



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년12월05일
(11) 등록번호 10-1089074
(24) 등록일자 2011년11월28일

(51) Int. Cl.

H04B 7/04 (2006.01) *H04B 7/08* (2006.01)

H04L 25/03 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-7013083

(22) 출원일자(국제출원일자) 2005년11월16일

심사청구일자 2007년06월11일

(85) 번역문제출일자 2007년06월11일

(65) 공개번호 10-2007-0085998

(43) 공개일자 2007년08월27일

(86) 국제출원번호 PCT/US2005/041696

(87) 국제공개번호 WO 2006/055718

국제공개일자 2006년05월26일

(30) 우선권주장

60/628,568 2004년11월16일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

US20030165189 A1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

퀄컴 인코포레이티드

미국 92121-1714 캘리포니아주 샌 디에고 모어하
우스 드라이브 5775

(72) 발명자

왈턴 제이 로드니

미국 01741 매사추세츠주 칼리슬 하이우즈 레인
85

월러스 마크 에스

미국 01730 매사추세츠주 베드포드 블러 로드 2

(74) 대리인

특허법인코리아나

전체 청구항 수 : 총 10 항

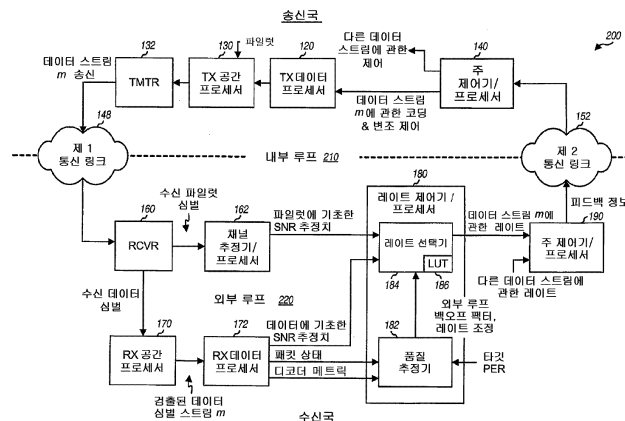
심사관 : 김병균

(54) MIMO 통신 시스템에 관한 페루프 레이트 제어

(57) 요약

MIMO 시스템에서, 레이트 제어는 MIMO 채널을 통해 전송되는 데이터 스트림에 관한 레이트를 선택하는 내부 루프 및 내부 루프의 동작을 통제하는 외부 루프에 의해 달성된다. 내부 루프의 경우에, SNR 추정치는 수신 파일럿 심벌 및/또는 수신 데이터 심벌에 기초하여 각 데이터 스트림에 관해 획득된다. 유효 SNR은 데이터 스트림의 외부 루프 백오프 팩터, MIMO 백오프 팩터, 다이버시티 차수, 및 SNR 추정치에 기초하여 각 데이터 스트림에 관해 도출된다. 그 후, 레이트는 데이터 스트림에 관한 유효 SNR에 기초하여 데이터 스트림에 관해 선택된다. 외부 루프는 데이터 스트림에 관한 성능(예를 들어, 패킷 에러 및/또는 디코더 메트릭)에 기초하여 각 데이터 스트림에 관한 외부 루프 백오프 팩터를 조정한다.

대표도



특허청구의 범위

청구항 1

데이터 스트림에 관한 하나 이상의 SNR 추정치를 획득하고, 데이터 스트림에 관한 다이버시티 차수를 결정하고, 데이터 스트림에 관한 SNR 편차를 결정하며, 데이터 스트림에 관한 상기 하나 이상의 SNR 추정치, 상기 다이버시티 차수 및 상기 SNR 편차에 기초하여 데이터 스트림에 관한 레이트를 선택하도록 구성되는 하나 이상의 프로세서; 및

상기 하나 이상의 프로세서에 연결된 메모리를 포함하는, 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 하나 이상의 프로세서는 수신 파일럿 심벌에 기초하여 상기 하나 이상의 SNR 추정치를 도출하도록 구성되는, 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 하나 이상의 프로세서는 수신 데이터 심벌에 기초하여 상기 하나 이상의 SNR 추정치를 도출하도록 구성되는, 장치.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 하나 이상의 프로세서는 송신되는, 데이터 스트림의 수 및 수신 안테나의 수에 기초하여 상기 데이터 스트림에 관한 다이버시티 차수를 결정하도록 구성되는, 장치.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 하나 이상의 프로세서는, 데이터 스트림에 관한 인덱스에 더 기초하여 상기 데이터 스트림에 관한 다이버시티 차수를 결정하도록 구성되는, 장치.

청구항 6

데이터 스트림에 관한 하나 이상의 SNR 추정치를 획득하는 단계;

데이터 스트림에 관한 다이버시티 차수를 결정하는 단계;

데이터 스트림에 관한 SNR 편차를 결정하는 단계; 및

데이터 스트림에 관한 상기 하나 이상의 SNR 추정치, 상기 다이버시티 차수 및 상기 SNR 편차에 기초하여 데이터 스트림에 관한 레이트를 선택하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 데이터 스트림에 관한 다이버시티 차수를 결정하는 단계는, 송신되는 데이터 스트림의 수 및 수신 안테나의 수에 기초하여 상기 데이터 스트림에 관한 다이버시티 차수를 결정하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

수신 파일럿 심벌에 기초하여 하나 이상의 SNR 추정치의 제 1 세트를 도출하고, 수신 데이터 심벌에 기초하여 하나 이상의 SNR 추정치의 제 2 세트를 도출하고, 상기 하나 이상의 SNR 추정치의 제 1 세트 및 제 2 세트에 기초하여 MIMO 채널을 통해 전송된 데이터 스트림에 관한 레이트를 선택하도록 구성되는 하나 이상의 프로세서; 및

상기 하나 이상의 프로세서에 연결되는 메모리를 포함하는, 장치.

청구항 46

제 45 항에 있어서,

상기 하나 이상의 프로세서는 상기 데이터 스트림에 사용되는 수신기 공간 프로세싱 기술에 따라 상기 하나 이상의 SNR 추정치의 제 2 세트를 도출하도록 구성되는, 장치.

청구항 47

제 45 항에 있어서,

상기 하나 이상의 프로세서는 상기 하나 이상의 SNR 추정치의 제 1 세트 및 제 2 세트에 기초하여 데이터 스트림에 관한 유효 SNR 을 결정하고, 상기 데이터 스트림에 관한 유효 SNR 에 기초하여 상기 데이터 스트림에 관한 레이트를 선택하도록 구성되는, 장치.

명세서

[0001] I . 35 U.S.C. § 119 에 따른 우선권 주장

[0002] 본 특허 출원은, 발명의 명칭이 "Closed-Loop Rate Control for a MIMO Communication System" 으로 2004 년 11 월 16 일자로 출원되어 본 발명의 양수인에게 양도되었으며, 여기에서 참조로서 명백하게 포함되는 가출원 제 60/628,568 호에 대한 우선권을 주장한다.

[0003] **발명의 배경**

[0004] I . 기술 분야

[0005] 일반적으로 본 명세서는 데이터 통신에 관한 것으로, 더 상세하게 통신 시스템에 관한 레이트 제어를 수행하는 기술에 관한 것이다.

[0006] II . 배경

[0007] 다중-입력 다중-출력 (MIMO) 통신 시스템은 수신국에서 다수의 (R 개의) 수신 안테나 및 송신국에서 다수의 (T 개의) 송신 안테나를 데이터 송신을 위해 사용한다. T 개의 송신 안테나 및 R 개의 수신 안테나에 의해 형성되는 MIMO 채널은 S 개의 공간 채널로 분해될 수도 있으며, 여기서, $S \leq \min \{T, R\}$ 이다. S 개의 공간 채널은 더 높은 전체 스루풋 (throughput) 및/또는 더 큰 신뢰도를 달성하는 방법으로 데이터를 송신하는데 사용될 수도 있다.

[0008] 공간 채널은 상이한 채널 조건 (예를 들어, 상이한 페이딩, 다중 경로, 및 간섭 효과) 을 경험할 수도 있고, 상이한 신호대 간섭 및 잡음비 (SNR) 를 달성할 수도 있다. 각 공간 채널의 SNR 은 송신 용량을 결정하고, 이는 통상적으로 공간 채널 상에 확실히 송신될 수도 있는 특정 데이터에 의해 정량화된다. SNR 이 공간 채널에 따라 변한다면, 지원되는 데이터 레이트 또한 공간 채널에 따라 변한다. 또한, 통상적으로 채널 조건은 시간에 따라 변하며, 공간 채널에 의해 지원되는 데이터 레이트 또한 시간에 따라 변한다.

[0009] 레이트 적응 (rate adaptation) 이라고 또한 지칭되는 레이트 제어는 다양한 채널 조건을 경험하는 MIMO 시스템에서 주요한 도전 과제이다. 레이트 제어는 채널 조건에 기초하여 각 데이터 스트림의 데이터 레이트를 제어하는 단계를 수반한다. 레이트 제어의 목적은 특정 성능 목표에 부합하면서, 공간 채널 상의 전체 스루풋을 최대화하는 것이어야 하며, 이는 특정 패킷 에러 레이트 (PER) 및/또는 몇몇 다른 기준에 의해 정량화될 수도 있다.

[0010] 따라서, MIMO 시스템에서 레이트 제어를 효과적으로 수행하는 기술이 당업계에서 필요하다.

[0011] **요약**

[0012] 여기에서 MIMO 시스템에서 레이트 제어를 수행하는 기술을 설명한다. 일 실시형태에서, MIMO 채널을 통해 송신되는 하나 이상의 데이터 스트림에 관한 레이트 제어는 (1) 하나 이상의 데이터 스트림에 관해 하나 이상의 레이트를 선택하는 내부 루프 및 (2) 하나 이상의 레이트를 선택하는 내부 루프에 의해 사용되는 하나 이상의 파라미터를 제공하는 외부 루프에 기초하여 달성된다. 또한, 레이트는 패킷 포맷, 모드, 데이터 레이트, 코드 레이트, 변조 방식, 코딩과 변조 방식, 변조 코딩 세트 (MCS) 등으로 지칭될 수도 있다. 외부 루프는 내부 루프의 동작을 통제한다.

[0013] 일 실시형태에서, 내부 루프의 경우에, 하나 이상의 SNR 추정치는 데이터 스트림에 관한 수신 데이터 심벌 및/또는 수신 파일럿 심벌에 기초하여 각 데이터 스트림에 관해 초기에 획득된다. SNR 추정치는 하나 이상의 데이터 스트림을 복구하는데 사용되는 수신기 공간 프로세싱 기술에 기초하여 도출될 수도 있다. 후술한 바와 같이, 다이버시티 차수, MIMO 백오프 팩터 (backoff factor), 및 외부 루프 백오프 팩터는 각 데이터 스트림에 관해 결정되고, 데이터 스트림에 관한 유효 SNR 을 도출하는데 사용된다. 그 후, 하나 이상의 레이트는 하나 이상의 데이터 스트림에 관한 하나 이상의 유효 SNR 에 기초하여 하나 이상의 데이터 스트림에 관해 (개별적으로 또는 공동으로) 선택된다. 또한, 송신 모드는 상이한 송신기 공간 프로세싱과 연관되는 다수의 송신 모드 (예를 들어, 지향 (steered), 무지향 (unsteered), 및 공간 확산 모드) 사이로부터 사용하기 위해 선택될 수도 있다. 일 실시형태에서, 외부 루프는 데이터 스트림에 관한 성능 (예를 들어, 패킷 상태 및/또는 디코더 메트릭) 에 기초하여 각 데이터 스트림에 관한 외부 루프 백오프 팩터를 조정한다.

[0014] 레이트 제어의 다양한 상세한 설명이 후술된다. 또한, 본 발명의 다양한 양태 및 실시형태는 더 상세히 후술된다.

[0015] **도면의 간단한 설명**

[0016] 도 1 은 송신국 및 수신국의 블록도를 나타낸다.

[0017] 도 2 는 내부 루프 및 외부 루프를 갖는 레이트 제어 메커니즘을 나타낸다.

[0018] 도 3 은 MIMO 시스템에서 레이트 제어를 수행하는 프로세스를 나타낸다.

[0019] 도 4 는 MIMO 시스템에서 레이트 제어를 수행하는 장치를 나타낸다.

[0020] **발명의 상세한 설명**

[0021] 여기에서 "예시적인" 이라는 용어는 "예, 예시, 또는 예증으로서 제공되는" 의 의미로 사용된다. "예시적인" 것으로서 여기에서 설명되는 임의의 실시형태는 다른 실시형태에 비해 바람직하거나 유리한 것으로서 해석할 필요는 없다.

[0022] 여기에서 설명하는 레이트 제어 기술은 단일 주파수 서브밴드를 갖는 단일 반송파 MIMO 시스템, 다수 주파수 서브밴드를 갖는 다수 반송파 MIMO 시스템, 다수 주파수 서브밴드를 갖는 단일 반송파 MIMO 시스템 등과 같은 다양한 MIMO 시스템에 사용될 수도 있다. 다수의 서브밴드는 직교 주파수 분할 다중 (OFDM), 단일 반송파 주파수 분할 다중 액세스 (SC-FDMA), 다른 변조 기술, 또는 몇몇 다른 구성에 의해 획득될 수도 있다. OFDM 은 전체 시스템 대역폭을 다수의 (K 개의) 직교 서브밴드로 분할하고, 이들은, 또한, 톤 (tone), 서브캐리어 (subcarrier), 빈 (bin) 등으로 지칭된다. OFDM 에 있어서, 각 서브밴드는 데이터에 의해 변조될 수도 있는

각 서브캐리어와 연관된다. 유사하게, SC-FDMA 는 전체 시스템 대역폭을 K 개의 서브밴드로 분할한다. 일반적으로, 변조 심벌은 OFDM 에 의해 주파수 영역으로 전송되고, SC-FDMA 에 의해 시간 영역으로 전송된다.

[0023] 단일 서브밴드를 갖는 MIMO 시스템의 경우, S 개의 공간 채널은 데이터 송신에 관해 사용가능하다. 다수의 (K 개의) 서브밴드를 갖는 MIMO 시스템의 경우, S 개의 공간 채널은 K 개의 서브밴드 각각에 관해 사용가능하다. 임의의 MIMO 시스템의 경우, M 개의 송신 채널은 사용가능한 모든 서브밴드에 관한 모든 공간 채널에 의해 형성될 수도 있으며, 여기서 $M \geq 1$ 이다. 일반적으로, 각 송신 채널은 MIMO 시스템에서 단일 또는 다수의 서브밴드에 관한 단일 또는 다수의 공간 채널에 대응할 수도 있다. 예를 들어, 송신 채널은 단일 서브밴드를 갖는 MIMO 시스템에서 단일 또는 다수의 공간 채널에 대응할 수도 있다. 또 다른 예로써, 송신 채널은 다수의 서브밴드를 갖는 MIMO 시스템에서 하나 또는 다수의 광대역 공간 채널에 대응할 수도 있으며, 여기서, 각 공간 채널은 K 개의 서브밴드 각각에 관한 하나의 공간 채널을 포함한다. 송신 채널은, 또한, 병렬 채널, 데이터 채널, 트래픽 채널, 물리적 채널 등으로 지칭될 수도 있다.

[0024] 명확화를 위해, 다음 설명의 대부분은 OFDM 또는 SC-FDMA 를 이용하는 MIMO 시스템에 관한 것이다. 또한, 명확화를 위해, 다음 설명은 하나의 데이터 스트림이 각 송신 채널 상으로 전송된다고 가정한다. 따라서, "데이터 스트림" 및 "송신 채널" 이라는 용어는 이하 설명의 대부분에 관해 교환가능하다. 데이터 스트림의 수는 구성가능할 수도 있고, 채널 조건 및/또는 다른 팩터에 기초하여 선택될 수도 있다.

[0025] 도 1 은 MIMO 시스템 (100) 에서 송신국 (110) 및 수신국 (150) 의 블록도이다. 다운링크 송신의 경우, 송신국 (110) 은 액세스 포인트일 수도 있고, 수신국 (150) 은 사용자 단말기일 수도 있으며, 제 1 및 제 2 통신 링크는 각각 다운링크 및 업링크이다. 업링크 송신의 경우, 각각, 송신국 (110) 은 사용자 단말기일 수도 있고, 수신국 (150) 은 액세스 포인트일 수도 있으며, 제 1 및 제 2 통신 링크는 각각 업링크 및 다운링크이다. 도 1 은 M 개의 데이터 스트림에 관한 페루프 레이트 제어를 갖는 데이터 송신을 나타내며, 여기서 $M \geq 1$ 이다.

[0026] 송신국 (110) 에서, 주 제어기/프로세서 (140) 는 데이터 스트림에 사용가능한 정보에 기초하여 각 데이터 스트림에 관한 레이트를 결정한다. 이 정보는 수신국 (150) 에 의해 제공되는 피드백 정보 및/또는 송신국 (110) 에 의해 획득된 정보 (예를 들어, 채널 추정치) 를 포함할 수도 있다. 각 데이터 스트림에 관한 레이트는 특정 데이터 레이트, 특정 코딩 방식 또는 코드 레이트, 특정 변조 방식, 패킷 사이즈, 및/또는 데이터 스트림에 사용하는 다른 파라미터를 표시할 수도 있다. 주 제어기/프로세서 (140) 는 M 개의 데이터 스트림에 관한 레이트에 기초하여 다양한 코딩 및 변조 제어를 생성한다.

[0027] 송신 (TX) 데이터 프로세서 (120) 는 M 개의 데이터 스트림과 이들 데이터 스트림에 관한 코딩 및 변조 제어 신호를 수신한다. TX 데이터 프로세서 (120) 는 선택된 레이트에 따라 각 데이터 스트림을 프로세싱하고 (예를 들어, 포매팅, 인코딩, 인터리빙, 및 심벌 매핑), 데이터에 관한 변조 심벌인 데이터 심벌 스트림을 생성한다. TX 데이터 프로세서 (120) 는 M 개의 데이터 심벌 스트림을 제공한다.

[0028] TX 공간 프로세서 (130) 는 파일럿에 관한 변조 심벌인 파일럿 심벌을 갖는 M 개의 데이터 심벌 스트림을 수신하고 다중 송신한다. 파일럿은 수신국 (150) 에 의해 이전에 공지된 기준 송신이며, 채널 추정, 획득, 주파수 및 타이밍 동기화, 데이터 복조 등과 같은 다양한 기능을 수행하는데 사용된다. TX 공간 프로세서 (130) 는 데이터 및 파일럿 심벌 상에서 공간 프로세싱을 수행하고, 적용가능하다면, T 개의 송신 안테나에 관한 T 개의 송신 심벌 스트림을 제공한다.

[0029] 송신기 (TMTR; 132) 는 시스템에 의해 특정된 방법으로 T 개의 송신 심벌 스트림을 프로세싱한다. 예를 들어, MIMO 시스템이 각각 OFDM 또는 SC-FDMA 를 이용한다면, 송신기 (132) 는 OFDM 또는 SC-FDMA 변조를 수행할 수도 있다. 송신기 (132) 는 T 개의 송신 심벌 스트림에 관한 T 개의 변조 신호를 생성한다. T 개의 변조 신호가 T 개의 송신 안테나로부터 제 1 통신 링크 (148) 를 통해 수신국 (150) 에 송신된다. 제 1 통신 링크 (148) 는 특정 채널 응답에 의해 각 변조 신호를 왜곡하고, 추가적인 백색 가우시안 잡음 (AWGN) 및 가해는 다른 송신국으로부터의 간섭에 의해 변조 신호를 더 열화시킨다.

[0030] 수신국 (150) 에서, R 개의 수신 안테나는 T 개의 송신 신호를 수신하고, R 개의 수신 신호를 제공한다. 수신기 (RCVR; 160) 는 R 개의 수신 신호를 컨디셔닝하고 (condition) 디지털화하며, 송신기 (132) 에 의해 수행되는 프로세싱에 상보적인 방법으로 샘플을 더 프로세싱한다. 수신기 (160) 는 채널 추정기/프로세서 (162) 에 수신 파일럿 심벌을 제공하고, 수신 (RX) 공간 프로세서 (170) 에 수신 데이터 심벌의 R 개의 스트림을 제공한다. 채널 추정기/프로세서 (162) 는 제 1 통신 링크 (148) 에 관한 MIMO 채널 응답을 추정하고, RX 공간

프로세서 (170) 에 채널 추정치를 제공한다.

- [0031] RX 공간 프로세서 (170) 는 채널 추정기/프로세서 (162) 로부터의 채널 추정치에 기초하여 R 개의 수신 데이터 심벌 스트림 상에서 수신기 공간 프로세싱 (또는 공간 매칭 필터링) 을 수행하고, 송신국 (110) 에 의해 전송된 M 개의 데이터 심벌 스트림의 추정치인 M 개의 검출 심벌 스트림을 제공한다. RX 데이터 프로세서 (172) 는 이들 스트림에 관해 선택된 M 개의 레이트에 따라 이들 M 개의 검출 심벌 스트림을 프로세싱하고 (예를 들어, 심벌 디매핑, 디인터리빙, 및 디코딩), 송신국 (110) 에 의해 전송된 M 개의 데이터 스트림의 추정치인 M 개의 디코딩 데이터 스트림을 제공한다. RX 데이터 프로세서 (172) 는 각 수신 데이터 패킷의 상태 및/또는 각 디코딩 데이터 스트림에 관한 디코더 메트릭 (metric) 을 더 제공할 수도 있다.
- [0032] 레이트 제어의 경우에, 채널 추정기/프로세서 (162) 는 수신 파일럿 심벌을 프로세싱하여, SNR 추정치, 잡음 편차 추정치 등을 획득한다. 잡음 편차는 수신국 (150) 에서 관찰된 잡음 플루어 (floor) 이고, 채널 잡음, 수신기 잡음, 다른 송신국으로부터의 간섭 등을 포함한다. 또한, RX 데이터 프로세서 (172) 는 검출 데이터 심벌에 기초하여 SNR 추정치를 도출할 수도 있다. 레이트 제어기/프로세서 (180) 는 예를 들어, SNR 추정기로부터의 SNR 추정치, RX 데이터 프로세서로부터의 SNR 추정치, 패킷 상태, 디코더 메트릭 등과 같은 다양한 타입의 정보를 수신한다. 레이트 제어기/프로세서 (180) 는 수신 정보에 기초하여 각 데이터 스트림에 관한 적절한 레이트를 선택하고, M 개의 데이터 스트림에 관해 레이트 1 부터 레이트 M 까지의 M 개의 선택된 레이트를 제공한다.
- [0033] 주 제어기/프로세서 (190) 는 레이트 제어기/프로세서 (180) 로부터 M 개의 선택된 레이트를 수신하고, RX 데이터 프로세서 (172) 로부터 패킷 상태를 수신한다. 주 제어기/프로세서 (190) 는, 수신 데이터 패킷에 관한 확인 응답 (ACKs), 및/또는 부정 확인 응답 (NAKs), M 개의 선택된 레이트, 및/또는 다른 정보를 포함할 수도 있는 피드백 정보를 생성한다. 피드백 정보는 제 2 통신 링크 (152) 를 통해 송신국 (110) 으로 전송된다. 송신국 (110) 은 피드백 정보를 사용하여, 수신국 (150) 으로 전송되는 M 개의 데이터 스트림의 프로세싱을 조정한다. 예를 들어, 송신국 (110) 은 수신국 (150) 에 전송된 M 개의 데이터 스트림의 각각에 관한 변조 방식 및/또는 코드 레이트를 조정할 수도 있다. 피드백 정보는 데이터가 제 1 통신 링크 (148) 에 의해 지원되는 가장 널리 공지된 설정으로 송신되게함으로써 시스템의 효율성을 증가시킨다.
- [0034] 도 1 에 나타난 실시형태의 경우, 수신국 (150) 은 채널 추정 및 레이트 선택을 수행하고, 송신국 (110) 으로 M 개의 데이터 스트림에 관한 M 개의 레이트를 재전송한다. 다른 실시형태에서, 송신국 (110) 은 수신국 (150) 에 의해 전송된 피드백 정보 및 송신국 (110) 에 의해 획득된 다른 정보에 기초하여 채널 추정 및 레이트 선택을 수행한다. 또 다른 실시형태에서, 송신국 (110) 및 수신국 (150) 은 공동으로 채널 추정 및 레이트 선택을 수행한다.
- [0035] 도 2 는 내부 루프 (210) 및 외부 루프 (220) 를 포함하는 페루프 레이트 제어 메커니즘 (200) 의 실시형태의 블록도를 나타낸다. 명확화를 위해, 단 하나의 데이터 스트림 m 에 관한 내부 루프 (210) 및 외부 루프 (220) 의 동작은 도 2 에 나타내져 있다. 일 실시형태에서, 하나의 내부 루프 및 하나의 외부 루프는 M 개의 데이터 스트림의 각각에 대해 유지된다. 또 다른 실시형태에서, 하나의 내부 루프 및/또는 하나의 외부 루프는 다수의 (예를 들어, M 개 모두의) 데이터 스트림에 대해 유지된다.
- [0036] 내부 루프 (210) 는 채널 조건으로 인한 각 데이터 스트림에 관한 레이트에서의 변화를 트래킹한다 (track). 수신국 (150) 이 MIMO 채널의 코히어런스 시간보다 더 빠르게 송신국 (110) 으로 피드백 정보를 전송할 수 있다면, 내부 루프 (210) 는 MIMO 채널에서의 순간 변화를 트래킹할 수 있다. 통상적으로, 내부 루프 (210) 는 수신 SNR 과 같이 물리 계층에서 관찰가능한 파라미터에 의해 구동된다. 내부 루프 (210) 는 후술되는 바와 같이 계산될 수도 있는, 파일럿-기초 SNR 추정치 및/또는 데이터-기초 SNR 추정치에 의해 동작할 수도 있다.
- [0037] 외부 루프 (220) 는 CRC 장애에 의해 검출되는 패킷 에러에 관해 보정한다. 적절히 설계된 내부 루프 (210) 에 있어서, 패킷 에러는 소정의 타겟 PER 에서 드물게 발생해야 한다. 예를 들어, 타겟 PER 이 1 % 라면, 송신된 100 개의 패킷 중 단 하나의 패킷이 에러로 수신되어야 한다. 통상적으로, 외부 루프 (220) 는 내부 루프 (210) 보다 반응 시간이 더 느리다. 외부 루프 (220) 는 각 데이터 스트림에 관해 내부 루프 (210) 에 의해 선택된 레이트가 타겟 PER 을 달성할 수 있도록 보장하는 내부 루프 (210) 에 관한 통제기로서 간주될 수도 있다.
- [0038] 내부 루프 (210) 의 경우에, 채널 추정기/프로세서 (162) 는 수신 파일럿 심벌에 기초하여 데이터 스트림 m 의

SNR 을 추정하고 데이터 스트림 m 에 관한 파일럿-기초 SNR 추정치를 제공한다. RX 데이터 프로세서 (172) 는 데이터 스트림 m 에 관한 검출된 데이터 심벌에 기초하여 데이터 스트림 m 의 SNR 을 추정하고, 데이터 스트림 m 에 관한 데이터-기초 SNR 추정치를 제공한다. 또한, RX 데이터 프로세서 (172) 는 데이터 스트림 m 에 관한 디코더 메트릭 및/또는 패킷 상태를 제공한다.

[0039] 레이트 제어기/프로세서 (180) 내의 레이트 선택기 (184) 는 데이터 스트림 m 에 관한 SNR 추정치 및 예를 들어, M 개의 데이터 스트림에 관한 송신 모드, 데이터 스트림 m 에 관한 다이버시티 차수, 데이터 스트림 m 에 관한 외부 루프 백오프 팩터 등과 같은 다른 정보를 수신한다. 이들 상이한 타입의 정보는 후술된다. 레이트 선택기 (184) 는 후술되는 바와 같이, 모든 수신 정보에 기초하여 데이터 스트림 m 에 관한 유효 SNR 을 계산한다. 그 후, 레이트 선택기 (184) 는 MIMO 시스템에 의해 지원되는 한 세트의 레이트와 이들의 요구 SNR 을 저장하는 룩-업 테이블 (LUT; 186) 및 유효 SNR 에 기초하여 데이터 스트림 m 에 관한 레이트를 선택한다. 데이터 스트림 m 에 관해 선택된 레이트는 주 제어기/프로세서 (190) 에 의해 송신국 (110) 으로 전송되는 피드백 정보에 포함된다. 송신국 (110) 에서, 주 제어기/프로세서 (140) 는 데이터 스트림 m 에 관해 선택된 레이트를 수신하고, 데이터 스트림 m 에 관한 코딩 및 변조 제어를 생성한다. 그 후, 데이터 스트림 m 은 TX 데이터 프로세서 (120) 에 의해 이들의 제어에 따라 프로세싱되고, 파일럿 심벌에 의해 다중화되고 TX 공간 프로세서 (130) 에 의해 공간적으로 프로세싱되며, 송신기 (132) 에 의해 컨디셔닝되며, 수신국 (150) 으로 전송된다.

[0040] 외부 루프 (220) 는 데이터 스트림 m 에 관한 수신 품질을 추정하고, 데이터 스트림 m 에 관한 내부 루프 (210) 의 동작을 조정한다. 수신 데이터 심벌은 RX 공간 프로세서 (170) 에 의해 공간적으로 프로세싱되고, 데이터 스트림 m 에 관한 검출된 데이터 심벌은 RX 데이터 프로세서 (172) 에 의해 더 프로세싱된다 (예를 들어, 복조 및 디코딩). RX 데이터 프로세서 (172) 는 데이터 스트림 m 에 관해 수신된 각 패킷의 상태 및/또는 데이터 스트림 m 에 관한 디코더 메트릭을 제공한다. 품질 추정기 (182) 는 RX 데이터 프로세서 (172) 로부터의 모든 정보에 기초하여 데이터 스트림 m 의 품질을 추정하고, 품질 추정치에 기초하여 내부 루프 (210) 의 동작을 제어한다. 일 실시형태에서, 품질 추정기 (182) 는 데이터 스트림 m 에 관한 외부 루프 백오프 팩터를 조정한다. 이 외부 루프 백오프 팩터는 데이터 스트림 m 에 관한 유효 SNR 의 계산에 사용되고, 후술되는 바와 같이 레이트 선택에 영향을 준다. 또 다른 실시형태에서, 품질 추정기 (182) 는 데이터 스트림 m 에 관한 레이트 조정을 제공한다. 이 레이트 조정은 내부 루프 (210) 에 데이터 스트림에 관해 더 낮은 레이트를 선택하도록 지시할 수도 있다. 외부 루프 백오프 팩터 및 레이트 조정은 내부 루프 (210) 의 동작을 제어하는 2 개의 메커니즘이며, 후술된다.

[0041] 도 2 는 레이트 제어 메커니즘 (200) 의 특정 실시형태를 나타낸다. 다른 실시형태에서, 수신국 (150) 은 SNR 추정치, 유효 SNR 및/또는 수신국 (150) 에서 수신 신호 품질의 몇몇 다른 표시를 전송한다. 그 후, 송신국 (110) 은 수신국 (150) 으로부터 획득된 정보에 기초하여 각 데이터 스트림에 관한 레이트를 선택한다. 일반적으로, 레이트 제어 메커니즘은 다양한 방법으로 구현될 수도 있다. 일 실시형태에서, 레이트 제어는 도 2 에 나타난 바와 같이, 내부 루프 (210) 와 외부 루프 (220) 모두에 의해 달성된다. 또 다른 실시형태에서, 레이트 제어는 단지 내부 루프 (210) 또는 단지 외부 루프 (220) 에 의해 달성된다.

[0042] 채널 추정 및 레이트 선택은 스케줄링된 시간에, 데이터 송신 전 및/또는 동안에, 채널 조건에서의 변화가 검출되는 임의의 시기 등에 주기적으로 수행될 수도 있다. 이하, 채널 추정, 레이트 선택, 및 외부 루프 동작을 설명한다.

[0043] 1. 송신 모드

[0044] MIMO 시스템은 개선된 성능 및 더 큰 유연성 (flexibility) 을 위해 다수의 송신 모드 (또는 공간 모드) 를 지원할 수도 있다. 표 1 은 몇몇 예시적인 송신 모드 및 이들의 요약을 리스팅하고 있다. 지향 모드는 빔형성 모드, 고유 지향 (eigensteering) 모드, 빔형성을 갖는 MIMO 모드 등으로 지칭될 수도 있다. 무지향 모드는 기본 MIMO 모드라고 지칭될 수도 있다. 공간 확산 모드는 의사-랜덤 송신 지향 모드라고 지칭될 수도 있다.

표 1

송신 모드	설명
지향 모드	다수의 데이터 스트림이 MIMO 채널의 다수의 직교 공간 채널 (고유 모드) 상에 송신된다.
무지향 모드	다수의 데이터 스트림이 (예를 들어, 다수의 송신 안테나로부터) 다수의 공간 채널 상에 송신된다.
공간 확산 모드	다수의 데이터 스트림이 공간 확산에 의해 송신되어 모든 데이터 스트림에 관해 유사한 성능을 달성한다.

[0045]

[0046]

각 송신 모드는 상이한 가능 출력 (capability) 및 요구사항을 갖는다. 지향 모드 송신은 MIMO 채널의 고유 모드 상에 데이터를 송신한다. 통상적으로 지향 모드는 더 나은 성능을 제공하지만, 송신국 (110) 및 수신국 (150) 에서 공간 프로세싱할 것을 요구한다. 무지향 모드는 송신국 (110) 에서 공간 프로세싱하는 것을 요구하지 않는다. 예를 들어, 송신국 (110) 은 각 송신 안테나로부터 하나의 데이터 스트림을 전송할 수도 있다. 통상적으로, 무지향 모드에 관한 성능은 지향 모드 만큼 좋지 않다. 공간 확산 모드는 상이한 지향 메트릭을 갖는 M 개의 데이터 스트림을 송신하여 이들 데이터 스트림이 유효 채널의 앙상블 (ensemble) 을 관찰하게 한다. 결과적으로, M 개의 데이터 스트림은 유사한 성능을 달성하며, 이는 최악의 채널 조건에 의해 영향을 받지 않는다. 적절한 송신 모드는 채널 상태 정보의 사용가능성, 송신국 및 수신국의 가능 출력 등에 기초하여 선택될 수도 있다.

[0047]

지향 모드의 경우에, 데이터는 T 개의 송신 안테나 및 R 개의 수신 안테나에 의해 형성되는 MIMO 채널의 S 개의 고유 모드 상에 송신된다. MIMO 채널은, MIMO 채널의 S 개의 고유 모드를 획득하도록 대각화될 수도 있는, $R \times T$ 채널 응답 매트릭스 \mathbf{H} 을 특징으로 한다. 대각화는 \mathbf{H} 의 특이값 분해 또는 \mathbf{H} 의 상관 매트릭스의 고유값 분해 중 어느 하나를 수행함으로써 달성될 수도 있고, 이는 $\mathbf{R} = \mathbf{H}^H \cdot \mathbf{H}$ 이며, 여기서, \mathbf{H}^H 는 \mathbf{H} 의 공액 전치 (conjugate transpose) 를 표시한다. \mathbf{R} 의 고유값 분해는,

수학식 1

$$\mathbf{R} = \mathbf{H}^H \cdot \mathbf{H} = \mathbf{E} \cdot \mathbf{\Lambda} \cdot \mathbf{E}^H$$

[0048]

[0049]

과 같이 주어질 수도 있으며, 여기서, \mathbf{E} 는 \mathbf{R} 의 고유 벡터의 $T \times T$ 유니터리 (unitary) 매트릭스이고, $\mathbf{\Lambda}$ 는 \mathbf{R} 의 고유 벡터의 $T \times T$ 대각 매트릭스이다. 단일 매트릭스 \mathbf{E} 는 특성 $\mathbf{E}^H \cdot \mathbf{E} = \mathbf{I}$ 를 특징으로 하며, 여기서, \mathbf{I} 는 단위 (identity) 매트릭스이다. 유니터리 매트릭스의 컬럼은 서로 직교하며, 각 컬럼은 단위 파워를 갖는다. 송신국 (110) 은 \mathbf{E} 에서의 고유 벡터에 의해 송신기 공간 프로세싱을 수행하여, \mathbf{H} 의 S 개의 고유 모드 상에 데이터를 송신할 수도 있다. 수신국 (150) 은 \mathbf{E} 에서의 고유 벡터에 의해 수신기 공간 프로세싱을 수행하여 S 개의 고유 모드 상에 송신된 데이터를 복구할 수도 있다. 대각 매트릭스 $\mathbf{\Lambda}$ 는 대각을 따라서는 가능한 음이 아닌 실수값 및 그 외에서는 0 을 포함한다. 이들 대각 엔트리는 \mathbf{H} 의 고유값이라고 지칭되며, S 개의 고유 모드에 관한 파워 이득을 나타낸다.

[0050]

다수의 서브밴드를 갖는 MIMO 시스템의 경우, 서브밴드 k 에 관한 채널 응답 매트릭스 $\mathbf{H}(k)$ 의 고유 모드가 최고 SNR 부터 최저 SNR 로 랭크되도록 (rank) 각 서브밴드 k 에 관한 S 개의 고유값이 최대값에서부터 최소값까지 순서대로 정렬될 수도 있다. 광대역 고유 모드 m 은 K 개의 서브밴드 각각에 관해 m 번째 고유 모드에

의해 형성될 수도 있다. ($m = 1$ 인) 제 1 광대역 고유 모드는 K 개의 모든 서브밴드에 관해 최대의 고유값과 연관되고, ($m = 2$ 인) 제 2 광대역 고유 모드는 K 개의 모든 서브밴드에 관해 두번째로 큰 고유값과 연관된다. S 개의 송신 채널은 S 개의 광대역 고유 모드에 의해 형성될 수도 있다.

표 2 는 3 개의 송신 모드에 관한 송신국 (110) 및 수신국 (150) 에서의 공간 프로세싱을 요약하고 있다. 동일한 공간 프로세싱이 각 서브밴드에 관해 수행될 수도 있다.

표 2

	지향 모드	무지향 모드	공간 확산 모드
송신국	$\underline{x}_{es} = \underline{E} \cdot \underline{s}$	$\underline{x}_{us} = \underline{s}$	$\underline{x}_{ss} = \underline{V} \cdot \underline{s}$
유효 채널	$\underline{H}_{es} = \underline{H} \cdot \underline{E}$	$\underline{H}_{us} = \underline{H}$	$\underline{H}_{ss} = \underline{H} \cdot \underline{V}$
수신 심벌	$\underline{r}_x = \underline{H} \cdot \underline{x}_x + \underline{n} = \underline{H}_x \cdot \underline{s} + \underline{n}$		
수신기 풀-CSI/ CCMI	$\underline{M}_{fcsi}^{es} = \underline{\Lambda}^{-1} \cdot \underline{E}^H \cdot \underline{H}^H$	$\underline{M}_{ccmi}^{us} = [\underline{H}^H \cdot \underline{H}]^{-1} \cdot \underline{H}^H$	$\underline{M}_{ccmi}^{ss} = \underline{V}^H \cdot \underline{M}_{ccmi}^{us}$
	$\hat{\underline{s}}_{fcsi}^{es} = \underline{M}_{fcsi}^{es} \cdot \underline{r}_{es}$	$\hat{\underline{s}}_{ccmi}^{us} = \underline{M}_{ccmi}^{us} \cdot \underline{r}_{us}$	$\hat{\underline{s}}_{ccmi}^{ss} = \underline{M}_{ccmi}^{ss} \cdot \underline{r}_{ss}$
수신기 MMSE	$\underline{M}_{mmse}^x = [\underline{H}_x^H \cdot \underline{H}_x + \sigma_{noise}^2 \cdot \underline{I}]^{-1} \cdot \underline{H}_x^H$		
	$\underline{D}_{mmse}^x = [\text{diag} [\underline{M}_{mmse}^x \cdot \underline{H}_x]]^{-1}$		
	$\hat{\underline{s}}_{mmse}^x = \underline{D}_{mmse}^x \cdot \underline{M}_{mmse}^x \cdot \underline{r}_x$		

표 2 에서, 아래 기입한 "es" 는 지향 모드 (또는 고유 지향) 를 표시하며, "us" 는 무지향 모드를 표시하고, "ss" 는 공간 확산 모드를 표시하며, "x" 는 "es", "us", 또는 "ss" 를 표시할 수도 있다. σ_{noise}^2 는 MIMO 채널에 관한 AWGN 잡음의 변화이다. \underline{s} 는 하나의 심벌 주기 내에 하나의 서브밴드 상에 전송된 M 개의 데이터 심벌을 갖는 $T \times 1$ 벡터이며, 남은 $T - M$ 개의 구성요소에 관해서는 0 이다. \underline{V} 는 공간 확산에 사용되는 $T \times T$ 지향 매트릭스이다. \underline{x}_x 는 송신 모드 x 에 관한 하나의 심벌 주기 내에 송신 안테나로부터 하나의 서브밴드 상에 전송된 T 개의 송신 심벌을 갖는 $T \times 1$ 벡터이다. \underline{H}_x 는 송신 모드 x 에 관한 $R \times T$ 유효 채널 응답 매트릭스이다. \underline{M} 은 풀 채널 상태 정보 (full-CSI) 기술, 채널 상관도 매트릭스 역 (CCMI) 기술, 또는 최소 평균 제곱 에러 (MMSE) 기술에 기초하여 도출될 수도 있는 $T \times R$ 공간 필터 매트릭스이다. $\hat{\underline{s}}$ 는 검출된 데이터 심벌의 $T \times 1$ 벡터이고, \underline{s} 의 추정치이다. MMSE 및 CCMI 기술은 3 개의 모든 송신 모드에 대해 사용된다. MMSE 및 CCMI 공간 필터 매트릭스는, 상이한 유효 채널 응답 매트릭인 \underline{H}_{es} , \underline{H}_{us} , 및 \underline{H}_{ss} 에도 불구하고, 3 개의 송신 모드 모두에 관해 동일한 방법으로 도출될 수도 있다.

또한, 연속적인 간섭 제거 (SIC) 수신기 프로세싱은 M 개의 단계에서 M 개의 데이터 스트림을 복구하는데 사용될 수도 있다. 각 단계 ℓ 는 표 2 에 나타난 수신기 공간 프로세싱 기술 중 하나를 사용하여 하나의 데이터 스트림을 검출하고, 검출된 데이터 심벌 스트림을 디코딩하고, 아직 복구되지 않은 채로 남아있는 데이터 스트림 상의 디코딩된 데이터 스트림에 의해 발생하는 간섭을 추정하며, 수신 심벌 스트림으로부터 추정된 간섭을 제거하여, 다음 단계 $\ell+1$ 에 관한 변형된 심벌 스트림을 획득한다. 그 후, 다음 단계 $\ell+1$ 은 또 다른 데이터 스트림을 검출하고, 디코딩하며, 제거한다.

[0055] 어떤 송신 방식이 사용하기 위해 선택되든지 간에, 수신국 (150) 이 어떤 레이트가 확실히 지속될 수 있는지에 대해 적시에 적절하게 정확한 정보를 송신국 (110) 에 제공한다면, 시스템 스루풋은 현저히 향상될 수도 있다. 이 피드백 정보를 갖추면, 송신국 (110) 은 채널 조건에서의 변화에 신속하게 적응할 수 있다.

[0056] 2. SNR 추정

[0057] 수신국은 수신 파일럿 심벌 및/또는 수신 데이터 심벌에 기초하여 수신 SNR 를 추정할 수도 있다. 파일럿-기초 SNR 추정의 경우에, 수신국은 수신 파일럿 심벌을 사용하여 각 서브밴드의 각 공간 채널에 관한 수신 SNR 을 추정할 수도 있다. 수신국은 (1) 무지향 모드에서 임의의 공간 프로세싱 없이 송신되는 클리어 (clear) 파일럿, (2) 지향 모드에서 \mathbf{E} 와 함께 고유 모드 상에 송신되는 지향 파일럿, 또는 (3) 공간 확산 모드에서 \mathbf{V} 와 함께 송신되는 확산 파일럿으로부터 수신 파일럿 심벌을 사용할 수도 있다. 3 개의 송신 모드에 관한 수신 SNR 은 이하 설명된 바와 같이 계산될 수도 있다.

[0058] 지향 모드에서 풀-CSI 수신기 공간 프로세싱의 경우에, 각 서브밴드 k 의 각 고유 모드 m 에 관한 수신 SNR 은,

수학식 2

$$\gamma_{es,m}(k) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_m(k) \cdot \lambda_m(k)}{\sigma_{noise}^2} \right), \quad m=1, \dots, S \text{ 및 } k=1, \dots, K$$

[0060] 와 같이 표현될 수도 있으며, 여기서, $P_m(k)$ 은 서브밴드 k 의 고유 모드 m 에 관한 송신 전력이고, λ_m 은 서브밴드 k 에 관한 $\mathbf{\Lambda}(k)$ 의 m 번째 대각 구성요소이고, $\gamma_{es,m}(k)$ 는 서브밴드 k 에 관한 고유 모드 m 에 관한 수신 SNR 이다.

[0061] 3 개의 모든 송신 모드에서 MMSE 수신기 공간 프로세싱의 경우에, 각 서브밴드 k 의 각 공간 채널 m 에 관한 수신 SNR 은,

수학식 3

$$\gamma_{mmse,m}(k) = 10 \log_{10} \left(\frac{q_m(k)}{1 - q_m(k)} P_m(k) \right), \quad m=1, \dots, S \text{ 및 } k=1, \dots, K$$

[0063] 와 같이 표현될 수도 있으며, 여기서 $q_m(k)$ 은 서브밴드 k 에 관한 $\mathbf{M}_{mmse}^x(k) \cdot \mathbf{H}_x(k)$ 의 m 번째 대각 구성요소이고, $\gamma_{mmse,m}(k)$ 은 서브밴드 k 의 공간 채널 m 에 관한 수신 SNR 이다.

[0064] 3 개의 송신 모드 모두에서 CCMI 수신기 공간 프로세싱의 경우에, 각 서브밴드 k 의 각 공간 채널 m 에 관한 수신 SNR 은,

수학식 4

$$\gamma_{ccmi,m}(k) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_m(k)}{r_m(k) \cdot \sigma_{noise}^2} \right), \quad m=1, \dots, S \text{ 및 } k=1, \dots, K$$

[0066] 와 같이 표현될 수도 있으며, 여기서, $r_m(k)$ 는 서브밴드 k 에 관한 $\mathbf{R}_x(k) = \mathbf{H}_x^H(k) \cdot \mathbf{H}_x(k)$ 의 m 번째 대각 구성요소이고, $\gamma_{ccmi,m}(k)$ 은 서브밴드 k 의 공간 채널에 관한 수신 SNR 이다.

[0067] 수학식 2 내지 수학식 4 에서, $P_m(k) / \sigma_{noise}^2$ 의 양은 수신기 공간 프로세싱 이전의 (선형 단위로) SNR 이다.

$\gamma_{es,m}(k)$, $\gamma_{nmse,m}(k)$, 및 $\gamma_{ccmi,m}(k)$ 의 양은 수신기 공간 프로세싱 후에 (데시벨 (dB) 단위로) SNR이며, 이들은 수신 SNR이다.

[0068] 공간 확산 모드의 경우에, S 개의 공간 채널은 매트릭스 \mathbf{V} 에 의한 공간 확산으로 인해 유사한 수신 SNR를 달성한다. 결과적으로, 동일한 레이트는 M 개의 데이터 스트림에 사용될 수도 있다. 공간 확산에 의해, 각 데이터 심벌은 S 개의 모든 공간 채널 상에 송신되고, 모든 공간 채널에 관한 평균 SNR을 관찰하며, 이는

수학식 5

$$\gamma_{nmse}(k) = 10 \log_{10} \left(\sum_{m=1}^S \frac{q_m(k)}{1 - q_m(k)} P_m(k) \right)$$

[0069]

수학식 6

$$\gamma_{ccmi}(k) = 10 \log_{10} \left(\sum_{m=1}^S \frac{P_m(k)}{r_m(k) \cdot \sigma_{noise}^2} \right)$$

[0070]

[0071] 와 같이 표현될 수도 있다. 평균 SNR은 수학식 5 및 6에 나타난 바와 같이 선형 단위로 나타낼 수도 있으며, dB 단위로 나타낼 수도 있다.

[0072] 또한, 각 데이터 스트림에 관한 수신 SNR은 그 데이터 스트림에 관한 수신 데이터 심벌에 기초하여 추정할 수도 있다. 데이터-기초 SNR 추정의 경우에, 수신국은 각 서브밴드에 관한 공간 필터 매트릭스를 갖는 수신 데이터 심벌 상에서 수신기 공간 프로세싱을 수행하여, 검출된 데이터 심벌을 획득한다. 통상적으로, 각 검출된 데이터 심벌은 송신된 데이터 심벌의 추정치인 다중 비트값 (또는 소프트-판정 (soft decision))이다. 수신국은 검출된 데이터 심벌을 하드 판정 (hard decision)으로 변환하고, 각 검출된 데이터 심벌에 관한 하드 판정과 소프트 판정 사이의 차이를 결정하여, 하드 판정과 소프트 판정 사이의 차이의 크기 제공의 평균을 계산할 수도 있다. 수신국은 데이터 스트림에 관한 하드 판정과 소프트 판정 사이의 차이의 크기 제공의 평균에 기초하여 각 데이터 스트림에 관한 데이터-기초 SNR 추정치를 도출할 수도 있다.

[0073] 통상적으로, 데이터가 S 개의 공간 채널보다 더 적은 공간 채널 상에 송신되는 경우에도 파일럿-기초 SNR 추정치는 각 서브밴드의 S 개의 모든 공간 채널에 관해 획득될 수도 있도록 파일럿이 송신된다. 데이터-기초 SNR 추정치는 실제로 송신되는 M 개의 데이터 스트림에 관해 획득될 수도 있다. 일반적으로, 데이터 스트림에 관한 레이트는 단지 파일럿-기초 SNR 추정치, 단지 데이터-기초 SNR 추정치, 또는 파일럿-기초 SNR 추정치 및 데이터-기초 SNR 추정치 모두에 기초하여 선택될 수도 있다. 어떤 타입의 SNR 추정치도 MIMO 채널에 의해 확실히 지원될 수 있는 레이트를 단독으로 정확히 반영하지 못한다면, 파일럿-기초 SNR 및 데이터-기초 SNR 모두를 사용하는 것이 유리할 수도 있다. 파일럿-기초 SNR 추정치 및 데이터-기초 SNR 추정치 사이의 불일치는 송신국 및/또는 수신국에서의 손상을 표시할 수도 있다. 일 실시형태에서, 이런 불일치가 검출된다면, 2 가지 타입의 SNR 추정치 중 더 작은 값 또는 SNR 추정치의 평균이 데이터 스트림에 관한 레이트를 선택하는데 사용될 수도 있다.

[0074] 3. 레이트 선택

[0075] 레이트 선택은, 다수의 송신 모드가 지원된다면, 송신을 위해 사용하는 송신 모드 선택하고, 송신할 데이터 스트림의 수를 선택하며, 모든 데이터 스트림에 관한 한 세트의 레이트 또는 각 데이터 스트림에 관한 레이트를 선택하는 것을 수반할 수도 있다. 통상적으로, 이들 3 가지 파라미터 (송신 모드, 데이터 스트림의 수, 및 레이트)는 상호 관련되어 있다. 예를 들어, 사용하기 위해 선택된 송신 모드는 SNR 추정치에 영향을 줄 수도 있으며, 이는 차례로 데이터 스트림에 관해 선택된 레이트에 영향을 줄 수도 있다. 송신 모드의 상이한 조합 및 데이터 스트림의 수는 평가될 수도 있다. 각 조합은 특정 송신 모드 및 특정한 수의 데이터 스트림에 대응한다. 각 조합의 경우에, 각 데이터 스트림의 레이트가 결정될 수도 있고, 모든 데이터 스트림에 관한 전체 스루풋이 계산될 수도 있다. 최고 전체 스루풋을 갖는 조합이 사용하기 위해 선택될 수도 있다. 특정 송신 모드 및 M 개의 데이터 스트림에 관한 하나의 조합은 후술되는 바와 같이 평가될 수도 있다.

[0076] 각 데이터 스트림에 관한 레이트는 다양한 방법으로 선택될 수도 있다. 명확화를 위해, 레이트 선택의 실시

형태는 이하 후술된다. 이 실시형태의 경우에, 공간 채널에 관한 수신 SNR 및 각 데이터 스트림에 사용되는 서브밴드는 초기에 결정된다. 다음 설명은 데이터 스트림 m 이 송신 채널 m 상에 전송된다고 가정하며, 송신 채널 m 은 K 개의 서브밴드의 각각에 관한 공간 채널 m 으로 구성되는 광대역 공간 채널이다. 통상적으로, 전송한 바와 같이, 각 광대역 공간 채널에 관한 수신 SNR 은 주파수 종속적이며, 데이터 송신에 사용되는 송신 모드 및 수신기 공간 프로세싱 기술에 더 종속한다. 데이터 스트림 m 에 사용되는 각 서브밴드 k 에

관한 수신 SNR 은 $\gamma_m(k)$ 라고 표시되며, dB 단위로 주어진다. 전송한 바와 같이, $\gamma_m(k)$ 는 송신 모드 및 수신기 공간 프로세싱 기술에 기초하여 계산될 수도 있다.

[0077] 각 데이터에 관한 평균 SNR 은,

수학식 7

$$\gamma_{\text{avg},m} = \frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K \gamma_m(k), \quad m=1, \dots, M$$

[0078]

와 같이 계산될 수도 있으며, 여기서, $\gamma_{\text{avg},m}$ 는 데이터 스트림 m 에 관한 평균 SNR 이며, dB 단위이다.

[0079]

[0080] 각 데이터 스트림에 관한 수신 SNR 의 편차는,

수학식 8

$$\sigma_{\text{snr},m}^2 = \frac{1}{(K-1)} \cdot \sum_{k=1}^K (\gamma_m(k) - \gamma_{\text{avg},m})^2, \quad m=1, \dots, M$$

[0081]

와 같이 계산될 수도 있으며, 여기서, $\sigma_{\text{snr},m}^2$ 는 데이터 스트림 m 에 관한 SNR 편차이다.

[0082]

[0083] SNR 가변성 백오프 팩터 (variability backoff factor) 는,

수학식 9

$$\gamma_{\text{os},m} = K_{\text{snr}} \cdot \sigma_{\text{snr},m}^2, \quad m=1, \dots, M$$

[0084]

와 같이, 데이터 스트림에 관한 SNR 편차 및 평균 SNR 에 기초하여 각 데이터 스트림에 대해 계산될 수도 있으며, 여기서, $\gamma_{\text{os},m}$ 는 데이터 스트림 m 에 관한 SNR 가변성 백오프 팩터이고, K_{snr} 는 후술되는 상수이다.

[0085]

일반적으로, SNR 가변성 백오프 팩터는 평균 SNR 및 SNR 편차의 임의의 함수에 기초하여 계산될 수도 있거나,

$$\gamma_{\text{os},m} = F(\gamma_{\text{avg},m}, \sigma_{\text{snr},m}^2) \quad \text{이다.}$$

[0086]

지향 모드에서 MIMO 송신을 설명하는데 사용되는 MIMO 백오프 팩터는,

수학식 10

$$\gamma_{\text{mimo},m}^{\text{es}} = \frac{m \cdot \beta}{D}, \quad m=1, \dots, M$$

[0087]

와 같이 정의될 수도 있으며, 여기서, β 는 후술되는 양의 상수이고, D 는 데이터 송신에 관한 다이버시티 차

[0088]

수이며, $\gamma_{\text{mimo},m}^{\text{es}}$ 는 지향 모드에서 데이터 스트림 m 에 관한 MIMO 백오프 팩터이다. 데이터 스트림 인덱스 m 는 수학식 10 에 포함되거나 수학식 10 으로부터 생략될 수도 있다. 다이버시티 차수는 다수의 수신 안테나의 사용을 통해 데이터 통신에 의해 관찰되는 공간 다이버시티의 양을 표시한다. 지향 모드에 관한 다이버시티 차수는,

수학식 11

[0089] $D = R - M + 1$

[0090] 와 같이 주어질 수도 있다.

[0091] 무지향 모드 및 공간 확산 모드에 관한 MIMO 백오프 팩터는, 수신국에서 연속적인 간섭 제거가 없는 경우에,

수학식 12

[0092] $\gamma_{mimo,m}^{ss} = \gamma_{mimo,m}^{us} = \frac{\beta}{D}, m = 1, \dots, M$

[0093] 와 같이 정의될 수도 있다.

[0094] 무지향 모드 및 공간 확산 모드에 관한 MIMO 백오프 팩터는, 수신국에서 연속적인 간섭 제거가 있는 경우에,

수학식 13

[0095] $\gamma_{mimo,m}^{sic} = \frac{\beta}{D(m)}, m = 1, \dots, M$

[0096] 와 같이 정의될 수도 있으며, 여기서 $D(m)$ 은 데이터 스트림 m 에 의해 관찰되는 다이버시티 차수이며, 이는,

수학식 14

[0097] $D(m) = R - M + m, m = 1, \dots, M$

[0098] 와 같이 주어질 수도 있다. 데이터 스트림 $m = 1$ 이 처음으로 검출되어 디코딩되고, 그 후, 데이터 스트림 $m = 2$ 등이 그렇게 되도록, 수학식 14 는 M 개의 데이터 스트림이 순서대로 검출되어 디코딩된다고 가정한다.

간섭 추정 및 제거가 소정의 데이터 스트림 m 에 관해 성공적이라면, 마치 데이터 스트림 m 이 송신되지 않았던 것처럼 각 다음 데이터 스트림에 관한 다이버시티 차수가 증가한다. 예를 들어, $R = 4$ 이고 $M = 3$ 이라면, 데이터 스트림 $m = 1$ 은 2 의 다이버시티 순위를 관찰하고, 데이터 스트림 $m = 2$ 은 3 의 다이버시티 순위를 관찰하며, 데이터 스트림 $m = 3$ 은 4 의 다이버시티 순위를 관찰한다.

[0099] 각 데이터 스트림에 관한 유효 SNR 은,

수학식 15

[0100] $\gamma_{eff,m} = \gamma_{avg,m} - \gamma_{os,m} - \gamma_{mimo,m} - \gamma_{outer,m}, m = 1, \dots, M$

[0101] 와 같이 계산될 수도 있으며, 여기서, $\gamma_{outer,m}$ 는 데이터 스트림 m 에 관한 외부 루프 백오프 팩터이고 (후술됨), $\gamma_{mimo,m}$ 는 데이터 스트림 m 에 관한 MIMO 백오프 팩터이며, $\gamma_{eff,m}$ 은 데이터 스트림 m 에 관한 유효 SNR 이다.

[0102] 수학식 9 에서, 팩터 K_{snr} 는 데이터 스트림에 관한 수신 SNR 에서의 가변성에 대해 설명한다. 이 SNR 가 변성은 통신 링크의 주파수 선택도로 인해 발생할 수도 있으며, 이는 K 개의 서브밴드를 통해 수신 SNR 을 변화시키는 비-플랫 (non-flat) 주파수 응답이다. 디코딩될 소프트 판정에 관한 SNR 에서 큰 편차가 있다면, 몇 몇 에러 보정 코드에 관한 디코딩 성능이 열화한다는 사실을 고려하여, 팩터 K_{snr} 는 평균 SNR 로부터 유효 SNR 을 감소시킨다. 팩터 K_{snr} 가 적용되지 않는다면, 데이터 스트림에 관한 PER 이 상승될 수도 있다.

팩터 K_{snr} 는, 예를 들어, 에러 보정 코드의 타입, 구속장 (constraint length) 등과 같은 데이터 스트림에 사용되는 에러 보정 코드의 특정 상세부분에 기초하여, 선택될 수도 있다. 또한, 팩터 K_{snr} 은 코드 레이

트의 함수일 수도 있다.

[0103] 수학식 10 내지 14 에서, MIMO 백오프 팩터는 MIMO 송신과 연관되는 다양한 특성에 대해 설명한다. MIMO 백오프 팩터는 후술되는, 팩터 β , 스트림 인덱스 m , 및 다이버시티 순위 D 에 기초하여 도출된다.

[0104] 팩터 β 는,

[0105] 1. 수신국 (150) 으로부터 송신국 (110) 으로의 피드백에서의 레이턴시 (latency);

[0106] 2. 통신 링크에서의 잡음과 스트림 추정 프로세스 당 SNR; 및

[0107] 3. 지향 모드에서, 송신국 (110) 및/또는 수신국 (150) 에 의해 사용되는 지향 벡터의 MIMO 채널로의 오정렬 (misalignment) 로 인해 발생할 수도 있는 레이트 불일치에 대해 설명하는 유효 SNR 을 감소시키는데 사용된다.

통상적으로 팩터 β 는, 양의 상수이다. 또한, 팩터 β 는 수신 SNR, MIMO 채널의 코히어런트 시간, 피드백 지연 등, 또는 이들의 임의의 조합의 함수가 되게 할 수도 있다.

[0108] 다이버시티 차수 D 는 데이터 송신에 관해 달성된 공간 다이버시티의 양에 대해 설명한다. 최저 다이버시티 차수는 $R = M$ 인 경우에 달성되며, 이는 1 의 다이버시티 차수 또는 $D = 1$ 이 부여된다. 더 많은 수신 안테나가 소정 수의 데이터 스트림에 사용됨에 따라, 다이버시티 차수는 증가한다. 통상적으로, 더 높은 다이버시티 차수는 각 데이터 스트림에 관한 수신 SNR 에서의 더 적은 편차에 대응한다. 수학식 10, 12, 및 13 에서 D 로 나눈 것은, 송신되는 데이터 스트림의 수가 수신 안테나의 수보다 더 적은 경우에, 데이터 스트림의 수신 SNR 이 일반적으로 더 적당하다는 사실에 대해 설명한다. 일반적으로, 다이버시티 차수 (D) 가 증가하면, 더 낮은 MIMO 백오프 팩터가 사용될 수도 있다.

[0109] 스트림 인덱스 m 은 상이한 데이터 스트림이 지향 모드에서 SNR 가변성의 상이한 양을 가질 수도 있다는 사실에 대해 설명한다. 제 1 광대역 고유 모드는 최고 평균 SNR 을 가지며, 또한, 통상적으로, 시간 및 주파수에 걸쳐 더 적은 SNR 가변성을 갖는다. 따라서, 더 작은 MIMO 백오프 팩터는 제 1 광대역 고유 모드에 대해 사용된다. S 번째 광대역 고유 모드는 최저 평균 SNR 을 가지며, 통상적으로 시간 및 주파수에 걸쳐 더 많은 SNR 가변성을 갖는다. 따라서 더 큰 MIMO 백오프 팩터는 이 광대역 고유 모드에 대해 사용된다.

[0110] 또한, 유효 SNR 은 다른 팩터에 대해 설명하는 방법으로 도출될 수도 있다. 예를 들어, 팩터 L 은 데이터 스트림 상에 전송된 패킷 길이에서의 변화에 대해 설명하는데 사용될 수도 있다. 통상적으로, 더 큰 패킷은 소정의 PER 을 달성하기 위해 더 높은 SNR 을 요구한다. 패킷 사이즈에서의 변화는 예를 들어, 수학식 15 에서의 패킷 길이 종속 백오프 팩터를 추가함으로써 처리될 수도 있다.

[0111] 전술한 다양한 팩터 (예를 들어, K_{snr} 및 β) 는 스루풋을 최대화하고, 패킷 에러 레이트를 최소화하도록 선택될 수도 있다. 이들 팩터는 계산 시뮬레이션, 경험적 측정 등에 기초하여 결정될 수도 있다.

[0112] 하나의 레이트 선택 실시형태에서, 레이트는 시스템에 의해 지원되는 한 세트의 레이트 사이로부터 각 데이터 스트림에 관해 독립적으로 선택될 수도 있다. 표 3 은 소정의 레이트 인덱스 0 내지 13 인, 시스템에 의해 지원되는 14 개의 레이트의 예시적인 세트를 리스팅하고 있다. 각 레이트는 비-페이딩 AWGN 채널에 관해 1 % PER 을 달성하도록 요구되는 특정 최소 SNR (Req SNR), 특정 변조 (Mod) 방식, 특정 코드 레이트, 특정 스펙트럼 효율 (Spectral Eff) 과 연관된다. 스펙트럼 효율은 시스템 대역폭에 의해 정규화된 데이터 레이트 (또는 정보 비트 레이트) 를 지칭하고, 헤르쯔당 초당 비트 (bps/Hz) 단위로 주어진다. 표 3 에서 각 레이트에 관한 변조 방식 및 코드 레이트는 특정 시스템 설계에 관한 것이다. 인덱스 0 을 갖는 레이트는 널 (null) 데이터 레이트 (또는 무 (no) 데이터 송신) 에 관한 것이다. 0 이 아닌 데이터 레이트를 갖는 각 레이트의 경우에, 요구 SNR 은 특정 시스템 설계 (예를 들어, 그 레이트에 관한 시스템에 사용되는 코드 레이트, 인터리빙 방식, 변조 방식 등) 에 기초하거나, AWGN 채널에 관해 획득된다. 요구 SNR 은 계산, 컴퓨터 시뮬레이션, 경험적 측정 등에 의해 획득될 수도 있다.

표 3

레이트 인덱스	스펙트럼 효율 (bps/Hz)	코드 레이트	변조 방식	최소 SNR (dB)	레이트 인덱스	스펙트럼 효율 (bps/Hz)	코드 레이트	변조 방식	최소 SNR (dB)
0	0.0	-	-	-	7	3.0	3/4	16 QAM	13.2
1	0.25	1/4	BPSK	-1.8	8	3.5	7/12	64 QAM	16.2
2	0.5	1/2	BPSK	1.2	9	4.0	2/3	64 QAM	17.4
3	1.0	1/2	QPSK	4.2	10	4.5	3/4	64 QAM	18.8
4	1.5	3/4	QPSK	6.8	11	5.0	5/6	64 QAM	20.0
5	2.0	1/2	16 QAM	10.1	12	6.0	3/4	256 QAM	24.2
6	2.5	5/8	16 QAM	11.7	13	7.0	7/8	256 QAM	26.3

[0113]

[0114]

도 2 를 참조하여, 룩업 테이블 (LUT; 186) 은 지원되는 레이트 세트 및 각 지원되는 레이트에 관해 요구 SNR 을 저장할 수도 있다. 각 데이터 스트림에 관한 유효 SNR 은 룩업 테이블 (186) 에 제공될 수도 있고, 지원 레이트 세트에 관해 요구 SNR 세트와 비교될 수도 있다. 그 후, 룩업 테이블 (186) 은 각 데이터 스트림에 관해 선택된 레이트를 제공할 수도 있으며, 이 레이트는 데이터 스트림에 관한 유효 SNR 이하인 요구 SNR 및 최고 스펙트럼 효율을 갖는 레이트이다.

[0115]

명확화를 위해, 레이트 선택 프로세스는 특정 예에 관해 후술된다. 이 예의 경우에, 데이터 스트림 m 은 2.74, 4.27, 6.64, 및 9.52 dB 의 수신 SNR 을 갖는 4 개의 서브밴드를 갖는 송신 채널 m 상에 송신된다.

평균 SNR 은 $\gamma_{avg,m} = 5.79$ dB 이고, SNR 편차는 $\sigma_{snr,m}^2 = 8.75$ 로 계산된다. 이 예의 경우에, SNR 가변

성 백오프 팩터는 함수 $\gamma_{os,m} = F(\gamma_{avg,m}, \sigma_{snr,m}^2) = 0.25 \cdot \sigma_{snr,m}^2$ 에 기초하여 결정되며, $\gamma_{os,m} = 2.19$ dB

로 계산된다. 이 예의 경우에, MIMO 백오프 팩터는 $\gamma_{mimo,m} = 1.0$ dB 로 주어지고, 외부 루프 백오프 팩

터는 $\gamma_{outer,m} = 0.5$ 이다. 그 후, 유효 SNR 은 $\gamma_{op} = 5.79 - 2.19 - 1.0 - 0.5 = 2.10$ dB 로 계산된다.

[0116]

표 3 에 나타난 지원 레이트 및 이들의 요구 SNR 의 세트를 사용하여, 인덱스 2 를 갖는 레이트가 데이터 스트림 m 에 관해 선택된다. 선택된 레이트는 (2.10 dB 의) 유효 SNR 이하인 (1.2 dB 의) 최고 요구 SNR 을 갖는다. 선택된 레이트는 0.5 bps/Hz 의 스펙트럼 효율, 1/2 의 코드 레이트, 및 BPSK 변조가 데이터 스트림 m 에 사용된다고 표시한다.

[0117]

수학식 2 내지 4 에 나타난 바와 같이, 수신 SNR 은 각 서브밴드의 각 공간 채널에 사용된 송신 전력 $P_m(k)$ 에 종속한다. 일 실시형태에서, $P_m(k) = P_{total} / (K \cdot M)$, $m = 1, \dots, M$ 및 $k = 1, \dots, K$ 이도록, 전체 송

신 전력 P_{total} 은 M 개의 데이터 스트림에 동등하게 할당된다. 그 후, 레이트는 수학식 7 내지 15 에 관해 전술된 바와 같이 M 개의 데이터 스트림 각각에 관해 선택될 수도 있다. 또 다른 실시형태에서, 전체 송신

전력 P_{total} 은 M 개의 데이터 스트림에 동등하지 않게 할당될 수도 있다. 예를 들어, 더 높은 SNR 을 갖는 데이터 스트림에 더 많은 송신 전력이 할당되도록, 전체 송신 전력 P_{total} 은 워터-필링 (water-filling) 을 사용하여 할당될 수도 있다.

[0118]

일 실시형태에서, 전송할 데이터 스트림의 수인 M 은 더 높은 전체 스루풋을 달성하도록 선택된다. 이 실시 형태의 경우에, 전체 스루풋은 가능한 수의 데이터 스트림의 각각에 대해 계산될 수도 있다. 하나의 데이터

스트림의 경우에, 이 데이터 스트림에 관한 수신 SNR 은 이 데이터 스트림에 할당될 전체 송신 전력 P_{total} 로 계산되고, 유효 SNR 은, 전술되고 데이터 스트림에 관한 레이트를 선택하는데 사용되는 바와 같이 계산되며, 전

체 스루풋은 선택된 레이트에 관한 스펙트럼 효율과 동등하다. $1 < s \leq S$ 인, s 개의 데이터 스트림의 경우, 각 데이터 스트림에 관한 수신 SNR 은 각 데이터 스트림에 할당될 P_{total}/s 로 계산되고, 각 데이터 스트림에 관한 유효 SNR 은, 전술되고 데이터 스트림에 관한 레이트를 선택하는데 사용되는 바와 같이 계산되며, 전체 스루풋은 s 개의 모든 데이터 스트림에 관해 선택된 레이트에 관한 스펙트럼 효율의 합과 동등하다. S 개의 가능한 수의 데이터 스트림에 대해 계산된 S 개의 전체 스루풋 사이에서 최고 전체 스루풋이 결정되고, 최고 전체 스루풋을 제공하는 데이터 스트림의 수는 M 으로 선택된다. 데이터 스트림의 각 가정 수 (hypothesized number) 에 관한 전체 스루풋을 평가하는 경우에, 수신 SNR 은 사용하기 위해 선택된 송신 모드 및 데이터 스트림을 검출하는데 사용되는 수신기 프로세싱 기술에 기초하여 계산된다.

[0119] 일 실시형태에서, 송신 모드는 수학식 7 내지 15 에 기초하여 선택된다. 예를 들어, 전체 스루풋은 각 지원 송신 모드에 대해 계산될 수도 있다. 최고 전체 스루풋을 갖는 송신 모드가 사용하기 위해 선택될 수도 있다. 또한, 송신 모드는 예를 들어, 송신국 및 수신국 가능 출력, MIMO 채널의 코히어런트 시간, 피드백 딜레이 등과 같은 다른 팩터에 기초하여 선택될 수도 있다.

[0120] 다른 레이트 선택 실시형태에서, M 개의 데이터 스트림에 관한 레이트는, 변조 코딩 방식 (MCS) 세트라고, 또한, 지칭될 수도 있는, 벡터-양자화 (vector-quantized) 레이트 세트로부터 공동으로 선택된다. 시스템은, 예를 들어, 송신국으로 재전송하는 피드백 정보의 양을 감소시키기 위해 단지 특정 레이트 조합을 지원할 수도 있다. 표 4 는, 송신국이 4 개의 데이터 스트림까지 송신할 수 있는 시스템에 관한 예시적인 벡터-양자화 레이트 세트를 나타내고 있다. 이 레이트 세트의 경우에, 레이트 아이디 (ID) 0 내지 13 은 하나의 데이터 스트림의 송신에 관한 것으로 각각 레이트 인덱스 0 내지 13 으로 표 3 에서 주어지고, 레이트 ID 14 내지 24 는 2 개의 데이터 스트림의 송신에 관한 것이고, 레이트 ID 25 내지 35 는 3 개의 데이터 스트림의 송신에 관한 것이며, 레이트 ID 36 내지 43 는 4 개의 데이터 송신에 관한 것이다. 각 레이트 ID 의 경우에, 송신 데이터 스트림의 수 (Num Str), 각 데이터 스트림에 사용하는 레이트, 및 전체 스루풋 (OTP) 이 표 4 에서 주어진다. 일 실시형태로서, 레이트 ID 31 의 경우에, 전체 스루풋은 12.0 bps/Hz 이고, 3 개의 데이터 스트림이 송신되고, 레이트 12 (코드 레이트 3/4 및 256 QAM) 는 데이터 스트림 1 에 사용되고, 레이트 9 (코드 레이트 2/3 및 64 QAM) 은 데이터 스트림 2 에 사용되며, 레이트 5 (코드 레이트 1/2 및 16 QAM) 는 데이터 스트림 3 에 사용된다.

표 4

레이트 ID	OTP bps/Hz	Num Str	스트림에 관한 레이트				레이트 ID	OTP bps/Hz	Num Str	스트림에 관한 레이트			
			1	2	3	4				1	2	3	4
14	2.0	2	4	2	—	—	29	9.0	3	10	9	2	—
15	2.5	2	4	3	—	—	30	12.0	3	10	10	7	—
16	3.0	2	5	3	—	—	31	12.0	3	12	9	5	—
17	4.0	2	7	3	—	—	32	12.0	3	12	10	4	—
18	4.5	2	7	4	—	—	33	13.5	3	12	10	7	—
19	4.5	2	9	2	—	—	34	13.5	3	12	12	4	—
20	6.0	2	10	4	—	—	35	16.0	3	12	12	9	—
21	6.0	2	9	5	—	—	36	8.0	4	9	7	2	2
22	8.0	2	12	5	—	—	37	12.0	4	10	10	5	3
23	9.0	2	12	7	—	—	38	16.0	4	12	10	9	4
24	12.0	2	12	12	—	—	39	16.0	4	12	10	10	3
25	6.0	3	7	5	3	—	40	16.0	4	12	12	7	3
26	6.0	3	9	4	2	—	41	18.0	4	12	12	9	5
27	8.0	3	10	5	4	—	42	18.0	4	12	12	10	4
28	9.0	3	10	7	4	—	43	21.0	4	12	12	12	7

4. 외부 루프 업데이트

도 2 에 나타난 실시형태의 경우에, 외부 루프 (220) 는 각 데이터 스트림에 관한 타깃 PER 을 유지한다. 각 데이터 스트림에 관한 외부 루프는 그 데이터 스트림에 관한 패킷 에러에 의해 구동될 수도 있다. 일 실시형태에서, 패킷이 에러로 디코딩되는 경우 (이는 삭제된 패킷임) 마다, 외부 루프는 외부 루프 백오프 팩터 $\gamma_{\text{outer}, m}$ 를 양의 단계 사이즈 δ_m 만큼 증가시킨다. 패킷이 정확하게 디코딩되는 경우 (이는 양호한 패킷임) 마다, 외부 루프는 프랙션 (fraction) δ_m 만큼 감함으로써 외부 루프 백오프 팩터 $\gamma_{\text{outer}, m}$ 를 0 을 향해 감소시킨다. 데이터 스트림 m 에 관한 외부 루프의 업데이트는,

패킷 에러가 있다면,

수학식 16a

$$\gamma_{\text{outer}, m}(n) = \gamma_{\text{outer}, m}(n-1) + \delta_m$$

패킷 에러가 없다면,

수학식 16b

$$\gamma_{\text{outer}, m}(n) = \max \{0, \gamma_{\text{outer}, m}(n-1) - P_m \cdot \delta_m\}$$

와 같이 표현될 수도 있으며, 여기서, P_m 은 각 양호한 패킷에 관해 감해진 δ_m 의 프랙션이며, $\gamma_{\text{outer}, m}(n)$ 은 데이터 스트림 m 에서 패킷 n 에 관한 외부 루프 백오프 팩터이다.

수학식 16a 및 16b 에 나타난 실시형태의 경우에, 외부 루프 백오프 팩터는 음이 아닌 값이다. 외부 루프

백오프 팩터는 예를 들어, 수신 SNR 의 높은 초기 추정치에 대해 설명하는 0 또는 음의 값인 소정의 값으로 데이터 송신 시작부에서 초기화될 수도 있다. 이후에, 외부 루프 백오프 팩터는 수신 팩터의 상태에 기초하여 업데이트된다. 외부 루프 백오프 팩터는 각 삭제된 패킷에 관해 δ_m 만큼 증가되고, 각 양호 패킷에 관해 $P_m \cdot \delta_m$ 만큼 감소되며, 여기서, $P_m \cdot \delta_m$ 는 δ_m 의 프랙션이고 $\gamma_{outer,m}(n)$ 은 0 이상으로 강제된다.

[0130] 팩터 P_m 는 데이터 스트림 m 에 관해 타깃 PER 에 기초하여 설정될 수도 있고,

수학식 17

$$P_m = \frac{PER_m}{1 - PER_m}$$

[0131]

[0132] 과 같이 표현될 수도 있으며, 여기서, PER_m 은 데이터 스트림 m 에 관한 타깃 PER 이다. 예를 들어, 1 % PER 에 관해 $PER_m = 0.01$ 이면, $P_m = 0.0101 = 1 / 99$ 이다. 외부 루프 단계 사이즈 δ_m 는 외부 루프에 관한 컨버전스의 레이트를 결정한다.

[0133] 전술한 실시형태의 경우에, 외부 루프 백오프 팩터 $\gamma_{outer,m}(n)$ 는, 수학식 16a, 16b, 및 17 에서 아래 적은 "m" 에 의해 표시되는 바와 같이 데이터 스트림에 종속적이다. 이 실시형태는 각 데이터 스트림이 별도로 인코딩되고, 각 패킷이 하나의 데이터 스트림 상에 전송되는 시스템에 사용될 수도 있다. 각 데이터 스트림에 관한 외부 루프 백오프 팩터는 그 데이터 스트림에 관해 수신된 패킷의 상태에 기초하여 업데이트될 수도 있다.

[0134] 시스템은 다수의 데이터 스트림에 걸쳐 단일 패킷을 전송할 수도 있고 이들 데이터 스트림은 공동으로 인코딩되는 것으로 간주될 수도 있다. 예를 들어, 패킷은 동일하거나 상이한 사이즈의 M 개의 블록으로 분석되거나 역다중화 (demultiplex) 될 수도 있고, 각 블록은 상이한 데이터 스트림 상에 전송될 수도 있다. 수신국은 M 개의 데이터 스트림 상에 수신된 M 개의 블록에 기초하여 패킷을 복구하려고 할 수도 있다. 패킷 에러가 있다면, M 개의 데이터 스트림 중 어느 하나가 패킷 에러를 발생시키는지 결정하는 것은 어렵다.

[0135] 일 실시형태에서, 공동으로 인코딩된 데이터 스트림을 갖는 시스템의 경우에, SNR 마진은 각 데이터 스트림에 대해 유지될 수도 있다. 데이터 스트림 m 에 관한 SNR 마진은 선택된 레이트에 관한 요구 SNR 과 데이터 스트림 m 에 관한 유효 SNR 사이의 차이로써 계산될 수도 있다. 데이터 스트림 m 에 관한 유효 SNR 은 파일럿-기초 및/또는 데이터 기초 SNR 추정치에 의해 획득될 수도 있다. 예를 들어, 수학식 (16a) 에 나타난 바와 같이, 패킷 에러가 검출되는 경우마다, 최저 SNR 마진을 갖는 데이터 스트림에 관한 외부 루프 백오프 팩터는 증가한다. 따라서, 최저 SNR 마진을 갖는 데이터 스트림은 패킷 에러를 발생시켰던 것으로 가정되고, 따라서, 외부 루프 백오프 팩터는 증가한다. 양호 패킷이 수신되는 경우마다, 모든 데이터 스트림에 관한 외부 루프 백오프 팩터는, 예를 들어, 수학식 (16b) 에 나타난 바와 같이 감소한다. 공간 확산 모드에 관한 경우 일 수도 있는, 모든 데이터 스트림이 유사한 SNR 마진을 갖는다면, 모든 데이터 스트림에 관한 외부 루프 백오프 팩터는 삭제 또는 양호 패킷에 관해 위로 또는 아래로 각각 조정될 수도 있다. 또 다른 실시형태에서, 외부 루프는 음의 SNR 마진을 갖는 각 데이터 스트림에 관한 다음의 더 낮은 레이트를 선택할 수도 있다.

[0136] 또한, 외부 루프는 내부 루프 (210) 의 동작을 제어하는데 사용되는 다른 타입의 정보를 제공할 수도 있다. 일 실시형태에서, 외부 루프는 각 데이터 스트림 m 에 관한 레이트 조정을 제공할 수도 있다. 이 레이트 조정은 데이터 스트림에 관해 더 낮은 레이트를 선택하도록 데이터 스트림 m 에 관해 내부 루프에 지시할 수도 있다. 이 레이트 조정은 예를 들어, 데이터 스트림 m 에 관해 수신된 패킷 에러 버스트와 같은 불만족스러운 성능으로 인해 발생할 수도 있다.

[0137] 일 실시형태에서, 외부 루프는 (터보 디코더에 관해) 디코딩된 패킷 내의 비트 사이의 최소 또는 평균 로그-가능도 비율 (LLR; log-likelihood ratio), (일반적인 디코더에 관한) 변형 야마모토 메트릭, 재-인코딩 파워 메트릭, 재-인코딩 심벌 에러 레이트 (SER) 와 같은 디코더 메트릭을 사용할 수도 있다. 재인코딩 SER 은 RX 공간 프로세서 (170)로부터 검출된 데이터 심벌과 RX 데이터 프로세서 (172)로부터 디코딩된 데이터를 재인코

당하고 재변조함으로써 획득되는 재인코딩 심벌 사이의 에러 레이트이다. 변형 야마모토 메트릭은 디코딩 데이터에 대한 확신도를 표시하고, 종래 디코딩에 관한 트렐리스 (trellis) 를 통해 선택된 (최선의) 경로와 트렐리스를 통해 다음으로 가장 가까운 경로 사이의 차이에 기초하여 획득된다. 또한, 최소 또는 평균 LLR 은 디코딩 데이터의 확신도를 표시하는데 사용될 수도 있다. 이들 디코더 메트릭은 수신 데이터 송신의 품질을 표시하며, 당업계에 공지되어 있다.

[0138] 외부 루프 백오프 팩터 및/또는 각 데이터 스트림에 관한 레이트는 그 데이터 스트림에 관한 디코더 메트릭 및/또는 패킷 에러에 기초하여 조정될 수도 있다. 각 데이터 스트림에 관한 디코더 메트릭은 그 데이터 스트림의 성능을 추정하는데 사용될 수도 있다. 소정의 데이터 스트림에 관한 디코더 메트릭은 그 메트릭에 관해 선택된 임계값보다 더 불량하다면, 그 데이터 스트림에 관한 레이트 및/또는 외부 루프 백오프 팩터는 조정된다.

[0139] 또한, 외부 루프는 다른 방법으로 내부 루프의 동작을 조정할 수도 있고, 이는 본 발명의 범위 내이다. 일반적으로, 외부 루프에 관한 업데이트 레이트는 내부 루프에 관한 업데이트 레이트보다 더 느리거나 더 빠를 수도 있다. 예를 들어, 외부 루프는 소정 수 (또는 블록) 의 수신 패킷에 기초하여 외부 루프 백오프 팩터를 조정할 수도 있다. 또한, 외부 루프는 내부 루프 업데이트 사이의 레이트를 조정할 수도 있다. 통상적으로, 외부 루프는 버스트 송신보다 더 긴 데이터 송신에 관한 내부 루프 동작에 더 많은 영향을 준다.

[0140] 도 3 은 MIMO 시스템에서 레이트 제어를 수행하는 프로세스 (300) 의 실시형태를 나타낸다. 프로세스 (300) 는 수신국 (150), 송신국 (110), 및 수신국 (150) 과 송신국 (110) 모두에 의해 수행될 수도 있다.

[0141] 하나 이상의 SNR 추정치는 각 데이터 스트림에 관한 수신 데이터 심벌 및/또는 수신 파일럿 심벌에 기초하여 하나 이상의 데이터 스트림 각각에 관해 획득된다 (블록 312). SNR 추정치는, 예를 들어, 수확식 2 내지 6 에 나타난 바와 같이 하나 이상의 데이터 스트림에 사용되는 수신기 공간 프로세싱 기술에 따라 도출될 수도 있다. 다이버시티 차수 및 MIMO 백오프 팩터는 각 데이터 스트림에 관해 결정된다 (블록 314). 또한, 외부 루프 백오프 팩터는 각 데이터 스트림에 관해 결정된다 (블록 316). 유효 SNR 은 데이터 스트림에 관한 외부 루프 백오프 팩터, MIMO 백오프 팩터, 및 하나 이상의 SNR 추정치에 기초하여 각 데이터 스트림에 관해 결정된다. (블록 318)

[0142] 그 후, 하나 이상의 레이트는 하나 이상의 데이터 스트림에 관한 하나 이상의 유효 SNR 에 기초하여 하나 이상의 데이터 스트림에 관해 선택된다 (블록 320). 각 데이터 스트림에 관한 레이트는 그 데이터 스트림에 관한 유효 SNR 에 기초하여 독립적으로 선택될 수도 있다. 다른 방법으로, 레이트 조합은 하나 이상 유효 레이트에 기초하여 하나 이상의 데이터 스트림에 관해 선택될 수도 있다. 또한, 송신 모드는 상이한 송신기 공간 프로세싱과 연관되는 다수의 송신 모드 (예들 들어, 지향, 무지향, 및 공간 확산 모드) 사이로부터 하나 이상의 데이터 스트림에 관해 선택될 수도 있다 (블록 322).

[0143] 각 데이터 스트림에 관한 외부 루프 백오프 팩터는 그 데이터 스트림에 관한 성능 (예를 들어, 패킷 상태 및/또는 디코더 메트릭) 에 기초하여 조정된다 (블록 324). 각 데이터 스트림에 관한 외부 루프 백오프 팩터는, 각 패킷이 하나의 데이터 스트림 상에 송신된다면, 독립적으로 조정될 수도 있다. 전술한 바와 같이, 하나 이상의 데이터 스트림에 관한 외부 루프 백오프 팩터는, 패킷이 다수의 데이터 스트림 상에 송신된다면, 공동으로 조정될 수도 있다.

[0144] 도 4 는 MIMO 시스템에서 성능 레이트 제어에 관한 장치 (400) 의 실시형태를 나타낸다. 장치 (400) 는 수신국 (150) 또는 송신국 (110) 에 상주할 수도 있다. 다른 방법으로, 장치 (400) 의 일부는 수신국 (150) 에 상주할 수도 있고, 장치 (400) 의 나머지 부분은 송신국 (110) 에 상주할 수도 있다.

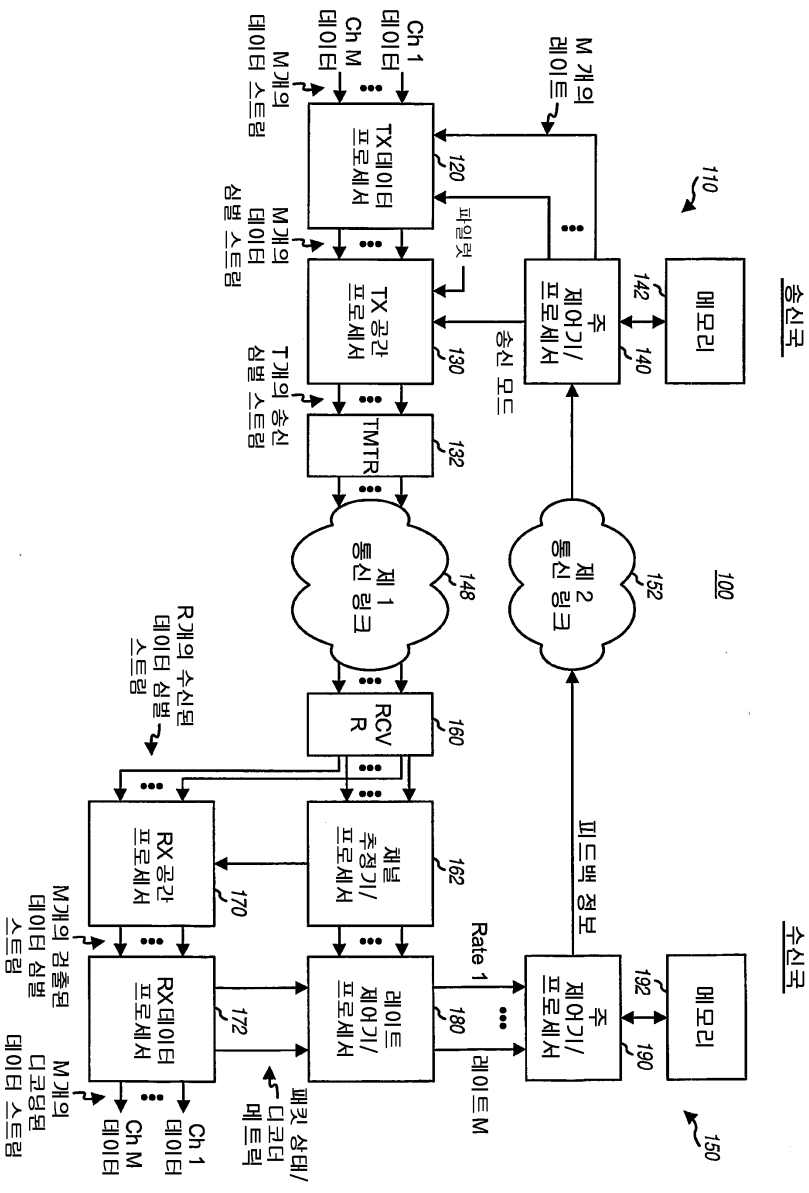
[0145] 장치 (400) 는 데이터 스트림에 관한 수신 데이터 심벌 및/또는 수신 파일럿 심벌에 기초하여 하나 이상의 데이터 스트림 각각에 관한 하나 이상의 SNR 추정치를 획득하는 수단 (블록 412), 각 데이터 스트림에 관한 MIMO 백오프 팩터 및 다이버시티 차수를 결정하는 수단 (블록 414), 각 데이터 스트림에 관한 외부 루프 백오프 팩터를 결정하는 수단 (블록 416), 및 데이터 스트림에 관한 외부 루프 백오프 팩터, MIMO 백오프 팩터, 및 하나 이상의 SNR 추정치에 기초하여 각 데이터 스트림에 관한 유효 SNR 을 결정하는 수단 (블록 418) 을 포함한다. 장치 (400) 는 하나 이상의 데이터 스트림에 관한 하나 이상의 유효 SNR 에 기초하여 하나 이상의 데이터 스트림에 관한 하나 이상의 레이트를 선택하는 수단 (블록 420) 및 다수의 송신 모드 사이로부터 하나 이상의 데이터 스트림에 관한 송신 모드를 선택하는 수단 (블록 422) 을 더 포함한다. 장치 (400) 는 데이터 스트림에 관한 성능에 기초하여 각 데이터 스트림에 관한 외부 루프 백오프 팩터를 조정하는 수단을 더 포함한다 (블록

424).

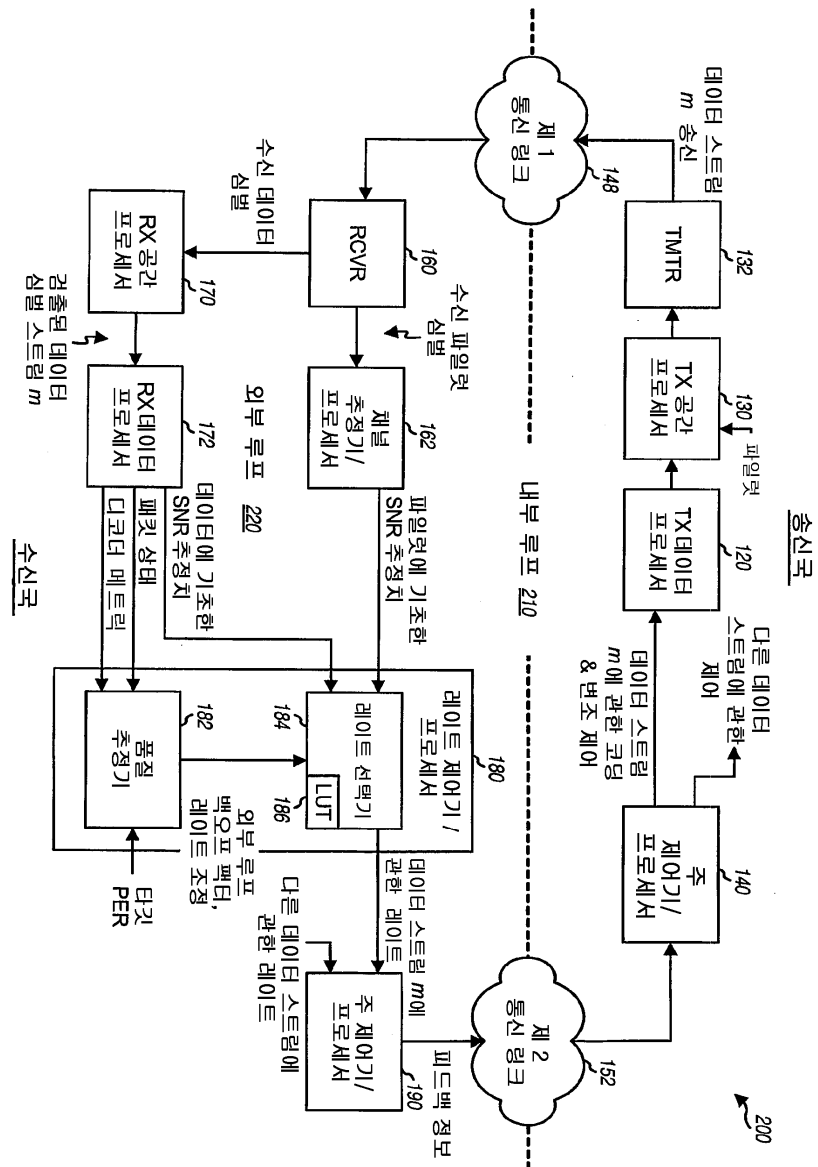
- [0146] 여기에서 설명된 레이트 제어 기술은 다양한 수단에서 구현될 수도 있다. 예를 들어, 이들 기술은 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어, 또는 이들의 조합에서 구현될 수도 있다. 하드웨어 구현의 경우에, 수신국에서 레이트 제어를 위해 사용되는 프로세싱 유닛은 주문형 반도체 (ASIC), 디지털 신호 프로세서 (DSP), 디지털 신호 프로세싱 디바이스 (DSPD), 프로그램 가능 로직 디바이스 (PLD), 필드 프로그램 가능 게이트 어레이 (FPGA), 프로세서, 제어기, 마이크로-제어기, 마이크로프로세서, 여기에서 설명된 기능을 수행하도록 설계된 다른 전자 유닛 또는 이들의 조합물 내에서 구현될 수도 있다. 또한, 송신국에서 레이트 제어를 위해 사용되는 프로세싱 유닛은 하나 이상의 ASIC, DSP, 프로세서 등 내에서 구현될 수도 있다.
- [0147] 펌웨어 또는 소프트웨어의 경우에, 레이트 제어 기술은 여기에서 설명된 기능을 수행하는 모듈 (예를 들어, 절차, 기능 등) 내에서 구현될 수도 있다. 소프트웨어 코드는 메모리 유닛 (예를 들어, 도 1 에서 메모리 유닛 (142 또는 192)) 에 저장될 수도 있고, 프로세서 (예를 들어, 프로세서 (140 또는 190)) 에 의해 실행될 수도 있다. 메모리 유닛은 프로세서의 내부 또는 프로세서의 외부에 구현될 수도 있으며, 이런 경우에, 당업계에 공지된 바와 같은 다양한 수단을 통해 프로세서에 통신으로 연결될 수 있다.
- [0148] 표제 (heading) 는 특정 섹션의 위치 결정을 돕고, 참조하기 위해 여기에 포함된다. 이들 표제는 여기에서 설명된 개념의 범위를 제한하려는 것은 아니며, 이들 개념은 전체 명세서에 걸쳐 다른 섹션에서 이용가능성을 가질 수도 있다.
- [0149] 개시된 실시형태의 상기 설명은 임의의 당업자가 본 발명을 수행 또는 사용할 수 있도록 하기 위해 제공된다. 이들 실시형태에 대한 다양한 변형은 당업자에게 용이하게 명백하며, 여기에서 정의된 일반적인 원리는 본 발명의 범위 또는 사상을 벗어나지 않으면서 다른 실시형태에 적용될 수도 있다. 따라서, 본 발명은 여기에서 나타난 실시형태로 제한하려는 것이 아니라, 여기에 개시된 원리 및 신규한 특징에 부합되는 최광의로 해석되어야 한다.

도면

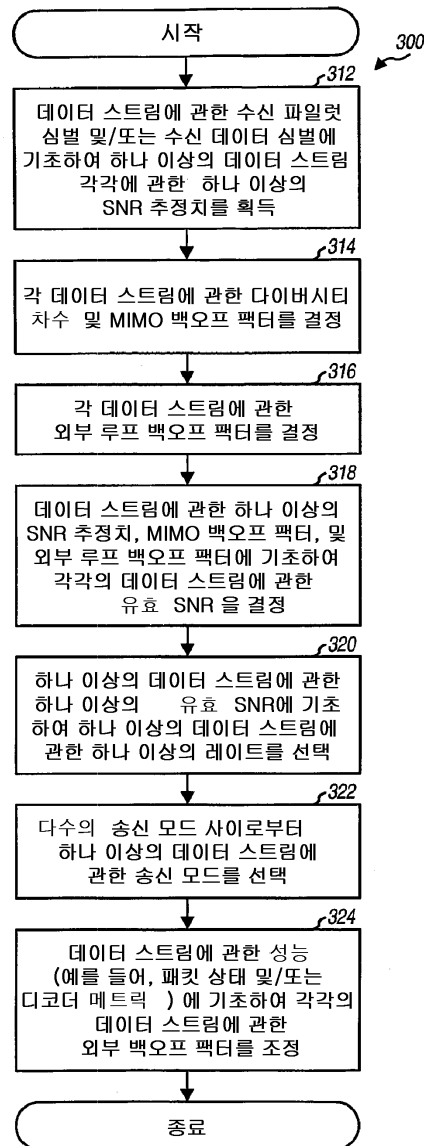
도면1



도면2



도면3



도면4

