



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년09월04일
(11) 등록번호 10-1179707
(24) 등록일자 2012년08월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 72/12 (2009.01) H04B 7/04 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0021053
(22) 출원일자 2011년03월09일
심사청구일자 2011년03월09일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020080053679 A
KR1020090082689 A

(73) 특허권자
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가 1
(72) 발명자
이인규
서울특별시 광진구 능동로 90, B동 605호 (자양동, 더 클래식500)
박해욱
서울특별시 중구 동호로10길 30, 110동 1002호 (신당동, 약수하이츠)
(74) 대리인
김정훈, 이진주

전체 청구항 수 : 총 6 항

심사관 : 전영상

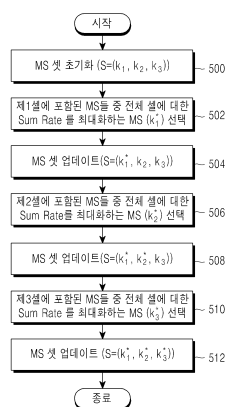
(54) 발명의 명칭 다중 입력 다중 출력 통신 시스템에서 스케줄링 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명은 다수의 셀이 존재하는 무선 통신 환경을 기반으로 방송 채널 (Broadcast Channel)을 사용하는 다중 입력 다중 출력 (MIMO: Multiple Input Multiple Output) 통신 시스템에서 기지국(BS: Base Station)이 상기 다수의 셀 중 하나인 서빙 셀에 대한 스케줄링을 수행하는 장치 및 방법에 관한 것이다.

이를 위해 본 발명에서는 상기 서빙 셀 내에 위치하는 다수의 이동 단말(Mobile Station: MS)들 중 채널 행렬의 놈(Norm) 값을 최대로 갖는 초기 MS를 선택하고, 상기 다수의 셀 중 상기 서빙 셀에 인접한 인접 셀들에 상응하는 인접 BS들 각각에 의해 선택된 초기 MS에 대한 정보를 수신한다. 상기 선택한 초기 MS와 상기 인접 BS들로부터 수신한 초기 MS에 대한 정보를 기반으로 초기 MS 셋을 설정하고, 상기 서빙 셀 내에 위치하는 다수의 MS들 중 상기 서빙 셀 및 상기 인접 셀들을 포함하는 전체 셀에 대한 썸 레이트(Sum Rate)를 최대화하는 갱신 MS를 선택한다. 상기 인접 BS들 각각으로부터 상기 서빙 셀 및 상기 인접 셀들을 포함하는 전체 셀에 대한 썸 레이트를 최대화하는 갱신 MS에 관한 정보를 수신하며, 상기 선택한 갱신 MS와 상기 인접 BS로부터 수신한 갱신 MS에 대한 정보를 기반으로 상기 초기 MS 셋 또는 이전 MS 셋을 갱신한 후 상기 선택한 갱신 MS로 신호를 송신한다.

대표도 - 도5



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

다수의 셀이 존재하는 무선 통신 환경을 기반으로 브로드캐스트 채널(Broadcast Channel)을 사용하는 다중 입력 다중 출력(Multiple Input Multiple Output: MIMO) 통신 시스템에서 기지국(Base Station: BS)이 상기 다수의 셀 중 하나인 서빙 셀에 대한 스케줄링을 수행하는 방법에 있어서,

상기 서빙 셀 내에 위치하는 다수의 이동 단말(Mobile Station: MS)들 중 채널 행렬의 놈(Norm) 값을 최대로 갖는 초기 MS를 선택하는 과정과, 상기 다수의 셀 중 상기 서빙 셀에 인접한 인접 셀들에 상응하는 인접 BS들 각각에 의해 선택된 초기 MS에 대한 정보를 수신하는 과정과,

상기 선택한 초기 MS와 상기 인접 BS들로부터 수신한 초기 MS에 대한 정보를 기반으로 초기 MS 셋을 설정하는 과정과,

상기 서빙 셀 내에 위치하는 다수의 MS들 중 상기 서빙 셀 및 상기 인접 셀들을 포함하는 전체 셀에 대한 썸 레이트(Sum Rate)를 최대화하는 갱신 MS를 선택하는 과정과,

상기 인접 BS들 각각으로부터 상기 서빙 셀 및 상기 인접 셀들을 포함하는 전체 셀에 대한 썸 레이트를 최대화하는 갱신 MS에 관한 정보를 수신하는 과정과,

상기 선택한 갱신 MS와 상기 인접 BS로부터 수신한 갱신 MS에 대한 정보를 기반으로 상기 초기 MS 셋 또는 이전 MS 셋을 갱신하는 과정과,

상기 선택한 갱신 MS로 신호를 송신하는 과정을 포함하는 스케줄링 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 송신하는 과정은,

상기 선택한 갱신 MS로 송신할 신호를 프리코딩(Precoding)하는 과정과,

상기 프리코딩된 신호를 상기 선택한 갱신 MS로 송신하는 과정을 더 포함하는 스케줄링 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 선택한 갱신 MS에 대한 정보를 상기 인접 BS들로 송신하는 과정을 더 포함하는 스케줄링 방법.

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

다수의 셀이 존재하는 무선 통신 환경을 기반으로 브로드캐스트 채널(Broadcast Channel)을 사용하는 다중 입력 다중 출력(Multiple Input Multiple Output: MIMO) 통신 시스템에서 기지국(Base Station: BS)이 상기 다수의 셀 중 하나인 서빙 셀에 대한 스케줄링을 수행하는 장치에 있어서,

상기 다수의 셀 중 상기 서빙 셀에 인접한 인접 셀들에 상응하는 인접 BS들 각각에 의해 선택된 이동 단말(Mobile Station: MS)에 대한 정보를 수신하는 기지국 인터페이스와,

상기 서빙 셀 내에 위치하는 다수의 MS들 중 채널 행렬의 놈(Norm) 값을 최대로 갖는 초기 MS를 선택하고, 상기 선택한 초기 MS와 상기 기지국 인터페이스를 통해 상기 인접 BS들로부터 수신한 초기 MS에 대한 정보를 기반으로 초기 MS 셋을 설정하며, 상기 서빙 셀 내에 위치하는 다수의 MS들 중 상기 서빙 셀 및 상기 인접 셀들을 포함하는 전체 셀에 대한 썸 레이트(Sum Rate)를 최대화하는 갱신 MS를 선택하고, 상기 인접 BS들 각각으

로부터 상기 서빙 셀 및 상기 인접 셀들을 포함하는 전체 셀에 대한 썸 레이트를 최대화하는 갱신 MS에 관한 정보를 상기 기지국 인터페이스를 통해 수신하며, 상기 선택한 갱신 MS와 상기 인접 BS로부터 수신한 갱신 MS에 대한 정보를 기반으로 상기 초기 MS 셋 또는 이전 MS 셋을 갱신하고, 상기 선택한 갱신 MS로 신호를 송신할 것을 제어하는 제어부를 포함하는 스케줄링 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 선택한 갱신 MS로 송신할 신호를 프리코딩(Precoding)하고, 상기 프리코딩된 신호를 상기 선택한 갱신 MS로 송신하는 송신부를 더 포함하는 스케줄링 장치.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 기지국 인터페이스는 상기 제어부의 제어에 의해 상기 선택한 갱신 MS에 대한 정보를 상기 인접 BS들로 송신함을 특징으로 하는 스케줄링 장치.

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 다중 입력 다중 출력(Multiple Input Multiple Output: MIMO) 통신 시스템에서 스케줄링 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 종래의 통신 시스템에서 셀 경계에 위치한 이동 단말(Mobile Station: MS)들은 다른 인접 셀로부터 간섭의 영향을 받는다. 따라서, 셀 경계에 위치한 MS 들이 많아질수록 셀 전체의 처리량(Throughput)이 저하되는 문제가 있다. 셀 전체의 처리량을 높이기 위해, 셀 경계에 위치한 MS들을 제외하고 기지국(Base Station: BS)에 인접한 MS들을 위주로 서비스가 제공될 수 있다. 하지만, 전체 MS들에 대한 공정성(Fairness)를 고려할 때 셀 경계에 위치한 MS들의 서비스 품질(Quality of Service: QoS)을 높여야 할 필요성이 있다.

[0003] 이를 위한 방법 중 하나로서 시분할 다중 접속(Time Division Multiple Access: TDMA) 방법이 있다. 상기 TDMA 방법은 미리 설정된 시간 슬롯(Time slot)마다 다수의 셀 중 하나의 셀에서만 통신이 수행될 수 있도록 함으로써 셀 간 간섭을 줄일 수 있도록 하는 방법이다. 상기 TDMA 방법은 셀 간 간섭을 간단하게 줄일 수는 있으나, 통신 시스템의 전체 처리량을 감소시키는 단점이 있다.

[0004] 한편, 상기 TDMA 방법을 자유도(Degree of Freedom: DOF) 관점에서 살펴보면, BS와 MS가 각각 M개의 안테나를 사용하는 경우 M개의 데이터 스트림이 안정적으로 서비스될 수 있으므로, DOF는 M이 된다(즉, DOF=M). 여기서, DOF는 다음 수학적 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

수학적식 1

$$\text{DOF} = \lim_{\rho \rightarrow \infty} \frac{C_{\Sigma}(\rho)}{\log \rho}$$

[0005]

- [0006] 상기 수학적 식 1에서 ρ 는 신호 대 잡음비(Signal-to-Noise Ratio: SINR)를 나타내며, $C_{\Sigma}(\rho)$ 는 ρ 에 대한 시스템 용량(Capacity)을 나타내며, DOF는 높은 SINR 대역에서의 시스템 특성을 나타낸다.
- [0007] 한편, 셀 경계에 위치한 MS들의 QoS를 높이기 위한 다른 방법으로, 간섭 정렬(Interference Alignment: IA) 방법이 있다. 상기 IA 방법은 간섭 채널에서의 선처리 기법으로서, 다른 BS들로부터의 간섭을 정렬시켜 해당 MS가 자신에게 송신된 신호만을 복호(Decoding)할 수 있도록 하는 방법이다.
- [0008] 상기 IA 방법이 사용될 경우, DOF는 $KM/2$ 이 된다. 여기서, K는 BS 및 MS의 수를 나타내며, M은 상기 BS 및 MS의 안테나 수를 나타낸다. 따라서, 상기 IA 방법이 사용될 경우 3 개 이상의 MS가 존재하는 경우에 상기 TDMA 방법이 사용될 때에 비해 처리량이 향상될 수 있지만, 낮은 SINR 대역(일 예로, 0~17 dB)에서는 총 처리량이 감소되는 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 본 발명은 MIMO 통신 시스템에서 스케줄링 방법 및 장치를 제안한다.
- [0010] 본 발명은 다수의 셀이 존재하는 무선 통신 환경을 기반으로 브로드캐스트(Broadcast) 채널이 사용되는 MIMO 통신 시스템에서 셀 간 간섭을 최소화할 수 있는 스케줄링 방법 및 장치를 제안한다.
- [0011] 본 발명은 셀 중심에 인접한 MS들 뿐만 아니라, 셀 가장자리에 위치한 MS들도 품질의 저하 없이 지속적으로 통신을 수행할 수 있도록 하는 스케줄링 방법 및 장치를 제안한다.

과제의 해결 수단

- [0012] 상술한 바를 달성하기 위한 본 발명에서 제안하는 방법은; 다수의 셀이 존재하는 무선 통신 환경을 기반으로 브로드캐스트 채널(Broadcast Channel)을 사용하는 다중 입력 다중 출력(Multiple Input Multiple Output: MIMO) 통신 시스템에서 기지국(Base Station: BS)이 상기 다수의 셀 중 하나인 서빙 셀에 대한 스케줄링을 수행하는 방법에 있어서, 상기 서빙 셀 내에 위치하는 다수의 이동 단말(Mobile Station: MS)들 중 채널 행렬의 놈(Norm) 값을 최대로 갖는 초기 MS를 선택하는 과정과, 상기 다수의 셀 중 상기 서빙 셀에 인접한 인접 셀들에 상응하는 인접 BS들 각각에 의해 선택된 초기 MS에 대한 정보를 수신하는 과정과, 상기 선택한 초기 MS와 상기 인접 BS들로부터 수신한 초기 MS에 대한 정보를 기반으로 초기 MS 셋을 설정하는 과정과, 상기 서빙 셀 내에 위치하는 다수의 MS들 중 상기 서빙 셀 및 상기 인접 셀들을 포함하는 전체 셀에 대한 썸 레이트(Sum Rate)를 최대화하는 갱신 MS를 선택하는 과정과, 상기 인접 BS들 각각으로부터 상기 서빙 셀 및 상기 인접 셀들을 포함하는 전체 셀에 대한 썸 레이트를 최대화하는 갱신 MS에 관한 정보를 수신하는 과정과, 상기 선택한 갱신 MS와 상기 인접 BS로부터 수신한 갱신 MS에 대한 정보를 기반으로 상기 초기 MS 셋 또는 이전 MS 셋을 갱신하는 과정과, 상기 선택한 갱신 MS로 신호를 송신하는 과정을 포함한다.
- [0013] 상술한 바를 달성하기 위한 본 발명에서 제안하는 장치는; 다수의 셀이 존재하는 무선 통신 환경을 기반으로 브로드캐스트 채널(Broadcast Channel)을 사용하는 다중 입력 다중 출력(Multiple Input Multiple Output: MIMO) 통신 시스템에서 기지국(Base Station: BS)이 상기 다수의 셀 중 하나인 서빙 셀에 대한 스케줄링을 수행하는 장치에 있어서, 상기 다수의 셀 중 상기 서빙 셀에 인접한 인접 셀들에 상응하는 인접 BS들 각각에 의해 선택된 이동 단말(Mobile Station: MS)에 대한 정보를 수신하는 기지국 인터페이스와, 상기 서빙 셀 내에 위치하는 다수의 MS들 중 채널 행렬의 놈(Norm) 값을 최대로 갖는 초기 MS를 선택하고, 상기 선택한 초기 MS와 상기 기지국 인터페이스를 통해 상기 인접 BS들로부터 수신한 초기 MS에 대한 정보를 기반으로 초기 MS 셋을 설정하며, 상기 서빙 셀 내에 위치하는 다수의 MS들 중 상기 서빙 셀 및 상기 인접 셀들을 포함하는 전체 셀에 대한 썸 레이트(Sum Rate)를 최대화하는 갱신 MS를 선택하고, 상기 인접 BS들 각각으로부터 상기 서빙 셀 및 상기 인접 셀들을 포함하는 전체 셀에 대한 썸 레이트를 최대화하는 갱신 MS에 관한 정보를 상기 기지국 인터페이스를 통해 수신하며, 상기 선택한 갱신 MS와 상기 인접 BS로부터 수신한 갱신 MS에 대한 정보를 기반으로 상기 초기 MS 셋 또는 이전 MS 셋을 갱신하고, 상기 선택한 갱신 MS로 신호를 송신할 것을 제어하는 제어부를 포함한다.

발명의 효과

- [0014] 본 발명은 브로드캐스트 채널이 사용되는 MIMO 통신 시스템에서 셀 간 간섭을 최소화할 수 있는 효과가 있다. 또한, 본 발명은 다수의 셀이 존재하는 통신 시스템에서 간단하고 효율적으로 스케줄링을 수행하여 셀 전체의 처리량 및 성능을 향상시킬 수 있는 효과가 있다. 따라서, 본 발명에서는 셀 중심에 인접한 MS들 뿐만 아니라, 셀 가장자리에 위치한 MS들도 품질의 저하 없이 지속적으로 통신을 수행할 수 있는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0015] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 MIMO 통신 시스템의 구조를 보인 도면,
 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 MIMO 통신 시스템의 세부 구성을 보인 도면,
 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 MIMO 통신 시스템의 BS의 블록 구성도,
 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 MIMO 통신 시스템에서 BS가 신호를 송신하는 제어 흐름도,
 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 MIMO 통신 시스템에서 MS 셋의 업데이트 과정을 보인 순서도,
 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 스케줄링 방법과 종래의 스케줄링 방법의 복잡도를 나타낸 그래프,
 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 최적의 스케줄링 방법과 종래의 TDMA 방법이 사용될 경우의 평균 Sum Rate를 나타낸 그래프,
 도 8은 본 발명의 실시 예에 따른 2가지 스케줄링 방법과, 종래의 IA 방법이 사용될 경우의 Sum Rate를 나타낸 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0016] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 동작 원리를 상세히 설명한다. 하기에서 본 발명을 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다
- [0017] 본 명세서는 다중 입력 다중 출력(Multiple Input Multiple Output: MIMO) 통신 시스템에서 스케줄링 방법 및 장치를 제안한다. 구체적으로, 본 명세서에서는 브로드캐스트(Broadcast) 채널이 사용되는 MIMO 통신 시스템에서 셀 간 간섭을 최소화할 수 있도록 간섭 정렬(Interference Alignment: IA) 방법을 사용하는 스케줄링 방법 및 장치를 제안한다. 이에 따른 본 발명의 실시 예에서는 다수의 셀을 포함하는 MIMO 통신 시스템에서 셀 간 간섭을 최소화하고, 셀 전체의 처리량 및 성능을 향상시킬 수 있다.
- [0018] 이하 본 발명의 실시 예에 따른 MIMO 통신 시스템에서 스케줄링 방법 및 장치를 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0019] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 MIMO 통신 시스템의 구조를 보인 도면이다.
- [0020] 도 1에서는 상기 MIMO 통신 시스템이 3개의 셀을 포함하는 경우를 일 예로 보이고 있다. 상기 3개의 셀 각각에는 해당 셀을 관장하는 기지국(Base Station: BS)이 포함된다. 구체적으로 제1셀(100)에는 BS 1(111)이 포함되고, 제2셀(120)에는 BS 2(121)가 포함되며, 제3셀(130)에는 BS 3(131)이 포함된다. 그리고, 상기 BS 1(111) 내지 BS 3(131)은 각각 자신이 관장하는 셀에 포함된 적어도 하나의 이동 단말(Mobile Station: MS)에게 브로드캐스트 채널을 사용하여 서비스를 제공한다. 즉, 상기 BS 1(111)은 MS 1(112)에 서비스를 제공하며, 상기 BS 2(121)는 MS 2(122) 및 MS 3(123)에 서비스를 제공하며, 상기 BS 3(131)은 MS 4(132) 및 MS 5(133)에 서비스를 제공한다.
- [0021] 한편, 상기와 같이 구성된 MIMO 통신 시스템에서는 셀 경계에 위치한 MS들이 다른 인접 셀로부터의 간섭의 영향을 받는다. 일 예로, 도 1에서 상기 MS 1(112)은 상기 제2셀(120) 및 제3셀(130)로부터 간섭을 수신하며, MS 2(122)는 상기 제1셀(100) 및 제3셀(130)로부터 간섭을 수신하며, 상기 MS 4(132)는 상기 제1셀(100) 및 제2셀(120)로부터 간섭을 수신한다. 따라서, 상기 MS 1(112), MS 2(122) 및 MS 4(132)는 수신된 간섭에 따라 해당 BS로부터의 신호를 원활하게 수신할 수 없는 문제가 있다.
- [0022] 특히, 본 발명의 실시 예에서는 상기 BS 1(111), BS 2(121) 및 BS 3(131)이 각각 브로드캐스트 채널을 사용하

여 해당 셀 내 MS들에게 신호를 송신하므로, 상기 MS 1(112), MS 2(122) 및 MS 4(132)로의 간섭이 최대가 되어 상기 MS 1(112), MS 2(122) 및 MS 4(132)의 통신 품질이 현저히 저하되는 문제가 있다. 따라서, 본 발명의 실시 예에서는 브로드캐스트 채널이 사용되는 MIMO 통신 시스템에서 셀 간 간섭을 최소화 할 수 있는 스케줄링 방법 및 장치를 제안한다.

[0023] 이하 도 2를 참조하여 MIMO 통신 시스템을 구체적으로 살펴보기로 한다.

[0024] 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 MIMO 통신 시스템의 세부 구성을 보인 도면이다.

[0025] 도 2를 참조하면, 상기 MIMO 통신 시스템은 B개의 BS들 즉, BS⁽¹⁾ (200) 내지 BS^(B) (250)와, 상기 B개의 BS들 각각과 통신을 수행하는 K_i (i= 1, ..., B)개의 MS들을 포함한다. 상기 BS⁽¹⁾ (200)은 K_i 개의 MS들 즉, MS(1,1)(210) ~ MS(1, K_i)(220)과 통신을 수행하며, 상기 BS^(B) (210)은 K_i 개의 MS들 즉, MS(B,1)(230) ~ MS(B, K_B)(240)과 통신을 수행한다. 여기서, BS는 다수개가 될 수 있으나, 본 발명의 실시 예에서는 도 1에 나타난 바와 같이 BS가 3개인 경우(즉, B=3인 경우)를 일 예로 설명하기로 한다.

[0026] 상기 BS⁽¹⁾ (200) 내지 BS^(B) (250), MS(1,1)(210) ~ MS(1, K_i)(220) 내지 MS(B,1)(230) ~ MS(B, K_B)(240)은 각각 M개의 안테나를 사용하여 신호를 송수신한다. 구체적으로, 상기 BS⁽¹⁾ (200)은 M개의 안테나 X⁽¹⁾을 사용하여 송신 신호 $W_1^{(1)} \sim W_{K_1}^{(1)}$ 를 상기 MS(1,1)(210) ~ MS(1, K_i)(220)로 송신한다. 그러면, 상기 MS(1,1)(210) ~ MS(1, K_i)(220)은 각각 M개의 안테나 $y_1^{(1)}$ 및 $y_{K_1}^{(1)}$ 을 사용하여 상기 송신 신호를 수신하고, 상기 수신된 신호를 복호하여 $\hat{W}_1^{(1)}$ 및 $\hat{W}_{K_1}^{(1)}$ 를 획득한다.

[0027] 그리고, 상기 BS^(B) (250)은 M개의 안테나 X^(B)을 사용하여 송신 신호 $W_1^{(B)} \sim W_{K_B}^{(B)}$ 를 상기 MS(B,1)(230) ~ MS(B, K_i)(240)로 송신한다. 그러면, 상기 MS(B,1)(230) ~ MS(B, K_i)(240)은 각각 M개의 안테나 $y_1^{(B)}$ 및 $y_{K_B}^{(B)}$ 를 사용하여 상기 송신 신호를 수신하고, 상기 수신된 신호를 복호하여 $\hat{W}_1^{(B)}$ 및 $\hat{W}_{K_B}^{(B)}$ 를 획득한다.

[0028] 여기서, 상기 BS⁽¹⁾ (200)로부터 송신되는 신호는, 상기 BS^(B) (250)로부터 신호를 수신하는, 상기 MS(B,1)(230) ~ MS(B, K_i)(240)에게는 간섭 신호로서 수신될 수 있다. 이와 유사하게, 상기 BS^(B) (250)로부터 송신되는 신호는, 상기 BS⁽¹⁾ (200)로부터 신호를 수신하는, 상기 MS(B,1)(230) ~ MS(B, K_i)(240)에게는 간섭 신호로서 수신될 수 있다. 특히 해당 BS에서의 신호가 브로드캐스팅됨에 따라 간섭 신호의 크기가 최대가 되어, 다른 셀과 인접한 셀 경계에 위치한 MS들의 처리량이 저하되는 문제가 있다. 이를 해결하기 위한 본 발명의 실시 예에서 제안하는 방법은 이후 구체적으로 설명하기로 한다.

[0029] 한편, 상기와 같이 구성된 MIMO 통신 시스템은 M x B x (K₁, ..., K_B) 간섭 브로드캐스트 채널(Interference Broadcast Channel: IFBC) 시스템으로 칭해질 수 있다. 그리고, 상기 MIMO 통신 시스템에서 i번째 셀에 있는 j번째 MS인 MS(i, j)의 수신 신호는 다음 수학식 2와 같이 나타난다.

수학식 2

$$y_j^{(i)} = H_j^{(i,i)} x^{(i)} + \sum_{k \neq i, k=1}^B H_j^{(i,k)} x^{(k)} + n_j^{(i)}$$

[0030]

[0031] 상기 수학식 2에서 i 는 $\{1, \dots, B\}$ 의 원소로서(즉, $i \in \{1, \dots, B\}$) 셀 인덱스를 나타내고, j 는 $\{1, \dots, K_i\}$ 의 원소로서(즉, $j \in \{1, \dots, K_i\}$) MS의 인덱스를 나타내고, $\mathbf{y}_j^{(i)}$ 는 상기 MS(i, j)의 수신 신호를 나타내고, $\mathbf{H}_j^{(i,i)}$ 는 i 번째 BS인 $\text{BS}^{(i)}$ 와 상기 MS(i, j) 사이의 채널 행렬을 나타내고, $\mathbf{H}_j^{(i,k)}$ 는 k 번째 BS인 $\text{BS}^{(k)}$ 와 상기 MS(i, j) 사이의 채널 행렬을 나타내고, $\mathbf{x}^{(i)}$ 는 상기 $\text{BS}^{(i)}$ 의 송신 신호 벡터를 나타내고, $\mathbf{x}^{(k)}$ 는 상기 $\text{BS}^{(k)}$ 의 송신 신호 벡터를 나타내고, $\mathbf{n}_j^{(i)}$ 는 상기 MS(i, j)에 대한 제로 평균과 공분산 $\sigma_n^2 \mathbf{I}_M$ 을 갖는 추가적인 복합 가우시안 노이즈 벡터(Additive Complex Gaussian Noise Vector)를 나타낸다.

[0032] 한편, 상기 MS(i, j)가 수신하고자 하는 신호는 상기 $\mathbf{H}_j^{(i,i)}$ 를 통해 송신되며, 인접 셀로부터의 간섭 신호는 상기 $\mathbf{H}_j^{(i,k)}$ 를 통해 송신된다. 상기 셀 i 에서 상기 $\mathbf{H}_j^{(i,i)}$ 를 통해 송신되는 신호는 상기 $\mathbf{H}_j^{(i,k)}$ 를 통해 송신되는 신호보다 높은 송신 전력을 갖는다. 하지만, 상기 MS(i, j)가 상기 셀 i 의 가장자리에 위치하는 경우, 상기 $\mathbf{H}_j^{(i,i)}$ 및 상기 $\mathbf{H}_j^{(i,k)}$ 를 사용하여 송신되는 신호는 동일한 송신 전력을 가질 수 있다. 이 경우, 상기 MS(i, j)는 셀 k 로부터의 간섭으로 인해 상기 $\text{BS}^{(i)}$ 로부터 송신되는 신호를 정확히 수신할 수 없는 문제가 있다.

[0033] 한편, 상기 MIMO 시스템에서는 선형 프리코딩(Liner Precoding) 방식을 사용하며, B 개의 셀이 포함된 환경에서 채널의 심볼 확장은 불가능하다. 따라서, 상기 수학식 2에 기재된 상기 $\text{BS}^{(i)}$ 의 송신 신호 벡터 $\mathbf{x}^{(i)}$ 는 다음 수학식 3과 같이 나타난다.

수학식 3

$$\mathbf{x}^{(i)} = \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \sum_{j=1}^{K_i} \mathbf{V}_j^{(i)} \mathbf{s}_j^{(i)}$$

[0034] [0035] 상기 수학식 3에서, $\mathbf{V}_j^{(i)}$ 는 상기 MS(i, j)에 대한 프리코딩 행렬을 나타내며, $\mathbf{s}_j^{(i)}$ 은 공분산 행렬이 $L_j^{(i)}$ 로 주어진 상기 MS(i, j)에 대한 정보 신호 벡터를 나타낸다. 여기서, 상기 정보 신호 벡터는 상기 MS(i, j)에서 최소 자승 오류(Mimum Mean Squared Error: MMSE) 필터를 사용하여 복호된다. 그리고, $L_j^{(i)}$ 는 상기 MS(i, j)의 데이터 스트림의 수를 나타내며, γ 은 다음 수학식 4와 같이 나타난다.

수학식 4

$$\gamma = \left(\sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^{K_i} \|\mathbf{V}_j^{(i)}\|_F^2 \right) / P$$

[0036] [0037] 상기 수학식 4에서 P 는 상기 셀 i 의 전체 송신 전력을 나타낸다.

[0038] 한편, 상기 MS(i, j)는 상기 $\text{BS}^{(i)}$ 로부터 송신되는 신호를 다음 수학식 5를 사용하여 복호할 수 있다.

수학식 5

$$\hat{\mathbf{s}}_j^{(i)} = \mathbf{U}_j^{(i)} \mathbf{y}_j^{(i)}$$

상기 수학식 5에서 $\hat{\mathbf{s}}_j^{(i)}$ 는 복호화된 송신 신호를 나타내며, $\mathbf{U}_j^{(i)}$ 는 수신 필터를 나타낸다.

본 발명의 실시 예에서는 썸 레이트(Sum Rate)(이하 'Sum Rate'라 칭함)를 최대화하는 스케줄링 방법을 제안한다. 즉, 본 발명의 실시 예에서는 각 셀마다 Sum Rate를 최대화하는 MS를 선택하여 MS 셋을 설정하는 스케줄링 방법을 제안한다. 본 발명의 실시 예에서는 IA 프리코딩 방법을 사용하기 위하여 각 셀 마다 하나의 MS가 선택됨으로써 상기 MS 셋이 설정된다. 따라서, 상기 MS 셋에 포함된 MS의 수는 전체 셀의 개수와 동일하다.

본 발명의 실시 예에서 제안하는 스케줄링 방법은 크게 2가지를 포함한다. 상기 2가지 방법은 최적의 스케줄링(Optimal Scheduling) 방법과 복잡성 감소 스케줄링(Reduced Complexity Scheduling) 방법을 포함한다.

먼저, 상기 두 가지 방법 중 상기 최적의 스케줄링 방법을 설명하기로 한다.

상기 최적의 스케줄링 방법이 수행되기 위해서는 전체 MS 셋이 전수 조사를 통해 검출된 후, 상기 검출된 전체 MS 셋으로부터 Sum Rate를 최대화하는 MS 셋이 선택되어야 한다. 이를 수학식으로 나타내면 다음 수학식 6과 같다.

수학식 6

$$(k_1^*, k_2^*, k_3^*) = \arg \max_{(k_1, k_2, k_3) \in \Pi} R_{\Sigma} \left(\{ \mathbf{V}_{k_i}^{(i)}, \mathbf{U}_{k_i}^{(i)} \} \right)$$

상기 수학식 6에서, $(k_1, k_2, k_3) \in \Pi$ 는 선택된 MS 셋을 나타낸다. 여기서, k_i 는 셀 i 에서 선택된 MS 인덱스($i=1, 2, 3$)를 나타내는데, 구체적으로 k_1 은 셀 1에서의 선택된 MS 인덱스를 나타내며, k_2 은 셀 2에서 선택된 MS 인덱스를 나타내며, k_3 은 셀 3에서 선택된 MS 인덱스를 나타낸다. 그리고, Π 는 $\{(1, 1, 1), \dots, (1, 1,$

$K_1), (2, 1, 1), \dots, (K_1, K_2, K_3)\}$ 와 같은 전체 MS 셋을 나타낸다. 또한, $\mathbf{V}_{k_i}^{(i)}$ 는 MS (i, k_i)에 대한 프리코

딩 행렬을 나타내고, $\mathbf{U}_{k_i}^{(i)}$ 는 상기 MS (i, k_i)에 대한 수신 필터를 나타내며, $R_{\Sigma} \left(\{ \mathbf{V}_{k_i}^{(i)}, \mathbf{U}_{k_i}^{(i)} \} \right)$ 은 Sum Rate를 나타낸다.

상기 Sum Rate는 다음 수학식 7과 같이 결정된다.

수학식 7

$$R_{\Sigma} \left(\{ \mathbf{V}_j^{(i)}, \mathbf{U}_j^{(i)} \} \right) = \sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^{K_i} R_j^{(i)} = \sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^{K_i} \sum_{l=1}^{L_j^{(i)}} \log_2 \left(1 + \frac{|\mathbf{u}_{j,l}^{(i)} \mathbf{H}_j^{(i,l)} \mathbf{v}_{j,l}^{(i)}|^2}{\gamma \sigma_n^2 \|\mathbf{u}_{j,l}^{(i)}\|^2 + \sum_{(k,m,n) \neq (i,j,l)} |\mathbf{u}_{j,l}^{(i)} \mathbf{H}_j^{(i,k)} \mathbf{v}_{m,n}^{(k)}|^2} \right)$$

상기 수학식 7에서 $R_j^{(i)}$ 는 상기 MS (i,j)의 레이트(Rate)를 나타내며, $\mathbf{u}_{j,l}^{(i)}$ 은 상기 $\mathbf{U}_j^{(i)}$ 의 1번째 열(Row)을 나타내며, $\mathbf{v}_j^{(i)}$ 의 1번째 행(Column)을 나타내며, $\mathbf{v}_{m,n}^{(k)}$ 는 셀 k 에 포함된 MS인 MS(k, m)의 프

리코딩 행렬 $V_m^{(k)}$ 의 n번째 행을 나타낸다.

[0050] 한편, 전수 조사를 통해 상기 전체 MS 셋을 검출할 경우, 상기 전수 조사를 통해 검출해야 하는 전체 MS 셋의 수는 다음 수학식 8과 같이 나타낸다.

수학식 8

$$\sum_{i=1}^3 K_i$$

[0051]

[0052] 수학식 8에서 K_i 는 셀 i 에 포함된 MS들의 수를 나타낸다.

[0053] 이처럼 전수 조사를 통해 상기 전체 MS 셋을 검출할 경우, MS의 수가 증가할수록 MS 셋의 수가 지수적으로 증가함에 따라 그 복잡도 역시 실제 시스템을 구현하기 힘들 정도로 증가된다. 따라서, 본 발명의 실시 예에서는 다음 수학식 9를 사용하여 보다 간단하게, 전체 MS 셋의 수를 결정한다.

수학식 9

$$\prod_{i=1}^3 K_i$$

[0054]

[0055] 상기와 같은 전수 조사를 통한 스케줄링 방법은 MIMO 통신 시스템에서의 총 성능을 최대로 할 수 있는 이점이 있다.

[0056] 다음으로, 본 발명의 실시 예에서 제안하는 2가지 스케줄링 방법 중 복잡성 감소 스케줄링 방법에 대해 설명하기로 한다. 상기 복잡성 감소 스케줄링 방법은 앞서 설명한 최적의 스케줄링 방법에 비해 복잡성을 감소시키면서도 Sum Rate를 최대로 할 수 있는 스케줄링 방법이다. 상기 복잡성 감소 스케줄링 방법은 하기 표 1에 기재된 알고리즘을 사용하여 수행된다.

표 1

Initialization: 1) Find a user k_i^0 such that $k_i^0 = \arg \max_{k \in \{1, \dots, K_i\}} \ \mathbf{H}_k^{(i,i)}\ _F^2 \text{ for } i = 1, 2, 3$ 2) Initialize a user set $S = (k_1^0, k_2^0, k_3^0)$ and $i = 1$. Main Loop: 3) FOR $i = 1 : 3$ Find a user k_i^* such that $k_i^* = \arg \max_{k \in \{1, \dots, K_i\}} R_\Sigma(S_i, k).$ Update $S \leftarrow S_{i, k_i^*}$. END
--

[0057]

[0058] 상기 표 1을 참조하면, 상기 MIMO 통신 시스템은 먼저 채널 행렬의 놈(norm)(이하 'norm'이라 칭함) 값을 사용하여 초기 MS 셋을 결정한다. 일 예로, 상기 MIMO 시스템은 상기 표 1의 초기화(Initialization) 부분에 나

타난 바와 같이, 각 셀마다 하나의 MS를 $BS^{(i)}$ 와 $MS(i, k_i)$ 사이의 채널 행렬인 $\mathbf{H}_{k_i}^{(i,i)}$ ($i \leq k_i \leq K_i$, $i=1, 2, 3$)의 프로베니우스(Frobenius) norm 값을 사용하여 선택한다. 즉, 상기 MIMO 통신 시스템은 최대 프로베니우스 norm 값을 갖는 MS(즉, user k_i^0)를 각 셀 별로 하나씩 선택한다. 이러한 방식으로 선택된 각 셀 별 MS는 일 예로 k_1^0 , k_2^0 및 k_3^0 이 될 수 있으며, 따라서 초기 MS 셋 S에는 k_1^0 , k_2^0 및 k_3^0 이 포함된다

(즉, $S=(k_1^0, k_2^0, k_3^0)$).

[0059] 상기 초기 MS 셋이 설정되면, 상기 표 1의 메인 루프(Main Loop) 부분의 동작이 수행된다. 즉, 상기 초기 MS 셋에 포함된 각 셀에 대응하는 MS를 Sum Rate를 기반으로 업데이트하는 동작이 수행된다. 상기 표 1에서 $S_{i,j}$ 는 MS 셋의 i 번째 요소(Component)가 j 로 변경됨을 나타낸다. 일 예로, MS 셋이 " $S=(k_1, k_2, k_3)$ "인 경우, $S_{2,j}$ 는 MS 셋의 2번째 요소가 j 로 변경됨을 나타낸다(즉, $S_{2,j}=(k_1, j, k_3)$).

[0060] 한편, 상기 업데이트 동작을 구체적으로 설명하면, 먼저 상기 MIMO 통신 시스템은 상기 초기 MS 셋에 포함된 MS들 중 셀 1에 대응하는 MS인 k_1^0 을 업데이트하기 위하여, 셀 1에 포함된 MS들 중 전체 셀에 대한 Sum Rate를 최대화하는 MS인 k_1^* 를 검출하고, 상기 초기 MS 셋의 k_1^0 을 k_1^* 로 업데이트한다. 그러면, 업데이트된 MS 셋은 $S=(k_1^*, k_2^0, k_3^0)$ 와 같이 나타난다.

[0061] 다음으로, 상기 MIMO 통신 시스템은 상기 초기 MS 셋에 포함된 MS들 중 셀 2에 대응하는 MS인 k_2^0 를 업데이트하기 위하여, 셀 2에 포함된 MS들 중 전체 셀에 대한 Sum Rate를 최대화하는 MS인 k_2^* 를 검출한다. 그리고, 상기 MIMO 통신 시스템은 초기 MS 셋의 k_2^0 를 k_2^* 로 업데이트한다. 그러면, 업데이트된 MS 셋은 $S=(k_1^*, k_2^*, k_3^0)$ 와 같이 나타난다.

[0062] 이어, 상기 MIMO 통신 시스템은 상기 초기 MS 셋에 포함된 MS들 중 셀 3에 대응하는 MS인 k_3^0 을 업데이트하기 위하여, 셀 3에 포함된 MS들 중 전체 셀에 대한 Sum Rate를 최대화하는 MS인 k_3^* 를 검출한다. 그리고, 상기 MIMO 통신 시스템은 초기 MS 셋의 k_3^0 을 k_3^* 으로 업데이트한다. 그러면, 업데이트된 MS 셋은 $S=(k_1^*, k_2^*, k_3^*)$ 와 같이 나타난다.

[0063] 모든 셀의 MS 업데이트 동작이 완료되면, 상기과 같은 과정이 종료된다. 이와 같은 스케줄링 방법은 종래의 스케줄링 방법에서와 같이 복잡도가 지수적으로 증가하지 않고, 선형적으로 증가한다. 따라서, 상기과 같은 스케줄링 방법은 종래의 스케줄링 방법에 비해 복잡도가 낮으며, MS의 수가 많을수록 종래 스케줄링 방법에 비해 복잡도가 현저히 저하되는 효과가 있다.

[0064] 상기과 같은 스케줄링 과정이 완료되면, 각 셀에서는 다음과 같은 IA 프리코딩 과정이 수행된다.

[0065] 일 예로, 상기 MS 셋에 셀 i 에 속한 첫 번째 MS인 $MS(i, 1)$ 가 포함된 경우, 간섭을 정렬하기 위한 선형 프리코딩 과정이 수행된다. 즉, 셀 i 를 제외한, 다른 셀들로부터의 간섭을 정렬시켜 상기 $MS(i, 1)$ 가 자신에게 송신된 신호만을 복호할 수 있도록 하는 과정이 수행된다.

[0066] 먼저, 상기 $MS(i, 1)$ 의 수신 신호 벡터는 다음 수학적 식 10과 같이 나타난다.

수학적 식 10

$$y_1^{(i)} = \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \sum_{k=1}^3 H_1^{(i,k)} V_1^{(k)} s_1^{(k)} + n_1^{(i)}$$

[0067]

[0068] 상기 수학식 10에서 $\mathbf{y}_1^{(i)}$ 는 상기 MS(i, 1)의 수신 신호 벡터를 나타내며, 정보 신호 벡터 $\mathbf{s}_1^{(i)}$ 의 길이인 $L_1^{(i)}$ 는 $\frac{M}{2}$ 가 된다. 여기서, i는 1, 2, 3이 된다.

[0069] 상기 수학식 10으로부터의 희망(Desired) 정보 신호 벡터가 복호될 수 있도록, 간섭 신호들의 공간은 약 $\frac{M}{2}$ 차원(Dimension)이 되어야 하며 희망 신호 공간에 선형적으로 독립적이어야 한다. 따라서, 다음 수학식 11과 같이, 3개의 간섭 정렬이 수행되도록 프리코딩이 수행된다.

수학식 11

$$\begin{aligned} \text{span}(\mathbf{H}_1^{(1,2)} \mathbf{V}_1^{(2)}) &= \text{span}(\mathbf{H}_1^{(1,3)} \mathbf{V}_1^{(3)}) \\ \text{span}(\mathbf{H}_1^{(2,3)} \mathbf{V}_1^{(3)}) &= \text{span}(\mathbf{H}_1^{(2,1)} \mathbf{V}_1^{(1)}) \\ \text{span}(\mathbf{H}_1^{(3,2)} \mathbf{V}_1^{(2)}) &= \text{span}(\mathbf{H}_1^{(3,1)} \mathbf{V}_1^{(1)}) \end{aligned}$$

[0071] 상기 수학식 11에서 $\text{span}(X)$ 는 X의 행(Column) 벡터에 의해 (Span)된 벡터 공간을 나타낸다.

[0072] 상기 프리코딩 행렬들은 하기 수학식 12를 사용하여 획득된다.

수학식 12

$$\begin{aligned} \text{span}(\mathbf{H}_1^{(1,2)} \mathbf{V}_1^{(2)}) &= \text{span}(\mathbf{H}_1^{(1,3)} \mathbf{V}_1^{(3)}), \\ \mathbf{H}_1^{(2,3)} \mathbf{V}_1^{(3)} &= \mathbf{H}_1^{(2,1)} \mathbf{V}_1^{(1)}, \\ \mathbf{H}_1^{(3,2)} \mathbf{V}_1^{(2)} &= \mathbf{H}_1^{(3,1)} \mathbf{V}_1^{(1)}. \end{aligned}$$

[0074] 상기 수학식 12은 다시 하기 수학식 13과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 13

$$\begin{aligned} \text{span}(\mathbf{V}_1^{(1)}) &= \text{span}(\mathbf{E} \mathbf{V}_1^{(1)}), \\ \mathbf{V}_1^{(2)} &= (\mathbf{H}_1^{(3,2)})^{-1} \mathbf{H}_1^{(3,1)} \mathbf{V}_1^{(1)}, \\ \mathbf{V}_1^{(3)} &= (\mathbf{H}_1^{(2,3)})^{-1} \mathbf{H}_1^{(2,1)} \mathbf{V}_1^{(1)} \end{aligned}$$

[0076] 상기 수학식 13에서 E는 다음 수학식 14와 같이 나타난다.

수학식 14

$$\mathbf{E} = (\mathbf{H}_1^{(3,1)})^{-1} \mathbf{H}_1^{(3,2)} (\mathbf{H}_1^{(1,2)})^{-1} \mathbf{H}_1^{(1,3)} (\mathbf{H}_1^{(2,3)})^{-1} \mathbf{H}_1^{(2,1)}$$

[0078] 결과적으로, 프리코딩 행렬 $\mathbf{V}_1^{(1)}$ 은 다음 수학식 15와 같이 나타난다.

수학식 15

$$\mathbf{V}_1^{(1)} = [\mathbf{e}_1 \ \mathbf{e}_2 \ \cdots \ \mathbf{e}_{\frac{M}{2}}]$$

- [0080] 상기 수학식 15에서, $e_1, \dots, e_M$ 은 E의 고유 벡터들(Eigenvectors)을 나타낸다. 상기 $V_1^{(1)}$ 이 결정되면, $V_1^{(2)}$ 및 $V_1^{(3)}$ 은 상기 수학식 13을 사용하여 결정될 수 있다.
- [0081] 전술한 바와 같은 스케줄링 방법 및 IA 프리코딩 과정이 수행됨에 따라, 본 발명의 실시 예에서는 Sum Rate를 최대화하고 브로드캐스트 채널이 사용되는 MIMO 통신 시스템에서 셀 경계에 있는 MS들의 신호 수신 품질을 향상시킬 수 있는 이점이 있다.
- [0082] 다음으로, 도 3을 참조하여 본 발명의 실시 예에 따른 MIMO 통신 시스템의 BS의 구성을 설명하기로 한다.
- [0083] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 MIMO 통신 시스템의 BS의 블록 구성도이다.
- [0084] 도 3을 참조하면, 상기 BS는 제어부(300), 스케줄러(310), 프리코더(320) 및 송수신부(330)를 포함한다.
- [0085] 상기 제어부(300)는 상기 BS의 전반적인 동작을 제어한다. 즉, 상기 제어부(300)는 상기 스케줄러(310), 프리코더(320) 및 다수의 안테나들을 제어하여, 브로드캐스팅 채널을 통한 신호를 해당 MS들로 송신한다.
- [0086] 상기 스케줄러(310)는 앞서 표 1에 나타난 바와 같은 방법을 사용하여 스케줄링을 수행한다. 구체적으로, 상기 스케줄러(310)는 상기 BS의 셀에 포함된 MS들 중 상기 BS와의 채널 행렬의 norm 값 일 예로, 프로베니우스 norm 값이 최대인 MS를 초기 MS 셋에 포함될 MS로서 선택한다. 그리고, 상기 스케줄러(310)는 상기 BS의 셀에 포함된 MS들 중, 상기 인접 셀들에서 선택된 MS들을 고려하여, 상기 프로베니우스 norm 값이 최대인 MS보다 Sum Rate를 최대로 하는 MS가 존재하는지 판단한다. 그리고, 상기 스케줄러(310)는 상기 Sum Rate를 최대로 하는 MS가 존재하는 경우, 해당 MS를 초기 MS 셋을 업데이트시키기 위한 MS로서 선택한다.
- [0087] 한편, 상기 선택된 MS에 대한 정보 및 상기 인접 셀들에서 선택된 MS들에 대한 정보는 기지국들을 관리하는 기지국 제어부(도시되지 않음) 또는 기지국 인터페이스(도시되지 않음) 등을 통해 인접 셀들로부터 송신되거나 인접 셀들로 수신될 수 있다.
- [0088] 상기 프리코더(320)는 상기 스케줄링을 과정에 따라 선택된 MS에 대한 IA 프리코딩을 수행한다. 상기 IA 프리코딩에 대한 내용은 앞서 구체적으로 설명하였으므로 그 상세한 설명은 생략하도록 한다.
- [0089] 상기 송수신부(330)는 상기 BS의 무선 통신 기능을 수행하며, 특히 상기 프리코더(320)로부터 출력되는 신호를 해당 MS들로 다수의 안테나들을 사용하여 송신한다. 한편, 본 발명의 실시 예에 따라 상기 송수신부(330)는 신호를 송신하는 송신부와 신호를 수신하는 수신부로 구분될 수도 있다.
- [0090] 이하 도 4를 참조하여 상기 BS의 동작을 구체적으로 살펴보기로 한다.
- [0091] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 MIMO 통신 시스템에서 BS가 신호를 송신하는 제어 흐름도이다.
- [0092] 도 4를 참조하면, 상기 BS는 400 단계에서 각 MS에 대한 채널을 추정하고, 상기 추정된 채널에 대응되는 채널 행렬의 norm 값을 산출한다. 그리고, 상기 BS는 402 단계에서 상기 산출된 채널 행렬의 norm 값을 사용하여 Sum Rate를 최대로 하는 즉, 최대 Sum Rate 기반의 스케줄링 동작을 수행한다.
- [0093] 구체적으로, 상기 BS는 상기 BS의 셀에 포함된 MS들 중 상기 BS와의 채널 행렬의 norm 값 일 예로, 프로베니우스 norm 값이 최대인 MS를 초기 MS 셋에 포함될 MS로서 선택한다. 그리고, 상기 BS는 상기 BS의 셀에 포함된 MS들 중 인접 셀들에서 선택된 MS들을 고려하여 Sum Rate를 최대로 하는 MS를 선택한다. 여기서, 상기 선택된 MS에 대한 정보는 MS 셋의 업데이트를 위해 인접 셀들로 각각 송신될 수 있다.
- [0094] 이어, 상기 BS는 404 단계에서 상기 선택된 MS로 송신할 신호에 대한 IA 프리코딩 과정을 수행하고, 프리코딩된 신호를 다수의 안테나를 통해 상기 선택된 MS로 송신한다.
- [0095] 다음으로, 도 5를 참조하여 MS 셋의 업데이트 과정을 구체적으로 살펴보기로 한다.
- [0096] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 MIMO 통신 시스템에서 MS 셋의 업데이트 과정을 보인 순서도이다.
- [0097] 도 5를 참조하면, 상기 MIMO 통신 시스템은 500 단계에서 채널 행렬의 norm 값을 사용하여 MS 셋을 초기화한다. 즉, 상기 MIMO 통신 시스템은 각 셀에서 해당 셀 내 포함된 MS들 중 채널 행렬의 norm 값이 최대인 MS가 선택되면, 각 셀에서 선택된 MS를 초기 MS 셋으로 설정한다. 일 예로, 셀의 수가 3인 경우, 제1셀에서 MS k_1

이 선택되고, 제2셀에서 MS k_2 가 선택되고, 제3셀에서 MS k_3 이 선택된 경우, 초기 MS 셋 S는 k_1, k_2 및 k_3 가 포함되는 형태로 설정될 수 있다(즉, $S=(k_1, k_2, k_3)$).

[0098] 상기와 같이 MS 셋이 초기화되면, 상기 MIMO 통신 시스템은 Sum Rate를 최대화하기 위하여 MS 셋에 포함된 MS 들을 각 셀 별로 업데이트한다. 먼저, 502 단계에서 상기 MIMO 통신 시스템은 상기 제1셀에 포함된 MS들 중 전체 셀에 대한 Sum Rate를 최대화하는 MS (k_1^*)를 선택한다. 이어, 상기 MIMO 통신 시스템은 504 단계에서 상기 선택된 MS (k_1^*)를 k_1 대신 상기 MS 셋에 포함시킴으로써 상기 MS 셋을 업데이트한다($S=(k_1^*, k_2, k_3)$).

[0099] 상기 MIMO 통신 시스템은 506 단계에서 상기 제2셀에 포함된 MS들 중 전체 셀에 대한 sum rate를 최대화하는 MS (k_2^*)를 선택한다. 그리고, 상기 MIMO 통신 시스템은 508 단계에서 상기 선택된 MS (k_2^*)를 k_2 대신 상기 MS 셋에 포함시킴으로써 상기 MS 셋을 업데이트한다($S=(k_1^*, k_2^*, k_3)$).

[0100] 상기 MIMO 통신 시스템은 510 단계에서 상기 제3셀에 포함된 MS들 중 전체 셀에 대한 Sum Rate를 최대화하는 MS (k_3^*)를 선택한다. 이어, 상기 MIMO 통신 시스템은 상기 512 단계에서 상기 선택된 MS (k_3^*)를 k_3 대신 상기 MS 셋에 포함시킴으로써 상기 MS 셋을 업데이트한다 ($S=(k_1^*, k_2^*, k_3^*)$).

[0101] 이와 같은 스케줄링 과정이 수행된 후, 각 셀의 BS는 해당 셀 내 선택된 MS들에게 송신할 신호에 대한 IA 프리코딩 과정을 수행하고, 프리코딩된 신호를 해당 MS로 송신한다.

[0102] 상기와 같은 스케줄링 방법이 수행될 경우, 멀티 유저(Multiuser) 다이버시티(Diversity)에 의해 달성할 수 있는 공간 효율성(Spectral Efficiency) 이득(Gain)이 증가되고, 전체 Sum Rate가 향상되는 이점이 있다.

[0103] 다음으로, 본 발명의 실시 예에 따른 스케줄링 방법의 시뮬레이션(Simulation) 결과를 도 6 내지 도 8을 참조하여 설명하기로 한다.

[0104] 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 스케줄링 방법과 종래의 스케줄링 방법의 복잡도를 나타낸 그래프이다.

[0105] 도 6의 그래프에서 가로 방향의 숫자는 셀 당 MS들의 수 K를 나타내며, 세로 방향의 숫자들은 탐색된 MS 셋의 수를 나타낸다. 그리고, 도 6의 그래프는 3개의 셀이 존재하는 MIMO 통신 시스템에서의 복잡도를 나타낸다.

[0106] 구체적으로, 도 6의 그래프에서 최적의 스케줄링(Optimal scheduling)을 나타내는 선은 종래의 전체 MS 셋 검출 방법($\sum_{i=1}^3 K_i$)에 따른 복잡도를 나타내고 있으며, 차선의 스케줄링(suboptimal scheduling)을 나타내는 선은 본 발명의 실시 예에 따른 전체 MS 셋 검출 방법($\prod_{i=1}^3 K_i$)에 따른 복잡도를 나타내고 있다.

[0107] 도 6에 나타난 바와 같이, 종래의 전체 MS 셋을 검출하는 방법이 사용될 경우, MS 수가 증가할수록 그 복잡도 역시 지수적으로 증가함을 알 수 있다. 반면, 본 발명의 실시 예에 따른 전체 MS 셋을 검출하는 방법이 사용될 경우, MS 수에 관계없이 그 복잡도가 낮게 유지됨을 알 수 있다.

[0108] 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 최적의 스케줄링 방법과 종래의 TDMA 방법이 사용될 경우의 평균 Sum Rate를 나타낸 그래프이다.

[0109] 도 7에서는 3개의 셀이 존재하며($B=3$), BS와 MS에서 사용되는 안테나의 개수가 2이고($M=2$), MS의 개수가 1, 3, 5 및 10($K=1, 3, 5, 10$)인 경우, 종래의 IA (Conventional IA) 방법, 본 발명의 실시 예에 따른 최적의 스케줄링 (IA w/opt. Scheduling) 방법 및 종래의 TDMA 스케줄링(TDMA w/max rate scheduling) 방법에 따른 평균 Sum Rate가 나타나있다. 도 7의 그래프에서 가로 방향의 숫자는 신호 대 잡음비(Signal-to-Noise Ratio: SNR)를 나타내며, 세로 방향의 숫자들은 Sum Rate를 나타낸다.

[0110] 20(dB) 이하의 미디엄(Medium) 및 낮은(Low) SNR에서는 TDMA 스케줄링 방법이 종래의 IA 방법보다 높은 Sum Rate를 제공한다. 그리고, 20(dB) 보다 큰 높은(High) SNR에서는 상기 종래의 IA 방법이 상기 TDMA 스케줄링 방법보다 높은 Sum Rate를 제공한다. 하지만, 본 발명의 실시 예에 따른 최적의 스케줄링 방법은 SNR의 크기에 관계없이 상기 종래의 IA 방법 및 상기 TDMA 스케줄링 방법보다 높은 Sum Rate를 제공하며, SNR 및 MS의 수가 증가할수록 더 큰 Sum Rate를 제공한다.

[0111] 도 8은 본 발명의 실시 예에 따른 2가지 스케줄링 방법과, 종래의 IA 방법이 사용될 경우의 Sum Rate를 나타

낸 그래프이다.

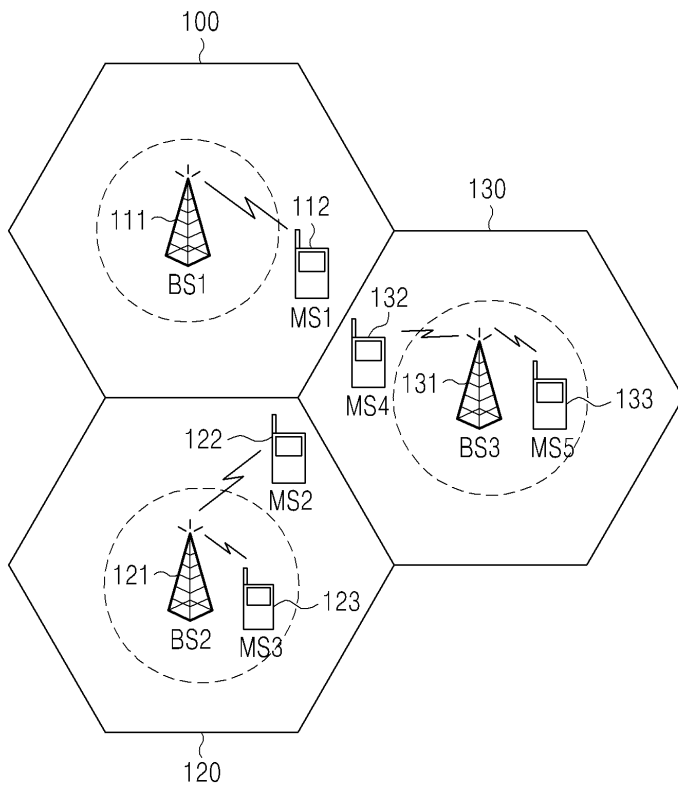
[0112] 도 8에서는 3개의 셀이 존재하며($B=3$), BS와 MS에서 사용되는 안테나의 개수가 2이고($M=2$)인 경우, 종래의 IA (Conventional IA) 방법, 본 발명의 실시 예에 따른 최적의 스케줄링(IA w/opt. Scheduling) 방법 및 본 발명의 실시 예에 따른 복잡성 감소 스케줄링(IA w/ reduced complexity scheduling) 방법에 따른 평균 Sum Rate가 나타나있다. 도 8의 그래프에서 가로 방향의 숫자는 SNR을 나타내며, 세로 방향의 숫자들은 Sum Rate를 나타낸다.

[0113] 도 8에 나타난 바와 같이, 본 발명의 실시 예에 따른 최적의 스케줄링 방법 및 복잡성 감소 스케줄링 방법은 K 가 10인 경우 각각 15 bps/Hz의 Sum Rate에서 종래의 IA 방법이 사용될 때보다 7.1 dB 및 6.3 dB 큰 이득(Gain)을 제공한다.

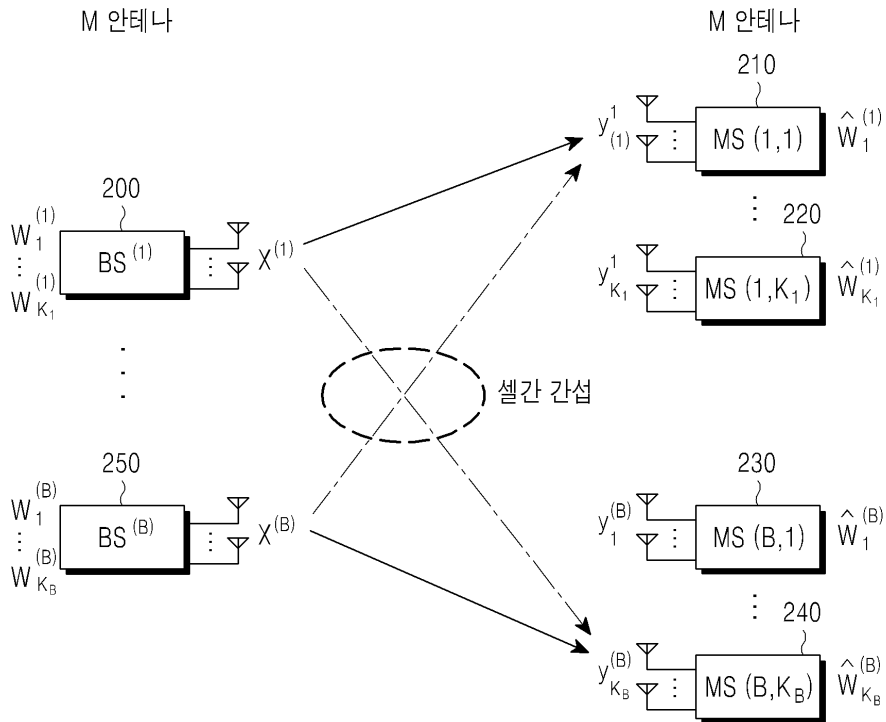
[0114] 한편 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 안되며 후술하는 특허청구의 범위뿐만 아니라 이 특허청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면

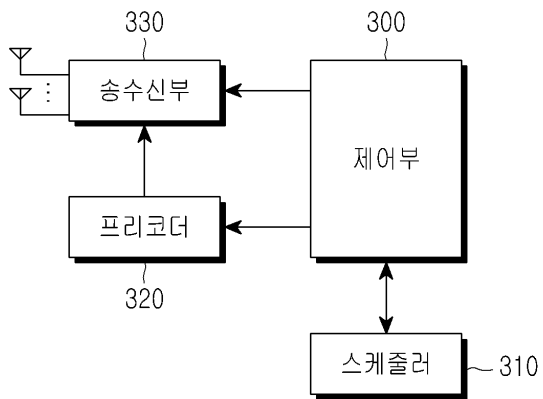
도면1



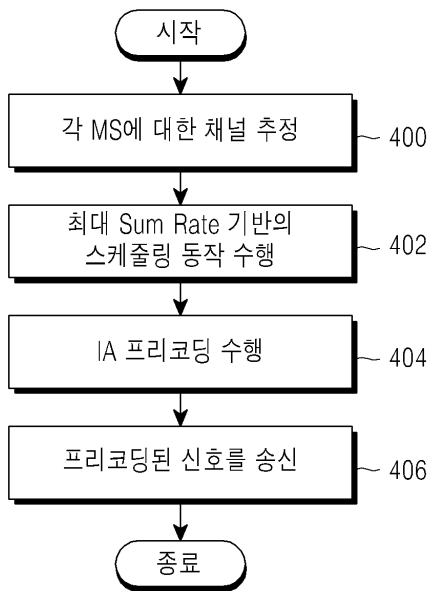
도면2



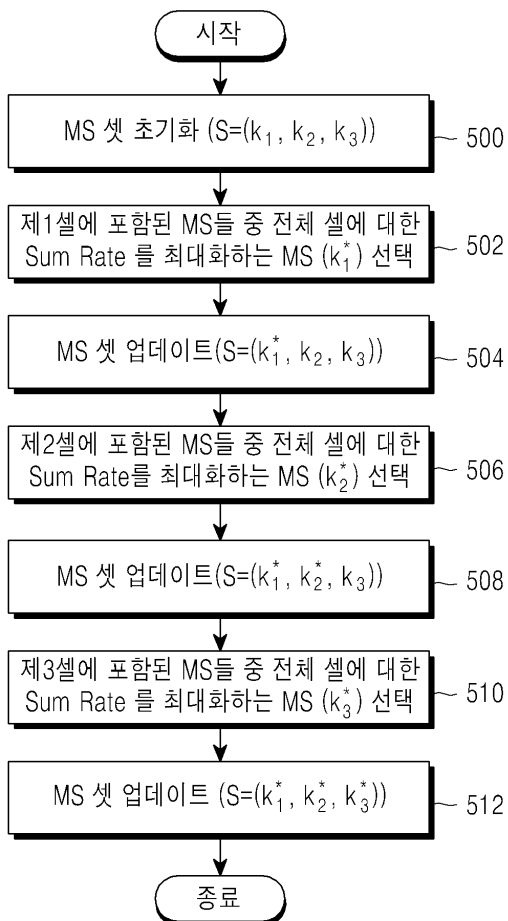
도면3



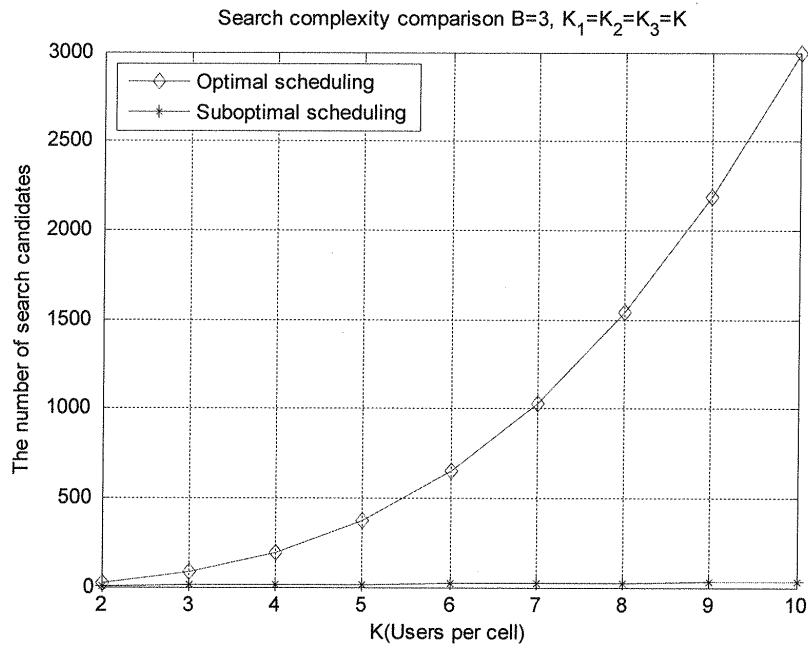
도면4



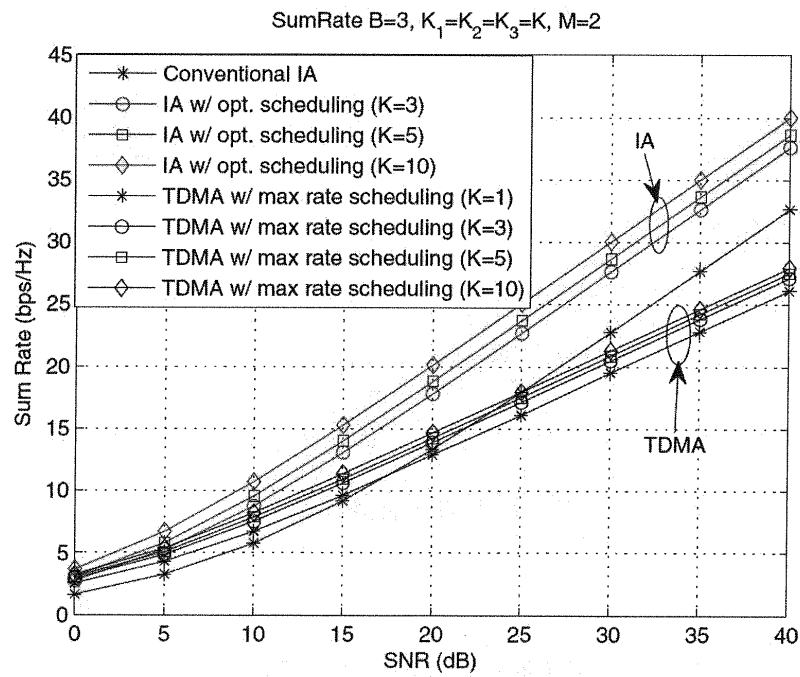
도면5



도면6



도면7



도면8

