 스트림을 복원하기 위해 상기 SIC 기법을 이용하여, 수신된  $N_R$ 개의 심볼 스트림을 처리한다. 상기 SIC 기법에 따르면, 상기 수신기는 초기에 상기 수신된  $N_R$ 개의 심볼 스트림에 대해 예컨대, CCMI, MMSE 또는 다른 기법들을 이용하여 공간 처리를 실행함으로써 복원된 하나의 데이터 심볼 스트림을 획득한다. 또한, 상기 수신기는 이 복원된 데이터 심볼 스트림을 처리(예컨대, 변조, 디인터리빙 및 디코딩)하여 디코딩된 데이터 스트림을 획득한다. 이후, 상기 수신기는 이 스트림이  $(N_s-1)$ 개의 데이터 심볼 스트림에 대해 야기하는 간섭을 추정하고, 상기 수신된  $N_R$ 개의 심볼 스트림으로부터 추정된 간섭을 제거함으로써 변형된  $N_R$ 개의 심볼 스트림을 획득한다. 또한, 상기 수신기는 변형된  $N_R$ 개의 심볼 스트림에 대해 동일한 처리를 반복함으로써 다른 데이터 심볼 스트림을 복원한다.

[0105] SIC 수신기에 있어서, 스테이지(stage)  $\ell$  ( $\ell = 1 \dots N_s$ )에 대한 입력, 즉, 수신되거나 변형된 심볼 스트림은 다음의 수학식 23)과 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 23

$$\underline{\mathbf{r}}_{sic}^\ell(k) = \underline{\mathbf{H}}^\ell(k) \underline{\mathbf{x}}_{ns}^\ell(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) = \underline{\mathbf{H}}^\ell(k) \underline{\mathbf{s}}^\ell(k) + \underline{\mathbf{n}}(k)$$

[0106] [0107] 수학식 23)에서,  $\underline{\mathbf{r}}_{sic}^\ell(k)$ 는 스테이지  $\ell$ 에서 서브 대역  $k$ 에 대해 변형된  $N_R$ 개의 심볼의 벡터이며, 제 1스테이지

에 대해  $\underline{\mathbf{r}}_{sic}^1(k) = \underline{\mathbf{r}}_{ns}(k)$  이다. 또한,  $\underline{\mathbf{s}}^\ell(k)$ 는 스테이지  $\ell$ 에서 서브 대역  $k$ 에 대해 아직 복원되지 않는  $(N_T - \ell + 1)$ 개의 데이터 심볼의 벡터이며,  $\underline{\mathbf{H}}^\ell(k)$ 는 스테이지  $\ell$ 에서 서브 대역  $k$ 에 대한  $N_R \times (N_T - \ell + 1)$  감소된 채널 응답 행렬이다.

[0108] 수학식 23)에서는 이전 스테이지  $(1-\ell)$ 에서 복원된 데이터 심볼 스트림들이 제거된다는 가정을 기초로 한다. 상기 채널 응답 행렬  $\underline{\mathbf{H}}(k)$ 의 차원성(dimensionality)은 데이터 심볼 스트림이 복원되고 제거됨에 따라 각 스테이지에 대해 하나의 열만큼 연속적으로 감소한다. 스테이지  $\ell$ 에 있어서, 상기 감소된 채널 응답 행렬  $\underline{\mathbf{H}}^\ell(k)$ 은 이전에 복원된  $(\ell-1)$ 개의 데이터 심볼 스트림에 대응하는 원래의 행렬  $\underline{\mathbf{H}}(k)$ 에서  $(\ell-1)$ 개의 열들을 제거함으로써 획득된다. 즉,  $\underline{\mathbf{H}}^\ell(k) = [\underline{\mathbf{h}}_{j_\ell}(k) \ \underline{\mathbf{h}}_{j_{\ell+1}}(k) \ \dots \ \underline{\mathbf{h}}_{j_{N_T}}(k)]$ 이며,  $\underline{\mathbf{h}}_{j_n}(k)$ 는 송신 안테나  $j_n$ 와  $N_R$ 개의 수신 안테나간의 채널 응답에 대한  $(N_R \times 1)$  벡터이다. 스테이지  $\ell$ 에 있어서, 이전 스테이지에서 복원된  $(\ell-1)$ 개의 데이터 심볼 스트림에는 인덱스  $\{j_1, j_2, \dots, j_{\ell-1}\}$ 가 주어지고, 아직 복원되지 않은  $(N_T - \ell + 1)$ 개의 데이터 심볼 스트림에는 인덱스  $\{j_\ell, j_{\ell+1}, \dots, j_{N_T}\}$ 가 주어진다.

[0109] 스테이지  $\ell$ 에 있어서, 상기 SIC 수신기는 수학식 13)에 표현된 CCMI 기법, 수학식 18)에 표현된 MMSE 기법 또는 다른 기법들을 이용하여 (원래의 행렬  $\underline{\mathbf{H}}(k)$  대신) 상기 감소된 채널 응답 행렬  $\underline{\mathbf{H}}^\ell(k)$ 을 기반으로 공간 필터 행렬  $\underline{\mathbf{M}}_{sic}^\ell(k)$  ( $k = 1, \dots, N_F$ )을 도출한다. 상기 행렬  $\underline{\mathbf{M}}_{sic}^\ell(k)$ 은  $(N_T - \ell + 1) \times N_R$ 의 차원성을 갖는다.  $\underline{\mathbf{H}}^\ell(k)$ 는 각 스테이지마다 다르며, 상기 공간 필터 행렬  $\underline{\mathbf{M}}_{sic}^\ell(k)$  또한 각 스테이지마다 다르다.

[0110] 상기 SIC 수신기는 검출된  $(N_T - \ell + 1)$ 개의 심볼 스트림에 대한 벡터  $\tilde{\underline{\mathbf{s}}}_{sic}^\ell(k)$ 를 구하기 위해, 변형된  $N_R$ 개의 심볼 스트림에 대한 벡터  $\underline{\mathbf{r}}_{sic}^\ell(k)$ 과 상기 공간 필터 행렬  $\underline{\mathbf{M}}_{sic}^\ell(k)$ 을 다음의 수학식 24)에 표현된 바와 같이 곱셈 처리하게 된다.

### 수학식 24

$$\begin{aligned} \tilde{\underline{\mathbf{s}}}_{sic}^\ell(k) &= \underline{\mathbf{M}}_{sic}^\ell(k) \underline{\mathbf{r}}_{sic}^\ell(k) , \\ &= \underline{\mathbf{M}}_{sic}^\ell(k) (\underline{\mathbf{H}}^\ell(k) \underline{\mathbf{s}}^\ell(k) + \underline{\mathbf{n}}^\ell(k)) , \\ &= \underline{\mathbf{Q}}_{sic}^\ell(k) \underline{\mathbf{s}}^\ell(k) + \underline{\mathbf{n}}_{sic}^\ell(k) , \end{aligned}$$

[0111] [0112] 수학식 24)에서,  $\underline{\mathbf{n}}_{sic}^\ell(k) = \underline{\mathbf{M}}_{sic}^\ell(k) \underline{\mathbf{n}}^\ell(k)$ 는 스테이지  $\ell$ 의 서브 대역  $k$ 에 대해 필터링된 잡음이고,  $\underline{\mathbf{n}}^\ell(k)$ 는  $\underline{\mathbf{n}}(k)$ 의 감소된 벡터이며,  $\underline{\mathbf{Q}}_{sic}^\ell(k) = \underline{\mathbf{M}}_{sic}^\ell(k) \underline{\mathbf{H}}^\ell(k)$ 이다. 이후, 상기 SIC 수신기는 복원을 위해 상기 검출된 심볼 스트림 중 하나를 선택한다. 각 스테이지에서는 단 하나의 데이터 심볼 스트림만이 복원되기 때문에 상기 SIC 수신기는 스테이지  $\ell$ 에서 복원될 데이터 심볼 스트림  $\{s_{j_\ell}\}$ 에 대해 하나의  $(1 \times N_R)$  공간 필터 행 벡터  $\underline{\mathbf{m}}_{j_\ell}^\ell(k)$ 를 간단히 도출할 수 있다. 상기 행 벡터  $\underline{\mathbf{m}}_{j_\ell}^\ell(k)$ 는 상기  $\underline{\mathbf{M}}_{sic}^\ell(k)$ 의 하나의 행이다. 이 경우, 상기 데이터 심볼 스트림  $\{s_{j_\ell}\}$ 을 복원하기 위한 스테이지  $\ell$ 에서의 공간 처리는 다음의 수학식 25)와 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 25

$$[0113] \quad \tilde{s}_{j_\ell}(k) = \underline{\mathbf{m}}_{j_\ell}^\ell(k) \underline{\mathbf{r}}_{sic}^\ell(k) = \underline{\mathbf{q}}_{j_\ell}^\ell(k) \underline{\mathbf{s}}^\ell(k) + \underline{\mathbf{m}}_{j_\ell}^\ell(k) \underline{\mathbf{n}}(k)$$

[0114] 수학식 25)에서,  $\underline{\mathbf{q}}_{j_\ell}^\ell(k)$  는 데이터 심볼 스트림  $\{s_{j_\ell}\}$ 에 대응하는  $\underline{\mathbf{Q}}_{sic}^\ell(k)$ 의 행이다.

[0115] 어떠한 경우에나, 상기 수신기는 상기 검출된 심볼 스트림  $\{\tilde{s}_{j_\ell}\}$ 을 스케일링하여 복원된 데이터 심볼 스트림

$\{\hat{s}_{j_\ell}\}$ 을 획득하며, 상기 스트림  $\{\hat{s}_{j_\ell}\}$ 을 변조, 디인터리빙 및 디코딩하여 디코딩된 데이터 스트림  $\{\hat{d}_{j_\ell}\}$ 을 획득한다. 또한, 상기 수신기는 이 스트림이 아직 복원되지 않은 데이터 심볼 스트림에 대해 야기하는 간섭을

추정한다. 이 간섭을 추정하기 위해, 상기 수신기는 상기 디코딩된 데이터 스트림  $\{\hat{d}_{j_\ell}\}$ 을 상기 송신기에서 실행된 방법과 동일한 방법을 이용하여 재인코딩, 디인터리빙 및 심볼 매핑하여 이제 막 복원된 데이터 심볼 스트림의 추정인 재변조된 심볼  $\{\tilde{s}_{j_\ell}\}$ 의 스트림을 획득한다. 이후, 상기 수신기는 스트림  $\{s_{j_\ell}\}$ 에 대한 채널

응답 벡터  $\underline{\mathbf{h}}_{j_\ell}(k)$ 에서  $N_R$ 개의 성분들 각각으로 상기 재변조된 심볼 스트림을 컨벌빙(convolve)하여 이 스트

림에 의해 야기되는  $N_R$ 개의 간섭 성분  $\underline{\mathbf{i}}_{j_\ell}(k)$ 을 획득한다. 이후, 상기  $N_R$ 개의 간섭 성분은 스테이지  $\ell$ 에서  $N_R$ 개의 변형된 심볼 스트림  $\underline{\mathbf{r}}_{sic}^\ell(k)$ 으로부터 공제되어 후속 스테이지( $\ell+1$ )에서  $N_R$ 개의 변형된 심볼 스트림

$\underline{\mathbf{r}}_{sic}^{\ell+1}(k)$ 을 획득하게 된다. 즉,  $\underline{\mathbf{r}}_{sic}^{\ell+1}(k) = \underline{\mathbf{r}}_{sic}^\ell(k) - \underline{\mathbf{i}}_{j_\ell}(k)$ 이다. 상기 변형된 심볼 스트림  $\underline{\mathbf{r}}_{sic}^{\ell+1}(k)$

$$\{s_{j_\ell}\}$$

은 상기 데이터 심볼 스트림  $\{s_{j_\ell}\}$ 이 전송되지 않았으면, 즉, 상기 간섭 제거가 효과적으로 실행되었으면, 수신되었을 스트림들을 나타낸다.

[0116] 상기 SIC 수신기는  $N_S$ 개의 연속된 스테이지에서 상기 수신된  $N_R$ 개의 심볼 스트림을 처리한다. 각 스테이지에 있어서, 상기 SIC 수신기는 상기 수신된  $N_R$ 개의 심볼 스트림 또는 이전 스테이지로부터의 상기  $N_R$ 개의 변조된 심볼 스트림에 대해 공간 처리를 실행하여 하나의 복원 데이터 심볼 스트림을 얻고(1), 이 복원된 데이터 심볼 스트림을 디코딩하여 해당하는 디코딩된 데이터 스트림을 획득하고(2), 이 스트림으로 인한 간섭을 추정 및 제거하며(3), 후속 스테이지에서  $N_R$ 개의 변형된 심볼 스트림을 획득한다(4). 각 데이터 스트림에 의한 간섭이 정확히 추정되고 제거될 때, 추후 복원되는 데이터 스트림은 간섭을 덜 받게 되어 더 높은 SNR을 획득할 수 있게 된다.

[0117] 상기 SIC 기법에 있어서, 각각의 복원된 데이터 심볼 스트림의 SNR은 (1) 각 스테이지에서 사용된 공간 처리 기법 (예컨대, CCMI 또는 MMSE), (2) 상기 데이터 심볼 스트림이 복원되는 특정 스테이지 및 (3) 후속 스테이지에서 복원되는 데이터 심볼 스트림에 의한 간섭의 정도에 좌우된다. 상기 CCMI를 이용하는 상기 SIC 수신기에 대한 SNR은 다음의 수학식 26)과 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 26

$$[0118] \quad \gamma_{sic-ccmi,m}(k) = \frac{P_m(k)}{r_{mm}^\ell(k) \sigma^2} \quad , \quad m = 1 \dots N_S$$

[0119] 수학식 26)에서,  $r_{mm}^\ell(k)$ 는 서브 대역  $k$ 에 대한  $[\underline{\mathbf{R}}^\ell(k)]^{-1}$ 의  $m$ 번째 대각 성분이며,

$$\underline{\mathbf{R}}^\ell(k) = [\underline{\mathbf{H}}^\ell(k)]^H \underline{\mathbf{H}}^\ell(k)$$

[0120] 상기 MMSE를 이용하는 상기 SIC 수신기에 대한 SNR은 다음의 수학식 27)과 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 27

$$\gamma_{sic-mmse,m}(k) = \frac{q_{mm}^\ell(k)}{1 - q_{mm}^\ell(k)} P_m(k) , \quad m = 1 \dots N_s$$

[0121] 수학식 27)에서,  $q_{mm}^\ell(k)$ 은 서브 대역  $k$ 에 대한  $Q_{sic}^\ell(k)$ 의  $m$ 번째 대각 성분이며,  $Q_{sic}^\ell(k)$ 은 수학식 21)에 표현된 바와 같이 도출되지만, 원래의 행렬  $\underline{H}(k)$  대신 상기 감소된 채널 응답 행렬  $\underline{H}^\ell(k)$ 을 기반으로 도출된다.

[0123] 일반적으로, 상기 SNR은 후속 스테이지에서 복원되는 데이터 심볼 스트림에 대해 혁신적으로 향상되는 테, 그 이유는 이전 스테이지에서 복원된 데이터 심볼 스트림으로부터의 간섭이 제거되기 때문이다. 이는 더 높은 레이트(rate)가 나중에 복원되는 데이터 심볼 스트림에 이용될 수 있도록 한다.

### 3. 복수 사용자 스티어링된 공간 다중화 모드

[0125] 상기 복수 사용자 스티어링된 공간 다중화 모드 또는 복수 사용자 스티어링 모드는 단일 송신기로부터 다중 수신기로의 동시 데이터 전송을 지원하며, 상기 수신기의 공간 시그니처(spatial signature)에 기반한다. 수신기의 공간 시그니처(signature)는 상기 수신기에서  $N_T$ 개의 송신 안테나와 각 수신 안테나 간 (각 서브 대역에 대해) 채널 응답 벡터에 의해 제공된다. 후술된 바와 같이, 상기 송신기는 상기 수신기에 대한 공간 시그니처를 획득할 수 있다. 이후, 상기 송신기는 (1) 동시 데이터 전송을 위한 수신기 세트를 선택할 수 있고, (2) 상기 선택된 수신기들로 전송될 데이터 심볼 스트림에 대한 스티어링 벡터를 도출할 수 있다. 따라서, 송신 스트림 크로스토크가 수신기에서 적절히 억제된다.

[0126] 상기 복수 사용자 스티어링 모드에 대한 스티어링 벡터는 다양한 방법을 통해 도출될 수 있으며, 두 가지 예시적인 방안이 설명된다. 설명의 단순화를 위해, 다음의 설명은 하나의 서브 대역에 대한 것이며, 각 수신기는 하나의 안테나를 구비한다는 가정을 기초로 한다.

[0127] 채널 인버전 방안에서, 상기 송신기는 채널 인버전을 이용하는 다중 수신기에 대한 스티어링 벡터를 획득한다. 상기 송신기는 초기에 동시에 전송을 위해  $N_T$ 개의 단일 안테나 수신기를 선택한다. 이후, 상기 송신기는 선택된 각각의 수신기에 대해  $(1 \times N_r)$  채널 응답 행 벡터  $\underline{h}_i(k)$ 를 획득하고,  $N_T$ 개의 수신기에 대해  $N_r$ 개의 행 벡터를 갖는  $(N_T \times N_r)$  채널 응답 행렬  $\underline{H}_{mu-s}(k)$ 을 구성한다. 또한, 상기 송신기는 선택된  $N_T$ 개의 수신기에 대한  $N_T$ 개의 스티어링 벡터의 행렬  $\underline{F}_{mu-s}(k)$ 을 획득하기 위해 다음의 수학식 28)에 표현된 바와 같이 채널 인버전을 이용한다.

### 수학식 28

$$\underline{F}_{mu-s}(k) = \underline{H}_{mu-s}^{-1}(k)$$

[0128] 상기 다중 사용자 스티어링 모드에 있어서, 각 서브 대역에 대한 상기 송신기에서의 공간 처리는 다음의 수학식 29)와 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 29

$$\underline{x}_{mu-s}(k) = \underline{F}_{mu-s}(k) \underline{s}(k)$$

[0129] 수학식 29)에서,  $\underline{x}_{mu-s}(k)$ 은 상기 복수 사용자 스티어링 모드에 대한 전송 심볼 벡터이다.

[0130] 각 서브 대역에 대해 상기 선택된  $N_T$ 개의 수신기에 수신된 심볼은 다음의 수학식 30)와 같이 표현될 수 있다.

## 수학식 30

$$\begin{aligned}
 \underline{\mathbf{r}}_{mu-s}(k) &= \underline{\mathbf{H}}_{mu-s}(k) \underline{\mathbf{x}}_{mu-s}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) , \\
 &= \underline{\mathbf{H}}_{mu-s}(k) \underline{\mathbf{F}}_{mu-s}(k) \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) , \\
 &= \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{i}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) ,
 \end{aligned}$$

[0133]

[0134]

삭제

[0135]

삭제

[0136]

수학식 30)에서,  $\underline{\mathbf{r}}_{mu-s}(k)$ 는 상기 선택된  $N_T$ 개의 수신기에서 각 서브 대역  $k$ 에 대한 ( $N_T \times 1$ ) 수신 심볼 벡터이고,  $\underline{\mathbf{i}}(k)$ 는 상기 송신기에서  $\underline{\mathbf{F}}_{mu-s}(k)$ 의 불완전한 추정에 의한 크로스토크 간섭을 나타낸다. 선택된 각 수신기는 각 수신 안테나에 대해 상기  $\underline{\mathbf{r}}_{mu-s}(k)$ 의 단 하나의 성분만을 획득하게 된다. 상기 송신기에서의 공간 처리가 효과적인 경우,  $\underline{\mathbf{i}}(k)$ 에서의 전력은 작게 되며, 복원된 각각의 데이터 심볼 스트림은 다른 수신기들로 전송된 ( $N_T - 1$ ) 개의 다른 데이터 심볼 스트림들로부터의 크로스토크를 거의 겪지 않게 된다.

[0137]

또한, 후술된 바와 같이, 상기 송신기는 선택된 각각의 수신기로 스티어링된 파일럿을 전송할 수 있다. 이후, 각 수신기는 상기 스티어링된 파일럿을 처리하여 채널 이득 및 위상을 추정하게 되고, 상기 채널 이득과 위상 추정을 갖는 단일 안테나로부터의 수신 심볼을 코히런트 방식으로(coherently) 복조하여 복원된 데이터 심볼들을 획득하게 된다.

[0138]

상기 복수 사용자 스티어링 모드에 대해 획득된 SNR은 상기 채널 응답 행렬  $\underline{\mathbf{H}}_{mu-s}(k)$ 의 자기공분산의 함수이다. 호환성있는 사용자 단말을 선택함으로써 더 높은 SNR이 획득될 수 있다. 사용자 단말에 대한 다른 세트 및/또는 조합이 평가될 수 있으며, 가장 높은 SNR을 갖는 세트/조합이 데이터 전송을 위해 선택될 수 있다.

[0139]

상기 채널 인버전 방안은 그 단순성이 부각되지만, 일반적으로는 양호하지 않은 성능을 제공하게 된다. 왜냐하면, 데이터 심볼 스트림을 수학식 29)의 인버스 채널 응답 행렬로 미리 조정(preconditioning)하는 것은 상기 송신기로 하여금 MIMO 채널의 가장 좋은 않은 고유 모드에 대부분의 전력을 쏟게 한다. 또한, 일부 채널들, 특히,  $\underline{\mathbf{H}}_{mu-s}(k)$ 의 성분들 중 큰 상관을 갖는 채널들에서, 상기 채널 응답 행렬은 최대 계수(full rank)보다 작으며, 인버스를 계산하는 것은 불가능하다.

[0140]

프리코딩 방안에 있어서, 상기 송신기는 상기 선택된  $N_T$ 개의 수신기로 전송될  $N_T$ 개의 데이터 심볼 스트림을 프리코딩하여 이를 데이터 심볼 스트림이 상기 수신기에서 크로스토크를 겪지 않도록 한다. 상기 송신기는 상기 선택된  $N_T$ 개의 수신기에 대해 채널 응답 행렬  $\underline{\mathbf{H}}_{mu}(k)$ 을 구성할 수 있다. 이후, 상기 송신기는  $\underline{\mathbf{H}}_{mu}(k)$ 에 대해 QR 인수분해를 실행하여  $\underline{\mathbf{H}}_{mu}(k) = \underline{\mathbf{F}}_{tri}(k) \underline{\mathbf{Q}}_{mu}(k)$ 가 되도록 한다. 여기서,  $\underline{\mathbf{F}}_{tri}(k)$ 는 하위 좌측 삼각 행렬이며,  $\underline{\mathbf{Q}}_{mu}(k)$ 는 유니터리 행렬이다.

[0141]

상기 송신기는 전송될 데이터 심볼 벡터  $\underline{\mathbf{s}}(k) = [s_1(k) \ s_2(k) \ \dots \ s_{N_T}(k)]^T$ 에 대해 프리코딩 동작을 실행하여 프리코딩된 심볼 벡터  $\underline{\mathbf{a}}(k) = [a_1(k) \ a_2(k) \ \dots \ a_{N_T}(k)]^T$ 를 다음의 수학식 31)에 표현된 바와 같이 획득한다.

## 수학식 31

$$a_\ell(k) = \frac{1}{f_{\ell\ell}(k)} \left( s_\ell(k) - \sum_{i=1}^{\ell-1} f_{\ell i}(k) a_i(k) \right) \bmod (M/2), \text{ for } \ell = 1 \dots N_T$$

[0142]

[0143] 수학식 31)에서,  $M$ 은 제곱 QAM 신호 성상도(constellation)의 인 폐이스(in-phase) 또는 쿼드러쳐(quadrature) 차원에서 단위 간격으로 이격된 레벨들의 수이며,  $f_{\ell i}(k)$ 는 행  $i$  및 열  $j$ 에서  $\underline{E}_{tri}(k)$ 의 성분이다.

[0144] 상기 모듈로(mod) 연산은  $M$ 의 정수 배수(integer multiple)의 적절한 수를 독립 변수(argument)에 더하여 그 결과가  $a_{\ell}(k) \in [-M/2, M/2]$ 를 만족하도록 한다. 이 프리코딩 동작 후, 상기 전송 심볼은 상기 유니터리 스티어링 행렬  $\underline{Q}_{mu}(k)$ 을 가지고 상기 프리코딩된 심볼 벡터  $\underline{a}(k)$ 를 처리함으로써 계산되어 전송 심볼 벡터, 즉,  $\underline{x}_{mu-pc}(k) = \underline{Q}_{mu}^H(k) \underline{a}(k)$ , 가 생성된다.

[0145] 상기 프리코딩 방안에서의 수신 심볼 벡터는 다음의 수학식 32)과 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 32

$$\underline{r}_{mu-pc}(k) = \underline{H}_{mu}(k) \underline{Q}_{mu}^H(k) \underline{a}(k) + \underline{n}(k) = \underline{F}_{tri}(k) \underline{a}(k) + \underline{n}(k)$$

[0147] 여기서,  $\underline{E}_{tri}(k) \underline{a}(k) \bmod(M/2) = \underline{s}(k)$ 임을 알 수 있다. 따라서, 상기 데이터 심볼 벡터는  $\hat{\underline{s}}_{mu-pc}(k) = \underline{r}_{mu-pc}(k) \bmod(M/2)$ 로 추정될 수 있다. 상기 선택된  $N_T$ 개의 수신기 각각은  $\underline{r}_{mu-pc}(k)$ 의  $N_T$ 개의 성분 중 하나를 획득할 뿐이며 수신되는 심볼들에 대해  $\bmod(M/2)$  연산을 실행함으로써 데이터 심볼들을 추정할 수 있다.

[0148] 또한, 상기 송신기는 다중 데이터 심볼 스트림을 복수 사용자 스티어링 모드에서 복수 안테나 수신기로 송신할 수 있다. 이후, 상기 채널 응답 행렬  $\underline{H}_{mu}(k)$ 은 상기 복수 안테나 수신기의 각 수신 안테나에 대해 하나의 행 벡터를 포함하게 된다.

[0149] 상기 복수 사용자 스티어링 모드는 다중 복수 안테나 송신기로부터 단일 수신기로의 데이터 전송을 지원하기도 한다. 각 복수 안테나 송신기는 데이터 심볼 스트림에 공간 처리를 실행하여 상기 스트림이 상기 수신기를 향해 스티어링되도록 한다. 또한, 각 송신기는 스티어링된 파일럿을 상기 수신기로 송신하다. 상기 수신기에게 있어, 각 송신기는 단일 전송으로 보여지게 된다. 상기 수신기는 공간 처리, 예컨대, CCMI, MMSE 등을 실행하여 모든 송신기로부터의 스티어링된 데이터 심볼 스트림이 복원되도록 한다.

### 4. 복수 사용자 비스티어링된 공간 다중화 모드

[0151] 상기 복수 사용자 비스티어링된 공간 다중화 모드 또는 복수 사용자 비스티어링 모드는 (1) 단일 송신기로부터 다중 수신기로의 (예컨대, 하향링크) 동시 데이터 전송 및 (2) 다중 송신기로부터 단일 수신기로의 (예컨대, 상향링크) 동시 데이터 전송을 지원한다.

[0152] 단일 송신기로부터 다중 수신기로의 비스티어링 전송에 있어서, 상기 송신기는 하나의 데이터 심볼 스트림을 각 송신 안테나로부터 수신기로 전송한다. 하나 이상의 다중 데이터 심볼 스트림이 각 수신기로 전송될 수 있다. 각 수신기는 적어도  $N_T$ 개의 수신 안테나를 포함하며, 데이터 심볼 스트림을 분리(isolate) 및 복원하기 위해 공간 처리를 실행한다. 데이터 전송을 희망하는 각 수신기는  $N_T$ 개의 송신 안테나 각각에 대한 SNR을 추정한 후, 상기  $N_T$ 개의 SNR 추정을 상기 송신기로 전송한다. 상기 송신기는 데이터 전송을 희망하는 모든 수신기로부터의 상기 SNR 추정에 기반하여 데이터 전송을 위한 수신기의 세트, 예컨대, 전체 스루풋을 극대화시키기 위해, 선택한다.

[0153] 다중 송신기로부터 단일 수신기로의 비스티어링된 전송에 있어서, 상기 송신기는 자신의 안테나로부터 데이터 심볼 스트림을 공간 처리없이 전송하여 이를 스트림이 상기 수신기에 거의 시간에 맞게(time-aligned) 도달되도록 한다. 상기 수신기는 모든 송신기가 하나였던 것처럼 송신기 모두에 대해 채널 응답 행렬을 추정할 수 있다. 또한, 상기 수신기는 이를 다중 송신기로부터 송신된 다중 데이터 심볼 스트림을 상기 단일 사용자 비스티어링 모드에 대해 상기한 바와 같은 기법(예컨대, CCMI, MMSE 및 SIC 기법)들을 이용하여 복원할 수 있다.

### 5. 공간 처리

[0155] 표 2는 상기한 네 가지의 공간 다중화 모드에 대해 상기 송신기 및 수신기에서 실행되는 공간 처리를 요약한 것이다. 상기 비스티어링 모드에 있어서, CCMI 및 MMSE이 아닌 다른 기법을 사용하는 수신기도 이용될 수 있다.

표 2의 마지막 열은 SIC 기법이 상기 수신기에서 이용될 수 있는지를 나타낸 것이다.

표 2

[0156]

| 공간 다중화 모드                     | 송신                             | 수신   | 스케일링                           | SIC |
|-------------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|-----|
| 스티어링 단일 사용자                   | $\underline{Y}(k)$             | $\underline{U}^H(k)$                                   | $\underline{\Sigma}^{-1}(k)$   | no  |
| 비스티어링 단일 사용자                  | $\underline{I}$                | $\underline{M}_{ccmi}(k)$<br>$\underline{M}_{mmse}(k)$ | $\underline{D}^{-1}_{mmse}(k)$ | yes |
| 스티어링 복수 사용자(단일 송신 기 대 다중 수신기) | $\underline{H}_{mu-s}^{-1}(k)$ | -  | -                              | no  |
| 비스티어링 복수 사용자(다중 송신기 대 단일 수신기) | $\underline{I}$                | $\underline{M}_{ccmi}(k)$<br>$\underline{M}_{mmse}(k)$ | $\underline{D}^{-1}_{mmse}(k)$ | yes |

[0157]

설명의 편의를 위해, 다중 송신기로부터 단일 수신기로의 복수 사용자 스티어링 모드 및 단일 송신기로부터 다중 수신기로의 복수 사용자 비스티어링 모드에 대한 공간 처리는 표 2에 기재하지 않았다.

[0158]

다음의 설명에서, 광대역 공간 채널은 스티어링된 공간 다중화 모드에 대한 광대역 고유 모드, 비스티어링된 공간 다중화 모드에 대한 송신 안테나 또는 하나 이상의 서브 대역의 하나 이상의 공간 채널의 조합에 대응할 수 있다. 광대역 공간 채널은 하나의 독립적인 데이터 스트림을 전송하는 데 이용될 수 있다.

[0159]

## 6. MIMO 시스템

[0160]

도 1은 다수의 액세스 포인트(AP)(100)를 가지고 다수의 사용자 단말(UT)(120)에게 통신을 제공하는 다중 액세스 MIMO 시스템(100)을 나타낸다. 간략화를 위해 도 1은 2개의 액세스 포인트(110a)(110b)만을 도시하였다. 액세스 포인트는 일반적으로 사용자 단말과 통신할 수 있으며 기지국 또는 기타 다른 용어로도 사용되는 고정국이다. 사용자 단말은 고정적일 수도 있고 이동적일 수도 있으며, 이동국, 무선장치 또는 기타 다른 용어로 사용된다. 시스템 제어기(130)는 액세스 포인트(110)에 연결되어 이것의 조정 및 제어를 행한다.

[0161]

MIMO 시스템(100)은 시분할 이중(TDD:Time Division Duplex) 시스템 또는 주파수 분할 이중(FDD : Frequency Division Duplex) 시스템일 수 있다. 하향링크와 상향링크는 (1)TDD 시스템에 대한 동일 주파수 대역을 공유하고, (2)FDD 시스템에 대해서는 다른 주파수 대역을 사용한다. 다음 설명은 MIMO 시스템이 TDD 시스템이라고 가정한다.

[0162]

MIMO 시스템(100)은 일조의 송신채널을 이용하여 다양한 타입의 데이터를 송신한다. 송신채널은 여러 가지 방법으로 구현될 수 있다.

[0163]

도 2는 MIMO 시스템(100)을 위해 사용되는 예시적 프레임 및 채널구조(200)를 나타낸다. TDD 프레임에서는 데이터 송신이 발생한다. 각 TDD 프레임은 소정의 지속기간(예를 들면 2msec)의 간격을 가지며, 하향링크 위상과 상향링크 위상으로 분리된다. 각 위상은 또한 다중 송신 채널을 위해 다중 세그먼트(210, 220, 230, 240, 250)로 분리된다.

[0164]

하향링크 위상에서, 방송채널(BCH)은 비콘(beacon) 파일럿(214), MIMO 파일럿(216), BCH 메시지(218)를 반송한다. 비콘 파일럿은 시간조절 및 주파수 수집을 위해 사용되고, MIMO 파일럿은 채널 추정을 위해 사용된다. BCH 메시지는 사용자 단말을 위한 시스템 파라미터를 반송한다. 순방향 제어 채널(FCCH:Forward Control Channel)은 상향링크와 하향링크 차원의 할당을 위한 일정정보와 사용자 단말을 위한 기타 시그널링을 반송한다. 순방향 채널(FCH : Forward Channel)은 하향링크 상에서 FCH 프로토콜 데이터 유닛(PDU:Protocol Data Unit)을 반송한다. FCH PDU(232a)는 파일럿(234a)과 데이터 패킷(236a)을 포함하고, FCH PDU(232b)는 단지 데이터 패킷(236b)만을 포함한다. 상향링크 위상에서, 역방향 채널(RCH : Reverse Channel)은 상향링크 상에서 RCH PDU를 반송한다. RCH PDU(242a)는 데이터 패킷(246a)만을 포함하고, RCH PDU(242b)는 파일럿(244b) 및 데이터 패킷(246b)을 포함한다. 사용자 단말은 랜덤 액세스 채널(RACH : Random Access Channel)을 통해 시스템에 대한 액세스를 얻게되며, 상향링크 상에서 짧은 메시지를 송신한다. RACH 상에서 송신된 RACH PDU(252)은 파일럿(254)과 메시지(256)를 포함한다.

[0165]

도 3은 MIMO 시스템에서 액세스 포인트(110x) 및 2개의 사용자 단말(120x)(120y)을 나타낸 블록도이다. 액세스

포인트(110x)는 도 1에서의 액세스 포인트 중 하나이며, 다중(Nap) 안테나(324a - 324ap)가 설치되어 있다. 사용자 단말(120x)은 단일 안테나(352x)가 설치되고, 사용자 단말(120y)은 다중(Nut) 안테나(325a - 352ut)가 설치된다.

[0166] 하향링크에서 액세스 포인트(110x)에서의 TX 데이터 프로세서(310)는 데이터 소스(308)로부터 하나 이상의 사용자 단말을 위한 트래픽 데이터를 수신하고, 제어기(330)로부터는 제어 데이터를, 스케줄러(334)로부터는 기타 다른 데이터를 각각 수신한다. 여러 가지 타입의 데이터가 여러 가지 송신 채널을 통해 송신될 수 있다. TX 데이터 프로세서(310)는 하나 이상의 코딩 및 변조 방식을 기초로 여러 가지 타입의 데이터를 처리(예를들면 기호화, 인터리브, 심볼 매핑)하여 데이터 심볼의  $N_s$  스트림을 얻는다. 여기 설명한 바와 같이, "데이터 심볼"은 데이터를 위한 변조심볼이고, "파일럿 심볼"은 파일럿을 위한 변조심볼이다. TX 공간 프로세서(320)는 TX 데이터 프로세서(310)로부터  $N_s$  데이터 심볼 스트림을 수신하여 파일럿 심볼에서 행렬  $E_{ap}(k)$  ( $k=1 \dots N_F$ )을 이용하여 데이터 심볼에 대한 공간처리를 수행하고, 파일럿 심볼로 다중화하여  $N_{ap}$  안테나를 위해 전송 심볼  $N_{ap}$  스트림을 제공한다. 행렬  $E_{ap}(k)$ 은 사용을 위해 선택된 공간 다중화 모드에 따라서 도출된다. TX 데이터 프로세서(310) 및 TX 공간 프로세서(320)는 다음에 설명한다.

[0167] 각 변조기(MOD)(322)는 각 전송 심볼 스트림을 수신 및 처리하여 OFDM 심볼의 스트림을 얻으며, 추가로 OFDM 심볼 스트림을 조율(예를들면 증폭, 여과, 주파수 상향변환)하여 하향링크 신호를 생성한다. Nap 변조기(322a - 322ap)는 안테나(324a - 324ap)로부터 사용자 단말로 송신을 위한 Nap 하향링크 신호를 제공한다.

[0168] 각 사용자 단말(120)에서, 하나 이상의 다중 안테나(352)는 Nap 하향링크 신호를 수신하고, 각 안테나는 수신된 신호를 각 복조기(DEMOD)(354)로 보낸다. 각 복조기(354)는 변조기(322)에 의해 수행된 것과는 상보적으로 처리를 수행하여 수신 심볼의 스트림을 제공한다. 단일 안테나 사용자 단말(120x)의 경우, RX 공간 프로세서(360x)는 단일 복조기(354x)로부터 수신 심볼 스트림의 코히런트 복조를 수행하여 복원 데이터 심볼의 한 스트림을 제공한다. 다중 안테나 사용자 단말(120y)의 경우, RX 공간 프로세서(360y)는 공간 필터 행렬  $M_{ut}(k)$  ( $k=1 \dots N_F$ )을 가지고  $N_{ut}$  복조기(354)로부터  $N_{ut}$  수신 심볼 스트림에 대해 공간처리를 수행하여 복원 데이터 심볼의  $N_{ut}$  스트림

을 제공한다. 어떤 경우라도, 각 복원 데이터 심볼 스트림  $\{\hat{s}_m\}$ 은 액세스 포인트(110x)에 의해 이 사용자 단말(120)로 송신된 데이터 심볼 스트림  $\{s_m\}$ 의 추정이다. RX 데이터 프로세서(370)는 적절한 송신 채널로 복원 데이터 심볼을 수신하여 복원 데이터 심볼을 적절한 송신 채널로 디멀티플렉스된다. 각 송신채널에 대한 복원 데이터 심볼은 이후 처리되어(예를들면 디매핑, 디 인터리브 및 디코딩) 이 송신채널에 대한 디코딩 데이터를 얻는다. 각 송신채널에 대한 디코딩데이터는 디코딩 트래픽 데이터, 제어 데이터 등을 포함하며, 이것은 저장용 데이터 싱크(372) 및/또는 차후 처리를 위한 제어기(380)에 제공된다.

[0169] 각 사용자 단말(120)에서 채널 추정기(378)는 하향링크 채널 응답을 추정하여 채널 추정을 제공하며, 이 추정으로는 채널 이득 추정, SNR 추정, 등을 들 수 있다. 제어기(380)는 채널 추정을 수신하여 송신 및 수신 통로 상에서 공간처리를 위해 사용되는 벡터 및/또는 계수를 도출하여 하향링크 상에서 각 데이터 심볼 스트림을 위한 적절한 레이트를 결정한다. 예를들면, 다중 안테나 사용자 단말(120y)을 위한 제어기(380y)는 하향 채널 응답 행렬  $H_{dn}(k)$ 에 기초하여 상향링크를 위한 스티어링 벡터의 행렬  $E_{ut}(k)$ 과 하향링크를 위한 공간 필터 행렬  $M_{ut}(k)$ 을 도출한다(단  $k = 1 \dots N_F$ ). 제어기(380)는 또한 하향링크 상에서 수신된 각 패킷/프레임의 상태를 수신하고, 액세스 포인트(110x)를 위한 피드백 정보를 조립한다. 피드백 정보와 상향링크 데이터는 TX데이터 프로세서(390)에 의해 처리되고, TX 공간 프로세서(392)에 의해 공간처리되며(사용자 단말120이 존재한다면), 파일럿 심볼로 다중화되고, 하나 이상의 변조기(354)에 의해 조율되어 하나 이상의 안테나(352)를 통해 액세스 포인트(110x)로 송신된다.

[0170] 액세스 포인트(110x)에서, 사용자 단말(120)에서 수행된 것과는 상보적인 방법으로, 송신된 상향링크 신호는 안테나(324)에 의해 수신되고, 복조기(322)에 의해 복조되며, RX공간 프로세서(340) 및 RX데이터 프로세서(342)에 의해 처리된다. 복원 피드백 정보는 제어기(330) 및 스케줄러(334)에 보내진다. 스케줄러(334)는 피드백 정보를 이용하여 다수의 기능, 이를테면 (1) 하향링크 상에서 데이터 송신을 위한 일조의 사용자 단말을 스케줄링하고, 이용가능한 하향링크 자원과 상향링크 자원을 스케줄링된 단말에 할당한다.

[0171] 제어기(330)(380)는 액세스 포인트(110x)와 단말(120)에서 여러 가지 처리 유닛을 각각 제어한다. 예를들면, 제어기(380)는 사용자 단말(120)의 경우 하향링크 상에서 공간 채널에 의해 지원되는 최고 레이트를 판정한다. 제

어기(330)는 각 스케줄링된 사용자 단말의 각 공간 채널을 위해 레이트, 페이로드 크기, 및 OFDM 심볼 크기를 선택할 수 있다.

[0172] 상향링크의 경우, 액세스 포인트(110x)와 사용자 단말(120x)(120y)에서의 처리는 하향링크의 처리와 같을 수도 있고, 다를 수도 있다. 간단하게 하향링크를 위한 처리과정을 이하에서 설명한다.

[0173] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따라서, 액세스 포인트(110x)에 있어서 TX데이터 프로세서(310)를 나타낸 블록도이다. TX데이터 프로세서(310)는 일조의 인코더(412), 채널 인터리브(414), 각  $N_s$  데이터 스트림을 위한 심볼 매핑 유닛(416)을 포함한다. 각 데이터 스트림  $\{d_m\}$  ( $m = 1 \dots N_s$ )의 경우 인코더(412)는 이 스트림을 위해 선택된 코딩 방식에 기초하여 데이터 스트림을 수신하여 부호화하여 코드 비트를 제공한다. 코딩 방식으로는 CRC, 돌림형, 터보, 저밀도 페리티체크(LDPC : Low Density Parity Check), 블록, 기타 코딩방식 또는 이것들의 조합을 들 수 있다. 채널 인터리브(414)는 인터리빙 방식에 기초하여 코드 비트를 인터리브(즉, 재차수화)한다. 심볼 매핑 유닛(416)은 이 스트림을 위해 선택된 변조방식에 기초하여 인터리브된 비트를 매핑하여 데이터 심볼 스트림  $\{s_m\}$ 을 제공한다. 유닛(416)은 각 조의 B 인터리브된 비트를 그룹화하여 B비트 이진 값을 형성하고(여기서  $B \geq 1$ ), 선택된 변조방식에 기초하여 추가로 각 B비트 이진값을 특정 데이터 심볼에 매핑한다(예를들면, QPSK, M-PSK, 또는 M-QAM, 수학식중  $M=2^B$ ). 각 데이터 스트림을 위한 코딩 및 변조는 제어기(330)가 제공하는 코딩 및 변조제어에 따라서 수행된다.

[0174] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따라서 액세스 포인트(110x)에 있어서 TX 공간 프로세서(320) 및 변조기(322a-322ap)의 일실시예를 나타낸다. 본 실시예에 있어서, TX공간 프로세서(320)는  $N_s$  디멀티플렉서(Demux)(510a-510s),  $N_F$  TX 서브밴드 공간 프로세서(520a-520f),  $N_{ap}$  멀티플렉서(Mux)(530a-530ap)를 포함한다. 각 디멀티플렉서(510)는 TX 공간 프로세서(320)로부터 각 데이터 심볼 스트림  $\{s_m\}$ 을 수신하고, 이 스트림을  $N_F$  서브밴드를 위한  $N_F$  데이터 심볼 서브스트림으로 디멀티플렉스하여,  $N_F$  서브스트림을  $N_F$  공간 프로세서(520a-520f)로 제공한다. 각 공간 프로세서(520)는  $N_s$  디멀티플렉서(510a-510s)로부터 그 해당 서브밴드를 위한  $N_s$  데이터 심볼 서브스트림을 수신하여 이들 서브스트림에 대하여 송신공간처리를 수행하고,  $N_{ap}$  액세스 포인트 안테나를 위한  $N_{ap}$  전송 심볼 서브스트림을 제공한다. 각 공간 프로세서(520)는 행렬  $E_{ap}(k)$ 로 데이터 벡터  $\underline{x}_{dn}(k)$ 를 다중화하여 송신벡터  $\underline{x}_{dn}(k)$ 를 얻는다. 행렬  $E_{ap}(k)$ 은 (1) 단일 사용자 스티어링 모드의 경우  $H_{dn}(k)$ 의 우측 고유벡터의 행렬  $V_{dn}(k)$ , (2)다중 사용자 스티어링 모드의 경우 행렬  $E_{ap}(k)$ , 또는 (3) 단일 사용자, 비스티어링모드의 경우 식별 행렬  $I$ 과 같다.

[0175] 각 멀티플렉서(530)는  $N_F$  공간 프로세서(520a-520f)로부터 그 송신 안테나를 위한  $N_F$  전송 심볼 서브 스트림을 수신하고, 이들 서브스트림 및 파일럿 심볼을 멀티플렉스하며, 그 송신 안테나를 위한 전송 심볼 스트림  $\{x_j\}$ 을 제공한다. 파일럿 심볼은 주파수 (즉 일부 서브밴드), 시간(즉 일부 심볼 주기), 및/또는 코드 공간(즉, 직교 코드)으로 다중화된다.  $N_{ap}$  멀티플렉서(530a - 530ap)는 안테나(324a - 324ap)를 위한  $N_{ap}$  심볼 스트림  $\{x_j\}$  ( $j=1 \dots N_{ap}$ )을 송신한다.

[0176] 도 5의 실시예의 경우, 각 변조기(322)는 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)유닛(542), 싸이클릭 프리픽스 발생기(544), TX RF 유닛(546)을 포함한다. IFFT 유닛(542) 및 싸이클릭 프리픽스 발생기(544)는 OFDM 변조기를 구성한다. 각 변조기(322)는 TX공간 프로세서(320)로부터 각 전송 심볼 스트림  $\{x_j\}$ 를 수신하여  $N_F$  서브밴드를 위한 각 조의  $N_F$  전송 심볼을 그룹화한다. IFFT 유닛(542)은  $N_F$  포인트 인버스 패스트 푸리에 변환(IFFT)을 이용하여 각 조의  $N_F$  전송 심볼을 시간 도메인으로 변형하고, 그 결과로서  $N_F$  칩을 포함하는 대응 변형 심볼을 제공한다. 싸이클릭 프리픽스 발생기(544)는 각 변형심볼의 일부를 중계하여  $N_F + N_{cp}$  칩을 포함하는 대응 OFDM 심볼을 얻는다. 중계된 부분(즉, 싸이클릭 프리픽스)은 OFDM 심볼이 주파수 선택 페이딩에 의해 야기되는 다중통로 지연 전파의 존재하에서 그 직교특성을 유지하는것을 보장한다. TX RF 유닛(546)은 제너레이터(544)로부터 OFDM 심볼 스트림을 수신 및 조율하여 하향링크 변조 신호를 생성한다.  $N_{ap}$  하향링크 변조 신호는  $N_{ap}$  안테나(324a - 324ap)로부터 각각 송신된다.

[0177] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따라서 다중 안테나 사용자 단말(120y)에서의 복조기(354a-354ut) 및 RX 공간 프

로 세서(360y)를 나타낸 블록도이다. 사용자 단말(120y)에서,  $N_{ut}$  안테나(352a - 352ut)는 액세스 포인트(110x)에 의해 송신된  $N_{ap}$  변조신호를 수신하여  $N_{ut}$  수신신호를  $N_{ut}$  복조기(354a-354ut)로 각각 복조한다. 각 복조기(354)는 RX RF 유닛(612), 싸이클릭 프리픽스 제거기 유닛(614), 패스트 푸리에 변환(FFT) 유닛(616)을 포함한다. 유닛(614)(616)은 OFDM 복조기를 형성한다. 각 복조기(354) 내에서, RX RF 유닛(612)은 각 수신신호를 수신, 조율, 디지털화하여, 칩 스트림을 제공한다. 싸이클릭 프리픽스 제거기 유닛(614)은 각 수신 OFDM 심볼에서 싸이클릭 프리픽스를 제거하여 수신된 변형 심볼을 얻는다. FFT 유닛(616)은 이후  $N_F$  포인트 패스트 푸리에 변환에 의해 각 수신된 변형 심볼을 주파수 도메인을 변형하여  $N_F$  서브밴드를 위한  $N_F$  수신심볼을 얻는다. FFT 유닛(616)은 수신 심볼의 스트림을 RX 공간 프로세서(360y)로 제공하고, 수신 파일럿 심볼을 채널 추정기(378y)로 제공한다.

[0178]

도 6의 실시예에서, RX 공간 프로세서(360y)는 사용자 단말(120y)의  $N_{ut}$  안테나를 위한  $N_{ut}$  디멀티플렉서(630a - 630ut),  $N_F$  RX 서브밴드 공간 프로세서(640a-640f),  $N_F$  서브밴드를 위한  $N_F$  스케일링 유닛(642a-642f),  $N_s$  데이터 스트림을 위한  $N_s$  멀티플렉서(650a-650s)를 포함한다. RX 공간 프로세서(360y)는 복조기(354a - 354ut)로부터  $N_{ut}$  수신 심볼 스트림  $\{r_i\}$  ( $i=1\dots N_{ut}$ )을 얻는다. 각 디멀티플렉서(630)는 각 수신 심볼 스트림  $\{r_i\}$ 을 수신하고, 이 스트림을  $N_F$  서브밴드를 위한  $N_F$  수신심볼 서브스트림으로 디멀티플렉스하고,  $N_F$  서브스트림을  $N_F$  공간 프로세서(640a-640f)에 제공한다. 각 공간 프로세서(640)는  $N_{ut}$  디멀티플렉서(630a - 630ut)로부터 그 서브밴드를 위한  $N_{ut}$  수신심볼 서브스트림을 얻어서, 이를 서브스트림에서 수신 공간처리를 수행하고, 그 서브밴드를 위한  $N_s$  검출심볼 서브스트림을 제공한다. 각 공간 프로세서(640)는 행렬  $\underline{M}_{ut}(k)$ 로 수신벡터  $\underline{r}_{dn}(k)$ 를 곱하여 검출 심볼 벡터  $\tilde{\underline{s}}_{dn}(k)$ 를 얻는다. 행렬  $\underline{M}_{ut}(k)$ 는 단일 사용자 스티어링 모드의 경우(1)  $\underline{H}_{dn}(k)$ 의 좌측 고유벡터의 행렬  $\underline{U}_{dn}^H(k)$ , (2) 단일 사용자 비스티어링 모드의 경우 행렬  $\underline{M}_{ccm1}(k)$ ,  $\underline{M}_{mme}(k)$  또는 다른 기타 행렬과 동등하다.

[0179]

각 스케일링 유닛(642)은 그 서브밴드를 위해  $N_s$  검출 심볼 서브 스트림을 수신하고, 이를 서브스트림을 스케일링하여, 그 서브밴드에 대한  $N_s$  복원 심볼 서브스트림을 제공한다. 각 스케일링 유닛(642)은 대각행렬  $\underline{D}_{ut}^{-1}(k)$ 로 검출 심볼 벡터  $\tilde{\underline{s}}_{dn}(k)$ 의 신호 스케일링을 행하여 복원 데이터 심볼 벡터  $\hat{\underline{s}}_{dn}(k)$ 을 제공한다. 각 멀티플렉서(650)는  $N_F$  스케일링 유닛(642a - 642f)으로부터 그 데이터 스트림을 위한  $N_F$  복원 데이터 심볼 서브스트림을 수신 및 다중화하여 복원 데이터 심볼 스트림을 제공한다.  $N_s$  멀티플렉서(650a - 650s)는  $N_s$  복원데이터 심볼 스트림  $\{\hat{s}_m\}$  ( $m=1\dots N_s$ )을 제공한다.

[0180]

도 7은 본 발명의 일실시예로서 사용자 단말(120y)에서 RX 데이터 프로세서(370y)를 나타낸 블록도이다. RX 데이터 프로세서(370y)는 일조의 심볼 디매핑 유닛(712), 채널 디인터리버(714), 각  $N_s$  데이터 스트림을 위한 디코더(716)을 포함한다. 복원데이터 심볼 스트림  $\{\hat{s}_m\}$  ( $m=1\dots N_s$ )의 경우, 심볼 디매핑 유닛(712)은 이 스트림을 위해 사용되는 변조방식에 따라서 복원 데이터 심볼을 복조한다. 채널 디인터리버(714)는 액세스 포인트(110x)에서 그 스트림에 대해 수행한 인터리브 동작과 상보되는 방법으로, 복조 데이터를 디인터리브한다. 디코더(716)는 이후 이 스트림에 대해 액세스 포인트(110x)에 의해 수행한 부호화동작과 상보되는 방법으로 디인터리브된 데이터를 디코딩한다. 예를들면, 터보 디코더 또는 비테르비(Viterbi) 디코더는 터보 또는 돌림형 코딩인 경우 디코더(716)로서 액세스 포인트(110x)에서 각각 사용된다. 디코더(716)는 각 수신 데이터 패킷을 위해 디코딩된 패킷을 제공한다. 디코더(716)는 또한 각 디코딩 패킷을 체크하여 패킷이 올바르게 디코딩되었는지의 여부를 판정하고 디코딩 패킷의 상태를 부여한다. 각 복원 데이터 심볼 스트림에 대한 복조 및 디코딩은 제어기(380y)가 제공하는 복조 및 디코딩 제어에 따라서 수행된다.

[0181]

도 8은 SIC 기법을 수행하는 RX 공간 프로세서(360z)와 RX 데이터 프로세서(370z)를 나타낸 블록도이다. RX 공간 프로세서(360z) 및 RX 데이터 프로세서(370z)는  $N_s$  데이터 심볼 스트림에 대해  $N_s$  연속(즉, 케스케이딩된) 수신기 처리 스테이지를 구현한다. 각 스테이지(1 내지  $N_s-1$ )는 공간 프로세서(810), 간접 소거기(820), RX

데이터 스트림 프로세서(830), TX 데이터 스트림 프로세서(840)를 포함한다. 최후 스테이지는 단지 공간 프로세서(810s)와 RX 데이터 스트림 프로세서(830s) 만을 포함한다. 도 7에 도시한 바와 같이, 각 RX 데이터 스트림 프로세서(830)는 심볼 디매핑 유닛(712), 채널 디인터리버(714), 디코더(716)를 포함한다. 도 4에 도시한 바와 같이, 각 TX 데이터 스트림 프로세서(840)는 인코더(412), 채널 인터리버(414), 심볼 매핑 유닛(416)을 포함한다.

[0182] 스테이지 1의 경우, 공간 프로세서(810a)는 Nut 수신 심볼 스트림 상에서 수신기 공간처리를 수행하여 하나의 복원 데이터 심볼 스트림  $\{\hat{s}_{j_1}\}$  을 제공하며, 첨자  $j_1$ 은 데이터 심볼 스트림  $\{s_{j_1}\}$  을 송신하는데 사용되는 액세스 포인트 안테나를 나타낸다. RX 데이터 스트림 프로세서(830a)는 복원 데이터 심볼 스트림  $\{\hat{s}_{j_1}\}$  을 복조, 디인터리브, 디코딩하여, 대응 디코딩 데이터 스트림  $\{\hat{d}_{j_1}\}$  을 제공한다. TX 데이터 스트림 프로세서(840a)는 이 스트림에 해당하는 액세스 포인트(110x)가 수행하는 방법으로 디코딩 데이터 스트림  $\{\hat{d}_{j_1}\}$  을 부호화, 인터리브화, 변조화하여 재변조 심볼 스트림  $\{\check{s}_{j_1}\}$  을 제공한다. 간접 소거기(820a)는 액세스 포인트(110x)가 수행하는 것과 같은 방법으로 재변조 심볼 스트림  $\{\check{s}_{j_1}\}$  에 대해 공간처리를 수행하고, 채널 응답 행렬  $H_{dn}(k)$ 로 그 결과를 처리하여 데이터 심볼 스트림  $\{s_{j_1}\}$  에 기인한  $N_{ut}$  인터페이스 성분을 얻는다.  $N_{ut}$  인터페이스 성분은  $N_{ut}$  수신심볼 스트림에서 감산하여  $N_{ut}$  변형 심볼 스트림을 얻게되며, 이것을 스테이지 2로 보낸다.

[0183] 각 스테이지 2 내지  $N_s-1$ 은  $N_{ut}$  수신심볼 스트림 대신에 선행 스테이지로부터의  $N_{ut}$  변형 심볼 스트림에 대하여 스테이지 1과 동일한 처리를 수행한다. 최후 스테이지는 스테이지  $N_s-1$ 로부터  $N_{ut}$  변형 심볼 스트림에 대해 공간 처리 및 디코딩을 수행하며, 인터페이스 추정 및 소거는 수행하지 않는다.

[0184] 공간 프로세서(810a - 810s)는 각각 CCMI, MMSE, 또는 기타 다른 수신기 처리 기술을 수행할 수 있다. 각 공간 프로세서(810)는 입력(수신 또는 변형)심볼 벡터  $r_{dn}^l(k)$ 를  $M_{ut}^l(k)$ 로 승산하여 검출심볼 벡터  $\tilde{s}_{dn}^l(k)$ 를 얻고, 검출심볼 스트림 중 하나를 선택 및 스케일링하여 이 스테이지에서의 복원 데이터 심볼 스트림으로서 스케일링 된 심볼 스트림을 제공한다. 행렬  $M_{ut}^l(k)$ 는 이 스테이지의 경우 감소된 채널 응답 행렬  $H_{dn}(k)$ 을 기초로 도출된다.

[0185] 상향 링크의 경우 처리 액세스 포인트(110x)와 사용자 단말(120y)에서의 처리 유닛은 상술한 바와 같이 하향 링크의 경우와 같이 구현될 수 있다. TX 데이터 프로세서(390y) 및 TX 공간 프로세서(392y)는 도 4의 TX 데이터 프로세서(310), 그리고 도 5의 TX 공간 프로세서(320)로 각각 구현될 수 있다. RX 공간 프로세서(340)는 RX 공간 프로세서(360y 또는 360z)로 구현되고, RX 데이터 프로세서(342)는 데이터 프로세서(370y 또는 370z)로 구현된다.

[0186] 단일 안테나 사용자 단말(120x)의 경우, RX 공간 프로세서(360x)는 채널 추정으로 한 수신심볼 스트림의 코하린트 복조를 수행하여 한 복원 데이터 심볼 스트림을 얻는다.

#### A. 채널 추정

[0188] 하향 링크와 상향 링크의 채널 응답은 MIMO 파일럿과 스티어링된 파일럿과 같은 여러 가지 방법으로 추정될 수 있다. TDD MIMO 시스템의 경우, 특정 기술을 이용하여 채널 추정을 단순화할 수 있다.

[0189] 하향 링크의 경우, 액세스 포인트(110x)는 MIMO 파일럿을 사용자 단말(120)로 송신한다. MIMO 파일럿은 Nap 액세스 포인트 안테나로부터 Nap 파일럿 송신을 포함하며, 각 안테나로부터의 파일럿 송신은 여러 가지 직교 시퀀스(예를들면, 월시 시퀀스:Walsh Sequency)로 "커버된다". 이 커버링은 일종의 프로세스로서, 이 프로세스를 통해 송신될 소정의 변조 심볼(또는 동일한 값을 갖는 일조의 L변조 심볼)이 L-칩 직교 시퀀스의 모든 칩으로 승산되어 L커버된 심볼을 얻으며, 이 심볼은 이후 다른 곳으로 송신된다. 상기 커버링 프로세스를 통해 Nap 액세스 포인트 안테나로부터 송신된 Nap 파일럿 송신 중에서 직교성을 얻고, 사용자 단말은 파일럿 송신과 각 안테나를

구별할 수 있게 된다.

[0190] 각 사용자 단말(120)에서, 채널 추정기(378)는 Nap 안테나에 대해 액세스 포인트(110x)가 사용한 것과 동일한 Nap 직교 시퀀스로 각 사용자 단말 안테나i에 대해 수신 파일럿 심볼을 "디커버(decover)"하여, 사용자 단말 안테나i와 각 Nap 액세스 포인트 안테나 간의 콤플렉스 채널 이득의 추정을 얻는다. 디커버링 프로세스는 커버링 프로세스와 상보적인 프로세스로서, 이 프로세스를 통해, 수신(파일럿)심볼은 L칩 직교 시퀀스의 L칩으로 승산되어 L 디커버된 심볼을 얻으며, 얻어진 이 심볼은 이후 측적되어 송신(파일럿) 심볼의 추정을 얻게된다. 채널 추정기(378)는 파일럿 송신을 위해 사용되는 각 서브밴드를 위해 동일한 파일럿 프로세스를 수행한다. 파일럿 심볼이 오직  $N_F$  서브밴드의 서브셋트를 통해 송신되면, 이후 채널 추정기(378)는 파일럿 송신없이 서브밴드에 대한 채널 응답 추정을 획득하도록 파일럿 전송과 함께 서브밴드에 대한 채널 응답 추정에 대하여 보간(interpolation)을 수행할 수 있다. 단일 안테나 사용자 단말(120x)의 경우, 단일 안테나(352)에 대해 채널 추정기(378x)는 추정된 하향링크 채널 응답 벡터  $\underline{H}_{dn}(k)$  ( $k=1 \dots N_F$ )를 제공한다. 다중 안테나 사용자 단말(120y)의 경우, 채널 추정기(378y)는 모든 Nut 안테나(352a - 352ut)에 대해 동일한 파일럿 프로세스를 수행하고, 추정된 하향링크 채널 응답 행렬  $\underline{H}_{dn}(k)$  ( $k=1 \dots N_F$ )을 제공한다. 각 사용자 단말(120)은 또한 수신 파일럿 심볼에 기초하여 하향링크를 위한 노이즈 변화를 추정하고 하향링크 노이즈 추정  $\hat{\sigma}_{dn}^2$  을 제공한다.

[0191] 상향 링크의 경우, 다중 안테나 사용자 단말(120y)은 액세스 포인트(110x)에 의해 사용될 수 있는 MIMO 파일럿을 송신하여 사용자 단말(120y)에 대한 상향링크 채널 응답  $\hat{\underline{H}}_{up}(k)$  을 추정할 수 있다. 단일 안테나 사용자 단말(120x)은 그 단일 안테나로부터 파일럿을 송신할 수 있다. 다수의 단일 안테나 사용자 단말(120)은 상향링크 상에서 직교 파일럿을 동시에 송신할 수 있으며, 여기서 직교성은 시간 및/또는 주파수로 얻어질 수 있다. 시간 직교성은 사용자 단말에 할당된 여러 가지 직교 시퀀스를 갖는 상향링크 파일럿을 각 사용자가 커버하여 얻는다. 주파수 직교성은 각 사용자 단말이 다양한 일조 이상의 여러 가지 서브밴드에 대해 상향링크를 송신하여 얻을 수 있다. 다중 사용자 단말로부터 동시에 상향링크 파일럿 송신은 대략 액세스 포인트(110x)에서 대략 시간 할당되어야 한다(예를들면 싸이클 프리픽스 내에서 시간 할당됨).

[0192] TDD MIMO 시스템의 경우, 하향링크와 상향링크가 서로 동일한 주파수 대역을 공유하므로 하향링크와 상향링크에 대한 채널 응답 간에 높은 정도의 상관관계가 존재한다. 그러나 액세스 포인트에서 송수신 체인의 응답은 통상적으로 사용자 단말에서 송수신 체인의 응답과 같지 않다. 이러한 차이가 캘리브레이션을 통해 판정되어 보상된다면 전체 하향링크와 상향링크 채널 응답은 상호 가역적(즉, 전치적)이다.

[0193] 도 9는 액세스 포인트(110x)와 사용자 단말(120y)에서 송수신체인을 나타낸 것이다. 액세스 포인트(110x)에서, 송신통로는 Nap  $\times$  Nap 행렬  $\underline{T}_{ap}(k)$ 로 모델화되고, 수신통로는 Nap  $\times$  Nap 행렬  $\underline{R}_{ap}(k)$ 로 모델화된다. 사용자 단말(120y)에서는 수신통로는 Nut  $\times$  Nut 행렬  $\underline{T}_{ut}(k)$ 로 모델화되고, 송신통로는 Nut  $\times$  Nut 행렬  $\underline{R}_{ut}(k)$ 로 모델화된다. 각 서브밴드에 대해 하향링크와 상향링크에 대한 수신 심볼 벡터는 다음과 같이 표현된다.

### 수학식 33

$$\underline{r}_{dn}(k) = \underline{R}_{ut}(k) \underline{H}(k) \underline{T}_{ap}(k) \underline{x}_{dn}(k) \quad \text{및}$$

$$\underline{r}_{up}(k) = \underline{R}_{ap}(k) \underline{H}^T(k) \underline{T}_{ut}(k) \underline{x}_{up}(k)$$

[0195] [0196] 수학식 중 "T"는 전치를 의미한다. 수학식 34에서 하향링크와 상향링크는 상호 전치이다. 각 서브밴드에 대해 "유효" 하향링크 및 상향링크 응답  $\underline{H}_{cdn}(k)$  및  $\underline{H}_{cup}(k)$ 은 전송체인과 수신체인의 응답을 포함하며, 다음과 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 34

[0197]  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{edn}}(k) = \underline{\mathbf{R}}_{\text{ut}}(k) \underline{\mathbf{H}}(k) \underline{\mathbf{T}}_{\text{ap}}(k)$  및

[0198]  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{eup}}(k) = \underline{\mathbf{R}}_{\text{ap}}(k) \underline{\mathbf{H}}^T(k) \underline{\mathbf{T}}_{\text{ut}}(k)$

[0199] 하향링크와 상향링크의 송신/수신체인의 응답이 상호 동일하지 않다면 유효 하향링크와 상향링크 채널 응답은

상호 가역적이 아니다(즉  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{edn}}(k) \neq \underline{\mathbf{H}}_{\text{eup}}^T(k)$  이다).

[0200] 액세스 포인트(110x)와 사용자 단말(120y)은 캘리브레이션을 수행하여 각 서브밴드에 대해 정정행렬  $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$  및  $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)$ 를 얻으며, 이것에 대해서는 다음과 같이 표현된다.

### 수학식 35

$$\underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k) = \underline{\mathbf{T}}_{\text{ap}}^{-1}(k) \underline{\mathbf{R}}_{\text{ap}}(k)$$

[0201]

$$\underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k) = \underline{\mathbf{T}}_{\text{ut}}^{-1}(k) \underline{\mathbf{R}}_{\text{ut}}(k)$$

[0202]

[0203] 정정 행렬은 하향링크와 상향링크 양쪽을 통해 MIMO 파일럿을 송신하고 MMSE 기준 또는 다른 방식을 이용하여 정정 행렬을 도출한다. 도 9에 도시한 바와 같이, 정정 행렬  $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$  및  $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)$ 은 액세스 포인트(110x)와 사용자 단말(120y)에 각각 적용된다. 그러면 "캘리브레이션된" 하향링크와 상향링크 채널 응답  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$  및  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$ 은 상호 가역적으로 되며, 다음과 같이 표현된다.

### 수학식 36

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{\text{up}}(k) \underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k) = (\underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k) \underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k))^T = \underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}^T(k)$$

[0204]

[0205] 각 서브밴드에 대해 캘리브레이션된 상향링크와 하향링크 채널 응답 행렬  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$  및  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$ 의 단일값 분해는 다음과 같이 표현된다.

### 수학식 37

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k) = \underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k) \underline{\Sigma}(k) \underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^H(k)$$

[0206]

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k) = \underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^*(k) \underline{\Sigma}(k) \underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^H(k)$$

[0207]

[0208] 수학식 (38)에서 나타낸 바와 같이,  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$ 의 좌측 및 우측 고유벡터의 행렬  $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^*(k)$  및  $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^*(k)$ 은  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$ 의 좌측 및 우측 고유벡터의 행렬  $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$  및  $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$ 의 공액 복소수이다. 행렬  $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$ 는 송신과 수신 공간처리 모두를 위해 액세스 포인트(110x)에서 사용되고, 행렬  $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$ 는 송신과 수신 공간처리 모두를 위해 사용자 단말(120y)에서 사용된다.

[0209]

TDD MIMO 시스템을 위한 MIMO 채널의 가역적 특성 때문에 그리고 송신/수신체인에서의 차이를 보상하기 위해 캘리브레이션이 수행된 이후 단일값 분해는 단지 사용자 단말(120y) 또는 액세스 포인트(110x)에 의해 수행되는 것만 필요하다. 사용자 단말(120y)에서 수행되었다면, 행렬  $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$  ( $k=1 \dots N_F$ )는 사용자 단말에서 공간처리를 위해 사용되고, 행렬  $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$  ( $k=1 \dots N_F$ )는 직접적인 형태로(예를들면 행렬  $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$ 의 엔트리를 보내는 것으로)액세스 포인트에 제공되거나, 간접적인 형태로(예를들면, 스티어링된 파일럿을 통해) 액세스 포인트에 제공된다. 실질적으로, 사용자 단말(120y)은  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$ 의 추정인 단지  $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cdn}}(k)$ 만을 얻게되며, 이것은 각각  $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$   $\underline{\Sigma}(k)$  및  $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$ 의

추정인  $\hat{\mathbf{V}}_{ut}(k)$ ,  $\hat{\mathbf{\Sigma}}(k)$  및  $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)$  만을 도출할 수 있다. 단순화를 위해, 여기서 설명하는 채널추정은 오차가 없는 것으로 가정한다.

[0210] 사용자 단말(120y)에 의해 송신된 상향링크 스티어링된 파일럿은 다음수학식으로 표현된다.

### 수학식 38

$$\underline{\mathbf{X}}_{up,m}(k) = \underline{\mathbf{K}}_{ut}(k) \underline{\mathbf{V}}_{ut,m}(k) p(k)$$

[0211] [0212] 수학식중  $\underline{\mathbf{V}}_{up,m}(k)$ 은 행렬  $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$ 의  $m$ 번 열이고,  $p(k)$ 는 파일럿 심볼이며, 액세스 포인트(110x)에서 수신 상향링크 스티어링된 파일럿은 다음 수학식으로 표현된다.

### 수학식 39

$$\underline{\mathbf{r}}_{up,m}(k) = \underline{\mathbf{u}}_{ap,m}(k) \sigma_m p(k) + \underline{\mathbf{n}}_{up}(k)$$

[0213] [0214] 수학식(40)은 사용자 단말(120y)로부터 상향링크 스티어링된 파일럿에 기초하여 액세스 포인트(110x)가 한번에 한 벡터씩 행렬  $\underline{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ 를 얻을 수 있다는 것을 보여준다.

[0215] 한 상보적 프로세스가 수행되어, 사용자 단말(120y)은 상향링크 상에서 MIMO 파일럿을 송신하고, 액세스 포인트(110x)는 단일값분해를 수행하며, 하향링크 상에서 스티어링된 파일럿을 송신한다. 하향링크와 상향링크를 위한 채널추정을 또한 다른 방법으로 수행할 수도 있다.

[0216] 각 사용자 단말(120)에서, 채널 추정기(378)는 하향링크 채널 응답을 추정하고(예를들면, 액세스 포인트 110x에서 송신된 MIMO 파일럿 또는 스티어링된 파일럿을 기초로), 제어기(380)에 하향링크 채널 추정을 제공한다. 단일 안테나 사용자 단말(120x)의 경우, 제어기(380x)는 코히런트 복조를 위해 사용되는 콤플렉스 채널이득을 도출할 수 있다. 다중안테나 사용자 단말(120y)의 경우, 제어기(380y)는 하향링크 채널 추정을 기초로 수신 공간 처리를 위해 사용되는 행렬  $\underline{\mathbf{M}}_{ut}(k)$ 과, 송신공간 처리를 위해 사용되는 행렬  $\underline{\mathbf{E}}_{ut}(k)$ 을 도출할 수 있다. 액세스 포인트(110x)에서, 채널 추정기(328)는 상향링크 채널 응답을 추정하고(예를들면 사용자 단말 120에 의해 송신된 스티어링된 파일럿 또는 MIMO 파일럿에 기초하여), 제어기(380)에 상향링크 채널 추정을 제공한다. 제어기(380)는 송신 공간 처리를 위해 사용되는 행렬  $\underline{\mathbf{E}}_{ap}(k)$ 과 상향 채널 추정을 기초로 수신공간처리를 위해 사용되는 행렬  $\underline{\mathbf{M}}_{ap}(k)$ 을 도출할 수 있다.

[0217] 도 9는 액세스 포인트(110x)와 사용자 단말(120y)에서 한 서브밴드k에 대해 하향링크와 상향링크를 위해 공간 처리를 수행하는 것을 나타낸 것이다. 하향링크의 경우, 액세스 포인트(110x)의 TX 공간 프로세서(320) 내에서 데이터 벡터  $\underline{\mathbf{s}}_{dn}(k)$ 가 먼저 유닛(910)에 의해 행렬  $\underline{\mathbf{E}}_{ap}(k)$ 로 승산되고, 다시 유닛(912)에 의해 정정행렬  $\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ 로 승산되어 송신벡터  $\underline{\mathbf{x}}_{dn}(k)$ 를 얻는다. 벡터  $\underline{\mathbf{x}}_{dn}(k)$ 는 변조기(322)에서 전송체인(914)에 의해 처리되고, MIMO 채널을 통해 사용자 단말(120y)로 송신된다. 유닛(910)(912)은 하향링크를 위한 송신공간처리를 수행하며 도 5에서의 TX 서브밴드 공간 프로세서(520)내에서 구현된다.

[0218] 사용자 단말(120y)에서 하향링크 신호는 복조기(354)에서 수신 체인(954)으로 처리되어 수신벡터  $\underline{\mathbf{r}}_{dn}(k)$ 를 얻는다. RX 공간 프로세서(360y)에서 수신벡터  $\underline{\mathbf{r}}_{dn}(k)$ 는 먼저 유닛(956)에 의해 승산되고, 다시 유닛(958)에 의해 인버스 대각 행렬  $\underline{\mathbf{D}}_{ut}^{-1}(k)$ 로 스케일되어 데이터 벡터  $\underline{\mathbf{s}}_{dn}(k)$ 의 추정인 벡터  $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{dn}(k)$ 을 얻는다. 유닛(956)과 유닛(958)은 하향링크를 위한 수신공간처리를 수행하며, 도 6의 RX 서브밴드 공간 프로세서(640) 내에서 구현된다.

[0219] 상향링크의 경우, 사용자 단말(120y)에서 데이터 벡터  $\underline{\mathbf{s}}_{up}(k)$ 가 먼저 유닛(960)에 의해 행렬  $\underline{\mathbf{E}}_{ut}(k)$ 로 승산되고, 다시 유닛(962)에 의해 정정행렬  $\underline{\mathbf{K}}_{ut}(k)$ 로 승산되어 송신벡터  $\underline{\mathbf{x}}_{up}(k)$ 를 얻는다. 벡터  $\underline{\mathbf{x}}_{up}(k)$ 는 변조기(354)에서 전송체인(964)에 의해 처리되고, MIMO 채널을 통해 액세스 포인트(110x)로 송신된다. 유닛(960)(962)은 상향링크를 위한 송신공간처리를 수행한다.

[0220] 액세스 포인트(110x)에서 상향링크 신호는 복조기(322)에서 수신 체인(924)으로 처리되어 수신벡터  $\underline{\mathbf{r}}_{up}(k)$ 를 얻는다.

다. RX 공간 프로세서(340)에서 수신벡터  $r_{up}(k)$ 는 먼저 유닛(926)에 의해 승산되고, 다시 유닛(928)에 의해 인버스 대각 행렬  $D_{ap}^{-1}(k)$ 로 스케일되어 데이터벡터  $s_{up}(k)$ 의 추정인 벡터  $\hat{s}_{up}(k)$ 을 얻는다. 유닛(926)과 유닛(928)은 상향링크를 위한 수신공간처리를 수행한다.

[0221] B. TDD MIMO 시스템을 위한 공간 처리

표 3은 TDD MIMO 시스템에 있어서 여러 가지 공간 다중화 모드에 대해 상향링크와 하향링크에서의 데이터 송신을 위해 액세스 포인트와 사용자 단말에서 수행되는 예시적 파일럿 송신과 공간처리를 요약한 것이다. 단일 사용자 스티어링 모드를 위해, 액세스 포인트는 MIMO 파일럿을 송신하여 사용자 단말이 하향링크 채널응답을 추정할 수 있도록 한다. 사용자 단말은 스티어링된 파일럿을 송신하여 액세스 포인트가 상향링크 채널 응답을 추정할 수 있도록 한다. 이 액세스 포인트는  $U_{ap}(k)$ 로 송신 및 수신공간 처리를 수행한다. 사용자 단말은  $U_{ut}(k)$ 로 송신 및 수신공간처리를 수행한다.

[0223] 단일 사용자 비스티어링된 모드일 경우, 하향링크와 상향링크에서, 액세스 포인트는 모든 안테나로부터 MIMO 파일럿을 송신하고, 각 안테나로부터 데이터 심볼 스트림을 송신한다. 사용자 단말은 MIMO 파일럿으로 하향링크 채널응답을 추정하고, 이 하향링크 채널추정을 이용하여 수신기 공간처리를 수행한다.

[0224] 상향데이터 송신의 경우 상보적 처리가 발생한다.

**표 3**

| 공간 다중화 모드      | 하향링크 데이터 송신   | 상향링크 데이터 송신   |
|----------------|---|---|
| 스티어링된 단일 사용자   | AP는 MIMO 파일럿을 송신<br>UT는 스티어링된 파일럿을 송신<br>AP는 $U_{ap}(k)$ 와 함께 데이터 송신<br>UT는 $U_{ut}(k)$ 와 함께 데이터 송신 | AP는 MIMO 파일럿을 송신<br>UT는 스티어링된 파일럿을 송신<br>UT는 $U_{ut}(k)$ 와 함께 데이터 송신<br>AP는 $U_{ap}(k)$ 와 함께 데이터 송신 |
| 스티어링안된 단일 사용자  | AP는 MIMO 파일럿을 송신<br>AP는 각 안테나로부터 데이터 송신<br>UT는 CCMI, MMSE 등 사용                                      | AP는 MIMO 파일럿을 송신<br>UT는 각 안테나로부터 데이터 송신<br>AP는 CCMI, MMSE 등을 사용                                     |
| 스티어링된 다중 사용자   | UT는 직교 파일럿 송신<br>AP는 스티어링된 데이터 송신<br>AP는 스티어링된 파일럿 송신<br>UT는 스티어링된 파일럿과 함께 수신                       | UT는 스티어링된 파일럿을 송신<br>UT는 스티어링된 데이터 송신<br>AP는 CCMI, MMSE 등을 사용                                       |
| 스티어링 안된 다중 사용자 | AP는 MIMO 파일럿을 송신<br>UT는 각 AP안테나를 위한 레이트 송신<br>AP는 각 안테나로부터 데이터 송신<br>UT는 CCMI, MMSE 등 사용            | UT는 직교 파일럿 송신<br>AP는 호환가능한 UT 선택<br>UT는 각 안테나로부터 데이터 송신<br>AP는 CCMI, MMSE 등을 사용                     |

[0226] 다중사용자 스티어링된 모드의 경우 단일 안테나 및/또는 다중 안테나 사용자 단말로의 하향링크 데이터 송신에 있어서, 사용자 단말은 상향링크 상에서 직교 파일럿을 송신하여 액세스 포인트가 하향링크 채널 응답을 추정하도록 한다. 단일 안테나 사용자 단말은 스티어링안된 파일럿을 송신하고, 다중 안테나 사용자 단말은 스티어링된 파일럿을 송신한다. 액세스 포인트는 직교 상향링크 파일럿에 기초하여 하향링크 스티어링 벡터를 도출하고, 스티어링 벡터를 이용하여 스티어링된 파일럿과 스티어링된 데이터 심볼 스트림을 선택된 사용자 단말로 송신한다. 각 사용자 단말은 스티어링된 파일럿을 사용하여 사용자에게 송신된 스티어링된 데이터 심볼 스트림을 수신한다. 다중 안테나 사용자 단말로부터의 상향링크 데이터 송신의 경우, 액세스 포인트는 MIMO 파일럿을 송신한다. 각 다중 안테나 사용자 단말은 상향링크 상에서 스티어링된 파일럿과 스티어링된 데이터 심볼 스트림을 송신한다. 액세스 포인트는 수신기 공간처리를 수행하여(예를들면 CCMI, MMSE 등) 데이터 심볼 스트림을 복원시킨다.

[0227] 다중 사용자 스티어링안된 모드의 경우, 다중 안테나 사용자 단말에 대한 하향링크 데이터 송신에 있어서, 액세스 포인트는 하향링크 상에서 MIMO 파일럿을 송신한다. 각 사용자 단말은 각 액세스 포인트 안테나로부터 수신할 수 있는 레리트를 판정하여 되돌려준다. 액세스 포인트는 일조의 사용자 단말을 선택하고, 액세스 포인트 안

테나로부터 선택된 사용자 단말을 위한 데이터 심볼 스트림을 송신한다. 각 다중안테나 사용자 단말은 수신기 공간처리를 수행하여(예를들면 CCM, MMSE 등) 그 데이터 심볼 스트림을 복원한다. 단일 안테나 사용자 단말로부터의 상향링크 데이터 송신에 있어서, 사용자 단말은 상향링크 상에서 직교(스티어링안된) 파일럿을 송신한다. 액세스 포인트는 상향링크 파일럿에 기초하여 상향링크 채널응답을 추정하고, 일조의 호환가능한 사용자 안테나를 선택한다. 각 선택된 사용자 단말은 사용자 단말 안테나로부터 데이터 심볼 스트림을 송신한다. 액세스 포인트는 수신기 공간처리를 수행한다(예를들면 CCM, MMSE 등).

### [0228] C. 레이트 선택

[0229] 하향링크와 상향링크를 위한 각 데이터 스트림을 공간 다중화 모드 중 하나를 이용하여 광대역 채널  $m$  상에서 송신한다. 각 데이터 스트림은 또한 성능 타겟(예를들면 1퍼센트 패키지 오차 레이트(PER))을 해당 스트림에 대해 얻을 수 있도록 선택된 레이트로 송신된다. 각 데이터 스트림에 대한 레이트는 해당 스트림에서 얻는 SNR(즉 수신된 SNR)에 기초하여 결정될 수 있으며, 여기서 SNR은 상술한 바와 같이, 송신기와 수신기에서 수행되는 공간 처리에 의존한다.

[0230] 예시적인 속도 선택 방식의 경우, 광대역 공간 채널  $m$ 에 대한 레이트 판정을 위해 광대역 공간채널의 각 서브밴드  $k$ 에 대해 SNR 추정, (예를 들어, 데시벨 단위인)  $\gamma_m(k)$ 를 먼저 얻으며, 광대역 공간채널  $m$ 을 위한 평균 SNR,  $\gamma_{avg}$ 는 다음과 같이 표현된다.

### 수학식 40

$$\gamma_{avg,m} = \frac{1}{N_F} \sum_{k=1}^{N_F} \gamma_m(k)$$

[0231] [0232] SNR 추정의 분산  $\sigma_{\gamma_m}^2$  또한 다음과 같이 표현된다.

### 수학식 41

$$\sigma_{\gamma_m}^2 = \frac{1}{N_F - 1} \sum_{k=1}^{N_F} (\gamma_m(k) - \gamma_{avg,m})^2$$

[0233] [0234] SNR 백오프 인수  $\gamma_{bo,m}$ 은 평균 SNR 및 SNR 분산의 함수  $F(\gamma_{avg,m}, \sigma_{\gamma_m}^2)$ 를 기초로 결정된다. 예를들면, 함수  $F(\gamma_{avg,m}, \sigma_{\gamma_m}^2) = K_b \cdot \sigma_{\gamma_m}^2$  가 사용될 수 있으며, 수학식 중  $K_b$ 는 데이터 스트림을 위해 사용되는 인터리빙, 패킷 크기, 및/또는 코딩 방식과 같은 MIMO 시스템의 하나 이상의 특성에 기초하여 선택되는 스케일링 인수이다. SNR 백오프 인수는 광대역 공간 채널에 걸리는 SNR의 편차를 보상한다. 광대역 공간채널  $m$ 에 대한 동작 SNR,  $\gamma_{op,m}$ 은 다음과 같다.

### 수학식 42

$$\gamma_{op,m} = \gamma_{avg,m} - \gamma_{bo,m}$$

[0235] [0236] 그러면 데이터 스트림에 대한 레이트가 동작 SNR에 따라 결정된다. 예를들면, 툭업 테이블(LUT : Look-Up Table)은 MIMO 시스템과 그 타겟 SNR에 의해 지원되는 일조의 레이트를 저장한다. 각 레이트에 대한 타겟 SNR은 컴퓨터 시뮬레이션과 경험적 측정 등에 의해 AWGN 채널 가정하에서 결정될 수 있다. 동작 SNR 이하인 타겟 SNR을 갖는 툭업 테이블에서의 최고 레이트는 광대역 공간 채널  $m$ 에 송신된 데이터 스트림을 위한 레이트로서 선택된다.

[0237] 그 밖에도 여러 가지 다른 레이트 선택방식 또한 사용될 수 있다.

[0238] **D. 폐루프 레이트 제어**

[0239] 다중 광대역 공간 채널 상에서 송신되는 각 데이터 스트림을 위해 폐루프 레이트 제어가 사용된다. 폐루프 레이트 제어는 하나 또는 다중 루프로 얻어질 수 있다.

[0240] 도 10은 본 발명의 일실시예에 따른 폐루프 레이트제어 기구(1000)를 나타낸 블록도로서, 이 기구(1000)에서는 내측루프(1010)가 외측루프(1020)와 연결되어 동작한다. 내측루프(1010)는 채널 상태를 추정하고 각 광대역 공간채널에 의해 지지되는 레이트를 판정한다. 외측루프(1020)는 각 광대역 공간채널에 수신되는 데이터 송신의 품질을 추정하고 그에 따라 내측루프의 동작을 조정한다. 간략화를 위해 하나의 하향링크 광대역 공간채널을 위한 루프(1010)(1020)의 동작을 도 10과 함께 이하에서 설명한다.

[0241] 내측루프(1010)의 경우, 사용자 단말(120)에서 채널 추정기(378)는 광대역 공간 채널  $m$ 을 추정하고 채널 추정을 제공한다(예를들면 채널 이득 추정 및 노이즈 편차 추정). 제어기(380) 내부의 레이트 선택기(1030)는 (1) 채널 추정기(378)로부터의 채널 추정과, (2) 품질 추정기(1032)로부터의 광대역 공간채널  $m$ 에 대한 SNR 백오프 인수 및/또는 레이트조정, (3) MIMO 시스템에 의해 지원되는 루업테이블(LUT)(1036) 레이트 및 그 타겟 SNR을, 기초로 광대역 공간채널  $m$ 에 의해 지원되는 레이트를 판정한다. 광대역 공간채널  $m$ 을 위한 지원 레이트는 제어기(380)에 의해 액세스 포인트(110)로 송신된다. 액세스 포인트(110)에서, 제어기(330)는 광대역 공간채널  $m$ 을 위한 지원 레이트를 수신하고 이 공간채널 상에서 송신될 데이터 스트림에 대한 데이터 레이트, 코딩, 변조제어를 결정한다. 데이터 스트림은 이후 TX 데이터 프로세서(310)에 의해 이들 제어신호에 따라서 처리되고, TX 공간 프로세서(320)에 의해 공간적으로 처리되는 한편 파일럿 심볼로 다중화되며, 또한 변조기(322)로 조율된 후 사용자 단말(120)로 송신된다.

[0242] 외측루프(1020)는 광대역 공간채널  $m$ 로 수신된 디코딩 데이터 스트림의 품질을 추정하여 내측루프(1010)의 동작을 조정한다. 광대역 공간채널  $m$ 을 위한 수신심볼은 RX 공간 프로세서(360)에 의해 공간적으로 처리되고, 추가로 RX 데이터 프로세서(370)에 의해 처리된다. RX 데이터 프로세서(370)는 광대역 공간채널 상에서 수신된 각 패킷의 상태 및/또는 디코더 메트릭스를 품질 추정기(1032)로 제공한다. 외측 루프(1020)는 내측루프(100)의 동작을 제어하는데 사용되는 여러 가지 타입의 정보(예를들면 SNR 백오프 인수, 레이트조정 등)를 제공할 수 있다.

[0243] 따라서, 상기 설명한 폐루프 레이트 제어는 각 하향링크와 상향링크 광대역 공간채널에 대해 독립적으로 수행될 수 있으며, 이들 채널은 (1) 단일 사용자 스티어링된 모드를 위한 광대역 고유모드 또는 (2) 단일 사용자 및 다중 사용자 스티어링안된 모드에 대응한다.

[0244] **E. 사용자 단말의 스케줄링**

[0245] 도 11은 본 발명의 일실시예에 따라서, 제어기(330)와 하향링크와 상향링크 상에서 데이터 송신을 위한 사용자 단말을 스케줄링하는 스케줄러(334)를 나타낸다. 제어기(330)에서, 요청 프로세서(1110)가 RACH를 통해 사용자 단말(120)에 의해 송신된 액세스 요청과, 기타 다른 소스로부터의 액세스 요청을 수신한다. 이들 액세스 요청은 하향링크 및/또는 상향링크 상에서 데이터 송신을 위한 것이다. 요청 프로세서(1110)는 수신된 액세스 요청을 처리하여 ID와 모든 요청 사용자 단말의 상태정보를 제공한다. 사용자 단말에 대한 상태정보는 단말에서 유용한 안테나의 개수와 단말이 캘리브레이션되는가의 여부를 표시할 수 있다.

[0246] 레이트 선택기(1120)는 채널 추정기(328)로부터 채널 추정을 수신하고, 상기한 바와 같이, 요청 사용자 단말에 대한 하향링크 및/또는 상향링크 광대역 공간 채널에 의해 지원되는 레이트를 판정한다. 하향링크의 경우, 각 사용자 단말(120)은 상기한 바와 같이 그 광대역 공간 채널 각각에 의해 지원되는 레이트를 판정할 수 있다. 지원 레이트는 성능의 타겟레벨을 얻기 위해 광대역 공간채널 상에서 데이터 송신을 행하는데 사용되는 최대 레이트이다. 각 사용자 단말(120)은 그 하향링크 광대역 공간채널 모두의 지원 레이트를 예를들면 RACH를 통해 액세스 포인트(110)로 송신할 수 있다. 이와는 달리, (1)하향링크와 상향링크가 가역적이고, (2)액세스 포인트(110)로 사용자 단말(120)에서의 노이즈 편차 또는 노이즈 플로어가 제공된다면, 액세스 포인트(110)는 하향링크 광대역 공간 채널에 대한 지원 레이트를 결정할 수 있다. 상향링크의 경우, 액세스 포인트(110)는 각 요청 사용자 단말(120)에 대해 각 광대역 공간 채널을 위한 지원 레이트를 결정한다.

[0247] 사용자 선택기(1140)는 하향링크 및/또는 상향링크 상에서 있을 수 있는 데이터 송신을 위해 모든 요청 사용자 단말 중에서 하나 이상의 사용자 단말이 일조를 이룰 때 그 여러 조의 단말을 선택할 수 있다. 사용자 단말은 또한 시스템 요건, 사용자 단말 용량 및 지원레이트, 사용자 우선권, 송신 데이터 량 등과 같은 여러 가지 기준에 기초하여 사용자 단말을 선택할 수 있다. 다중 사용자 공간 다중화 모드의 경우, 각 조에 대한 사용자 단말

은 또한 그 채널 응답 벡터에 따라서 선택될 수 있다.

[0248] 모드 선택기(1130)는 각 조의 사용자 단말의 동작 상태와 용량, 그 밖의 인자에 기초하여 그 해당 조의 사용자 단말을 위해 사용되는 특정 공간 다중화 모드를 선택한다. 예를들면, 단일 사용자 스티어링된 모드는 캘리브레이션을 수행한 "캘리브레이션된" 다중 안테나 사용자 단말을 위해 사용되어 한 링크(예를들면 하향링크)를 위한 채널응답을 다른 링크(예를들면 상향링크)를 통해 수신한 (예를들면 스티어링된) 파일럿에 기초하여 추정할 수 있도록 한다. 단일 사용자 스티어링안된 모드는 캘리브레이션을 수행하지 않았거나 어떤 이유로 단일 사용자 스티어링된 모드를 지원할 수 없는 "캘리브레이션되지 않은" 다중 안테나 사용자 단말을 위해 사용된다. 다중 사용자 스티어링된 모드는 다중 사용자 단말로의 하향링크 송신을 위해 사용될 수 있으며, 여기서 각 사용자 단말은 하나 이상의 안테나가 설치되어 있다. 다중 사용자 스티어링안된 모드는 다중 사용자 단말에 의해 상향링크 송신을 위해 사용된다.

[0249] 스케줄러(334)는 사용자 선택기(1140)로부터는 사용자 단말 세트, 모드 선택기(1130)로부터는 각 사용자 단말 세트를 위한 선택된 공간 다중화 모드, 레이트 선택기(1130)로부터는 각 사용자 단말 세트를 위한 선택된 레이트를 각각 수신한다. 스케줄러(334)는 하향링크 및/또는 상향링크 상에서 데이터 송신을 위한 사용자 단말에 대해 일정을 작성한다. 스케줄러(334)는 각 TDD 프레임에 대해 하향링크 상에서의 데이터 송신을 위한 일조 이상의 사용자 단말과 상향링크 상에서의 데이터 송신을 위한 일조 이상의 사용자 단말을 선택한다. 각 조는 하나 이상의 사용자 단말을 포함하며, TDD 프레임 내에서 지정된 송신 간격으로 동시에 데이터 송신을 위해 스케줄링 된다(일정이 짜여진다).

[0250] 스케줄러(334)는 하향링크 및/또는 상향링크 상에서 데이터 송신을 위해 스케줄링된(일정이 짜여진) 각 사용자 단말에 대한 정보 엘레멘트(IE : Information Element)를 형성한다. 각 정보 엘레멘트는 (1)데이터 송신을 위해 사용되는 공간 다중화 모드, (2)각 광대역 공간 채널 상에서 송신되는 데이터 스트림을 위한 레이트, (3)데이터 송신의 시작 및 지속시간, (4)그 밖의 정보(예를들면 데이터 송신과 함께 송신되는 파일럿의 타입)를 포함한다. 스케줄러(334)는 스케줄링된 모든 사용자 단말에 대한 정보 엘레멘트를 FCCH를 통해 보낸다. 그리고 수신된 스케줄링 정보에 따라서 각 사용자 단말은 FCCH를 처리하여 그 정보 엘레멘트를 복원하고, 이후 하향링크 송신을 수신 및/또는 상향링크 송신을 보낸다.

[0251] 도 11은 본 발명의 일실시예로서 다중 공간 다중화 모드가 지원될 때 데이터 송신을 위한 사용자 단말의 스케줄링을 나타낸 것이다. 이 스케줄링은 다른 방법으로도 수행될 수 있으며 이것 또한 본 발명의 범위내에 있다.

[0252] 도 12는 MIMO 시스템(100)에서 데이터 송신을 위한 사용자 단말을 스케줄링하기 위한 프로세스(1200)의 흐름도를 나타낸다. 일조의 단말(일조는 하나 이상의 단말기로 됨)이 하향링크 및/또는 상향링크에서의 데이터 송신을 위해 선택된다(블록 1212). 사용자 단말 세트에 대해 시스템에 의해 지원되는 다중 공간 다중화 모드 중에서 한 공간 다중화 모드가 선택된다(블록 1214). 사용자 단말 족을 위해 다중 공간 채널을 통해 송신될 다수 데이터 스트림을 위해 다수의 레이트가 선택될 수도 있다(블록 1216). 선택된 레이트와 선택된 공간 다중화 모드와 함께 하향링크 및/또는 상향링크 상에서의 데이터 송신을 위해 사용자 단말이 선택된다(블록 1218).

[0253] 도 13은 MIMO 시스템(100)에서 하향링크 상에서의 데이터 송신을 위한 프로세스(1300)를 나타낸 흐름도이다. 프로세스(1300)는 액세스 포인트(110x)에 의해 수행된다. 제 1 다수 레이트에 따라서 제 1 다수 데이터 스트림을 부호화하고 변조하여 제 1 다수 데이터 심볼 스트림을 얻는다(블록 1312). 단일 사용자 스티어링 모드의 경우, 제 1 다수 데이터 심볼 스트림이 제 1 다수 스티어링 벡터로 공간처리되어 제 1 송신 간격으로 다중 안테나로부터 제 1 사용자 단말로의 송신을 위해 제 1 다중 전송 심볼을 얻는다(블록 1314). 제 1 다수 스티어링 벡터는 제 1다수 데이터 스트림이 직교공간채널 상에서 제 1사용자 단말로 송신되도록 도출된다. 제 2 다수 데이터 스트림은 제 2 다수 레이트에 따라서 부호화되고 변조되어 제 2 다수 데이터 심볼 스트림을 얻는다(블록 1316). 단일 사용자 스티어링안된 모드의 경우, 제 2 송신 간격으로 다중 안테나로부터 제 2사용자 단말로 송신을 위한 제 2 다수 전송 심볼 스트림으로서 제 2 다수 데이터 심볼 스트림이 제공된다(블록 1318). 제 3 다수 데이터 스트림이 부호화되고 변조되어 제 3 다수 데이터 심볼 스트림을 얻는다(블록 1320). 다수 사용자 스티어링 모드의 경우, 제 3 다수 데이터 심볼 스트림은 제 2다수 스티어링 벡터와 함께 공간적으로 처리되어 제 3송신 간격으로 다중 안테나로부터 다중 사용자 단말로의 송신을 위해 제 3다수전송 심볼을 얻는다(블록 1322). 제 2다수 스티어링 벡터는 제 3다수 데이터심볼 스트림이 다중 사용자 단말에서 억제된 크로스 토크로 수신되도록 도출된다.

[0254] 도 14는 MIMO 시스템(100)에서 상향링크 상에서 데이터를 수신하기 위한 프로세스(1400)를 나타낸 흐름도이다. 프로세스(1400)는 또한 액세스 포인트(110x)에 의해 수행된다. 제 1 공간 다중화모드(예를들면 단일 사용자 스티어링된 모드)에 따라서, 수신기 공간처리는 제 1다수 수신 심볼 스트림에 대해서 수행되어 제 1 다수 복원 데

이터 심볼 스트림을 얻는다(블록 1412). 제 1 다수 복원 데이터 심볼 스트림은 제 1 다수 레이트에 따라서 복조 및 디코딩되어 제 1 다수 디코딩 데이터 스트림을 얻는다(블록 1414). 제 2 공간 다중화모드(예를들면 스터어링 안된 모드)에 따라서, 수신기 공간처리는 제 2 다수 수신 심볼 스트림에 대해서 수행되어 제 2 다수 복원 데이터 심볼 스트림을 얻는다(블록 1416). 제 2 다수 복원 데이터 심볼 스트림은 제 2 다수 레이트에 따라서 복조 및 디코딩되어 제 2 다수 디코딩 데이터 스트림을 얻으며, 이것은 하나 이상의 다중 사용자 단말에 의해 송신된 데이터 스트림의 추정이다(블록 1418).

[0255] 각 사용자 단말은 대응 프로세스를 수행하여 하나 이상의 다중 상향링크 광대역 공간 채널 상에서 데이터를 송신하고, 하나 이상의 다중 하향링크 광대역 공간 채널 상에서 데이터를 수신한다.

[0256] 여기서 설명하는 바와 같이, 다중 공간 다중화모드를 갖는 데이터 송신은 여러 가지 수단에 의해 구현될 수 있다. 예를들면, 이 처리기(처리)는 하드웨어, 소프트웨어 또는 이들의 조합을 통해 구현될 수 있다. 하드웨어에 의한 구현인 경우, 액세스 포인트에서 데이터 처리, 공간처리, 스케줄링을 수행하기 위해 사용되는 프로세스 유닛은 하나 이상의 응용 특정 집적회로(ASIC:Application Specific Integrated Circuit), 디지털 신호 처리기 (DSP: Digital Signal Processor), 디지털 신호 처리 장치(DSPD:Digital Signal Processing Device), 프로그래머블 로직 장치(PLD : Programmable Logic Device), 필드 프로그래머블 게이트 어레이(FPGA:Field Programmable Gate Array), 처리기, 제어기, 마이크로제어기, 마이크로처리기, 기타 상기한 기능을 수행하도록 설계된 전자유닛 및 그 조합을 통해 구현될 수 있다. 사용자 단말에서의 프로세스 유닛 또한 하나 이상의 ASIC, DSP 등으로 구현될 수 있다.

[0257] 소프트웨어 구현인 경우, 다중 공간 다중화 모드와 함께 데이터 송신을 위해 액세스 포인트와 사용자 단말에서의 처리는 여기서 설명하는 기능을 수행하는 모듈(예를들면 과정, 기능 등)로 수행될 수 있다. 소프트웨어 코드는 메모리 유닛(예를들면 도 3의 메모리유닛(332) 또는 (382))에 저장되고, 처리기(예를들면 제어기(330) 또는 (380))에 의해 실행될 수 있다. 메모리 유닛은 처리기 내측 또는 외측에 설치된다.

[0258] 제목은 참조를 위한 것으로서 특정부분의 현재상황을 이해하는데 도움이된다. 이들 제목을 여기서 설명하는 범위를 제한하기 위한 것은 아니며 이들 개념은 명세서 전반에 걸쳐 적용될 수 있다.

[0259] 상기 설명한 실시예는 당분야의 통상의 기술자라면 누구라도 본 발명을 제조 및 사용할 수 있도록 설명된 것이다. 당분야의 통상의 기술자라면 이를 실시예의 여러 가지 변경 및 변형을 용이하게 할 수 있음은 명백한 것이다. 여기서 설명하는 일반적인 원리는 그 범위 또는 기술적 사상을 일탈하지 않고도 여러 실시예에 적용될 수 있다. 따라서, 이를 실시예는 본 발명을 제한하기 위한 것이 아니라 그 원리와 신규성에 기초하여 최광의로 해석되어야 한다.

### 도면의 간단한 설명

[0008] 도 1은 다중 액세스 MIMO 시스템을 나타낸 도면,

[0009] 도 2는 상기 MIMO 시스템에 대한 프레임 및 채널 구조를 나타낸 도면,

[0010] 도 3은 상기 MIMO 시스템에서 액세스 포인트 및 두 개의 사용자 단말을 나타낸 도면,

[0011] 도 4는 상기 액세스 포인트에서 송신 (TX) 공간 프로세서를 나타낸 도면,

[0012] 도 5는 상기 액세스 포인트에서 TX 공간 프로세서 및 변조기를 나타낸 도면,

[0013] 도 6은 복수 안테나 사용자 단말에서 복조기 및 수신 (RX) 공간 프로세서를 나타낸 도면,

[0014] 도 7은 상기 복수 안테나 사용자 단말에서 RX 데이터 프로세서를 나타낸 도면,

[0015] 도 8은 직렬 간섭 제거(successive interference cancellation:SIC)를 수행하는 RX 공간 프로세서 및 RX 데이터 프로세서를 나타낸 도면,

[0016] 도 9는 상기 액세스 포인트 및 사용자 단말에서 송신/수신 체인을 나타낸 도면,

[0017] 도 10은 페루프 윌 제어 메커니즘을 설명하기 위한 도면,

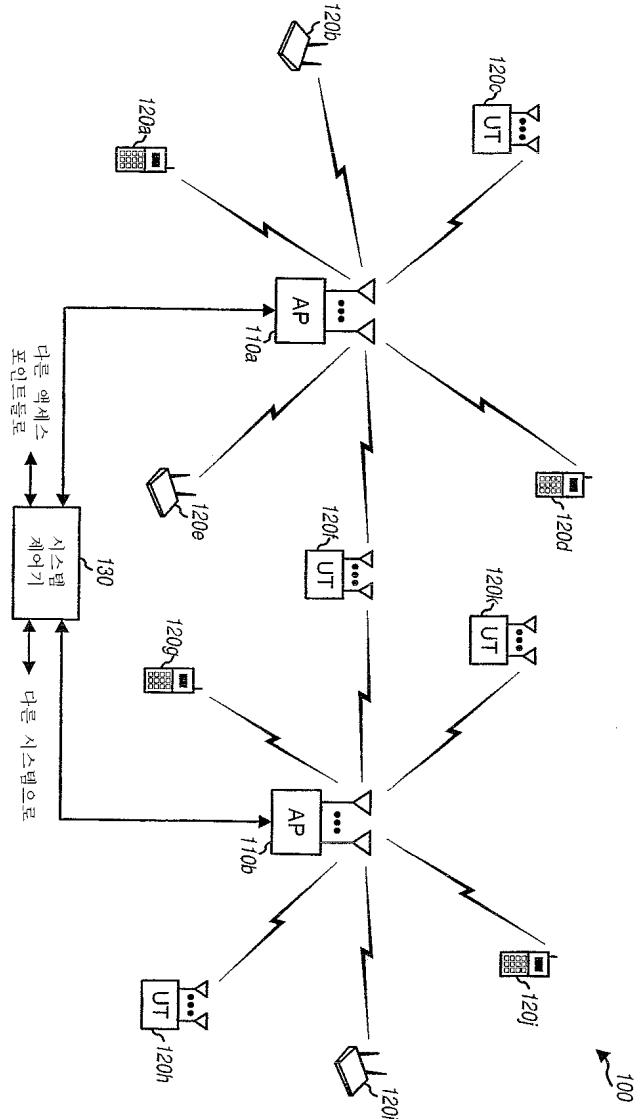
[0018] 도 11은 제어기 및 사용자 단말을 스케줄링하기 위한 스케줄러를 나타낸 도면,

[0019] 도 12는 데이터를 전송하기 위해 사용자 단말을 스케줄링하기 위한 과정을 설명하기 위한 도면,

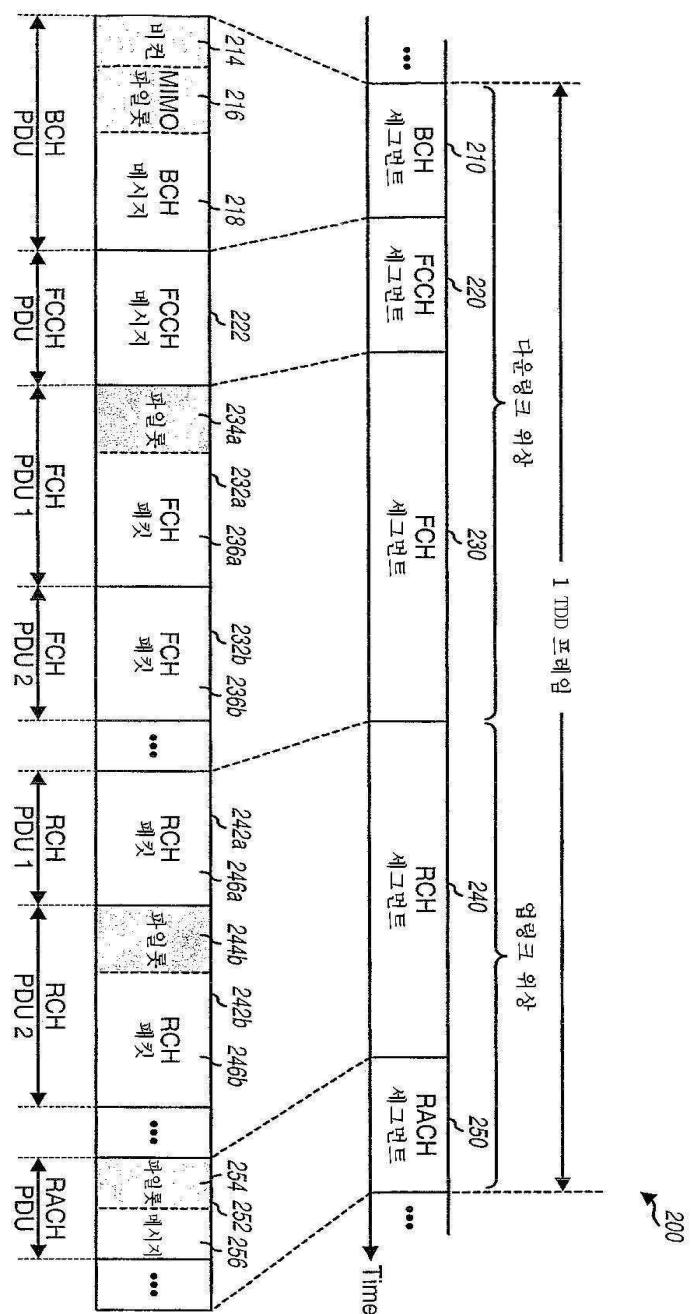
- [0020] 도 13은 하향링크를 통해 데이터를 전송하기 위한 과정을 설명하기 위한 도면,  
 [0021] 도 14는 상향링크를 통해 데이터를 수신하기 위한 과정을 설명하기 위한 도면이다.

### 도면

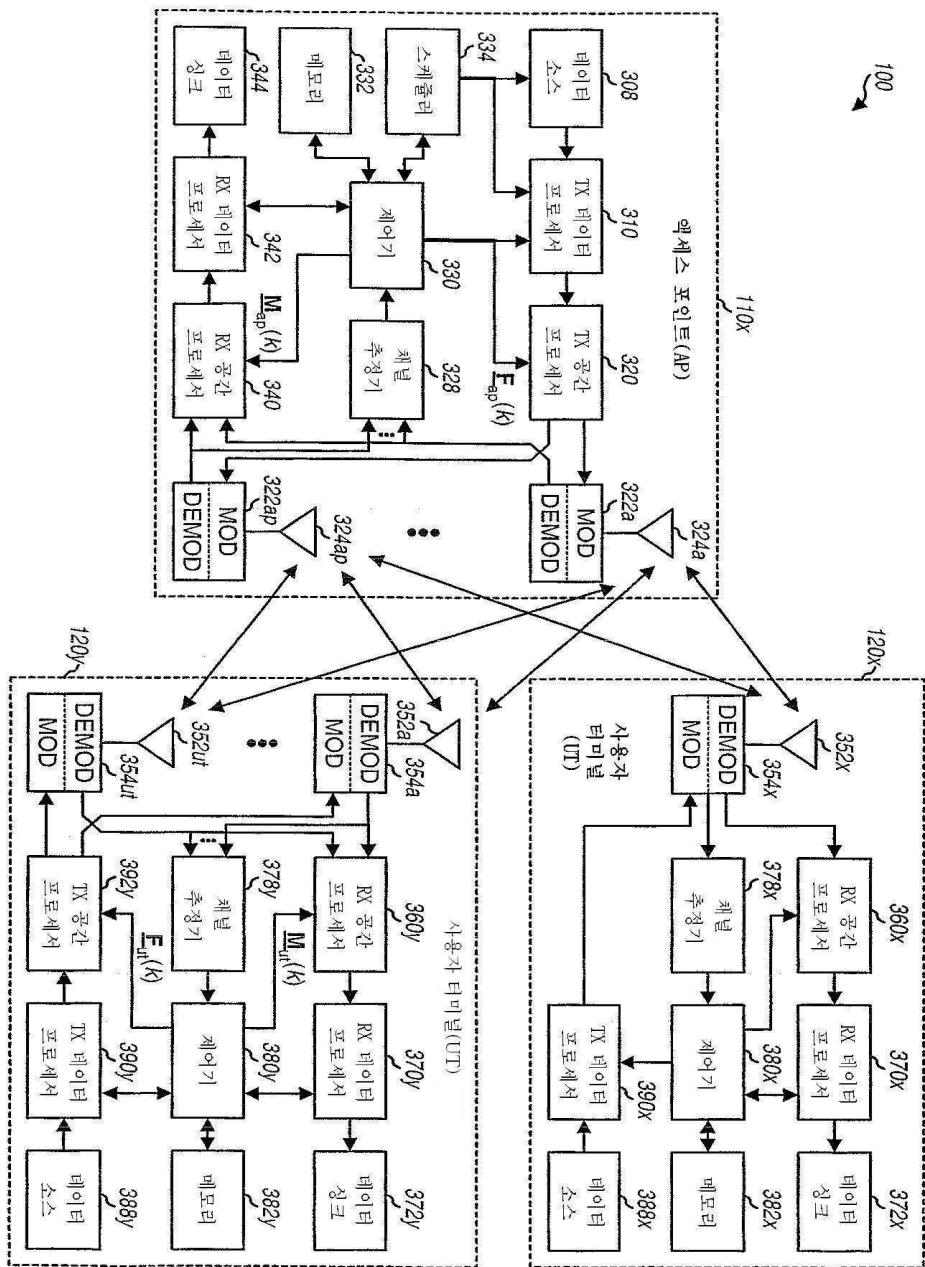
#### 도면1



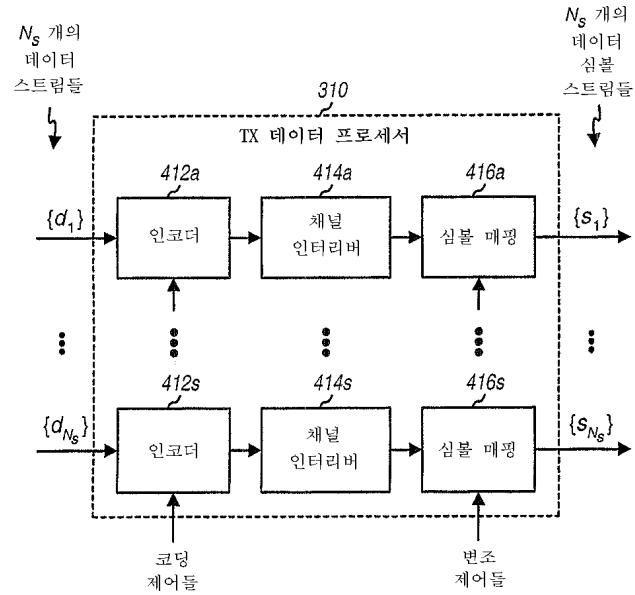
도면2



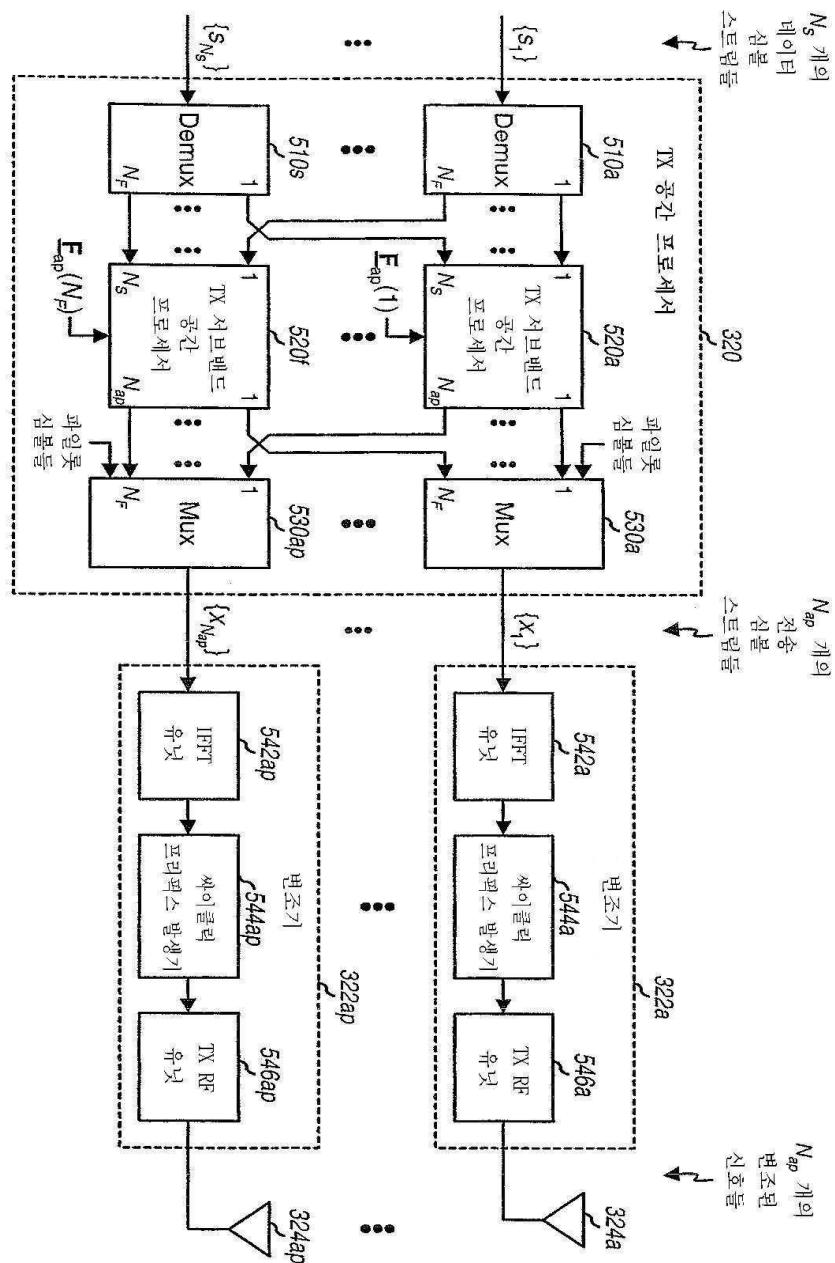
도면3



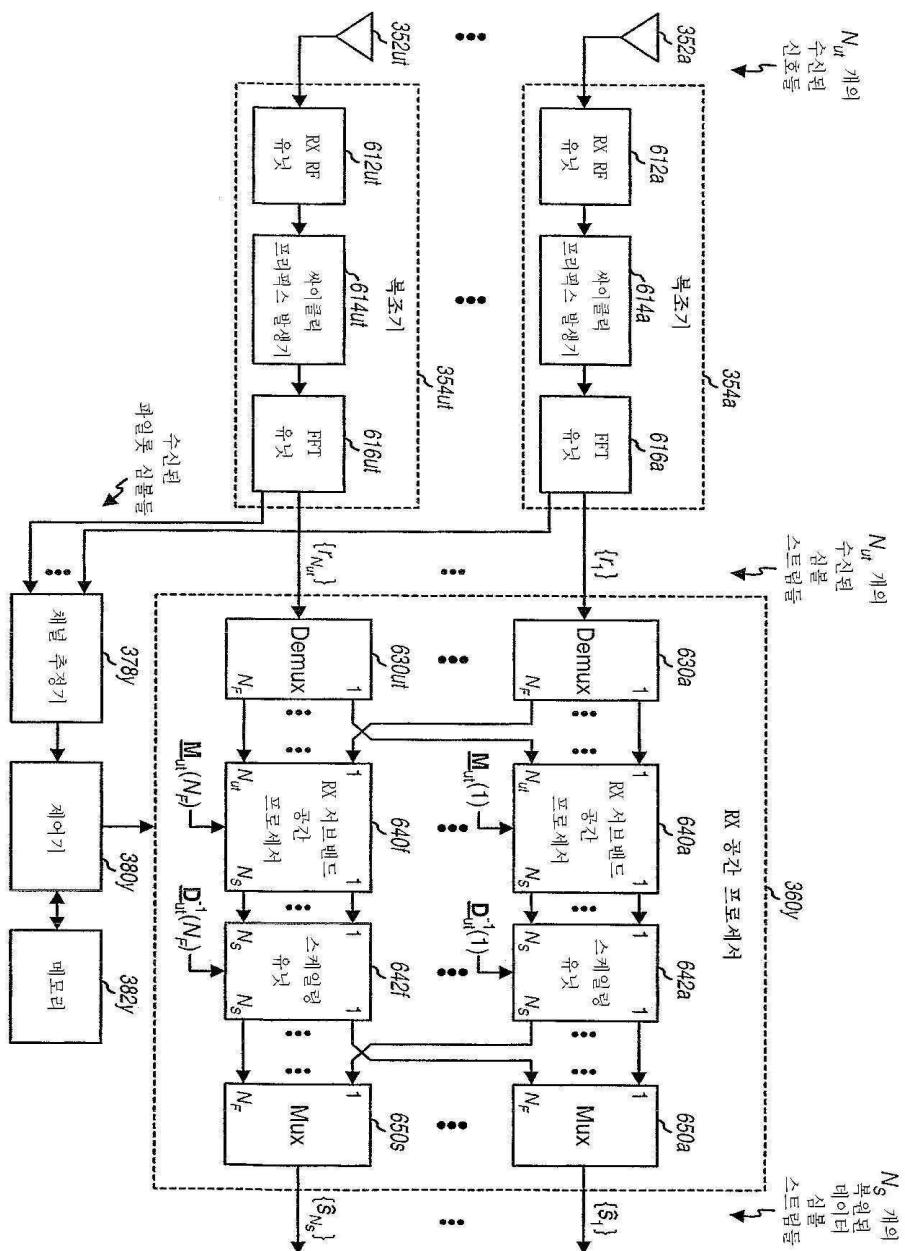
## 도면4



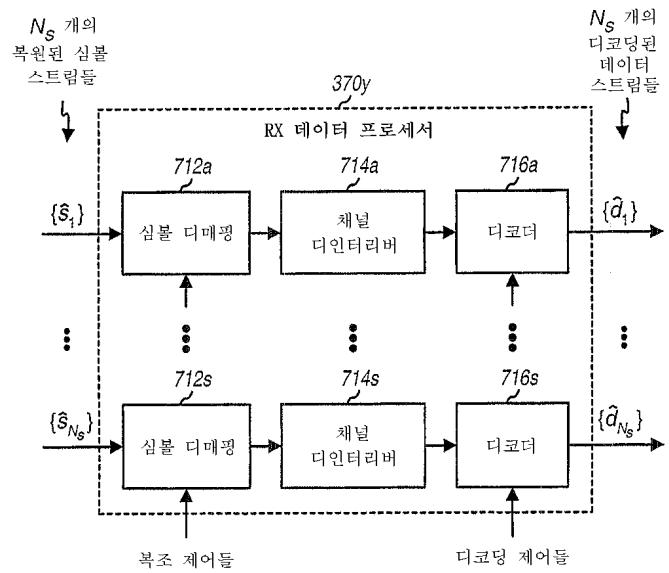
도면5



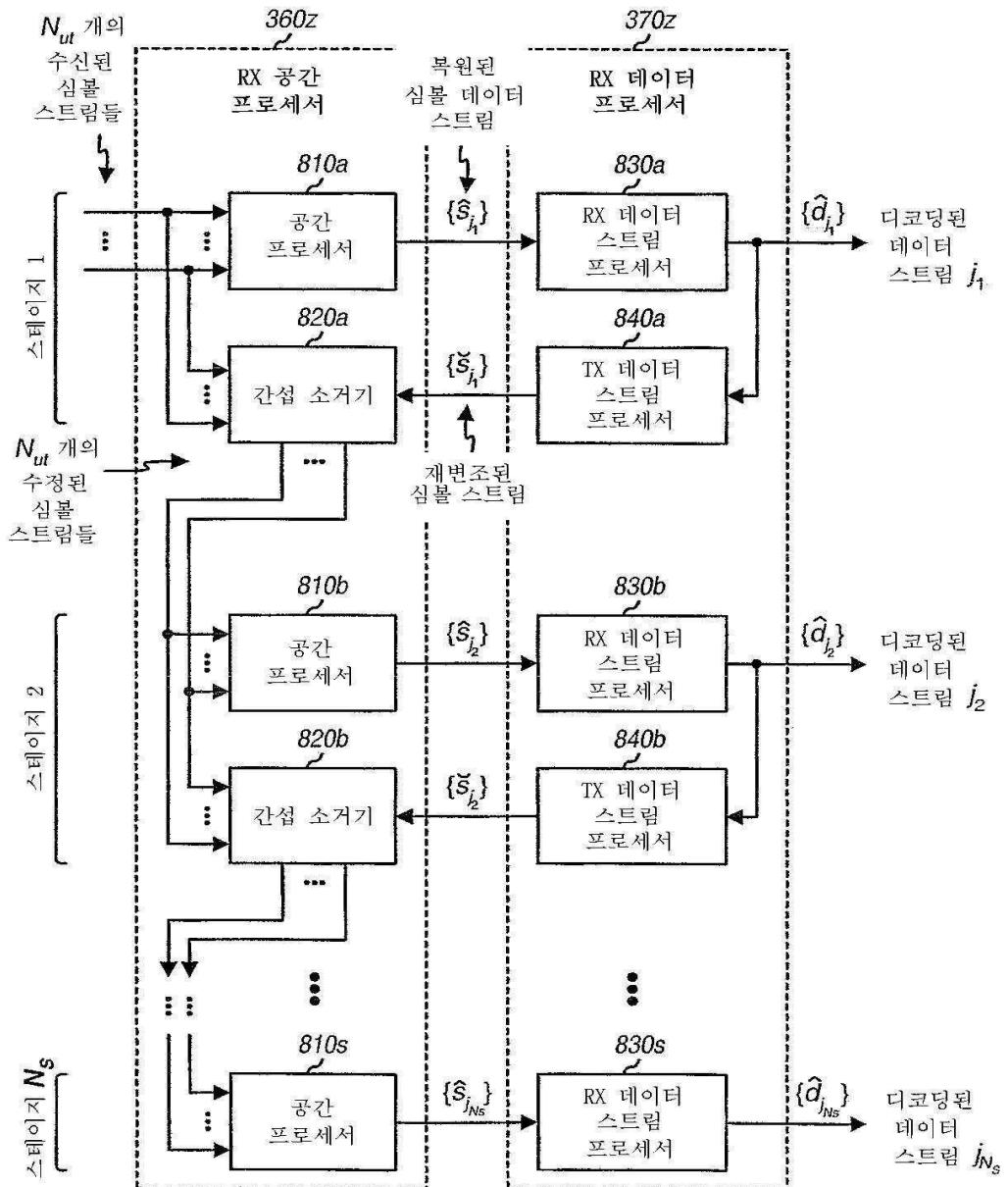
도면6



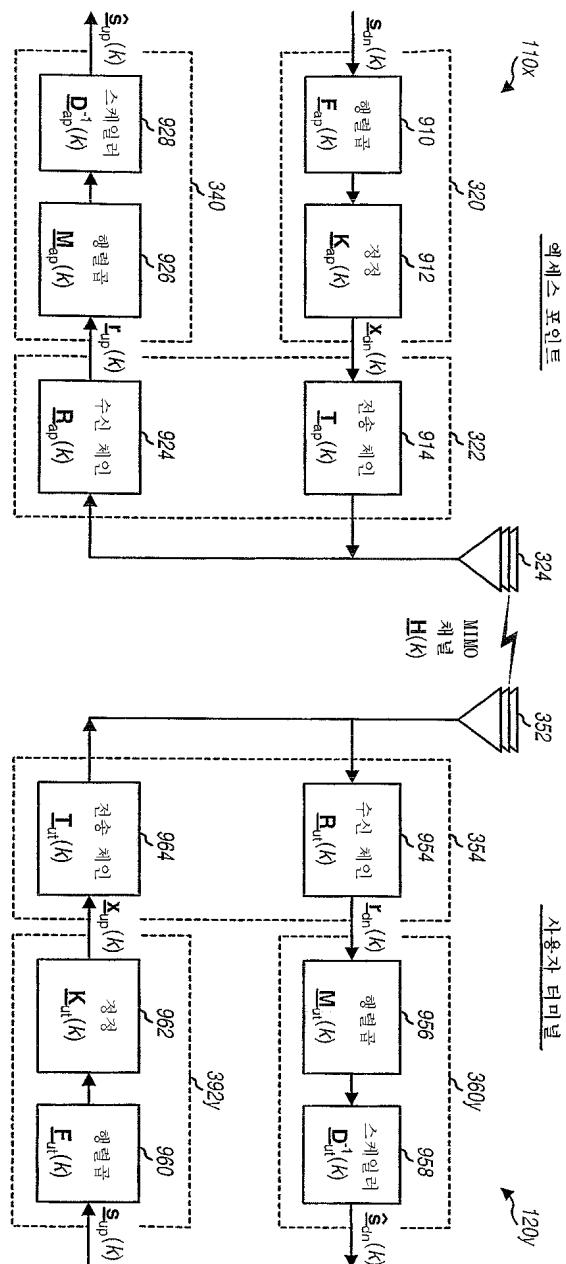
## 도면7



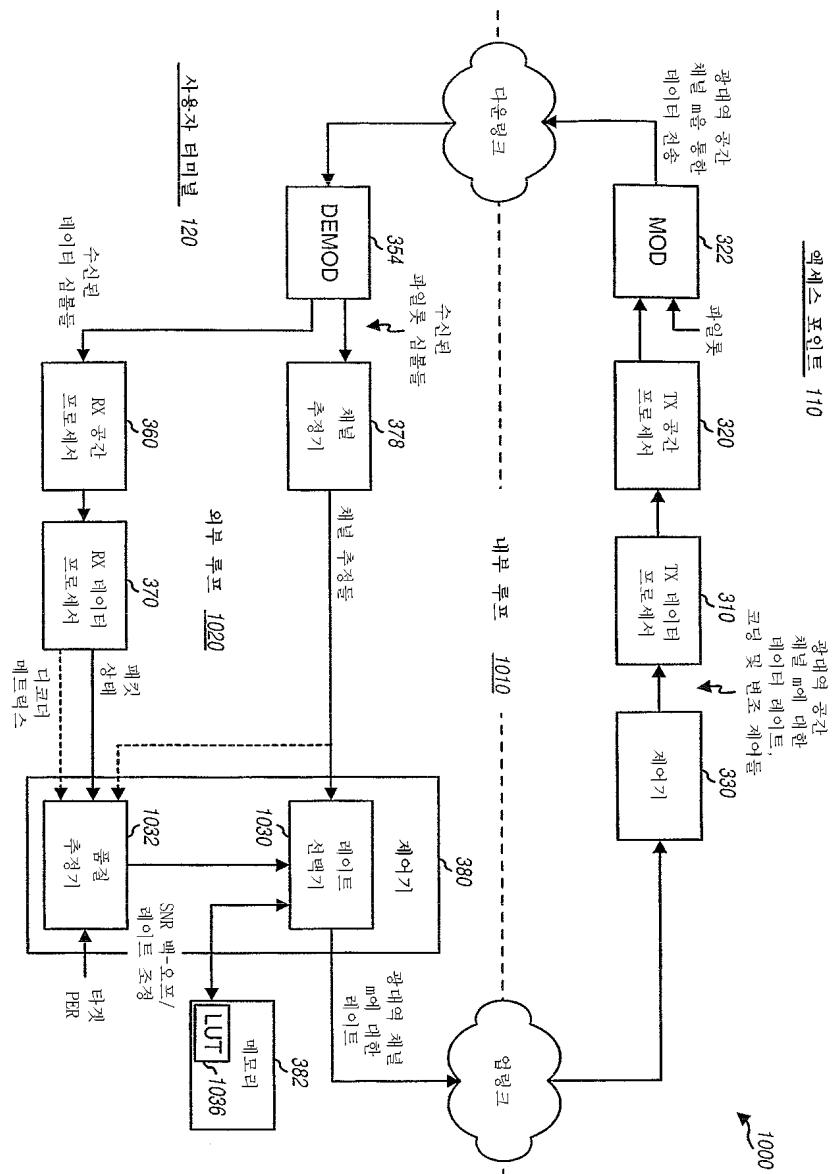
## 도면8



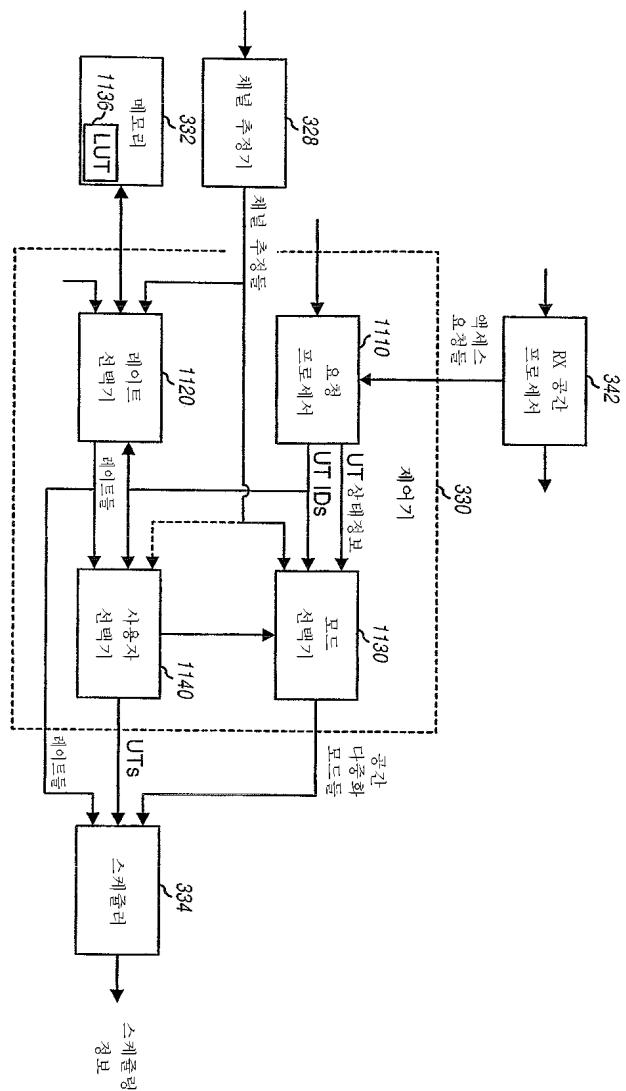
도면9



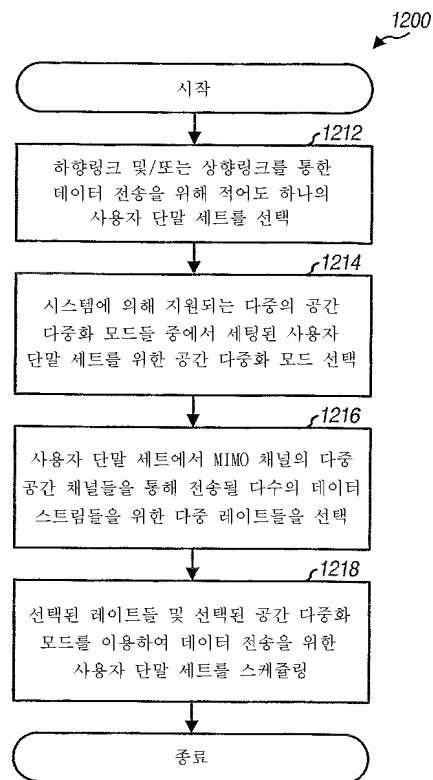
## 도면10



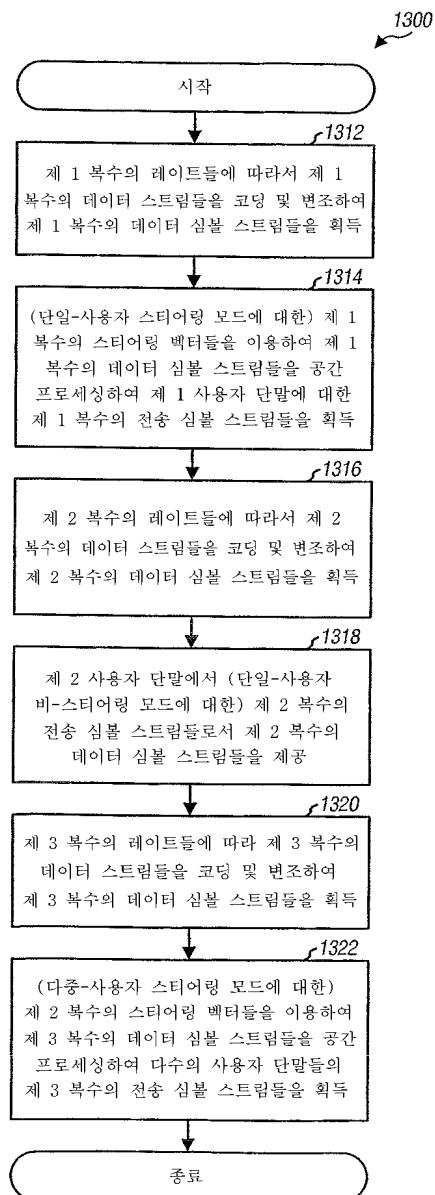
도면11



## 도면12



## 도면13



## 도면14

