



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0113262
(43) 공개일자 2010년10월21일

(51) Int. Cl.

H04B 7/02 (2006.01) H04J 11/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0031743

(22) 출원일자 2009년04월13일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

삼성전자주식회사

경기도 수원시 영통구 매탄동 416

서강대학교산학협력단

서울 마포구 신수동 1-1 서강대학교

(72) 발명자

고재연

경기도 수원시 영통구 매탄1동 매탄주공아파트
419동 504호

황근철

경기도 용인시 수지구 죽전동 꽃메마을현대홈타운
521동 902호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

권혁록, 이정순

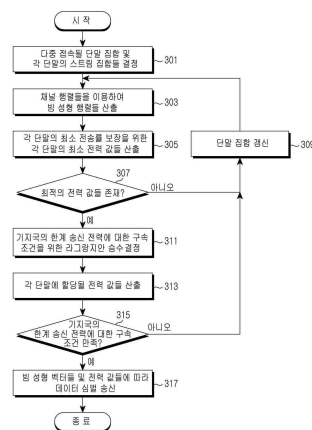
전체 청구항 수 : 총 24 항

(54) 분산 다중 입출력 무선통신 시스템에서 전력 제어 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 분산(distributed) MIMO(Multiple Input Multiple Output) 무선통신 시스템에서 전력 제어에 관한 것으로, 기지국의 동작은, 다중 접속을 위한 단말 집합에 포함된 단말들로의 송신 신호들을 처리하기 위한 적어도 하나의 빔 성형(beamforming) 행렬을 산출하는 과정과, 상기 단말들의 최소 전송률을 보장하기 위해 필요한 최소 전력 값들을 산출하는 과정과, 상기 최소 전력 값들, 상기 빔 성형 행렬 및 상기 기지국의 한계 송신 전력을 이용하여 최적의 전력 값들이 존재하는지 판단하는 과정과, 상기 최적의 전력 값들이 존재하면, 상기 기지국의 한계 송신 전력을 만족하는 범위에서 상기 단말들 각각에 대한 송신 전력 값들을 결정하는 과정을 포함하며, 기지국 별 한계 송신 전력 제한을 고려한 전력 제어를 통해 단말들이 최소 전송률을 만족하지 못하는 현상을 최대한 방지함으로써, 사용자들은 다양한 대용량 서비스들을 제공받게 된다.

대표도 - 도3



(72) 발명자

강승원

경기도 수원시 영통구 매탄동 414-15 301호

윤순영

서울 송파구 잠실7동 아시아선수촌아파트 9동 106호

성원진

서울특별시 서초구 잠원동 60-7 녹원한신아파트 101동 505호

이병석

서울특별시 마포구 연남동 390-27

이지원

서울특별시 마포구 신수동 81-136

특허청구의 범위

청구항 1

분산(distributed) MIMO(Multiple Input Multiple Output) 무선통신 시스템에서 협력 전송에 참여하는 기지국의 전력 제어 방법에 있어서,

다중 접속을 위한 단말 집합에 포함된 단말들로의 송신 신호들을 처리하기 위한 적어도 하나의 빔 성형(beamforming) 행렬을 산출하는 과정과,

상기 단말들의 최소 전송률을 보장하기 위해 필요한 최소 전력 값들을 산출하는 과정과,

상기 최소 전력 값들, 상기 빔 성형 행렬 및 상기 기지국의 한계 송신 전력을 이용하여 최적의 전력 값들이 존재하는지 판단하는 과정과,

상기 최적의 전력 값들이 존재하면, 상기 기지국의 한계 송신 전력을 만족하는 범위에서 상기 단말들 각각에 대한 송신 전력 값들을 결정하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 최적의 전력 값들이 존재하지 않으면, 가장 큰 최소 전력 값을 갖는 단말, 빔 성형을 통해 가장 큰 전력 이득을 갖는 단말 및 최소 전송률 보장을 위해 각 기지국에서 할당해야하는 전력이 가장 큰 단말 중 하나를 상기 단말 집합에서 제거하는 과정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 적어도 하나의 빔 성형 행렬을 산출하는 과정은,

상기 협력 전송에 참여하는 기지국들 및 상기 다중 접속되는 단말들 간 채널 행렬의 역행렬을 산출함으로써, ZF(Zero Forcing) 빔 성형 행렬을 산출하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 최소 전력 값들을 산출하는 과정은,

상기 단말들 각각이 겪는 잡음 전력들 및 상기 단말들 각각의 최소 전송률들을 이용하여, 단말 당 하나의 최소 전력 값을 산출하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 최적의 전력 값들이 존재하는지 판단하는 과정은,

상기 빔 성형 행렬을 통한 전력 이득을 고려하여 상기 최소 송신 전력을 사용한 경우의 송신 전력 총합을 산출하는 과정과,

상기 송신 전력 총합이 상기 한계 송신 전력을 초과하는지 여부를 확인하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 송신 전력 값들을 결정하는 과정은,

상기 한계 송신 전력에 대한 구속 조건을 위한 라그랑지안(Lagrangian) 승수, 상기 빔 성형 행렬 및 단말이 겪는 잡음 전력을 이용하여 상기 단말의 임시 전력 값을 산출하는 과정과,

상기 임시 전력 값 및 상기 단말의 최소 전력 값 중 큰 값을 상기 단말의 전력 값으로 결정하는 과정과,

상기 전력 값, 상기 라그랑지안 승수, 상기 빔 성형 행렬을 이용하여 상기 라그랑지안 승수를 갱신하는 과정과,

갱신된 라그랑지안 승수를 이용하여 상기 단말의 송신 전력 값을 다시 결정하는 과정과,

상기 단말의 송신 전력 값이 수렴하였으면, 상기 단말에 대한 송신 전력 할당을 완료하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7

제2항에 있어서,

상기 적어도 하나의 빔 성형 행렬을 산출하는 과정은,

상기 협력 전송에 참여하는 기지국들 및 상기 다중 접속되는 단말들 간 채널 행렬들에 대한 BD(Block Diagonalization) 연산을 수행하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 최소 전력 값들을 산출하는 과정은,

상기 단말들 각각이 겪는 잡음 전력들, 상기 단말들 각각의 최소 전송률들, 각 기지국에서 단말의 최소 전송률 보장을 위해 할당해야하는 전력, 빔 성형으로 인한 상기 단말들 각각의 스트림별 전력 이득 및 상기 단말들 각각의 유효 채널 이득을 이용하여, 단말 당 스트림 개수만큼의 최소 전력 값들을 산출하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 최소 전력 값들을 산출하는 과정은,

단말의 최소 전송률 보장을 위해 각 기지국에서 할당되어야하는 전력을 상기 단말의 최소 전송률 보장을 위해 각 기지국에서 할당되어야하는 전력의 최대값 및 최소값의 중간값으로 초기화하는 과정과,

상기 단말의 최소 전송률 보장을 위해 각 기지국에서 할당되어야하는 전력에 대한 구속 조건을 위한 라그랑지안 승수를 결정하는 과정과,

상기 라그랑지안 승수, 상기 빔 성형으로 인한 상기 단말의 스트림별 전력 이득, 상기 단말이 겪는 잡음 전력, 상기 단말의 유효 채널 이득을 이용하여 상기 단말의 스트림별 최소 전력 값들을 산출하는 과정과,

상기 스트림별 최소 전력 값들, 상기 유효 채널 이득, 상기 잡음 전력을 이용하여 최적 전송률을 산출하는 과정과,

상기 최소 전송률이 상기 최적 전송률보다 크거나 같으면, 현재의 상기 단말의 최소 전송률 보장을 위해 각 기

지국에서 할당되어야하는 전력을 상기 최소값으로 설정하고, 상기 최소 전송률이 상기 최적 전송률보다 작으면, 현재의 상기 단말의 최소 전송률 보장을 위해 각 기지국에서 할당되어야하는 전력을 상기 최대값으로 설정하는 과정과,

상기 최소 전송률 및 상기 최전 전송률 간 차이값이 임계치보다 크면, 상기 스트림별 최소 전력 값들을 재산출하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 최적의 전력 값들이 존재하는지 판단하는 과정은,

상기 빔 성형 행렬을 통한 전력 이득을 고려하여 상기 최소 송신 전력을 사용한 경우의 송신 전력 총합을 산출하는 과정과,

상기 송신 전력 총합이 상기 한계 송신 전력을 초과하는지 여부를 확인하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 송신 전력 값들을 결정하는 과정은,

상기 한계 송신 전력에 대한 구속 조건을 위한 라그랑지안 승수, 빔 성형으로 인한 상기 단말들의 스트림별 전력 이득들, 상기 단말들이 겪는 잡음 전력들 및 상기 단말들의 스트림별 유효 채널 이득들을 이용하여 상기 단말들의 스트림별 임시 전력 값을 산출하는 과정과,

상기 임시 전력 값 및 상기 최소 전력 값 중 큰 값을 상기 단말들의 스트림별 송신 전력 값으로 결정하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 송신 전력 값들을 결정하는 과정은,

상기 빔 성형 행렬을 통한 전력 이득을 고려하여 상기 단말들의 스트림별 송신 전력 값들을 적용한 경우의 송신 전력 총합을 산출하는 과정과,

상기 송신 전력 총합이 상기 한계 송신 전력을 초과하면, 상기 단말 집합을 갱신하는 과정과,

상기 단말들의 스트림별 송신 전력 값들을 재산출하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 13

분산(distributed) MIMO(Multiple Input Multiple Output) 무선통신 시스템에서 협력 전송에 참여하는 기지국 장치에 있어서,

다중 접속을 위한 단말 집합에 포함된 단말들로의 송신 신호들을 처리하기 위한 적어도 하나의 빔 성형 (beamforming) 행렬을 산출하는 산출기와,

상기 단말들의 최소 전송률을 보장하기 위해 필요한 최소 전력 값들을 산출하고, 상기 최소 전력 값들, 상기 빔 성형 행렬 및 상기 기지국의 한계 송신 전력을 이용하여 최적의 전력 값들이 존재하는지 판단한 후, 상기 최적의 전력 값들이 존재하면, 상기 기지국의 한계 송신 전력을 만족하는 범위에서 상기 단말들 각각에 대한 송신

전력 값들을 결정하는 할당기를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 최적의 전력 값들이 존재하지 않으면, 가장 큰 최소 전력 값을 갖는 단말, 빔 성형을 통해 가장 큰 전력 이득을 갖는 단말 및 최소 전송률 보장을 위해 각 기지국에서 할당해야하는 전력이 가장 큰 단말 중 하나를 상기 단말 집합에서 제거하는 스케줄러를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 산출기는, 상기 협력 전송에 참여하는 기지국들 및 상기 다중 접속되는 단말들 간 채널 행렬의 역행렬을 산출함으로써, ZF(Zero Forcing) 빔 성형 행렬을 산출하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 할당기는, 상기 단말들 각각이 겪는 잡음 전력들 및 상기 단말들 각각의 최소 전송률들을 이용하여, 단말당 하나의 최소 전력 값을 산출하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 할당기는, 상기 빔 성형 행렬을 통한 전력 이득을 고려하여 상기 최소 송신 전력을 사용한 경우의 송신 전력 총합을 산출하고, 상기 송신 전력 총합이 상기 한계 송신 전력을 초과하는지 여부를 확인함으로써, 상기 최적의 전력 값들이 존재하는지 판단하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 할당기는, 상기 한계 송신 전력에 대한 구속 조건을 위한 라그랑지안(Lagrangian) 승수, 상기 빔 성형 행렬 및 단말이 겪는 잡음 전력을 이용하여 상기 단말의 임시 전력 값을 산출하고, 상기 임시 전력 값 및 상기 단말의 최소 전력 값 중 큰 값을 상기 단말의 전력 값으로 결정한 후, 상기 전력 값, 상기 라그랑지안 승수, 상기 빔 성형 행렬을 이용하여 상기 라그랑지안 승수를 갱신하고, 갱신된 라그랑지안 승수를 이용하여 상기 단말의 전력 값을 다시 결정하고, 상기 단말의 송신 전력 값이 수렴하였으면, 상기 단말에 대한 송신 전력 할당을 완료하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 19

제14항에 있어서,

상기 산출기는, 상기 협력 전송에 참여하는 기지국들 및 상기 다중 접속되는 단말들 간 채널 행렬들에 대한 BD(Block Diagonalization) 연산을 수행하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 20

제19항에 있어서,

상기 할당기는, 상기 단말들 각각이 겪는 잡음 전력들, 상기 단말들 각각의 최소 전송률들, 각 기지국에서 단말의 최소 전송률 보장을 위해 할당해야하는 전력, 빔 성형으로 인한 상기 단말들 각각의 스트림별 전력 이득 및 상기 단말들 각각의 유효 채널 이득을 이용하여, 단말 당 스트림 개수만큼의 최소 전력 값들을 산출하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 21

제20항에 있어서,

상기 할당기는, 단말의 최소 전송률 보장을 위해 각 기지국에서 할당되어야하는 전력을 상기 단말의 최소 전송률 보장을 위해 각 기지국에서 할당되어야하는 전력의 최대값 및 최소값의 중간값으로 초기화하고, 상기 단말의 최소 전송률 보장을 위해 각 기지국에서 할당되어야하는 전력에 대한 구속 조건을 위한 라그랑지안 승수를 결정하고, 상기 라그랑지안 승수, 상기 빔 성형으로 인한 상기 단말의 스트림별 전력 이득, 상기 단말이 겪는 잡음 전력, 상기 단말의 유효 채널 이득을 이용하여 상기 단말의 스트림별 최소 전력 값들을 산출한 후, 상기 스트림별 최소 전력 값들, 상기 유효 채널 이득, 상기 잡음 전력을 이용하여 최적 전송률을 산출하고, 상기 최소 전송률이 상기 최적 전송률보다 크거나 같으면 현재의 상기 단말의 최소 전송률 보장을 위해 각 기지국에서 할당되어야하는 전력을 상기 최소값으로 설정하고, 상기 최소 전송률이 상기 최적 전송률보다 작으면 현재의 상기 단말의 최소 전송률 보장을 위해 각 기지국에서 할당되어야하는 전력을 상기 최대값으로 설정하고, 상기 최소 전송률 및 상기 최적 전송률 간 차이값이 임계치보다 크면 상기 스트림별 최소 전력 값들을 재산출하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 22

제21항에 있어서,

상기 할당기는, 상기 빔 성형 행렬을 통한 전력 이득을 고려하여 상기 최소 송신 전력을 사용한 경우의 송신 전력 총합을 산출한 후, 상기 송신 전력 총합이 상기 한계 송신 전력을 초과하는지 여부를 확인함으로써, 상기 최적의 전력 값들이 존재하는지 판단하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 23

제22항에 있어서,

상기 할당기는, 상기 한계 송신 전력에 대한 구속 조건을 위한 라그랑지안 승수, 빔 성형으로 인한 상기 단말들의 스트림별 전력 이득들, 상기 단말들이 겪는 잡음 전력들 및 상기 단말들의 스트림별 유효 채널 이득들을 이용하여 상기 단말들의 스트림별 임시 전력 값을 산출하고, 상기 임시 전력 값 및 상기 최소 전력 값 중 큰 값을 상기 단말들의 스트림별 송신 전력 값으로 결정하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 24

제23항에 있어서,

상기 할당기는, 상기 빔 성형 행렬을 통한 전력 이득을 고려하여 상기 단말들의 스트림별 전력 값들을 적용한 경우의 송신 전력 총합을 산출하고, 상기 송신 전력 총합이 상기 한계 송신 전력을 초과하면, 상기 단말 집합을 갱신한 후, 상기 단말들의 스트림별 송신 전력 값들을 재산출하는 것을 특징으로 하는 장치.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 무선통신 시스템에 관한 것으로, 특히, 분산(distributed) MIMO 무선통신 시스템에서 전력 제어를 통해 전송 효율을 극대화하기 위한 것이다.

배경 기술

- [0002] 다중 안테나 시스템은 빔 패턴(beam pattern)을 이용하여 주어진 대역폭에 대한 공간적 다이버시티(spatial diversity)를 활용할 수 있으며, 다중 접속 사용자들 간 발생하는 간섭을 억압 및 제거할 수 있다. 송신단의 선형(linear) 빔 형성(beam forming) 기법은 최대 비율 전송(MRT : Maximal Ratio Transmission), 송신 안테나 간 송신 전력을 동일하게 송출하는 동일이득 전송(EGT : Equal Gain Transmission), 시공간 블록 부호화(STBC : Space-Time Block Coding), ZF(Zero Forcing) 빔 형성, MMSE(Minimum Mean Square Estimate) 빔 형성 등이 있다. 상기 ZF 빔 성형은 다중 접속된 단말들의 채널간 상관 관계가 낮을수록 우수한 성능을 보이며, 상기 ZF 빔 성형의 성능을 결정하는 다른 요소는 각 단말에 할당될 전력들이다. 따라서, 제한된 한계 송신 전력 조건하에서 단말 별로 차등적 전력을 할당함으로써, 동일한 전력 할당 기법 대비 높은 성능 이득이 얻어질 수 있다.
- [0003] 최근, 동일 채널 상에서 지리적으로 분산된 기지국들의 안테나들을 이용하여 다수의 단말들에게 동시 전송이 이루어지는 분산 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기법 또는 협력 전송 기법이 고려되고 있다. 다중 접속 단말 집합에 포함된 단말들의 개수는 협력 전송이 이루어지는 안테나의 개수보다 작거나 같아야 하며, 채널 역변환 과정을 통해 상기 ZF 빔 성형 벡터가 생성된다. 상기 ZF 빔 성형에 의해 단말 간 간섭은 제거되며, 각 단말에 할당된 전력은 상기 ZF 빔 성형에 의한 전력 이득 및 각 기지국 별 한계 전력에 의해 제한된다. 기존에 다중 반송파 시스템 또는 중앙 집중식 다중 안테나 시스템에서 널리 사용되는 워터 필링(water-filling) 전력 제어는 각 단말에 할당되는 전력들의 합에 대한 한계 전송 전력 조건이 주어지는 조건 하에서 동작 된다. 하지만, 분산 MIMO 기법의 경우 각 안테나 별로 한계 송신 전력 조건이 존재하기 때문에, 이를 반영한 전력 제어 기법이 적용되어야 한다. 상기 워터 필링 기반의 전력 제어 기법에 따르면, 채널 이득이 클수록 높은 전력이, 채널 이득이 작을수록 낮은 전력이 할당되기 때문에, 정보 전송을 위한 최소 SNR(Signal to Noise Ratio) 레벨을 만족하지 못하여 전송 불능 상태에 존재하거나 최소 전송률 요구 조건을 만족시키지 못할 가능성이 크다. 따라서, 안테나별 송신 한계 전력을 고려하는 동시에, 상기 워터 필링 기반 전력 제어 기법에서 발생하는 전송 불능 확률을 감소시키고, 단말 별 최소 전송률 요구 조건을 만족시키기 위한 전력 제어 기법이 제안되어야 한다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- [0004] 따라서, 본 발명의 목적은 분산 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 무선통신 시스템에서 전력 제어를 통해 전송 효율을 증대시키기 위한 장치 및 방법을 제공함에 있다.
- [0005] 본 발명의 다른 목적은 분산 MIMO 무선통신 시스템에서 안테나별 송신 전력 제한을 고려하여 전력 제어를 수행하기 위한 장치 및 방법을 제공함에 있다.
- [0006] 본 발명의 또 다른 목적은 분산 MIMO 무선통신 시스템에서 다중 접속을 위한 단말 집합을 최적화하기 위한 장치 및 방법을 제공함에 있다.

과제 해결수단

- [0007] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 제1견지에 따르면, 분산(distributed) MIMO(Multiple Input Multiple Output) 무선통신 시스템에서 협력 전송에 참여하는 기지국의 전력 제어 방법은, 다중 접속을 위한 단말 집합에 포함된 단말들로의 송신 신호들을 처리하기 위한 적어도 하나의 빔 성형(beamforming) 행렬을 산출하는 과정과, 상기 단말들의 최소 전송률을 보장하기 위해 필요한 최소 전력 값들을 산출하는 과정과, 상기 최소 전력 값들,

상기 빔 성형 행렬 및 상기 기지국의 한계 송신 전력을 이용하여 최적의 전력 값들이 존재하는지 판단하는 과정과, 상기 최적의 전력 값들이 존재하면, 상기 기지국의 한계 송신 전력을 만족하는 범위에서 상기 단말들 각각에 대한 송신 전력 값들을 결정하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 한다.

- [0008] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 제2견지에 따르면, 분산 MIMO 무선통신 시스템에서 협력 전송에 참여하는 기지국 장치는, 다중 접속을 위한 단말 집합에 포함된 단말들로의 송신 신호들을 처리하기 위한 적어도 하나의 빔 성형 행렬을 산출하는 산출기와, 상기 단말들의 최소 전송률을 보장하기 위해 필요한 최소 전력 값들을 산출하고, 상기 최소 전력 값들, 상기 빔 성형 행렬 및 상기 기지국의 한계 송신 전력을 이용하여 최적의 전력 값들이 존재하는지 판단한 후, 상기 최적의 전력 값들이 존재하면, 상기 기지국의 한계 송신 전력을 만족하는 범위에서 상기 단말들 각각에 대한 송신 전력 값들을 결정하는 할당기를 포함하는 것을 특징으로 한다.

효 과

- [0009] 분산 MIMO 무선통신 시스템에서 기지국 별 한계 송신 전력 제한을 고려한 전력 제어를 통해 단말들이 최소 전송률을 만족하지 못하는 현상을 최대한 방지함으로써, 사용자들은 다양한 대용량 서비스들을 제공받게 된다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- [0010] 이하 본 발명의 바람직한 실시 예를 첨부된 도면의 참조와 함께 상세히 설명한다. 그리고, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단된 경우, 그 상세한 설명은 생략한다.

- [0011] 이하 본 발명은 분산 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 무선통신 시스템에서 전력 제어를 통해 전송 효율을 증대시키기 위한 기술에 대해 설명한다. 이하 본 발명은 주파수 분할 다중(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 이하 'OFDM'이라 칭함)/직교 주파수 분할 다중 접속(Orthogonal Frequency Division Multiple Access, 이하 'OFDMA'이라 칭함) 방식의 무선통신 시스템을 예로 들어 설명하며, 다른 방식의 무선통신 시스템에도 동일하게 적용될 수 있다.

- [0012] 본 발명은 도 1과 같은 분산 MIMO 무선통신 시스템을 고려한다. 상기 도 1을 참고하면, 셀들(110, 120, 130) 각각은 3개의 섹터들을 포함하며, 동일 셀 내의 섹터들 간 간섭은 존재하지 않는다. 그리고, 셀 당 1개의 섹터들 간 협력 전송이 이루어지며, 기지국들(115, 125, 135)은 상호 유선 또는 전용회선을 통해 단말들의 채널 정보를 공유한다. 이때, 상기 기지국들(115, 125, 135)은 동일한 주파수 대역을 사용함을 가정, 즉, 주파수 재사용 계수가 1임을 가정한다. 하지만, 상기 도 1에 도시된 시스템의 개략적인 구성은 일 예이며, 이와 다른 구조의 분산 MIMO 시스템에도 본 발명이 적용될 수 있다.

- [0013] 이하 본 발명은 단말의 수신 안테나가 1개인 경우 및 다수인 경우를 구분하여 본 발명의 실시 예에 따른 전력 제어 과정을 설명한다.

- [0014] 먼저, 단말의 수신 안테나가 1개인 경우를 설명하면 다음과 같다.

- [0015] 기지국의 섹터 당 송신 안테나와 단말의 수신 안테나가 각각 1개인 경우, ZF(Zero Forcing) 빔 성형(beam forming)은 채널의 역변환에 의해 구현된다. 데이터 전송이 수행되는 동안 채널 상태가 변화하지 않고, 협력 전송에 참여하는 기지국들이 동기화되어 있는 경우, 단일 송신 안테나를 갖는 N개의 기지국들로부터 단일 수신 안테나를 갖는 K개의 단말들로 수신된 신호는 하기 <수학식 1>과 같다.

수학식 1

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{W}\mathbf{P}\mathbf{d} + \mathbf{z} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_1^T \\ \vdots \\ \mathbf{h}_K^T \end{bmatrix} [\mathbf{w}_1, \dots, \mathbf{w}_K] \begin{bmatrix} \sqrt{p_1}d_1 \\ \vdots \\ \sqrt{p_K}d_K \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z_1 \\ \vdots \\ z_K \end{bmatrix}$$

$$\text{where } \mathbf{w}_k = \mathbf{h}_k^+, \mathbf{P} = \text{diag}(\sqrt{p_1}, \dots, \sqrt{p_K})$$

상기 <수학식 1>에서, 상기 $\mathbf{y}$ 는 수신 신호 행렬, 상기 $\mathbf{H}$ 는 채널 행렬, 상기 $\mathbf{W}$ 는 빔 성형 행렬, 상기 $\mathbf{P}$ 는 전력 벡터, 상기 $\mathbf{d}$ 는 데이터 심벌 행렬, 상기 $\mathbf{z}$ 는 잡음 행렬, 상기 $\mathbf{h}_k$ 은 단말 k 의 채널 벡터, 상기 $\mathbf{w}_k$ 는 단말 k 에 대한 빔 성형 벡터, 상기 p_k 는 단말 k 에 할당된 전력, 상기 d_k 는 단말 k 로의 데이터 심벌 벡터, 상기 z_k 는 단말 k 에 대한 잡음 벡터를 의미한다.

각 단말에 대한 SINR(Signal to Noise and Interference Ratio)은 하기 <수학식 2>와 같이 산출된다.

수학식 2

$$\text{SINR}_k = \frac{P_k}{\sigma_k^{\text{thermal}} + \sigma_k^{\text{interf}}}$$

상기 <수학식 2>에서, 상기 SINR_k 는 단말 k 에 대한 SINR, 상기 p_k 는 단말 k 에 할당된 전력, 상기 $\sigma_k^{\text{thermal}}$ 는 단말 k 가 겪는 열 잡음 전력, 상기 σ_k^{interf} 는 단말 k 가 겪는 외부 셀로부터의 잡음 전력을 의미한다.

이때, 단위 대역폭당 한계 전송 용량은 하기 <수학식 3>과 같이 표현된다.

수학식 3

$$r_k = \log_2(1 + \text{SINR}_k)$$

상기 <수학식 3>에서, 상기 r_k 는 단말 k 의 단위 대역폭당 한계 전송 용량, 상기 SINR_k 는 단말 k 에 대한 SINR을 의미한다.

각 기지국의 전송 가능한 최대 전력을 고려할 때, 상기 각 기지국의 한계 송신 전력에 대한 구속 조건은 하기 <수학식 4>와 같다.

수학식 4

$$\sum_{k=1}^K p_k |\mathbf{w}_{nk}|^2 \leq P_{\max}, \quad n=1, \dots, N$$

상기 <수학식 4>에서, 상기 K 는 다중 접속되는 단말들의 개수, 상기 p_k 는 단말 k 에 할당된 전력, 상기 $\mathbf{w}_{nk}$ 는 단말 k 에 대한 빔 성형 벡터의 n 번째 원소, 상기 $P_{\max}$ 는 각 기지국의 한계 송신 전력, 상기 N 은 협력 전송에 참여하는 기지국 개수를 의미한다.

각 단말에게 동일한 전력을 할당하는 경우, 할당되는 전력의 크기는 상기 <수학식 4>로부터 유도되어 하기 <수학식 5>와 같이 얻어진다.

수학식 5

$$\bar{p} = \frac{P_{\max}}{\max_n \sum_{k=1}^K |\mathbf{w}_{nk}|^2}$$

[0029] 상기 <수학식 5>에서, 상기 $\overline{P}$ 는 각 단말에게 할당되는 전력, 상기 K는 다중 접속되는 단말들의 개수, 상기 w_{nk} 는 단말k에 대한 빔 성형 벡터의 n번째 원소, 상기 $P_{\max}$ 는 각 기지국의 한계 송신 전력, 상기 N은 협력 전송에 참여하는 기지국 개수를 의미한다.

[0030] 단말 별 최소 전송률을 보장함과 동시에, 시스템 전송률을 극대화하기 위한 전력 할당의 문제를 정리하면 하기 <수학식 6>과 같다.

수학식 6

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{k=1}^K \log_2 \left(1 + \frac{p_k}{\sigma_k^2} \right) \\ \text{s. t.} \quad & p_k \geq 0, \quad k=1, \dots, K, \\ & \sum_{k=1}^K p_k |w_{nk}|^2 \leq P_{\max}, \quad n=1, \dots, N, \\ & \log_2 \left(1 + \frac{p_k}{\sigma_k^2} \right) \geq r_k^{\min} \quad k=1, \dots, K. \end{aligned}$$

[0031]

[0032] 상기 <수학식 6>에서, 상기 K는 다중 접속되는 단말들의 개수, 상기 p_k 는 단말k에 할당된 전력, 상기 σ_k^2 는 단말k가 겪는 잡음 전력, 상기 w_{nk} 는 단말k에 대한 빔 성형 벡터의 n번째 원소, 상기 $P_{\max}$ 는 각 기지국의 한계 송신 전력, 상기 $r_k^{\min}$ 은 단말k에 대해 보장해야하는 최소 전송률을 의미한다.

[0033] 상기 <수학식 6>에 나타난 최소 전송률에 관한 제약을 선형적으로 표현하면 하기 <수학식 7>과 같다.

수학식 7

$$p_k \geq \sigma_k^2 (2^{r_k^{\min}} - 1) \equiv p_k^{\min} \quad k=1, \dots, K.$$

[0034]

[0035] 상기 <수학식 7>에서, 상기 p_k 는 단말k에 할당된 전력, 상기 σ_k^2 는 단말k가 겪는 잡음 전력, 상기 $r_k^{\min}$ 은 단말k에 대해 보장해야하는 최소 전송률, 상기 $p_k^{\min}$ 은 최소 전송률 보장을 위한 최소 전력을 의미한다.

[0036] 상기 <수학식 6>의 최적화 문제를 KKT(Karush-Kuhn-Tucker) 조건식을 이용하여 정리하면, 하기 <수학식 8>과 같다.

수학식 8

$$\begin{aligned} p_k &= \left[\frac{1}{\ln 2} \frac{1}{\sum_{n=1}^N \lambda_n |w_{nk}|^2} - \sigma_k^2 \right] \\ p_k^* &= \max[p_k, p_k^{\min}] \end{aligned}$$

$$\sum_{k=1}^K p_k^* |w_{nk}|^2 \leq P_{\max}, \quad n=1, \dots, N$$

[0037]

[0038] 상기 <수학식 8>에서, 상기 p_k 는 단말k에 할당된 전력, 상기 N은 협력 전송에 참여하는 기지국들의 개수, 상기 λ_n 은 상기 <수학식 8>에 포함된 구속 조건, 즉, n번째 기지국의 한계 송신 전력에 대한 구속 조건을 위한 라그

랑지안(Lagrangian) 승수, 상기 w_{nk} 는 단말k에 대한 빔 성형 벡터의 n번째 원소, 상기 σ_k^2 는 단말k가 겪는 잡음 전력, 상기 p_k^* 은 단말k에 할당된 전력 값 및 최소 전력 값 중 큰 값으로서 최종적으로 단말k에 할당되는 전력 값, 상기 $p_k^{\min}$ 은 최소 전송률 보장을 위한 최소 전력, 상기 K는 다중 접속되는 단말들의 개수, 상기 $P_{\max}$ 는 각 기지국의 한계 송신 전력을 의미한다.

[0039] 상기 <수학식 8>의 해를 산출함으로써, 기지국은 전송 효율을 극대화하는 단말 별 전력 값을 획득할 수 있다. 예를 들어, 서브-그라디언트(sub-gradient)를 이용한 반복적 기법을 이용하는 경우, 상기 <수학식 8>의 해는 하기 <수학식 9>와 같이 산출된다.

수학식 9

$$\lambda_n^{(l+1)} = \left[\lambda_n^{(l)} + t^{(l)} \left(\sum_{k=1}^K p_k^* |w_{nk}|^2 - P_{\max} \right) \right]^+$$

[0040]

[0041] 상기 <수학식 9>에서, 상기 $\lambda_n^{(1)}$ 은 1번째 반복 단계에서 n번째 기지국의 한계 송신 전력에 대한 구속 조건을 위한 라그랑지안(Lagrangian) 승수, 상기 $t^{(1)}$ 은 증감의 크기를 조절하는 변수, 상기 K는 다중 접속되는 단말들의 개수, 상기 p_k^* 은 단말k에 할당된 전력 값 및 최소 전력 값 중 큰 값으로서 최종적으로 단말k에 할당되는 전력 값, 상기 w_{nk} 는 단말k에 대한 빔 성형 벡터의 n번째 원소, 상기 $P_{\max}$ 는 각 기지국의 한계 송신 전력, 상기 $[x]^+$ 는 x를 0보다 크거나 같은 실수 값으로 변환하는 연산자를 의미한다. 예를 들어, x가 0보다 작으면, $[x]^+$ 는 0이고, x가 0 이상의 실수이면, $[x]^+$ 는 x이다.

[0042] 상술한 바와 같이, 상기 <수학식 8>을 이용하여 단말 별 전력 값이 결정되지만, 최적화 문제에 항상 해가 존재하는 것은 아니다. 즉, 상기 <수학식 7>을 만족하는 최소 전송률 달성을 위한 최소 전력 값들이 상기 <수학식 6>에 나타난 최대 전력의 제약을 만족하지 못하는 경우, 해는 존재하지 않는다. 이 경우, 구속 조건들을 완화함으로써, 해가 존재하게끔 하는 것이 요구된다. 예를 들어, 이는 다중 접속 대상인 K개의 단말들 중 적어도 하나의 단말을 제거함으로써 이루어진다. 이때, K개의 단말들 중 제거될 적어도 하나의 단말을 결정하는 것은 조합적 문제이므로, 최적의 해를 찾기 용이하지 않고, 매우 큰 계산량이 요구된다. 따라서, 본 발명은 단계적으로 단말을 제거하는 기법을 제안한다. 제거될 단말은 하기 <수학식 10>과 같이 결정된다.

수학식 10

$$k^* = \arg \max_k p_k^{\min}$$

[0043]

[0044] 상기 <수학식 10>에서, 상기 k^* 은 제거되는 단말의 인덱스, 상기 k는 단말의 인덱스, 상기 $p_k^{\min}$ 은 단말k의 최소 전력을 의미한다.

[0045] 상기 <수학식 10>에 따르면, 각 단말의 최소 전송률들이 동일한 경우, 최대의 잡음을 겪는 단말이 제거된다. 즉, 셀 경계에 위치한 단말과 같이 심한 외부 간섭을 겪는 단말이 제거된다. 다른 실시 예에 따라, 제거될 단말은 하기 <수학식 11>과 같이 결정된다.

수학식 11

$$k^* = \arg \max_k \sum_{n=1}^N |w_{nk}|^2$$

[0046]

[0047] 상기 <수학식 11>에서, 상기 k^* 은 제거되는 단말의 인덱스, 상기 k는 단말의 인덱스, 상기 N은 기지국들의 개수, 상기 w_{nk} 는 단말k에 대한 빔 성형 벡터의 n번째 원소를 의미한다.

[0048] 상기 <수학식 1> 내지 상기 <수학식 11>을 통해 설명한 전력 제어 알고리즘을 정리하면 하기 <표 1>과 같다. 이하 <표 1>에 나타난 알고리즘은 협력 전송에 참여하는 기지국들 전체를 하나의 주체로서 고려하고 있다.

표 1

[0049]	단계0	다중 접속 단말 집합 결정. $S = \{1, 2, \dots, K\}$
	단계1	빔 성형 벡터 생성 및 최소 전송률 보장을 위한 각 단말의 최소 전력 산출. $P = \{p_k^{\min} \mid k \in S\}$
	단계2	해의 존재 여부 검사. $\sum_{k \in S} p_k^{\min} w_{nk} ^2 - P_{\max} \leq 0, \forall n = 1, \dots, N$ 을 만족하면, 단계3으로 진행. 그렇지 아니하면, <수학식 10> 또는 <수학식 11>에 따라 단말 집합 갱신 후, 단계1로 진행.
	단계3	1) 라그랑지안 승수 $\lambda_1, \lambda_2 \dots$ 초기화. 2) <수학식 8>에 따라 각 단말에 할당되는 전력 산출. 3) <수학식 9>에 따라 라그랑지안 승수 갱신. 4) 수렴하였으면 종료, 수렴하지 않았으면 2) 3) 반복.

[0050] 상기 <표 1>에서, 상기 S는 다중 접속되는 단말들의 집합, 상기 K는 다중 접속되는 단말들의 개수, 상기 P는 단말들의 최소 전송률 보장을 위한 최소 전력들의 집합, 상기 $p_k^{\min}$ 은 최소 전송률 보장을 위한 최소 전력을 의미한다.

[0051] 다음으로, 단말의 수신 안테나가 다수 개인 경우를 설명하면 다음과 같다.

[0052] 이하 설명에서, 본 발명은 N개의 기지국들 및 K개의 단말들 간 동일 채널 상에서 하향링크 데이터 전송이 이루어지며, 각 기지국은 N개의 송신 안테나들을, 각 단말은 M개의 수신 안테나들을 사용함을 가정한다. 이 경우, 상기 각 단말로의 수신 신호는 하기 <수학식 12>와 같다.

수학식 12

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{V}_k \mathbf{P}_k \mathbf{d}_k + \sum_{i \neq k} \mathbf{H}_k \mathbf{V}_i \mathbf{P}_i \mathbf{d}_i + \mathbf{z}_k$$

$$\text{where } \mathbf{V}_k \in \mathbb{C}^{NL \times M}, \mathbf{P}_k = \text{diag}(\sqrt{p_{k,1}}, \dots, \sqrt{p_{k,M}}), \mathbf{d}_k = (d_{k,1}, \dots, d_{k,M})^T$$

[0053]

[0054] 상기 <수학식 12>에서, 상기 y_k 는 단말k의 수신 신호, 상기 H_k 는 단말k의 채널 행렬, 상기 V_k 는 단말k에 대한 빔 성형 행렬, 상기 P_k 는 단말k에 대한 송신 전력 벡터, 상기 d_k 는 단말k로의 데이터 심벌 벡터, 상기 z_k 는 단말k가 겪는 잡음 벡터, 상기 $C^{NL \times M}$ 은 코드북, 상기 $p_{k,m}$ 은 단말k의 m번째 스트림에 대한 송신 전력, 상기 $d_{k,m}$ 은 단말k의 m번째 스트림에 대한 데이터 심벌을 의미한다. 여기서, 상기 빔 성형 행렬은 채널 행렬에 대한 BD(Block Diagonalization) 연산을 통해 산출된다.

[0055] 상기 <수학식 12>와 같은 단말k의 수신 신호는 상기 단말k로 송신되는 신호들 간 간섭을 포함한다. 따라서, 상기 간섭을 제거하기 위해, 하기 <수학식 13>과 같은 수신 신호 처리가 적용된다.

수학식 13

$$\mathbf{U}_k^H \mathbf{y}_k = \mathbf{U}_k^H \mathbf{H}_k \mathbf{V}_k \mathbf{P}_k \mathbf{d}_k + \mathbf{U}_k^H \mathbf{z}_k$$

$$= \Sigma_k \mathbf{P}_k \mathbf{d}_k + \mathbf{U}_k^H \mathbf{z}_k$$

[0056]

[0057] 상기 <수학식 13>에서, 상기 U_k 는 단말k의 신호 간 간섭을 제거하기 위한 행렬, 상기 y_k 는 단말k의 수신 신호,

상기 H_k 는 단말 k 의 채널 행렬, 상기 V_k 는 BD 기법에 따라 결정된 단말 k 에 대한 빔 성형 행렬, 상기 P_k 는 단말 k 에 대한 송신 전력 행렬, 상기 d_k 는 단말 k 로의 데이터 심벌 벡터, 상기 z_k 는 단말 k 가 겪는 잡음 벡터, 상기 Σ_k 는 대각화된 단말 k 의 채널 행렬을 의미한다.

[0058] 이때, 각 단말의 단위 대역폭당 데이터 전송률은 채널 용량 공식에 따라 하기 <수학식 14>와 같이 표현된다.

수학식 14

$$r_k = \log_2 \det \left(\mathbf{I}_{M \times M} + \frac{\Sigma_k^2 \mathbf{P}_k^2}{\sigma_k^2} \right) \\ = \sum_{m=1}^M \log_2 \left(1 + \frac{\lambda_{k,m}^2 P_{k,m}}{\sigma_k^2} \right)$$

[0059] 상기 <수학식 14>에서, 상기 r_k 는 단말 k 의 전송률, 상기 Σ_k 는 대각화된 단말 k 의 채널 행렬, 상기 P_k 는 단말 k 에 대한 송신 전력 행렬, 상기 σ_k^2 는 단말 k 가 겪는 잡음 전력, 상기 M 은 단말의 수신 안테나 개수, 상기 $\lambda_{k,m}$ 은 단말 k 의 m 번째 스트림에 대한 유효 채널 이득, 상기 $P_{k,m}$ 은 단말 k 의 m 번째 스트림에 대한 송신 전력을 의미한다.

[0061] 또한, 각 기지국의 한계 송신 전력은 하기 <수학식 15>와 같다.

수학식 15

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M p_{k,m} \text{tr}(\mathbf{v}_{k,m,n} \mathbf{v}_{k,m,n}^H) \leq P_{\max}, n=1, \dots, N \\ \text{where } \mathbf{v}_{k,m} = [\mathbf{v}_{k,m,1}^T, \dots, \mathbf{v}_{k,m,N}^T]^T, \mathbf{v}_{k,m,n} \in \mathbb{C}^{L \times 1}$$

[0062] 상기 <수학식 15>에서, 상기 K 는 다중 접속된 단말들의 개수, 상기 M 은 단말의 수신 안테나 개수, 상기 $p_{k,m}$ 은 단말 k 의 m 번째 스트림에 대한 송신 전력, 상기 $\mathbf{v}_{k,m,n}$ 은 단말 k 의 m 번째 스트림에 대한 빔 성형 벡터의 n 번째 원소, 상기 $\text{tr}(\mathbf{v}_{k,m,n} \mathbf{v}_{k,m,n}^H)$ 는 단말 k 의 m 번째 데이터 스트림의 빔 성형으로 인한 기지국 n 에 대한 전력 이득, 상기 $P_{\max}$ 는 각 기지국의 한계 송신 전력, 상기 N 은 협력 전송에 참여하는 기지국들의 개수, 상기 $\mathbf{v}_{k,m}$ 은 단말 k 의 m 번째 스트림에 대한 빔 성형 벡터를 의미한다.

[0064] 각 단말의 데이터 스트림별 전력 할당 값이 동일한 경우, 상기 <수학식 15>로부터 유도된 전력 값은 하기 <수학식 16>과 같다.

수학식 16

$$\bar{P} = \frac{P_{\max}}{\max_n \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \text{tr}(\mathbf{v}_{k,m,n} \mathbf{v}_{k,m,n}^H)}$$

[0065] 상기 <수학식 16>에서, 상기 $\bar{P}$ 는 각 단말에게 할당되는 전력, 상기 $P_{\max}$ 는 각 기지국의 한계 송신 전력, 상기 K 는 다중 접속된 단말들의 개수, 상기 M 은 단말의 수신 안테나 개수, 상기 $\mathbf{v}_{k,m,n}$ 은 단말 k 의 m 번째 스트림에 대한 빔 성형 벡터의 n 번째 원소, 상기 $\text{tr}(\mathbf{v}_{k,m,n} \mathbf{v}_{k,m,n}^H)$ 는 단말 k 의 m 번째 데이터 스트림의 빔 성형으로 인한 기지국 n 에 대한 전력 이득을 의미한다.

[0067] 이 경우, 전력 할당 문제는 하기 <수학식 17>과 같이 표현된다.

수학식 17

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \log_2 \left(1 + \frac{\lambda_{k,m}^2 P_{k,m}}{\sigma_k^2} \right) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M P_{k,m} \text{tr}(\mathbf{v}_{k,m,n} \mathbf{v}_{k,m,n}^H) \leq P_{\max}, n=1, \dots, N \\ & \sum_{m=1}^M \log_2 \left(1 + \frac{\lambda_{k,m}^2 P_{k,m}}{\sigma_k^2} \right) \geq r_k^{\min}, k=1, \dots, K \end{aligned}$$

[0068]

[0069]

상기 <수학식 17>에서, 상기 K는 다중 접속된 단말들의 개수, 상기 M은 단말의 수신 안테나 개수, 상기 $\lambda_{k,m}$ 은 단말k의 m번째 스트림에 대한 유효 채널 이득, 상기 $P_{k,m}$ 은 단말k의 m번째 스트림에 대한 송신 전력, 상기 σ_k^2 는 단말k가 겪는 잡음 전력, 상기 $\mathbf{v}_{k,m,n}$ 은 단말k의 m번째 스트림에 대한 빔 성형 벡터의 n번째 원소, 상기 $\text{tr}(\mathbf{v}_{k,m,n} \mathbf{v}_{k,m,n}^H)$ 는 단말k의 m번째 데이터 스트림의 빔 성형으로 인한 기지국n에 대한 전력 이득, 상기 $P_{\max}$ 는 각 기지국의 한계 송신 전력, 상기 N은 협력 전송에 참여하는 기지국들의 개수, 상기 $r_k^{\min}$ 은 단말k에 대해 보장해야 하는 최소 전송률을 의미한다.

[0070]

상기 <수학식 17>에 나타난 최적화 문제에서 목적 함수 및 구속 조건의 형태가 볼록(convex) 함수이므로, 국부 최적 값이 전역 최적(global optimum) 값이다. 하지만, 상기 <수학식 17>에 포함된 최소 전송률에 대한 구속 조건은 비선형적이므로, 해의 존재 여부를 판별하는 것이 용이하지 않다. 따라서, 본 발명은 상기 최소 전송률에 대한 구속 조건을 선형적으로 변환함으로써, 상기 해의 존재 여부를 용이하게 판단하는 방안을 제안한다.

[0071]

각 단말의 전송률은 데이터 스트림들에 할당될 전력 집합에 의해 결정된다. 따라서, 상기 각 단말의 최소 전송률에 대한 구속 조건은 상기 데이터 스트림들의 전력에 대한 구속 조건으로 변환될 수 있다. 이 경우, 상기 <수학식 17>에 포함된 최소 전송률에 대한 K개의 비선형적 구속 조건들은 KM개의 선형 구속 조건들이 된다. 각 선형 구속 조건은 각 데이터 스트림에 할당될 전력 값이 임계치보다 커야한다는 것이다. 여기서, 상기 임계치는 상기 최소 전송률에 대한 구속 조건을 만족하는 최소 전력을 구하는 최적화 문제를 통해 결정된다. 상기 데이터 스트림들에 할당될 최소 전력을 결정하기 위한 최적화 문제는 하기 <수학식 18>과 같다.

수학식 18

$$\begin{aligned} \min_{P_{k,m}} \quad & q_k \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{m=1}^M P_{k,m} \text{tr}(\mathbf{v}_{k,m,n} \mathbf{v}_{k,m,n}^H) \leq q_k, \quad n=1, \dots, N \\ & \sum_{m=1}^M \log_2 \left(1 + \frac{\lambda_{k,m}^2 P_{k,m}}{\sigma_k^2} \right) \geq r_k^{\min} \end{aligned}$$

[0072]

[0073]

상기 <수학식 18>에서, 상기 $P_{k,m}$ 은 단말k의 m번째 스트림에 대한 송신 전력, 상기 q_k 는 단말k의 최소 전송률 보장을 위한 기지국 당 전력, 상기 M은 단말의 수신 안테나 개수, 상기 $\mathbf{v}_{k,m,n}$ 은 단말k의 m번째 스트림에 대한 빔 성형 벡터의 n번째 원소, 상기 $\text{tr}(\mathbf{v}_{k,m,n} \mathbf{v}_{k,m,n}^H)$ 는 단말k의 m번째 데이터 스트림의 빔 성형으로 인한 기지국n에 대한 전력 이득, 상기 $\lambda_{k,m}$ 은 단말k의 m번째 스트림에 대한 유효 채널 이득, 상기 σ_k^2 는 단말k가 겪는 잡음 전력, 상기 $r_k^{\min}$ 은 단말k에 대해 보장해야 하는 최소 전송률을 의미한다.

[0074]

상기 데이터 스트림들에 할당될 전력 값들은 각 기지국의 한계 전력에 의해 제한된다. 그러므로, 상기 <수학식 18>에 포함된 첫번째 구속 조건, 즉, 단말k의 최소 전송률 보장을 위한 기지국 당 전력에 대한 구속 조건은 상

기 <수학식 18>에 포함된 두번째 구속 조건, 즉, 단말k의 최소 전송률에 대한 구속 조건을 만족시키기 위한 각 기지국의 요구 전력이 단말k에게 할당되는 전력 값보다 작거나 같음을 의미한다. 상기 단말k에게 할당되는 전력 값이 최적 값이고, 기지국의 한계 송신 전력에 대한 구속 조건이라면, 상기 <수학식 18>에 포함된 최소 전송률에 대한 구속 조건의 좌변 값, 즉, 데이터 전송률을 최대화하는 최적 값은 상기 단말k의 최소 전송률과 같다. 상기 <수학식 18>의 최적화 문제를 KKT(Karush-Kuhn-Tucker) 조건식을 이용하여 정리하면, 하기 <수학식 19>와 같다.

수학식 19

$$p_{k,m} = \left[\frac{1}{\ln 2} \frac{\mu}{\sum_{n=1}^N v_n \text{tr}(\mathbf{v}_{k,m,n} \mathbf{v}_{k,m,n}^H)} - \frac{\sigma_k^2}{\lambda_{k,m}^2} \right]^+$$

$$\sum_{m=1}^M p_{k,m} \text{tr}(\mathbf{v}_{k,m,n} \mathbf{v}_{k,m,n}^H) \leq q_k, \quad n=1, \dots, N$$

$$\sum_{m=1}^M \log_2 \left(1 + \frac{\lambda_{k,m}^2 p_{k,m}}{\sigma_k^2} \right) \geq r_k^{\min}$$

[0075]

[0076]

상기 <수학식 19>에서, 상기 $p_{k,m}$ 은 단말k의 m번째 스트림에 대한 송신 전력, 상기 μ 는 상기 <수학식 18>에 나타난 두번째 구속 조건, 즉, 단말의 최소 전송률에 대한 구속 조건을 위한 라그랑지안 승수, 상기 N은 협력 전송에 참여하는 기지국들의 개수, 상기 v_n 은 상기 <수학식 18>에 나타난 첫번째 구속 조건, 즉, 단말의 최소 전송률 보장을 위한 기지국 당 전력에 대한 구속 조건을 위한 라그랑지안 승수, 상기 $v_{k,m,n}$ 은 단말k의 m번째 스트림에 대한 빔 성형 벡터의 n번째 원소, 상기 $\text{tr}(\mathbf{v}_{k,m,n} \mathbf{v}_{k,m,n}^H)$ 는 단말k의 m번째 데이터 스트림의 빔 성형으로 인한 기지국n에 대한 전력 이득, 상기 σ_k^2 는 단말k가 겪는 잡음 전력, 상기 $\lambda_{k,m}$ 은 단말k의 m번째 스트림에 대한 유효 채널 이득, 상기 M은 단말의 수신 안테나 개수, 상기 q_k 는 단말k의 최소 전송률 보장을 위한 기지국 당 전력, 상기 $r_k^{\min}$ 은 단말k에 대해 보장해야하는 최소 전송률을 의미한다.

[0077]

상기 <수학식 19>를 통해 설명한 각 단말의 최적 전력 값을 결정하는 알고리즘을 정리하면 하기 <표 2>와 같다.

표 2

[0078]

0단계	단말별 할당가능 전력의 최대값 및 최소값의 중간값으로 임시 설정 $q_k \leftarrow \frac{q_k^{\min} + q_k^{\max}}{2}$
1단계	설정된 q_k 에 대한 구속 조건을 고려하여 전송률 극대화를 위한 최적 전력 값 산출. $p_{k,m}^{\min} = \left[\frac{1}{\ln 2} \frac{1}{\sum_{n=1}^N v_n \text{tr}(\mathbf{v}_{k,m,n} \mathbf{v}_{k,m,n}^H)} - \frac{\sigma_k^2}{\lambda_{k,m}^2} \right]^+$
2단계	산출된 $p_{k,m}^{\min}$ 을 고려하여 시스템의 최적 전송률 산출. $r_k^{\text{opt}} = \sum_{m=1}^M \log_2 \left(1 + \frac{\lambda_{k,m}^2 p_{k,m}^{\min}}{\sigma_k^2} \right)$
3단계	단말별 할당 가능 전력의 최대값 및 최소값 갱신. $\begin{cases} q_k^{\min} \leftarrow q_k, & \text{if } r_k^{\text{opt}} \leq r_k^{\min} \\ q_k^{\max} \leftarrow q_k & \text{otherwise} \end{cases}$
4단계	주어진 최소 전송률 및 최적 전송률 간 차이가 임계치보다 작으면, 종료. 그렇지 아니하면, 단계0으로 진행.

[0079] 상기 <표 2>에서, 상기 q_k 는 단말 k 의 최소 전송률 보장을 위한 기지국 당 전력, 상기 $q_k^{\min}$ 은 단말 k 의 최소 전송률 보장을 위한 기지국 당 전력의 최소값, 상기 $q_k^{\max}$ 은 단말 k 의 최소 전송률 보장을 위한 기지국 당 전력의 최대값, 상기 $p_{k,m}^{\min}$ 은 단말 k 의 m 번째 스트림의 최소 전송률 보장을 위한 최소 전력, 상기 N 은 협력 전송에 참여하는 기지국들의 개수, 상기 v_n 은 상기 <수학식 19>에 나타난 첫번째 구속 조건, 즉, 단말에 할당되는 전력에 대한 구속 조건을 위한 라그랑지안 승수, 상기 $v_{k,m,n}$ 은 단말 k 의 m 번째 스트림에 대한 빔 성형 벡터의 n 번째 원소, 상기 $\text{tr}(v_{k,m,n} v_{k,m,n}^H)$ 는 단말 k 의 m 번째 데이터 스트림의 빔 성형으로 인한 기지국 n 에 대한 전력 이득, 상기 σ_k^2 는 단말 k 가 겪는 잡음 전력, 상기 $\lambda_{k,m}$ 은 단말 k 의 m 번째 스트림에 대한 유효 채널 이득, 상기 r_k^{opt} 는 단말 k 에 대한 최적 전송률, 상기 M 은 단말의 수신 안테나 개수를 의미한다.

[0080] 상술한 바와 같이 결정된 각 단말의 최적 전력 값들을 이용하여 상기 <수학식 17>에 포함된 최소 전송률에 대한 비선형적 구속 조건이 선형화된다. 즉, 상기 최소 전송률에 대한 구속 조건의 최소 전송률을 만족하는 최소 송신 전력 값들은 주어진 최소 전송률을 보장하는 값임과 동시에, 각 기지국에 의해 할당될 전력을 최소화하는 값이다. 따라서, 상기 <수학식 17>에 포함된 최소 전송률에 대한 비선형적 구속 조건은 하기 <수학식 20>과 같이 선형화된다.

수학식 20

$$\sum_{m=1}^M \log_2 \left(1 + \frac{\lambda_{k,m}^2 p_{k,m}}{\sigma_k^2} \right) \geq r_k^{\min} \Leftrightarrow p_{k,m} \geq p_{k,m}^{\min}, m = 1, \dots, M$$

[0081]

[0082] 상기 <수학식 20>에서, 상기 M 은 단말의 수신 안테나 개수, 상기 $\lambda_{k,m}$ 은 단말 k 의 m 번째 스트림에 대한 유효 채널 이득, 상기 $p_{k,m}$ 은 단말 k 의 m 번째 스트림에 대한 송신 전력, 상기 σ_k^2 는 단말 k 가 겪는 잡음 전력, 상기 $r_k^{\min}$ 은 단말 k 에 대해 보장해야하는 최소 전송률, 상기 $p_{k,m}^{\min}$ 은 최소 전송률 보장을 위한 최소 전력을 의미한다.

[0083] 상기 <수학식 20>을 적용하여 상기 <수학식 17>의 전력 할당 문제를 정리하면 하기 <수학식 21>과 같다.

수학식 21

$$\begin{aligned} \max_{p_{k,m}} \quad & \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \log_2 \left(1 + \frac{\lambda_{k,m}^2 p_{k,m}}{\sigma_k^2} \right) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M p_{k,m} \text{tr}(\mathbf{v}_{k,m,n} \mathbf{v}_{k,m,n}^H) \leq P_{\max}, n = 1, \dots, N \\ & p_{k,m} \geq p_{k,m}^{\min}, m = 1, \dots, M, k = 1, \dots, K \end{aligned}$$

[0084]

[0085] 상기 <수학식 21>에서, 상기 K 는 다중 접속되는 단말들의 개수, 상기 M 은 단말의 수신 안테나 개수, 상기 $\lambda_{k,m}$ 은 단말 k 의 m 번째 스트림에 대한 유효 채널 이득, 상기 $p_{k,m}$ 은 단말 k 의 m 번째 스트림에 대한 송신 전력, 상기 σ_k^2 는 단말 k 가 겪는 잡음 전력, 상기 $v_{k,m,n}$ 은 단말 k 의 m 번째 스트림에 대한 빔 성형 벡터의 n 번째 원소, 상기 $\text{tr}(v_{k,m,n} v_{k,m,n}^H)$ 는 단말 k 의 m 번째 데이터 스트림의 빔 성형으로 인한 기지국 n 에 대한 전력 이득, 상기 $P_{\max}$ 는 각 기지국의 한계 송신 전력, 상기 $p_{k,m}^{\min}$ 은 최소 전송률 보장을 위한 최소 전력을 의미한다.

[0086] 이때, 해가 존재하는 범위는 상기 <수학식 21>에 포함된 2개의 구속 조건들에 의해 결정된다. 특히, 상기 <수학식 21>에서, 데이터 스트림에 할당되는 최소 송신 전력들이 기지국의 한계 송신 전력에 대한 구속 조건을 만족

하는 경우, 상기 전력 할당 문제의 해가 존재한다. 상기 해가 존재하는 경우, 상기 <수학식 21>의 전력 할당 문제를 KKT(Karush-Kuhn-Tucker) 조건식을 이용하여 정리하면, 하기 <수학식 22>와 같다.

수학식 22

$$p_{k,m} = \left[\frac{1}{\ln 2} \frac{1}{\sum_{n=1}^N v_n \text{tr}(\mathbf{v}_{k,m,n} \mathbf{v}_{k,m,n}^H)} - \frac{\sigma_k^2}{\lambda_{k,m}^2} \right]^+, \quad p_{k,m}^* = \max(p_{k,m}, p_{k,m}^{\min})$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M p_{k,m}^* \text{tr}(\mathbf{v}_{k,m,n} \mathbf{v}_{k,m,n}^H) \leq P_{\max}, \quad n=1, \dots, N$$

[0087]

[0088]

상기 <수학식 22>에서, 상기 $p_{k,m}$ 은 단말k의 m번째 스트림에 대한 송신 전력, 상기 N은 협력 전송에 참여하는 기지국들의 개수, 상기 v_n 은 상기 <수학식 21>에 나타난 첫번째 구속 조건, 즉, 기지국의 한계 송신 전력에 대한 구속 조건을 위한 라그랑지안 승수, 상기 $v_{k,m,n}$ 은 단말k의 m번째 스트림에 대한 빔 성형 벡터의 n번째 원소, 상기 $\text{tr}(\mathbf{v}_{k,m,n} \mathbf{v}_{k,m,n}^H)$ 는 단말k의 m번째 데이터 스트림의 빔 성형으로 인한 기지국n에 대한 전력 이득, 상기 σ_k^2 는 단말k가 겪는 잡음 전력, 상기 $\lambda_{k,m}$ 은 단말k의 m번째 스트림에 대한 유효 채널 이득, 상기 $p_{k,m}^*$ 은 단말k의 m번째 스트림에 대한 전력 값 및 스트림별 최소 전력 값 중 큰 값으로서 최종적으로 단말k의 m번째 스트림에 할당되는 전력 값, 상기 K는 다중 접속되는 단말들의 개수, 상기 M은 단말의 수신 안테나 개수, 상기 $P_{\max}$ 는 각 기지국의 한계 송신 전력을 의미한다.

[0089]

상기 전력 할당 문제에 대한 최적의 해는 단일 수신 안테나를 채용한 경우를 위해 제안된 전력 제어 알고리즘을 통해 결정될 수 있다. 이때, 해의 존재 여부는 상기 <수학식 20>의 최소 전력 값들을 이용하여 상기 <수학식 21>에 나타난 기지국의 한계 송신 전력에 대한 구속 조건이 만족되는지 여부를 통해 판단될 수 있다. 만일, 해가 존재하지 않는 경우, 상기 단일 수신 안테나를 채용한 경우와 유사하게, 구속 조건들을 완화, 즉, 다중 접속 대상인 K개의 단말들 중 적어도 하나의 단말을 제거함으로써, 해가 존재하는 상황이 구성된다. 이때, 단말의 제거는 하기 <수학식 23>과 같이 수행된다.

수학식 23

$$k^* = \arg \max_k q_k$$

[0090]

[0091]

상기 <수학식 23>에서, 상기 k^* 은 제거되는 단말의 인덱스, 상기 k는 단말의 인덱스, 상기 q_k 는 단말k의 최소 전송률 보장을 위한 기지국 당 전력을 의미한다.

[0092]

상기 <수학식 23>와 같이 가장 큰 전력을 할당받은 단말이 제거되면, 나머지 단말들의 최소 전송률이 보장될 가능성이 높다. 또한, 단말 별로 요구되는 최소 전송률이 동일한 경우, 상기 <수학식 23>의 과정은 채널 상태가 비교적 열악한 단말이 제거되는 과정이다.

[0093]

다중 수신 안테나를 채용한 경우, 최소 전송률을 보장하고 시스템 전송률을 최대화하기 위한 전력 제어 알고리즘 및 단말 제거 알고리즘을 정리하면 하기 <표 3>과 같다. 이하 <표 3>에 나타난 알고리즘은 협력 전송에 참여하는 기지국들 전체를 하나의 주체로서 고려하고 있다.

표 3

[0094]

단계0	다중 접속 단말 집합 및 단말별 데이터 스트림 집합 결정. $S = \{1, 2, \dots, K\}, \quad T_k = \{1, \dots, M\}$
단계1	빔 성형 벡터 생성 및 최소 전송률 보장을 위한 각 단말의 최소 전력 집합 산출. $P = \{p_{k,m}^{\min} \mid k \in S, m \in T_k\}$

단계2	해 존재 여부 검사. $\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M p_{k,m}^{\min} \text{tr}(\mathbf{v}_{k,m,n} \mathbf{v}_{k,m,n}^H) \leq P_{\max}, n=1, \dots, N$ 을 만족하면, 단계3으로 진행. 그렇지 아니하면, <수학식 23>에 따라 단말 집합 갱신 후, 단계1로 진행.
단계3	상기 <수학식 22>에 따라 전력 제어 수행. 구속 조건 만족 못하면, 단말 집합 갱신 후, 단계1로 진행

[0095] 상기 <표 3>에서, 상기 S는 다중 접속되는 단말들의 집합, 상기 K는 다중 접속되는 단말들의 개수, 상기 T_k는 단말k의 데이터 스트림 집합, 상기 M은 단말의 수신 안테나 개수, 상기 P는 단말들의 최소 전송률 보장을 위한 최소 전력들의 집합, 상기 p_k^{min}은 최소 전송률 보장을 위한 최소 전력을 의미한다.

[0096] 만일, 각 단말에게 동일한 크기의 전력 값들이 할당되는 경우, 상기 각 단말의 최소 전송률을 보장하기 위해 가능한 방안은 다중 접속될 단말들을 조절하는 것이다. 이 경우, 단말들은 다음과 같이 관리된다.

[0097] 상기 단일 수신 안테나를 채용한 경우의 설명에서 기술한 바와 같이, 단말의 선택 및 제거는 조합적 문제의 성질을 가지므로, 최적의 단말 선택은 높은 연산 복잡도를 요구한다. 따라서, 본 발명은 낮은 연산 복잡도를 갖는 단말 제거 방안을 제안한다. 본 발명의 실시 예에 따른 단말 제거 방식은 이미 선택된 단말들 중 단계적으로 하나씩 단말을 제거하며 최소 전송률을 만족하는 단말 집합을 찾아낸다. 1차적인 단말 제거는 하기 <수학식 23>과 같이 전송률을 이용하여 수행된다.

수학식 24

$$k^* = \arg \min_k r_k$$

[0098]

[0099] 상기 <수학식 24>에서, 상기 k^{*}은 제거되는 단말의 인덱스, 상기 k는 단말의 인덱스, 상기 r_k는 단말 k의 전송률을 의미한다.

[0100] 단말의 전송률이 낮음은 상기 단말이 낮은 유효 채널 이득 또는 낮은 SINR을 가지고 있음을 의미하므로, 상기 단말을 제거함으로써 단말 집합에 대한 전체적인 유효 채널 이득이 증가하게 된다. 이에 따라, 상기 단말을 제거한 단말 집합에 대하여 새로운 빔 형성을 수행하면 최소 전송률을 만족할 가능성이 증가한다. 상기 <수학식 24>를 이용한 단말 집합 관리 알고리즘을 정리하면 하기 <표 4>와 같다.

표 4

[0101]

단계0	다중 접속 단말 집합 결정. $S = \{1, 2, \dots, K\}$
단계1	빔 성형 벡터 생성 및 각 데이터 스트림에 할당될 전력 산출. $\bar{p} = \frac{P_{\max}}{\max_n \sum_{k \in S} \sum_{m=1}^M \text{tr}(\mathbf{v}_{k,m,n} \mathbf{v}_{k,m,n}^H)}$
단계2	단말 집합의 전송률 산출 및 최하 전송률을 갖는 단말 선택. $r_k = \sum_{m=1}^M \log_2 \left(1 + \frac{\lambda_{k,m}^2 \bar{p}}{\sigma_k^2} \right), \quad k^* = \arg \min_k r_k$
단계3	모든 단말들의 전송률이 최소 전송률 이상이면, 종료. 그렇지 아니하면, 단계4로 진행.
단계4	최하 전송률을 갖는 단말을 단말 집합에서 제거한 후, 단계1로 진행. $S_k \leftarrow S_k - k^*$

- [0102] 상기 <표 4>에서, 상기 S는 다중 접속되는 단말들의 집합, 상기 K는 다중 접속되는 단말들의 개수, 상기 $\bar{P}$ 는 각 단말에게 할당되는 전력, 상기 $P_{\max}$ 는 각 기지국의 한계 송신 전력, 상기 M은 단말의 수신 안테나 개수, 상기 $v_{k,m,n}$ 은 단말k의 m번째 스트림에 대한 빔 성형 벡터의 n번째 원소, 상기 $\text{tr}(v_{k,m,n} v_{k,m,n}^H)$ 는 단말k의 m번째 데이터 스트림의 빔 성형으로 인한 기지국n에 대한 전력 이득, 상기 r_k 는 단말k의 전송률, 상기 $\lambda_{k,m}$ 은 단말k의 m번째 스트림에 대한 유효 채널 이득, 상기 σ_k^2 는 단말k가 겪는 잡음 전력, 상기 k^* 은 최하 전송률을 갖는 단말의 인덱스를 의미한다.
- [0103] 이하 본 발명은 상술한 바와 같이 전력 제어를 수행하는 기지국의 동작 및 구성에 대해 도면을 참고하여 상세히 설명한다.
- [0104] 도 2는 본 발명의 제1 실시 예에 따른 분산 MIMO 무선통신 시스템에서 기지국의 동작 절차를 도시하고 있다. 상기 도 2는 기지국의 섹터 당 안테나 개수 및 단말의 수신 안테나 개수가 1개인 경우의 전력 제어 절차를 도시하고 있다.
- [0105] 상기 도 2를 참고하면, 상기 기지국은 201단계에서 다중 접속될 단말 집합을 결정한다. 다시 말해, 상기 기지국은 다중 접속을 통해 동시에 신호를 수신할 단말들을 결정한다. 이때, 상기 기지국은 협력 전송에 참여하는 다른 기지국들과 상기 단말 집합을 공유해야 한다. 따라서, 상기 기지국은 백홀망을 통해 상기 다른 기지국들과 통신을 수행하며, 상기 단말 집합을 공유하기 위한 정보를 송수신한다.
- [0106] 상기 단말 집합을 결정한 후, 상기 기지국은 203단계로 진행하여 상기 단말 집합에 포함된 단말들과 상기 협력 전송에 참여하는 기지국들 간의 채널 행렬을 이용하여 빔 성형 행렬을 산출한다. 예를 들어, 상기 빔 성형 행렬은 ZF 빔 성형 행렬이다. 이 경우, 상기 기지국은 상기 채널 행렬의 역행렬을 산출함으로써, 상기 빔 성형 행렬을 산출한다. 여기서, 상기 기지국이 상기 빔 성형 행렬을 전부 사용하는 것은 아니며, 상기 협력 전송에 참여하는 기지국들이 공동으로 상기 빔 성형 행렬을 사용한다. 즉, 상기 기지국은 상기 빔 성형 행렬 중 하나의 열을 빔 성형 벡터로서 사용한다.
- [0107] 상기 빔 성형 행렬을 산출한 후, 상기 기지국은 205단계로 진행하여 상기 단말 집합에 포함되는 각 단말의 최소 전송률을 보장하기 위한 상기 각 단말의 최소 전력 값들, 즉, 최소 전력 집합을 산출한다. 다시 말해, 상기 기지국은 상기 각 단말의 최소 전송률 및 상기 각 단말이 겪는 잡음 전력을 이용하여 상기 최소 전력 집합을 결정한다. 예를 들어, 상기 기지국은 상기 <수학식 7>과 같이 상기 각 단말의 최소 전력 값들을 산출한다.
- [0108] 상기 최소 전력 값들을 산출한 후, 상기 기지국은 207단계로 진행하여 상기 각 단말을 위한 최적의 전력 값들이 존재하는지 판단한다. 즉, 상기 기지국은 전력 최적화 문제의 해가 존재하는지 여부를 판단한다. 이때, 상기 기지국은 상기 각 단말의 최소 전력 값들, 상기 빔 성형 행렬 및 자신의 한계 송신 전력을 이용하여 상기 최적의 전력 값들의 존재 여부를 판단한다. 즉, 상기 기지국은 상기 빔 성형 행렬을 통한 전력 이득을 고려하여 송신 전력 총합을 산출한 후, 상기 송신 전력 총합이 상기 자신의 한계 송신 전력을 초과하는지 여부를 확인한다. 예를 들어, 상기 기지국은 상기 <표 1>의 단계2에 포함된 구속 조건의 만족 여부를 판단한다.
- [0109] 만일, 상기 최적의 전력 값들이 존재하지 않으면, 상기 기지국은 209단계로 진행하여 상기 단말 집합을 갱신한 후, 상기 203단계로 되돌아간다. 이때, 상기 단말 집합은 하나의 단말을 제거함으로써 갱신된다. 즉, 상기 기지국은 가장 큰 최소 전력 값을 갖는 단말을 제거하거나, 또는, 상기 빔 성형을 통해 가장 큰 전력 이득을 갖는 단말을 제거한다. 예를 들어, 상기 기지국은 상기 <수학식 10> 또는 상기 <수학식 11>과 같이 제거할 단말을 선택한다. 이때, 상기 201단계와 마찬가지로, 상기 단말 집합은 협력 전송에 참여하는 다른 기지국들과 공유되어야 하므로, 상기 기지국은 백홀망을 통해 상기 단말 집합을 공유하기 위한 정보를 송수신한다.
- [0110] 반면, 상기 최적의 전력 값들이 존재하면, 상기 기지국은 211단계로 진행하여 자신의 한계 송신 전력에 대한 구속 조건을 위한 라그랑지안 승수를 초기화한다. 여기서, 상기 라그랑지안 승수는 구속 조건을 갖는 최적화 문제의 풀이를 용이하게 하기 위하여, 상기 구속 조건을 포함하는 최적화 식을 결정하기 위한 것이다. 상기 라그랑지안 승수의 산출은 널리 알려진 수학적 연산이므로, 본 발명은 이에 대한 설명을 생략한다.
- [0111] 상기 라그랑지안 승수를 초기화한 후, 상기 기지국은 213단계로 진행하여 상기 각 단말에 할당될 전력 값들을

산출한다. 즉, 상기 기지국은 상기 라그랑지안 승수, 단말k에 대응되는 빔 성형 벡터의 원소 및 상기 단말k가 겪는 잡음 전력을 이용하여 임시 전력 값을 산출하고, 상기 임시 전력 값 및 최소 전력 값 중 큰 값을 상기 단말k의 전력 값으로 결정한다. 즉, 상기 기지국은 이러한 전력 값 결정 과정을 각 단말에 대하여 수행한다. 예를 들어, 상기 기지국은 상기 <수학식 8>과 같이 각 단말에 할당될 전력 값들을 산출한다.

[0112] 이어, 상기 기지국은 215단계로 진행하여 상기 전력 값들의 수렴 여부를 판단한다. 여기서, 상기 전력 값의 수렴 여부는 라그랑지안 승수의 반복적 갱신에 따라 재산출된 전력 값 및 이전 전력 값과의 차이가 임계치보다 작은지 여부에 따라 판단된다. 즉, 상기 기지국은 이전 반복 단계의 전력 값 및 현재 반복 단계의 전력 값 간 차이 값을 산출한 후, 상기 차이 값이 상기 임계치보다 작은지 확인한다. 이때, 2회 이상의 전력 값 산출 과정을 수행하지 않은 경우, 상기 차이 값은 산출될 수 없으므로, 상기 기지국은 수렴되지 않았다고 판단한다.

[0113] 만일, 상기 전력 값이 수렴되지 않았으면, 다시 말해, 상기 차이 값이 상기 임계치보다 크면, 상기 기지국은 217단계로 진행하여 상기 라그랑지안 승수를 갱신한다. 이때, 상기 기지국은 현재의 라그랑지안 승수, 상기 빔 성형 벡터의 원소들 및 상기 각 단말의 현재 전력 값들을 이용하여 상기 라그랑지안 승수를 갱신한다. 예를 들어, 상기 기지국은 상기 <수학식 9>와 같이 상기 라그랑지안 승수를 갱신한다. 이후, 상기 기지국은 상기 213단계로 되돌아간다.

[0114] 반면, 상기 전력 값이 수렴되었으면, 상기 기지국은 219단계로 진행하여 전력 할당을 완료하고, 상기 빔 성형 행렬 및 상기 전력 값들에 따라 데이터 심벌들을 송신한다. 다시 말해, 상기 기지국은 상기 각 단말로의 데이터 심벌들에 상기 전력 값들 및 상기 빔 성형 행렬 중 상기 기지국에 대응되는 열 벡터를 곱하고, RF(Radio Frequency) 대역 신호로 상향변환한 후, 안테나를 통해 송신한다.

[0115] 도 3은 본 발명의 제2실시 예에 따른 분산 MIMO 무선통신 시스템에서 기지국의 동작 절차를 도시하고 있다. 상기 도 3은 기지국의 섹터 당 안테나 개수 및 단말의 수신 안테나 개수가 다수인 경우의 전력 제어 절차를 도시하고 있다.

[0116] 상기 도 3을 참고하면, 상기 기지국은 301단계에서 다중 접속될 단말 집합 및 스트림 집합들을 결정한다. 다시 말해, 상기 기지국은 다중 접속을 통해 동시에 신호를 수신할 단말들 및 각 단말의 스트림들을 결정한다. 이때, 상기 기지국은 협력 전송에 참여하는 다른 기지국들과 상기 단말 집합 및 상기 스트림 집합들을 공유해야 한다. 따라서, 상기 기지국은 백홀망을 통해 상기 다른 기지국들과 통신을 수행하며, 상기 단말 집합 및 상기 스트림 집합들을 공유하기 위한 정보를 송수신한다.

[0117] 상기 단말 집합 및 상기 스트림 집합들을 결정한 후, 상기 기지국은 303단계로 진행하여 상기 단말 집합에 포함된 단말들과 상기 협력 전송에 참여하는 기지국들 간의 채널 행렬들을 이용하여 빔 성형 행렬들을 산출한다. 예를 들어, 상기 빔 성형 행렬은 BD 연산을 통해 산출된다. 여기서, 상기 기지국이 상기 빔 성형 행렬을 전부 사용하는 것은 아니며, 상기 협력 전송에 참여하는 기지국들이 공동으로 상기 빔 성형 행렬을 사용한다. 즉, 상기 기지국은 상기 빔 성형 행렬 중 자신의 송신 안테나들에 대응되는 열들을 빔 성형 행렬로서 사용한다.

[0118] 상기 빔 성형 행렬들을 산출한 후, 상기 기지국은 305단계로 진행하여 상기 단말 집합에 포함되는 각 단말의 최소 전송률을 보장하기 위한 상기 각 단말의 스트림별 최소 전력 값들, 즉, 최소 전력 집합을 산출한다. 여기서, 상기 최소 전력 값들은 스트림별로 산출되며, 이에 따라, 각 단말은 자신의 스트림 개수만큼의 최소 전력 값들을 갖는다. 이때, 상기 기지국은 각 기지국에서 단말의 최소 전송률 보장을 위해 할당해야 하는 전력, 빔 성형으로 인한 상기 각 단말의 스트림별 전력 이득, 각 단말이 겪는 잡음 전력, 각 단말의 유효 채널 이득을 이용하여 상기 최소 전력 집합을 결정한다.

[0119] 이때, 상기 기지국은 상기 각 기지국에서 단말의 최소 전송률 보장을 위해 할당해야 하는 전력을 조절하며 최적의 최소 전력 값들을 결정한다. 예를 들어, 상기 기지국은 상기 <표 2>와 같이 최적의 최소 전력 값들을 결정한다. 단말k를 고려하여 상세히 설명하면, 상기 기지국은 단계0과 같이 상기 각 기지국에서 상기 단말k의 최소 전송률 보장을 위해 할당해야 하는 전력을 초기화한다. 이어, 상기 기지국은 초기화된 각 기지국에서 상기 단말k의 최소 전송률 보장을 위해 할당해야 하는 전력에 대한 구속 조건을 위한 라그랑지안 승수를 산출한 후, 단계1과 같이 상기 라그랑지안 승수, 상기 빔 성형으로 인한 상기 단말k의 스트림별 전력 이득, 상기 단말k가 겪는 잡음 전력, 상기 단말k의 유효 채널 이득을 이용하여 스트림별 최소 전력 값들을 산출한다. 이후, 상기 기지국은 단계2와 같이 상기 최소 전력 값들 상기 단말k의 유효 채널 이득, 상기 단말k가 겪는 잡음 전력을 이용하여 최적 전송률을 산출한 후, 단계3과 같이 상기 최적 전송률 및 상기 최소 전송률에 따라 상기 단말k의 최소 전송률 보

장을 위해 할당해야하는 전력의 최소값 및 최대값을 갱신한다. 이때, 상기 최적 전송률 및 상기 최소 전송률 간 차이값이 임계치보다 크거나 같으면, 상기 기지국은 상술한 과정의 반복을 통해 상기 최소 전력 값들을 재결정한다.

[0120] 상기 최소 전력 값들을 산출한 후, 상기 기지국은 307단계로 진행하여 상기 각 단말을 위한 최적의 전력 값들이 존재하는지 판단한다. 즉, 상기 기지국은 전력 최적화 문제의 해가 존재하는지 여부를 판단한다. 이때, 상기 기지국은 상기 각 단말의 스트림별 최소 전력 값들, 상기 빔 성형 행렬들 및 자신의 한계 송신 전력을 이용하여 상기 최적의 전력 값들의 존재 여부를 판단한다. 즉, 상기 기지국은 상기 빔 성형 행렬들을 통한 전력 이득을 고려하여 상기 최소 전력 값들을 적용한 경우의 송신 전력 총합을 산출한 후, 상기 송신 전력 총합이 상기 자신의 한계 송신 전력을 초과하는지 여부를 확인한다. 예를 들어, 상기 기지국은 상기 <표 3>의 단계2에 포함된 구속 조건의 만족 여부를 판단한다.

[0121] 만일, 상기 최적의 전력 값들이 존재하지 않으면, 상기 기지국은 309단계로 진행하여 상기 단말 집합을 갱신한 후, 상기 303단계로 되돌아간다. 이때, 상기 단말 집합은 하나의 단말을 제거함으로써 갱신된다. 예를 들어, 상기 기지국은 상기 <수학식 23>과 같이 각 기지국에서 단말의 최소 전송률 보장을 위해 할당해야하는 전력이 최대인 단말을 제거할 단말로서 선택한다. 이때, 상기 301단계와 마찬가지로, 상기 단말 집합은 협력 전송에 참여하는 다른 기지국들과 공유되어야하므로, 상기 기지국은 백홀망을 통해 상기 단말 집합을 공유하기 위한 정보를 송수신한다.

[0122] 반면, 상기 최적의 전력 값들이 존재하면, 상기 기지국은 311단계로 진행하여 기지국의 한계 송신 전력에 대한 구속 조건, 즉, 상기 <수학식 21>의 첫번째 구속조건을 위한 라그랑지안 승수를 결정한다. 여기서, 상기 라그랑지안 승수는 구속 조건을 갖는 최적화 문제의 풀이를 용이하게 하기 위하여, 상기 구속 조건을 포함하는 최적화식을 결정하기 위한 것이다. 상기 라그랑지안 승수의 산출은 널리 알려진 수학적 연산이므로, 본 발명은 이에 대한 설명을 생략한다.

[0123] 상기 라그랑지안 승수를 결정한 후, 상기 기지국은 313단계로 진행하여 상기 각 단말에 할당될 전력 값들을 산출한다. 즉, 상기 기지국은 상기 라그랑지안 승수, 빔 성형으로 인한 상기 단말k의 m번째 스트림의 전력 이득, 상기 단말k가 겪는 잡음 전력, 상기 단말k의 m번째 스트림의 유효 채널 이득을 이용하여 임시 전력 값을 산출하고, 상기 임시 전력 값 및 최소 전력 값 중 큰 값을 상기 단말k의 m번째 스트림의 전력 값으로 결정한다. 즉, 상기 기지국은 이러한 전력 값 결정 과정을 각 단말의 각 스트림에 대하여 수행한다. 예를 들어, 상기 기지국은 상기 <수학식 22>와 같이 각 단말에 할당될 전력 값들을 산출한다.

[0124] 이어, 상기 기지국은 315단계로 진행하여 상기 전력 값들이 상기 기지국의 한계 송신 전력에 대한 구속 조건을 만족하는지 판단한다. 이때, 상기 기지국은 상기 각 단말의 스트림별 최소 전력 값들, 상기 빔 성형 행렬들 및 자신의 한계 송신 전력을 이용하여 상기 최적의 전력 값들의 존재 여부를 판단한다. 즉, 상기 기지국은 상기 빔 성형 행렬들을 통한 전력 이득을 고려하여 상기 각 단말로의 송신 전력 합을 산출한 후, 상기 송신 전력 합이 상기 자신의 한계 송신 전력을 초과하는지 여부를 확인한다. 예를 들어, 상기 기지국은 상기 <수학식 22>의 구속 조건의 만족 여부를 판단한다. 만일, 상기 전력 값들이 상기 기지국의 한계 송신 전력에 대한 구속 조건을 만족하지 않으면, 상기 기지국은 상기 309단계로 진행하여 상기 단말 집합을 갱신한 후, 상기 303단계로 되돌아간다.

[0125] 반면, 상기 전력 값들이 상기 기지국의 한계 송신 전력에 대한 구속 조건을 만족하면, 상기 기지국은 317단계로 진행하여 전력 할당을 완료하고, 상기 빔 성형 행렬들 및 상기 전력 값들에 따라 데이터 심벌들을 송신한다. 다시 말해, 상기 기지국은 상기 각 단말로의 데이터 심벌들에 상기 전력 값들 및 상기 빔 성형 행렬 중 상기 기지국에 대응되는 열 벡터들을 곱하고, RF 대역 신호로 상향변환한 후, 안테나를 통해 송신한다.

[0126] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 분산 MIMO 무선통신 시스템에서 기지국의 블록 구성을 도시하고 있다.

[0127] 상기 도 4에 도시된 바와 같이, 상기 기지국은 데이터버퍼(402), 다수의 부호화기들(404-1 내지 404-L), 다수의 변조기들(406-1 내지 406-L), 전력곱셈기(408), 빔성형기(410), 다수의 RF송신기들(412-1 내지 412-L), 백홀통신기(414), 제어부(416)를 포함하여 구성된다.

[0128] 상기 데이터버퍼(402)는 단말들로 송신될 데이터를 저장하고, 상기 제어부(416)의 제어에 따라 저장된 데이터를 출력한다. 상기 다수의 부호화기들(404-1 내지 404-L)은 상기 데이터버퍼(402)로부터 제공되는 데이터 비트열을 채널 부호화(channel encoding)한다. 상기 다수의 변조기들(406-1 내지 406-L)은 채널 부호화된 비트열들을 변

조합으로써 스트림별 복소 심벌(complex symbol)들을 생성한다.

[0129] 상기 전력곱셈기(408)는 상기 제어부(416)로부터 제공되는 전력 값들을 송신 심벌에 적용한다. 즉, 상기 전력곱셈기(408)는 상기 제어부(416)로부터 각 단말의 전력 값들을 제공받고, 상기 각 단말의 송신 심벌들에 대응되는 전력 값을 곱한다. 상기 빔성형기(410)는 상기 제어부(416)로부터 제공되는 빔 성형 벡터 또는 빔 성형 행렬을 이용하여 빔 성형을 수행한다. 즉, 상기 빔성형기(410)는 상기 제어부(416)로부터 상기 빔 성형 벡터 또는 상기 빔 성형 행렬을 제공받고, 상기 각 단말의 송신 심벌들에 상기 빔 성형 벡터 또는 상기 빔 성형 행렬의 대응되는 원소를 곱한다. 상기 다수의 RF송신기들(412-1 내지 412-L)은 빔 성형된 송신 신호들을 RF 대역의 신호들로 상향 변환한 후, 다수의 송신 안테나들을 통해 송신한다.

[0130] 상기 백홀통신기(414)는 협력 전송에 참여하는 다른 기지국들과의 통신을 위한 인터페이스를 제공한다. 특히, 다중 접속되는 단말들을 포함하는 단말 집합의 공유를 위하여, 상기 백홀통신기(414)는 백홀망을 통해 협력 전송에 참여하는 기지국들과 상기 단말 집합을 공유하기 위한 정보를 송수신한다. 상기 제어부(416)는 상기 기지국의 전반적인 기능을 제어한다. 상기 제어부(416)는 스케줄러(418), 빔성형행렬산출기(420), 전력할당기(422)를 포함한다. 상기 스케줄러(418)는 다중 접속될 단말을 결정하고, 상기 단말들에게 자원을 할당하며, 상기 빔성형행렬산출기(420)는 상기 단말들로의 송신 신호를 처리하기 위한 빔 성형 행렬을 산출하며, 상기 전력할당기(422)는 제한된 한계 송신 전력 내에서 상기 단말들에 대한 송신 전력 값들을 결정한다. 상기 스케줄러(418), 상기 빔성형행렬산출기(420), 상기 전력할당기(422)의 상세한 동작은 본 발명의 실시 예에 따라 달라지며, 각 실시 예에 따른 동작은 다음과 같다.

[0131] 본 발명의 제1실시 예에 따르는 경우, 상기 스케줄러(418)는 다중 접속될 단말 집합을 결정하고, 상기 단말 집합 정보를 상기 빔성형행렬산출기(420)로 제공한다. 이에 따라, 상기 빔성형행렬산출기(420)는 상기 단말 집합에 포함된 단말들과 상기 협력 전송에 참여하는 기지국들 간의 채널 행렬을 이용하여 빔 성형 행렬을 산출한다. 예를 들어, 상기 빔 성형 행렬은 ZF 빔 성형 행렬이다. 이 경우, 상기 빔성형행렬산출기(420)는 상기 채널 행렬의 역행렬을 산출함으로써, 상기 빔 성형 행렬을 산출한다. 그리고, 상기 빔성형행렬산출기(420)는 상기 빔 성형 행렬 정보를 상기 전력할당기(422)로 제공한다. 이어, 상기 전력할당기(422)는 상기 단말들에 대한 전력 값을 결정한다. 상세히 설명하면, 상기 전력할당기(422)는 상기 단말 집합에 포함되는 각 단말의 최소 전송률을 보장하기 위한 상기 각 단말의 최소 전력 값들, 즉, 최소 전력 집합을 산출하고, 상기 최소 전력 값들을 이용하여 최적의 전력 값들이 존재하는지 판단한다. 즉, 상기 전력할당기(422)는 상기 빔 성형 행렬을 통한 전력 이득을 고려하여 송신 전력 총합을 산출한 후, 상기 송신 전력 총합이 상기 자신의 한계 송신 전력을 초과하는지 여부를 확인한다. 만일, 상기 최적의 전력 값들이 존재하지 않으면, 상기 전력할당기(422)는 이를 상기 스케줄러(418)로 알리고, 상기 스케줄러(418)는 가장 큰 최소 전력 값을 갖는 단말을 제거하거나, 또는, 상기 빔 성형을 통해 가장 큰 전력 이득을 갖는 단말을 제거함으로써 상기 단말 집합을 갱신한다. 이에 따라, 상술한 과정이 반복된다. 반면, 상기 최적의 전력 값들이 존재하면, 상기 전력할당기(422)는 상기 기지국의 한계 송신 전력에 대한 구속 조건을 위한 라그랑지안 승수를 초기화한 후, 상기 <수학식 8>과 같이 각 단말에 할당될 전력 값들을 산출한다. 이때, 상기 전력 값들의 산출은 상기 전력 값들이 수렴될 때까지 반복된다. 매 반복 단계에서, 상기 라그랑지안 승수는 상기 <수학식 9>와 같이 갱신된다. 상기 전력 값들이 수렴하면, 상기 스케줄러(418)는 상기 데이터버퍼(402)에 현재의 단말 집합에 포함된 단말들로의 송신 데이터를 출력하도록 지시하고, 상기 빔성형행렬산출기(420)는 상기 빔성형기(410)로 빔 성형 벡터 또는 빔 성형 행렬을 제공하고, 상기 전력할당기(422)는 상기 전력곱셈기(408)로 전력 값들을 제공한다.

[0132] 본 발명의 제2실시 예에 따르는 경우, 상기 스케줄러(418)는 다중 접속될 단말 집합 및 스트림 집합들을 결정하고, 상기 단말 집합 정보 및 상기 스트림 집합들 정보를 상기 빔성형행렬산출기(420)로 제공한다. 이에 따라, 상기 빔성형행렬산출기(420)는 상기 단말 집합에 포함된 단말들과 상기 협력 전송에 참여하는 기지국들 간의 채널 행렬들을 이용하여 빔 성형 행렬들을 산출한다. 예를 들어, 상기 빔 성형 행렬은 BD 연산을 통해 산출된다. 그리고, 상기 빔성형행렬산출기(420)는 상기 빔 성형 행렬들 정보를 상기 전력할당기(422)로 제공한다. 이어, 상기 전력할당기(422)는 상기 단말들에 대한 스트림별 전력 값들을 결정한다. 상세히 설명하면, 상기 전력할당기(422)는 상기 단말 집합에 포함되는 각 단말의 최소 전송률을 보장하기 위한 상기 각 단말의 스트림별 최소 전력 값들, 즉, 최소 전력 집합을 산출하고, 상기 최소 전력 값들을 이용하여 최적의 전력 값들이 존재하는지 판단한다. 즉, 상기 전력할당기(422)는 상기 빔 성형 행렬들을 통한 전력 이득을 고려하여 상기 최소 전력 값들을 적용한 경우의 송신 전력 총합을 산출한 후, 상기 송신 전력 총합이 상기 자신의 한계 송신 전력을 초과하는지 여부를 확인한다. 만일, 상기 최적의 전력 값들이 존재하지 않으면, 상기 전력할당기(422)는 이를 상기 스케줄러(418)로 알리고, 상기 스케줄러(418)는 상기 <수학식 23>을 통해 선택되는 단말을 제거함으로써 상기 단말

집합을 갱신한다. 이에 따라, 상술한 과정이 반복된다. 반면, 상기 최적의 전력 값들이 존재하면, 상기 전력할당기(422)는 상기 기지국의 한계 송신 전력에 대한 구속 조건, 즉, 상기 <수학식 21>의 첫번째 구속조건을 위한 라그랑지안 승수를 결정한 후, 상기 <수학식 22>와 같이 각 단말에 할당될 전력 값들을 산출한다. 그리고, 상기 전력할당기(422)는 상기 전력 값들이 상기 기지국의 한계 송신 전력에 대한 구속 조건, 즉, 상기 <수학식 22>의 구속 조건을 만족하는지 판단한다. 만일, 상기 구속 조건을 만족하지 않으면, 상기 전력할당기(422)는 이를 상기 스케줄러(418)로 알리고, 상기 스케줄러(418)는 상기 <수학식 23>을 통해 선택되는 단말을 제거함으로써 상기 단말 집합을 갱신한다. 이에 따라, 상술한 과정이 반복된다. 반면, 상기 최적의 전력 값들이 존재하면, 상기 스케줄러(418)는 상기 데이터버퍼(402)에 현재의 단말 집합에 포함된 단말들로의 송신 데이터를 출력하도록 지시하고, 상기 빔성형행렬산출기(420)는 상기 빔성형기(410)로 빔 성형 벡터 또는 빔 성형 행렬을 제공하고, 상기 전력할당기(422)는 상기 전력공배기(408)로 전력 값들을 제공한다.

[0133] 상술한 본 발명의 제2실시 예에 따른 동작 중, 상기 최소 전력 값들의 산출을 위한 상기 전력할당기(422)의 동작은 다음과 같다. 상기 전력할당기(422)는 상기 각 기지국에서 단말의 최소 전송률 보장을 위해 할당해야하는 전력을 조절하며 최적의 최소 전력 값들을 결정한다. 단말 k 를 고려하여 상세히 설명하면, 상기 전력할당기(422)는 상기 <표 2>의 단계0과 같이 상기 각 기지국에서 상기 단말 k 의 최소 전송률 보장을 위해 할당해야하는 전력을 초기화한다. 이어, 상기 전력할당기(422)는 초기화된 각 기지국에서 상기 단말 k 의 최소 전송률 보장을 위해 할당해야하는 전력에 대한 구속 조건을 위한 라그랑지안 승수를 산출한 후, 단계1과 같이 상기 라그랑지안 승수, 상기 빔 성형으로 인한 상기 단말 k 의 스트림별 전력 이득, 상기 단말 k 이 겪는 잡음 전력, 상기 단말 k 의 유효 채널 이득을 이용하여 스트림별 최소 전력 값들을 산출한다. 이후, 상기 전력할당기(422)는 단계2와 같이 상기 최소 전력 값들 상기 단말 k 의 유효 채널 이득, 상기 단말 k 가 겪는 잡음 전력을 이용하여 최적 전송률을 산출한 후, 단계3과 같이 상기 최적 전송률 및 상기 최소 전송률에 따라 상기 단말 k 의 최소 전송률 보장을 위해 할당해야하는 전력의 최소값 및 최대값을 갱신한다. 이때, 상기 최적 전송률 및 상기 최소 전송률 간 차이값이 임계치보다 크거나 같으면, 상기 전력할당기(422)는 상술한 과정의 반복을 통해 상기 최소 전력 값들을 재결정한다.

[0134] 도 5a 내지 도 5c는 본 발명의 실시 예에 따른 분산 MIMO 무선통신 시스템의 성능을 도시하고 있다. 상기 도 5a, 도 5b 및 상기 도 5c는 본 발명의 실시 예에 따른 분산 MIMO 무선통신 시스템에 대한 모의 실험 결과를 도시하고 있다. 상기 모의 실험에서 가정된 통신 환경은 하기 <표 5>와 같다.

표 5

항목	설정값
다중 접속되는 단말들의 개수	3
협력 전송에 참여하는 기지국들의 개수	3
섹터 당 기지국의 송신 안테나 개수	ZF : 1 / BD : 2
단말의 수신 안테나 개수	ZF : 1 / BD : 2
외부 셀 개수	58
기지국 한계 전력	43 [dBm]
열 잡음 전력	-104 [dBm]
감쇄 지수	3.76
기지국들 간 거리	500 [m]
최소 전송률	2 [bps/Hz]

[0136] 상기 도 5a는 단말의 수신 안테나가 하나인 경우, 다양한 단말 집합 관리 기법 적용 시 각 단말의 단위 대역폭 당 데이터 전송률의 누적 분포를 도시하고 있다. 범례에서, 최적 제거(optimal removal)는 단말의 최소 전송률에 대한 구속 조건을 만족시키기 위해 제거되어야 할 최적 단말 집합 제거 기법을 의미한다. 이때, 최적의 단말 집합은 제거될 수 있는 모든 경우의 수를 고려하여 결정되었다. 단말 집합 관리 기법을 적용하지 않고 동일한 전력 할당 시, 50%의 비율로 2[bps/Hz]의 최소 전송률을 만족하지 못하는 단말이 존재한다. 하지만, 단말 집합 관리 기법을 적용하는 경우, 최소 전송률을 만족하지 못하는 단말의 비율이 최대 20%까지 감소함이 확인된다. 특히, 상기 <수학식 11>의 단말 제거 규칙, 즉, 전력 손실이 가장 큰 단말 또는 유효 채널 이득이 가장 작은 단

말을 제거하는 규칙을 적용하는 경우, 시스템 수율 측면에서 최적기법에 근접한 성능을 보임이 확인된다.

[0137] 상기 도 5b는 단말 집합 관리 기법 적용 후 제안된 전력 제어(PC : Power Control) 기법 적용 시 각 단말의 전송률 누적 분포를 도시하고 있다. 전송 불능 확률 성능을 비교하면, 단말을 제거하지 않은 경우의 32% 비율로 최소 전송률을 만족하지 못하지만, 단말 집합 관리 기법이 결합되어 전력제어를 적용하는 경우, 최소 전송률을 만족하지 못하는 단말의 비율이 17%로 감소함이 확인된다.

[0138] 상기 도 5c는 단말과 기지국의 안테나가 2개인 경우, BD 빔 성형을 적용하고 단말 집합 관리 기법 및 전력 제어 기법 적용한 때의 성능 비교를 도시하고 있다. 범례에서, 'BD without removal'은 단말 집합 관리 기법을 적용하지 않고 각 단말의 데이터 스트림들에 대해 동일 전력을 할당한 경우를 의미하고, 'BD-PC without removal'은 시스템 수율 극대화를 위한 전력 제어 기법을 적용한 경우를 의미한다. 단말들의 전송률 누적 분포에서 동일 전력할당 시 12%의 비율로 최소 전송률을 만족하지 못하는 단말이 존재하며, 상기 <수학식 24>와 같은 단말 집합 관리 기법을 적용함으로써 최소 전송률을 만족하지 못하는 단말의 비율이 7% 이내로 감소한다. 앞서 ZF-PC의 경우의 단말 집합 관리 기법에 의한 성능 이득과 같이, BD-PC 단말 그룹 관리 기법은 시스템 수율을 감소시키지 않으면서 전송 불능 확률을 감소시키는 성능 효과를 발생시킨다.

[0139] 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 아니 되며 후술하는 특허청구의 범위뿐만 아니라 이 특허청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면의 간단한 설명

[0140] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 분산 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 무선통신 시스템의 개략적인 구성을 도시하는 도면,

[0141] 도 2는 본 발명의 제1실시 예에 따른 분산 MIMO 무선통신 시스템에서 기지국의 동작 절차를 도시하는 도면,

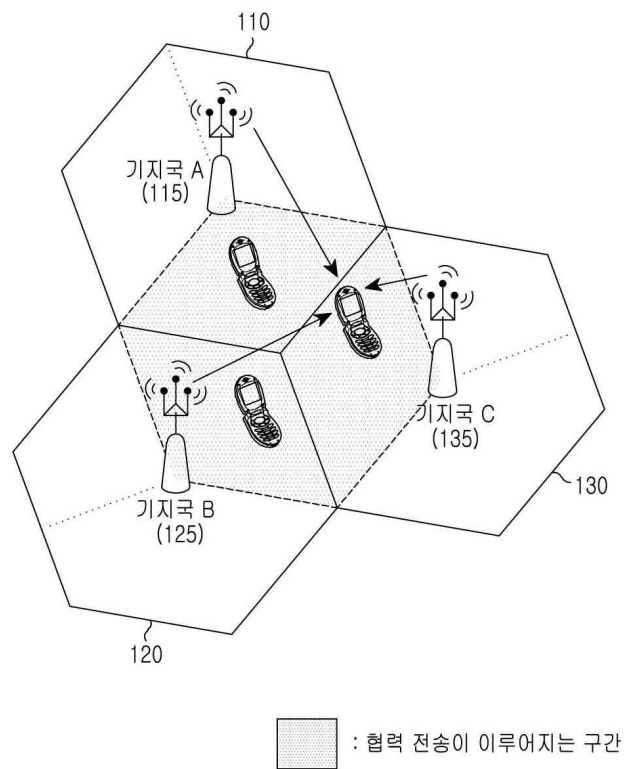
[0142] 도 3은 본 발명의 제2실시 예에 따른 분산 MIMO 무선통신 시스템에서 기지국의 동작 절차를 도시하는 도면,

[0143] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 분산 MIMO 무선통신 시스템에서 기지국의 블록 구성을 도시하는 도면,

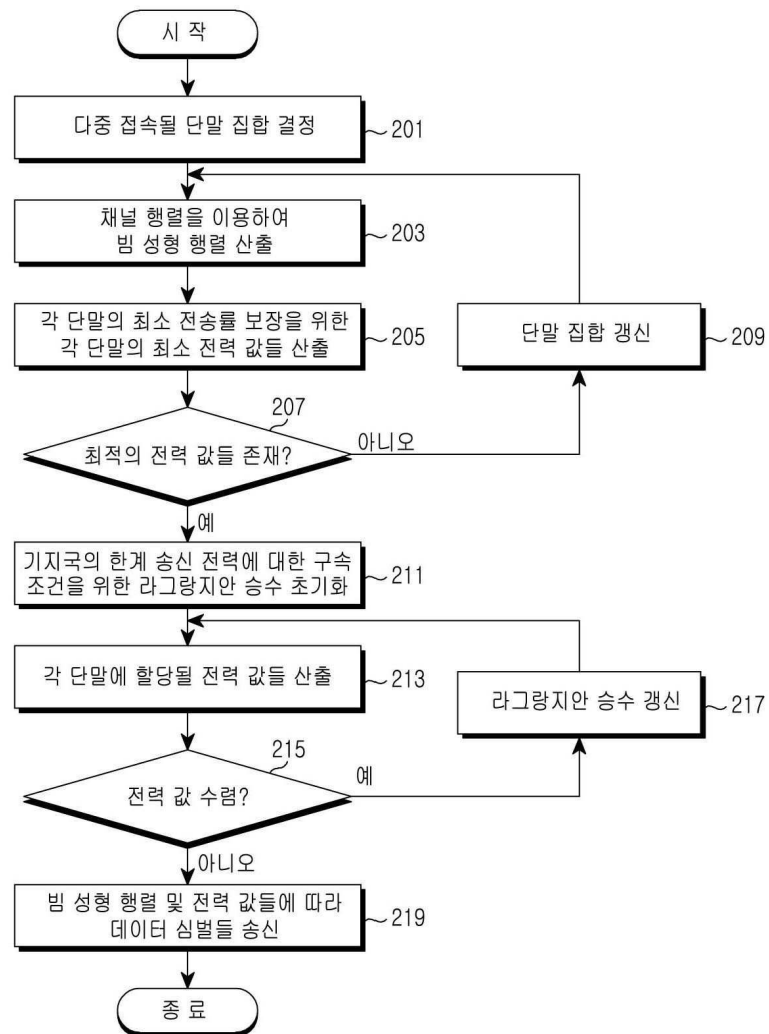
[0144] 도 5a 내지 도 5c는 본 발명의 실시 예에 따른 분산 MIMO 무선통신 시스템의 성능을 도시하는 도면.

도면

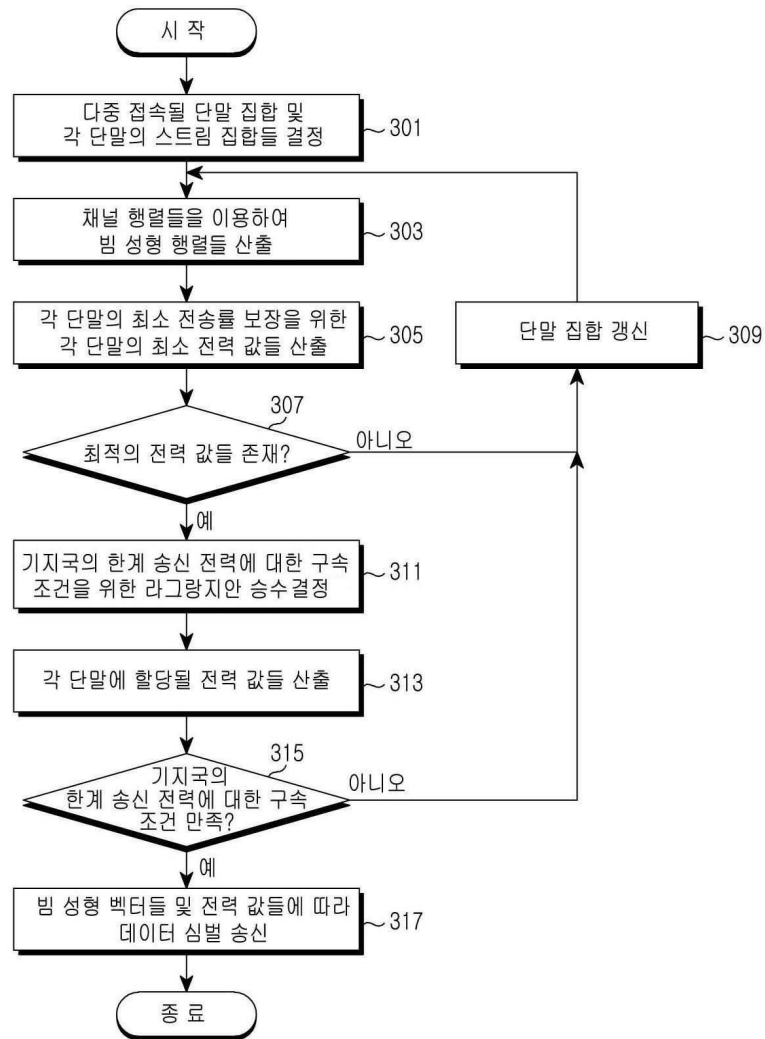
도면1



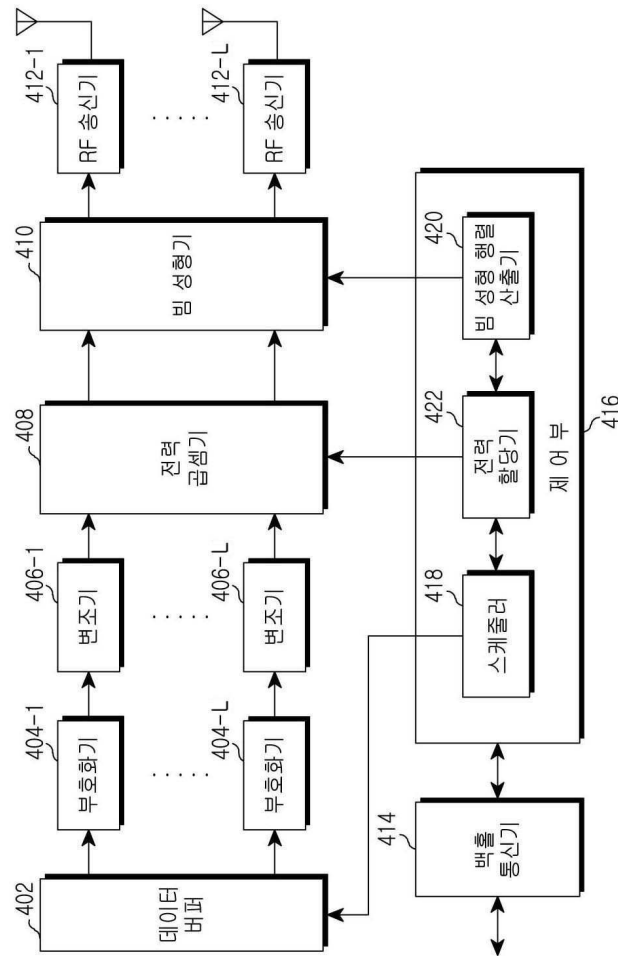
도면2



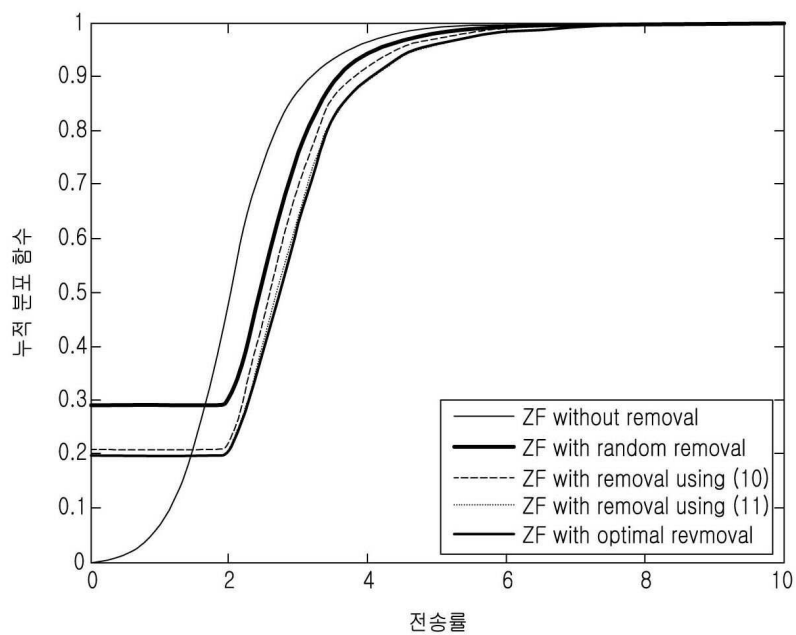
도면3



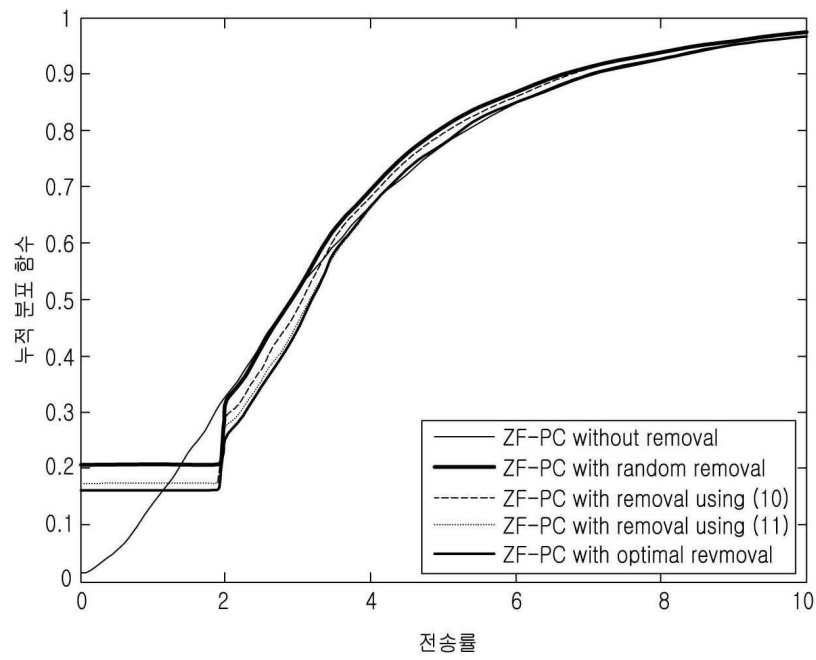
도면4



도면5a



도면5b



도면5c

