(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년09월04일
(11) 등록번호 10-1179709
(24) 등록일자 2012년08월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 72/12 (2009.01) *H04B 7/04* (2006.01)
H04W 88/08 (2009.01)
(21) 출원번호 10-2011-0021055
(22) 출원일자 2011년03월09일
심사청구일자 2011년03월09일
(56) 선행기술조사문헌
US20100265813 A1
EEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 25. no. 7.

(73) 특허권자
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가 1
(72) 발명자
이인규
서울특별시 광진구 능동로 90, B동 605호 (자양동, 더 클래식500)
김진성
서울특별시 영등포구 영신로1가길 12-3, 3층 (도림동)
(74) 대리인
김정훈, 이건주

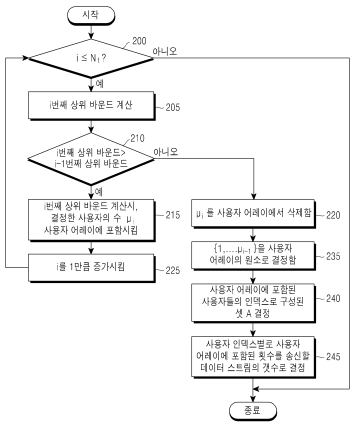
전체 청구항 수 : 총 8 항 심사관 : 전영상

(54) 발명의 명칭 **다중 입출력 통신 시스템에서 스케줄링 방법 및 장치**

(57) 요 약

본 발명은, 다중 입출력 통신 시스템에서 스케줄링 방법에 있어서, 송신측의 서비스 영역 내에 존재하는 복수개의 사용자들 중 적어도 하나의 제1사용자를 선택하는 과정과, 상기 적어도 하나의 제1사용자에게 송신할 데이터 스트림들의 합 레이트에 대한 제1상위 바운드를 계산하는 과정과, 상기 복수개의 사용자들 중 제2사용자를 더 선택하고, 상기 적어도 하나의 제1사용자와, 상기 제2사용자 각각에게 송신할 데이터 스트림들의 합 레이트에 대한 제2상위 바운드를 계산하는 과정과, 상기 제2상위 바운드가 상기 제1상위 바운드를 초과하는 지 비교하는 과정과, 상기 비교 결과 상기 제2상위 바운드가 상기 제1상위 바운드를 초과하는 경우, 상기 제2사용자를 스케줄링 목록에 포함시키는 과정을 포함하며; 상기 스케줄링 목록은 상기 송신측이 데이터 스트림을 동시에 송신할 사용자들의 목록임을 특징으로 한다.

대 표 도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2010-0017909
부처명	교육과학기술부
연구사업명	중견연구자지원사업 도약 연구
연구과제명	불규칙 행렬이론을 이용한 분산 안테나 기반 다중셀 이동통신 시스템 설계
주관기관	고려대학교 산학협력단
연구기간	2010.05.01 ~ 2011.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

다중 입출력 통신 시스템에서 스케줄링 방법에 있어서,

송신측의 서비스 영역 내에 존재하는 복수개의 사용자들 중 적어도 하나의 제1사용자를 선택하는 과정과,

상기 송신측이 구비한 송신 안테나들과 상기 적어도 제1사용자 간에 형성된 채널 매트릭스와, 상기 채널 매트릭스의 복소 공액 매트릭스 간의 곱에 아이겐 밸류 분해를 수행하고, 상기 적어도 하나의 제1사용자에 대한 아이겐 밸류의 최대값과, 이에 대응하는 아이겐 벡터들을 사용하여 제1상위 바운드를 계산하는 과정과,

상기 복수개의 사용자들 중 제2사용자를 더 선택하고, 상기 적어도 하나의 제1사용자와, 상기 제2사용자 각각에게 송신할 데이터 스트림들의 합 레이트에 대한 제2상위 바운드를 계산하는 과정과,

상기 제2상위 바운드가 상기 제1상위 바운드를 초과하는 지 비교하는 과정과,

상기 비교 결과 상기 제2상위 바운드가 상기 제1상위 바운드를 초과하는 경우, 상기 제2사용자를 스케줄링 목록에 포함시키는 과정을 포함하며;

상기 스케줄링 목록은 상기 송신측이 데이터 스트림을 동시에 송신할 사용자들의 목록임을 특징으로 하는 스케줄링 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 비교 결과, 상기 제2상위 바운드가 상기 제1상위 바운드 이하일 경우, 상기 제2사용자를 상기 스케줄링 목록에서 제외시키는 과정을 더 포함하는 스케줄링 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 제1사용자와 상기 제2사용자 각각은 동일한 사용자이거나 동일하지 않은 사용자임을 특징으로 하는 스케줄링 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 스케줄링 목록에 포함된 사용자들 각각에게 동시에 송신할 데이터 스트림의 수를 해당 사용자가 상기 스케줄링 목록에 포함된 수로 결정하는 과정을 더 포함함을 특징으로 하는 스케줄링 방법.

청구항 6

다중 입출력 통신 시스템에서 스케줄링 장치에 있어서,

서비스 영역 내에 존재하는 복수개의 사용자들 중 적어도 하나의 제1사용자를 선택하고, 송신측이 구비한 송신 안테나들과 상기 적어도 제1사용자 간에 형성된 채널 매트릭스와, 상기 채널 매트릭스의 복소 공액 매트릭스 간의 곱에 아이겐 밸류 분해를 수행하고, 상기 적어도 하나의 제1사용자에 대한 아이겐 밸류의 최대값과, 이에 대응하는 아이겐 벡터들을 사용하여 제1상위 바운드를 계산하고, 상기 복수개의 사용자들 중 제2사용자를 더 선택하고, 상기 적어도 하나의 제1사용자와, 상기 제2사용자 각각에게 송신할 데이터 스트림들의 합 레이트에 대한 제2상위 바운드를 계산하는 상위 바운드 계산부와,

상기 제2상위 바운드가 상기 제1상위 바운드를 초과하는 지 비교하고 비교 결과를 스케줄링 목록 결정부로 전달하는 비교부와,

상기 비교 결과가 상기 제2상위 바운드가 상기 제1상위 바운드를 초과함을 나타내는 경우, 상기 제2사용자를 스케줄링 목록에 포함시키는 스케줄링 목록 결정부를 포함하며;

상기 스케줄링 목록은 상기 송신측이 데이터 스트림을 동시에 송신할 사용자들의 목록임을 특징으로 하는 스케줄링 장치.

청구항 7

삭제

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 스케줄링 목록 결정부는,

상기 비교 결과가 상기 제2상위 바운드가 상기 제1상위 바운드 이하임을 나타낼 경우, 상기 제2사용자를 상기 스케줄링 목록에서 제외시킴을 특징으로 하는 스케줄링 장치.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 적어도 하나의 제1사용자와 상기 제2사용자 각각은 동일한 사용자이거나 동일하지 않은 사용자임을 특징으로 하는 스케줄링 장치.

청구항 10

제6항에 있어서,

상기 스케줄링 목록에 포함된 사용자들 각각에게 동시에 송신할 데이터 스트림의 수를, 해당 사용자가 상기 스케줄링 목록에 포함된 수로 결정하는 데이터 스트림 결정부를 더 포함함을 특징으로 하는 스케줄링 장치.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 다중 입출력 통신 시스템에서 스케줄링 방법 및 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적인 다중 입출력(MIMO: Multiple Input Multiple output) 통신 시스템에서 송신측의 서비스 영역 내에 다수의 사용자들이 존재할 경우, 상기 송신측은 동시 송신을 위한 사용자들의 수를 결정해야 한다. 종래 기술에 따르면, 상기한 동시 송신을 위한 사용자들의 수를 결정하기 위해서는 낮은 복잡도를 고려한 블록 대각(BD: Block Diagonalization) 방식과, 합 레이트 성능(sum rate performance) 향상을 고려한 직교 공간-분할 멀티플렉싱(OSDM: Orthogonal Space Division Multiplexing) 방식 등이 사용되어 왔다. 그러나, 종래 기술에 따른 BD 방식 또는 OSDM 방식은 복잡도를 낮추도록 설계할 경우 합 레이트 성능이 나빠지고, 합 레이트 성능이 높아지도록 설계하면, 복잡도가 증가하는 문제점이 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 본 발명은 MIMO 통신 시스템에서 복잡도를 감소시키면서 합 레이트 성능을 보다 향상시키기 위한 스케줄링 방법 및 장치를 제안한다.

[0004] 본 발명은 MIMO 통신 시스템에서 복잡도를 감소시키면서 합 레이트 성능을 보다 향상시키기 위해서 동시 송신을 위한 사용자들의 수를 결정하고, 상기 결정된 사용자들에게 송신할 데이터 스트림의 수를 결정하는 방법 및 장치를 제안한다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명의 실시 예에 따른 방법은; 다중 입출력 통신 시스템에서 스케줄링 방법에 있어서, 송신측의 서비스 영역 내에 존재하는 복수개의 사용자들 중 적어도 하나의 제1사용자를 선택하는 과정과, 상기 송신측이 구비한 송신 안테나들과 상기 적어도 제1사용자 간에 형성된 채널 매트릭스와, 상기 채널 매트릭스의 복소 공액 매트릭스 간의 곱에 아이겐 밸류 분해를 수행하고, 상기 적어도 하나의 제1사용자에 대한 아이겐 밸류의 최대값과, 이에 대응하는 아이겐 벡터들을 사용하여 제1상위 바운드를 계산하는 과정과, 상기 복수개의 사용자들 중 제2사용자를 더 선택하고, 상기 적어도 하나의 제1사용자와, 상기 제2사용자 각각에게 송신할 데이터 스트림들의 합 레이트에 대한 제2상위 바운드를 계산하는 과정과, 상기 제2상위 바운드가 상기 제1상위 바운드를 초과하는 지 비교하는 과정과, 상기 비교 결과 상기 제2상위 바운드가 상기 제1상위 바운드를 초과하는 경우, 상기 제2사용자를 스케줄링 목록에 포함시키는 과정을 포함하며; 상기 스케줄링 목록은 상기 송신측이 데이터 스트림을 동시에 송신할 사용자들의 목록임을 특징으로 한다.

[0006] 본 발명의 실시 예에 따른 장치는; 다중 입출력 통신 시스템에서 스케줄링 장치에 있어서, 서비스 영역 내에 존재하는 복수개의 사용자들 중 적어도 하나의 제1사용자를 선택하고, 송신측이 구비한 송신 안테나들과 상기 적어도 제1사용자 간에 형성된 채널 매트릭스와, 상기 채널 매트릭스의 복소 공액 매트릭스 간의 곱에 아이겐 밸류 분해를 수행하고, 상기 적어도 하나의 제1사용자에 대한 아이겐 밸류의 최대값과, 이에 대응하는 아이겐 벡터들을 사용하여 제1상위 바운드를 계산하고, 상기 복수개의 사용자들 중 제2사용자를 더 선택하고, 상기 적어도 하나의 제1사용자와, 상기 제2사용자 각각에게 송신할 데이터 스트림들의 합 레이트에 대한 제2상위 바운드를 계산하는 상위 바운드 계산부와, 상기 제2상위 바운드가 상기 제1상위 바운드를 초과하는 지 비교하고 비교 결과를 스케줄링 목록 결정부로 전달하는 비교부와, 상기 비교 결과가 상기 제2상위 바운드가 상기 제1상위 바운드를 초과함을 나타내는 경우, 상기 제2사용자를 스케줄링 목록에 포함시키는 스케줄링 목록 결정부를 포함하며; 상기 스케줄링 목록은 상기 송신측이 데이터 스트림을 동시에 송신할 사용자들의 목록임을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0007] 본 발명은 송신측의 서비스 영역 내에 존재하는 복수개의 사용자들 중 적어도 하나의 사용자를 선택하고, 선택된 적어도 하나의 사용자에게 송신할 데이터 스트림들의 합 레이트에 대한 제1상위 바운드를 결정하고, 상기 복수개의 사용자들 중 하나의 사용자를 더 선택하고, 더 선택한 사용자를 포함한 선택된 사용자들 각각에게 송신할 데이터 스트림의 합 레이트에 대한 제2상위 바운드를 결정하고, 상기 비교 결과에 따라 동시에 데이터 스트림을 전송할 사용자들의 셋에 포함시킬 사용자를 결정하고, 해당 사용자 별로 상기 스케줄링 목록에 포함된 횟수를 통해서 해당 사용자에게 전송할 데이터 스트림들의 수를 결정함으로써, 다중 입출력 통신 시스템에서 낮은 복잡도를 가지면서 최적에 가까운 사용자들의 수와 해당 사용자 별로 송신할 데이터 스트림들의 수를 결정하는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0008] 도 1은 본 발명에 따른 다중 사용자 환경의 MIMO 통신 시스템의 구성도.

도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 송신측의 동작 흐름도.

도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 송신측의 구성도.

도 4a~c는 본 발명의 실시 예에 따른 성능 효과를 나타낸 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009] 이하, 본 발명에 따른 바람직한 실시 예를 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명한다. 하기의 설명에서는 본 발명에 따른 동작을 이해하는데 필요한 부분만이 설명되며 그 이외 부분의 설명은 본 발명의 요지를 흩트리지 않도록 생략될 것이라는 것을 유의하여야 한다.

[0010] 도 1은 본 발명에 따른 다중 사용자 환경의 MIMO 통신 시스템의 구성도이다.

[0011] 도 1을 참조하면, K명의 사용자가 각각 N_r개의 수신 안테나들을 구비하여, N_t개의 송신 안테나들을 구비한 송

신측(100)과 통신하는 것으로 가정하여 설명한다. 여기서는, 설명의 편의상 K명의 사용자 모두가 동일한 개수의 수신 안테나를 갖는 경우만을 설명하였으나, 본 발명이 사용자들 모두가 반드시 동일한 개수의 수신 아테나를 갖는 경우에만 한정되는 것이 아님은 물론이다.

[0012] 상기 송신측(100)은 전체 사용자 K_T명 중 동시에 송신할 사용자들인 K명($K_T \geq K$)의 사용자들로 구성되는 셋(set) A를 선택하고, 상기 셋 A에 포함된 사용자들 각각에게 송신할 데이터 스트림들의 수 S_k를 결정한다. 여기서, $k(k \in A)$는 상기 셋 A에 포함된 사용자의 지시자를 나타낸다. 이때, 상기 S_k($S_k \leq N_r$)는 순시 채널 상태를 기반으로 각 사용자 별로 수신 안테나의 수보다 작거나 같게 결정된다. 이때, S_k 는 각 사용자 별로 동일하거나 다르게 결정될 수 있다. 그리고, 상기 송신측(100)이 상기 셋 A를 구성하는 사용자들 각각에게 동시에 송신할 데이터 스트림들의 총 수는 상기 송신 안테나들의 수 N_t보다 작거나 같게 결정된다.

[0013] 본 발명의 실시 예에 따른 채널은 주파수 플랫 페이딩 채널(frequency flat-fading channel)로, 독립적이면서 동일하게 분해된 복소 가우시안 랜덤 변수(distributed complex Gaussian random variables) CN(0,1)를 갖는다고 가정한다.

[0014] 상기 채널은 MIMO 기반 불연속성-시간 복소수(discrete-time complex)를 사용하여 하기 <수학식 1>과 같이 크기 $N_r \times N_t$ 를 갖는 매트릭스 H_k로 나타내어 진다.

수학식 1

[0015] $$\mathbf{H}_k = \left[\mathbf{h}_{k,1}^T \quad \cdots \quad \mathbf{h}_{k,N_r}^T \right]^T$$

[0016] 그리고, 사용자 k가 상기 채널을 통해서 상기 송신측(100)으로부터 수신한 신호 벡터는 하기 <수학식 2>와 같이 나타내어 진다.

수학식 2

[0017] $$\mathbf{y}_k = \mathbf{H}_k \sum_{i=1}^{K} \mathbf{T}_i \mathbf{x}_i + \mathbf{n}_k .$$

[0018] 여기서, T_i 는 프리 코딩(precoding) 매트릭스를 나타내고, i는 상기 셋 A를 구성하는 K명의 사용자들을 나타내는 지시자를 나타내고, n_k는 잡음 벡터를 나타낸다.

[0019] 상기 사용자 k는 수신한 신호 벡터에 대해 컴바이닝(combining)을 수행하여 하기 <수학식 3>과 같이 나타내어지는 컴바이닝된 신호 벡터 w_k를 생성한다.

수학식 3

[0020] $$\mathbf{w}_k = \mathbf{R}_k^H \mathbf{y}_k = \mathbf{R}_k^H \mathbf{H}_k \mathbf{T}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{R}_k^H \mathbf{H}_k \sum_{i=1, i \neq k}^{K} \mathbf{T}_i \mathbf{x}_i + \mathbf{R}_k^H \mathbf{n}_k$$

[0021] 여기서, R_k는 컴바이닝 벡터를 나타낸다.

[0022] 일반적인 OSDM 방식에서는, 송신측 즉, 상기 송신측(100)의 프리 코딩 매트릭스 T_k와, 수신측 즉, 상기 사용자 k의 컴바이닝 벡터 R_k가 다른 사용자들의 간섭($\mathbf{R}_i^H\mathbf{H}_i\mathbf{T}_k=0$)을 제외하고, 상기 사용자 k에 대한 대각선화된 효율적 채널(diagonalized effective channel) 즉, $\mathbf{\Lambda}_k=\mathbf{R}_k^H\mathbf{H}_k\mathbf{T}_k$만을 획득하기 위해서 계산된다. 이 경우, 동일 시간에서 상기 T_k 및 R_k는 상기 선택된 K명의 사용자들로 인한 최대 처리량에 도달하도록 하기 <수학식 4>와 같이 정의된다.

수학식 4

[0023] $$(\mathbf{T},\mathbf{R}_1,\cdots,\mathbf{R}_K)=\arg\max_{\mathbf{T},\mathbf{R}_1,\cdots,\mathbf{R}_K}\sum_{k=1}^{K}\|\mathbf{\Lambda}_k\|_F^2$$

[0024] 이때, 상기 K명의 사용자들 중 사용자 k를 제외한 나머지 사용자(i≠k)들의 컴바이닝 매트릭스 R_i (i≠k)는 고정된다.

[0025] 이하, 본 발명의 실시 예에서는 상기한 OSDM 방식을 사용하여 다중 입출력 통신 시스템에서 다수의 사용자들이 존재하는 경우, 낮은 복잡도와 시스템 처리량이 향상될 수 있도록, 송신측에서 동시에 송신할 사용자들의 수를 결정하고, 상기 결정된 사용자들 각각에게 전송할 데이터 스트림의 수를 결정하는 방법 및 장치를 제안한다.

[0026] 일반적인 OSDM 방식에서는, 송신측에서 동시에 송신할 사용자들 각각에게 전송할 데이터 스트림의 수가 고정되어 있다. 예를 들어, 상기 동시에 송신할 사용자들 각각의 데이터 스트림의 수가 모두 동일한 경우가 포함된다. 반면, 본 발명의 실시 예에서는 다수의 송신 안테나를 구비한 송신측에서 자신의 서비스 영역에 존재하는 다수의 사용자들 중 동시에 송신할 사용자들로 구성되는 셋 A와, 상기 동시에 송신할 사용자들 각각에게 전송할 데이터 스트림의 수 S_k를 결정한다. 이때, 각 사용자 별 S_k($\sum_{k\in A}S_k\le N_r$)는 순시 채널 상태를 기반으로, 해당 사용자가 구비한 수신 안테나의 수보다 작거나 같게 결정된다. 또한, 상기 송신측에서 상기 동시에 송신할 사용자들에게 전송할 데이터 스트림들의 총 수는, 상기 송신측(100)의 송신 안테나들의 수 N_t보다 작거나 같도록 결정된다.

[0027] 먼저, 셋 A와, 상기 셋 A를 구성하는 사용자들 각각에게 송신할 데이터 스트림들의 수 S_k를 가정하고, 이를 통해서 하기 <수학식 5>와 같이 나타내어지는 합 레이트의 최대값이 획득될 수 있음을 가정한다.

수학식 5

[0028] $$C_{\max}=\max_{S_k,A,\mathrm{tr}(\mathbf{Q})\le P}\sum_{k\in A}\log_2\left|\mathbf{I}+\frac{1}{N_0}\mathbf{R}_k^H\mathbf{H}_k\mathbf{T}_k\mathbf{Q}_k\mathbf{T}_k^H\mathbf{H}_k^H\mathbf{R}_k\right|$$

[0029] 여기서, C_{max}는 상기 셋 A를 구성하는, 동시에 송신할 사용자들 각각에 대한 레이트를 합산한 합 레이트의 최대값을 나타내고, Q($\mathbf{Q}_k=\mathrm{E}\left[\mathbf{x}_k\mathbf{x}_k^H\right]$.)는 전력 로딩 팩터(power loading factor)를 나타내고, x_k는 상기 사용자 k에 대한 길이 S_k의 송신심볼 벡터를 나타내고, I는 아이덴티티(identity) 매트릭스를 나타내고, N_0는 잡음 신호의 분산(variance)를 나타낸다.

[0030] 이때, C_{max}를 구성하는 사용자 k에 대한 프리 코딩 매트릭스 T_k와, 컴바이닝 벡터 R_k는 일단, 상기 셋 A와 상기

셋 A를 구성하는 사용자들 각각에 대한 S_k가 결정되어야만, OSDM을 적용하여 획득될 수 있다. 이를 위해서 상기 셋 A와, 상기 셋 A를 구성하는 사용자들 각각에 대한 S_k에 대해 가능한 모든 조합을 계산하고자 할 경우, 사용자들의 수와 송신 안테나들의 수가 증가함에 따라 매우 많은 계산이 필요하게 된다.

[0031] 그러므로, 본 발명의 실시 예에서는 송신측의 서비스 영역 내에 존재하는 복수개의 사용자들 중 적어도 하나의 사용자를 선택하고, 선택된 사용자에게 송신할 데이터 스트림들의 합 레이트의 최대값 즉, 상위 바운드(upper bound)를 결정한다. 그리고, 스텝 별로 선택된 사용자의 수를 하나씩 늘려가면서, 해당 스텝에서 선택된 사용자들 각각에게 송신할 데이터 스트림들의 합 레이트의 최대값인 상위 바운드(이하, '해당 스텝의 상위 바운드'라 칭함)를 결정한다. 이후, 현재 스텝의 상위 바운드와 이전 스텝의 상위 바운드를 비교하고, 그 비교 결과에 따라 현재 스텝에서 선택된 사용자를 동시에 송신할 사용자들로 선택할 지 여부를 결정한다. 그리고, 해당 사용자가 선택된 횟수를 고려하여 해당 사용자에게 전송할 데이터 스트림의 수를 결정한다.

[0032] 먼저, 본 발명의 실시 예에서 OSDM 방식을 사용하여 해당 스텝에서의 상위 바운드를 근사화하는 절차를 상세히 설명하기로 한다. OSDM 방식에서 사용되는 프리 코딩 매트릭스 T_k와, 컴바이닝 벡터 R_k를 사용하여 결정되는 효율적 채널 매트릭스 $\mathbf{\Lambda}_k = \mathbf{R}_k^H \mathbf{H}_k \mathbf{T}_k$는 항상 대각선 매트릭스를 나타낸다. 이 경우, 상기 C_{max}는 A의 m번째 행을 $(A)_m$이라 정의할 때, 하기 <수학식 6>으로부터 유추된 관계 $r_{k,m} = \frac{(\mathbf{H}_k \mathbf{G}_k \mathbf{V}_k)_m}{\|(\mathbf{H}_k \mathbf{G}_k \mathbf{V}_k)_m\|} = \frac{\mathbf{H}_k \mathbf{t}_{k,m}}{\|\mathbf{H}_k \mathbf{t}_{k,m}\|}$를 사용하여 하기 <수학식 7>과 같이 재정리된다. 이때, R_k와 T_k는 $\mathbf{H}_k \mathbf{G}_k = \mathbf{U}_k \mathbf{\Lambda}_k \mathbf{V}_k^{\dagger}$에 싱귤러 밸류 분해(SVD: Singular value decomposition)를 적용하여 각각 하기 <수학식 6>과 같이 정의된다.

수학식 6

[0033] $$\mathbf{R}_k = \mathbf{U}_k \text{ and } \mathbf{T}_k = \mathbf{G}_k \mathbf{V}_k$$

[0034] 이때, G_k는 상기 사용자 k를 제외한 다른 사용자들의 효율적 채널 매트릭스 $\mathbf{R}_i^{\dagger}\mathbf{H}_i\,(\forall i \neq k)$에 대한 널 공간(null space)의 orthonormal basis를 포함하는 매트릭스를 나타낸다.

수학식 7

[0035] $$\begin{aligned} C_{max} &= \max_{S_k, A, \mathrm{tr}(\mathbf{Q}) \le P} \sum_{k \in A} \sum_{m=1}^{S_k} \log_2 \left(1 + \frac{P_{k,m}}{N_0} \mathbf{r}_{k,m}^H \mathbf{H}_k \mathbf{t}_{k,m} \mathbf{t}_{k,m}^H \mathbf{H}_k^H \mathbf{r}_{k,m}\right) \\ &= \max_{S_k, A, \mathrm{tr}(\mathbf{Q}) \le P} \sum_{k \in A} \sum_{m=1}^{S_k} \log_2 \left(1 + \frac{P_{k,m}}{N_0 \left\|H_k t_{k,m}\right\|^2} \mathbf{t}_{k,m}^H \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \mathbf{t}_{k,m} \mathbf{t}_{k,m}^H \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \mathbf{t}_{k,m}\right) \quad \because \mathbf{r}_{k,m} = \frac{\mathbf{H}_k \mathbf{t}_{k,m}}{\|\mathbf{H}_k \mathbf{t}_{k,m}\|} \\ &= \max_{S_k, A, \mathrm{tr}(\mathbf{Q}) \le P} \sum_{k \in A} \sum_{m=1}^{S_k} \log_2 \left(1 + \frac{P_{k,m}}{N_0} \mathbf{t}_{k,m}^H \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \mathbf{t}_{k,m}\right) \end{aligned}$$

[0036] 여기서, $P_{k,m}$는 사용자 k가 수신한 m번째 데이터 스트림에 대한 신호 전력을 나타낸다.

[0037] 이때, 셋 A를 구성하는 사용자들 각각에 대한 데이터 스트림들의 레이트 합은, 해당 사용자에 대해 송신할 데이터 스트림들 각각에 대한 개별 레이트를 나타내는 로그 텀(log term)을 최대화함에 의해서 개선된다. 그러나, 상기 벡터 $t_{k,m}$은 상기 셋 A와 상기 셋 A를 구성하는 사용자들 각각의 S_k가 결정된 후에 OSDM을 통해서 획득되기 때문에, 상기 <수학식 7>의 결과식으로부터 개별 레이트를 계산하기가 어렵다. 그러므로, 본 발명의 실시 예에서는, 상기 <수학식 7>로부터 $N_t \times 1$ 크기를 갖는 임의의 벡터 z를 사용하여 획득된, 하기 <수학식 8>의 관계를 이용한다.

수학식 8

[0038] $$\log_2\left(1+\frac{P_{k,m}}{N_0}\mathbf{t}_{k,m}^H\mathbf{H}_k^H\mathbf{H}_k\mathbf{t}_{k,m}\right)\le\max_{\mathbf{z}}\log_2\left(1+\frac{P_{k,m}}{N_0}\frac{\mathbf{z}^H\mathbf{H}_k^H\mathbf{H}_k\mathbf{z}}{\mathbf{z}^H\mathbf{z}}\right)$$

[0039] 상기 벡터 z에 대한 솔루션(solution)은 $\mathbf{H}_k^H\mathbf{H}_k$의 아이겐 밸류(eigenvalue)의 최대값과 연관된 아이겐 벡터이다. 그러므로, 상기 $\mathbf{H}_k^H\mathbf{H}_k$의 아이겐 밸류(eigenvalue)의 j 번째 최대값을 나타내는 $\sigma_{k,j}$을 사용하여 상기 <수학식 8>을 하기 <수학식 9>와 같이 정리할 수 있다.

수학식 9

[0040] $$\max_{\mathbf{z}}\log_2\left(1+\frac{P_{k,m}}{N_0}\frac{\mathbf{z}^H\mathbf{H}_k^H\mathbf{H}_k\mathbf{z}}{\mathbf{z}^H\mathbf{z}}\right)=\log_2\left(1+\frac{P_{k,m}\sigma_{k,1}}{N_0}\right)\le\log_2\left(1+\frac{P_{k,m}\|\mathbf{H}_k\|_F}{N_0}\right)$$

[0041] 이때, 상기 <수학식 9>에서 등호가 성립하지 않을 경우, $\sigma_{k,1}\le\sigma_{k,1}+\sigma_{k,2}+\cdots=\mathrm{tr}\left(\mathbf{H}_k^H\mathbf{H}_k\right)=\|\mathbf{H}_k\|_F$ 가 적용된다. 이하, 본 발명의 실시 예에서는 상기 <수학식 9>을 사용하여 해당 사용자에 대한 상위 바운드(upper bound)를 사용한다. 이에 대해서는 하기에서 상세히 설명하기로 한다.

[0042] 구체적으로, 본 발명의 실시 예에서는 송신측이 셋 A를 구성하기 위해서 선택할 수 있는 사용자들의 수를 하나씩 늘려가면서, 선택된 사용자들의 수에 대응하는 스텝(step)들을 순차적으로 나열한다. 이때, 상기 송신측은 최대 자신이 구비한 송신 안테나들의 수 즉, N_t개에 대응하는 수의 사용자들을 선택할 수 있다.

[0043] 그리고, 상기 송신측은, 나열된 스텝들 각각에 대해 순차적으로 해당 스텝에서 선택된 사용자들 각각에게 송신할 데이터 스트림들의 합 레이트에 대한 상위 바운드를 계산한다. 그리고, 현재 스텝의 상위 바운드가 이전 스텝의 상위 바운드를 초과하는 지 비교하고, 비교 결과에 따라 현재 스텝에서 선택된 사용자를 동시에 송신할 사용자들로 선택할 지 여부를 결정한다. 여기서, i는 스텝을 나타내는 지시자로, 상기 i는 상기 송신측이 구비한 송신 안테나들의 총 수 N_t만큼 존재할 수 있다. 그리고, μ_i는 i번째 스텝에서 선택된 하나의 사용자를 나타내고, 사용자 어레이 $\mathbf{d}=[\mu_1\ \cdots\ \mu_i]$는 i번째 스텝을 통해 상기 송신측이 선택한 데이터 스트림을 동시에 전송할 사용자들의 집합을 나타낸다. 상기 사용자 어레이는 동일한 사용자의 인덱스를 포함한다.

[0044] 먼저, 제1스텝(i=1)에서, 상기 <수학식 9>로부터 획득한 상위 바운드 즉, $\log_2\left(1+\frac{P_{k,m}\|\mathbf{H}_k\|_F}{N_0}\right)$를 최대화하는 첫 번째 사용자 $\mu_1=\arg\max_k\|\mathbf{B}_{k,1}\|_F^2$를 선택한다. 이때, $N_r\times N_t$ 크기를 갖는 채널 매트릭스 $\mathbf{H}_k$를 매트릭스 $\mathbf{B}_{k,1}$로 조정하여 $\mathbf{B}_{k,1}=\mathbf{H}_k$로 설정한다.

[0045] 이후, 상기 첫 번째 사용자 μ_1에 대한 $B_{\mu_1,1}^H B_{\mu_1,1}$에 대한 아이겐 밸류 분해(EVD: EigenValue Decomposition)를 수행하여 상기 사용자 μ_1에 대한 아이겐 밸류의 최대값 $\lambda_{\mu_1,1}$과 이에 대응하는 아이겐 벡터 e_1을 획득한다. 이후, 상기 <수학식 8>에 상기 사용자 μ_1에 대한 아이겐 밸류의 최대값 $\lambda_{\mu_1,1}$과 이에 대응하는 아이겐 벡터 e_1 를 적용하면, 하기 <수학식 10>과 같이 나타내어진다.

수학식 10

[0046] $$\log_2\left(1+\frac{P_{\mu_1,1}}{N_0}\mathbf{t}_{\mu_1,1}^H\mathbf{H}_{\mu_1}^H\mathbf{H}_{\mu_1}\mathbf{t}_{\mu_1,1}\right)\le\max_{\mathbf{z}}\log_2\left(1+\frac{P_{\mu_1,1}}{N_0}\frac{\mathbf{z}^H\mathbf{H}_{\mu_1}^H\mathbf{H}_{\mu_1}\mathbf{z}}{\mathbf{z}^H\mathbf{z}}\right)$$

[0047] $$=\log_2\left(1+\frac{P\lambda_{\mu_1,1}}{N_0}\right)\triangleq\tilde{C}_1$$

[0048] 여기서, $z=e_1$이다.

[0049] 상기 <수학식 10>의 결과 $\tilde{C}_1$은 상기 셋 A가 사용자 μ_1만으로 구성될 때($A=\{\mu_1\}$), 상기 사용자 μ_1에게 전송할 데이터 스트림이 하나인 경우 획득할 수 있는 합 레이트의 상위 바운드를 나타낸다.

[0050] 다음으로, 나머지 스텝들 즉, i = 2, … ,N_t 각각에서, 이전 스텝들의 결과들을 고려하여 전송할 데이터 스트림을 할당할 사용자 μ_i를 선택한다. 우선, 해당 스텝 별로 이전 스텝들에서 상기 <수학식 8>을 이용하여 획득한 개별 레이트에 대한 상위 바운드를 획득하기 위해서, z의 후보 셋으로부터 이미 고려된 아이겐 벡터들 $\mathbf{e}_1,\cdots,\mathbf{e}_{i-1}$을 제외한 z를 선택한다. 즉, 스텝 $i\ge 2$에서, z는 이전 단계까지의 아이겐 벡터들 $\mathbf{z}=\mathbf{e}_j\ (j=1,\cdots,i-1)$과 직교성을 갖는다. 그리고, 아이겐 벡터들 즉, $\{\mathbf{e}_1,\cdots,\mathbf{e}_{i-1}\}$의 널 스페이스(null space)에 H_k의 열들을 설계함에 의해서 계산되는 $\mathbf{B}_{k,i}=\mathbf{H}_k\left(\mathbf{I}-\sum_{n=1}^{i-1}\mathbf{e}_n\mathbf{e}_n^\dagger\right)$ 매트릭스를 정의한다. 즉, 상기 $B_{k,i}$는 $\mathbf{e}_1,\cdots,\mathbf{e}_{i-1}$에 직교인 H_k에서의 구성 소자들만을 포함한다. 상기 $B_{k,i}$를 사용하여 상기 <수학식 8>은 하기 <수학식 11>과 같이 정리된다.

수학식 11

[0051] $$\max_{\substack{\mathbf{z},\mathbf{z}^H\mathbf{e}_j=0\\(j=1,\cdots,i-1)}}\log_2\left(1+\frac{P_{k,m}}{N_0}\frac{\mathbf{z}^H\mathbf{H}_k^H\mathbf{H}_k\mathbf{z}}{\mathbf{z}^H\mathbf{z}}\right)=\max_{\mathbf{z}}\log_2\left(1+\frac{P_{k,m}}{N_0}\frac{\mathbf{z}^H\mathbf{B}_{k,i}^H\mathbf{B}_{k,i}\mathbf{z}}{\mathbf{z}^H\mathbf{z}}\right)$$
$$=\log_2\left(1+\frac{P_{k,m}\lambda_{k,i}}{N_0}\right)\le\log_2\left(1+\frac{P_{k,m}\|\mathbf{B}_{k,i}\|_F}{N_0}\right)$$

[0052] 여기서, $\lambda_{k,i}$는 $\mathbf{B}_{k,i}^\dagger\mathbf{B}_{k,i}$의 아이겐 백터의 최대값을 나타낸다.

[0053] z에 대한 솔루션은 $\mathbf{B}_{k,i}^\dagger\mathbf{B}_{k,i}$의 아이겐 밸류의 최대값과 연관되고, z와 $\mathbf{e}_j\ (j=1,\cdots,i-1)$간의 직교성이 만족된다. 그러므로, 전송할 데이터 스트림을 할당할 사용자 μ_i을 선택하기 위해서 상기 <수학식 11>의 상위 바운드를 최대화하기 위한 $\mu_i=\arg\max_k\|\mathbf{B}_{k,i}\|_F^2$을 결정한다.

[0054] 상기한 절차를 보다 간단히 하기 위해서, 본 발명의 실시 예에서는 상기 <수학식 11>의 $\max_{\mathbf{z}}\log_2\left(1+\frac{P_{k,m}}{N_0}\frac{\mathbf{z}^H\mathbf{B}_{k,i}^H\mathbf{B}_{k,i}\mathbf{z}}{\mathbf{z}^H\mathbf{z}}\right)$을 μ_i에게 i번째 할당된 데이터 스트림의 개별 레이트를 근사화한 값으로 사용한다. 이때, $\mathbf{B}_{\mu_i,i}^H\mathbf{B}_{\mu_i,i}$에 EVD를 적용하고, 아이겐 밸류 $\lambda_{\mu_i,i}$의 최대값 및 상기 아이겐 밸류에 대응하는 아이겐 벡터 e_i를 획득한다. 만약, μ_i에게 할당된 데이터 스트림들 각각으로부터 동일한 전력 할당이 추정되면, 상기 $\max_{\mathbf{z}}\log_2\left(1+\frac{P_{k,m}}{N_0}\frac{\mathbf{z}^H\mathbf{B}_{k,i}^H\mathbf{B}_{k,i}\mathbf{z}}{\mathbf{z}^H\mathbf{z}}\right)$ 즉, i번째 스텝에서 선택된 사용자들(즉, $\mu_1,\cdots,\mu_i$) 각각에 할당된 데이터 스트

림들의 합 레이트에 대한 상위 바운드는 최종적으로 하기 <수학식 12>와 같이 나타내어진다.

수학식 12

[0055] $$\tilde{C}_i \triangleq \sum_{n=1}^{i} \log_2\left(1+\frac{P\lambda_{\mu_n,n}}{iN_0}\right).$$

[0056] 그러면, 본 발명의 실시 예에서는 상기 <수학식 12>를 통해서 해당 스텝 별로 선택된 사용자들 각각에게 할당된 데이터 스트림들에 대한 합 레이트의 상위 바운드(이하, '해당 스텝의 상위 바운드'라 칭함)를 이전 스텝의 상위 바운드와 비교한다. 예를 들어, i번째 스텝의 상위 바운드 $\tilde{C}_i$와 i-1번째 스텝의 상위 바운드 $\tilde{C}_{i-1}$를 비교한다. 상기 비교 결과, i번째 스텝의 상위 바운드가 i-1번째 스텝의 상위 바운드를 초과할 경우($\tilde{C}_i > \tilde{C}_{i-1}$), μ_i을 사용자 어레이 $\mathbf{d}=[\mu_1 \ \cdots \ \mu_i]$에 포함시킨 후, 다음 스텝으로 이동한다.

[0057] 상기 비교 결과, i번째 스텝의 상위 바운드가 i-1번째 스텝의 상위 바운드 이하일 경우($\tilde{C}_i \le \tilde{C}_{i-1}$), μ_i을 데이터 스트림을 할당할 사용자에 포함시키면, 전체 처리량이 감소되므로, μ_i를 i번째 스텝의 사용자 어레이에 포함시키지 않는다. 이 경우, 사용자 어레이는 합 레이트를 최대화하기 위해서 $\mathbf{d}=[\mu_1 \ \cdots \ \mu_{i-1}]$으로 결정된다.

[0058] 상기한 바와 같이 각 스텝 별 비교 절차를 통해서 최종적인 사용자 어레이가 획득되면, 동시 송신을 위한 사용자들의 셋 A가 하기 <수학식 13>과 같이 정의된다. 즉, 셋 A는 최종적으로 획득된 사용자 어레이를 구성하는 엘리먼트들로 구성되며, 상기 사용자 어레이에 포함된 동일한 사용자의 인덱스는 하나만 포함된다.

수학식 13

[0059] $$\mathrm{A}=\{k \,|\, k \text{ is the element of } \mathbf{d}\}$$

[0060] 이때, 상기 사용자 어레이 d는 동일한 사용자가 한번 이상 선택될 수도 있다. 이 경우, 상기 셋 A를 구성하는 사용자들 각각에게 전송할 데이터 스트림의 수는 상기 사용자 어레이 d에 포함된 횟수로 결정된다. 예를 들어, 전체 사용자 K_T명 수가 3인 경우, 사용자 어레이 d가 d=[1 1 2 1]로 결정된 경우를 가정하자. 이 경우, 사용자 어레이 d에 포함된 사용자의 인덱스는 1과 2이므로, 셋 A를 구성하는 사용자의 인덱스는 {1,2}로 구성된다. 그리고, 상기 사용자 어레이 d에서 사용자 인덱스 1은 3번 선택되었고, 사용자 인덱스 2는 1번 선택되었으므로, S_1가 '3'으로 결정되고, S_2는 '1'로 결정되며, S_3은 '0'으로 결정됨을 알 수 있다.

[0061] 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 송신측의 동작 흐름도이다.

[0062] 도 2를 참조하면, 200단계에서 송신측은 현재 스텝의 지시자 i가 N_t 이하인지 검사한다. 상기 검사 결과, 지시자 i가 N_t 를 초과할 경우, 상기 송신측은 사용자 어레이 결정 절차를 종료한다. 상기 검사 결과, 상기 지시자 i가 N_t 이하인 경우, 205단계에서 상기 송신측은 i번째 상위 바운드를 계산하고, 210단계로 진행한다. 이때, 상기 i번째 상위 바운드는, 상기 송신측이 구비한 송신 안테나들과 상기 i번째 스텝에서 선택된 사용자들 간에 형성된 채널 매트릭스와 상기 채널 매트릭스의 복소 공액 매트릭스의 곱에 아이겐 밸류 분해를 수행하여, 상기 선택된 사용자들 각각에 대한 아이겐 밸류의 최대값과 이에 대응하는 아이겐 벡터를 획득하고, 상기 선택된 사용자들 각각에 대한 아이겐 밸류의 최대값과 이에 대응하는 아이겐 벡터를 상기 <수학식 12>에 적용하여 계산된다.

[0063] 210단계에서 i번째 상위 바운드가 i-1번째 상위 바운드를 초과하는 지 확인한다. 상기 확인 결과, i번째 상위

바운드가 i-1번째 상위 바운드를 초과할 경우, 215단계에서 상기 송신측은 상기 i번째 상위 바운드 계산 시 결정한 사용자의 수 μ_i를 사용자 어레이에 포함시키고, 225단계로 진행한다. 225단계에서 상기 송신측은, 상기 i번째 지시자를 1만큼 증가시켜 200단계로 복귀한다.

[0064] 상기 확인 결과, i번째 상위 바운드가 i-1번째 상위 바운드 이하일 경우, 220단계에서 상기 송신측은 상기 사용자 어레이에서 μ_i를 삭제하고, 235단계로 진행한다. 235단계에서 상기 송신측은, $\mathbf{d}=[\mu_1 \ \cdots \ \mu_{i-1}]$를 사용자 어레이로 결정하고, 240단계로 진행한다.

[0065] 240단계에서 상기 송신측은 상기 결정된 사용자 어레이에 포함된 사용자 인덱스로 셋 A를 결정하고, 245단계로 진행한다. 245단계에서 상기 셋 A에 포함된 사용자 인덱스 별로 상기 사용자 어레이에 포함된 횟수를 해당 사용자에게 송신할 데이터 스트림의 수로 결정한다.

[0066] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 송신측의 구성도이다.

[0067] 도 3을 참조하면, 송신측(300)은 상위 바운드 계산부(305)와, 비교부(310)와, 사용자 어레이 결정부(315) 및 데이터 스트림 결정부(320)를 포함한다.

[0068] 상기 상위 바운드 계산부(305)는 해당 스텝에서 상기 송신측(300)이 구비한 송신 안테나들과 상기 스텝에서 선택된 사용자들 간에 형성된 채널 매트릭스와 상기 채널 매트릭스의 복소 공액 매트릭스의 곱에 아이겐 밸류 분해를 수행하여, 상기 선택된 사용자들 각각에 대한 아이겐 밸류의 최대값과 이에 대응하는 아이겐 벡터를 획득하고, 상기 선택된 사용자들 각각에 대한 아이겐 밸류의 최대값과 이에 대응하는 아이겐 벡터를 상기 <수학식 12>에 적용하여 해당 송신 안테나의 상위 바운드를 계산하고, 상기 비교부(310)로 전달한다.

[0069] 상기 비교부(310)는 현재 스텝의 상위 바운드가 이전 스텝의 상위 바운드를 초과하는 지 확인한다. 상기 확인 결과, 현재 스텝의 상위 바운드가 이전 스텝의 상위 바운드 이하일 경우, 이를 나타내는 비교 결과를 상기 사용자 어레이 결정부(315)로 전달한다. 이 경우, 상기 사용자 어레이 결정부(315)는 상기 현재 스텝에서 선택된 사용자를 사용자 어레이에서 삭제하고, 상기 사용자 어레이에 포함된 사용자들의 인덱스로 구성된 셋 A를 설정한다. 그리고 최종적으로 설정된 사용자 어레이를 상기 데이터 스트림 결정부(320)로 전달한다.

[0070] 상기 데이터 스트림 결정부(320)는 상기 셋 A를 구성하는 사용자 인덱스 별로 사용자 어레이에 포함된 횟수를 확인하고, 확인된 횟수를 해당 사용자에게 할당할 데이터 스트림의 수로 결정한다.

[0071] 상기 확인 결과, 상기 현재 스텝의 상위 바운드가 이전 스텝의 상위 바운드를 초과할 경우, 상기 비교부(310)는 이를 나타내는 비교 결과를 상기 사용자 어레이 결정부(315)로 전달한다. 그러면, 상기 사용자 어레이 결정부(315)는 상기 현재 스텝에서 선택한 사용자를 사용자 어레이에 포함시키고, 상기 현재 스텝을 1만큼 증가시킨다. 이후, 상기 상위 바운드 계산부(305)는 상기 1만큼 증가된 현재 스텝에서 상위 바운드를 계산하고, 그 이후의 과정이 반복된다.

[0072] 도 4a~c는 본 발명의 실시 예에 따른 성능 효과를 나타낸 그래프이다. 여기서, 종래 기술 [8]은 각 사용자 별 채널 매트릭스의 모든 SVD 구성들을 요구하는 방식이 적용된 경우이고, 종래 기술 [9]는 선택된 수신 안테나 및 사용자 서브 셋이 고정되었을 때 각 사용자에 대해 송신 프리 코딩 매트릭스를 계산하는 방식이 적용된 경우를 나타낸다. 그리고, 종래 개술 [8] W/BD와, 종래 개술 [9] W/BD 각각은, 상기 종래 기술 [8] 및 [9] 각각에 BD 방식이 적용된 경우를 나타낸다.

[0073] 도 4a를 참조하면, 송신측의 송신 안테나 수 N_t가 4이고, 사용자들 각각의 수신 안테나 수 N_r가 2인 경우, 플랫 페이딩 채널(flat fading channel) 상의 몬테 카를로 시뮬레이션(Monte Carlo simulation) 결과 즉, 사용자들의 수 K_T와 각 방식에서의 실제 곱셈의 수를 나타낸다. 그래프를 통해서 본 발명의 실시 예에 따른 방식이 종래 기술 [8] 및 [9]에 비해 훨씬 낮은 복잡도를 갖는 결과를 볼 수 있다. 구체적으로, K_T가 5, 15 및 25인 경우, 종래 기술 [8] 및 [9]에 비해 각각 61%, 87% 및 92%의 복잡도 감소에 도달할 수 있음을 알 수 있다. 더욱이, 본 발명의 실시 예에 따른 방식과 종래 기술 [9]의 복잡도 갭이 K_T에 관계없이 커지고 있음을 볼 수 있다.

[0074] 도 4b를 참조하면, 송신측의 송신 안테나 수 N_t가 8이고, 사용자들의 수신 안테나 수 N_r이 4이고, SNR=0임을

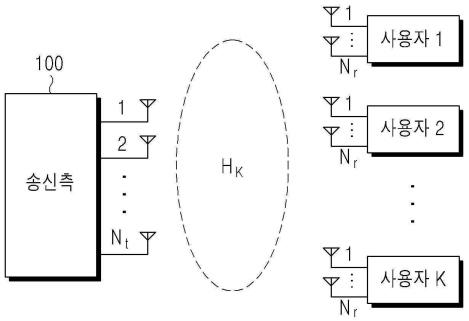
가정한다. 그래프 상에서 K_T가 20 이상인 경우, Exhausive 서치(search)의 결과는, 시뮬레이션이 긴 관계로 제외되었다. 본 발명의 실시 예에 다른 방식은 K_T가 5인 경우 종래 기술들과 비교하여 17%의 합 레이트 이득을 보여준다. 그래프에 따르면, 종래 기술 [8]에서는 K_T가 증가할 때, 합 레이트가 본 발명의 실시 예에 따른 합 레이트에 도달하고 있음을 보여준다, 그러나, 본 발명의 실시 예에 따른 방법은 높은 K_T에 대해 상당히 낮은 복잡도가 요구되는 장점이 있다.

[0075] 도 4c를 참조하면, 도 4b의 환경에서 SNR이 20dB로 증가한 경우 다양한 방식들의 처리량을 도시한 그래프이다. 본 발명의 실시 예에 따른 방식은 Exhausive 서치의 합 레이트보다 97% 이상의 합 레이트에 도달함을 보여준다. 또한 본 발명의 실시 예에 따른 방식은 훨씬 높은 복잡도를 갖는 종래 기술들보다 높은 합 레이트를 가진다. 그리고, 본 발명의 실시 예에 따른 방식과, 종래 기술들간의 처리량 갭은 K_T에 관계없이 유지됨을 볼 수 있다.

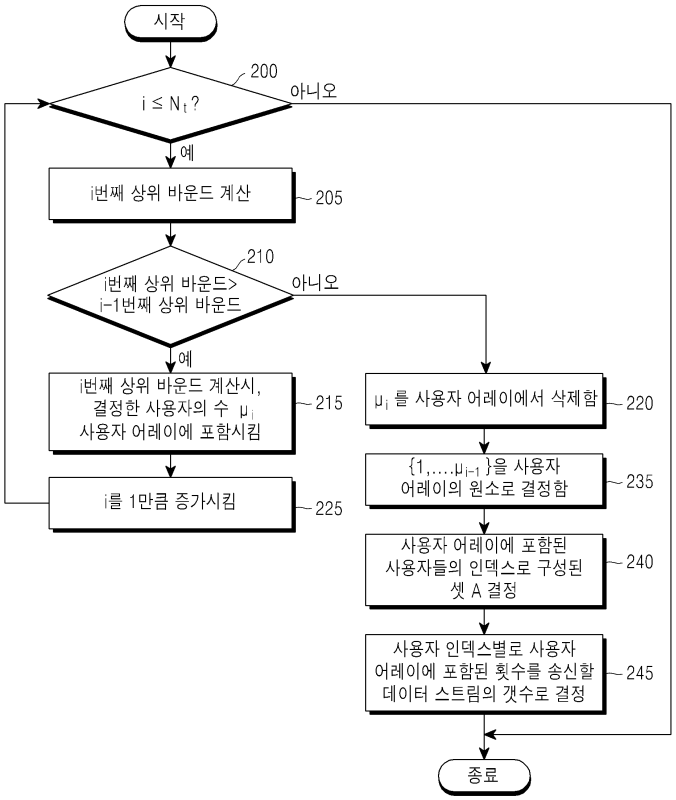
[0076] 한편 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 안되며 후술하는 특허청구의 범위뿐만 아니라 이 특허청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면

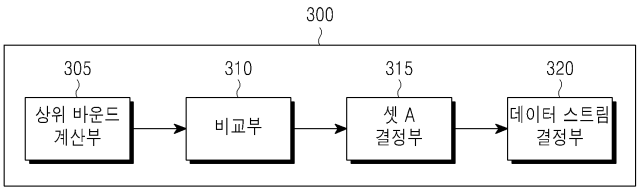
도면1



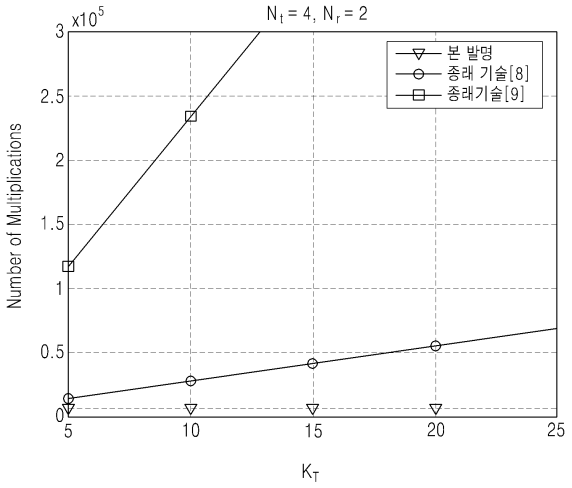
도면2


시작
200
i ≤ Nt ?
아니오
예
i번째 상위 바운드 계산
205
210
i번째 상위 바운드> i-1번째 상위 바운드
아니오
예
i번째 상위 바운드 계산시, 결정한 사용자의 수 μi 사용자 어레이에 포함시킴
215
i를 1만큼 증가시킴
225
μi 를 사용자 어레이에서 삭제함
220
{1,....μi-1 }을 사용자 어레이의 원소로 결정함
235
사용자 어레이에 포함된 사용자들의 인덱스로 구성된 셋 A 결정
240
사용자 인덱스별로 사용자 어레이에 포함된 횟수를 송신할 데이터 스트림의 갯수로 결정
245
종료

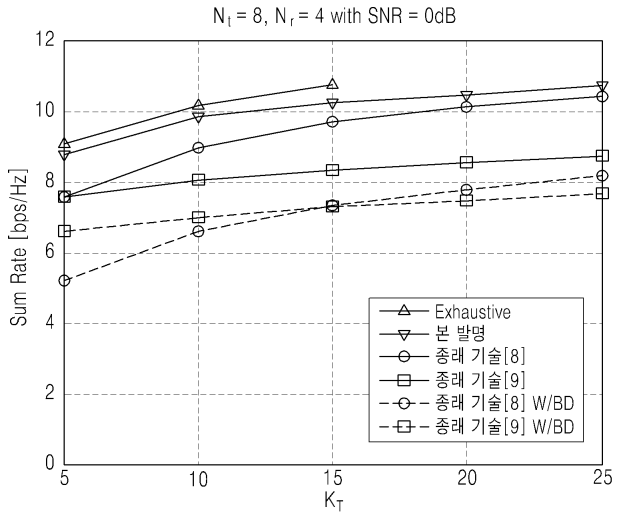
도면3


300
305
상위 바운드 계산부
310
비교부
315
셋 A 결정부
320
데이터 스트림 결정부

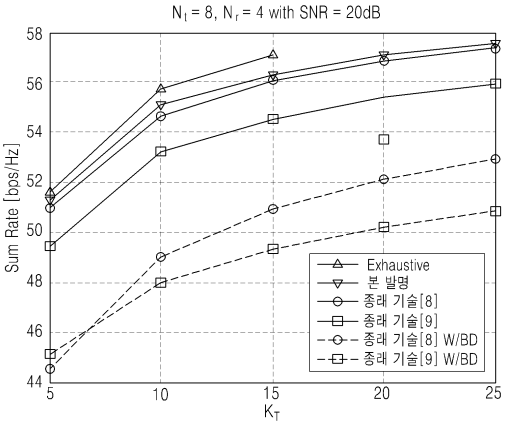
도면4a


x10^5
Nt = 4, Nr = 2
본 발명
종래 기술[8]
종래기술[9]
Number of Multiplications
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
5
10
15
20
25
KT

도면4b


N_t = 8, N_r = 4 with SNR = 0dB
Sum Rate [bps/Hz]
K_T
Exhaustive
본 발명
종래 기술[8]
종래 기술[9]
종래 기술[8] W/BD
종래 기술[9] W/BD

도면4c


N_t = 8, N_r = 4 with SNR = 20dB
Sum Rate [bps/Hz]
K_T
Exhaustive
본 발명
종래 기술[8]
종래 기술[9]
종래 기술[8] W/BD
종래 기술[9] W/BD