



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년11월29일
(11) 등록번호 10-1087813
(24) 등록일자 2011년11월22일

(51) Int. Cl.

H04B 7/04 (2006.01) H04W 72/12 (2009.01)

- (21) 출원번호 10-2009-7009565
- (22) 출원일자(국제출원일자) 2007년08월31일
심사청구일자 2009년05월08일
- (85) 번역문제출일자 2009년05월08일
- (65) 공개번호 10-2009-0076966
- (43) 공개일자 2009년07월13일
- (86) 국제출원번호 PCT/CN2007/070607
- (87) 국제공개번호 WO 2009/026768
국제공개일자 2009년03월05일

(56) 선행기술조사문헌

- KR1020030007481 A*
- WO2006138337 A1*
- WO2006130866 A1
- US20070191066 A1

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

후지쯔 가부시끼가이샤

일본국 가나가와현 가와사키시 나카하라구 가미고다나카 4초메 1-1

(72) 발명자

장, 지에

중국 100025 베이징 차오양 디스트릭트 동 시 후안 중 로드 넘버 56 오션 인터내셔널 센터 타워 에이 13층 후지쯔 리서치 앤드 디벨롭먼트 센터 씨오., 엘티디. 내

조우, 후아

중국 100025 베이징 차오양 디스트릭트 동 시 후안 중 로드 넘버 56 오션 인터내셔널 센터 타워 에이 13층 후지쯔 리서치 앤드 디벨롭먼트 센터 씨오., 엘티디. 내

(74) 대리인

이중희, 장수길, 박충범

전체 청구항 수 : 총 12 항

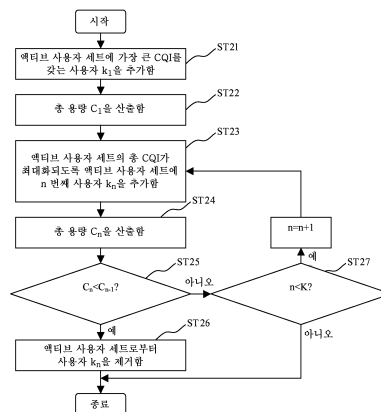
심사관 : 김병균

(54) 무선 통신 시스템 및 무선 통신 방법

(57) 요약

다중 사용자-다중 입력 다중 출력(MU-MIMO) 무선 통신 시스템에서 사용자들을 스케줄링하기 위한 방법이 제공된다. MU-MIMO 무선 통신 시스템은 적어도 하나의 기지국 및 적어도 하나의 사용자 장비를 포함하며, 기지국은 코드북에 기초한 프리코딩에 의해 복수의 사용자 장비들을 수용할 수 있으며, 이 방법은, 복수의 사용자 장비들 각각이, 채널 정보를 얻기 위해, 기지국으로부터 송신된 파일럿 신호에 기초하여 채널 추정을 수행하는 단계; 채널 정보에 기초하여, 최대 신호 대 잡음비(SNR)가 발생되게 하는 코드워드, 및 이 코드워드에 대응하는 채널 품질 표시자(CQI) 값을 결정하는 단계; 및 코드워드 및 CQI 값을 기지국에 피드백하는 단계, 기지국이, 시스템의 미리 결정된 성능 메트릭이 최대화되도록, 사용자 장비들로부터 피드백된 코드워드들 및 CQI 값들에 기초하여, 다운링크 송신이 허용되는 적어도 하나의 사용자를 포함하는 액티브 사용자 세트를 설정하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도8



특허청구의 범위

청구항 1

다중 사용자-다중 입력 다중 출력(multi user-multi input multi output; MU-MIMO) 무선 통신 시스템에서 사용자들을 스케줄링하는 방법으로서 - 상기 MU-MIMO 무선 통신 시스템은 적어도 하나의 기지국 및 적어도 하나의 사용자 장비를 포함하고, 상기 기지국은 코드북에 기초한 프리코딩(precoding)에 의해 복수의 사용자 장비들을 수용할 수 있음 - ,

상기 복수의 사용자 장비들 각각이,

채널 정보를 얻기 위해, 상기 기지국으로부터 송신된 파일럿 신호에 기초하여 채널 추정을 수행하는 단계;

상기 채널 정보에 기초하여, 최대 신호 대 잡음비(SNR)가 발생되게 하는 코드워드(codeword), 및 상기 코드워드에 대응하는 채널 품질 표시자(channel quality indicator; CQI) 값을 결정하는 단계; 및

상기 코드워드 및 상기 CQI 값을 상기 기지국에 피드백하는 단계, 및

상기 기지국이,

상기 시스템의 미리 결정된 성능 메트릭(performance metric)이 최대화되도록, 상기 사용자 장비들로부터 피드백된 상기 코드워드들 및 상기 CQI 값들에 기초하여, 다운링크 송신이 허용되는 적어도 하나의 사용자를 포함하는 액티브 사용자 세트(active user set)를 설정하는 단계

를 포함하고,

상기 설정하는 단계는,

a) 가장 큰 CQI 값을 갖는 사용자를 상기 액티브 사용자 세트에 추가하고, 상기 액티브 사용자 세트의 제1 미리 결정된 성능 메트릭을 산출하는 단계;

b) 상기 액티브 사용자 세트가 n 사용자를 포함하게 되고 상기 액티브 사용자 세트의 합계 CQI 값이 최대가 되도록, 상기 액티브 사용자 세트에 사용자를 추가하고, 상기 복수의 사용자 장비로부터 피드백된 상기 코드워드들 및 CQI 값들에 기초하여, 상기 액티브 사용자 세트의 제n 미리 결정된 성능 메트릭을 산출하는 단계;

c) 상기 제n 미리 결정된 성능 메트릭이 제(n-1) 미리 결정된 성능 메트릭보다 작아질 때까지 단계 b)를 반복하는 단계

를 더 포함하는 사용자들의 스케줄링 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 성능 메트릭은 상기 액티브 사용자 세트의 유효 합계(effective sum) SNR인 사용자들의 스케줄링 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 성능 메트릭은 상기 액티브 사용자 세트의 합계 용량(sum capacity)인 사용자들의 스케줄링 방법.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 성능 메트릭은 상기 액티브 사용자 세트 내의 사용자들에 대한 코드워드들 간의 직교성(orthogonality)을 포함하는 사용자들의 스케줄링 방법.

청구항 5

다중 사용자-다중 입력 다중 출력(MU-MIMO) 무선 통신 시스템으로서 - 상기 MU-MIMO 무선 통신 시스템은 적어도 하나의 기지국 및 적어도 하나의 사용자 장비를 포함하고, 상기 기지국은 코드북에 기초한 프리코딩에 의해

복수의 사용자 장비들을 수용할 수 있음 - ,

상기 복수의 사용자 장비들 각각은,

채널 정보를 얻기 위해, 상기 기지국으로부터 송신된 파일럿 신호에 기초하여 채널 추정을 수행하도록 구성된 채널 추정 유닛;

상기 채널 정보에 기초하여, 최대 신호 대 잡음비(SNR)가 발생되게 하는 코드워드, 및 상기 코드워드에 대응하는 채널 품질 표시자(CQI) 값을 결정하도록 구성된 결정 유닛; 및

상기 코드워드 및 상기 CQI 값을 상기 기지국에 피드백하도록 구성된 송신 유닛을 포함하고,

상기 기지국은,

상기 시스템의 미리 결정된 성능 메트릭이 최대화되도록, 상기 사용자 장비들로부터 피드백된 상기 코드워드들 및 상기 CQI 값들에 기초하여, 다운링크 송신이 허용되는 적어도 하나의 사용자를 포함하는 액티브 사용자 세트를 설정하도록 구성된 스케줄 유닛을 포함하고,

상기 스케줄 유닛은,

a) 가장 큰 CQI 값을 갖는 사용자를 상기 액티브 사용자 세트에 추가하고, 상기 액티브 사용자 세트의 제1 미리 결정된 성능 메트릭을 산출하고;

b) 상기 액티브 사용자 세트가 n 사용자를 포함하게 되고 상기 액티브 사용자 세트의 합계 CQI 값이 최대가 되도록, 상기 액티브 사용자 세트에 사용자를 추가하고, 상기 복수의 사용자 장비로부터 피드백된 상기 코드워드들 및 CQI 값들에 기초하여, 상기 액티브 사용자 세트의 제 n 미리 결정된 성능 메트릭을 산출하고;

c) 상기 제 n 미리 결정된 성능 메트릭이 제 $(n-1)$ 미리 결정된 성능 메트릭보다 작아질 때까지 b)를 반복하도록 더 구성되는, MU-MIMO 무선 통신 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 성능 메트릭은 상기 액티브 사용자 세트의 유효 합계 SNR인 MU-MIMO 무선 통신 시스템.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 성능 메트릭은 상기 액티브 사용자 세트의 합계 용량인 MU-MIMO 무선 통신 시스템.

청구항 8

제5항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 성능 메트릭은 상기 액티브 사용자 세트 내의 사용자들에 대한 코드워드들 간의 직교성을 포함하는 MU-MIMO 무선 통신 시스템.

청구항 9

다중 사용자-다중 입력 다중 출력(MU-MIMO) 무선 통신 시스템 내의 기지국으로서 - 상기 기지국은 코드북에 기초한 프리코딩에 의해 복수의 사용자 장비들을 수용할 수 있으며, 상기 복수의 사용자 장비들 각각은, 채널 정보를 얻기 위해, 상기 기지국으로부터 송신된 파일럿 신호에 기초하여 채널 추정을 수행하도록 구성된 채널 추정 유닛; 상기 채널 정보에 기초하여, 최대 신호 대 잡음비(SNR)가 발생되게 하는 코드워드, 및 상기 코드워드에 대응하는 채널 품질 표시자(CQI) 값을 결정하도록 구성된 결정 유닛; 및 상기 코드워드 및 상기 CQI 값을 상기 기지국에 피드백하도록 구성된 피드백 유닛을 포함함 - ,

상기 기지국은,

상기 시스템의 미리 결정된 성능 메트릭이 최대화되도록, 상기 사용자 장비들로부터 피드백된 상기 코드워드들 및 상기 CQI 값들에 기초하여, 다운링크 송신이 허용되는 적어도 하나의 사용자를 포함하는 액티브 사용자 세트를 설정하도록 구성된 스케줄 유닛

을 포함하고,

상기 스케줄 유닛은,

- a) 가장 큰 CQI 값을 갖는 사용자를 상기 액티브 사용자 세트에 추가하고, 상기 액티브 사용자 세트의 제1 미리 결정된 성능 메트릭을 산출하고;
- b) 상기 액티브 사용자 세트가 n 사용자를 포함하게 되고 상기 액티브 사용자 세트의 합계 CQI 값이 최대가 되도록, 상기 액티브 사용자 세트에 사용자를 추가하고, 상기 복수의 사용자 장비로부터 피드백된 상기 코드워드들 및 CQI 값들에 기초하여, 상기 액티브 사용자 세트의 제n 미리 결정된 성능 메트릭을 산출하고;
- c) 상기 제n 미리 결정된 성능 메트릭이 제(n-1) 미리 결정된 성능 메트릭보다 작아질 때까지 b)를 반복하도록 더 구성되는, MU-MIMO 무선 통신 시스템 내의 기지국.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 성능 메트릭은 상기 액티브 사용자 세트의 유효 합계 SNR인 MU-MIMO 무선 통신 시스템 내의 기지국.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 성능 메트릭은 상기 액티브 사용자 세트의 합계 용량인 MU-MIMO 무선 통신 시스템 내의 기지국.

청구항 12

제9항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 성능 메트릭은 상기 액티브 사용자 세트 내의 사용자들에 대한 코드워드들 간의 직교성을 포함하는 MU-MIMO 무선 통신 시스템 내의 기지국.

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 일반적으로 무선 통신에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 MU-MIMO(multi-user multiple input multiple output) 무선 통신 시스템에서의 사용자 스케줄링에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] MU-MIMO(Multiple User-Multiple Input Multiple Output)는, 각각이 하나 또는 복수의 안테나들을 갖는 다수의 터미널들이, 복수의 안테나들을 갖는 하나의 제어국과 동시에 통신할 수 있게 해주는 통신 기술로서, 셀룰러 무선 네트워크에서의 고효율 데이터 송신을 위한 큰 인에이블러(enabler)였다. 동일한 MIMO 채널 상에서의 다중 사용자 송신을 지원하는 방법에 대한 많은 제안들이 존재하고 있다[문헌 1-6].
- [0003] 기본적으로, 송신기에서의 채널 상태 정보 유용성 면에서, 이런 제안들은 두 부류로 분류될 수 있는데, 그 중 하나는 "코드북 기반(codebook based)"으로 불리는 것으로, 이것은 송신기에서 전체(full) 채널 정보를 필요로 하지는 않지만, (채널 벡터 인덱스 피드백의 형태의) 양자화된 채널 벡터만을 필요로 하는 것이고, 다른 하나는 "논-코드북 기반(non-codebook based)"으로 불리는 것으로, 이것은 가능한 업링크 사운딩 방법(possible uplink sounding method)에 의한, 송신기에서 전체 채널 정보를 필요로 하는 것이다. 본 발명은 코드북 기반 MU-MIMO에 대한 것이다.
- [0004] 현재, 3GPP LTE(3rd Generation Partnership Project, Long Term Evolution)에는, 코드북 기반 스킴 하의 MU-MIMO를 위한 두 개의 주요한 제안들이 있는데, 유니터리 프리코딩(unitary precoding)(문헌 3) 및 논-유니터리 프리코딩(non-unitary precoding)(문헌 1)이 그것이다. "유니터리"란 동일한 DFT 행렬 내의 코드워드가 직교함을 의미하고, 한편, "논-유니터리"란 코드북 내의 코드워드들이 직교하지 않음을 의미한다.
- [0005] 도 1은 관련 기술의 MU-MIMO 프리코딩 스킴을 개략적으로 나타낸다. 도 1에 도시된 바와 같이, 사용자 장비들로부터 피드백되는 CQI(Channel Quality Indicator) 및 PVI(Precoding Vector Index)에 기초하여 기지국은 사용자들을 스케줄링하고, 데이터 속도를 결정하며, 그 후에 각각의 스케줄링된 사용자에 대한 데이터가 채널-코딩 및 변조되고, PVI에 기초한 어떤 가중화 벡터로 프리코딩되고, 다른 사용자들에 대한 데이터와 결합되고, 그 후에 OFDM 스킴의 경우 IFFT에 의해 변환되고 CP(Cyclic Prefix)에 의해 추가되며, 최종적으로 각 송신기 안테나에서 송신될 수 있다. 여기에서, IFFT 및 CP 유닛은 OFDM 이외의 다른 다중화 스킴의 경우에는 생략될 수 있다.
- [0006] 도 1에서는, 각 사용자 장비(이동국)가 하나의 수신기 안테나를 갖는 것으로 도시되어 있지만, 사용자 장비들은 복수의 수신기 안테나들을 가질 수 있다. 수신기 안테나에 의해 수신된 데이터는 CP 제거 및 FFT 변환을 거치게 되며, 그 후 사용자 특정 데이터(user-specific data)가 수신기 결합에 의해 추출된다. CP 제거 및 FFT 변환 유닛들은 OFDM 이외의 다른 다중화 스킴의 경우에는 생략될 수 있다는 점에 유의한다. 이와 동시에, 공통 파일럿 또는 전용 파일럿에 기초하여 채널 추정이 수행되고, 그 후에 다음 스케줄 슬롯을 위해 기지국에 피드백하기 전에, CQI가 계산되고 PVI가 결정된다.
- [0007] 도 2는 2-사용자 2-Tx MU-MIMO에 대한 프리코딩 스킴의 일례를 나타낸다. 도 2에 도시된 바와 같이, 사용자 1을 위한 데이터(d_1) 및 사용자 2를 위한 데이터(d_2)는 벡터 $[w_{11}, w_{12}]$ 및 $[w_{21}, w_{22}]$ 에 의해 각각 가중치 부여되고, 각 송신기에서 함께 더해진다. 이 예에서, 프리코딩 벡터들 $[w_{11}, w_{12}]$ 및 $[w_{21}, w_{22}]$ 는 기지국 및 사용자 장비들 양쪽 모두에 공지된 하나의 공통 코드북으로부터 선택된다. 각 수신기에서, 데이터는 프리코딩 코드북의 간섭 회피 성질을 이용하여 추출될 수 있다. 유니터리 프리코딩에서, 직교 벡터들을 갖는 코드북은 어떤 기본적인 수학 규칙에 의해 구성될 수 있는데, 예를 들면, 하기 수학식으로 표현되는 바와 같이, 사이즈 $N (=2^B)$ 을 갖는 DFT 행렬의 상단 n_T 행들이 그러한 종류의 코드북일 수 있다.

수학식 1

[0008]
$$f_n(t) = \exp\left(-\frac{j2\pi nt}{N}\right), l = 0, \dots, n_T; n = 0, \dots, N - 1$$

[0009] 여기에서, $f_n(t)$ 은 n 번째 벡터의 첫 번째 요소이며, n_T 는 송신 안테나의 수이며, N 은 코드북의 사이즈이며, j 는 허수이다. 유니터리 프리코딩에서, 코드북은 유니터리 행렬에 기반하는 것인데, 즉 N 벡터들이 $P=N/M$ 유니터리 행렬들을 구성하며, 여기서 M 은 송신 스트림들의 수이고, p 번째 유니터리 행렬은 $F_p = [f_p, f_{p+P}, f_{p+2P}, \dots]$ ($p=0, \dots, P-1$)와 같이 표현된다. 이와 동일한 유니터리 행렬 기반 코드북이 유니터리 프리코딩에서 노드 B(기지국) 및 UE 측 양쪽 모두에서 활용된다.

[0010] 유니터리 프리코딩에서, CQI는 다음과 같이 계산될 수 있다:

수학식 2

[0011]
$$CQI_k = \arg \max_{i, j \in \{1, \dots, P\}} \left(\frac{|H_k F_i|^2}{\sigma^2 + \sum_{j \neq i} |H_k F_j|^2} \right)$$

[0012] 여기에서, H는 채널 행렬이며, F는 가중화 행렬이며, σ^2 는 노이즈 전력이며, K는 사용자 인덱스이다.

[0013] CQI 계산은 그 자신의 것을 제외한 다른 프리코딩 벡터로부터의 모든 간섭을 고려함에 유의한다. 이 경우, CQI는 심하게 과소평가되어서, 시스템의 처리량이 충분히 활용되지 못하게 된다.

[0014] 한편, 논-유니터리 프리코딩에서는, CQI는 다음과 같이 계산된다:

수학식 3

[0015]
$$CQI_k = \arg \max_{i, j \in \{1, \dots, P\} | |F_i F_j|^2 < \rho_{thrd}} \left(\frac{|H_k F_i|^2}{\sigma^2 + |H_k F_j|^2} \right)$$

[0016] 여기에서, F는 비-직교 코드북으로부터의 가중화 행렬이다. CQI 계산이 다른 스트림들로부터의 간섭을 고려한다고 해도, BS가 선택한 사용자가 CQI 계산에서 결정된 프리코딩 인덱스를 실제로 사용할 것이라는 점은 보장될 수 없다. 그러므로, CQI 계산 역시 아마도 실제 캐패시티(capacity)와 부합되지 않을 것이다.

[0017] 또한, 몇몇 가입자 국들의 동시 송신은 사용자들 간의 간섭, 즉 시스템들의 성능을 악화시키는 다중-사용자 간섭을 야기한다. 최상의 코드북이 선택될지라도, 몇몇의 경우에는 코드북과 실제 채널 방향 사이의 차이가 명백하기 때문에, 다중-사용자 간섭은 완벽하게 억제될 수는 없다.

[0018] 문헌 1: Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, IEEE P802.16 (Draft Mar2007), IEEE Std 802.16f-2005 및 IEEE 802.16e-2005에 의해 수정된 IEEE Std 802.16-2004의 개정판.

[0019] 문헌 2: 3GPP R1-072422, NTT DoCoMo의 "Investigation on precoding scheme for MU-MIMO in E-UTRA downlink".

[0020] 문헌 3: 3GPP, R1-060335, Samsung의 "Downlink MIMO for EUTRA".

[0021] 문헌 4: 3GPP, R1-060495, Huawei의 "Precoded MIMO concept with system simulation results in macrocells".

[0022] 문헌 5: 3GPP, R1-062483, Philips의 "Comparison between MU-MIMO codebook-based channel reporting techniques for LTE downlink".

[0023] 문헌 6: 3GPP, R1-071510, Freescale Semiconductor Inc의 "Details of zero-forcing MU-MIMO for DL EUTRA".

발명의 상세한 설명

[0024] 따라서, 본 발명은, 관련 기술의 제한과 단점에 의한 하나 이상의 문제점을 실질적으로 제거하는, MU-MIMO 시스템에서의 사용자 스케줄링 방법에 대한 것이다.

[0025] 본 발명의 목적은 MU-MIMO 시스템에서의 다중-사용자 간섭을 최소화하는 것이다.

[0026] 본 발명의 다른 목적은 MU-MIMO 다운링크 송신의 처리량을 최대화하는 것이다.

[0027] 상기 목적들을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 양태에서는, 다중 사용자-다중 입력 다중 출력(MU-MIMO) 무선 통신 시스템에서 사용자들을 스케줄링하는 방법이 제공되는데, 여기서, MU-MIMO 무선 통신 시스템은 적어도 하나의 기지국 및 적어도 하나의 사용자 장비를 포함하며, 기지국은 코드북에 기초한 프리코딩에 의해 복수의 사용자 장비들을 수용할 수 있으며, 이 방법은,

[0028] 복수의 사용자 장비들 각각이,

[0029] 채널 정보를 얻기 위해, 기지국으로부터 송신된 파일럿 신호에 기초하여 채널 추정을 수행하는 단계;

- [0030] 채널 정보에 기초하여, 최대 신호 대 잡음비(SNR)가 발생되게 하는 코드워드, 및 이 코드워드에 대응하는 채널 품질 표시자(CQI) 값을 결정하는 단계; 및
- [0031] 코드워드 및 CQI 값을 기지국에 피드백하는 단계, 및
- [0032] 기지국이,
- [0033] 시스템의 소정의 성능 메트릭(performance metric)이 최대화되도록, 사용자 장비들로부터 피드백된 코드워드들 및 CQI 값들에 기초하여, 다운링크 송신이 허용되는 적어도 하나의 사용자를 포함하는 액티브 사용자 세트(active user set)를 설정하는 단계를 포함한다.
- [0034] 본 발명의 일 양태에서는, 다중 사용자-다중 입력 다중 출력(MU-MIMO) 무선 통신 시스템이 제공되는데, 여기에서 MU-MIMO 무선 통신 시스템은 적어도 하나의 기지국 및 적어도 하나의 사용자 장비를 포함하고, 기지국은 코드북에 기초한 프리코딩에 의해 복수의 사용자 장비들을 수용할 수 있으며,
- [0035] 복수의 사용자 장비들 각각은,
- [0036] 채널 정보를 얻기 위해, 기지국으로부터 송신된 파일럿 신호에 기초하여 채널 추정을 수행하도록 구성된 채널 추정 유닛;
- [0037] 채널 정보에 기초하여, 최대 신호 대 잡음비(SNR)가 발생되게 하는 코드워드, 및 그 코드워드에 대응하는 채널 품질 표시자(CQI) 값을 결정하도록 구성된 결정 유닛; 및
- [0038] 코드워드 및 CQI 값을 기지국에 피드백하도록 구성된 송신 유닛을 포함하고,
- [0039] 기지국은,
- [0040] 시스템의 소정의 성능 메트릭이 최대화되도록, 사용자 장비들로부터 피드백된 코드워드들 및 CQI 값들에 기초하여, 다운링크 송신이 허용되는 적어도 하나의 사용자를 포함하는 액티브 사용자 세트를 설정하도록 구성된 스케줄 유닛을 포함한다.
- [0041] 본 발명의 다른 양태에서는, 다중 사용자-다중 입력 다중 출력(MU-MIMO) 무선 통신 시스템에서의 기지국이 제공되며, 여기서 기지국은 코드북에 기초한 프리코딩에 의해 복수의 사용자 장비들을 수용할 수 있으며, 복수의 사용자 장비들 각각은, 채널 정보를 얻기 위해, 기지국으로부터 송신된 파일럿 신호에 기초하여 채널 추정을 수행하도록 구성된 채널 추정 유닛; 채널 정보에 기초하여, 최대 신호 대 잡음비(SNR)가 발생되게 하는 코드워드 및 이 코드워드에 대응하는 채널 품질 표시자(CQI) 값을 결정하도록 구성된 결정 유닛; 및 코드워드 및 CQI 값을 기지국에 피드백하도록 구성된 피드백 유닛을 포함하며,
- [0042] 기지국은,
- [0043] 시스템의 소정의 성능 메트릭이 최대화되도록, 사용자 장비들로부터 피드백된 코드워드들 및 CQI 값들에 기초하여, 다운링크 송신이 허용되는 적어도 하나의 사용자를 포함하는 액티브 사용자 세트를 설정하도록 구성된 스케줄 유닛을 포함한다.
- [0044] 본 발명에 대한 전술한 전반적인 설명 및 다음의 상세한 설명은 모두 예시적이고 설명의 도움을 위한 것이며, 청구되는 본 발명에 대한 추가적인 설명을 제공하기 위한 것임을 이해할 것이다.

실시예

- [0053] 본 발명의 추가적인 이해를 돕기 위해 포함되고, 본 출원의 일부 내에 포함되며 이를 구성하는 첨부 도면들은, 본 발명의 실시예들을 나타내며, 상세한 설명과 함께 본 발명의 원리들을 설명하도록 기능한다.
- [0054] 본 발명은 이제 본 발명의 바람직한 실시예들이 도시되어 있는 첨부 도면들을 참조하여 상세히 설명될 것이다. 그러나, 본 발명은 많은 다른 형태로 구현될 수 있으며, 본원에서 제시되는 실시예들로 제한되는 것으로 해석되어서는 안되며, 오히려, 이 실시예들은, 본 개시물이 철저하고 완벽하게 되고, 본 발명의 범주를 본 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자들에게 충분히 전달하도록 제공되는 것이다. 명세서 전체에서 동일한 참조부호들은 동일한 구성요소들을 칭한다.
- [0055] [제1 실시예]
- [0056] 제1 실시예의 MU-MIMO 무선 통신 시스템의 일반적인 구성은 도 1에 도시된 것과 실질적으로 동일하다. 즉, 제1

실시예의 MU-MIMO 무선 통신 시스템은 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템에서 적용된다. 이어지는 설명에서는 도 1을 참조하기로 한다. 그러나, 하기 설명으로부터 명백하게 되는 바와 같이, 본 발명은 OFDM 시스템에 한정된 것이 아니고, OFDM 외의 다른 어떠한 다중화 스킴들에도 적용될 수 있다.

[0057] 도 1에 도시된 바와 같이, 제1 실시예의 MIMO 무선 통신 시스템은 적어도 하나의 기지국(도 1에는 오직 하나만 도시됨) 및 적어도 하나의 사용자 장비를 포함하며, 기지국은 N개의 송신 안테나들을 구비하고 있으며, 코드북에 기초한 프리코딩에 의해 복수의 사용자 장비들을 수용할 수 있다. 기지국은 피드백 CQI(Channel Quality Indicator) 및 PVI(Precoding Vector Index)에 기초하여 사용자들을 스케줄링하고, 데이터 속도를 결정하며, 그 후에 각각의 스케줄링된 사용자에 대한 데이터는 채널 코딩 및 변조되고, 가중화 벡터들로 프리코딩되고, 다른 사용자 데이터와 결합되고, 그 후에 IFFT에 의해 변환되고 CP(Cyclic Prefix)에 의해 추가되고, 최종적으로 각각의 송신 안테나를 통해 송신될 수 있다.

[0058] 도 3은 제1 실시예의 사용자 장비의 개략적인 블록도이다. 도 3에 도시된 바와 같이, 사용자 장비는 적어도 하나의 수신 안테나(11), CP(cyclic prefix) 제거 유닛(12), FFT(Fast Fourier Transform) 유닛(13), 채널 추정 유닛(14), MIMO 검출 유닛(15), DEMOD&DEC(demodulating and decoding) 유닛(16), 및 피드백 유닛(17)을 포함한다.

[0059] 수신 안테나들(11)은 복수의 다중화된 데이터 스트림들을 수신한다. CP 제거 유닛(12)은 안테나들(11)에서 수신된 데이터 스트림들에서 CP 부분을 제거한다. FFT 유닛(13)은 CP가 제거된 데이터 스트림들에 대해 FFT 처리를 수행한다. 채널 추정 유닛(14)은 데이터 스트림들에 포함된 파일럿 컴포넌트들을 이용하여 채널들(스트림들)을 추정하고, 추정된 채널 행렬을 피드백 유닛(17)에 제공한다. 추정된 채널 행렬을 이용하여, MIMO 검출 유닛(15)은 다른 수신 안테나들로부터 전송되고 FFT 유닛(13)에 의해 처리된 데이터 스트림들을 검출한다. DEMOD&DEC 유닛(16)은 MIMO 검출 유닛(15)에 의해 처리된 데이터를 복조하고, 복조된 데이터를 사용자 데이터로 디코딩한다.

[0060] 도 4는 도 3에 도시된 피드백 유닛(17)의 개략적인 블록도이다. 피드백 유닛(17)은 CQI 산출 유닛(18), PVI 결정 유닛(19), 코드북(20), 및 송신 유닛(21)을 포함한다.

[0061] 코드북(20)은 제어국(예를 들면 기지국)으로부터 송신된 데이터 스트림들을 프리코딩하기 위한 코드워드들을 포함한다. CQI 산출 유닛(18)은 추정된 채널 행렬 정보에 기초하여 채널 품질 표시자(CQI)를 생성한다. 이 실시예에서는, CQI 산출 유닛(18)은 각각의 데이터 스트림에 대한 후처리 SINR(signal-to-interference & noise ratio)들을 CQI로서 산출한다. 후처리 SINR들은, 제어국에서 프리코딩 가중화가 존재하는 것을 가정하는 것에 의해 산출되고, 또한 UE측에서 ZF(Zero-Forcing) 또는 MMSE(Minimal Mean Square Error) 같은 MIMO 디코딩 방법, 또는 그외의 방법들에 의해 규정된다. 프리코딩 가중화 벡터는 PVI 결정 유닛(19)에 의해 결정된다. PVI 결정 유닛(19)은, 각 데이터 스트림에 대한 후처리 SINR들과 같은, 합-레이트(sum-rate) 최대화 또는 BLER 최소화 또는 다른 표준에 기초할 수 있는 소정의 성능 메트릭을 최대화하도록 코드북(20)으로부터 적절한 프리코딩 코드워드를 선택한다. 이 PVI는, 제어국 및 사용자 장비들 양쪽 모두에 공지된 소정의 맵핑 규칙에 의해 코드북(20) 내의 하나의 코드워드에 대응한다.

[0062] 또한, 결정된 코드워드들의 PVI들 및 CQI들은 송신 유닛(21)에 의해 기지국에게 피드백된다.

[0063] 도 5는 제1 실시예의 기지국의 개략적 블록도이다. 도 5에 도시된 바와 같이, 기지국은 복수의 송신 안테나들(36), FEC&Mod 유닛(31)(FEC: "Forward Error Correction", 채널 코딩의 일종), 송신 안테나들(31)의 수에 대응하는 수의 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 유닛(33) 및 CP 추가 유닛(34), 및 프리코딩 유닛(32), 스케줄링 유닛(35)을 포함한다.

[0064] 스케줄링 유닛(35)은, 모든 사용자 장비들의 것과 동일한 콘텐츠(contents)를 포함하는 코드북, 매칭(matching) 코드워드를 갖는 그룹 사용자들을 구비하고, 스케줄링을 행하고, 사용자 장비들로부터 피드백된 CQI(Channel Quality Indicator) 및 PVI(Precoding Vector Index)에 기초하여 데이터 속도를 결정한다. FEC&Mod 유닛(31)은 각 사용자를 위한 데이터에 대해 채널 코딩 및 변조를 수행한다. 프리코딩 유닛(32)은 결정된 프리코딩 벡터들로 사용자 데이터를 프리코딩하고, 모든 사용자로부터의 데이터를 결합한다. IFFT 유닛(33)은 프리코딩된 데이터에 대해 IFFT 변환을 수행하고, CP 추가 유닛(34)은 IFFT 변환된 데이터에 CP(Cyclic Prefix)를 추가하며, 그 후에 송신 안테나들(31)이 데이터를 송신한다.

[0065] 이하, 제1 실시예의 MU-MIMO 통신 시스템의 스케줄 프로세스에 대해 상세하게 설명하기로 한다.

[0066] 첫 번째로, 각각의 사용자 장비(때때로 이후에 "사용자"로 칭해짐)의 채널 추정 유닛(14)은 그 자체 소유의 채널

널 상태 정보를 추정하고, 그 후에 피드백 유닛(17)이 수신 신호 대 잡음비(SNR)의 최대화에 따라 코드북의 N^b -bit 집합 내의 최상의 프리코딩 벡터를 선택하고, 채널 품질 표시자(CQI) 값을 산출한다.

[0067] 구체적으로는, 노드 B(기지국) 및 각 사용자 장비 양쪽 모두에 공지된 코드북 집합이 $S=[c_0, c_1, \dots, c_{2^b}]$ 로 표시되고, 기지국으로부터 사용자 k로의 채널 상태 정보가 $H_k \in C^{M \times K_k}$ (그 엘리먼트는 공분산을 갖는 레일레이 페이딩(Rayleigh fading)이고, 서로에 대해 독립적임)로 표시되는 것으로 가정한다. 또한, 각 사용자가 그것의 채널 상태 정보 H_k 를 정확하게 추정하는 것으로 가정된다. 편의를 위해, 모든 단말기에서의 잡음 전력은 동일한 것으로, 즉 σ_n^2 로 가정된다. 사용자 k의 피드백 유닛(17)은 이하의 최대 SNR 표준에 따라 최상의 코드북 벡터를 선택한다.

수학식 4

[0068]
$$w_k = \arg \max_{c_i \in S} (\|H_k^H c_i\|_2^2)$$

[0069] 여기에서, “ $(\cdot)^H$ ”은 켈레 연산을 나타낸다. CQI 값은 다음 식에 의해 얻어진다.

수학식 5

[0070]
$$CQI_k = \|H_k^H w_k\|_2^2$$

[0071] 그 후에, 사용자들은 결정된 프리코딩 벡터 인덱스 및 CQI 값을, 전용의 피드백 업링크 채널을 통해 송신 유닛(21)에 의해 기지국에게 피드백한다. 기지국은 모든 사용자들로부터의 프리코딩 벡터 인덱스들 및 CQI들에 대한 정보를 복조한 후, 액티브 사용자 세트를 결정하는데, 즉 이 세트는 다운링크 데이터 송신이 허용된 사용자 인덱스들을 포함한다.

[0072] 액티브 사용자 세트의 결정은 그리디 알고리즘(greedy algorithm)에 따르며, 하기 단계들에 의해 상세히 서술된다.

[0073] 도 6은 제1 실시예의 스케줄 프로세스의 플로우차트이다.

[0074] 도 6에 도시된 바와 같이, ST11에서, 스케줄 유닛(35)은 사용자 장비들로부터 피드백된 CQI들 중에서 가장 큰 CQI를 결정하고, 이에 대응하는 사용자 장비 k_1 을 액티브 사용자 세트에 추가한다.

[0075] ST12에서, 스케줄 유닛(35)은 $ESNR_1$ 으로 표현되는, 액티브 사용자 세트의 유효 SNR을 산출한다.

[0076] ST13에서, 스케줄 유닛(35)은 n 번째($n>1$) 사용자 k_n 을 액티브 사용자 세트에 추가하여, 액티브 사용자 세트의 합계 CQI가 최대가 되게 한다.

[0077] ST14에서, 스케줄 유닛(35)은 $ESNR_n$ 으로 표현된, 액티브 사용자 세트의 유효 SNR을 산출한다.

[0078] ST15에서, 스케줄 유닛(35)은 n 사용자들을 포함하는 액티브 사용자 세트의 유효 SNR($ESNR_n$)이 n-1 사용자들을 포함하는 액티브 사용자 세트의 유효 SNR($ESNR_{n-1}$)보다 더 작은지 여부를 판단한다.

[0079] $ESNR_n < ESNR_{n-1}$ 으로 판단되면, n-1 사용자들을 포함하는 액티브 사용자 세트가 n 사용자들을 포함하는 액티브 사용자 세트보다 바람직하며, 프로세스는 ST16으로 진입하고, 스케줄 유닛(35)은 액티브 사용자 세트에서 새로 추가된 사용자 k_n 을 제거하여, 액티브 사용자 세트가 사용자 $k_1 \sim k_{n-1}$ 를 포함하도록 한다. 그 후 스케줄 유닛(35)의 스케줄 프로세스는 종료한다.

[0080] 한편, ST15에서 $ESNR_n$ 이 $ESNR_{n-1}$ 보다 작지 않은 것으로 판단되면, 프로세스는 ST17로 진행된다. ST17에서, 액티브 사용자 세트에 포함된 사용자들의 수가 K(기지국의 안테나의 수, 즉, 동시 송신이 허가된 사용자들의 수)와 동일한지 여부가 판단된다. $n < K$ 로 판단되면, n은 증가되고, 프로세스는 ST13으로 되돌아가서 그 다음 단계들을 반복한다. 그러나, ST17에서 n이 K보다 작지 않은 것으로 판단되면, 즉, $n=K$ 이면, 스케줄 프로세스는 액티브 사용자 세트가 사용자들 1~n을 포함하는 것으로 종료된다.

[0081] 이제 구체적인 예가 제공될 것이다.

[0082] 첫째, 스케줄 유닛(35)은 다운로드 송신을 위해 가장 큰 CQI 값을 갖는 첫 번째 사용자 k_1 을 선택하는데, 즉

수학식 6

[0083]
$$k_1 = \arg \max_{j=1, \dots, K} (CQI_j * \|w_j\|)$$

[0084] 이고, 유효 ESNR은,

수학식 7

[0085]
$$ESNR_1 = P \cdot CQI_1$$

[0086] 으로 표현되며, 첫 번째 사용자 k_1 만을 포함하는 액티브 사용자 세트의 합계 용량 C_1 은,

수학식 8

[0087]
$$C_1 = \log 2(1 + P * CQI_{k_1} / \sigma_n^2)$$

[0088] 와 같이 산출되며, 여기에서 P는 전체 송신 전력이고, σ_n 는 잡음 전력이다.

[0089] 다음으로, 이하의 식으로 나타낸 바와 같이, 스케줄 유닛(35)은 각 사용자의 CQI 값들에 기초하여 두 번째 사용자 k_2 를 선택하여, 사용자들 k_1 및 k_2 를 포함하는 액티브 사용자 세트의 합계 CQI가 최대가 되게 한다.

수학식 9

[0090]
$$k_2 = \arg \max_{j=1, \dots, K} ((CQI_{k_1} + CQI_j) \cdot \|w_{k_1}\| \cdot \|P_{w_{k_1}}^\perp w_j\|)$$

[0091] 여기에서 $P_{w_{k_1}}^\perp$ 는 w_{k_1} 에 직교하는 칼럼들에 의해 스패닝(spanded) 영 공간(null space)으로의 사영 행렬 (projection matrix)인데, 즉,

수학식 10

[0092]
$$P_{w_{k_1}}^\perp = I - w_{k_1} w_{k_1}^H$$

[0093] 이고, I는 적절한 차원의 항등 행렬(identity matrix)이다.

[0094] 이 두 사용자들 사이에는 전력 할당이 존재하지 않으며, 유효 합계 SNR은,

수학식 11

[0095]
$$ESNR_2 = P/2 \cdot (CQI_{k_1} + CQI_{k_2}) \cdot \|w_{k_1}\| \cdot \|P_{w_{k_1}}^\perp w_{k_2}\|$$

[0096] 으로 표현되며, 이 두 사용자들(k_1, k_2)을 포함하는 액티브 사용자 세트의 대응 합계 용량은,

수학식 12

[0097]
$$C_2 = \log 2 \left(1 + \frac{P/2 * \|H_{k_1}^H w_{k_1}\|^4}{\sigma_n^2 \|H_{k_1}^H w_{k_1}\|^2 + P/2 \|(H_{k_1}^H w_{k_1})^H (H_{k_1}^H w_{k_2})\|^2} \right) + \log 2 \left(1 + \frac{P/2 * \|H_{k_2}^H w_{k_2}\|^4}{\sigma_n^2 \|H_{k_2}^H w_{k_2}\|^2 + P/2 \|(H_{k_2}^H w_{k_2})^H (H_{k_2}^H w_{k_1})\|^2} \right)$$

[0098] 과 같이 산출된다.

[0099] 스케줄 유닛(35)은 $ESNR_2$ 가 $ESNR_1$ 보다 작은지 여부를 판단한다. $ESNR_2$ 가 $ESNR_1$ 보다 작으면, 스케줄 유닛(35)은, 스케줄링 프로세스가 완료되고, 액티브 사용자 세트가 사용자 k_1 만을 포함하는 것으로 판정한다. 한편, $ESNR_2$ 가 $ESNR_1$ 보다 작지 않고, $K>2$ 이면, 스케줄 유닛(35)은 세 번째 사용자의 선택으로 진행한다. 마찬가지로, 이하의 식으로 나타낸 바와 같이, 스케줄 유닛은 사용자들 k_1 , k_2 및 k_3 를 포함하는 액티브 사용자 세트의 합계 CQI가 최대가 되는 방식으로 다운링크 송신을 위한 세 번째 사용자 k_3 를 선택한다.

수학식 13

[0100]
$$k_3 = \arg \max_{j=1, \dots, K} \left((CQI_{k_1} + CQI_{k_2} + CQI_j) \cdot \|w_{k_1}\| \cdot \|P_{w_{k_1}}^\perp w_{k_2}\| \cdot \|P_{[w_{k_1}, w_{k_2}]}^\perp w_j\| \right)$$

[0101] 여기에서, $P_{[w_{k_1}, w_{k_2}]}^\perp$ 은 $[w_{k_1}, w_{k_2}]$ 에 의해 스팬된 칼럼 공간(column space)에 대한 직교 공간(orthogonal space)이다. 세 번째 사용자 k_3 가 결정되면, 유효 합계 SNR은,

수학식 14

[0102]
$$ESNR_3 = P/3 \cdot (CQI_{k_1} + CQI_{k_2} + CQI_{k_3}) \cdot \|w_{k_1}\| \cdot \|P_{w_{k_1}}^\perp w_{k_2}\| \cdot \|P_{[w_{k_1}, w_{k_2}]}^\perp w_{k_3}\|$$

[0103] 으로 표현될 수 있으며, 이 3 사용자들의 대응 합계 용량은,

수학식 15

[0104]
$$C_3 = \log 2 \left(1 + \frac{P/3 \cdot \|H_{k_1}^H w_{k_1}\|^4}{\sigma_n^2 \|H_{k_1}^H w_{k_1}\|^2 + P/3 \|(H_{k_1}^H w_{k_1})^H (H_{k_1}^H w_{k_2})\|^2 + P/3 \|(H_{k_1}^H w_{k_1})^H (H_{k_1}^H w_{k_3})\|^2} \right) +$$

[0105]
$$\log 2 \left(1 + \frac{P/3 \cdot \|H_{k_2}^H w_{k_2}\|^4}{\sigma_n^2 \|H_{k_2}^H w_{k_2}\|^2 + P/3 \|(H_{k_2}^H w_{k_2})^H (H_{k_2}^H w_{k_1})\|^2 + P/3 \|(H_{k_2}^H w_{k_2})^H (H_{k_2}^H w_{k_3})\|^2} \right) +$$

[0106]
$$\log 2 \left(1 + \frac{P/3 \cdot \|H_{k_3}^H w_{k_3}\|^4}{\sigma_n^2 \|H_{k_3}^H w_{k_3}\|^2 + P/3 \|(H_{k_3}^H w_{k_3})^H (H_{k_3}^H w_{k_1})\|^2 + P/3 \|(H_{k_3}^H w_{k_3})^H (H_{k_3}^H w_{k_2})\|^2} \right)$$

[0105] 에 의해 얻어진다.

[0106] 그 후에, 스케줄 유닛(35)은 $ESNR_3$ 이 $ESNR_2$ 보다 작은지 여부를 판단한다. $ESNR_3$ 이 $ESNR_2$ 보다 작다면, 스케줄 유닛(35)은 스케줄링 프로세스가 완료되고, 액티브 사용자 세트가 사용자들 k_1 및 k_2 만을 포함하는 것으로 판정한다. 한편, 만약 $ESNR_3$ 이 $ESNR_2$ 보다 작지않고, $K>3$ 이면, 스케줄 유닛(35)은 네 번째 사용자의 선택으로 진행한다.

[0107] 전술한 바와 같이, 일반적인 의미에서, Q 번째 사용자는

수학식 16

[0108]
$$k_Q = \arg \max_{j=1, \dots, K} \left(\left(\sum_{q=1}^{Q-1} CQI_{k_q} + CQI_j \right) \cdot \text{Volume}(Q) \right)$$

[0109] 에 의해 선택되며, 여기에서, Volume(Q)는 $w_{k_1}, w_{k_2}, \dots, w_j$ 로 구성되는 초-다면체(super-polyhedron)의 체적을 나타낸다. 그러면, 유효 합계 SNR은,

수학식 17

[0110]
$$ESNR_Q = P/Q \cdot \sum_{q=1}^Q CQI_{k_q} \cdot \text{Volume}(Q)$$

- [0111] 에 의해 얻어진다.
 - [0112] Q 번째 사용자가 결정된 후에, $ESNR_Q < ESNR_{Q-1}$ 인지 여부가 판단되며, $ESNR_Q < ESNR_{Q-1}$ 으로 판단되면, 스케줄 프로세스는 종료되고, 액티브 사용자 세트는 사용자들 $k_1 \sim k_{Q-1}$ 을 포함하며, 합계 용량은 그에 따라 산출된다. 한편, $ESNR_Q \geq ESNR_{Q-1}$ 및 $Q < K$ 이면, (Q+1) 번째 사용자의 선택으로 진행된다.
 - [0113] 액티브 사용자 세트의 합계 CQI의 산출시에, 사용자들 사이의 간섭들의 메트릭인 Volume(Q) 항이 도입된 것에 유의한다. 이제 이 항에 대해 상세히 설명할 것이다.
 - [0114] 액티브 사용자 세트 내의 모든 사용자들의 코드워드들이 서로에 대해 직교한다면, 액티브 사용자 세트 내의 사용자들은 서로에 대해 간섭하지 않을 것임을 이해할 수 있다. 그러므로, 액티브 사용자 세트 내의 모든 사용자들의 코드워드들이 서로에 대해 직교하는 것이 바람직하다.
 - [0115] 본 발명에서, 합계 CQI 산출시에, 코드워드들 사이의 직교성을 반영하는 항, 즉 Volume(Q)는 액티브 사용자 세트의 합계 CQI와 곱해진다.
 - [0116] 코드워드들 사이의 직교성은 코드워드들의 벡터들로 구성되는 다면체의 체적으로 표현될 수 있다.
 - [0117] 도 7의 (A)에 도시된 바와 같이, 2 사용자들(k_1, k_2)의 경우, 다면체는 사각형으로 축소되고, Volume(Q)는 수학식 9 및 10에 표시된 바와 같이, 이 사각형의 영역, 즉, $\|w_{k_1}\| \cdot \|P_{w_{k_1}}^\perp w_{k_2}\|$ 으로서 산출될 수 있다. 이 경우에, $\|w_{k_1}\| \cdot \|P_{w_{k_1}}^\perp w_{k_2}\| = 0$ 은, 사용자들 k_1, k_2 의 코드워드들(w_{k_1}, w_{k_2})이 일치하는 것을 의미하며, 이것은 회피되어야 한다. 한편, $\|w_{k_1}\| \cdot \|P_{w_{k_1}}^\perp w_{k_2}\| = 1$ 은, w_{k_1}, w_{k_2} 가 서로에 대해 직교하는 것을 의미하며, 이것은 바람직하다.
 - [0118] 도 7의 (B)에 도시된 바와 같이, 3 사용자들 (k_1, k_2, k_3)의 경우, 다면체는 육면체가 되고, Volume(Q)는 수학식 13 및 14에 표시된 바와 같이, 육면체의 체적, 즉, $\|w_{k_1}\| \cdot \|P_{w_{k_1}, w_{k_2}}^\perp w_{k_3}\|$ 으로서 산출될 수 있다. $\|w_{k_1}\| \cdot \|P_{w_{k_1}, w_{k_2}}^\perp w_{k_3}\| = 0$ 인 경우에, 세 코드워드들($w_{k_1}, w_{k_2}, w_{k_3}$)은 육면체를 구성할 수 없는데, 이것은 코드워드 집합에서 적어도 2개의 코드워드들이 일치하는 것을 의미한다. 한편, $\|w_{k_1}\| \cdot \|P_{w_{k_1}, w_{k_2}}^\perp w_{k_3}\| = 1$ 은 w_{k_1}, w_{k_2} 및 w_{k_3} 가 서로에 대해 직교하고, 서로에 대해서 간섭하지 않는 것을 의미하는데, 이것은 바람직하다.
 - [0119] 넷 이상의 사용자들의 경우, 코드워드들이 초-다면체를 구성하며, 이 초 다면체의 체적 Volume(Q)는 전술한 바와 마찬가지로 산출될 수 있다. 다시 말하면, Volume(Q)=0은 코드워드 집합에서 적어도 2개의 코드워드들이 일치하는 것을 의미하고, Volume(Q)=1은 그 집합 내의 모든 코드워드들이 서로에 대해 직교한다는 것을 의미한다.
 - [0120] 이 Volume(Q)라는 항이 도입됨으로써, 코드워드들 사이의 직교성은 액티브 사용자 세트의 합계 CQI 및 합계 용량의 산출시에 고려되게 된다. 그러므로 액티브 사용자 세트의 합계 CQI 및 합계 용량은 더욱 정확히 산출된다.
 - [0121] 전술한 바와 같이, 기지국의 스케줄 유닛(35)은 액티브 사용자 세트 $S_{active} = [k_1, \dots, k_Q]$ 을 결정하고, 그 후에 기지국은 사용자들의 데이터를 송신하기 위해 다운링크 빔포밍(beamforming)을 수행한다.
 - [0122] 기본적으로, 다운링크 송신을 위한 빔포밍에는 두 가지 종류가 있다.
 - [0123] 1. PVI 빔포밍
 - [0124] 기지국은 사용자 장비들에 의해 피드백되는 코드북 내의 프리코딩 벡터를 직접 적용하는데, 즉, 사용되는 송신 빔포밍 가중치 $v_{k_q} = w_{k_q}$ 이며, 기지국에서의 송신 신호 $y(t)$ 는,
- 수학식 18**
- $$y(t) = \sum_{q=1}^Q P_Q v_{k_q} s_{k_q}$$
- [0125] 으로 표현된다.
 - [0126] 으로 표현된다.

- [0127] 2. 제로-포싱(Zero-forcing) 빔포밍
- [0128] 기지국이 제로-포싱 전처리(pre-processing)에 의해 송신 빔포밍 가중치를 결정하는데, 여기서 k_q 번째 사용자 v_{k_q} 에게 적용된 가중치는 하기 행렬의 q 번째 칼럼이다.

수학식 19

[0129]
$$Z = [w_{k_1}, \dots, w_{k_q}] * ([w_{k_1}, \dots, w_{k_q}]^H [w_{k_1}, \dots, w_{k_q}])^{-1} * [w_{k_1}, \dots, w_{k_q}]$$

[0130] 본 발명의 제1 실시예에 따르면, 사용자 장비들은, 최대 SNR을 생기게 하는 PVI 및 PVI에 대응하는 CQI 값을 기지국에 피드백하며, 기지국은, 사용자 장비들로부터 피드백된 PVI들 및 CQI 값들에 기초하여, 시스템의 유효 합계 SNR이 최대가 되는 방식으로, 복수의 사용자 장비들로부터 적어도 하나의 사용자를 선택한다. 이 구성에 의해, 사용자들은 적절히 스케줄될 수 있으며, 그 결과 시스템의 효율은 최적화되게 된다.

[0131] [제2 실시예]

[0132] 제1 실시예에서는, 스케줄 유닛(35)이 액티브 사용자 세트의 유효 합계 SNR에 기초하여 반복의 끝을 판단하는 반면에, 제2 실시예에서는, 스케줄 유닛(35)이 합계 용량에 기초하여 액티브 사용자 세트를 결정한다.

[0133] 제2 실시예는 다음과 같이 상세히 설명될 것이다. 제2 실시예의 SU-MIMO 통신 시스템의 구조는 제1 실시예의 구조와 동일하고, 제1 실시예와 제2 실시예의 차이는 기지국의 스케줄 유닛의 스케줄 프로세스에 있다. 이어지는 설명에서는, 제1 실시예의 참조 부호들을 이용하고, 동일한 부분들에 대한 설명은 생략되며, 다른 부분들에 큰 비중을 두어 설명한다.

[0134] 제1 실시예와 동일하게, 각 사용자 단말기는 그 자체 소유의 채널 상태 정보를 추정한 후, 수신 신호 대 잡음비(SNR)의 최대화에 따라 코드북의 N^b -bit 집합에서 최상의 프리코딩 벡터를 선택하고 채널 품질 표시자(CQI) 값을 산출하고, 개개의 선택된 프리코딩 벡터 인덱스 및 CQI 값을 기지국에 피드백한다.

[0135] 도 8은 제2 실시예의 스케줄 프로세스의 플로우차트를 나타낸다.

[0136] 도 8에 도시된 바와 같이, ST21에서, 스케줄 유닛(35)은 사용자 장비들로부터 피드백된 CQI들 중에서 가장 큰 CQI를 결정하고, 이에 대응하는 사용자 k_1 을 액티브 사용자 세트에 추가한다.

[0137] ST22에서, 스케줄 유닛(35)은, C_1 으로 표현되는, 사용자 k_1 만을 포함하는 액티브 사용자 세트의 용량을 산출한다.

[0138] ST23에서, 스케줄 유닛(35)은 $n(n>1)$ 번째 사용자 k_n 을 액티브 사용자 세트에 추가하여, 액티브 사용자 세트의 합계 CQI가 최대가 되도록 한다.

[0139] ST24에서, 스케줄 유닛(35)은, C_n 으로 표현되는, 액티브 사용자 세트의 합계 용량을 산출한다.

[0140] ST25에서, 스케줄 유닛(35)은 n 사용자들을 포함하는 액티브 사용자 세트의 합계 용량(C_n)이 $n-1$ 사용자들을 포함하는 액티브 사용자 세트의 합계 용량(C_{n-1})보다 더 작은지 여부를 판단한다.

[0141] $C_n < C_{n-1}$ 으로 판단되면, $n-1$ 사용자들을 포함하는 액티브 사용자 세트가 n 사용자들을 포함하는 액티브 사용자 세트보다 바람직하며, 프로세스는 ST16으로 진입하고, 스케줄 유닛(35)은 새로 추가된 사용자 k_n 을 액티브 사용자 세트로부터 제거하여, 액티브 사용자 세트가 사용자 $k_1 \sim k_{n-1}$ 을 포함하도록 한다. 그 후 스케줄 유닛(35)의 스케줄 프로세스는 종료한다.

[0142] 한편, ST25에서, C_n 이 C_{n-1} 보다 작지 않은 것으로 판단되면, 프로세스는 ST27로 진행된다. ST27에서, 액티브 사용자 세트에 포함된 사용자들의 수가 K (기지국의 안테나들의 수, 즉, 동시 송신이 허용된 사용자들의 수)와 동일한지 여부가 판단된다. $n < K$ 로 판단되면, n 은 증가되고, 프로세스는 ST23으로 되돌아가서 그 다음의 단계들을 반복한다. 그러나, ST27에서 n 이 K 보다 작지 않은 것으로 판단되면, 즉, $n=K$ 이면, 스케줄 프로세스는, 액티브 사용자 세트가 사용자들 $1 \sim n$ 을 포함하는 것으로 종료된다.

[0143] 이제 구체적인 예가 제공될 것이다.

[0144] 첫 번째로, 스케줄 유닛(35)은 다운링크 송신을 위해 가장 큰 CQI 값을 갖는 첫 번째 사용자 k_1 을 선택하는데,

즉

수학식 20

$$k_1 = \arg \max_{j=1, \dots, K} (CQI_j \cdot \|w_j\|)$$

이 고, 첫 번째 사용자 k_1 만을 포함하는 액티브 사용자 세트의 합계 용량 C_1 은 다음과 같이 산출된다.

수학식 21

$$C_1 = \log 2(1 + P \cdot CQI_{k_1} / \sigma_n^2)$$

여기에서, P 는 전체 송신 전력이고, σ_n 은 잡음 전력이다.

다음으로, 이하의 식에 의해 표현되는 바와 같이, 스케줄 유닛(35)은 각 사용자의 CQI 값에 기초하여 두 번째 사용자 k_2 를 선택하여, 사용자들 k_1 및 k_2 를 포함하는 액티브 사용자 세트의 합계 CQI가 최대가 되도록 한다.

수학식 22

$$k_2 = \arg \max_{j=1, \dots, K} ((CQI_{k_1} + CQI_j) \cdot \|w_{k_1}\| \cdot \|P_{w_{k_1}}^\perp w_j\|)$$

이 두 사용자들 사이의 전력 할당은 존재하지 않는 것으로 가정한다. 이 두 사용자들(k_1, k_2)을 포함하는 액티브 사용자 세트의 합계 용량은 다음과 같이 산출된다.

수학식 23

$$C_2 = \log 2 \left(1 + \frac{P/2 \cdot \|H_{k_1}^H w_{k_1}\|^4}{\sigma_n^2 \|H_{k_1}^H w_{k_1}\|^2 + P/2 \cdot \|(H_{k_1}^H w_{k_1})^H (H_{k_1}^H w_{k_2})\|^2} \right) + \log 2 \left(1 + \frac{P/2 \cdot \|H_{k_2}^H w_{k_2}\|^4}{\sigma_n^2 \|H_{k_2}^H w_{k_2}\|^2 + P/2 \cdot \|(H_{k_2}^H w_{k_2})^H (H_{k_2}^H w_{k_1})\|^2} \right)$$

스케줄 유닛(35)은, 합계 용량 C_2 가 C_1 보다 더 작은지 여부를 판단한다. C_2 가 C_1 보다 작다면, 스케줄 유닛(35)은 스케줄링 프로세스가 완료되고, 액티브 사용자 세트가 사용자 k_1 만 포함하는 것으로 결정한다. 한편, C_2 가 C_1 보다 작지 않고 $K > 2$ 이면, 스케줄 유닛(35)은 세 번째 사용자의 선택으로 진행한다.

마찬가지로, 이하의 식에 의해 표현되는 바와 같이, 스케줄 유닛은, 사용자 k_1, k_2 및 k_3 를 포함하는 액티브 사용자 세트의 합계 CQI가 최대로 되도록 하는 방식으로, 다운링크 송신을 위한 세 번째 사용자 k_3 를 선택한다.

수학식 24

$$k_3 = \arg \max_{j=1, \dots, K} ((CQI_{k_1} + CQI_{k_2} + CQI_j) \cdot \|w_{k_1}\| \cdot \|P_{w_{k_1}}^\perp w_{k_2}\| \cdot \|P_{[w_{k_1}, w_{k_2}]}^\perp w_j\|)$$

이 3 사용자의 합계 용량은,

수학식 25

$$C_3 = \log 2 \left(1 + \frac{P/3 * \|H_{k_1}^H w_{k_1}\|^4}{\sigma_n^2 \|H_{k_1}^H w_{k_1}\|^2 + P/3 \|(H_{k_1}^H w_{k_1})^H (H_{k_1}^H w_{k_2})\|^2 + P/3 \|(H_{k_1}^H w_{k_1})^H (H_{k_1}^H w_{k_3})\|^2} \right) +$$

$$\log 2 \left(1 + \frac{P/3 * \|H_{k_2}^H w_{k_2}\|^4}{\sigma_n^2 \|H_{k_2}^H w_{k_2}\|^2 + P/3 \|(H_{k_2}^H w_{k_2})^H (H_{k_2}^H w_{k_1})\|^2 + P/3 \|(H_{k_2}^H w_{k_2})^H (H_{k_2}^H w_{k_3})\|^2} \right)$$

$$\log 2 \left(1 + \frac{P/3 * \|H_{k_3}^H w_{k_3}\|^4}{\sigma_n^2 \|H_{k_3}^H w_{k_3}\|^2 + P/3 \|(H_{k_3}^H w_{k_3})^H (H_{k_3}^H w_{k_1})\|^2 + P/3 \|(H_{k_3}^H w_{k_3})^H (H_{k_3}^H w_{k_2})\|^2} \right)$$

[0157]

[0158]

[0159]

[0160]

에 의해 주어진다.

그 후, 스케줄 유닛(35)은 C_3 가 C_2 보다 작은지 여부를 판단한다. C_3 가 C_2 보다 작으면, 스케줄 유닛(35)은 스케줄링 프로세스가 완료되고, 액티브 사용자 세트가 사용자들 k_1 및 k_2 만을 포함하는 것으로 결정한다. 한편, C_3 가 C_2 보다 작지 않고 $K > 3$ 이면, 스케줄 유닛(35)은 네 번째 사용자의 선택으로 진행한다.

전술한 바와 같이, 일반적인 의미에서, Q 번째 사용자는,

수학식 26

$$k_Q = \arg \max_{j=1, \dots, K} \left(\sum_{q=1}^{Q-1} CQI_{k_q} + CQI_j \right) \cdot \text{Volume}(Q)$$

[0161]

[0162]

[0163]

[0164]

[0165]

[0166]

[0167]

[0168]

[0169]

에 의해 선택된다. 이 k_Q 사용자들의 대응 합계 용량은 수학식 25와 유사하게 산출될 수 있으며, C_Q 로 표현된다.

Q 번째 사용자가 결정된 후에, $C_Q < C_{Q-1}$ 인지 여부가 판단되며, 만약 $C_Q < C_{Q-1}$ 로 판단되는 경우, 스케줄 프로세스는 종료되고, 액티브 사용자 세트는 사용자들 k_1 - k_{Q-1} 을 포함하고, 합계 용량은 C_{Q-1} 이다. 한편, $C_Q > C_{Q-1}$ 이고 $K > Q$ 이면, Q+1 번째의 사용자 선택으로 진행된다.

기지국의 이어지는 프로세스는 제1 실시예에서 설명된 것과 동일하므로, 여기서는 상세한 설명은 생략한다.

본 발명의 제2 실시예에 따르면, 사용자 장비들은, 최대 SNR이 발생되게 하는 PVI 및 이 PVI에 대응하는 CQI 값을 기지국에 피드백하고, 기지국은, 시스템의 합계 용량이 최대가 되는 방식으로, 사용자 장비들로부터 피드백된 PVI들 및 CQI 값들에 기초하여 복수의 사용자 장비들에서 적어도 하나의 사용자를 선택한다. 이러한 구성에 의해, 사용자들은 적절하게 스케줄링될 수 있어서, 시스템의 효율이 최적화된다.

[그 밖의 다른 실시예들]

전술한 제1 및 제2 실시예들에서, 통신 시스템은 OFDM 무선 통신 시스템으로 예시되었다. 그러나, 본 발명은 OFDM 시스템으로 제한되지 않으며, 오히려, 본 발명은 다중화 스킴에 독립적이고, 어떠한 MIMO 통신 시스템에도 적용될 수 있다.

전술한 제1 및 제2 실시예들에서, 사용자 장비의 수신 안테나들의 개수는 1로 예시되었으나, 본 발명은 사용자 장비의 수신 안테나들의 개수에 독립적이고, 본 발명은 둘 이상의 수신 안테나들을 갖는 사용자 장비에도 적용될 수 있다.

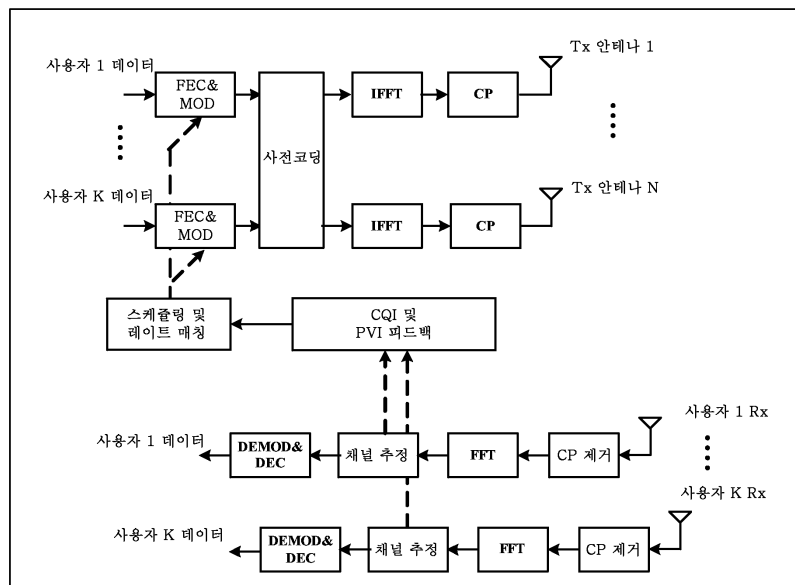
본 발명이 특정한 실시예들을 참고하여 설명되었지만, 본 기술분야에 통상의 지식을 가진 자라면, 본 발명의 범주를 벗어나지 않고, 다양한 변경이 실시될 수 있고, 등가물들이 대응될 수 있음을 알 것이다. 또한, 본 발명의 범주를 벗어나지 않고, 본 발명의 교시물에 대해 특정 상황 또는 재료를 적용시키도록 많은 변경이 실시될 수 있다. 따라서, 본 발명은 개시된 특정한 실시예에 한정되는 것이 아니라, 첨부된 특허청구범위의 범주 내에 해당되는 모든 실시예를 포함함을 의도하는 것이다.

도면의 간단한 설명

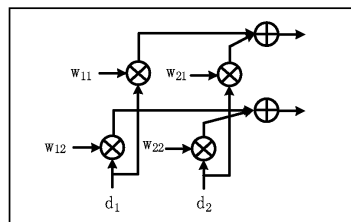
- [0045] 도 1은 관련 기술의 MU-MIMO 프리코딩 스킴을 개략적으로 나타낸 도면.
- [0046] 도 2는 2-사용자 2-Tx MU-MIMO를 위한 프리코딩 스킴의 일례를 나타낸 도면.
- [0047] 도 3은 제1 실시예의 사용자 장비의 개략적인 블록도.
- [0048] 도 4는 피드백 유닛의 개략적인 블록도.
- [0049] 도 5는 제1 실시예의 기지국의 개략적인 블록도.
- [0050] 도 6은 제1 실시예의 스케줄 유닛의 스케줄 프로세스의 플로우차트.
- [0051] 도 7은 코드워드들 사이의 직교성의 평가를 예시하는 개념도.
- [0052] 도 8은 제2 실시예의 스케줄 유닛의 스케줄 프로세스의 플로우차트.

도면

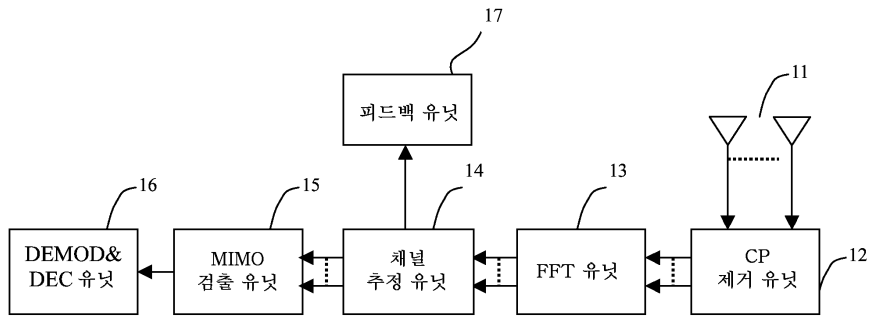
도면1



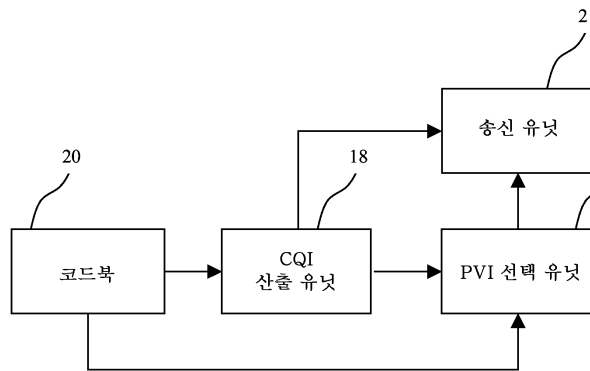
도면2



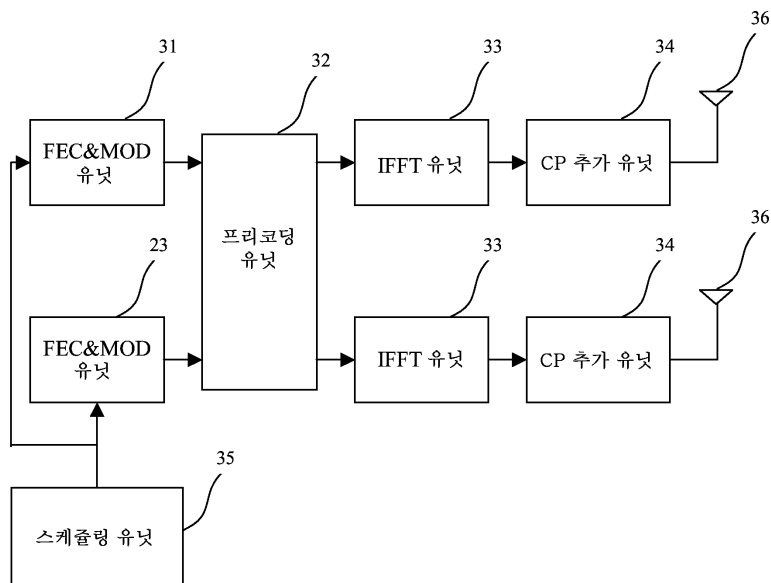
도면3



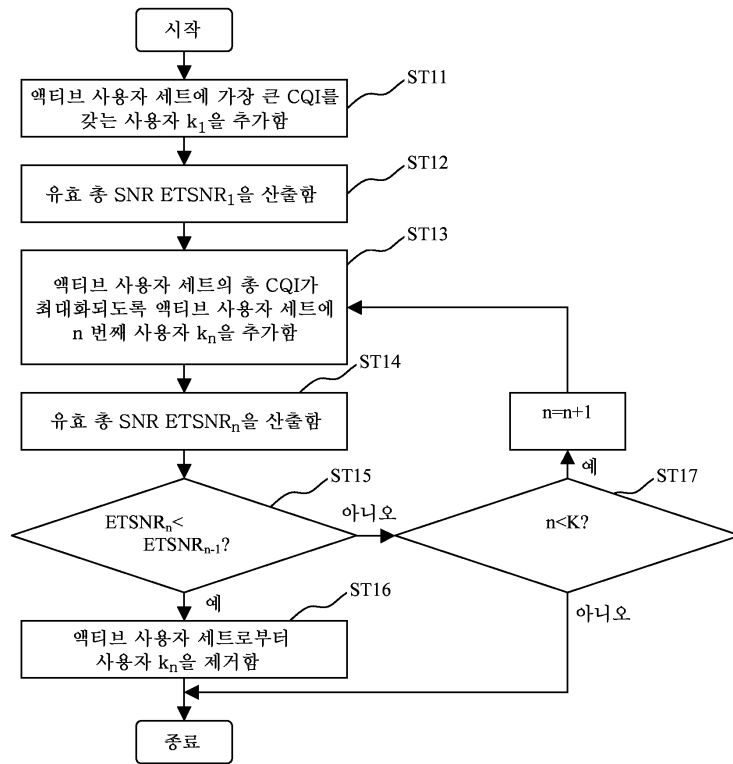
도면4



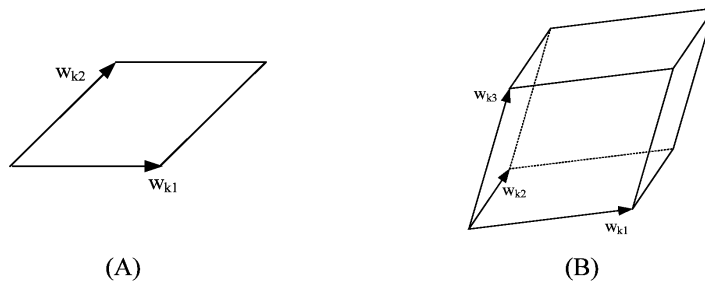
도면5



도면6



도면7



도면8

