



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2014년04월04일  
 (11) 등록번호 10-1381130  
 (24) 등록일자 2014년03월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*H04B 7/04* (2006.01) *H04W 72/12* (2009.01)  
 (21) 출원번호 10-2010-7006736  
 (22) 출원일자(국제) 2008년08월15일  
 심사청구일자 2013년03월20일  
 (85) 번역문제출일자 2010년03월26일  
 (65) 공개번호 10-2010-0057879  
 (43) 공개일자 2010년06월01일  
 (86) 국제출원번호 PCT/CN2008/001473  
 (87) 국제공개번호 WO 2009/030102  
 국제공개일자 2009년03월12일  
 (30) 우선권주장  
 200710045530.8 2007년08월29일 중국(CN)  
 (56) 선행기술조사문헌  
 CN101613201 A  
 CN101592144 A  
 전체 청구항 수 : 총 16 항

(73) 특허권자  
**알까멜 루슨트**  
 프랑스 75007 파리 옥타브 그레드 에비뉴 3  
 (72) 발명자  
**유, 킵**  
 중국 상하이 201206 푸둥 신쿠 닝키아오 로드 38  
 8호  
**왕, 레이**  
 중국 상하이 201206 푸둥 신쿠 닝키아오 로드 38  
 8호  
 (74) 대리인  
**장훈**

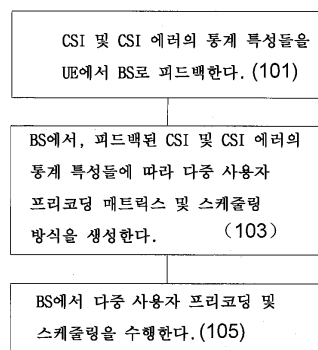
심사관 : 유재천

(54) 발명의 명칭 **다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링 방법 및 이를 구현하는 기지국**

**(57) 요약**

본 발명은 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링 방법에 있어서, 채널 상태 정보(CSI) 및 CSI 에러의 통계 특성들을 사용자 장비(UE)에서 기지국(BS)에 피드백하는 단계(101); 상기 BS에서, 상기 피드백된 CSI 및 CSI 에러의 상기 통계 특성들에 따라 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식을 생성하는 단계(103); 및 상기 생성된 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식을 사용함으로써 사용자 데이터에 관해 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링을 수행하는 단계(105)를 포함하는, 방법을 제공한다. 기지국은 상기 방법을 구현하기 위해 이용된다.

**대표도** - 도1



**특허청구의 범위**

**청구항 1**

다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링 방법에 있어서,  
 채널 상태 정보(CSI) 및 CSI 에러의 통계 특성들을 사용자 장비(UE)에서 기지국(BS)에 피드백하는 단계;  
 상기 BS에서, 상기 피드백된 CSI 및 CSI 에러의 상기 통계 특성들에 따라 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식을 생성하는 단계; 및  
 상기 생성된 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식을 사용함으로써 사용자 데이터에 관해 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링을 수행하는 단계를 포함하는, 방법.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,  
 상기 CSI는 채널 매트릭스의 추정값인, 방법.

**청구항 3**

제 2 항에 있어서,  
 상기 CSI 에러의 통계 특성들은 상기 채널 매트릭스의 상기 추정값의 에러의 공분산 매트릭스를 포함하는, 방법.

**청구항 4**

제 1 항에 있어서,  
 상기 다중 사용자 프리코딩은 최소 평균 제곱 오차(MMSE)형 알고리즘을 사용하는, 방법.

**청구항 5**

제 4 항에 있어서,  
 상기 MMSE형 알고리즘은 연속 MMSE 알고리즘인, 방법.

**청구항 6**

제 1 항에 있어서,  
 상기 다중 사용자 스케줄링은 용량 최대화 기준을 이용하는, 방법.

**청구항 7**

제 1 항에 있어서,  
 상기 CSI 에러의 통계 특성들은 채널 추정값 에러, 피드백 에러 및 양자화 에러를 측정함으로써 얻어지며, 이후 수신기로부터 송신기에 피드백되는, 방법.

**청구항 8**

제 1 항에 있어서,  
 상기 방법은 다중 사용자 복수입력 복수출력(MU-MIMO) 통신 시스템에서 사용되는, 방법.

**청구항 9**

기지국에 있어서,  
 사용자 장비(UE)로부터 피드백되는 CSI 에러의 통계 특성들 및 CSI를 수신하는 수신 디바이스;

상기 피드백된 CSI 및 상기 CSI 에러의 통계 특성들에 따라 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식을 생성하기 위한 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식 생성 디바이스; 및

상기 생성된 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식을 이용함으로써 사용자 데이터에 관해 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링을 수행하기 위한 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링 디바이스를 포함하는, 기지국.

**청구항 10**

제 9 항에 있어서,

상기 CSI는 채널 매트릭스의 추정값인, 기지국.

**청구항 11**

제 10 항에 있어서,

상기 CSI 에러의 통계 특성들은 상기 채널 매트릭스의 상기 추정값의 에러의 공분산 매트릭스를 포함하는, 기지국.

**청구항 12**

제 9 항에 있어서,

상기 다중 사용자 프리코딩은 최소 평균 제곱 오차(MMSE)형 알고리즘을 이용하는, 기지국.

**청구항 13**

제 12 항에 있어서,

상기 MMSE형 알고리즘은 연속 MMSE 알고리즘인, 기지국.

**청구항 14**

제 9 항에 있어서,

상기 다중 사용자 스케줄링은 용량-최대화 기준을 이용하는, 기지국.

**청구항 15**

제 9 항에 있어서,

상기 CSI 에러의 통계 특성들은 채널 추정값 에러, 피드백 에러 및 양자화 에러를 측정함으로써 얻어지며, 이후 수신기로부터 송신기에 피드백되는, 기지국.

**청구항 16**

제 9 항에 있어서,

상기 기지국은 다중 사용자 복수입력 복수출력(MU-MIMO) 통신 시스템에서 이용되는, 기지국.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 무선 복수 입력 복수 출력(MIMO) 통신 시스템에 관한 것으로, 특히 채널 상태 정보(피드백 양자화, 피드백 지연 등과 같은 다양한 팩터들에 기인하여 부정확할 수 있는 CSI) 및 사용자측으로부터 피드백된 CSI 에러의 통계 특성들을 사용함으로써 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링(multiuser precoding and scheduling)을 위한 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식을 생성할 수 있는 다중 사용자(MU) 프리코딩 및 스케줄링 방법에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 최근, MU-MIMO는 단일 안테나 사용자들(SU)에 작동하면서도 MIMO 잇점들을 유지하는 능력뿐만 아니라 용량에

서 잇점에 기인하여 많은 관심을 끌었다.

[0003] SU-MIMO에 비해, MU-MIMO의 전송 처리는 다른 사용자들과 조인트 동작없이 각 사용자가 자신의 메시지들을 독립적으로 디코딩해야 하는 사실에 기인하여 복잡하다. 핵심 문제는 사용자들 간에 코-채널 간섭(CCI)을 해결하는 방법이다.

[0004] 이 문제를 해결하기 위해서, 사용자들간에 CCI를 제어 또는 완전히 회피하기 위해 MU-MIMO 시스템에서는 다중 사용자 프리코딩(precoding) 기술들이 사용되어 각 사용자는 다른 사용자들로부터 간섭이 전혀 없거나 제한된 간섭만을 받는다. CCI의 완전한 회피 또는 효과적인 제어를 위해서는, 모든 사용자들에 대한 완전한 CSI가 송신기에서 요구되는데, 이것은 실제 시스템들엔 비현실적인 가정일 뿐이다. 실제로, 완전한 CSI는 달성되기가 어렵고, 따라서 송신기에서는 불완전한 CSI가 항상 사용된다. 이러한 불완전한 CSI로는 사용자들간에 CCI는 제로-포싱(zero-forcing)형 프리코딩 알고리즘들을 사용하더라도 완전히 회피될 수 없다. 불완전한 CSI에 기인한 잔여 CCI는 최대-가능성(ML) 또는 최소-평균-제곱-오차(MMSE) 검출과 같은 일반적인 간섭-억압 방법들에 의해 수신기에서 억제될 수 없다. 결국, CCI는 평균 파워가 총 전송 파워 증가에 따라 커지는 부가성 잡음으로서 간주될 수 있을 뿐이다. CCI의 이러한 특징은 특히 고 SNR들에서 MU-MIMO의 성능을 현격히 제약시킨다.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0005] 송신기에서 불완전한 CSI에 기인한 잔여 CCI에 의해 야기되는 MU-MIMO 성능의 열화를 해결하기 위해서, 본 발명은 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링을 위한 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식이 사용자로부터 피드백된 CSI 정보 및 CSI 에러의 통계 특성들을 사용함으로써 생성되는 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링의 방법을 제공한다. 이에 따라 생성된 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식은 송신기에서 채널 정보가 불완전한 상황에 적용할 수 있고 잔여 CCI를 감소시키며 불완전한 CSI에 기인한 MU-MIMO 성능의 열화를 감소시킨다.

#### 과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 목적은 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링 방법으로서, 채널 상태 정보(CSI) 및 CSI 에러의 통계 특성들을 사용자 장비(UE)로부터 기지국(BS)에 피드백하는 단계; 상기 BS에서, 상기 피드백된 CSI 및 CSI 에러의 상기 통계 특성들에 따라 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식을 생성하는 단계; 및 상기 생성된 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식을 사용함으로써 사용자 데이터에 관해 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링을 수행하는 단계를 포함하는, 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링 방법을 제공하는 것이다.

[0007] 바람직하게, 상기 CSI는 채널 매트릭스의 추정값이다.

[0008] 바람직하게, 상기 CSI 에러의 통계 특성들은 상기 채널 매트릭스의 상기 추정값의 에러의 공분산 매트릭스(covariance matrix)를 포함한다.

[0009] 바람직하게, 상기 다중 사용자 프리코딩은 최소 평균 제곱 오차(MMSE)형 알고리즘을 사용한다.

[0010] 바람직하게, 상기 MMSE형 알고리즘은 연속 MMSE 알고리즘이다.

[0011] 바람직하게, 상기 다중 사용자 스케줄링은 용량 최대화 기준을 사용한다.

[0012] 바람직하게, 상기 CSI 에러의 통계 특성들은 채널 추정값 에러, 피드백 에러 및 양자화 에러를 측정함으로써 얻어진다.

[0013] 바람직하게, 상기 방법은 MU-MIMO 통신 시스템에서 사용된다.

[0014] 또한, 본 발명은: 기지국에 있어서, 사용자 장비(UE)로부터 피드백되는 CSI 에러의 통계 특성들 및 CSI를 수신하는 수신 디바이스; 상기 피드백된 CSI 및 CSI 에러의 통계 특성들에 따라 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식을 생성하기 위한 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식 생성 디바이스; 및 상기 생성된 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식을 사용함으로써 사용자 데이터에 관해 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링을 수행하기 위한 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링 디바이스를 포함하는, 상기 기지국을 제공한다.

[0015] 본 발명의 목적들, 잇점들 및 특징들은 도면들에 관련하여 바람직한 실시예들의 설명들에 따라 더 명백해질 것이다.

**발명의 효과**

[0016] 본 발명에 따라 생성된 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식은 송신기에서 채널 정보가 불완전한 상황에 적용할 수 있고 잔여 CCI를 감소시키며 불완전한 CSI에 기인한 MU-MIMO 성능의 열화를 감소시킨다.

**도면의 간단한 설명**

[0017] 도 1은 본 발명에 따른 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링의 방법의 흐름도.  
 도 2는 본 발명에 따른 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링의 방법을 구현하기 위한 BS의 블록도.  
 도 3 및 도 4는 본 발명에 따른 방법과 종래 기술의 방법간에 성능 비교의 그래프들을 도시한 도면.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0018] 불완전한 CSI로는, 송신기는 다중 사용자 채널에 정확히 매칭하는 다중 사용자 프리코딩 매트릭스를 생성할 수 없다. 이러한 미스매칭은 사용자들간에 부가성 CCI로 이어지며, 이것은 전송 파워에 따라 증가하며 특히 고 SNR 들에 MU-MIMO의 성능을 심각히 제약시킨다. CSI 에러에 의해 야기되는 CCI는 최대-가능성(ML) 및 MMSE 검출과 같은 일반적인 간섭-억압 방법들에 의해 수신기에서 억압될 수 없다. 효과는 부가성 잡음의 증가와 유사하다. 본 발명의 기본 생각은 이러한 CCI 레벨과 프리코딩/스케줄링 결과들 간에 관계를 조사하고 이 관계를 사용하여 프리코딩 및 스케줄링 알고리즘들을 조절하여 불완전한 CSI 환경에 더 적합하게 하는 것이다. 본 발명에 따라서, CSI 에러에 기인한 CCI 레벨을 더 잘 제어하고 송신기에서 불완전한 CSI로 MU-MIMO 성능을 개선하기 위해 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링의 방법이 제공된다.

[0019] 본 발명에서, CSI 에러의 통계 특성들이 송신기에서 사용될 수 있는 것으로 가정된다. 다중 사용자 프리코딩에 있어서는, MMSE 유형 알고리즘이 간섭과 잡음을 밸런싱하는 능력에 기인하여 이 알고리즘이 일반적으로 사용된다. 여기에서, CSI 에러에 의해 야기되는 CCI는 AWGN(부가성 백색 가우시안 잡음)으로서 간주될 수 있고, CSI 에러의 평균 파워와 프리코딩/필터링 매트릭스간에 관계는 CSI 에러의 분산 매트릭스에 기초하여 확립될 수 있다. 이어서, MMSE 기준에 따라 CCI 레벨, 프리코딩 및 필터링 매트릭스들이 조인트하여 최적화된다.

[0020] 본 발명에서, 다중 사용자 스케줄링에 대해서, 용량-최대화 기준을 채택하고 최대 달성가능한 합 용량을 가진 사용자/모드 서브세트를 선택한다. 유사하게, 각각의 사용자/모드 서브세트에 대한 합 용량을 추정할 때 CCI를 AWGN으로서 간주함으로써, 스케줄링 동작을 조절하기 위해서 CSI 에러에 관계된 CCI 레벨과 사용자/모드 선택 간에 관계가 확립되어 사용될 수 있다.

[0021] 이하, 본 발명에 따른 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링의 방법의 원리를 상세히 기술할 것이다.

**[0022] 채널 모델**

[0023] BS에  $N_T$  송신 안테나들과 각각이  $N_R$  수신 안테나들을 가진 동일 시간-주파수 자원으로 동일 BS로부터 서비스를 수신하는 K 사용자들이 있는 다중 사용자 MIMO 시스템의 다운링크를 고찰한다. (K는 공간적 처리에 의해 동일 시간-슬롯 및 주파수 대역으로 서비스를 받는 사용자들의 수입에 유의한다. 한 셀 내 사용자들의 총 수는 K보다 훨씬 클 수도 있다).

[0024] 모든 사용자들에 대해 주파수가 평탄한 페이딩을 가정하면, 사용자 k에 대한 채널 매트릭스는  $H_k = [h_{k,n}^{(m)}]$ 로 표기되고, 여기서  $h_{k,n}^{(m)}$ 는 제 n 송신 안테나와 사용자 k의 제 m 수신 안테나 간에 페이딩 계수이다. 사용자 k에 전용되는 데이터 스트림들의 수는  $s_k$ 로 표기한다.  $s_k \leq N_R$  및  $\sum_{k=1}^K s_k \leq N_T$ 이라고 항시 가정한다. 먼저, 사용자 k에 대해 길이  $s_k$ 의 데이터 벡터  $x_k$ 에  $N_T \times s_k$  프리코딩 매트릭스  $T_k$ 를 곱하여  $N_T$  안테나들로부터 전송하기 위해 길이  $N_T$ 의 심볼 벡터로 선형 변환된다. K 사용자들에 대한 길이  $N_T$  심볼 벡터들은 선형으로 중첩되어 동시에 안테나 어레이로부터 채널로 전송된다. 여기에서,  $x_k$ 의 원소들은 독립적이며 제로의 평균과 단위 편차를 갖고 동등하게 분포되는 것이 항시 가정된다. 그러면 총 전송 파워는 다음에 의해 주어진다.

$$P_T = \sum_{k=1}^K E(\|T_k x_k\|^2) = \sum_{k=1}^K \text{trace}(T_k^H T_k) \quad (1)$$

[0025]

[0026]

각각의 사용자 k에 대해, 수신된 신호 벡터는 다음과 같다.

$$y_k = H_k \sum_{k'=1}^K T_{k'} x_{k'} + n_k = H_k T_k x_k + H_k \sum_{k' \neq k} T_{k'} x_{k'} + n_k \quad (2)$$

[0027]

[0028]

여기서  $n_k$ 는 제로 평균과  $\sigma^2 = N_0/2$ 의 분산을 갖는 AWGN 프로세스의 샘플들의 벡터이다. 각각의 사용자 k는 다음 식에 의해 주어지는 바와 같이,  $s_k \times N_R$  필터링 매트릭스  $B_k$ 로  $y_k$ 를 곱함으로써  $x_k$ 에 대해 추정  $\hat{x}_k$ 을 생성한다.

$$\hat{x}_k = B_k y_k = B_k H_k \sum_{k'=1}^K T_{k'} x_{k'} + B_k n_k = B_k H_k T_k x_k + B_k H_k \sum_{k' \neq k} T_{k'} x_{k'} + B_k n_k \quad (3)$$

[0029]

[0030]

식(3)에서, 필터링 매트릭스  $B_k$ 는 MMSE와 같은 여러가지 기준들에 근거하여 도출될 수 있다. 식(3)에 기초하여,  $\hat{x}_k$ 와  $x_k$  사이에 최대 상호 정보는 다음과 같다:

$$C_k = \sum_{s=1}^{S_k} \log_2(1 + \text{sinr}_{k,s}) = \sum_{s=1}^{S_k} \log_2 \left( 1 + \frac{\|b_{k,s}^H H_k t_{k,s}\|^2}{\|b_{k,s}\|^2 \sigma^2 + \sum_{(k',s') \neq (k,s)} \|b_{k',s'}^H H_k t_{k',s'}\|^2} \right) \quad (4)$$

[0031]

[0032]

여기서  $\text{sinr}_{k,s}$ 는  $x_k$ 의 제 s 원소에 대한 사후-처리 신호 대 간섭 및 잡음비(SINR)이며,  $b_{k,s}$ 는  $B_k^T$ 의 제 s 열을 나타내며  $t_{k,s}$ 는  $T_k$ 의 제 s 열을 나타낸다. 전체 MU-MIMO 시스템들의 합 상호 정보는 다음과 같게 된다.

$$C = \sum_{k=1}^K C_k \quad (5)$$

[0033]

[0034]

다음에서, 위에 채널 모델에 기초하여 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링의 방법을 설계할 것이다. 명확성을 위해서, 송신기에서 완전한 CSI의 더 간단한 상황이 먼저 도입될 것이며, 이어서 불완전한 CSI의 상황에 대해 본 발명이 기술될 것이다.

[0035]

**완전한 CSI에 따른 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링**

[0036]

**연속 MMSE(S-MMSE) 다중 사용자 프리코딩**

[0037]

위에 언급된 바와 같이, 본 발명에서, MMSE형 다중 사용자 프리코딩 알고리즘이 간섭 및 잡음을 밸런스하는 능력(여기에서, 잡음은 CSI 에러에 기인한 CCI 및 및 AWGN 잡음 둘 다를 의미한다)에 기인하여, 사용될 수도 있다. 특히, 연속 MMSE(S-MMSE) 알고리즘이 사용되는데, 이것은 각 사용자가 하나 이상의 수신 안테나들을 갖는 경우에 MMSE형 알고리즘의 단순화된 구현이다.

[0038]

MMSE형 알고리즘의 기본 원리는 MMSE 기준에 따라 한 세트의 최적 프리코딩 매트릭스  $\{T_k\}$  및 필터링 매트릭스  $\{B_k\}$ 를 찾는 것이다.

$$(\{T_k\}, \{B_k\}) = \underset{\substack{T_1 \dots T_K \\ B_1 \dots B_K}}{\text{argmin}} \left( \sum_{k=1}^K \|x_k - \hat{x}_k\|^2 \right) = \underset{\substack{T_1 \dots T_K \\ B_1 \dots B_K}}{\text{argmin}} \left( \sum_{k=1}^K \left\| x_k - \left( B_k H_k \sum_{k'=1}^K T_{k'} x_{k'} + B_k n_k \right) \right\|^2 \right). \quad (6)$$

[0039]

[0040]

식(6)은 조인트 최적화 문제에 관한 것이고, 이의 해는 일반적으로 얻기가 매우 복잡하다. 반면, S-MMSE 알고리즘은 반복적 연산들에 의해 이 문제에 대해 간이화된 차-최적의 해를 제공한다:

[0041] 단계1 랜덤  $s_k \times N_R$  매트릭스를 발생함으로써 각  $B_k$ 를 초기화한다;

[0042] 단계2 현  $\{B_k\}$ 에 기초하여, 다음과 같이 MMSE 기준에 따라 최적의 프리코딩 매트릭스  $\{T_k\}$ 를 계산한다.

[0043] 
$$[T_1 \cdots T_K] = H^H B H^H (B H H^H B H^H + \beta I)^{-1} \quad (7)$$

[0044] 여기서 
$$H = [H_1^T H_2^T \cdots H_K^T]^T, \quad (8)$$

[0045] 
$$B = \begin{bmatrix} B_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & B_K \end{bmatrix}, \quad (9)$$

[0046] 및 
$$\beta = \frac{\sigma^2}{P_T} \text{trace}(B B^H); \quad (10)$$

[0047] 단계3 위에서 계산된  $\{T_k\}$ 에 기초하여, MMSE 기준에 따라 다음과 같이 필터링 매트릭스  $\{B_k\}$ 를 업데이트한다.

[0048] 
$$B_k = T_k^H H_k^H \left( \sum_{k'=1}^K H_k T_{k'} T_{k'}^H H_k^H + \sigma^2 I \right)^{-H}; \text{ for } k = 1 \sim K \quad (11)$$

[0049] 단계4  $\{T_k\}$  및  $\{B_k\}$ 에서 변화의 프로베니우스 노름(Frobenius norm)이 미리 설정된 임계값 미만으로 떨어질 때까지 또는 반복 연산들의 수가 어떤 값에 도달할 때까지 단계2 및 단계3을 반복한다.

[0050] 단계5 최종 프리코딩 매트릭스  $\{T_k\}$ 을  $(P_T / \sum_{k=1}^K \text{trace}(T_k T_k^H))^{1/2}$ 에 의해 정규화한다.

[0051] 다중 사용자 스케줄링

[0052] 통신 시스템에서 총 사용자 수는  $N$ 으로 표기한다. 스케줄러는 다중 사용자 전송을 위해  $N$  사용자들 중에서 사용자들의 일부를 선택하고, 또한 각 선택된 사용자에 대해 데이터 스트림들의 수를 결정한다. 가능한 스케줄링 결과들을  $\mathcal{K}$ 로 표기하고,  $\mathcal{K}$ 는 3개의 부분들로서, 선택된 사용자들의 수  $K(\mathcal{K})$ , 선택된 사용자들에 대한 인덱스들의 세트  $\{n_k(\mathcal{K}), k=1 \sim K(\mathcal{K})\}$ ,  $1 \leq n_k(\mathcal{K}) \leq N$  과, 선택된 사용자들에 대한 데이터 스트림들의 수들  $\{s_k(\mathcal{K}), k=1 \sim K(\mathcal{K})\}$ 로 표현될 수 있다. 스케줄러는 한 세트의  $\mathcal{K}$ 에 대해 탐색하고 어떤 기준에 따라  $\hat{\mathcal{K}}$ 로 표기한 최적의 것을 선택한다. 예를 들면, 용량-최대화 기준에 따라, 스케줄러는 다음에 따라  $\hat{\mathcal{K}}$ 을 선택한다.

[0053] 
$$\begin{aligned} \hat{\mathcal{K}} &= \underset{\mathcal{K} \in \mathcal{K}}{\text{argmax}} C(\mathcal{K}) = \underset{\mathcal{K} \in \mathcal{K}}{\text{argmax}} \sum_{k=1}^{K(\mathcal{K})} \sum_{s=1}^{s_k(\mathcal{K})} \log_2(1 + \text{snr}_{k,s}(\mathcal{K})) \\ &= \underset{\mathcal{K} \in \mathcal{K}}{\text{argmax}} \sum_{k=1}^{K(\mathcal{K})} \sum_{s=1}^{s_k(\mathcal{K})} \frac{\|b_{k,s}^H(\mathcal{K}) H_{n_k(\mathcal{K})} t_{k,s}(\mathcal{K})\|^2}{\|b_{k,s}(\mathcal{K})\|^2 \sigma^2 + \sum_{(k',s')=(k,s)} \|b_{k',s'}^H(\mathcal{K}) H_{n_{k'}(\mathcal{K})} t_{k',s'}(\mathcal{K})\|^2} \end{aligned} \quad (12)$$

[0054]  $\mathcal{R}$ 은 스케줄러가  $b_{k,s}(\mathcal{K})$ 에 대해 탐색하는 한 세트의  $K$ 이며,  $t_{k,s}(\mathcal{K})$ 은  $B_k^T(\mathcal{K})$  및  $T_k(\mathcal{K})$  각각의  $s$ 번째 열들을 나타내며,  $B_k(\mathcal{K})$  및  $T_k(\mathcal{K})$ 는  $\mathcal{K}$ 에서 제  $k$  사용자에 대한 필터링 및 프리코딩 매트릭스들이다. 여기에서,  $B_k(\mathcal{K})$  및  $T_k(\mathcal{K})$ 는  $K = K(\mathcal{K})$ ,  $\{s_k\} = \{s_k(\mathcal{K})\}$ , 및  $\{H_k\} = \{H_{n_k(\mathcal{K})}\}$ 로 설정함으로써 위에 단계들 1 ~ 5을 통

해 얻어진다.  $\mathcal{R}$ 의 크기는 사용된 스케줄링 전략에 따른다. 예를 들면, 완전 탐색 스케줄링에 있어서,  $\mathcal{R}$ 은 모든  $\mathcal{K}$ 의 가능성들을 포함한다.

[0055] 일단  $\hat{\mathcal{K}}$ 이 일단 선택되면, 데이터 스트림들의  $\{s_k(\hat{\mathcal{K}}), k=1 \sim K(\hat{\mathcal{K}})\}$  수는 프리코딩 매트릭스들  $\{T_k(\hat{\mathcal{K}}), k=1 \sim K(\hat{\mathcal{K}})\}$ 로 다중 사용자 프리코딩에 의해 동일 시간-주파수 자원으로  $K(\hat{\mathcal{K}})$  수의 사용자들에게 전송된다.

[0056] **본 발명에 따른 불완전한 CSI에 의한 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링**

[0057] BS에서 사용가능한 사용자 k의 불완전한 채널 매트릭스들  $\bar{H}_k$ 로 표기하고 사용자 k에 대한 CSI 에러를  $\tilde{H}_k = H_k - \bar{H}_k$ 로 표기한다.  $\{\tilde{H}_k\}$ 에서 원소들은 평균이 제로이고 분산이  $\sigma^2$ 인 i.i.d.의 랜덤 변수들인 것으로 가정한다.  $\{\tilde{H}_k\}$ 은 피드백 양자화, 피드백 지연 등과 같은, 다양한 팩터들에 기인할 수 있다.  $\sigma^2$ 의 값은 송신기에서 가용한 것으로 또한 가정한다.  $\sigma^2$ 의 값은 채널 추정 에러, 피드백 에러, 양자화 에러 등 측정과 같은 다양한 측정값들에 의해 얻어질 수 있고, 수신기에서 송신기에 피드백될 수 있다.

[0058] CCI-추정값 이용 S-MMSE 프리코딩

[0059] 불완전한 CSI에 있어서, 식(3)에서 채널 모델은 다음 식으로 수정된다.

[0060] 
$$\hat{x}_k = B_k (\bar{H}_k + \tilde{H}_k) \sum_{k'=1}^K T_{k'} x_{k'} + B_k n_k \quad (13)$$

[0061] 주어진  $\{T_k\}$ 로 필터링 매트릭스들  $\{B_k\}$ 의 최적화에 있어서, 식(13)은 다음처럼 다시 작성될 수 있다.

[0062] 
$$\hat{x}_k = B_k \left( \bar{H}_k \sum_{k'=1}^K T_{k'} x_{k'} + \tilde{H}_k \sum_{k'=1}^K T_{k'} x_{k'} + n_k \right) = B_k \left( \bar{H}_k \sum_{k'=1}^K T_{k'} x_{k'} + \eta_k \right) \quad (14)$$

[0063] 여기서  $\eta_k = \tilde{H}_k \sum_{k'=1}^K T_{k'} x_{k'} + n_k$ 은 CSI 에러에 기인한 CCI 및 AWGN 둘 모두를 포함한 CCI + 잡음의 항이다.  $\eta_k$ 을 복소수 가우시안 잡음의 벡터로서 근사화함으로써, 최적의  $\{B_k\}$ 가 다음처럼 생성될 수 있다.

[0064] 
$$B_k = T_k^H H_k^H \left( \sum_{k'=1}^K \bar{H}_k T_{k'} T_{k'}^H \bar{H}_k^H + E(\eta_k \eta_k^H) \right)^{-H} \quad (15)$$

[0065] 여기서,

[0066] 
$$\begin{aligned} E(\eta_k \eta_k^H) &= E \left( \sum_{k'=1}^K \tilde{H}_k T_{k'} x_{k'} x_{k'}^H T_{k'}^H \tilde{H}_k^H \right) + \sigma^2 I \stackrel{(a)}{\approx} E \left( \sum_{k'=1}^K \tilde{H}_k T_{k'} T_{k'}^H \tilde{H}_k^H \right) + \sigma^2 I \\ &= \sum_{k'=1}^K \left( \text{ved} T_{k'} \right)^T \otimes I_{N_R} \times \left( I_{S_k} \otimes \tilde{R}_k \right) \times \left( \text{ved} T_{k'} \right)^T \otimes I_{N_R} \right)^H + \sigma^2 I \end{aligned} \quad (16)$$

[0067] 식(16)에서, (a)는 모든 k에 대해 각각의  $x_k x_k^H$ 를  $I$ 로서 근사화함으로써 도출되고  $\text{ved} A = [a_1^T \dots a_j^T \dots]^T$ 이며  $a_j$ 는 매트릭스 A의 제 j 열이고, “ $\otimes$ ”는 크로네커 곱을 나타내며,  $\tilde{R}_k = E(\text{ved} \tilde{H}_k \text{ved} \tilde{H}_k^H) = \sigma^2 I_{N_R \times N_T}$ 은 CSI 에러의 공분산 매트릭스  $\text{ved} \tilde{H}_k$ 이다.



[0068] 주어진  $\{\mathbf{B}_k\}$ 로 프리코딩 매트릭스들  $\{\mathbf{T}_k\}$ 의 최적화에 있어서, 식(13)은 다음처럼 콤팩트한 형태로 다시 쓸 수 있다.

[0069] 
$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{B}(\bar{\mathbf{H}} + \tilde{\mathbf{H}})\mathbf{T}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{n} = \mathbf{B}\bar{\mathbf{H}}\mathbf{T}\mathbf{x} + \mathbf{B}\tilde{\mathbf{H}}\mathbf{T}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{n} = \mathbf{B}\tilde{\mathbf{H}}\mathbf{T}\mathbf{x} + \boldsymbol{\mu} \quad (17)$$

[0070] 여기서 
$$\hat{\mathbf{x}} = [\hat{x}_1^T \hat{x}_2^T \dots \hat{x}_K^T]^T, \quad (18)$$

[0071] 
$$\bar{\mathbf{H}} = [\bar{H}_1^T \bar{H}_2^T \dots \bar{H}_K^T]^T, \quad (19)$$

[0071] 
$$\tilde{\mathbf{H}} = [\tilde{H}_1^T \tilde{H}_2^T \dots \tilde{H}_K^T]^T, \quad (20)$$

[0071] 
$$\mathbf{T} = [\mathbf{T}_1 \mathbf{T}_2 \dots \mathbf{T}_K], \quad (21)$$

[0071] 
$$\mathbf{n} = [n_1^T n_2^T \dots n_K^T]^T, \quad (22)$$

[0072] 
$$\boldsymbol{\mu} = \mathbf{B}\tilde{\mathbf{H}}\mathbf{T}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{n}, \quad (23)$$

[0073] 그리고  $\mathbf{B}$ 는 식(9)에서 정의된다. 유사하게,  $\boldsymbol{\mu}$ 는 CSI 에러에 기인한 CCI 및 AWGN 둘 모두를 포함한 CCI + 잡음의 항이다.  $\boldsymbol{\mu}$ 를 복소수 가우시안 잡음의 벡터로서 근사화함으로써, 최적의  $\{\mathbf{T}_k\}$ 가 다음처럼 생성될 수 있다:

[0074] 
$$[\mathbf{T}_1 \dots \mathbf{T}_K] = \bar{\mathbf{H}}^H \mathbf{B}^H \left( \mathbf{B} \bar{\mathbf{H}} \bar{\mathbf{H}}^H \mathbf{B}^H + \frac{1}{P_T} \mathbf{E}(\boldsymbol{\mu} \boldsymbol{\mu}^H) \right)^{-1} \quad (24)$$

[0075] 여기서

[0076] 
$$\begin{aligned} \mathbf{E}(\boldsymbol{\mu} \boldsymbol{\mu}^H) &= \mathbf{E}(\mathbf{B}\tilde{\mathbf{H}}\mathbf{T}\mathbf{x}\mathbf{x}^H\mathbf{T}^H\tilde{\mathbf{H}}^H\mathbf{B}^H) + \sigma^2 \text{trace}(\mathbf{B}\mathbf{B}^H) \\ &\stackrel{(a)}{\approx} P_T \mathbf{E}(\mathbf{B}\tilde{\mathbf{H}}\tilde{\mathbf{H}}^H\mathbf{B}^H) + \sigma^2 \text{trace}(\mathbf{B}\mathbf{B}^H) \\ &= P_T \tilde{\mathbf{B}}\tilde{\mathbf{R}}\tilde{\mathbf{B}}^H + \sigma^2 \text{trace}(\mathbf{B}\mathbf{B}^H) \end{aligned} \quad (25)$$

[0077] 식(25)에서, (a)는  $\mathbf{T}\mathbf{x}\mathbf{x}^H\mathbf{T}^H$ 을  $P_T \mathbf{I}$ 로서 근사화함으로써 도출되며,  $\tilde{\mathbf{R}} = \mathbf{E}(\tilde{\mathbf{H}}\tilde{\mathbf{H}}^H) = \tilde{\sigma}^2 \mathbf{I}_{N_R \times K}$ 는  $\tilde{\mathbf{H}}$ 의 공분산 매트릭스이며, 이것은 CSI 에러의 공분산 매트릭스  $\{\tilde{\mathbf{R}}_k\}$ 로부터 계산될 수 있다.

[0078] 위에 단계들 1 ~ 5에서 식(7) 및 식(11)을 식(15) 및 식(24)로 대체함으로써, 본 발명의 CCI 추정값 이용 S-MMSE 프리코딩 알고리즘이 얻어질 수 있다.

[0079] CCI-추정값 이용 다중 사용자 스케줄링

[0080] 식(13)에서 채널 모델은 다음처럼 불완전한 CSI에 대해 다시 쓸 수 있다.

[0081] 
$$\hat{\mathbf{x}}_k = \mathbf{B}_k \bar{\mathbf{H}}_k \mathbf{T}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{B}_k \bar{\mathbf{H}}_k \sum_{k' \neq k} \mathbf{T}_{k'} \mathbf{x}_{k'} + \mathbf{B}_k \boldsymbol{\eta}_k \quad (26)$$

[0082] 이때, 각각의 사용자/모드 서브세트  $\mathcal{K}$ 에 대해서, 스케줄러는 다음 식에 주어진 바와 같이,  $\mathbf{B}_k \boldsymbol{\eta}_k$ 를 복소수 가우시안 잡음의 벡터로서 근사화함으로써 달성가능 용량을 추정한다.

$$C(\mathcal{K}) = \frac{\sum_{k=1}^{K(\mathcal{K})} \sum_{s=1}^{s_k(\mathcal{K})} \frac{\|b_{k,s}^H(\mathcal{K}) \bar{H}_{n_k(\mathcal{K})} t_{k,s}(\mathcal{K})\|^2}{\sum_{(k',s')=(k,s)} \|b_{k',s'}^H(\mathcal{K}) \bar{H}_{n_k(\mathcal{K})} t_{k',s'}(\mathcal{K})\|^2 + E\|b_{k,s}^H(\mathcal{K}) \mathbf{h}_k(\mathcal{K})\|^2}}{\sum_{k=1}^{K(\mathcal{K})} \sum_{s=1}^{s_k(\mathcal{K})} \frac{\|b_{k,s}^H(\mathcal{K}) \bar{H}_{n_k(\mathcal{K})} t_{k,s}(\mathcal{K})\|^2}{\sum_{(k',s')=(k,s)} \|b_{k',s'}^H(\mathcal{K}) \bar{H}_{n_k(\mathcal{K})} t_{k',s'}(\mathcal{K})\|^2 + b_{k,s}^H(\mathcal{K}) E \mathbf{h}_k(\mathcal{K}) \mathbf{h}_k^H(\mathcal{K}) b_{k,s}(\mathcal{K})}}$$

(27)

[0083]

[0084]

여기에서  $\eta_k(\mathcal{K}) = \bar{H}_{n_k(\mathcal{K})} \sum_{k'=1}^{K(\mathcal{K})} T_{k'}(\mathcal{K}) x_{k'} + n_k$  및  $E \mathbf{h}_k(\mathcal{K}) \mathbf{h}_k^H(\mathcal{K})$  는 식(16)으로 계산될 수 있다. 이어서, CCI-추정값 이 용 스케줄링 알고리즘은 다음 기준에 따라  $\hat{\mathcal{K}}$  을 선택한다.

$$\hat{\mathcal{K}} = \underset{\mathcal{K} \in \mathcal{K}}{\operatorname{argmax}} C(\mathcal{K}) \quad (28).$$

[0085]

[0086]

[0087]

[0088]

이하, 본 발명의 바람직한 실시예들이 도면들을 참조하여 상세히 기술될 것이다. 도 1은 본 발명에 따른 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링의 방법의 흐름도이다. 본 발명에 따라서, 단계 101에서, CSI(피드백 양자화, 피드백 지연과 같은 다양한 팩터들에 기인하여 정확하지 않을 수 있다) 및 CSI 에러의 통계적 특징들이 UE로부터 BS에 피드백된다. CSI는 채널 매트릭스의 추정값이며, CSI 에러의 통계적 특징들은 채널 매트릭스의 추정값의 에러 매트릭스의 통계 특징들이다. 예를 들면, 위에 도 시된 바와 같이, 채널 매트릭스의 추정값은  $\bar{H}_k$  일 수 있고, CSI 에러의 통계 특성들은 공분산 매트릭스  $\{\tilde{R}_k\}$  일 수 있다. 단계 103에서, 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식은 피드백 CSI 및 CSI 에러의 통계 특성들에 따라, BS에 의해 발생된다. 위에 예시된 바와 같이, 다중 사용자 프리코딩은 MMSE형 알고리즘을 이용할 수 있고, 다중 사용자 스케줄링은 용량-최대화 기준을 사용할 수 있다. 마지막으로, 단계 105에서, 사용자 데이터는 생성된 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식을 사용함으로써 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링된다.

[0089]

[0090]

도 2는 본 발명에 따른 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링의 방법을 구현하기 위한 BS의 블록도이다. 도 2에 도시된 바와 같이, BS는 수신 디바이스(201), 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식 생성 디바이스(203), 및 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링 디바이스(205)를 포함한다. 수신 디바이스(201)는 UE로부터 피드백되는 CSI 및 CSI 에러의 통계 특성들을 수신한다. 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식 생성 디바이스(203)는 피드백된 CSI 및 CSI 에러의 통계 특성들에 따라, 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식을 생성한다. 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링 디바이스(205)는 생성된 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식을 이용함으로써 사용자 데이터에 관해 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링을 수행한다.

도 3 및 도 4는 본 발명에 따른 방법과 종래 기술의 방법 간에 성능 비교를 나타낸 그래프들이다. 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 CCI-추정값 이용 MU-MIMO 방식은 그리디(greedy) 스케줄링 전략에 의한 원(original) S-MMSE 및 MET 알고리즘들에 기초한 종래의 MU-MIMO 방식과 비교된다. 여기에서, 4개의 송신 안테나들이 기지국에 배열되고, 사용자 당 2개의 수신 안테나들이고, 사용자들의 총 수는 4이다. 채널 매트릭스들  $\{H_k\}$ 에서 원소들은 제로 평균 및 단위 분산인 i.i.d.의 복소수 백색 가우시안 변수들로서 모델화된다. CSI 에러 매트릭스들  $\{\tilde{H}_k\}$ 에서 원소들은 제로 평균 및 분산  $\sigma^2$ 인 i.i.d.의 복소수 백색 가우시안 잡음들로서 모델화된다. 본 발명에서,  $\sigma^2$ 은 도 3 및 도 4에서 각각 0.1 및 0.5로 설정된다. MMSE 및 비-MMSE 수신기들 둘 모두가 고찰된다. 알 수 있는 바와 같이, 본 발명에서 제안된 방법은 특히 CSI 에러가 클 때 MMSE 및 비-MMSE 수신기들 모두에 대한 그리디 스케줄링에 의해 MET 및 S-MMSE를 능가한다.

[0091]

[0092]

본 발명은 다음의 잇점들을 갖는다.  
1. 송신기에서 불완전한 CSI가 사용될 때(이것은 실제로 실질적 상황이다) MU-MIMO의 시스템 성능을 크게 개선

한다.

[0093] 2. BS들에서 최저의 추가적 복잡성만을 가져오며 UE들에 추가의 복잡성은 없다.

[0094] 3. 채널 추정 에러, 양자화 에러, 피드백 에러 등과 같은, CSI 에러의 원인들에 관하여 적응성이 있고 예를 들면 사운딩 및 피드백에 기초하여 다양한 MU-MIMO 메커니즘들에 사용될 수 있다.

[0095] 요약하여, MU-MIMO 동작은 셀 스루풋을 향상시키는 이의 큰 잠재력에 기인하여 IEEE 802.16 및 3GPP LTE와 같은 많은 광대역 무선 통신 표준들에서 핫 토픽이다. 송신기에서 CSI 에러는 실제 시스템들에서 MU-MIMO의 적용을 제약시키는 실제 문제들 중 하나이다. 본 발명에 의해 제공되는 해결책은 BS에서 최소의 추가적 복잡성의 대가로 명백한 잇점들을 가져올 수 있다.

[0096] 전술한 바는 본 발명의 바람직한 실시예들일 뿐이며, 본 발명은 전술한 실시예들로 제한되지 않는다. 그러므로, 본 발명에 대한 어떠한 수정들, 대체들 및 개선들이든 본 발명의 정신 및 범위로부터 벗어남이 없이 가능하다.

**부호의 설명**

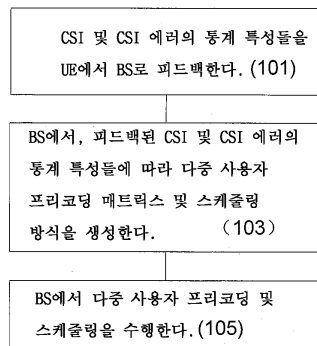
[0097] 201 : 수신 디바이스

203 : 다중 사용자 프리코딩 매트릭스 및 스케줄링 방식 생성 디바이스

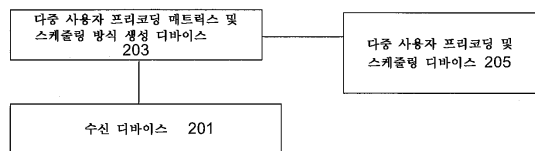
205 : 다중 사용자 프리코딩 및 스케줄링 디바이스

**도면**

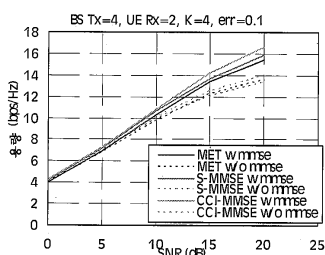
**도면1**



**도면2**



**도면3**



도면4

