



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년01월19일
(11) 등록번호 10-1008861
(24) 등록일자 2011년01월11일

(51) Int. Cl.
H04B 7/06 (2006.01) H04B 7/04 (2006.01)
H04B 7/26 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2004-7011364
(22) 출원일자(국제출원일자) 2003년01월22일
심사청구일자 2008년01월22일
(85) 번역문제출일자 2004년07월22일
(65) 공개번호 10-2004-0075367
(43) 공개일자 2004년08월27일
(86) 국제출원번호 PCT/US2003/001949
(87) 국제공개번호 WO 2003/063384
국제공개일자 2003년07월31일
(30) 우선권주장
10/056,275 2002년01월23일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
EP01158716 A2*
EP00926843 A3
US05832387 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
켈컴 인코포레이티드
미국 92121-1714 캘리포니아주 샌 디에고 모어하우스 드라이브 5775
(72) 발명자
메드베데브이리나
미국 02114 매사추세츠주 서머빌 리버티 애비뉴 68 넘버2
왈턴제이로드
미국 01886 매사추세츠주 웨스트포드 랫지우드 드라이브 7
캐침존더블유
미국 01451 매사추세츠주 하버드 캔들베리 레인 37
(74) 대리인
특허법인코리아나

전체 청구항 수 : 총 47 항

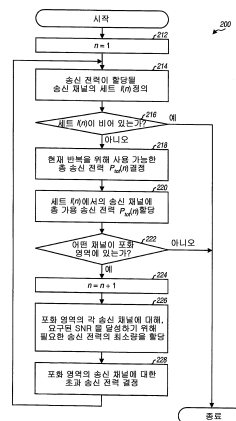
심사관 : 이정수

(54) 폴 채널-상태 정보(CSI) 다중-입력, 다중-출력(MIMO) 시스템에 대한 초과 전력의 재할당

(57) 요약

더 높은 전체 시스템 스펙트럼 효율 및/또는 다른 이점이 달성될 수 있도록 다중-채널 통신 시스템에서 송신 채널에 총 송신 전력을 할당하는 기술이 개시되어 있다. 총 송신 전력은 특정한 전력 할당 방식(예를 들어, 워터-필링 방식)에 기초하여 송신 채널에 초기에 할당될 수도 있다. 초기 할당은 포화 영역에서 동작되는 송신 채널을 발생시키는 요구되는 SNR(예를 들어, 최대 허용 데이터 레이트를 달성하기 위해 필요한 SNR)을 달성하는데 필요한 것 보다 더 많은 전력이 어떤 송신 채널에 할당되게 할 수도 있다. 이러한 상황에서, 상기 기술은 포화 영역에서 동작되는 송신 채널의 초과 송신 전력을 포화 영역 이하에서 동작되는 다른 송신 채널에 재할당한다. 이러한 방법으로, 더 높은 데이터 레이트가 "양호한" 송신 채널의 성능을 손상하지 않고 "불량한" 송신 채널에 대해 달성될 수도 있다.

대표도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

무선 통신 시스템에서 복수의 송신 채널에 송신 전력을 할당하는 방법으로서,

송신 전력이 할당될 하나 이상의 송신 채널의 세트를 정의하는 단계;

상기 세트내의 상기 송신 채널에 할당하기 위해 사용 가능한 총 송신 전력을 결정하는 단계;

특정한 할당 방식에 기초하여 상기 세트내의 상기 송신 채널에 상기 총 송신 전력을 할당하는 단계;

상기 할당된 송신 전력으로부터 발생하는 포화 영역에서의 송신 채널을 식별하는 단계;

상기 포화 영역에서의 각 송신 채널에 송신 전력의 변경량을 재할당하는 단계;

상기 송신 전력의 변경량이 재할당된 모든 송신 채널에 대해 총 초과 송신 전력을 결정하는 단계; 및

상기 정의하는 단계, 결정하는 단계, 할당하는 단계, 식별하는 단계, 및 재할당하는 단계를 1 회 이상 반복 수행하는 단계로서, 첫번째 반복에 있어서의 송신 채널의 세트는 상기 복수의 송신 채널을 포함하고, 각 후속 반복에 있어서의 송신 채널의 세트는 상기 포화 영역에 있지 않은 송신 채널을 포함하며, 상기 각 후속 반복에 있어서 사용 가능한 총 송신 전력은 현재 반복에서 결정된 총 초과 송신 전력을 포함하는, 상기 반복 수행하는 단계를 포함하는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

각 반복에 있어서 사용 가능한 총 송신 전력은 워터-필링 (water-filling) 할당 방식에 기초하여 상기 세트내의 상기 송신 채널에 할당되는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 송신 채널은, 특정한 최대 데이터 레이트를 달성하는데 필요한 것 보다 많은 송신 전력이 할당되는 경우에, 상기 포화 영역에 있는 것으로 여겨지는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 포화 영역에서의 각 송신 채널에 할당되는 송신 전력의 변경량은 상기 최대 데이터 레이트를 달성하는데 필요한 최소량인, 송신 전력 할당 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 송신 채널은, 특정한 신호 대 잡음비 (SNR) 를 달성하는데 필요한 것 보다 많은 송신 전력이 할당되는 경우에, 상기 포화 영역에 있는 것으로 여겨지는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

단일 SNR이 상기 세트내의 모든 송신 채널에 대해 사용되는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 7

제 5 항에 있어서,

각각의 상기 송신 채널은 각각의 임계 SNR과 연관되는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 식별하는 단계는,

상기 송신 채널에 할당된 상기 송신 전력에 부분적으로 기초하여 상기 세트내의 각 송신 채널에 대한 유효 신호 대 잡음비 (SNR) 를 결정하는 단계;

상기 세트내의 각 송신 채널에 대한 상기 유효 SNR을 상기 송신 채널에 적용 가능한 임계 SNR과 비교하는 단계; 및

상기 유효 SNR이 상기 적용 가능한 임계 SNR 보다 큰 경우에 송신 채널이 상기 포화 영역에 있는 것으로 선언하는 단계를 포함하는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 임계 SNR은 특정한 최대 데이터 레이트를 달성하는데 필요한 SNR에 대응하는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 무선 통신 시스템은 다중-입력 다중-출력 (MIMO) 통신 시스템인, 송신 전력 할당 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 복수의 송신 채널은 상기 MIMO 통신 시스템의 MIMO 채널에 대한 복수의 고유모드 (eigenmode) 에 대응하는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 무선 통신 시스템은 직교 주파수 분할 멀티플렉싱 (OFDM) 통신 시스템인, 송신 전력 할당 방법.

청구항 13

제 1 항에 있어서,

상기 무선 통신 시스템은 직교 주파수 분할 멀티플렉싱 (OFDM) 을 이용하는 다중-입력 다중-출력 (MIMO) 통신 시스템인, 송신 전력 할당 방법.

청구항 14

다중-입력 다중-출력 (MIMO) 통신 시스템에서 복수의 공간 서브채널에 송신 전력을 할당하는 방법으로서,

송신 전력이 할당될 하나 이상의 공간 서브채널의 세트를 정의하는 단계;

상기 세트내의 상기 공간 서브채널에 할당하기 위해 사용 가능한 총 송신 전력을 결정하는 단계;

특정한 할당 방식에 기초하여 상기 세트내의 상기 공간 서브채널에 상기 총 송신 전력을 할당하는 단계;

상기 할당된 송신 전력으로부터 발생하는 포화 영역에서의 공간 서브채널을 식별하는 단계;

상기 포화 영역에서의 각 공간 서브채널에 송신 전력의 변경량을 재할당하는 단계;

상기 송신 전력의 변경량이 재할당된 모든 공간 서브 채널에 대해 총 초과 송신 전력을 결정하는 단계; 및

상기 정의하는 단계, 결정하는 단계, 할당하는 단계, 식별하는 단계, 및 재할당하는 단계를 1 회 이상 반복 수행하는 단계로서, 첫번째 반복에 있어서의 공간 서브채널의 세트는 상기 복수의 공간 서브채널을 포함하고, 각

후속 반복에 있어서의 공간 서브채널의 세트는 상기 포화 영역에 있지 않은 공간 서브채널을 포함하며, 상기 각 후속 반복에 있어서 사용 가능한 총 송신 전력은 현재 반복에서 결정된 총 초과 송신 전력을 포함하는, 상기 반복 수행하는 단계를 포함하는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

각 반복에 있어서 사용 가능한 총 송신 전력은 워터-필링 할당 방식에 기초하여 상기 세트내의 상기 공간 서브채널에 할당되는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 16

무선 통신 시스템에서 복수의 송신 채널에 송신 전력을 할당하는 방법으로서,

송신 전력이 할당될 송신 채널의 제 1 세트를 식별하는 단계;

상기 제 1 세트내의 상기 송신 채널에 할당하기 위해 사용 가능한 총 송신 전력을 결정하는 단계;

특정한 할당 방식에 기초하여 상기 제 1 세트내의 상기 송신 채널에 상기 총 송신 전력을 할당하는 단계;

개별 동작 포인트에 대해 과도한 송신 전력이 할당된 하나 이상의 송신 채널의 제 2 세트를 식별하는 단계;

상기 개별 동작 포인트를 달성하기 위해 상기 제 2 세트내의 각 송신 채널에 송신 전력의 변경량을 할당하는 단계;

상기 제 2 세트내의 모든 송신 채널에 대해 총 초과 전력을 결정하는 단계;

더 높은 개별 동작 포인트를 지원할 수 있는 하나 이상의 송신 채널의 제 3 세트를 식별하는 단계; 및

상기 제 3 세트내의 하나 이상의 송신 채널에 상기 총 초과 전력을 재할당하는 단계를 포함하는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

각각의 상기 개별 동작 포인트는 특정한 개별 데이터 레이트를 지원하기 위해 필요한 신호 대 잡음비 (SNR) 와 연관되는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 18

제 16 항에 있어서,

상기 제 3 세트내의 상기 하나 이상의 송신 채널의 상기 총 초과 전력의 복수의 가능한 재할당을 평가하는 단계를 더 포함하는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

스푸롯에서 가장 높은 이득과 연관되는 재할당을 선택하는 단계를 더 포함하는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 20

제 16 항에 있어서,

상기 총 초과 전력은 상기 제 3 세트내의 상기 하나 이상의 송신 채널에 한번에 하나의 채널씩 재할당되는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 21

제 16 항에 있어서,

각 송신 채널에는 다음의 높은 개별 동작 포인트를 달성하기에 충분한 송신 전력이 재할당되는, 송신 전력 할당

방법.

청구항 22

제 16 항에 있어서,

상기 재할당하는 단계는,

다음의 높은 개별 동작 포인트를 달성하기 위해 상기 제 3 세트내의 각 송신 채널에 대해 필요한 송신 전력량을 결정하는 단계; 및

스루풋에서 가장 높은 이득과 연관된 송신 채널에 상기 총 초과 전력을 재할당하는 단계를 포함하는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 23

제 16 항에 있어서,

상기 총 송신 전력은 워터-필링 방식에 기초하여 상기 제 1 세트내의 상기 송신 채널에 할당되는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 24

제 16 항에 있어서,

상기 복수의 송신 채널은 MIMO 시스템에서의 공간 서브채널에 대응하는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 25

제 16 항에 있어서,

상기 복수의 송신 채널은 OFDM 시스템에서의 주파수 서브채널에 대응하는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 26

제 16 항에 있어서,

상기 복수의 송신 채널은 MIMO-OFDM 시스템에서의 공간 서브채널의 주파수 서브채널에 대응하는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 27

무선 통신 시스템에서 복수의 송신 채널에 송신 전력을 할당하는 방법으로서,

송신 전력이 할당될 송신 채널의 세트를 식별하는 단계;

상기 송신 채널에 할당하기 위해 사용 가능한 총 송신 전력을 결정하는 단계;

특정한 할당 방식에 기초하여 상기 세트내의 상기 송신 채널에 상기 총 송신 전력을 할당하는 단계;

상기 송신 채널에 할당된 상기 송신 전력에 부분적으로 기초하여 초과 스펙트럼 효율을 결정하는 단계; 및

상기 초과 스펙트럼 효율을 감소시키기 위해 송신 전력의 감소량을 하나 이상의 송신 채널에 재할당하는 단계를 포함하는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 28

제 27 항에 있어서,

개별 동작 포인트를 달성하기 위해 각 송신 채널에 할당된 송신 전력을 감소시키는 단계를 더 포함하는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 29

제 27 항에 있어서,

상기 송신 채널에 대해 복수의 송신 전력 감소에 대한 스펙트럼 효율에서의 증분 변화를 결정하는 단계; 및
상기 초과 스펙트럼 효율 이하인 증분 스펙트럼 효율 변화와 연관된 가장 큰 송신 전력 감소를 선택하는 단계를 더 포함하는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 30

제 27 항에 있어서,

백-오프된 (backed-off) 송신 전력을 결정하는 단계; 및

상기 세트내의 상기 송신 채널에 상기 백-오프된 송신 전력을 할당하는 단계를 더 포함하는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 31

제 30 항에 있어서,

상기 초과 스펙트럼 효율이 특정 임계값 이내 일 때 까지 상기 백-오프된 송신 전력을 결정하는 단계 및 상기 백-오프된 송신 전력을 할당하는 단계를 1 회 이상 수행하는 단계를 더 포함하는, 송신 전력 할당 방법.

청구항 32

송신 전력이 할당될 하나 이상의 송신 채널의 세트를 정의하고;

상기 세트내의 상기 송신 채널에 할당하기 위해 사용 가능한 총 송신 전력을 결정하고;

특정한 할당 방식에 기초하여 상기 세트내의 상기 송신 채널에 상기 총 송신 전력을 할당하고;

상기 할당된 송신 전력으로부터 발생하는 포화 영역에서의 송신 채널을 식별하고;

상기 포화 영역에서의 각 송신 채널에 송신 전력의 변경량을 재할당하고;

상기 송신 전력의 변경량이 재할당된 모든 송신 채널에 대해 총 초과 송신 전력을 결정하고; 그리고,

상기 정의하고, 결정하고, 할당하고, 식별하고, 재할당하는 것을 1 회 이상 반복 수행하는 것으로서, 첫번째 반복에 있어서의 송신 채널의 세트는 무선 통신 시스템에서의 복수의 송신 채널을 포함하고, 각 후속 반복에 있어서의 송신 채널의 세트는 상기 포화 영역에 있지 않은 송신 채널을 포함하며, 상기 각 후속 반복에 있어서 사용 가능한 총 송신 전력은 현재 반복에서 결정된 총 초과 송신 전력을 포함하는, 상기 반복 수행을 하도록, 디지털 정보를 해석할 수 있는 디지털 신호 프로세싱 디바이스 (DSPD) 에 통신가능하게 연결된, 메모리.

청구항 33

무선 통신 시스템에서 복수의 송신 채널에 송신 전력을 할당하기 위한 컴퓨터 프로그램을 저장하는 컴퓨터-판독 가능 매체로서,

상기 컴퓨터 프로그램은,

송신 전력이 할당될 하나 이상의 송신 채널의 세트를 정의하는 코드;

상기 세트내의 상기 송신 채널에 할당하기 위해 사용 가능한 총 송신 전력을 결정하는 코드;

특정한 할당 방식에 기초하여 상기 세트내의 상기 송신 채널에 상기 총 송신 전력을 할당하는 코드;

상기 할당된 송신 전력으로부터 발생하는 포화 영역에서의 송신 채널을 식별하는 코드;

상기 포화 영역에서의 각 송신 채널에 송신 전력의 변경량을 재할당하는 코드;

상기 송신 전력의 변경량이 재할당된 모든 송신 채널에 대해 총 초과 송신 전력을 결정하는 코드; 및

상기 정의하고, 결정하고, 할당하고, 식별하고, 재할당하는 것을 1 회 이상 반복 수행하는 코드로서, 첫번째 반복에 있어서의 송신 채널의 세트는 상기 복수의 송신 채널을 포함하고, 각 후속 반복에 있어서의 송신 채널의 세트는 상기 포화 영역에 있지 않은 송신 채널을 포함하며, 상기 각 후속 반복에 있어서 사용 가능한 총 송신 전력은 현재 반복에서 결정된 총 초과 송신 전력을 포함하는, 상기 반복 수행하는 코드를 포함하는, 컴퓨터-판

독가능 매체.

청구항 34

송신 전력이 할당될 하나 이상의 송신 채널의 세트를 정의하는 수단;
 상기 세트내의 상기 송신 채널에 할당하기 위해 사용 가능한 총 송신 전력을 결정하는 수단;
 특정한 할당 방식에 기초하여 상기 세트내의 상기 송신 채널에 상기 총 송신 전력을 할당하는 수단;
 상기 할당된 송신 전력으로부터 발생하는 포화 영역에서의 송신 채널을 식별하는 수단;
 상기 포화 영역에서의 각 송신 채널에 송신 전력의 변경량을 재할당하는 수단;
 상기 송신 전력의 변경량이 재할당된 모든 송신 채널에 대해 총 초과 송신 전력을 결정하는 수단; 및
 상기 정의하고, 결정하고, 할당하고, 식별하고, 재할당하는 것을 1 회 이상 반복 수행하는 수단으로서, 첫번째 반복에 있어서의 송신 채널의 세트는 복수의 상기 송신 채널을 포함하고, 각 후속 반복에 있어서의 송신 채널의 세트는 상기 포화 영역에 있지 않은 송신 채널을 포함하며, 상기 각 후속 반복에 있어서 사용 가능한 총 송신 전력은 현재 반복에서 결정된 총 초과 송신 전력을 포함하는, 상기 반복 수행하는 수단을 구비하는, 무선 통신 시스템에서의 장치.

청구항 35

무선 통신 시스템에서의 제어기로서,
 송신 전력이 할당될 하나 이상의 송신 채널의 세트를 정의하는 수단;
 상기 세트내의 상기 송신 채널에 할당하기 위해 사용 가능한 총 송신 전력을 결정하는 수단;
 특정한 할당 방식에 기초하여 상기 세트내의 상기 송신 채널에 상기 총 송신 전력을 할당하는 수단;
 상기 할당된 송신 전력으로부터 발생하는 포화 영역에서의 송신 채널을 식별하는 수단;
 상기 포화 영역에서의 각 송신 채널에 송신 전력의 변경량을 재할당하는 수단;
 상기 송신 전력의 변경량이 재할당된 모든 송신 채널에 대해 총 초과 송신 전력을 결정하는 수단; 및
 상기 정의하고, 결정하고, 할당하고, 식별하고, 재할당하는 것을 1 회 이상 반복 수행하는 수단으로서, 첫번째 반복에 있어서의 송신 채널의 세트는 복수의 상기 송신 채널을 포함하고, 각 후속 반복에 있어서의 송신 채널의 세트는 상기 포화 영역에 있지 않은 송신 채널을 포함하며, 상기 각 후속 반복에 있어서 사용 가능한 총 송신 전력은 현재 반복에서 결정된 총 초과 송신 전력을 포함하는, 상기 반복 수행하는 수단을 구비하는, 제어기.

청구항 36

제 35 항에 있어서,
 상기 송신 채널에 할당된 상기 송신 전력에 부분적으로 기초하여 상기 세트내의 각 송신 채널에 대한 유효 신호 대 잡음비 (SNR) 를 결정하는 수단;
 상기 세트내의 각 송신 채널에 대한 상기 유효 SNR을 상기 송신 채널에 적용 가능한 임계 SNR 과 비교하는 수단; 및
 상기 유효 SNR이 상기 적용 가능한 임계 SNR 보다 더 큰 경우에, 상기 송신 채널이 상기 포화 영역에 있는 것으로 선언하는 수단을 더 구비하는, 제어기.

청구항 37

제 35 항에 기재된 제어기를 구비하는, 기지국.

청구항 38

무선 통신 시스템에서의 제어기로서,
 송신 전력이 할당될 송신 채널의 제 1 세트를 식별하는 수단;

상기 제 1 세트내의 상기 송신 채널에 할당하기 위해 사용 가능한 총 송신 전력을 결정하는 수단;
 특정한 할당 방식에 기초하여 상기 제 1 세트내의 상기 송신 채널에 상기 총 송신 전력을 할당하는 수단;
 개별 동작 포인트에 대해 과도한 송신 전력이 할당된 하나 이상의 송신 채널의 제 2 세트를 식별하는 수단;
 상기 개별 동작 포인트를 달성하기 위해 상기 제 2 세트내의 각 송신 채널에 송신 전력의 변경량을 할당하는 수단;
 상기 제 2 세트내의 모드 송신 채널에 대해 총 초과 전력을 결정하는 수단;
 더 높은 개별 동작 포인트를 지원할 수 있는 하나 이상의 송신 채널의 제 3 세트를 식별하는 수단; 및
 상기 제 3 세트내의 하나 이상의 송신 채널에 상기 총 초과 전력을 재할당하는 수단을 구비하는, 제어기.

청구항 39

무선 통신 시스템에서의 제어기로서,
 송신 전력이 할당될 송신 채널의 세트를 식별하는 수단;
 상기 송신 채널에 할당하기 위해 사용 가능한 총 송신 전력을 결정하는 수단;
 특정한 할당 방식에 기초하여 상기 세트내의 상기 송신 채널에 상기 총 송신 전력을 할당하는 수단;
 상기 송신 채널에 할당된 상기 송신 전력에 부분적으로 기초하여 초과 스펙트럼 효율을 결정하는 수단; 및
 상기 초과 스펙트럼 효율을 감소시키기 위해 송신 전력의 감소량을 하나 이상의 송신 채널에 재할당하는 수단을 구비하는, 제어기.

청구항 40

무선 통신 시스템에서의 송신기 유닛으로서,
 복수의 심볼 스트림을 제공하기 위해 하나 이상의 코딩 및 변조 방식에 기초하여 복수의 송신 채널에 대한 데이터를 코딩하도록 동작하는 송신 (TX) 데이터 프로세서;
 통신 채널을 통한 송신에 적합한 복수의 변조된 신호를 제공하기 위해 상기 복수의 심볼 스트림을 프로세싱하도록 동작하는 복수의 송신기; 및

송신 전력이 할당될 하나 이상의 송신 채널의 세트를 정의하고,
 상기 세트내의 상기 송신 채널에 할당하기 위해 사용 가능한 총 송신 전력을 결정하고,
 특정한 할당 방식에 기초하여 상기 세트내의 상기 송신 채널에 상기 총 송신 전력을 할당하고,
 상기 할당된 송신 전력으로부터 발생하는 포화 영역에서의 송신 채널을 식별하고,
 상기 포화 영역에서의 각 송신 채널에 송신 전력의 변경량을 재할당하고,
 상기 송신 전력의 변경량이 재할당된 모든 송신 채널에 대한 총 초과 송신 전력을 결정하고, 그리고,

상기 정의하고, 결정하고, 할당하고, 식별하고, 재할당하는 것을 1 회 이상 반복 수행하는 것으로서, 첫번째 반복에 있어서의 송신 채널의 세트는 상기 복수의 송신 채널을 포함하고, 각 후속 반복에 있어서의 송신 채널의 세트는 상기 포화 영역에 있지 않은 송신 채널을 포함하며, 상기 각 후속 반복에 있어서 사용 가능한 총 송신 전력은 현재 반복에서 결정된 총 초과 송신 전력을 포함하는, 상기 반복 수행을 함으로써,
 상기 복수의 송신 채널에 송신 전력을 할당하도록 동작하는 제어기를 구비하는, 송신기 유닛.

청구항 41

제 40 항에 있어서,
 상기 TX 데이터 프로세서는 또한, 변조 심볼을 위해 사용된 송신 채널에 할당된 송신 전력에 기초하여 결정된 특정한 가중치로 각 변조 심볼을 스케일링하도록 동작되는, 송신기 유닛.

청구항 42

제 40 항에 있어서,

상기 복수의 송신 채널을 대각선화 (diagonalize) 하기 위해 상기 복수의 심볼 스트림을 프리-컨디셔닝하도록 동작하는 MIMO 프로세서를 더 구비하는, 송신기 유닛.

청구항 43

제 40 항에 기재된 송신기 유닛을 구비하는, 기지국.

청구항 44

무선 통신 시스템에서의 수신기 유닛으로서,

복수의 수신 심볼 스트림을 제공하고, 상기 복수의 수신 심볼 스트림을 위해 사용된 복수의 송신 채널에 대한 채널 상태 정보 (CSI) 를 유도하기 위해, 복수의 샘플 스트림을 수신 및 프로세싱하도록 동작하는 수신 (RX) MIMO 프로세서; 및

디코딩된 데이터를 제공하기 위해, 하나 이상의 복조 및 디코딩 방식에 따라 상기 복수의 수신 심볼 스트림을 프로세싱하도록 동작하는 RX 데이터 프로세서를 구비하고,

상기 복수의 송신 채널에 대한 송신 전력은, 상기 CSI에 부분적으로 기초하여, 총 가용 송신 전력을 특정한 할당 방식에 기초하여 상기 복수의 송신 채널에 할당하고, 포화 영역에서의 각 송신 채널에 송신 전력의 변경량을 재할당하고, 상기 송신 전력의 변경량이 재할당된 모든 송신 채널에 대한 총 초과 송신 전력을 결정하고, 그리고, 상기 할당하고, 재할당하고, 결정하는 것을 1 회 이상 반복 수행하는 것으로서, 첫번째 반복에 있어서의 송신 채널은 상기 복수의 송신 채널을 포함하고, 각 후속 반복에 있어서의 송신 채널은 상기 포화 영역에 있지 않은 송신 채널을 포함하며, 상기 각 후속 반복에 있어서 사용 가능한 총 송신 전력은 현재 반복에서 결정된 총 초과 송신 전력을 포함하는, 상기 반복 수행을 함으로써 할당되는, 수신기 유닛.

청구항 45

제 44 항에 있어서,

상기 RX MIMO 프로세서는 또한, 상기 복수의 송신 채널을 대각선화하기 위해 상기 복수의 수신 심볼 스트림을 프리-컨디셔닝하도록 동작하는, 수신기 유닛.

청구항 46

제 44 항에 있어서,

송신기 유닛으로의 역 송신을 위해 상기 CSI를 프로세싱하도록 동작하는 TX 데이터 프로세서를 더 구비하는, 수신기 유닛.

청구항 47

무선 통신 시스템에서의 수신기 장치로서,

복수의 수신 심볼 스트림을 제공하고, 상기 복수의 수신 심볼 스트림을 위해 사용된 복수의 송신 채널에 대한 채널 상태 정보 (CSI) 를 유도하기 위해 복수의 샘플 스트림을 프로세싱하는 수단; 및

디코딩된 데이터를 제공하기 위해 하나 이상의 복조 및 디코딩 방식에 따라 상기 복수의 수신 심볼 스트림을 프로세싱하는 수단을 구비하며,

상기 복수의 송신 채널에 대한 송신 전력은, 상기 CSI에 부분적으로 기초하여, 총 가용 송신 전력을 특정한 할당 방식에 기초하여 상기 복수의 송신 채널에 할당하고, 포화 영역에서의 각 송신 채널에 송신 전력의 변경량을 재할당하고, 상기 송신 전력의 변경량이 재할당된 모든 송신 채널에 대한 총 초과 송신 전력을 결정하고, 그리고, 상기 할당하고, 재할당하고, 결정하는 것을 1 회 이상 반복 수행하는 것으로서, 첫번째 반복에 있어서의 송신 채널은 상기 복수의 송신 채널을 포함하고, 각 후속 반복에 있어서의 송신 채널은 상기 포화 영역에 있지 않은 송신 채널을 포함하며, 상기 각 후속 반복에 있어서 사용 가능한 총 송신 전력은 현재 반복에서 결정된 총

초과 송신 전력을 포함하는, 상기 반복 수행을 함으로써 할당되는, 수신기 장치.

명세서

[0001]

배경

[0002]

분야

[0003]

본 발명은 일반적으로 데이터 통신에 관한 것으로, 더욱 구체적으로는, 다중 채널 통신 시스템 (예를 들어, 다중-입력, 다중-출력 (MIMO) 통신 시스템) 에서 초과 전력을 재할당하는 기술에 관한 것이다.

[0004]

배경

[0005]

무선 통신 시스템에서, 송신기로부터의 RF 변조 신호는 다수의 전파 경로를 통해 수신기에 도달할 수 있다. 일반적으로, 전파 경로의 특징은 페이딩 및 다중경로와 같은 다수의 요인으로 인해 시간을 통해 변화한다. 해로운 경로 영향에 대한 다이버시티를 제공하고 성능을 향상시키기 위해, 다중 송/수신 안테나가 사용될 수도 있다. 송/수신 안테나 사이의 전파 경로가 적어도 일 범위에서 일반적으로 사실인 선형적으로 독립적 (즉, 하나의 경로상의 송신이 다른 경로상의 송신의 선형 조합으로서 형성되지 않음) 인 경우에, 안테나의 수가 증가하는 만큼 데이터 송신을 정확하게 수신할 가능성이 증가한다. 일반적으로, 송/수신 안테나의 수가 증가하는 만큼 다이버시티가 증가하고 성능이 향상한다.

[0006]

다중-입력, 다중-출력 (MIMO) 통신 시스템은 데이터 송신을 위해 다중 (N_T) 송신 안테나 및 다중 (N_R) 수신 안테나를 이용한다. N_T 개 송신 안테나 및 N_R 개 수신 안테나에 의해 형성된 MIMO 채널은 $N_S \leq \min\{N_T, N_R\}$ 을 갖는, N_S 개 독립 채널로 분해될 수도 있다. 또한, N_S 개 독립 채널 각각은 MIMO 채널의 공간 서브 채널이라 칭하고 차원에 대응한다. MIMO 시스템은 다중 송/수신 안테나에 의해 생성된 추가의 차원성 (dimensionality) 이 활용되는 경우에 향상된 성능 (예를 들어, 증가된 송신 용량) 을 제공한다. 예를 들어, 독립 데이터 스트림이 시스템 스루풋을 증가시키기 위해 N_S 개 공간 서브채널 각각을 통해 송신될 수도 있다.

[0007]

광대역 MIMO 시스템의 공간 서브채널은 상이한 채널 조건 (예를 들어, 상이한 페이딩 및 다중경로 영향) 을 경험할 수도 있고 소정의 송신 전력량에 대한 상이한 신호 대 잡음비 (SNR) 를 달성할 수도 있다. 따라서, 공간 서브채널에 의해 지원될 수도 있는 데이터 레이트는 서브채널로부터 서브채널로 서로 다를 수도 있다. 또한, 채널 조건은 시간에 따라 변화한다. 그 결과, 공간 서브채널에 의해 지원되는 데이터 레이트가 시간에 따라 변화한다.

[0008]

코딩 통신 시스템에서 중요한 과제는 적절한 데이터 레이트, 코딩 및 변조 방식을 선택하는 것과, 채널 조건에 기초하여 사용 가능한 송신 채널을 통한 데이터 송신을 위해 사용될 전력을 송신하는 것이다. 이 선택 프로세스의 목적은 특정한 타겟 프레임 에러 레이트 (FER) 및/또는 다른 기준에 의해 정량화될 수도 있는 품질 목표를 충족시키면서 공간 효율성을 최대화하는 것이다.

[0009]

통상의 통신 시스템에서, 임의의 소정의 데이터 스트림을 위해 사용될 수도 있는 데이터 레이트에 상한이 있을 수도 있다. 예를 들어, 개별 데이터 레이트의 세트가 시스템에 의해 지원될 수도 있고, 이들 개별 데이터 레이트로부터의 최대 데이터 레이트가 임의의 소정의 데이터 스트림에 대한 포화 스펙트럼 효율 (ρ_{sat}) 로서 고려될 수도 있다. 이 시스템에서, 각 데이터 스트림이 각각의 공간 서브채널을 통해 송신되는 경우에, 최대 데이터 레이트에서 타겟 FER을 달성하기 위해 필요한 것 보다 더 많은 송신 전력을 할당하는 것은 추가의 송신 전력의 비효율적 사용을 발생시킨다. 초과 송신 전력이 낮은 FER을 발생시키더라도, FER에서의 이러한 향상은 타겟 FER이 이미 달성되었기 때문에 중요한 것으로 고려되지 않을 수도 있다. 초과 송신 전력은 어떠한 다른 공간 서브채널에 대한 스펙트럼 효율을 증가시키기 위해 더욱 효율적으로 사용될 수도 있다.

[0010]

따라서, 포화 스펙트럼 효율이 적어도 하나의 서브채널에 의해 달성된 경우에 MIMO 시스템에서의 공간 서브채널 중에 송신 전력을 할당/재할당하기 위한 기술이 당업계에 필요하다.

[0011]

요약

[0012]

본 발명의 양태는 더 높은 전체 시스템 스루풋 및/또는 다른 이점이 달성될 수 있도록 다중-채널 통신 시스템에서의 송신 채널에 총 송신 전력을 할당하는 기술을 제공한다. 송신 채널은 MIMO 시스템의 공간 서브채널, OFDM 시스템의 주파수 서브채널, 또는 MIMO-OFDM 시스템에서의 주파수 서브채널의 공간 서브채널에 대응할 수도

있다.

[0013] 총 송신 전력은 특정한 전력 할당 방식 (예를 들어, 워터-필링 (water-filling) 방식) 에 기초하여 송신 채널에 초기에 할당된다. 초기 할당은 이들 송신 채널이 포화 영역에서 동작되게 하는 요구된 신호 대 잡음비 (SNR) (예를 들어, 최대 허용 데이터 레이트를 달성하기 위해 필요한 SNR) 를 달성하기 위해 필요한 것 보다 더 많은 전력이 어떠한 송신 채널에 할당되게 할 수도 있다. 이러한 상황에서, 본 명세서에 설명하는 기술은 포화 영역 미만에서 동작되는 다른 송신 채널에 포화 영역에서 동작되는 송신 채널의 초과 송신 전력을 바람직하게 재활당한다. 이러한 방법으로, "양호한" 송신 채널의 성능을 손상하지 않고 더 높은 스펙트럼 효율이 "불량한" 송신 채널에 대해 달성될 수도 있다.

[0014] 구체적인 실시형태에서, 다중-채널 통신 시스템에서 다수의 송신 채널에 송신 전력을 할당하는 방법이 제공된다. 처음에, 송신 전력이 할당되는 하나 이상의 송신 채널의 세트가 정의된다. 이 세트내의 송신 채널에 할당하기 위해 사용 가능한 총 송신 전력이 결정되고, 그 후, 특정한 할당 방식 (예를 들어, 워터-필링 방식) 에 기초하여 이들 송신 채널에 할당된다. 그 후, 할당된 송신 전력의 결과로서 포화 영역에서 동작되는 송신 채널이 식별된다. 이러한 각 송신 채널에는 송신 전력의 변경된 양 (예를 들어, 요구되는 SNR을 달성하기 위해 필요한 최소량) 이 할당된다. 그 후, 변경된 송신 전력이 재활당되는 모든 송신 채널의 총 초과 송신 전력이 결정된다.

[0015] 상기 단계들은 1회 이상 수행될 수도 있다. 첫번째 반복에 있어서 송신 채널의 세트는 송신 전력이 할당될 모든 송신 채널을 포함하고, 각각의 다음의 반복에 있어서 송신 채널의 세트는 포화 영역에 있지 않은 송신 채널만을 포함한다. 또한, 각각의 다음의 반복에 있어서 사용 가능한 총 송신 전력은 현재의 반복에서 결정된 총 초과 송신 전력을 포함한다.

[0016] 이하, 본 발명의 다양한 양태 및 실시형태를 설명한다. 또한, 본 발명은 이하 설명하는 바와 같은 본 발명은 다양한 양태, 실시형태, 및 특징을 구현하는 방법, 프로세서, 송신기 유닛, 수신기 유닛, 기지국, 단말기, 시스템 및 다른 장치를 제공한다.

[0017] 도면의 간단한 설명

[0018] 본 발명의 특징, 본질, 및 이점은 도면과 함께 이하 설명하는 상세한 설명으로부터 명백할 것이고, 유사한 참조 문자가 전반적으로 대응한다.

[0019] 도 1은 전력 재활당을 사용하는 MIMO 시스템의 고유모드중에서 총 송신 전력을 할당하는 프로세스의 실시형태의 흐름도이다.

[0020] 도 2는 전력 재활당을 사용하는 다중-채널 통신 시스템의 송신 채널중에서 총 송신 전력을 할당하는 프로세스의 실시형태의 흐름도이다.

[0021] 도 3은 개별 데이터 레이트의 세트를 지원하는 MIMO 시스템의 고유모드중에서 총 송신 전력을 할당하는 프로세스의 실시형태의 흐름도이다.

[0022] 도 4a는 스펙트럼 효율 대 실제 SNR에 대한 2개의 플롯 (plot) 을 도시한다.

[0023] 도 4b 및 4c는 개별 데이터 레이트의 세트를 지원하는 통신 시스템에 대한 스펙트럼 효율 대 실제 SNR의 플롯을 도시한다.

[0024] 도 5는 워터-필링 방식에 기초하는 고유모드의 세트에 총 사용 가능한 송신 전력을 할당하는 프로세스의 실시형태의 흐름도이다.

[0025] 도 6a 및 6b는 워터-필링 방식에 기초하는 고유모드에 총 송신 전력의 할당을 그래픽적으로 나타내는 도면이다.

[0026] 도 7은 송신기 시스템 및 수신기 시스템의 실시형태의 블록도이다.

[0027] 상세한 설명

[0028] 송신 채널에 송신 전력을 할당/재할당하는 본 명세서에 설명하는 기술은 다양한 다중-채널 통신 시스템에 사용될 수도 있다. 이러한 다중-채널 통신 시스템은 다중-입력, 다중-출력 (MIMO) 통신 시스템, 직교 주파수 분할 멀티플렉싱 (OFDM) 통신 시스템, OFDM을 활용하는 MIMO 시스템 (즉, MIMO-OFDM 시스템) 등을 포함한다.

또한, 다중-채널 통신 시스템은 코드 분할 다중 액세스 (CDMA), 시간 분할 다중 액세스 (TDMA), 주파수 분할 다중 액세스 (FDMA), 또는 어떠한 다른 액세스 기술을 구현할 수도 있다. 다중 액세스 통신 시스템은 다수

의 단말기 (즉, 사용자) 와의 동시 통신을 지원할 수 있다. 명확화를 위해, 본 발명의 특정 양태 및 실시형태를 다중-안테나 무선 통신 시스템과 같은 MIMO 시스템에 대해 구체적으로 설명한다.

[0029] MIMO 시스템은 데이터 송신을 위해 다중 (N_T) 송신 안테나 및 다중 (N_R) 수신 안테나를 이용한다. N_T 개 송신 안테나 및 N_R 개 수신 안테나에 의해 형성된 MIMO 채널은 $N_S \leq \min\{N_T, N_R\}$ 을 갖는, N_S 개 독립 채널로 분해될 수도 있다. N_S 개 독립 채널 각각은 MIMO 채널의 공간 서브채널 (또는 송신 채널) 로 칭한다. 공간 서브채널의 수는 N_T 개 송신 및 N_R 개 수신 안테나 사이의 응답을 설명하는 채널 응답 매트릭스 (\underline{H}) 에 의존하는 MIMO 채널에 대한 고유모드의 수에 의해 결정된다.

[0030] 채널 응답 매트릭스 (\underline{H}) 의 엘리먼트는,

[0031] [수학식 1]

$$\underline{H} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} & \Lambda & h_{1,N_T} \\ h_{2,1} & h_{2,2} & \Lambda & h_{2,N_T} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & & \mathbf{M} \\ h_{N_R,1} & h_{N_R,2} & \Lambda & h_{N_R,N_T} \end{bmatrix}$$

[0032]

[0033] 과 같은, 독립 가우시안 랜덤 변수로 구성되고, 여기서, $h_{i,j}$ 는 j 번째 송신 안테나와 i 번째 수신 안테나 사이의 커플링 (즉, 복소 이득) 이다. MIMO 시스템에 대한 모델은,

[0034] [수학식 2]

$$\underline{y} = \underline{H}\underline{x} + \underline{n}$$

[0036] 와 같이 표현될 수도 있고,

[0037] 여기서, \underline{y} 는 수신된 벡터, 즉, $\underline{y} = [y_1, y_2, \dots, y_{N_R}]^T$ 이고, 여기서, $\{y_i\}$ 는 i 번째 수신 안테나상에 수신된 엔트리이며 $i \in \{1, \dots, N_R\}$ 이고;

[0038] \underline{x} 는 송신된 벡터, 즉, $\underline{x} = [x_1, x_2, \dots, x_{N_T}]^T$ 이고, 여기서, $\{x_j\}$ 는 j 번째 송신 안테나로부터 송신된 엔트리이며 $j \in \{1, \dots, N_T\}$ 이고;

[0039] \underline{H} 는 MIMO 채널에 대한 채널 응답 매트릭스이고;

[0040] \underline{n} 은 Ω 의 평균 벡터와 $\underline{\Lambda}_n = \sigma^2 \underline{I}$ 의 공분산 매트릭스이고, 여기서, Ω 은 0의 벡터이고, \underline{I} 는 대각으로는 1 및 다른 곳에서는 0을 갖는 아이덴티티 매트릭스이고, σ^2 은 잡음의 분산이며;

[0041] $[\cdot]^T$ 는 $[\cdot]$ 의 전치를 나타낸다.

[0042] 단순화를 위해, MIMO 시스템은 평탄한 (flat)-페이딩 협대역 채널로 가정된다. 이 경우에, 채널 응답 매트릭스 (\underline{H}) 의 엘리먼트는 스칼라이고, 각 송-수신 안테나쌍 사이의 커플링 ($h_{i,j}$) 은 단일 스칼라 값에 의해 표현될 수 있다. 그러나, 본 명세서에서 설명하는 전력 할당/재할당 기술은 상이한 주파수에서 상이한 채널 이득을 갖는 주파수 선택적 채널에 적용될 수도 있다. 이러한 주파수 선택적 채널에서, 동작 대역폭은 다수의 (동일하거나 동일하지 않은) 주파수 대역으로 분할될 수 있어서, 각 대역은 평탄한-페이딩 채널로서 고려될 수도 있다. 그 후, 개별 대역의 응답은 총 송신 전력의 할당/재할당에서 고려될 수도 있다.

[0043] 전파 환경에서의 산란으로 인해, N_T 개 송신 안테나로부터 송신된 N_T 개 데이터 스트림은 수신기에서 서로 간섭한다. 이러한 간섭을 제거하거나 감소시키는 하나의 기술은 이들 데이터 스트림이 직교 공간 서브채널상에서 효율적으로 송신되도록 MIMO 채널을 "대각선화 (diagonalize)" 하는 것이다. MIMO 채널을 대각선화하는 하나의 기술은,

- [0044] [수학식 3]
- [0045]
$$\underline{H} = \underline{U} \underline{D} \underline{V}^H$$
- [0046] 과 같이 표현될 수 있는 채널 응답 매트릭스 (\underline{H}) 에 대해 단일값 분해를 수행하는 것이고,
- [0047] 여기서, \underline{U} 는 $N_R \times N_R$ 유니터리 (unitary) 매트릭스 (즉, $\underline{U}^H \underline{U} = \underline{I}$) 이고;
- [0048] \underline{D} 는 $N_R \times N_T$ 매트릭스이고;
- [0049] \underline{V} 는 $N_T \times N_T$ 유니터리 매트릭스이고;
- [0050] "H"는 매트릭스의 복소 전치를 나타낸다.
- [0051] 매트릭스 \underline{D} 의 대각 엔트리는 λ_i 및 $i \in \{1, \dots, N_S\}$ 에 의해 표시되는 $\underline{G} = \underline{H}^H \underline{H}$ 의 고유값의 제곱근이고, 여기서, $N_S \leq \min\{N_T, N_R\}$ 은 분해 가능 데이터 스트림의 수이다. \underline{D} 의 모든 비-대각 엔트리는 0이다.
- [0052] 따라서, 대각 매트릭스 (\underline{D}) 는 대각에 따라 비-네가티브 실수값과 다른 경우에는 0을 포함하며, 여기서, 비-네가티브 실수값은 $d_i = \sqrt{\lambda_i}$ 이다. d_i 는 채널 응답 매트릭스 (\underline{H}) 의 단일값으로 칭한다. 단일값 분해는 당업계에 공지되고 다양한 레퍼런스에 설명되는 매트릭스 연산이다. 하나의 이러한 레퍼런스에는 참조로 본 명세서에 포함되는 Second Edition, Academic Press, 1980, "Linear Algebra and Its Applications"라는 명칭의 Gilbert Strang의 책이 있다.
- [0053] 단일값 분해는 채널 응답 매트릭스 (\underline{H}) 를 2개의 유니터리 매트릭스 \underline{U} 와 \underline{V} , 및 대각 매트릭스 (\underline{D}) 로 분해한다. 매트릭스 \underline{D} 는 공간 서브채널에 대응하는 MIMO 채널의 고유모드를 나타낸다. 유니터리 매트릭스 (\underline{U} 및 \underline{V}) 는 MIMO 채널을 대각선회하기 위해 사용될 수도 있는 수신기 및 송신기에 대한 "스티어링 (steering)" 벡터를 포함한다. 구체적으로는, MIMO 채널을 대각선회하기 위해, 신호 벡터 (\underline{x}) 가 매트릭스 (\underline{V}) 와 사전 승산될 수도 있고, 결과 벡터 ($\underline{z} = \underline{V} \underline{x}$) 가 MIMO 채널을 통해 송신된다. 수신기에서, 수신된 벡터 ($\underline{y} = \underline{H} \underline{x} + \underline{n}$) 가,
- [0054] [수학식 4]
- [0055]
$$\underline{r} = \underline{U}^H \underline{H} \underline{V} \underline{z} + \underline{U}^H \underline{n}$$
- [0056]
$$= \underline{D} \underline{z} + \underline{\hat{n}}$$
- [0057] 와 같은, 복구된 벡터 (\underline{z}) 를 얻기 위해 매트릭스 (\underline{U}^H) 와 사전 승산될 수도 있다.
- [0058] 여기서, $\underline{\hat{n}}$ 은 \underline{n} 의 단순한 로테이션이고, 이것은 \underline{n} 과 동일한 평균 벡터 및 공분산 매트릭스를 갖는 추가의 백색 가우시안 잡음을 발생시킨다.
- [0059] 수학식 4에 나타난 바와 같이, 매트릭스 (\underline{V}) 와 신호 벡터 (\underline{x}) 의 사전 승산 및 매트릭스 (\underline{U}^H) 와 수신된 벡터 (\underline{y}) 의 사전 승산은 신호 벡터 (\underline{x}) 와 복구된 벡터 (\underline{z}) 사이의 전달 함수인 유효 대각 채널 (\underline{D}) 을 발생시킨다. 그 결과, MIMO 채널은 N_S 개의 독립, 비-간섭, 직교 및 병렬 채널로 분해된다. 이들 독립 채널은 MIMO 채널의 공간 서브채널이라 칭한다. 공간 서브채널 (i) 또는 고유모드 (i) 는 고유값 (λ_i) 가 동일한 이득을 갖고, 여기서, $i \in I$ 이고 세트 I 는 $I = \{1, \dots, N_S\}$ 로 정의된다. N_S 개 직교 공간 서브채널을 얻기 위한 MIMO 채널의 대각선회는 송신기에 채널 응답 매트릭스 (\underline{H}) 의 추정치가 제공되는 경우에 달성될

수 있다.

[0060] 통상의 MIMO 시스템에서, P_{\max} 의 피크 송신 전력이 N_T 개 송신 안테나 각각에 부과될 수도 있다. 이 경우에, 모든 N_T 개 송신 안테나에 대한 송신기에서 사용 가능한 총 송신 전력 (P_{tot})은

[0061] [수학식 5]

[0062]
$$P_{tot} = N_T \cdot P_{\max}$$

[0063] 와 같이 표현될 수도 있다.

[0064] 총 송신 전력 (P_{tot})은 다양한 방식에 기초하여 N_S 개 비-제로 고유모드 (즉, 공간 서브채널)에 할당될 수도 있다. 용량을 최대화하는 것 (즉, 스펙트럼 효율성)이 목적인 경우에, 총 송신 전력 (P_{tot})은 "워터-필링" 방식에 의해 공간 서브채널에 할당될 수도 있다.

[0065] 워터-필링 방식은 고정량의 워터를 불규칙한 바닥을 갖는 용기에 주입 (pouring) 하는 것과 동일하고, 여기서, 각 고유모드는 용기의 바닥상의 포인트에 대응하고, 소정의 포인트에서의 바닥의 높이는 상기 고유모드와 연관된 신호 대 잡음비 (SNR)의 인버스에 대응한다. 따라서, 낮은 높이는 높은 SNR에 대응하고, 반대로, 높은 높이는 낮은 SNR에 대응한다. 그 후, 총 송신 전력 (P_{tot})은 용기에서의 낮은 포인트 (즉, 높은 SNR)가 먼저 채워지고, 높은 포인트 (즉, 낮은 SNR)가 나중에 채워지도록 용기에 "주입"된다. 전력 분배는 총 송신 전력 (P_{tot}) 및 바닥 표면상의 용기의 깊이에 의존한다. 총 송신 전력 모두가 주입된 이후에 용기에 대한 워터 표면 레벨은 용기의 모든 포인트에서 일정하다. 워터 표면 레벨 이상의 높이를 갖는 포인트는 채워지지 않는다 (즉, 특정 임계값 이하의 SNR을 갖는 고유모드는 사용되지 않는다). 워터-필링 분배는 참조로 본 명세서에 포함되는 John Wiley and Sons "Information Theory and Reliable Communication"에서 Robert G. Gallager에 의해 설명된다.

[0066] 용량은 임의의 낮은 에러 확률로 정보가 통신될 수 있는 가장 높은 스펙트럼 효율로서 정의되고, 통상적으로 헤르츠당 초당 비트 (bps/Hz)의 단위로 제공된다. γ 의 SNR을 갖는 하나의 가우시안 채널에 대한 용량은,

[0067] [수학식 6]

[0068]
$$C = \log_2(1+\gamma)$$

[0069] 로 표현될 수도 있다.

[0070] P_{tot} 의 제한된 총 송신 전력을 갖는 MIMO 시스템에 있어서, 워터-필링 방식은 용량이 달성되도록 N_S 개 공간 서브채널에 총 송신 전력을 최적으로 할당할 수 있다. 워터-필링 방식은 가장 낮은 잡음 분산 (즉, 가장 높은 SNR)이 총 전력의 최대 부분을 수신하는 방식으로 고유모드에 총 송신 전력 (P_{tot})을 분배한다. 워터 필링의 결과로서 고유모드에 할당된 전력의 양은 $i \in I$ 인 동안 P_i 로 표현되고, 여기서,

[0071] [수학식 7]

[0072]
$$P_{tot} = \sum_{i \in I} P_i$$

[0073] 이다.

[0074] $i \in I$ 인 동안 고유모드에 대한 P_i 의 할당된 송신 전력에 기초하여, 고유모드 (i)에 대한 유효 SNR (γ_i)는,

[0075] [수학식 8]

[0076]
$$\gamma_i = \frac{P_i \cdot \lambda_i}{\sigma^2}$$

- [0077] 으로 표현될 수도 있다.
- [0078] 여기서, λ_i 는 고유모드 (i)에 대한 고유값이고, σ^2 은 MIMO 채널에 대한 잡음 분산이다. 그 후, N_s 개 공간 서브채널에 대한 용량은,
- [0079] [수학식 9]
- $$C = \sum_{i=1}^{N_s} \log_2(1 + \gamma_i)$$
- [0080]
- [0081] 로 표현될 수도 있다.
- [0082] 각 고유모드의 스펙트럼 효율은 SNR에서의 특정한 단조 증가 함수에 기초하여 결정될 수도 있다. 스펙트럼 효율을 위해 사용될 수도 있는 하나의 함수가 수학식 6에 나타낸 용량 함수이다. 이 경우에, 고유모드 (i)에 대한 스펙트럼 효율 (ρ_i)는,
- [0083] [수학식 10]
- $$\rho_i = \log_2(1 + \gamma_i)$$
- [0084]
- [0085] 로 표현될 수도 있다.
- [0086] 도 4a는 스펙트럼 효율 대 SNR의 2개의 플롯을 도시한다. 플롯 412는 수학식 10에 기초하여 계산된 바와 같은 SNR을 갖는 대수적으로 증가하는 스펙트럼 효율을 도시한다. 수학식 10은 SNR의 증가가 더욱 더 높은 스펙트럼 효율을 발생시킨다는 것을 가정한다. 그러나, 실제 통신 시스템에서, 예를 들어, 임의의 소정의 데이터 스트림상에서 시스템에 의해 지원된 최대 데이터 레이트에 의해 지시되는 스펙트럼 효율에 대해 상한이 있을 수도 있다. 플롯 414는 낮은 SNR에서 대수적으로 증가하고 스펙트럼 효율에 대한 상한인 ρ_{sat} 에서 포화하는 스펙트럼 효율을 도시한다. SNR의 증가가 더이상 스펙트럼 효율의 증가를 생성하지 않을 때 포화가 발생한다. 스펙트럼 효율이 포화하는 SNR은 γ_{sat} (즉, $\gamma_{sat} \leftrightarrow \rho_{sat}$)로 표시된다.
- [0087] 총 송신 전력 (P_{tot}), 고유값 (λ_i), 및 잡음 분산 (σ^2)에 따라, 워터-필링 방식에 의한 총 송신 전력의 할당은 포화 영역 (즉, $\gamma_i > \gamma_{sat}$)에서 동작되는 어떤 고유모드 및 상기 영역 이하 (즉, $\gamma_i \leq \gamma_{sat}$)에서 동작되는 나머지 고유모드를 발생시킬 수도 있다. 최대 가능 스펙트럼 효율 (ρ_{sat})을 달성하는 것이 목적인 경우에, γ_{sat} 인 요구되는 SNR을 달성하기 위해 필요한 것 보다 많은 송신 전력이 할당되는 경우 고유모드는 포화 영역에서 동작되는 것으로 여겨진다. 초과 송신 전력이 프레임 에러 레이트 (FER)를 낮게 할 수도 있는 고유모드에 대한 유효 SNR을 증가시키지만, 성능에서의 이러한 형태의 향상은 시스템이 타겟 FER 또는 매우 낮은 FER에서 이미 동작할 수도 있기 때문에 통상적으로 중요하지 않다. 이 경우에, 요구되는 SNR 이상의 유효 SNR을 가져오는 초과 송신 전력은 실제로 이용되지 않는다. 향상된 시스템 성능이 전체 시스템 스펙트럼 효율을 증가시키기 위해 초과 송신 전력을 이용함으로써 달성될 수도 있다.
- [0088] 유사하게는, 전력-제어 MIMO 시스템에서, 각 고유모드에 대한 수신기에서 허용된 SNR (즉, 상기 언급한 유효 SNR)에 대해 상한이 있을 수도 있고, 이것은 γ_{sat} 로 표현할 수도 있다. 이 경우에, 소정의 고유모드에 할당된 송신 전력이 γ_{sat} 보다 더 큰 유효 SNR을 발생시키는 경우에, γ_{sat} 이상의 SNR을 증가시키는 초과 송신 전력은 SNR에 대해 부과된 상한으로 인해 상기 고유모드에 대해 사용될 수 없다. 이 초과 송신 전력은 γ_{sat} 이하에서 동작하는 다른 고유모드 사이에서 더욱 유용하게 분배될 수도 있다.
- [0089] 본 발명의 양태는 높은 전체 시스템 스펙트럼 효율 및/또는 다른 이점이 달성될 수 있도록 고유모드에 총 송신 전력을 할당/재할당하는 기술을 제공한다. 총 송신 전력은 처음에 특정한 전력 할당 방식에 기초하여 고유모드에 할당될 수도 있다. 초기 할당은 포화 영역에서 동작되는 고유모드를 발생시키는 요구되는 SNR (예를 들어, 포화 스펙트럼 효율 (ρ_{sat})를 지원하기 위해 필요한 γ_{sat})을 달성하기 위해 필요한 것 보다 많은 어떤

고유모드에 할당되는 전력을 발생시킨다. 이러한 상황에서, 본 명세서에 설명하는 기술은 바람직하게는 포화 영역 이하에서 동작되는 다른 고유모드에 포화 영역에서 동작되는 고유모드의 초과 송신 전력을 재할당한다. 이러한 방법으로, 높은 스펙트럼 효율이 "양호한" 고유모드의 성능을 손상하지 않고 "불량한" 고유모드에 대해 달성될 수도 있다.

[0090] 도 1은 MIMO 시스템의 고유모드 사이에 총 송신 전력을 할당하는 프로세스 (100)의 실시형태의 흐름도이다. 이 프로세스는 초기에 특정한 전력 할당 방식 (예를 들어, 워터-필링 방식)에 기초하여 N_s 고유모드에 총 송신 전력 (P_{tot})을 할당한다. 어느 하나의 고유모드에 요구되는 SNR을 달성하기 위해 필요한 것 보다 많은 송신 전력이 할당 (즉, 포화 영역에서 동작) 되는 경우에, 이들 고유모드에 대한 총 초과 송신 전력이 결정되어 다른 고유모드에 재할당된다. 총 초과 송신 전력의 재할당이 포화 영역에서 동작되는 어떠한 다른 고유모드를 발생시킬 수도 있기 때문에, 프로세스는 (1) 초과 송신 전력이 재할당을 위해 사용 가능하지 않거나, (2) 모든 고유모드가 포화 영역에 있을 때 까지 1회 이상 수행 (또는 반복) 될 수도 있다.

[0091] 먼저, 단계 112에서, 반복 횟수를 나타내기 위해 사용된 변수 n 이 첫번째 반복에 있어서 1 (즉, $n=1$)로 초기화된다. 그 후, 단계 114에서, 상기 반복에 있어서 송신 전력에 할당될 모든 고유모드의 세트 ($I(n)$)가 정의된다. 첫번째 반복에 있어서, 모든 N_s 개 고유모드는 총 송신 전력의 할당에서 고려되고 $I(n) = \{1, \dots, N_s\}$ 이다. 각 후속 반복에 있어서, 포화 영역 이하에서 동작되는 고유모드만이 총 나머지 송신 전력의 할당에서 고려되고, 세트 $I(n)$ 은 N_s 개 고유모드 이하를 포함하거나 비어있는 세트일 수도 있다.

[0092] 더 많은 송신 전력이 할당될 수도 있는 포화 영역 이하에서 동작되는 고유모드가 없다는 것을 나타내는 단계 116에서 결정된 바와 같이, 세트 $I(n)$ 이 비어있는 경우에, 프로세스는 종료한다. 그렇지 않으면, 단계 118에서, 세트 $I(n)$ 이 비어있지 않는 경우에, 상기 반복에 있어서 할당하기 위해 사용 가능한 총 송신 전력 ($P_{tot}(n)$)이 결정된다. 첫번째 반복에 있어서, 모든 N_t 개 송신 안테나에 대해 사용 가능한 총 송신 전력 ($P_{tot}(n)$)이 수학적 식 5에 나타난 바와 같이 결정될 수도 있다. 이것은, 각 송신 안테나가 피크 송신 전력 (P_{max})에서 동작된다는 것을 가정한다. 각 후속 반복에 있어서, 상기 반복에 있어서 사용 가능한 총 송신 전력 ($P_{tot}(n)$)이 후술하는 바와 같이 결정될 수도 있다.

[0093] 그 후, 단계 120에서, 총 가용 송신 전력 ($P_{tot}(n)$)이 선택된 전력 할당 방식에 기초하여 세트 ($I(n)$)에서 고유모드에 할당된다. 예를 들어, 워터-필링 방식, 모든 고유모드에 동일한 양의 송신 전력을 할당하는 균일한 할당 방식, 및 다른 방식과 같은 다양한 방식이 전력 할당을 위해 사용될 수도 있다. 또한, 송신 전력은 예를 들어, 페어니스, 하나 이상의 시스템 및/또는 단말기 매트릭스 등과 같은 다른 요인을 고려할 수도 있는 방식에 기초하여 할당될 수도 있다.

[0094] 실시형태에서, 워터-필링 방식이 세트 $I(n)$ 의 고유모드에 총 가용 송신 전력 ($P_{tot}(n)$)을 분배하기 위해 사용된다. 워터-필링 절차의 결과는 $i \in I(n)$ 에 대해 세트 $I(n)$ 의 각 고유모드에 할당된 특정 송신 전력 ($P_i(n)$)이다. 전력 할당은 세트 ($I(n)$)의 고유모드에 대한, 총 가용 송신 전력 ($P_{tot}(n)$), 및 고유값 (λ_i)에 의존한다. 세트 ($I(n)$)의 각 고유모드에 대한 유효 SNR은,

[0095] [수학적 식 11]

[0096] $i \in I(n)$ 에 대해,
$$\gamma_i(n) = \frac{P_i(n) \cdot \lambda_i}{\sigma^2}$$

[0097] 과 같이 결정될 수도 있다.

[0098] 그 후, 단계 122에서, 세트 ($I(n)$)의 임의의 고유모드가 할당된 송신 전력이 제공된 포화 영역에서 동작되는지 여부가 결정된다. 이것은 각 고유모드에 대해 결정된 유효 SNR ($\gamma_i(n)$)을 포화 SNR (γ_{sat})에 비교함으로써 달성될 수도 있다. γ_{sat} 보다 더 큰 $\gamma_i(n)$ 을 갖는 $I(n)$ 에서의 각 고유모드는 포화 영역에서 동작되고

임시 세트 J에 위치하는 것으로 여겨져서, $j \in J$ 에 대해 $\gamma_j^{(n)} > \gamma_{sat}$ 이다. 세트 (I(n))의 고유모드가 비어있는 세트 J에 의해 표시되는 포화 영역에 있지 않은 경우에, 재할당할 초과 송신 전력은 없고, 프로세스는 종료한다. 그렇지 않으면, 세트 J가 적어도 하나의 고유모드를 포함하는 경우에, 세트 J에서의 모든 고유모드에 대한 초과 송신 전력이 결정되어 포화 영역에 있지 않은 다른 고유모드에 재할당된다.

[0099] 단계 124에서, 초과 송신 전력을 재할당하는 다음의 반복이 변수 n을 1 만큼 (즉, $n=n+1$) 증가함으로써 시작한다. 그 후, 단계 126에서, 세트 J에 포함되는 포화 영역에서의 각 고유모드에 요구되는 SNR (예를 들어, γ_{sat})을 달성하기 위해 필요한 최소 송신 전력량이 할당된다. 이러한 송신 전력은,

[0100] [수학식 12]

$$P_j(n) = \frac{\gamma_{sat} \cdot \sigma^2}{\lambda_j}$$

[0102] 와 같이 결정될 수 있다.

[0103] 단계 128에서, 요구되는 SNR을 달성하기 위한 최소 전력을 세트 J의 각 고유모드에 할당함으로써 세이브된 송신 전력이 결정된다. 그 후, 총 초과 송신 전력은,

[0104] [수학식 13]

$$\Delta P(n) = \sum_{j \in J} (P_j(n-1) - P_j(n))$$

[0106] 와 같이 결정될 수도 있다.

[0107] 상기 총 초과 송신 전력 ($\Delta P(n)$)은 여전히 포화 영역에서 동작되는 고유모드에 재할당될 수도 있다. 그 후, 프로세스는 단계 114로 복귀한다.

[0108] 두번째 반복에 있어서, 단계 114에서, 상기 반복에 송신 전력이 할당될 고유모드의 세트 (I(n))가 정의된다. 세트 I(n)은 이전의 반복에 있어서 정의된 세트 I(n-1)로부터 세트 J에서의 고유모드 (즉, 포화 영역에 있는 고유모드)를 제거함으로써 정의될 수도 있다. 따라서, 현재 반복에 있어서 세트 I(n)은 현재 포화 영역에 있지 않은 고유모드만 포함한다. 단계 116에서 결정된 바와 같이, 새로운 세트 I(n)이 비어 있는 경우에, 모든 고유모드는 포화 영역에서 동작되고 송신 전력의 더 이상의 재할당이 필요하지 않고, 프로세스는 종료한다. 그렇지 않으면, 새로운 세트 I(n)가 비어있지 않은 경우에, 현재 반복을 위해 사용 가능한 총 송신 전력 ($P_{tot}(n)$)은,

[0109] [수학식 14]

$$P_{tot}(n) = \sum_{j \in I(n)} P_j(n) + \Delta P(n)$$

[0111] 과 같이 결정될 수도 있다.

[0112] 그 후, 단계 120에서, 현재 반복을 위해 사용 가능한 총 송신 전력 ($P_{tot}(n)$)은 선택된 전력 할당 방식에 기초하여 새로운 세트 I(n)에서의 고유모드에 할당된다.

[0113] 도 1에 도시한 프로세스는 (1) 모든 초과 송신 전력이 포화 영역에 있지 않은 (낮은 SNR 동작 환경에 대해 발생할 수도 있는 단계 122에서 결정되는 바와 같은) 고유모드에 재할당되었거나, (2) 모든 고유모드가 (높은 SNR 동작 환경에 대해 발생할 수도 있는 단계 116에서 결정되는 바와 같은) 포화 영역에 있을 때 까지 계속된다.

[0114] 상기 설명으로부터, 스펙트럼 효율은 수학식 10에 나타난 바와 같이, 유효 SNR의 정확한 증가 함수이다는 것이 가정된다. 또한, 본 명세서에 설명하는 송신 전력 할당/재할당 기술은 스펙트럼 효율이 유효 SNR의 비선형 함수인 경우에 사용될 수도 있다. 이러한 경우에, 비선형성은 가용 송신 전력을 고유모드에 할당/재할당할 때 고려될 수도 있다.

[0115] 전술한 바와 같이, 본 명세서에 설명하는 송신 전력 할당/재할당 기술은 무선 통신 시스템에서의 전력 제어를 위해 사용될 수도 있다. 각 고유모드는 소망하는 성능을 달성하기 위해 필요한 타겟 SNR인 특정한 셋포인트

(setpoint)와 연관될 수도 있다. 동일하거나 상이한 셋포인트가 N_s 개 고유모드에 대해 사용될 수도 있다.

그 후, 총 송신 전력은 셋포인트(들)이 이들 고유모드에 대해 달성되도록 고유모드에 할당될 수도 있다.

도 1에 도시한 프로세스는 요구되는 SNR이 γ_{sat} 대신에 셋포인트인 고유모드에 송신 전력을 재할당하기 위해 사용될 수도 있다. 따라서, 특정한 고유모드가 포화 영역에서 동작되는지 여부의 결정은 (γ_{sat} 와 같은 공통 SNR 대신에) 상기 고유모드와 연관된 특정한 셋포인트에 의존할 수도 있다.

[0116] 또한, 본 명세서에 설명하는 송신 전력 할당/재할당 기술은 OFDM 시스템, MIMO-OFDM 시스템 등과 같은 다른 다중-채널 통신 시스템에 대해 사용될 수도 있다.

[0117] OFDM 시스템은 시스템 대역폭을 일반적으로 주파수 빈 또는 서브대역으로 칭하는 다수의 (N_F) 주파수 서브채널로 파티션한다. 각 주파수 서브채널은 데이터가 변조되는 각각의 서브캐리어 (또는 주파수 톤)와 연관된다. 주파수 서브채널의 대역폭에 의존할 수도 있는 특정한 타임 간격인 각 타임 슬롯에서, 변조 심볼이 N_F 개 주파수 서브채널 각각에 송신될 수도 있다. OFDM 시스템에 대해, 각 주파수 서브채널은 송신 채널로서 칭할 수도 있고, OFDM 시스템에 대해 $N_C = N_F$ 송신 채널이 있다.

[0118] OFDM 시스템의 주파수 서브채널은 주파수 선택적 페이딩 (즉, 상이한 주파수 서브채널에 대해 상이한 양의 감쇠)을 경험할 수도 있다. 주파수 서브채널에 대한 특정 응답은 송/수신 안테나 사이의 전파 경로의 특성 (예를 들어, 페이딩 및 다중경로 영향)에 의존한다. 따라서, 상이한 유효 SNR이 소정의 양의 송신 전력에 대한 상이한 주파수 서브채널에 대해 달성될 수도 있다. 이 경우에, 총 송신 전력은 고유모드에 대해 전술한 바와 유사한 방식으로 N_F 개 주파수 서브채널에 할당될 수도 있다.

[0119] MIMO-OFDM 시스템은 N_s 개 고유모드 각각에 대한 N_F 개 주파수 서브채널을 포함한다. 각 고유모드의 각 주파수 서브채널은 송신 채널이라 칭할 수도 있고, MIMO-OFDM 시스템에 대한 $N_C = N_F \cdot N_s$ 송신 채널이 있다. MIMO-OFDM 시스템에서의 각 고유모드의 주파수 서브채널은 상이한 채널 조건을 유사하게 경험할 수도 있고 소정의 양의 송신 전력에 대한 상이한 SNR을 달성할 수도 있다. 이 경우에, 총 송신 전력은 고유모드에 대해 전술한 바와 유사한 방식으로 N_C 개 송신 채널에 할당될 수도 있다.

[0120] 도 2는 다중-채널 통신 시스템에서 N_C 개 송신 채널 사이에 총 송신 전력을 할당하는 프로세스 (200)의 실시형태의 흐름도이다. 프로세스 (200)는 MIMO 시스템, OFDM 시스템, MIMO-OFDM 시스템 등을 포함하는 임의의 다중-채널 통신 시스템을 위해 사용될 수도 있다. 먼저, 프로세스 (200)는 특정한 전력 할당 방식 (예를 들어, 워터-필링 방식)에 기초하여 총 송신 전력 (P_{tot})을 N_C 개 송신 채널에 할당한다. 송신 채널 중의 어느 하나에 요구되는 SNR을 달성하기 위해 필요한 것 보다 많은 송신 전력이 할당되는 경우 (즉, 포화 영역에서 동작되는 경우), 이들 송신 채널에 대한 총 초과 송신 전력이 결정되어 다른 송신 채널에 재할당된다. 다시, 송신 전력 할당은 (1) 초과 송신 전력이 재할당을 위해 사용 가능하지 않거나 (2) 모든 송신 채널이 포화 영역에 있을 때 까지 1회 이상 수행 (또는 반복)될 수도 있다.

[0121] 먼저, 단계 212에서, 반복 횟수를 나타내기 위해 사용된 변수 n 이 첫번째 반복에 있어서 1 (즉, $n=1$)로 초기화된다. 단계 214에서, 상기 반복에 있어서 송신 전력이 할당될 모든 송신 채널의 세트 ($I(n)$)가 정의된다.

첫번째 반복에 있어서, N_C 개 송신 채널이 총 송신 전력의 할당에서 고려되고, $I(n) = \{1, \dots, N_C\}$ 이고, 여기서, MIMO 시스템에 대해 $N_C = N_s$ 이고, OFDM 시스템에 대해 $N_C = N_F$ 이고, MIMO-OFDM 시스템에 대해 $N_C = N_F \cdot N_s$ 이다. 각 후속 반복에 있어서, 포화 영역 이하에서 동작되는 송신 채널만이 총 나머지 송신 전력의 할당에서 고려된다. 그 후, 세트 $I(n)$ 은 N_C 개 송신 채널 보다 적은 수를 포함하거나 비어 있는 세트일 수도 있다.

[0122] 더 많은 송신 전력이 재할당될 수도 있는 포화 영역 이하에서 동작되는 송신 채널이 없다는 것을 나타내는 단계 216에서 결정된 바와 같이 세트 $I(n)$ 이 비어 있는 경우에, 프로세스는 종료한다. 그렇지 않으면, 단계 218에서, 상기 반복에 있어서 할당을 위해 사용 가능한 총 송신 전력 ($P_{tot}(n)$)이 결정된다. 그 후, 단계 220

에서, 총 가용 송신 전력 ($P_{tot}(n)$) 이 선택된 전력 할당 방식에 기초하여 세트 I(n) 의 송신 채널에 할당된다.

[0123] 단계 222에서, 세트 I(n) 의 어떠한 송신 채널이 할당된 송신 전력이 제공된 포화 영역에서 동작되는지 여부가 결정된다. 이것은 세트 I(n) 의 각 송신 채널에 대해 결정된 유효 SNR ($\gamma_i(n)$) 을 상기 송신 채널에 사용 가능한 셋포인트에 비교함으로써 달성될 수도 있다. 시스템 설계에 따라서, 하나의 셋포인트가 (1) 모든 송신 채널, (2) 각 송신 안테나 또는 각 주파수 서브채널, (3) 각 송신 채널, 또는 (4) 송신 채널의 각 그룹에 대해 사용될 수도 있다. 가용 셋포인트 보다 큰 유효 SNR을 갖는 각 송신 채널은 포화 영역에서 동작되고 세트 J에 위치하는 것으로 여겨진다. 비어 있는 세트 J에 의해 표시되는 바와 같이, 송신 채널이 포화 영역에 없는 경우에, 재할당할 초과 송신 전력은 없고, 프로세스는 종료한다. 그렇지 않으면, 세트 J가 적어도 하나의 송신 채널을 포함하는 경우에, 세트 J의 모든 송신 채널의 초과 송신 전력이 결정되어 현재 포화 영역에서 동작되지 않는 다른 송신 채널에 재할당된다.

[0124] 단계 224에서, 초과 송신 전력을 재할당하기 위한 다음의 반복은 변수 n을 1 만큼 증가 (즉, $n=n+1$) 함으로써 시작한다. 그 후, 단계 226에서, 포화 영역에서의 각 송신 채널에는 가용 셋포인트를 달성하기 위해 필요한 최소량의 송신 전력이 할당된다. 그 후, 단계 228에서, 셋포인트를 달성하기 위해 최소 전력을 세트 J의 각 송신 채널에 할당함으로써 세이브된 송신 전력이 결정된다. 총 초과 송신 전력은 여전히 포화 영역 이하에서 동작되는 송신 채널에 재할당될 수도 있다. 그 후, 프로세스는 단계 214로 복귀한다.

[0125] 두번째 반복에 있어서, 단계 214에서, 이 반복에서 송신 전력이 할당될 송신 채널의 세트 (I(n)) 는 현재 포화 영역에 있지 않는 송신 채널만 포함하는 것으로 정의된다. 단계 216에서 결정된 바와 같이, 새로운 세트 I(n) 이 비어 있는 경우에, 모든 송신 채널은 포화 영역에서 동작되고, 송신 전력의 재할당은 더 이상 필요하지 않고, 프로세스는 종료한다. 그렇지 않으면, 단계 218에서, 새로운 세트 I(n) 가 비어 있지 않은 경우에, 현재 반복을 위해 사용 가능한 총 송신 전력 ($P_{tot}(n)$) 이 결정된 후, 단계 220에서, 선택된 전력 할당 방식에 기초하여 새로운 세트 I(n) 의 송신 채널에 할당된다.

[0126] 도 2에 도시한 프로세스는 (1) 모든 초과 송신 전력이 (단계 222에서 결정된 바와 같이) 포화 영역에 있지 않은 송신 채널에 재할당되었거나, (2) 모든 송신 채널이 (단계 216에서 결정된 바와 같이) 포화 영역에 있을 때 까지 계속된다.

[0127] MIMO-OFDM 시스템에 대해, 모든 송신 채널 (즉, 공간 및 주파수 차원 모두에 대한) 이 각 반복에서 전력 할당에 대해 고려될 수도 있다. 또 다른 방법으로는, 전력 할당은 하나의 차원에 대해서만 송신 채널이 임의의 소정의 시간에 고려되도록 수행될 수도 있다. 예를 들어, 전력 할당은 송신 안테나 마다 수행될 수 있어서, 각 송신 안테나에 대한 총 송신 전력 (P_{max}) 은 상기 송신 안테나의 주파수 서브채널에 할당된다.

[0128] 또한, 본 명세서에 설명하는 기술은 송신 채널의 그룹에 송신 전력을 할당/재할당하기 위해 사용될 수도 있다. 각 그룹은 임의의 수의 송신 채널을 포함할 수도 있고 각각의 셋포인트와 연관될 수도 있다. 각 그룹은, 예를 들어, 특정한 데이터 레이트 및 특정한 코딩 및 변조 방식과 연관될 수도 있는 독립 데이터 스트림을 위해 사용될 송신 채널을 포함할 수도 있다. 다중-액세스 통신 시스템에 있어서, 각 그룹은 상이한 수신기에 할당될 송신 채널과 연관될 수도 있다.

[0129] MIMO 시스템에 대한 상기 설명에서, 단일값 분해가 MIMO 채널을 대각선화하기 위해 사용된다. 다른 실시형태에서, 수신기는 데이터 송신을 위해 사용될 수도 있는 각 송신 채널의 품질의 표시를 제공할 수도 있다. 수신기에 의해 보고된 정보는 추정된 SNR, 지원된 데이터 레이트 등의 형태일 수도 있다. 그 후, 송신기는 가용 송신 전력의 양호한 활용을 달성하기 위해 보고된 정보에 기초하여 송신 채널에 송신 전력을 할당할 수 있다. 예를 들어, 소정의 송신 채널에 대한 추정된 SNR이 지정된 데이터 레이트를 달성하기 위해 필요한 것보다 높거나, 소정의 송신 채널에 의해 지원될 때 보고된 데이터 레이트가 시스템의 최대 데이터 레이트보다 더 큰 경우에, 더 적은 송신 전력이 송신 채널에 할당될 수도 있다. 할당될 특정량의 송신 전력이 보고된 정보 (예를 들어, 추정된 SNR 또는 지원된 데이터 레이트) 에 기초하여 결정될 수도 있다.

[0130] 고유모드 사이에 총 송신 전력을 할당/재할당하는 기술을 예시하기 위해 구체적인 수치 예를 이하 설명한다. 이 예에서, 각 송신 안테나에 대한 피크 송신 전력은 $P_{max} = 1$ 이도록 정규화되고, 잡음의 분산은 다른 채널 저하를 가정하지 않는, 각 수신기에서의 SNR이 $\gamma_{rx} = 15 \text{ dB}$ 이도록 설정된다. 그 후, 이것은

$\sigma^2 = 10^{-15/10} = 0.0316$ 의 잡음 분산을 발생시킨다. 또한, 아래의 파라미터가 가정된다.

$$N_S = N_T = N_R = 4,$$

$$\lambda_1 = 2.4, \lambda_2 = 1.0, \lambda_3 = 0.4, \text{ 및 } \lambda_4 = 0.2, \text{ 및}$$

$$\gamma_{sat} \mid_{dB} = 15dB \rightarrow \gamma_{sat} = 31.62.$$

초기화 (즉, 도 1의 n=1) 에서, 송신 전력이 할당될 고유모드의 세트는 $I(1) = \{1, 2, 3, 4\}$ 로 정의되고 (단계 114) 총 송신 전력은 $P_{tot}(n) = 4 \cdot 1 = 4$ (단계 118) 이다. 첫번째 반복에 있어서, 워터-필링 전력 할당 (단계 120) 은 세트 I(1)의 고유모드에 할당될 아래의 전력을 발생시킨다.

$$P_1(1) = 1.06, P_2(1) = 1.04, P_3(1) = 0.99, \text{ 및 } P_4(1) = 0.91$$

수학식 11을 사용하여 계산된 세트 I(1)의 고유모드에 대한 유효 SNR은,

$$\gamma_1(1) = 80.25, \gamma_2(1) = 32.85, \gamma_3(1) = 12.54, \text{ 및 } \gamma_4(1) = 5.77$$

로 결정된다.

$\gamma_{sat} = 31.62$ 이기 때문에, 고유모드 1 및 2가 포화 영역에서 동작된다는 것이 관찰될 수 있다. 따라서, 포화 영역에서의 고유모드의 세트는 $J = \{1, 2\}$ 로 정의된다.

세트 J가 비어 있지 않기 때문에 (단계 122), 송신 전력 재할당이 수행된다. 이것은 먼저 인덱스 n을 n=2로 증가함으로써 달성된다 (단계 124). 그 후, 포화 영역에서의 고유모드에 λ_{sat} 를 달성하기 위한 최소량의 송신 전력이 할당된다. 세트 J에서의 고유모드 1 및 2에 대한 새로운 송신 전력 할당은,

$$P_1(2) = \frac{31.62 \times 0.0316}{2.4} = 0.42 \text{ 및 } P_2(2) = \frac{31.62 \times 0.0316}{1.0} = 1.00$$

와 같이, 수학식 12를 사용하여 결정될 수 있다 (단계 126).

그 후, 고유모드 1 및 2에 대한 총 초과 송신 전력은,

$$\Delta P = (1.06 - 0.42) + (1.04 - 1.00) = 0.68$$

과 같이, 수학식 13을 사용하여 결정된다 (단계 128).

제 2 반복 (n=2)에 대해, 송신 전력이 할당될 고유모드의 세트 (I(2))가 $I(2) = \{3, 4\}$ 인 포화 영역에 현재 있지 않은 것만 포함하도록 재정의된다 (단계 114). 그 후, 이 반복을 위해 사용 가능한 총 송신 전력은,

$$P_{tot}(2) = 0.99 + 0.91 + 0.68 = 2.58$$

과 같이, 수학식 14를 사용하여 결정된다 (단계 118).

그 후, 총 가용 송신 전력 ($P_{tot}(2)$)이 세트 I(2)의 고유모드에 할당된다. 두번째 반복에 있어서, 워터-필링 할당 (단계 120)은 세트 I(2)의 고유모드에 할당되는 아래의 전력,

$$P_3(2) = 1.33 \text{ 및 } P_4(2) = 1.25$$

을 발생시킨다.

그 후, 고유모드 3 및 4에 대한 유효 SNR은,

$$\gamma_3(2) = 16.84 \text{ 및 } \gamma_4(2) = 7.92$$

이도록 결정된다.

$\lambda_{sat} = 31.62$ 이기 때문에, 포화 영역에서 동작되는 고유모드가 없다는 것이 관찰될 수 있고, 송신 전력 할당 프

로세스는 종료한다. 고유모드 1 내지 4에 대한 최종 송신 전력 할당은,

$$P_1 = 0.42, P_2 = 1.00, P_3 = 1.33, \text{ 및 } P_4 = 1.25$$

와 같고,

유효 SNR은,

$$\gamma_1 = 31.62, \gamma_2 = 31.62, \gamma_3 = 16.84, \text{ 및 } \gamma_4 = 7.92 \text{ 이다.}$$

총 송신 전력이 고유모드에 할당된 이후에, 세트 $I(1) = \{1, 2, 3, 4\}$ 에서의 각 고유모드에 대한 스펙트럼 효율은 수학적 10을 사용하여 결정될 수 있다. 그 후, 총 스펙트럼 효율 (P_{tot})은 고유모드 각각에 의해 달성된 스펙트럼 효율을 합산함으로써 결정될 수도 있다.

2 내지 5 dB의 이득이 포화 영역에 있는 고유모드의 초과 송신 전력을 포화 영역에 있지 않은 다른 고유모드에 재할당함으로써 중간 SNR에서 달성될 수도 있다는 것을 알 수 있다. 낮은 SNR에서, 고유모드는 포화 영역으로 들어가지 않고, 재할당하기 위한 송신 전력을 거의 없거나 없다. 높은 SNR에서, 대부분의 고유모드는 포화 영역에서 동작되고, 송신 전력 재할당이 간섭의 양을 감소시키기 위해 사용될 수도 있고, 이것은 이웃하는 셀의 성능을 향상시킬 수도 있다.

개별 데이터 레이트에 대한 전력 할당/재할당

상기 설명에서, 스펙트럼 효율 (P)이 수학적 10에 나타난 바와 같이, 유효 SNR (γ)의 연속 함수이다는 것이 가정된다. 또한, 전술한 시스템은 스펙트럼 효율이 포화 포인트 (P_{sat})를 초과하지 않는 임의의 실값인 것을 허용한다. 그러나, 통상의 통신 시스템은 각 공간 서브채널에 대한 개별 데이터 레이트의 세트를 지원할 수도 있고, 데이터 레이트 세트는 서브채널에 대해 동일하거나 동일하지 않을 수도 있다.

도 4b는 각 고유모드에 대한 개별 데이터 레이트의 세트를 지원하는 통신 시스템에서 특정 고유모드에 대한 스펙트럼 효율 대 유효 SNR의 플롯을 도시한다. 데이터 레이트의 각 세트는 개별 스펙트럼 효율로 변환될 수도 있고, 공간 서브채널상의 데이터 송신을 위한 타겟 프레임 에러 레이트 (FER)를 달성하기 위해 필요한 개별 유효 SNR의 세트와 연관된다.

도 4b에서, 개별 스펙트럼 효율은 수직축에 대해 $\rho_i(d)$ 로서 라벨되고 $\gamma_i(d)$ 의 대응하는 SNR에서 발생하고, 여기서, $i (i \in I)$ 는 고유모드 (i)를 칭하고 $d (1 \leq d \leq D_i)$ 는 고유모드 i 와 연관된 D_i 개별 데이터 레이트를 통한 열거를 위해 사용된다. 고유모드 i 에 대한 최고 스펙트럼 효율은 $d=D_i$ 에서 발생하고 포화 SNR ($\gamma_{sat}(i) = \gamma_i(D_i)$)에서 발생한 포화 스펙트럼 효율에 대응한다. 이 시스템에 대한 스펙트럼 효율 함수가 플롯 (422) (두꺼운 실선)에 의해 도시된다. 특정 스펙트럼 효율을 달성하기 위해 필요한 최소 SNR에 대응하는 ($\gamma_i(d), \rho_i(d)$)에서의 개별 동작 포인트는 원형점 (424)에 의해 도시된다. 도 4b의 스펙트럼 효율 함수로부터 알 수 있는 바와 같이, SNR에서의 증가는 스펙트럼 효율에서의 향상을 제공하지 않을 수도 있다. 따라서, 동작 스펙트럼 효율에서 타겟 FER을 달성하기 위해 필요한 것 보다 많은 송신 전력을 할당하는 것은 추가 송신 전력의 비효율적인 사용을 발생시킨다.

전술한 초과 전력 할당/재할당 기술은 셋포인트 및 개별 데이터 레이트를 갖는 시스템을 위해 사용될 수도 있다.

도 3은 개별 데이터 레이트의 세트를 지원하는 MIMO 시스템에서의 고유모드 사이에 총 송신 전력을 할당하는 프로세스 (300)의 실시형태의 흐름도이다. 처음에, 단계 312에서, 총 송신 전력 (P_{tot})은 특정한 전력 할당 방식 (예를 들어, 워터-필링 방식)에 기초하여 N_s 개 고유모드에 할당된다. 초기 송신 전력 할당의 끝에서, 각 고유모드에는 $i \in I$ 에 대해 P_i 의 송신 전력이 할당되고, 여기서, 소정의 고유모드에 할당된 전력은 0일 수도 있다. 고유모드의 유효 SNR이 개별 동작 포인트중의 하나에 있지 않으면, 이 고유모드에 할당된 어떠한 송신 전력은 비효율적으로 사용되고 전력 제어가 이용될 수도 있다.

[0168] 단계 314에서, 유효 SNR이 개별 동작 포인트의 세트에 있지 않는 고유모드는 세트 K에 위치된다. 단계 316에서 결정된 바와 같이, 세트 K가 비어 있는 경우에, 프로세스는 종료한다. 그렇지 않으면, 단계 318에서, 세트 K의 각 고유모드에는 상기 고유모드의 현재의 스펙트럼 효율 분배를 충족시키기 위해 필요한 최소량의 송신 전력이 할당된다. 이것은 고유모드가 개별 동작 포인트에서 동작하도록 K의 각 고유모드에 할당된 송신 전력을 백 오프 (backing off) (또는 감소) 함으로써 달성된다.

[0169] 또한, 도 4b는 점선 (426a 내지 426c)에 의해 도시된 3개의 고유모드의 초기 동작 포인트가 개별 동작 포인트 상에 있지 않는 예시적인 시스템을 도시한다. 이들 고유모드 각각에 대한 송신 전력은, $k \in K$ 에 대해 백-오프 양 (BO_k) 만큼 감소되어서, 고유모드는 스펙트럼 효율에서 손실을 초래하지 않고 낮은 송신 전력에서 동작한다. 고유모드 (k)에 대한 개별 동작 포인트 (d)에서 동작하기 위해 요구되는 송신 전력 (\hat{P}_k)는,

[0170] [수학식 15]

[0171]
$$\hat{P}_k = \frac{\gamma_k(d) \cdot \sigma^2}{\lambda_k}$$

[0172] 와 같이 표현될 수도 있고, 여기서, $k \in K \subset I$ 에 대한, 변수 k는 세트 K에서의 각 고유모드를 칭하고, $\gamma_k(d)$ 는 고유모드 k에 대한 현재의 스펙트럼 효율 ($\rho_k(d)$)에 대응하는 개별 동작 포인트이다.

[0173] 그 후, 단계 320에서, 세트 K에서의 고유모드에 할당된 송신 전력을 감소함으로써 얻어진 초과 송신 전력은,

[0174] [수학식 16]

[0175]
$$\Delta \hat{P} = \sum_{k \in K} (P_k - \hat{P}_k)$$

[0176] 와 같이 결정되고, 여기서, P_k 는 단계 312에서 고유모드 k에 할당된 초기 송신 전력을 칭한다. 단계 322에서, 초과 전력이 각각의 포화 영역 이하에서 동작하는 고유모드 사이에서 재할당될 수 있기 때문에, 새로운 (또는 변화되지 않은) 유효 SNR이 포화 포인트 ($\gamma_{sat}^{(I)}$) 이하인 고유모드 (I)의 완전한 세트로부터 이들 고유모드는 인덱스 j에 의해 표시되고 세트 J에 위치된다. 단계 324에서 결정된 바와 같이 세트 J가 비어 있는 경우에, 프로세스는 종료한다. 따라서, 세트 J는 새로운 전력이 세트 K에서의 고유모드에 인가되면 각각의 포화 (비동작) 포인트 이하에서 동작하는 세트 I에서의 모든 고유모드를 포함한다.

[0177] 그렇지 않으면, 단계 326에서, 단계 320에서 결정된 초과 송신 전력 ($\Delta \hat{P}$)는 다양한 서로 다른 조합 (예를 들어, 모든 가능한 조합에서)에서 세트 J에서의 고유모드 사이에 재할당된다. 이것은 각 고유모드에 대한 유효 SNR의 함수 (도 4b에 플롯 422에 의해 도시된 바와 같은)로서 스펙트럼 효율의 지식에 기초하여 수행될 수 있다. 단계 326에서의 평가를 용이하게 하기 위해, 증분 SNR ($\Delta \gamma_j(d)$)의 테이블, 및 스펙트럼 효율에서의 대응하는 이득 ($\Delta \rho_j(d)$)이 세트 J에서의 각 고유모드의 각 동작 포인트 (d)에 대해 결정될 수도 있다.

[0178] 증분 SNR ($\Delta \gamma_j(d)$)은,

[0179] [수학식 17]

[0180]
$$\Delta \gamma_j(d) = \gamma_j(d+1) - \gamma_j(d)$$

[0181] 로서 정의되고, 현재 동작 포인트 (d)에서의 스펙트럼 효율로부터 다음의 높은 스펙트럼 효율의 동작 포인트 (d+1)까지 고유모드 j를 이동시키기 위해 필요한 최소량의 SNR이다. 스펙트럼 효율에서의 대응하는 이득 ($\Delta \rho_j(d)$)은,

[0182]
$$\Delta \rho_j(d) = \rho_j(d+1) - \rho_j(d)$$

- [0183] 에 의해 제공되고, $\gamma_j(\mathbf{d})$ 로부터 $\gamma_j(\mathbf{d}+1)$ 까지 SNR을 증가시킴으로써 얻어진다.
- [0184] 도 4b는 소정의 스펙트럼 효율 함수에 대한 스펙트럼 효율에서의 결과 이득 및 증분 SNR 모두를 도시한다. 증분 SNR ($\Delta\gamma_j(\mathbf{d})$)은,
- [0185] [수학식 19]
- $$\Delta P_f(\mathbf{d}) = \frac{\Delta\gamma_j(\mathbf{d}) \cdot \sigma^2}{\lambda_j}$$
- [0186]
- [0187] 와 같이, 증분 송신 전력 ($\Delta P_f(\mathbf{d})$)으로 변환되고, $\Delta P_f(\mathbf{d})$ 는 현재 동작 포인트 (d)로부터 고유모드 j에 대한 다음의 높은 스펙트럼 효율을 달성하기 위해 요구되는 증분 전력이다.
- [0188] 초과 송신 전력의 재할당은 스펙트럼 효율에서 가장 높은 이득이 달성되도록 수행될 수도 있다. 이것은, 단계 328에서, 수학식 19 및 18 각각으로부터 얻어진 스펙트럼 효율에서의 증분 송신 전력 및 대응하는 이득을 사용하여 세트 J에서의 모든 고유모드에 대한 초과 송신 전력 ($\Delta\hat{P}$)의 모든 가능한 재할당의 완전한 검색 (또는 평가)을 수행함으로써 달성될 수도 있다. 최종으로, 단계 330에서, 초과 송신 전력은 스펙트럼 효율에서 가장 높은 이득을 산출하는 재할당에 따라 분배된다. 그 후, 프로세스는 종료한다.
- [0189] 또한, 다양한 다른 방식이 세트 J의 고유모드에 초과 송신 전력을 재할당하기 위해 사용될 수도 있다. 하나의 방식에서, 초과 송신 전력은 최상의 고유모드로 시작하는 시간에서 하나의 고유모드에 재할당된다. 예를 들어, 어떠한 초과 송신 전력도 세트 J의 가장 높은 고유모드에 재할당될 수도 있다 (예를 들어, 다음의 높은 스펙트럼 효율 레벨로 상기 고유모드를 이동시키기 위해 충분한 전력). 그 후, 어떠한 나머지 초과 송신 전력도 세트 J의 다음의 높은 고유모드에 재할당될 수도 있고, 프로세스는 모든 초과 송신 전력이 재할당될 때까지 이러한 방식으로 계속될 수 있다. 또 다른 방식에서, 세트 J의 각 고유모드에 대한 다음의 높은 효율로의 점프를 달성하는 모든 전력 재할당이 처음에 결정되고, 가장 높은 스펙트럼 효율 이득을 달성하는 (또는 스펙트럼 효율이 모든 고유모드를 통해 동일한 경우에 증분 송신 전력의 최소량을 사용하는) 재할당이 선택된다. 또한, 다른 방식이 사용될 수도 있고 이것은 본 발명의 범위 이내이다.
- [0190] 개별 데이터 레이트를 지원하는 시스템에 대한 고유모드 사이에 총 송신 전력을 할당/재할당하는 기술을 설명하기 위해 구체적인 수치 예를 이하 설명한다. 이 예에서, 각 송신 안테나에 대한 피크 송신 전력은 $P_{\max} = 1$ 이 되도록 정규화되고, 잡음에서의 분산은 다른 채널 저하가 없다고 가정하는 경우에 각 수신기에서의 SNR이 $\gamma_{rx} = 10\text{dB}$ 이 되도록 설정된다. 그 후, 이것은 $\sigma^2 = 10^{-10/10} = 0.10$ 의 잡음 분산을 발생시킨다. 또한, 아래의 파라미터가 가정된다.
- [0191] $N_s = N_T = N_R = 3$, 및
- [0192] $\lambda_1 = 1.7$, $\lambda_2 = 0.9$, 및 $\lambda_3 = 0.4$
- [0193] 도 4c는 상기 예시적인 시스템에 대한 스펙트럼 효율 대 유효 SNR을 도시한다. 개별 데이터 레이트의 동일한 세트가 모든 고유모드에 적용되고 플롯 432에 의해 도시된 스펙트럼 효율 함수와 연관된다는 것이 가정된다. 따라서, 각 고유모드에 대한 포화 SNR은 $\gamma_{sat}(i) \mid_{dB} = 12\text{dB}$, $\forall i \in I$ 이다.
- [0194] 송신기에서 사용 가능한 총 송신 전력은 $P_{tot} = 3 \cdot 1 = 3$ 이다. 워터-필링 할당 (단계 312)은 3개의 고유모드에 할당되는 아래의 전력을 발생시킨다.
- [0195] $P_1(1) = 1.08$, $P_2(1) = 1.03$, 및 $P_3(1) = 0.89$.
- [0196] 수학식 11을 사용하여 계산된 고유모드에 대한 유효 SNR은,
- [0197] $\gamma_1(1) = 18.38$, $\gamma_2(1) = 9.26$, 및 $\gamma_3(1) = 3.56$
- [0198] 으로 결정된다.

[0199] 스펙트럼 효율 함수에 대한 3개의 고유모드의 유효 SNR의 위치는 도 4c에서 다이아몬드 (438a 내지 438c) 에 의해 도시된다. 3개의 고유모드가 원형점 (434) 에 의해 도시된 개별 동작 포인트상에 있지 않다는 것을 알 수 있다. 따라서, 세트 K는 $K = \{1, 2, 3\}$ 인 것으로 결정된다 (단계 314). 세트 K가 비어 있지 않기 때문에, 상기 고유모드의 현재 스펙트럼 효율값을 발생시키는 각 고유모드에 대한 최소 송신 전력이 결정된다 (단계 318). 이 예에서, 고유모드의 송신 전력은 제 1, 제 2, 및 제 3 고유모드 각각에 대해 유효 SNR이 12 dB, 9 dB, 및 3 dB이 되도록 백 오프된다.

[0200] 수학적 식 15를 사용하여, 3개의 고유모드에 대한 새로운 송신 전력이,

[0201]
$$\hat{P}_1 = \frac{10^{(12/10)} \times 0.1}{1.7} = 0.93, \quad \hat{P}_2 = \frac{10^{(9/10)} \times 0.1}{0.9} = 0.88, \quad \text{및} \quad \hat{P}_3 = \frac{10^{(3/10)} \times 0.1}{0.4} = 0.50$$

[0202] 이도록 결정된다.

[0203] 새로운 송신 전력 할당은 3개의 고유모드의 동작 포인트를 개별 동작 포인트로 푸쉬한다. 다음으로, 초과 송신 전력은,

[0204]
$$\Delta \hat{P} = (1.08 - 0.93) + (1.03 - 0.88) + (0.89 - 0.50) = 0.69$$

[0205] 이도록 수학적 식 16에 의해 결정된다.

[0206] 제 1 고유모드가 이미 포화 포인트에 있기 때문에, 송신 전력이 더이상 이 고유모드에 재할당되지 않는다. 초과 송신 전력은 고유모드 2 및 3에 재할당될 수 있고, 세트 J는 $J = \{2, 3\}$ 과 동일하다.

[0207] 표 1은 각 동작 포인트 (d) 에 대한 증분 SNR ($\Delta \gamma_j(d)$), 및 $j \in J$ 에 대한 각 고유모드를 리스트한다. 개별 데이터 레이트가 상기 예에서 모든 고유모드에 대해 동일하기 때문에, 첨자 j가 생략되고 증분 SNR은 $\Delta \gamma(d)$ 로써 표현된다. 고유모드 j에 대한 증분 송신 전력 ($\Delta P_j(d)$) 은 고유모드 j에 대한 고유값 (λ_j) 의 함수이다. $\Delta P_j(d)$ 는 수학적 식 19를 사용하여 계산된 바와 같이, $j \in J$ 에 대한 각 고유모드, 및 각 동작 포인트 (d) 에 대해 표시된다. 최종으로, 마지막 컬럼은 도 4c에 도시된 바와 같은, 모든 동작 포인트에 대해 0.5bps/Hz에서 상수를 유지하는 스펙트럼 효율에서의 증분 이득 ($\Delta \rho_j(d)$) 을 리스트한다.

[0208] 표 1

[0209]

d	$\Delta \gamma(d)(dB)$	$\Delta P_2(d)$	$\Delta P_3(d)$	$\Delta \rho(d)$
1	3	0.22	0.50	0.5
2	2	0.18	0.40	0.5
3	1.5	0.16	0.35	0.5
4	2.5	0.20	0.44	0.5
5	3	0.22	0.5	0.5
6	inf	inf	inf	0

[0210] 그 후, 다음의 단계는 초과 송신 전력의 모든 가능한 재할당을 결정하기 위한 것이다 ($\Delta \hat{P} = 0.69$). 제 2 및 제 3 고유모드가 d = 5 및 d = 2에서 각각 동작하기 때문에, 제 2 고유모드에 $\Delta P_2(d) = 0.22$ 송신 전력을 및 제 3 고유모드에 $\Delta P_3(d) = 0.40$ 송신 전력을 재할당하는 초과 전력의 하나의 유효한 할당만이 있다. 이 전력 재할당은 스펙트럼 효율에서 1bps/Hz의 증가를 발생시키고, 사용되지 않는 송신 전력의 양은, $\Delta \hat{P}_u = 0.69 - 0.22 - 0.40 = 0.07$ 이다.

[0211] 전술한 바와 같이, 송신 채널에 송신 전력을 할당/재할당하는 본 명세서에 설명하는 기술은 MIMO 시스템, OFDM 시스템, MIMO-OFDM 시스템 등을 포함하는 다양한 다중-채널 통신 시스템을 위해 사용될 수도 있다. 이들 기술은 바람직하게는 (도 4a에 도시한 바와 같은) 포화 스펙트럼 효율 (P^{sat}) 을 갖는 시스템 및 (도 4b에 도시한 바와 같은) 송신 채널에 대해 개별 데이터 레이트의 하나 이상의 세트를 지원하는 시스템을 위해 사용될 수도

있다. 도 3에 도시한 프로세스는 (고유모드 대신에) 송신 채널에 송신 전력을 할당/재할당하기 위해 변형될 수도 있다.

[0212] **특정한 스펙트럼 효율을 위한 전력 할당/재할당**

[0213] 전술한 기술은 스펙트럼 효율을 최대화하기 위해 (예를 들어, 송신 채널에 대한 가장 높은 전체 스루풋 및 송신 채널에 대한 합산 데이터 레이트를 달성하기 위해) 총 송신 전력을 할당/재할당하기 위해 사용될 수도 있다.

어떤 통신 시스템에서, 합산 데이터 레이트는 제한되거나 특정될 수도 있다. 이들 시스템에서, 전술한 기술은 특정한 합산 데이터 레이트를 달성하는 최소량의 송신 전력을 할당하기 위해 변형 및 사용될 수도 있다.

[0214] 특정한 스펙트럼 효율을 달성하는 최소 송신 전력의 할당은 통신 시스템의 설계 및 능력에 따를 수도 있는 다양한 방식으로 수행될 수도 있다. 여러 가능한 방식을 이하 제공한다.

[0215] 개별 데이터 레이트의 세트를 지원하는 시스템에 있어서, 특정한 스펙트럼 효율을 위한 최소 송신 전력 할당은 아래와 같이 달성될 수도 있다.

[0216] 1. 예를 들어, 워터-필링 방식에 기초하여 송신 채널에 총 송신 전력을 할당한다.

[0217] 2. 동작 포인트가 동일한 스펙트럼 효율을 달성하는 개별 동작 포인트에 있도록 상기 언급한 기술을 사용하여 각 송신 채널에 대한 새로운 송신 전력을 결정한다.

[0218] 3. 새로운 송신 전력 할당을 사용하여 달성된 합산 스펙트럼 효율을 결정한다. 이 스펙트럼 효율이 특정한 스펙트럼 효율 보다 높은 경우에, 단계 4로 계속된다. 그렇지 않으면, 송신 전력 할당은 종료된다.

[0219] 4. 달성 가능한 스펙트럼 효율 (새로운 송신 전력 할당을 사용하는) 과 특정한 스펙트럼 효율 사이의 차이로서 "초과" 스펙트럼 효율을 결정한다. 그 후, 시스템의 스펙트럼 효율은 상기 결정된 차이 만큼 낮아진다.

[0220] 5. 표 1이 예인, 각 송신 채널에 대한 증분 송신 전력/증분 스펙트럼 효율의 표를 형성한다.

[0221] 6. 단계 4에서 결정된 초과 스펙트럼 효율 이하의 스펙트럼 효율 감소를 달성하는 송신 전력에서의 다양한 가능한 감소를 검색한다.

[0222] 7. 단계 6으로부터, 세이브된 송신 전력의 양을 최대화하는 송신 전력 감소를 선택한다.

[0223] 더욱 지속적으로 변화하는 데이터 레이트 (예를 들어, 더 미세한 증가의 개별 데이터 레이트) 를 지원하는 시스템에 있어서, 반복 검색이 특정한 스펙트럼 효율에 대한 최소 송신 전력 할당을 결정하기 위해 수행될 수도 있다. 특히, 총 송신 전력이 (예를 들어, 워터-필링 방식에 기초하여) 초기에 할당된 이후에, 초과 스펙트럼 효율이 전술한 바와 같이 결정될 수도 있다. 초과 스펙트럼 효율이 특정한 임계값 (예를 들어, 특정한 스펙트럼 효율 이상의 특정 퍼센티지) 을 초과하는 경우에, 초과 스펙트럼 효율을 감소시키는 새로운 송신 전력 할당이 결정될 수도 있다. 이것은 (예를 들어, 초과 스펙트럼 효율의 퍼센티지에 기초하여 추정될 수도 있는 어떤 퍼센티지에 의해) 총 송신 전력을 백 오프하고, (예를 들어, 다시 워터-필링 방식에 기초하여) 송신 채널에 백-오프된 송신 전력을 할당함으로써 달성될 수도 있다. 백-오프된 송신 전력으로 달성된 스펙트럼 효율이 특정한 스펙트럼 효율 보다 작은 경우에, 백-오프가 감소될 수도 있고, 새로운 백-오프된 송신 전력이 송신 채널에 다시 할당된다. 이러한 프로세스는 특정한 백-오프된 송신 전력으로 달성된 스펙트럼 효율이 수용 가능한 임계값 이내 일 때 까지 필요한 다수의 횟수 만큼 반복될 수 있다.

[0224] 또한, 특정한 스펙트럼 효율을 위한 최소 송신 전력 할당을 결정하는 다른 방식이 구현될 수도 있고, 이것은 본 발명의 범위 이내이다.

[0225] **워터-필링 전력 할당**

[0226] 풀 CSI가 송신기에서 사용 가능할 때, MIMO 채널은 전술한 바와 같은, 단일값 분해를 사용하여 N_s 개 직교 채널로 대각선화될 수 있다. 이러한 기술은 $i \in I = \{1, 2, \dots, N_s\}$ 에 대해, 고유모드와 연관된 고유값 (λ_i) 와 동일한 고유모드 (i) 에 대한 전력을 갖는 고유모드로서 칭하는 N_s 개 비-간섭 공간 서브채널을 발생시킨다. 각 공간 서브채널에 대한 성능은 분산 σ^2 의 추가 백색 가우시안 잡음 (AWGN) 에 의해 제한된다.

[0227] 도 5는 고유모드의 세트에 총 가용 송신 전력을 할당하는 프로세스 (500) 의 실시형태의 흐름도이다. 프로세스 (500) 는 워터-필링 방식의 하나의 특정한 구현이고, 도 1, 2, 및 3의 단계 120, 220, 및 312 각각에 대해

사용될 수도 있다. 위터-필링 방식은 송신기에서 사용 가능한 총 송신 전력 (P_{tot}), 고유값 (λ_i), 및 잡음 분산 (σ^2) 이 제공되는 경우에 세트 I에서의 고유모드에 할당될, $i \in I$ 에 대한 송신 전력 (P_i) 을 결정한다.

[0228] 처음에, 단계 512에서, 반복 횟수를 나타내기 위해 사용되는 변수 n이 1 (즉, n=1) 로 설정된다. 단계 514에서, 첫번째 반복에 있어서, 세트 I(n) 은 모든 고유모드를 포함하는 것으로 (즉, $1 \leq i \leq N_s$) 정의된다. 그 후, 단계 516에서, 첫번째 반복에 있어서 $L_I(n)=N_s$ 인, 현재 반복에 있어서 세트 I(n) 의 원수 (cardinality) ($L_I(n)=|I(n)|$) 가 결정된다.

[0229] 다음으로, 단계 518에서, 세트 I(n) 에서의 고유모드에 대해 분배될 총 "유효" 전력 (P_{TOTAL}) 이 결정된다. 총 유효 전력은,

[0230] [수학식 20]

$$P_{TOTAL} = P_{tot} + \sum_{i \in I} \frac{\sigma^2}{\lambda_i}$$

[0231]

[0232] 와 같이, 송신 안테나에서 사용 가능한 총 송신 전력 (P_{tot}) 플러스 각 고유모드에 대한 인버스 SNR의 합과 동일한 것으로 정의된다.

[0233] 도 6a는 3개의 고유모드를 예시적인 시스템에 대한 총 유효 전력을 그래프적으로 도시한다. 각 고유모드는 $i=\{1, 2, 3\}$ 에 대해 (1.0의 정규화된 송신 전력을 가정하여) σ^2/λ_i 와 동일한 인버스 SNR을 갖는다. 송신기에서 사용 가능한 송신 전력의 총량은 $P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3$ 이고, 도 6a에 음영 영역에 의해 표현된다. 총 유효 전력은 도 6a에서 음영 및 비음영 영역에서 표현된다.

[0234] 그 후, 총 송신 전력은 세트 I(n) 에서의 고유모드에 할당된다. 단계 520에서, 고유모드에 대해 사용된 인덱스 i는 1 (즉, i=1) 로 초기화된다. 그 후, 단계 522에서, 고유모드 (i) 에 할당될 송신 전력의 양은,

[0235] [수학식 21]

$$P_i = \frac{P_{TOTAL}}{L_I(n)} - \frac{\sigma^2}{\lambda_i}$$

[0236]

[0237] 에 기초하여 결정된다.

[0238] 위터-필링에 있어서, 위터 레벨의 바닥이 불규칙한 표면을 갖지만, 상부에서의 위터 레벨은 용기를 통해 일정하게 유지된다. 도 6a에 도시한 바와 유사하게, 총 송신 전력 (P_{tot}) 이 고유모드에 분배된 이후에, 최종 전력 레벨은 모든 고유모드를 통해 일정하다. 이 최종 전력 레벨은 세트 I(n) 에서의 고유모드의 수 ($L_I(n)$) 로 P_{TOTAL} 을 제산함으로써 결정된다. 그 후, 수학식 21에 의해 제공되고 도 6a에 도시된 바와 같이, 최종 전력 레벨 ($P_{TOTAL}/L_I(n)$) 로부터 상기 고유모드의 인버스 SNR (σ^2/λ_i) 을 감산함으로써 결정된다. 세트 I(n) 에서의 각 고유모드에는 단계 522에 의해 송신 전력 (P_i) 이 할당된다. 단계 524 및 526은 세트 I(n) 에서의 각 고유모드에 송신 전력을 할당하기 위한 루프의 일부분이다.

[0239] 도 6b는 위터-필링 방식에 의한 전력 할당이 ($P_{TOTAL}/L_I(n)) < (\sigma^2/\lambda_i)$ 일 때의 경우인 네가티브 전력을 수신하는 고유모드를 발생시키는 상황을 도시한다. 전력 할당의 끝에서, 단계 528에서 결정된 바와 같이, 네가티브 전력을 수신한 고유모드가 있는 경우에, 프로세스는 단계 530에서 세트 I(n) 으로부터 네가티브 전력 (즉, $P_i < 0$) 을 갖는 모든 고유모드를 제거하고, 단계 532에서, 1 만큼 (즉, n=n+1) n 을 증가시킴으로써 계속된다. 따라서, 각 후속 반복에 있어서, 총 송신 전력은 세트 I(n) 에서의 나머지 고유모드 사이에서 나뉜다. 절차는 단계 528에서 결정된 바와 같이, 세트 I(n) 에서의 모든 고유모드에 포지티브 전력이 할당될 때 까지

계속된다. 세트 $I(n)$ 에 있지 않은 고유모드에는 0 전력이 할당된다.

[0240] 명확화를 위해, 워터-필링 방식을 고유모드에 대해 구체적으로 설명하였다. 일반적으로, 워터-필링 방식은 임의의 유형의 송신 채널 (예를 들어, 구현되는 시스템에 따라서, 공간 서브채널, 주파수 서브채널, 또는 공간 서브채널의 주파수 서브채널)에 대해 수행될 수도 있다. 따라서, 도 5에 도시한 프로세스는 (고유모드 대 신에) 송신 채널에 송신 전력을 할당하기 위해 변형될 수도 있다.

[0241] MIMO-OFDM 시스템에 대한 기본 워터-필링 프로세스를 수행하는 특정한 알고리즘이, 본 출원의 양수인에게 양도 되고 참조로 본 명세서에 포함되는, 2001년 10월 15일 출원한, "Method and Apparatus for Determining Power Allocation in a MIMO Communication System" 이란 명칭의 미국 특허 출원 번호 09/978,337 호에 설명되어 있다.

[0242] 시스템

[0243] 도 7은 본 발명의 다양한 양태 및 실시형태를 구현할 수 있는 송신기 시스템 (710) 및 수신기 시스템 (750)의 실시형태의 블록도이다.

[0244] 송신기 시스템 (710)에서, 트래픽 데이터가 데이터 소스 (712)로부터, 코딩된 데이터를 제공하기 위해 하나 이상의 코딩 방식에 기초하여 트래픽 데이터를 포맷, 코딩, 및 인터리빙하는 송신 (TX) 데이터 프로세서 (714)로 제공된다. 그 후, 코딩된 트래픽 데이터는 데이터 송신을 위해 사용될 송신 채널의 모두 또는 서브세트에서 예를 들어, 시간 분할 멀티플렉서 (TDM) 또는 코드 분할 멀티플렉서 (CDM)을 사용하여 파일럿 데이터와 멀티플렉싱될 수도 있다. 통상적으로, 파일럿 데이터는 공지된 방식으로 프로세스된 공지된 데이터 패턴이다. 그 후, 멀티플렉싱된 파일럿 데이터 및 코딩된 트래픽 데이터는 변조 심볼을 제공하기 위해 하나 이상의 변조 방식 (예를 들어, BPSK, QSPK, M-PSK, 또는 M-QAM)에 기초하여 변조 (즉, 심볼 매핑)된다. 각 송신 채널 또는 송신 채널의 각 그룹에 대한 데이터 레이트, 코딩, 인터리빙, 및 변조는 제어기 (730)에 의해 제공된 다양한 제어에 의해 결정될 수도 있다.

[0245] 그 후, 변조 심볼은 TX MIMO 프로세서 (720)로 제공되고 더 프로세스된다. 특정한 실시형태에서, TX MIMO 프로세서 (720)에 의한 프로세싱은 (1) 유니터리 매트릭스 (\mathbf{V}) 및 대각 매트릭스 (\mathbf{D})를 얻기 위해 채널 응답 매트릭스 (\mathbf{H})의 추정치를 분해하는 단계, (2) 변조 심볼 (즉, 신호 벡터 \mathbf{s})을 유니터리 매트릭스 (\mathbf{V})와 사전-승산하는 단계, 및 (3) 프리-컨디셔닝된 심볼 (즉, 송신 벡터 \mathbf{x})을 N_T 개 심볼 스트림으로 디멀티플렉싱하는 단계를 포함한다. 또 다른 실시형태에서, TX MIMO 프로세서 (720)에 의한 프로세싱은 변조 심볼을 N_T 개 심볼 스트림으로 디멀티플렉싱하는 단계를 포함한다 (즉, 매트릭스 \mathbf{V} 와 심볼의 프리-컨디셔닝이 없다). MIMO 프로세서 (720)는 상기 심볼을 위해 사용된 송신 채널에 할당된 송신 전력의 양에 기초하여 결정된 적절한 가중치에 의해 각 심볼을 더 스케일할 수도 있다. 그 후, N_T 개 (가중된) 심볼 스트림이 송신기 (TMTR) (722a 내지 722t)로 제공된다.

[0246] 각 송신기 (722)는 각각의 심볼 스트림을 수신 및 프로세스한다. OFDM 시스템에 있어서, 각 송신기는 OFDM 심볼을 형성하기 위해 (예를 들어, IFFT를 사용하여) 심볼을 변형시키고, 대응하는 송신 심볼을 형성하기 위해 각 OFDM 심볼에 사이클릭 프리픽스를 더 첨부할 수도 있다. 또한, 각 송신기는 심볼 스트림을 하나 이상의 아날로그 신호로 변환하고 MIMO 채널을 통한 송신에 적합한 변조된 신호를 생성하기 위해 아날로그 신호를 더 조절 (예를 들어, 증폭, 필터, 및 직각 변조)한다. 그 후, 송신기 (722a 내지 722t)로부터의 N_T 개 변조된 신호가 안테나 (724a 내지 724t) 각각으로부터 송신된다.

[0247] 수신기 시스템 (750)에서, 송신된 변조 신호는 N_R 개 안테나 (752a 내지 752r)에 의해 수신되고, 각 안테나 (752)로부터의 수신된 신호는 각각의 수신기 (RCVR : 754)에 제공된다. 각 수신기 (754)는 수신된 신호를 조절 (예를 들어, 필터, 증폭, 및 다운컨버트)하고 샘플의 각각의 스트림을 제공하기 위해 조절된 신호를 디지털화한다. 각 샘플 스트림은 수신된 심볼 (\mathbf{y} 로서 표시됨)의 대응하는 스트림을 얻기 위해 더 프로세스 (예를 들어, 복구된 파일럿과 복조)될 수도 있다. 그 후, RX MIMO 프로세서 (760)는 N_T 개 복구된 심볼 스트림을 제공하기 위해 N_R 개 수신된 심볼 스트림을 수신 및 프로세스한다. 특정한 실시형태에서, RX MIMO 프로세서 (760)에 의한 프로세싱은 (1) 유니터리 매트릭스 (\mathbf{U})를 얻기 위해 추정된 채널 응답 매트릭스를 분

해하는 단계, (2) 복구된 심볼 (즉, 벡터 $\hat{\mathbf{r}}$) 을 제공하기 위해 유니터리 매트릭스 (\mathbf{U}^H) 와 수신된 심볼 (즉, 벡터 \mathbf{r}) 을 사전-승산하는 단계, 및 (3) 등화된 심볼을 얻기 위해 복구된 심볼을 등화하는 단계를 포함한다.

- [0248] 그 후, 수신 (RX) 데이터 프로세서 (762) 는 송신된 트래픽 데이터를 복구하기 위해 등화된 심볼을 복조, 디인터리빙, 및 디코딩한다. RX MIMO 프로세서 (760) 및 RX 데이터 프로세서 (762) 에 의한 프로세싱은 송신기 시스템 (710) 에서 TX MIMO 프로세서 (720) 및 TX 데이터 프로세서 (714) 에 의해 수행된 것과는 상보적이다.
- [0249] RX MIMO 프로세서 (760) 는 MIMO 채널에 대한 채널 응답 매트릭스 (\mathbf{H}) 의 추정치, 송신 채널에 대한 SNR 등을 더 유도할 수도 있고, 제어기 (770) 에 이들 양 (quantity) 을 제공할 수도 있다. 또한, RX 데이터 프로세서 (762) 는 각 수신된 프레임 또는 패킷의 상태, 디코딩된 결과를 나타내는 하나 이상의 다른 성능 매트릭스, 및 다른 정보를 제공할 수도 있다. 제어기 (770) 는 RX MIMO 프로세서 (760) 및 RX 데이터 프로세서 (762) 로부터 수신된 정보의 전부 또는 일부를 포함할 수도 있는 채널 상태 정보 (CSI) 를 수집한다. 그 후, CSI는 TX 데이터 프로세서 (778) 에 의해 프로세스되고, 변조기 (780) 에 의해 변조되고, 송신기 (754a 내지 754r) 에 의해 조절되고, 송신기 시스템 (710) 으로 역으로 송신된다.
- [0250] 송신기 시스템 (710) 에서, 수신기 시스템 (750) 으로부터의 변조된 신호는 안테나 (724) 에 의해 수신되고, 수신기 (722) 에 의해 조절되고, 복조기 (740) 에 의해 복조되고, 수신기 시스템에 의해 보고되는 CSI를 복구하기 위해 RX 데이터 프로세서 (742) 에 의해 프로세스된다. 그 후, CSI는 제어기 (730) 에 제공되고 TX 데이터 프로세서 (714) 및 TX MIMO 프로세서 (720) 에 대한 다양한 제어를 생성하기 위해 사용된다.
- [0251] 제어기 (730 및 770) 는 송신기 및 수신기 시스템 각각에서의 동작을 지시한다. 메모리 (732 및 772) 는 제어기 (730 및 770) 각각에 의해 사용된 프로그램 코드 및 데이터에 대한 저장을 제공한다.
- [0252] 전술한 송신 전력 할당/재할당 기술을 구현하기 위해, 제어기 (730) 는 MIMO 채널의 특성을 나타내는 채널 응답 매트릭스 또는 어떤 다른 정보를 포함할 수도 있는 수신기 시스템 (750) 으로부터 CSI를 수신한다. 그 후, 제어기 (730) 는 전술한 바와 같이, 포화 영역에서 동작되는 송신 채널의 초과 송신 전력이 포화 영역에 있지 않은 다른 송신 채널에 재할당되도록 송신 채널에 총 송신 전력을 할당한다. 그 후, 각 송신 채널에 할당된 송신 전력 (P_i) 은 상기 송신 채널을 위해 사용될 데이터 레이트 및 코딩 및 변조 방식을 결정할 수도 있다.
- [0253] 송신기 및 수신기 시스템 모두에 대한 다양한 MIMO 및 OFDM 프로세싱 기술이 본 출원의 양수인에게 양도되고 본 명세서에 참조로 포함되는 아래의 특허 출원,
- [0254] • 2001년 11월 6일 출원된 "Multiple-Access Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communication System" 이란 명칭의 미국 특허 출원 번호 09/993,087 호;
- [0255] • 2001년 5월 11일 출원된 "Method and Apparatus for Processing Data in a Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communication System Utilizing State Information" 이란 명칭의 미국 특허 출원 번호 09/854,235 호;
- [0256] • 2001년 3월 23일과 2001년 9월 18일에 각각 출원된 "Method and Apparatus for Utilizing Channel State Information in a Wireless Communication System" 이란 명칭의 미국 특허 출원 번호 09/826,481 호 및 09/956,449 호; 및
- [0257] • 2001년 12월 7일 출원된 "Time-Domain Transmit and Receive Processing with Channel Eigenmode Decomposition for MIMO Systems" 이란 명칭의 미국 특허 출원 번호 10/017,308 호에 상세히 설명되어 있다.
- [0258] 본 명세서에 설명한 송신 전력 할당/재할당 기술은 다양한 수단에 의해 구현될 수도 있다. 예를 들어, 이들 기술은 하드웨어, 소프트웨어, 또는 이들의 조합으로 구현될 수도 있다. 하드웨어 구현에 있어서, 송신 채널에 송신 전력을 할당/재할당하기 위해 사용된 엘리먼트는 하나 이상의 응용 주문형 집적 회로 (ASIC), 디지털 신호 프로세서 (DSP), 디지털 신호 프로세싱 디바이스 (DSPD), 프로그램 가능한 로직 디바이스 (PLD), 필드 프로그램 가능한 게이트 어레이 (FPGA), 프로세서, 제어기, 마이크로-제어기, 마이크로프로세서, 본 명세서에 설명한 기능을 수행하도록 설계된 다른 전자 유닛, 또는 이들의 조합으로 구현될 수도 있다.
- [0259] 소프트웨어 구현에 있어서, 송신 전력 할당/재할당은 본 명세서에 설명한 기능을 수행하는 모듈 (예를 들어, 절차, 함수 등) 으로 구현될 수도 있다. 소프트웨어 코드가 메모리 유닛 (예를 들어, 도 7의 메모리 (732))

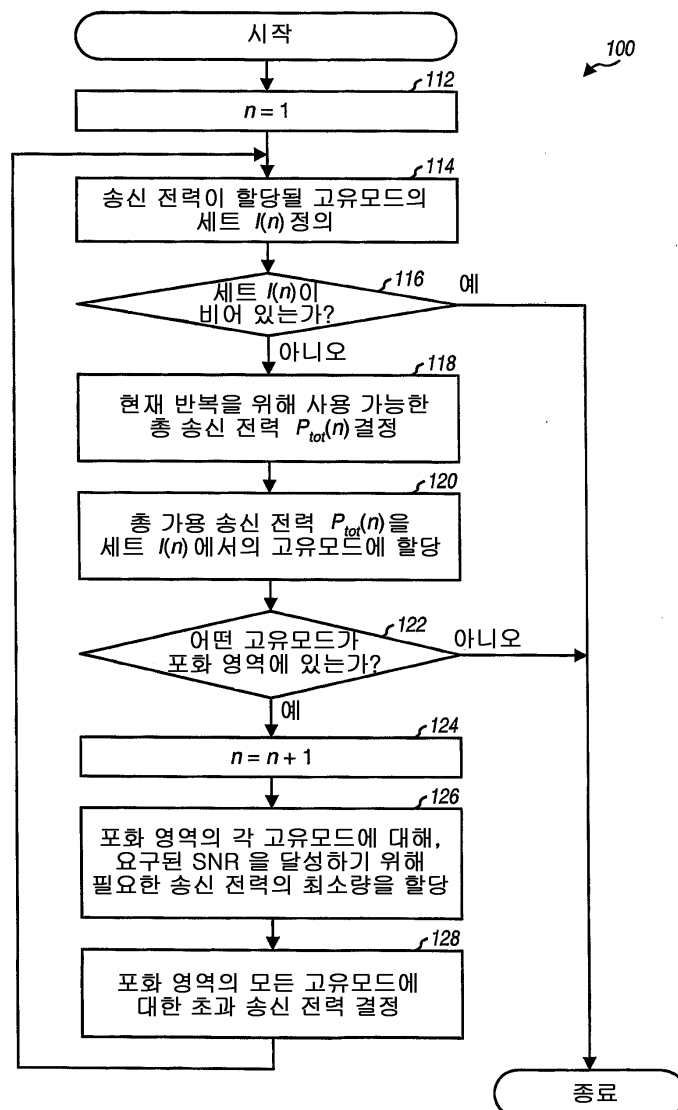
에 저장될 수도 있고 프로세서 (예를 들어, 제어기 (730)) 에 의해 실행될 수도 있다. 메모리 유닛은 당업계에 공지되어 있는 바와 같은 다양한 수단을 통해 프로세서에 통신 가능하게 연결된 경우에, 프로세서 내부 또는 프로세서 외부에서 구현될 수도 있다.

[0260] 표제 (heading) 는 참조를 위해 및 특정 섹션을 파악하기 위해 포함된다. 이들 표제는 설명한 개념의 범위를 제한하지 않고, 이들 개념은 전체 명세서 전반적으로 다른 섹션에 응용 가능성을 가질 수도 있다.

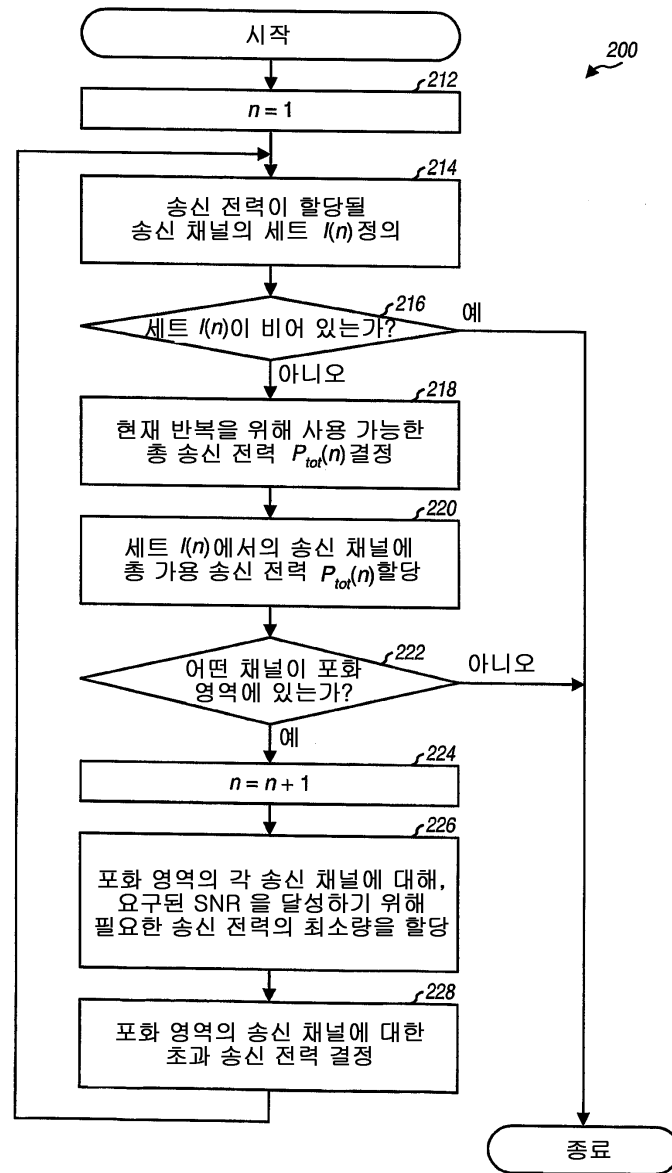
[0261] 개시한 실시형태의 이전의 설명은 당업자가 본 발명을 제조하거나 사용할 수 있도록 제공된다. 이들 실시형태에 대한 다양한 변형은 당업자에게 쉽게 명백할 것이고, 본 명세서에 정의한 일반 원리는 본 발명의 사상 또는 범위를 벗어나지 않고 다른 실시형태에 적용될 수도 있다. 따라서, 본 발명은 본 명세서에 개시한 실시형태에 제한되지 않고 본 명세서에 개시한 원리 및 신규한 특징과 일관되는 가장 광범위한 범위를 부여한다.

도면

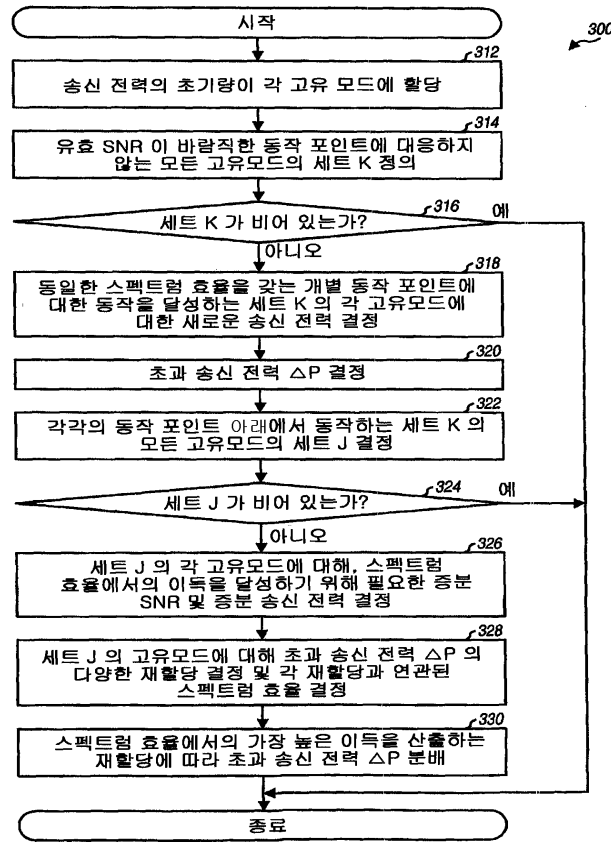
도면1



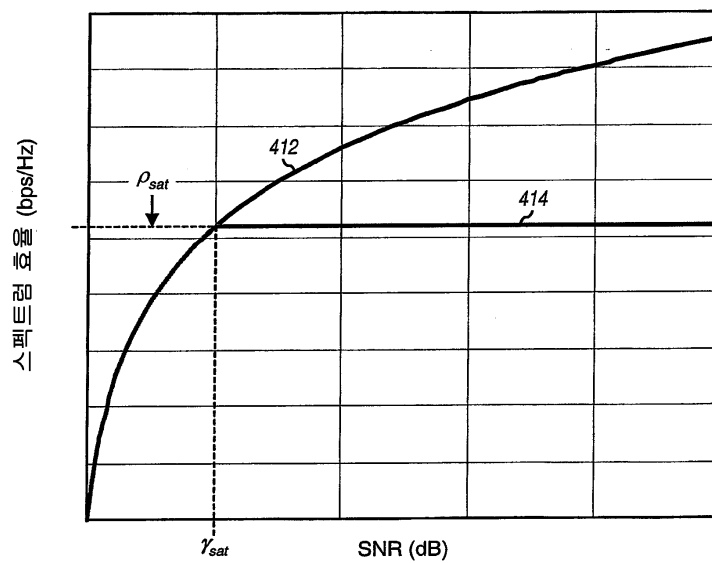
도면2



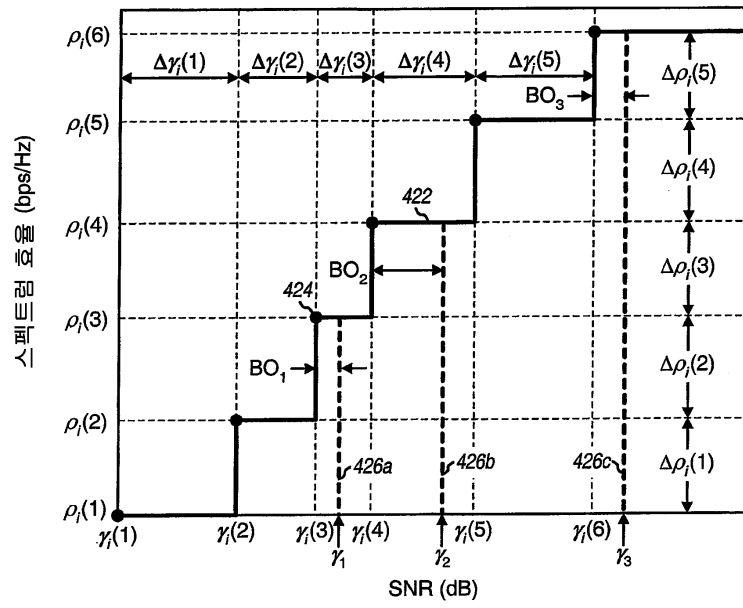
도면3



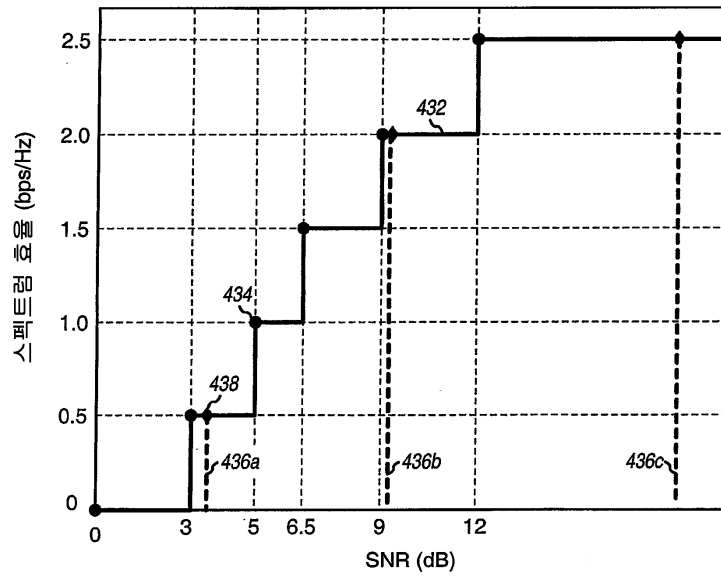
도면4a



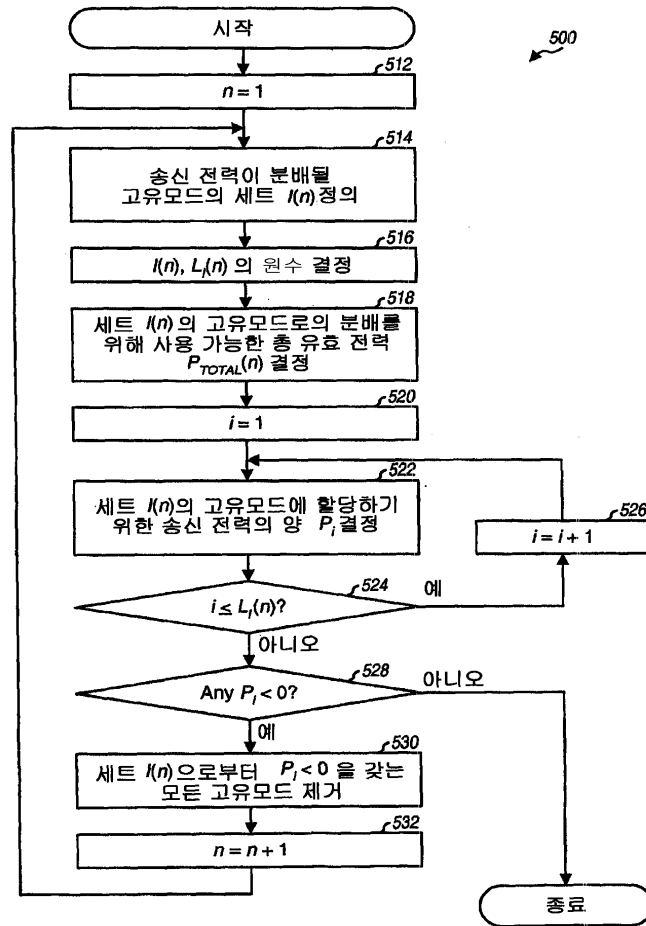
도면4b



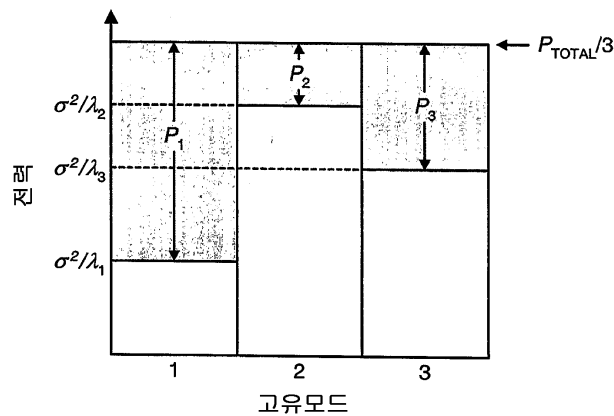
도면4c



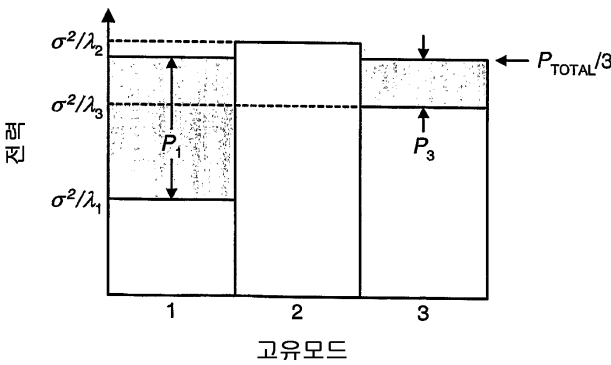
도면5



도면6a



도면6b



도면7

