



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0035503
(43) 공개일자 2011년04월06일

(51) Int. Cl.

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

(21) 출원번호 10-2009-0093254

(22) 출원일자 2009년09월30일

심사청구일자 2009년09월30일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천 남구 용현동 253 인하대학교

(72) 발명자

김덕경

인천시 남구 용현3동 인하대학교 하이테크 516호

공봉

인천시 남구 용현동 253번지 인하대학교 하이테크 관 430호

(74) 대리인

특허법인무한

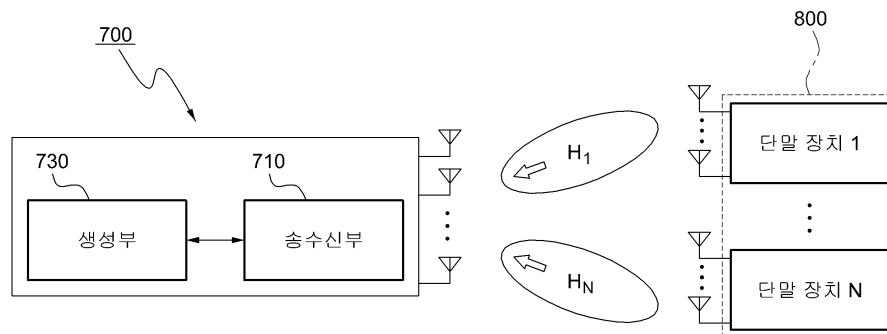
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 상향링크 다중사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 방법 및 장치

(57) 요약

상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 방법 및 장치가 개시된다. 스케줄링 방법은, 채널 이득 및 송신 상관값을 이용하여 스케줄링 세트를 생성하고, 캐패시티 스테킹 기법을 이용하여 생성된 스케줄링 세트로부터 송신 안테나를 결정한다. 이를 통해, 캐패시티의 손실을 감소시키면서 스케줄링 세트를 생성하기 위한 계산 복잡도를 낮출 수 있다.

대표도 - 도7



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 IITA-2009-C1090-0902-0019

부처명 지식경제부 정보통신연구진흥원

연구관리전문기관

연구사업명 대학 IT 연구센터 육성 지원 사업

연구과제명 초광대역(UWB) 무선전송 및 시스템 응용기술

기여율

주관기관 인하대학교 산학협력단

연구기간 2009.01.01 ~ 2009.12.31

특허청구의 범위

청구항 1

서빙 기지국에 속하는 복수의 단말 장치들로부터 송신 상관값(Transmitter Correlation Value: TCV)들을 수집하는 단계; 및

상기 수집된 송신 상관값들과 기설정된 기준 상관값을 각각 비교하여 스케줄링 세트를 생성하는 단계를 포함하고,

상기 생성하는 단계는,

상기 수집된 송신 상관값들 중 상기 기준 상관값 이상인 송신 상관값을 갖는 단말 장치에는 SS(Sub Searching) 방식으로 상기 스케줄링 세트를 생성하고,

상기 수집된 송신 상관값들 중 상기 기준 상관값 미만인 송신 상관값을 갖는 단말 장치에는, FS(Full Searching) 방식으로 상기 스케줄링 세트를 생성하는 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 생성하는 단계는,

상기 송신 상관값이 상기 기준 상관값 이상이면, 상기 수집된 송신 상관값들 중 기설정된 개수의 높은 송신 상관값을 갖는 안테나들을 이용하여 상기 스케줄링 세트를 생성하는 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 생성하는 단계는,

상기 높은 송신 상관값들 중 최대 채널 이득을 갖는 하나의 안테나가 포함되도록 상기 스케줄링 세트를 생성하는 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

캐패시티 스택킹 기법(Capacity Stacking Algorithm)을 통해 상기 서빙 기지국에서의 수신 안테나를 선택하는 단계; 및

상기 선택된 안테나를 통해 데이터를 전송하는 단계를 포함하는 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 장치.

청구항 5

서빙 기지국에 속하는 복수의 단말 장치들로부터 송신 상관값(Transmitter Correlation Value: TCV)들을 수집하는 송수신부; 및

상기 수집된 송신 상관값들과 기설정된 기준 상관값을 각각 비교하여 스케줄링 세트를 생성하는 생성부를 포함하고,

상기 생성부는,

상기 수집된 송신 상관값들 중 상기 기준 상관값 이상인 송신 상관값을 갖는 단말 장치에는 SS(Sub Searching) 방식으로 상기 스케줄링 세트를 생성하고,

상기 수집된 송신 상관값들 중 상기 기준 상관값 미만인 송신 상관값을 갖는 단말 장치에는, FS(Full

Searching) 방식으로 상기 스케줄링 세트를 생성하는 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 장치.

청구항 6

서빙 기지국에 속하는 복수의 단말 장치들로부터 송신 상관값(Transmitter Correlation Value: TCV)들을 수집하는 단계; 및

상기 수집된 송신 상관값들 중 기설정된 개수의 낮은 송신 상관값을 갖는 단말 장치들을 위해 FS 방식으로 스케줄링 세트를 생성하고, 나머지 단말 장치들을 위해 SS 방식으로 상기 스케줄링 세트를 생성하는 단계

를 포함하는 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 나머지 단말 장치들은, 상기 수집된 송신 상관값들에서 상기 기설정된 개수의 낮은 송신 상관값들을 제외한 송신 상관값들을 갖는 단말 장치들인 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 방법.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 낮은 송신 상관값을 갖는 단말 장치들은, RSA(ratio of successful antenna), 상기 복수의 단말 장치들의 수, 및 상기 복수의 단말 장치들이 갖는 송신 안테나의 수 중 적어도 하나를 이용하여 기설정되고,

상기 RSA는, 상기 스케줄링 세트에 포함된 후보 안테나 수와 상기 복수의 단말장치들이 갖는 안테나 수의 비율(ratio)을 나타내는 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 방법.

청구항 9

제5항에 있어서,

캐패시티 스택킹 기법(Capacity Stacking Algorithm)을 통해 상기 서빙 기지국에서의 수신 안테나를 선택하는 단계; 및

상기 선택된 안테나를 통해 데이터를 전송하는 단계

를 포함하는 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 방법.

청구항 10

서빙 기지국 및 서빙 기지국에 속하는 복수의 단말 장치들로부터 송신 상관값(Transmitter Correlation Value: TCV)들을 수집하는 송수신부; 및

상기 수집된 송신 상관값들 중 기설정된 개수의 낮은 송신 상관값을 갖는 단말 장치들을 위해 FS 방식으로 스케줄링 세트를 생성하고, 나머지 단말 장치들을 위해 SS 방식으로 상기 스케줄링 세트를 생성하는 생성부

를 포함하는 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 장치.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 상향링크 다중사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 방법 및 장치가 개시된다. 특히, 캐패시티와 계산 복잡도 사이의 트레이드 오프를 적절하게 고려하여 안테나를 선택하는 상향링크 다중사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 방법 및 장치가 개시된다.

배경 기술

[0002] 최근, 높은 전송률과 신뢰성을 장점으로 무선 통신 시스템에서 MIMO(Multi Input Multi Output)가 차세대 기술

로 각광받고 있다. 복수의 단말 장치(User Equipment: UE)들로 구성된 MIMO 시스템에서 캐패시티 최대화를 안테나 선택이 중요해지고 있다. 이때, 단말 장치들의 위치 특성으로 인해, 다른 단말 장치의 데이터 스트림들은 서로에게 유효하지 않으므로, 하향링크(Down Link)에서 이용되는 프리코딩 스케줄러는 상향링크(Up Link)에서는 유용하지 않다.

- [0003] 프리코딩을 사용하지 않는 스케줄러, 즉, “the best user selection scheduler”의 경우, 하나의 단말 장치에서 최대 전송율을 갖도록 하기 위해 기지국의 모든 안테나들이 이용되나, 시스템의 캐패시티 및 공평성을 위하여 하나의 단말 장치 이외에 시스템을 구성하는 복수의 단말 장치들에게도 기지국의 안테나를 각각 할당할 필요가 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- [0004] 본 발명은 상향링크 다중사용자 MIMO 시스템에서 계산 복잡도를 감소시키기 위한 스케줄링 방법 및 장치를 제공한다.

과제 해결수단

- [0005] 본 발명의 일실시예에 따른 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 방법은, 서빙 기지국에 속하는 복수의 단말 장치들로부터 송신 상관값(Transmitter Correlation Value: TCV)들을 수집하는 단계, 및 수집된 송신 상관값들과 기설정된 기준 상관값을 각각 비교하여 스케줄링 세트를 생성하는 단계를 포함한다.
- [0006] 이때, 생성하는 단계는, 수집된 송신 상관값들 중 기준 상관값 이상인 송신 상관값을 갖는 단말 장치에는 SS(Sub Searching) 방식으로 스케줄링 세트를 생성하고, 수집된 송신 상관값들 중 기준 상관값 미만인 송신 상관값을 갖는 단말 장치에는, FS(Full Searching) 방식으로 스케줄링 세트를 생성할 수 있다.
- [0007] 본 발명의 일실시예에 따른 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 장치는, 서빙 기지국에 속하는 복수의 단말 장치들로부터 송신 상관값(Transmitter Correlation Value: TCV)들을 수집하는 송수신부, 및 수집된 송신 상관값들과 기설정된 기준 상관값을 각각 비교하여 스케줄링 세트를 생성하는 생성부를 포함한다.
- [0008] 본 발명의 다른 실시예에 따른 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 방법은, 서빙 기지국에 속하는 복수의 단말 장치들로부터 송신 상관값(Transmitter Correlation Value: TCV)들을 수집하는 단계, 및 수집된 송신 상관값들 중 기설정된 개수의 낮은 송신 상관값을 갖는 단말 장치들을 위해 FS 방식으로 스케줄링 세트를 생성하고, 나머지 단말 장치들을 위해 SS 방식으로 스케줄링 세트를 생성하는 단계를 포함한다.
- [0009] 이때, 낮은 송신 상관값을 갖는 단말 장치들은, RSA(ratio of successful antenna), 복수의 단말 장치들의 수, 및 복수의 단말 장치들이 갖는 송신 안테나의 수 중 적어도 하나를 이용하여 기설정될 수 있다. 여기서, RSA는, 스케줄링 세트에 포함된 후보 안테나 수와 복수의 단말장치들이 갖는 안테나 수의 비율(ratio)을 나타낼 수 있다.
- [0010] 본 발명의 다른 실시예에 따른 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 장치는, 서빙 기지국 및 서빙 기지국에 속하는 복수의 단말 장치들로부터 송신 상관값(Transmitter Correlation Value: TCV)들을 수집하는 송수신부, 및 수집된 송신 상관값들 중 기설정된 개수의 낮은 송신 상관값을 갖는 단말 장치들을 위해 FS 방식으로 스케줄링 세트를 생성하고, 나머지 단말 장치들을 위해 SS 방식으로 스케줄링 세트를 생성하는 생성부를 포함한다.

효과

- [0011] 본 상향링크 다중사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 방법 및 장치는 채널 이득 및 송신 상관값을 이용하여 안테나를 선택함으로써 스케줄링 세트에 포함되는 후보 안테나의 수를 감소시킬 수 있다.
- [0012] 또한, TBS 및 CCBS를 이용하여 스케줄링 세트를 생성함으로써 계산 복잡도를 낮출 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- [0013] 복수의 단말 장치들 각각에도 기지국의 안테나를 할당하기 위해 “the best stream selection scheduler”가 이용된다. “the best stream selection scheduler”는 복수의 단말 장치가 갖는 모든 안테나 집합을 산출

(searching)하여, 채널 이득에 관계없이 최대 전송률(sum rate)을 갖는 최적의 안테나 세트를 선택하는 기술이다.

- [0014] "the best stream selection scheduler"는 복수의 단말 장치가 갖는 모든 안테나 집합을 이용하므로, 계산 복잡도가 안테나 집합의 수에 의존적이며, 후보 안테나의 수가 증가할수록 계산 복잡도 역시 지수 함수적으로 증가한다. 이러한, 계산 복잡도는 BFS(Brute-Force Scheduler) 및 CSS(Capacity Stacking Scheduler)를 이용하여 감소될 수 있다. 여기서, BFS는 복수의 단말이 갖는 모든 안테나들에 대해 풀 서칭(Full Searching: FS)을 수행하는 스케줄러이다. 즉, BFS는 안테나 집합 전체를 검색한다.
- [0015] 보다 상세하게는, "the best stream selection scheduler"또는 BFS(Brute-Force Scheduler)라고 불리는 스케줄링 방식은 스케줄링 집합에 있는 안테나들의 모든 가능한 조합을 테스트하여 최대의 합 채널 용량을 가지는 최적 조합을 찾아낸다. 이 스케줄링 방식은 그 복잡도가 스케줄링 집합에서의 조합의 수에 의존하기 때문에 사용자가 많거나 안테나가 많은 시스템에서는 복잡도가 지수적으로 증가하게 된다.
- [0016] 이에, BFS의 복잡도를 줄이기 위해서 CSS(Capacity Stacking Scheduler)가 이용된다. "Low complexity antenna selection based MIMO scheduling algorithms for uplink multiuser MIMO/FDD system", in Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC2007-Spring) 2007; pp. 1663- 1667. 에서는 풀 서칭(Full Searching: FS)을 수행하는 CSS(Capacity Stacking Scheduler)를 자세히 기재하고 있다.
- [0017] 그리고, CSS는 최대 합 채널 용량을 얻을 수 있는 채널을 선택하기 위해 순차적인 방식으로 안테나를 선택한다. 즉, 각 단계에서 최대의 채널 용량을 보이는 안테나를 선택하고, 선택한 안테나 채널을 앞서 선택된 채널에 쌓는다(Stack). 다음 단계에서는 쌓여있는 채널에 아직 후보로 남아있는 안테나 채널을 각각 쌓은 후 채널 용량을 비교하여 가장 채널 용량이 큰 안테나를 선택한다(Capacity-Stacking). 따라서, CSS의 복잡도는 정렬 과정과 채널용량을 계산하는 부분에 의존하게 되고, 이는 BFS 보다 월등히 낮은 복잡도를 보이게 된다.
- [0018] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여, 본 발명의 실시예를 보다 상세히 설명하기로 한다. 이하에서는, 설명의 편의를 위해 무선 통신 시스템은, 하나의 서빙 기지국에 복수의 단말 장치가 속하며, 서빙 기지국 및 복수의 단말 장치(N)들은 각각 적어도 하나의 안테나들을 구비하였음을 가정한다. 여기서, 서빙 기지국은 M_r 개의 수신 안테나를 가지며, 복수의 단말 장치 각각은 M_t 개의 송신 안테나를 가짐을 가정한다.
- [0019] 도 1은 FS기반의 CSS를 설명하기 위해 제공되는 흐름도이다.
- [0020] 도 1을 참조하면, 기지국은 복수의 단말 장치들이 갖는 모든 안테나들을 후보 안테나로 선정하여 스케줄링 세트를 생성한다(S110).
- [0021] 보다 상세하게는, 기지국은, 후보 안테나들의 채널 이득에 기초하여 연속적인 방법(successive manner)으로 스케줄링 세트를 생성한다. 즉, FS기반의 CSS는 후보 안테나들의 채널 이득을 이용하므로 BFS와 거의 동일한 캐패시티 성능을 가지면서, 계산 복잡도는 낮출 수 있다.
- [0022] 이때, "Low complexity antenna selection based MIMO scheduling algorithms for uplink multiuser MIMO/FDD system", in Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC2007-Spring) 2007; pp. 1663- 1667.에는 FS기반의 CSS를 통해 스케줄링 세트를 생성하는 과정이 잘 기재되어 있다.
- [0023] 이어, 기지국은 생성된 스케줄링 세트에 포함된 후보 안테나들로부터 송신 안테나를 결정한다(S120). 이때, 송신 안테나들 M_t 은 캐패시티 스택킹(Capacity Stacking) 기법을 이용하여 결정될 수 있다.
- [0024] 그리고, 기지국은 결정된 송신 안테나 M_t 를 나타내는 인덱스를 각 단말 장치들로 전송한다(S130). 그러면, 기지국은, 단말 장치 각각으로부터 결정된 송신 안테나를 통해 전송된 데이터를 수신한다.
- [0025] 도 1에서 설명한 바와 같이, FS 기반의 CSS는 복수의 단말 장치들이 갖는 모든 안테나들을 후보 안테나로 선정함에 따라 계산 복잡도를 낮추는데 한계가 있다. 이하에서는 도 2를 참조하여, FS 기반의 CSS보다 계산 복잡도를 낮출 수 있는 SS 기반의 CSS에 대해 설명하기로 한다.
- [0026] 도 2는 SS기반의 CSS를 설명하기 위해 제공되는 흐름도이다.
- [0027] 도 2를 참조하면, 기지국은, 복수의 단말 장치들이 갖는 안테나들 중 채널 이득이 가장 큰 안테나 각각을 후보 안테나로 선정하여 스케줄링 세트를 생성한다(S210).

[0028] 보다 상세하게는, 기지국은, 단말 장치가 구비한 복수의 안테나들 중 채널 이득이 가장 큰 안테나들을 각각 후보 안테나들로 선정하여 스케줄링 세트를 생성한다. 이를 통해, FS 기반의 CSS와 같이, 복수의 단말 장치들이 구비한 적어도 하나의 안테나 모드를 포함하지 않으므로, SS 기반의 CSS는 FS 기반의 CSS보다 계산 복잡도가 감소될 수 있다.

[0029] 이어, 기지국은 생성된 스케줄링 세트에 포함된 후보 안테나들로부터 송신 안테나를 결정한다(S220). 이때, 송신 안테나들 M_t 은 캐패시티 스택킹(Capacity Stacking) 기법을 이용하여 결정될 수 있다.

[0030] 그리고, 기지국은 결정된 송신 안테나 M_t 를 나타내는 인덱스를 각 단말 장치들로 전송한다(S230). 그러면, 기지국은, 단말 장치 각각으로부터 결정된 송신 안테나를 통해 전송된 데이터를 수신한다.

[0031] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 스케줄링 장치에서 이용되는 캐패시티 스택킹 기법을 설명하기 위해 제공되는 흐름도이다. 도 3에서는, 복수의 단말 장치들이 갖는 안테나들의 채널 이득을 기초로 캐패시티를 최대화하는 수신 안테나 M_r 를 선택하고, k 개($k=1,2,\dots,K$)의 후보 안테나는 최초 스케줄링 세트 $S_{(1)}=\{1,2,3,\dots,K\}$ 에 포함된다고 가정한다.

[0032] 도 3을 참조하면, 먼저, 기지국은, 최초 안테나를 선택한다(S310).

[0033] 보다 상세하게는, 기지국은 초기 행렬 $H_{cs}=[h_{cs(1)}]$ 을 생성한다. 여기서, $h_{cs(1)}(\in C^{M_r \times 1})$ 는 최초로 선택된 안테나의 채널 상태 정보 벡터(Channel State Information Vector: CSIV)이다.

[0034] 이때, 최초 스케줄링 세트 $S_{(1)}$ 중에서 최대 노름(norm) $\|h_k\|^2$ 을 갖는 안테나의 인덱스 $cs(1)$ 은 $cs(1) = \arg \max_{k \in S_{(1)}} \|h_k\|^2$ 이고, $h_k(\in C^{M_r \times 1})$ 은 k 번째 후보 안테나 $(k \in S_{(1)})$ 의 채널 상태 정보 벡터(CSIV)이다.

[0035] 이어, 기지국은, 복수의 안테나들(M_r) 중 선택된 최초 안테나를 제외한 안테나들을 선택한다(S320).

[0036] 보다 상세하게는, i 번째 안테나를 선택하기 위한 스케줄링 세트 $S_{(i)}$ 는 최초 안테나를 제외한 스케줄링 세트 $S_{(i-1)}$ 에서 최대 노름을 갖는 안테나 $CS(i-1)$ 를 제거함으로써 획득된다. 즉, S320단계에서 선택된 안테나들은 $S_{(i)} = S_{(i-1)} - \{cs(i-1)\}$ 로 표현될 수 있다.

[0037] 그리고, 기지국은, k 번째 후보 안테나 $h_k(k \in S_{(i)})$ 부터 초기 행렬 H_{cs} 까지 하나씩 임의의 행렬 $H_{T,k}=[H_{cs} \ h_k]$ 을 생성한다(S330).

[0038] 이어, 기지국은, 생성된 행렬 $H_{T,k}$ 각각에서 $R_{sum,i,k} = \log_2 \det(I_{M_r} + SNR \cdot H_{T,k} H_{T,k}^H)$ 을 계산하고, 계산된 $R_{sum,i,k}$ 을 최대화하는 $H_{T,k}$ 를 선택한다(S340). 여기서, SNR은 복수의 단말 장치 모두가 동일하다고 가정한다.

[0039] 보다 상세하게는, 기지국은, S330단계에서 생성된 행렬 $H_{T,k}=[H_{cs} \ h_k]$ 들 중에서 S340단계에서 계산된 $R_{sum,i,k}$ 이 최대인 행렬 $H_{T,k}$ 를 선택한다. 이때, 스케줄링 세트 $S_{(i)}$ 에 포함된 후보 안테나들 중 선택된 안테나 $CS(i) = \arg \max_{k \in S_{(i)}} R_{sum,i,k}$ 나 $CS(i)$ 는 $CS(i)$ 와 같이 표현된다. 그리고, 스케줄링 세트 $S_{(i)}$ 에 포함된 후보 안테나

$$CS(i) = \arg \max_{k \in S_{(i)}} R_{sum,i,k}$$

들 중 선택된 안테나 $CS(i)$ 는

와 같이 표현될 수 있다. 이를 통해, S330단계에서

생성된 행렬 $H_{T,k} = [H_{cs} \ h_k]$ 은 $H_{cs} = [H_{cs} \ h_{cs(i)}]$ 로 대체될 수 있다.

[0040] 도 3에서, 기지국은, S320 단계에서 선택된 안테나가 M_r 개의 수신 안테나들 중 최종 안테나가 될 때까지 S320 내지 S350 단계를 반복하여 수행한다.

[0041] 도 4는 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템을 도시한 도면이다. 상향링크 다중사용자 MIMO 시스템에서는 Kronecker MIMO 채널(이하, "Kronecker"라 칭함.)을 이용하는 것을 가정한다. Kronecker에서는, 기지국의 수신 안테나들 사이의 상관(Correlation)은 단말의 송신 안테나들의 상관과는 상호 독립적임을 가정한다.

[0042] 이때, n 번째 단말 장치와 기지국 사이에 형성된 MIMO 채널 행렬 H_n 은 아래의 수학적 식 1과 같다.

수학적 식 1

$$H_n = (\Phi_R)^{1/2} \Lambda_n (\Phi_{T,n})^{1/2}$$

[0043]

[0044] 여기서, $\Phi_{T,n}$ 은 $n(n=1,2,\dots,N)$ 번째 단말에서의 송신 안테나의 공간 상관행렬, Φ_R 은 기지국에 구비된 수신 안테나들의 공간 상관 행렬, $\rho_{T,n}$ 은 n 번째 단말에서의 송신 상관값(TCV), ρ_R 은 기지국에서의 수신 상관 값을 나타낸다. 이때, ρ_R 또는 $\rho_{T,n}$ 은 0 이상이고 1이하의 값 $(0 \leq \rho_{T,n} \text{ or } \rho_R \leq 1)$ 을 가진다. 그리고, Λ_n 은 독립적인 행렬로서, 복소 가우시안 랜덤변수(complex Gaussian random variables)이다.

[0045] 이때, $\rho_R=0$ 을 가정하면, Φ_R 은 단위행렬로 표현되고, n 번째 단말에서의 공간 상관 행렬은 아래와 수학적 식 2와 같이, 테플리츠(Toeplitz) 행렬로 표현될 수 있다. "A stochastic MIMO radio channel model with experimental validation", IEEE Journal on selected areas in communications 2002; 20(6): 1211-1226, Kermoal JP, Schumacher L, Ingemann K, Mogensen PE(이하, "Kermoal"이라 칭함)에는 Φ_R 를 이용하여 테플리츠 행렬을 생성하는 과정이 잘 기재되어 있다.

수학적 식 2

$$\Phi_{T,n} = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{T,n} & \dots & \rho_{T,n}^{(M_t-1)^2} \\ \rho_{T,n} & 1 & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \rho_{T,n} \\ \rho_{T,n}^{(M_t-1)^2} & \dots & \rho_{T,n} & 1 \end{bmatrix}$$

[0046]

[0047] 이때, 수학적 식 1의 H_n 은 아래의 수학적 식 3과 같이 간단히 표현될 수 있다.

수학적 식 3

$$H_n = [\tilde{h}_1^n \ \tilde{h}_2^n \ \dots \ \tilde{h}_{M_t}^n]$$

[0048]

[0049] 여기서, $\tilde{h}_j^n \in C^{M_r \times 1}$ 은 n 번째 단말 장치에 구비된 j 번째 안테나로부터 기지국에 구비된 수신 안테나들 M_r 사이의 채널 상태 정보 벡터(CSIV)이다.

[0050] 이때, 기지국은, 안테나 각각의 채널 상태 정보 벡터(CSIV) 및 모든 단말 장치들의 송신 상관값 $\rho_{T,n}(n=1,2,\dots,N)$ 을 이용하여 송신 안테나들을 결정한다. 여기서, 결정된 송신 안테나들의 MIMO 채널 행렬은 $H_{cs} \in C^{M_r \times M_t}$ 가 된다.

[0051] 그리고, 기지국은, 결정된 송신 안테나들을 나타내는 인덱스 각각을 대응되는 단말 장치들로 전송한다. 그러면, 단말 장치들은 결정된 안테나들을 통해 데이터를 기지국으로 동시에 전송한다. 이때, 송신 안테나에서의 신호의 세기는 고정되고, 경로 손실(Pass Loss)과 섀도잉(Shadowing)은 고려하지 않음을 가정한다.

[0052] 또한, 수신된 신호의 신호 대 잡음비(SNR)가 모든 단말장치에 구비된 송신 안테나 각각에서 동일하다고 가정하면, 송신 안테나 각각에서의 캐패시티는 아래의 수학적 식 4와 같다.

수학적 식 4

$$C = \sum_{m=1}^{M_r} \log \left(1 + \frac{E_s/M_r}{N_0 \cdot [H_{cs}^H \cdot H_{cs}]_{mm}^{-1}} \right)$$

[0053] 여기서, H_{cs}^H 는 H_{cs} 의 복소 공액 전치 행렬(complex conjugate transpose operation), E_s 는 심볼 에너지, N_0 는 잡음 전력 밀도(noise power density)이고, $[H_{cs}^H \cdot H_{cs}]_{mm}^{-1}$ 은 H_{cs}^H 와 H_{cs} 곱의 역행렬이다.

[0055] 이상에서 설명한 바와 같이, 도 1 내지 도 4를 통해 FS 또는 SS 기반의 CSS를 이용하여 스케줄링 세트를 생성하고, 선택된 안테나를 통해 데이터를 송수신하면, 계산 복잡도는 낮출 수 있으나, 공간적으로 상관관계가 있는 MIMO 채널 환경에서는, 캐패시티가 낮아지게 된다. 이때, 채널 이득 및 송신 상관값(TCV)을 기초로 스케줄링 세트를 생성하여 안테나를 선택하면, 계산 복잡도를 낮추면서 캐패시티의 손실을 감소시킬 수 있다.

[0056] 이하에서는, 계산 복잡도와 캐패시티의 트레이드 오프를 제공하는 TBS(Threshold Bounded Antenna Selection Scheduler) 및 CCBS(Computational Complexity Bounded Antenna Selection Scheduler)를 도 5 내지 도 7을 참조하여 설명하기로 한다. 여기서, 스케줄링 세트는 안테나 선택을 위해 후보 안테나 세트를 선정하는 것을 나타낸다.

[0057] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 TBS를 설명하기 위해 제공되는 흐름도이다.

[0058] 도 5를 참조하면, 기지국은, 복수의 단말 장치들 각각으로부터 송신 상관값 $\rho_{T,n}(n=1,2,\dots,N)$ 을 수집한다(S510).

[0059] 이어, 기지국은, 수집된 송신 상관값들 $\rho_{T,n}$ 과 기설정된 송신 상관값 β 를 각각 비교하여, 수집된 송신 상관값이 기설정된 송신 상관값 β 이상($\rho_{T,n} \geq \beta$)이면(S520:YES), SS(Sub Searching)방식으로 스케줄링 세트를 생성한다(S530). 여기서, 송신 상관값 β 는 0 이상, 1이하($0 \leq \beta \leq 1$)로 기설정된다.

[0060] 보다 상세하게는, 수집된 송신 상관값들 중 기설정된 개수의 높은 송신 상관값을 갖는 단말 장치의 모든 안테나들을 후보 안테나 세트로 선정한다. 그리고, 후보 안테나 세트에서 최대 채널 이득을 갖는 오직 하나의 안테나를 스케줄링 세트로 생성한다. 여기서, 생성된 스케줄링 세트는, $n(n=1,2,\dots,N)$ 번째 단말 장치에 구비된 복수의 안테나들의 채널 상태 정보 벡터(CSIV) 중 최대 놈(Norm) $\|h\|^2$ 을 갖는 안테나를 포함한다.

[0061] 즉, 높은 송신 상관값을 갖는 단말 장치의 안테나들은 서로 유사한 채널 상태 정보 벡터를 가지므로, 채널 상태 정보 벡터(CSIV)가 유사한 안테나들을 모두 후보 안테나 세트에 포함시키지 않는다.

[0062] 한편, 수집된 송신 상관값이 기설정된 송신 상관값 β 미만이면(S520:NO), FS(Full Searching)방식으로 스케줄링 세트를 생성한다(S540). 즉, 생성된 스케줄링 세트는 n 번째 단말 장치에 구비된 복수의 안테나들 M_t 를 모두 포

함한다.

[0063] 그리고, 기지국은, 캐패시티 스택킹 기법을 적용하여 생성된 스케줄링 세트에서 송신 안테나를 결정한다(S550). 여기서, 캐패시티 스택킹 기법은 도 3을 참조하여 앞에서 설명하였으므로 자세한 설명은 생략하기로 한다.

[0064] 이어, 기지국은, 결정된 송신 안테나들을 나타내는 인덱스들을 각각 대응되는 단말 장치들로 전송한다(S560). 그러면, 기지국은 결정된 송신 안테나들을 통하여 단말 장치들로부터 전송된 데이터를 각각 수신한다.

[0065] 이상의 도 5에서 설명한 바와 같이, TBS를 이용하여 스케줄링 세트를 생성하면, 스케줄링 세트에 포함되는 후보 안테나들의 수는 FS 기반의 CSS를 이용하는 경우보다 감소된다. 그러나, TBS를 이용하여 스케줄링 세트를 생성하는 경우, 계산 복잡도가 특정 시간에서는 FS 기반의 CSS를 이용하여 스케줄링 세트를 생성하는 경우와 동일한 경우가 발생한다. 이하에서는, TBS를 이용하는 경우, 계산 복잡도의 피크치를 감소시키기 위한 기술인 CCBS를 도 6을 참조하여 설명하기로 한다.

[0066] 도 6는 본 발명의 일 실시예에 따른 CCBS를 설명하기 위해 제공되는 흐름도이다.

[0067] 도 6을 참조하면, 기지국은, FS 방식으로 스케줄링 세트를 생성하기 위한 복수의 단말 장치들 L을 결정한다(S610). 여기서, L은 1이 될 수도 있다.

[0068] 보다 상세하게는, 기지국은, 기설정된 RSA(Ratio of Successful antenna)를 이용하여 복수의 단말 장치들로부터 FS 방식을 적용할 단말 장치들 L을 아래의 수학적 식 5와 같이 결정한다. 여기서, RSA(이하, " α "라 칭함)는 스케줄링 세트에 포함되는 후보 안테나의 수와 복수의 단말 장치들 사이의 안테나 수의 비율이다.

수학적 식 5

$$L = \left\lfloor \frac{(\alpha M_t - 1) \cdot N}{M_t - 1} \right\rfloor$$

[0069]

[0070] 여기서, 함수 $\lfloor \cdot \rfloor$ 는 가장 큰 정수값보다 미만이거나 같은 인자값을 반환하는 함수이고, M_t 는 송신 안테나, N 은

기지국에 속하는 복수의 단말 장치들, α 는 RSA이고, $\left(\frac{1}{M_t} \leq \alpha \leq 1 \right)$ 의 값을 갖도록 기설정된다.

[0071] 이어, 기지국은, 복수의 단말 장치들 각각으로부터 송신 상관값 $\rho_{T,n}$ ($n=1, 2, \dots, N$)을 수집한다(S620).

[0072] 그리고, 기지국은 결정된 L개의 단말 장치들에 FS 방식으로 스케줄링 세트를 생성하고, 나머지 N-L개의 단말 장치들은 SS 방식으로 스케줄링 세트를 생성한다(S630). 여기서, 나머지 N-L개의 단말 장치들은 복수의 단말 장치들 N에서 결정된 L개의 단말 장치들을 제외한 단말 장치들을 나타낸다.

[0073] 보다 상세하게는, 기지국에 N개의 단말 장치들이 속하는 경우를 예로 들면, 기지국은, N개의 단말 장치들 가운데 가장 작은 송신 상관값을 갖는 L개의 단말 장치들의 안테나가 포함되도록 스케줄링 세트를 생성한다. 여기서, FS방식으로 생성된 스케줄링 세트는 N개의 단말 장치들 중 송신기 상관값(TCV)이 작은 순으로 L개의 단말 장치들이 구비한 모든 안테나들을 포함한다.

[0074] 그리고, N-L개의 단말 장치들은 S530단계에서 설명한 바와 같이, 기지국은, 채널 상태 정보 벡터(CSIV)의 최대 값을 기초로 N-L개의 단말 장치들을 위해 SS방식으로 스케줄링 세트를 생성한다.

[0075] 이어, 기지국은, 캐패시티 스택킹 기법을 적용하여 생성된 스케줄링 세트에서 송신 안테나를 결정하고(S640), 결정된 송신 안테나들을 나타내는 인덱스들을 각각 대응되는 단말 장치들로 전송한다(S650). 그러면, 기지국은 결정된 송신 안테나들을 통하여 단말 장치들로부터 전송된 데이터를 각각 수신한다.

[0076] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 장치의 구성을 도시한 도면이다. 이하에서는, 설명의 편의를 위해 기지국을 스케줄링 장치의 일 예로 설명하기로 한다.

[0077] 도 7을 참조하면, 무선 통신 시스템은 기지국(700) 및 기지국(700)에 속하는 복수의 단말 장치(800)들로 구성되며, 기지국(700)은, 송수신부(710) 및 생성부(730)를 포함한다.

- [0078] 먼저, 송수신부(710)는 기지국에 속하는 복수의 단말 장치(800)들로부터 송신 상관값(Transmitter Correlation Value: TCV)들을 수집한다.
- [0079] 또한, 송수신부(710)는 후술될 생성부(730)에서 결정된 송신 안테나를 나타내는 인덱스들을 각각 대응되는 단말 장치(800)들로 전송하고, 복수의 단말 장치들(800)로부터 결정된 송신 안테나를 통해 전송된 데이터들을 각각 수신한다.
- [0080] 생성부(730)는, 송수신부(710)를 통해 수집된 송신 상관값들과 기설정된 기준 상관값을 각각 비교하여 스케줄링 세트를 생성한다.
- [0081] 보다 상세하게는, TBS를 이용하여 스케줄링 세트를 생성 하는 경우를 설명하면, 생성부(730)는, 수집된 복수의 송신 상관값들 중 $n(n=1,2,\dots,N)$ 번째 단말 장치의 송신 상관값 $\rho_{r,n}$ 이 기설정된 기준 상관값 β 이상이면, SS(Sub Searching) 방식으로 스케줄링 세트를 생성한다. 여기서, SS(Sub Searching) 방식으로 생성된 스케줄링 세트는, $n(n=1,2,\dots,N)$ 번째 단말 장치에 구비된 복수의 안테나들의 채널 상태 정보 벡터(CSIV) 중 최대 노름(Norm) $\|h\|^2$ 을 갖는 안테나를 포함한다.
- [0082] 이때, 생성부(730)는 n 번째 단말 장치의 송신 상관값이 기준 상관값 β 미만이면, FS(Full Searching) 방식으로 스케줄링 세트를 생성한다. 즉, FS(Full Searching) 방식으로 생성된 스케줄링 세트는 n 번째 단말 장치에 구비된 복수의 안테나들 M_i 을 모두 포함한다.
- [0083] 또한, 생성부(730)는 캐패시티 스테킹 기법을 이용하여 생성된 스케줄링 세트에서 송신 안테나들을 결정한다. 그리고, 생성부(730)는 결정된 송신 안테나들을 나타내는 인덱스들이 대응되는 단말 장치들로 각각 전송되도록 송수신부(710)를 제어한다.
- [0084] 한편, CCBS를 이용하여 스케줄링 세트를 생성 하는 경우를 설명하면, 생성부(730)는 송수신부(710)를 통해 수집된 복수의 송신 상관값들 중 기설정된 개수의 낮은 송신 상관값을 갖는 단말 장치들을 위해 FS 방식으로 스케줄링 세트를 생성하고, 나머지 단말 장치들을 위해 SS 방식으로 스케줄링 세트를 생성한다.
- [0085] 보다 상세하게는, 생성부(730)는 앞에서 설명한 수학적 식 5를 기초로 L 개의 단말 장치들을 결정하여 FS방식으로 스케줄링 세트를 생성하고, 기지국에 속하는 N 개의 단말 장치들에서 결정된 L 개의 단말 장치들을 제외한 $N-L$ 개의 단말 장치들을 위해 SS방식으로 스케줄링 세트를 생성한다. 여기서, FS방식으로 생성된 스케줄링 세트는 N 개의 단말 장치들 중 송신기 상관값(TCV)이 작은 순으로 L 개의 단말 장치들이 구비한 모든 안테나들을 포함한다.
- [0086] 또한, 생성부(730)는 캐패시티 스테킹 기법을 이용하여 생성된 스케줄링 세트에서 송신 안테나들을 결정하고, 결정된 송신 안테나들을 나타내는 인덱스들이 대응되는 단말 장치들로 각각 전송되도록 송수신부(710)를 제어한다.
- [0087] 이하에서는, TBS 및 CCBS를 이용하여 스케줄링 세트를 생성하는 경우의 계산 복잡도에 대해서 설명하기로 한다.
- [0088] 앞에서 설명한 바와 같이, 캐패시티 스테킹 기법에서 스케줄러의 계산 복잡도는 안테나 집합의 수에 의존적이므로 스케줄러의 평균 계산 복잡도 CP는 아래의 수학적 식 6과 같다.

수학적 식 6

$$CP = \lim_{G \rightarrow \infty} \frac{1}{G} \sum_{g=1}^G \prod_{i=0}^{M_g-1} (K_g - i)$$

[0089]

[0090] 여기서, K_g 는 g 번째 시간에서 안테나 할당 시에 스케줄링 세트에 포함된 후보 안테나의 수이다.

[0091] 지금까지 도 1 및 도 2에서 설명한 바와 같이, FS기반의 CSS는 복수의 단말 장치들에 구비된 복수의 안테나들 M_i 를 모두 포함하므로, 생성된 스케줄링 세트에 포함된 후보 안테나의 수는 NM_i 로 항상 동일하다. 또한, SS기반의 CSS는 복수의 단말 장치들에 구비된 복수의 안테나들 중 가장 큰 채널 이득을 갖는 하나의 안테나만을 포함하므로, 생성된 스케줄링 세트에 포함된 후보 안테나의 수는 N 으로 항상 동일하다. 이에 따라, 수학적 식 6을 이용하면, 아래의 수학적 식 7과 같이, FS 기반의 CSS에서의 계산 복잡도 CP_{CSSFS} 와 SS 기반의 CSS에서의 계산 복잡도

CP_{CSSS} 의 평균을 구할 수 있다.

수학식 7

$$CP_{CSSFS} = \prod_{i=0}^{M_r-1} (NM_t - i)$$

$$CP_{CSSSS} = \prod_{i=0}^{M_r-1} (N - i)$$

[0092]

[0093]

또한, 도 5 내지 7에서 설명한 바와 같이, TBS에서 단말 장치들의 수는 송신 상관값(TCV)에 의존적이므로, TBS의 평균 계산 복잡도 CP_{TBS} 는 아래의 수학식 8과 같다. 이때, 기지국에 속하는 N개의 단말 장치들은 FS방식을 위한 L_g ($0 \leq L_g \leq N$) 개의 단말 장치들과 SS방식을 위한 (N- L_g)개의 단말 장치들을 포함한다고 가정한다. 여기서, g 는 안테나가 할당되는 시간을 나타낸다.

수학식 8

$$CP_{TBS} = \lim_{G \rightarrow \infty} \frac{1}{G} \sum_{g=1}^G \prod_{i=0}^{M_r-1} ((M_t - 1)L_g + N - i)$$

[0094]

[0095]

이때, 복수의 단말장치들에서의 송신 상관값들이 변할 수 있으므로, L_g 는 안테나 할당을 위한 시간 각각에서 서로 상이할 수 있다. 이에 따라, 단말 장치의 송신 상관값의 확률 밀도 함수(PDF)와 β 를 이용하여 FS방식이 적용될 단말장치들의 평균 개수 $\hat{L}_{TBS}$ 는 아래의 수학식 9와 같다. 여기서, β 는 고정값으로 기설정됨을 가정한다.

수학식 9

$$\hat{L}_{TBS} = N \int_0^{\beta} f(x) dx$$

[0096]

[0097]

이때, PDF가 노말라이즈(Normalize) 되었다고 가정하면, 확률밀도 함수 PDF는 $\int_0^1 f(x) = 1$ 이 되므로, TBS의 계산 복잡도는 CP_{TBS} 는 아래의 수학식 10과 같이 간단해 질 수 있다.

수학식 10

$$CP'_{TBS} = \prod_{i=0}^{M_r-1} ((M_t - 1)\hat{L}_{TBS} + N - i)$$

[0098]

[0099]

이때, RSA, 즉, α 가 고정되고, FS방식이 적용될 단말 장치들의 개수 L'_g 가 상수값으로 기설정된 경우를 가정하면, CCBS의 평균 계산 복잡도 CP_{CCBS} 는 아래의 수학식 11과 같다.

수학식 11

$$CP_{CCBS} = \prod_{i=0}^{M_r-1} ((M_t - 1)L' + N - i)$$

[0100]

[0101] 이때, L' 은 α 에 의해 한정되므로 $L' = \left\lfloor \frac{(\alpha M_t - 1) \cdot N}{M_t - 1} \right\rfloor$ 로 표현될 수 있다. 이를 통해, CCBS의 평균 계산 복잡

도는 L' 을 $L' = \left\lfloor \frac{(\alpha M_t - 1) \cdot N}{M_t - 1} \right\rfloor$ 로 대체하여 획득할 수 있다.

[0102] 그리고, 수학적식 6 내지 11에 의해서, TBS 및 CCBS의 평균 계산 복잡도는 아래의 수학적식 12와 같다.

수학적식 12

$$[0103] \quad CP_{CSSSS} \leq (CP_{CCBS} \text{ or } CP_{TBS}) \leq CP_{CSSFS}$$

[0104] 여기서, β 와 α 는 CP_{TBS} 와 CP_{CCBS} 의 평균과 동일한 값을 가질 수 있다. 이때, TBS에서 계산 복잡도의 피크치는 CCBS보다 높을 수 있다.

[0105] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

[0106] 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면의 간단한 설명

[0107] 도 1은 FS기반의 CSS를 설명하기 위해 제공되는 흐름도이다.

[0108] 도 2는 SS기반의 CSS를 설명하기 위해 제공되는 흐름도이다.

[0109] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 스케줄링 장치에서 이용되는 캐패시티 스택킹 기법을 설명하기 위해 제공되는 흐름도이다.

[0110] 도 4는 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템을 도시한 도면이다.

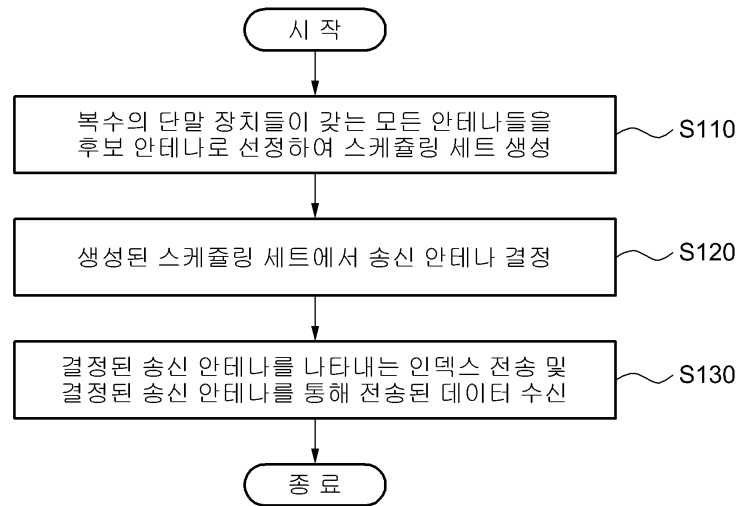
[0111] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 TBS를 설명하기 위해 제공되는 흐름도이다.

[0112] 도 6는 본 발명의 일 실시예에 따른 CCBS를 설명하기 위해 제공되는 흐름도이다.

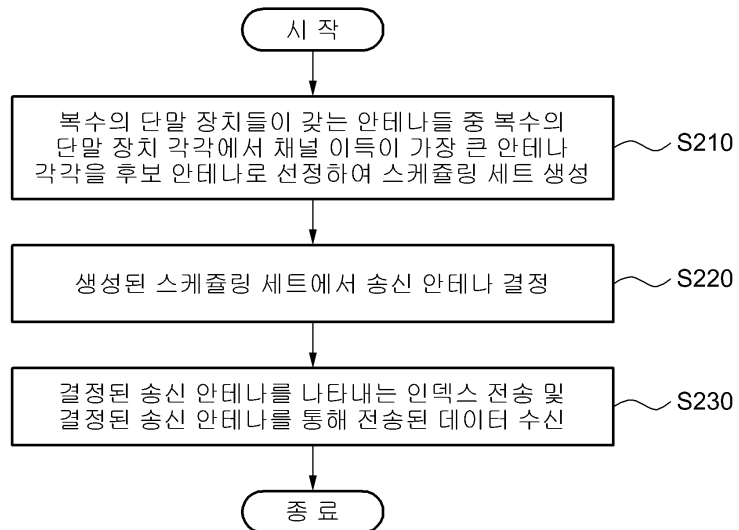
[0113] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템에서의 스케줄링 장치의 구성을 도시한 도면이다.

도면

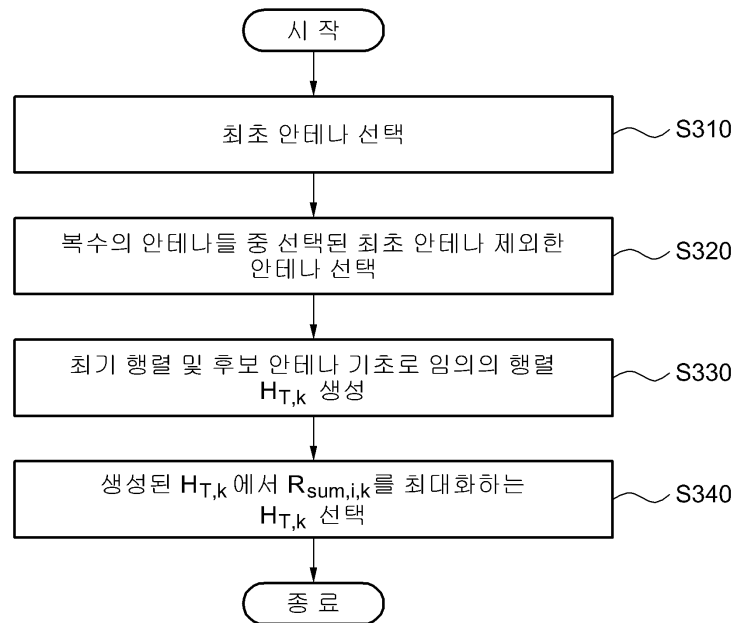
도면1



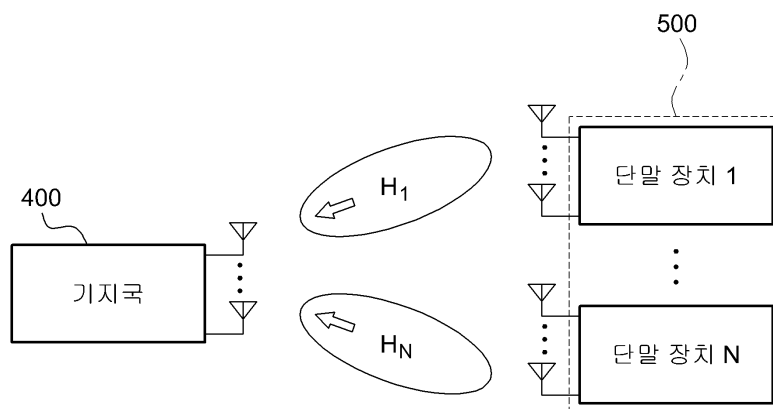
도면2



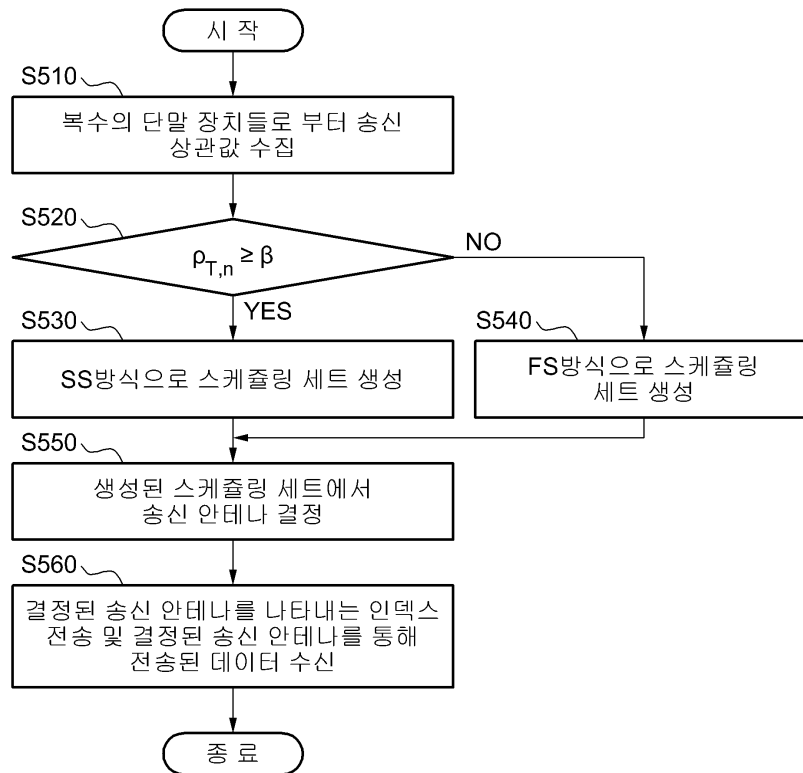
도면3



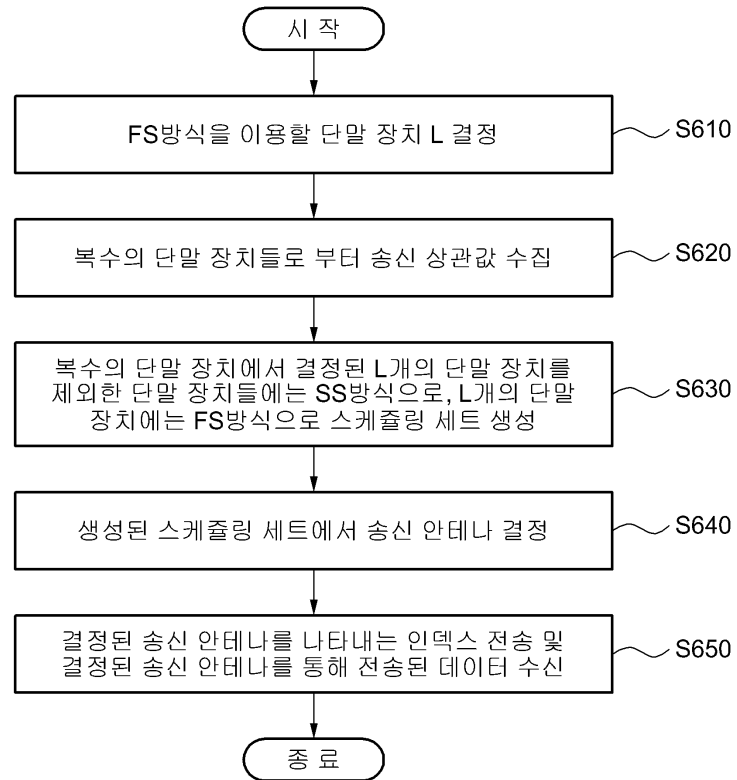
도면4



도면5



도면6



도면7

