(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0083377
(43) 공개일자 2015년07월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/04 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0003033
(22) 출원일자 2014년01월09일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
삼성전자주식회사
경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
이인규
서울특별시 강남구 선릉로 221 (도곡동, 도곡렉슬아파트) 302동 404호
이상림
서울특별시 성북구 종암로25길 30 (종암동, 종암삼성래미안아파트) 108동 502호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
권혁록, 이정순

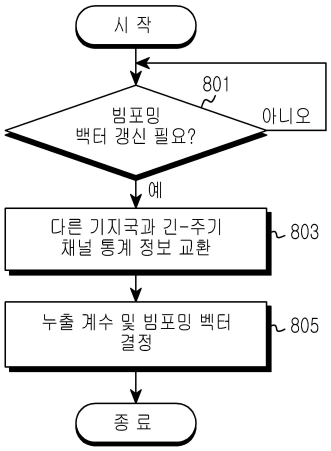
전체 청구항 수 : 총 28 항

(54) 발명의 명칭 **무선 통신 시스템에서 간섭 채널 고려한 빔포밍 장치 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은 무선 통신 시스템에서 빔포밍에 대한 것으로, 기지국의 동작은, 다수의 시점에서 수집된 순시적(instantaneous) 채널 파라미터들로부터 결정되는 긴-주기(long-term) 채널 정보의 변화량이 임계치를 초과하면, 단말로의 송신 신호가 적어도 하나의 다른 단말에게 간섭으로 작용하는 비율을 나타내는 누출 계수(leakage coefficient)를 갱신하는 과정과, 상기 누출 계수에 기초하여 빔포밍 벡터를 결정하는 과정과, 상기 빔포밍 벡터로 빔포밍된 신호를 송신하는 과정을 포함한다. 또한, 본 발명은 상술한 실시 예와 다른 실시 예들도 포함한다.

대 표 도 - 도8



(72) 발명자

박해욱

서울특별시 중구 동호로10길 30 (신당동, 약수하이츠아파트) 110동 1002호

공한배

서울특별시 강남구 언주로30길 56 (도곡동, 타워팰리스) D동 1805호

명 세 서

청구범위

청구항 1

무선 통신 시스템에서 기지국의 동작 방법에 있어서,

다수의 시점에서 수집된 순시적(instantaneous) 채널 파라미터들로부터 결정되는 긴-주기(long-term) 채널 정보의 변화량이 임계치를 초과하면, 단말로의 송신 신호가 적어도 하나의 다른 단말에게 간섭으로 작용하는 비율을 나타내는 누출 계수(leakage coefficient)를 갱신하는 과정과,

상기 누출 계수에 기초하여 빔포밍 벡터를 결정하는 과정과,

상기 빔포밍 벡터로 빔포밍된 신호를 송신하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 긴-주기 채널 정보는, SNR(Signal to Noise Ratio) 및 채널 공분산(channel covariance) 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 단말로부터 피드백되는 순시적 채널 정보에 기초하여 상기 긴-주기 채널 정보를 결정하는 과정과,

제1시간 구간에서 결정된 긴 주기 채널 정보 및 제2시간 구간에서 결정된 긴 주기 채널 정보를 비교함으로써 상기 변화량이 임계치를 초과하는지 여부를 판단하는 과정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 단말로부터 수신되는 신호를 이용하여 순시적 채널 정보를 측정하는 과정과,

순시적 채널 정보에 기초하여 상기 긴-주기 채널 정보를 결정하는 과정과,

제1시간 구간에서 결정된 긴 주기 채널 정보 및 제2시간 구간에서 결정된 긴 주기 채널 정보를 비교함으로써 상기 변화량이 임계치를 초과하는지 여부를 판단하는 과정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 단말로부터 상기 긴-주기 채널 정보가 피드백되면, 상기 변화량이 임계치를 초과함을 판단하는 과정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 누출 계수를 갱신하는 과정은,

적어도 하나의 다른 기지국으로 상기 단말에 대한 긴-주기 채널 정보를 송신하는 과정과,

상기 적어도 하나의 다른 기지국으로부터 상기 적어도 하나의 다른 기지국에 접속한 단말에 대한 긴-주기 채널 정보를 수신하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 누출 계수를 갱신하는 과정은,

상기 긴-주기 채널 정보에 기초하여 결정되는 의도한 신호(desired signal)의 전력, 전력 정규화 항(power normalization term), 누출 간섭(leakage interferece)의 전력에 기초하여 상기 누출 계수를 결정하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 누출 계수를 갱신하는 과정은,

불규칙 행렬 이론에 기초한 상기 누출 계수의 결정적 등가물을 결정하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 누출 계수를 갱신하는 과정은,

상기 긴-주기 채널 정보, 안테나 개수, 단말 개수에 기초하여 상기 누출 계수를 결정하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 누출 계수를 갱신하는 과정은,

긴-주기 채널 정보에 따른 누출 계수를 정의한 테이블에서 상기 긴-주기 채널 정보에 대응하는 누출 계수를 선택하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

무선 통신 시스템에서 단말의 동작 방법에 있어서,

다수의 시점에서 수집된 순시적(instantaneous) 채널 파라미터들로부터 긴-주기(long-term) 채널 정보를 결정하는 과정과,

상기 긴-주기 채널 정보의 변화량이 임계치를 초과하면, 상기 긴-주기 채널 정보를 기지국으로 송신하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 긴-주기 채널 정보는, SNR(Signal to Noise Ratio) 및 채널 공분산(channel covariance) 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 기지국으로부터 상기 임계치를 수신하는 과정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 14

제11항에 있어서,

상기 기지국으로부터 신호를 수신하는 과정을 더 포함하며,

상기 신호는, 상기 긴-주기 채널 정보에 기초하여 결정되는 누출 계수(leakage coefficient)에 기초하여 결정된 빔포밍 벡터로 프리코딩(precoding)된 신호를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 15

무선 통신 시스템에서 기지국 장치에 있어서,

다수의 시점에서 수집된 순시적(instantaneous) 채널 파라미터들로부터 결정되는 긴-주기(long-term) 채널 정보의 변화량이 임계치를 초과하면, 단말로의 송신 신호가 적어도 하나의 다른 단말에게 간섭으로 작용하는 비율을 나타내는 누출 계수(leakage coefficient)를 갱신하고, 상기 누출 계수에 기초하여 빔포밍 벡터를 결정하는 제어부와,

상기 빔포밍 벡터로 빔포밍된 신호를 송신하는 송신부를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 긴-주기 채널 정보는, SNR(Signal to Noise Ratio) 및 채널 공분산(channel covariance) 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 17

제15항에 있어서,

상기 제어부는, 상기 단말로부터 피드백되는 순시적 채널 정보에 기초하여 상기 긴-주기 채널 정보를 결정하고, 제1시간 구간에서 결정된 긴 주기 채널 정보 및 제2시간 구간에서 결정된 긴 주기 채널 정보를 비교함으로써 상기 변화량이 임계치를 초과하는지 여부를 판단하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 18

제15항에 있어서,

상기 제어부는, 기 단말로부터 수신되는 신호를 이용하여 순시적 채널 정보를 측정하고, 순시적 채널 정보에 기

초하여 상기 긴-주기 채널 정보를 결정하고, 제1시간 구간에서 결정된 긴 주기 채널 정보 및 제2시간 구간에서 결정된 긴 주기 채널 정보를 비교함으로써 상기 변화량이 임계치를 초과하는지 여부를 판단하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 19

제15항에 있어서,

상기 제어부는, 상기 단말로부터 상기 긴-주기 채널 정보가 피드백되면, 상기 변화량이 임계치를 초과함을 판단하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 20

제15항에 있어서,

적어도 하나의 다른 기지국으로 상기 단말에 대한 긴-주기 채널 정보를 송신하고, 상기 적어도 하나의 다른 기지국으로부터 상기 적어도 하나의 다른 기지국에 접속한 단말에 대한 긴-주기 채널 정보를 수신하는 백홀 통신부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 21

제15항에 있어서,

상기 제어부는, 상기 긴-주기 채널 정보에 기초하여 결정되는 의도한 신호(desired signal)의 전력, 전력 정규화 항(power normalization term), 누출 간섭(leakage interferece)의 전력에 기초하여 상기 누출 계수를 결정하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 22

제15항에 있어서,

상기 제어부는, 불규칙 행렬 이론에 기초한 상기 누출 계수의 결정적 등가물을 결정하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 23

제15항에 있어서,

상기 제어부는, 상기 긴-주기 채널 정보, 안테나 개수, 단말 개수에 기초하여 상기 누출 계수를 결정하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 24

제15항에 있어서,

상기 제어부는, 긴-주기 채널 정보에 따른 누출 계수를 정의한 테이블에서 상기 긴-주기 채널 정보에 대응하는 누출 계수를 선택하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 25

무선 통신 시스템에서 단말 장치에 있어서,

다수의 시점에서 수집된 순시적(instantaneous) 채널 파라미터들로부터 긴-주기(long-term) 채널 정보를 결정하는 제어부와,

상기 긴-주기 채널 정보의 변화량이 임계치를 초과하면, 상기 긴-주기 채널 정보를 기지국으로 송신하는 통신부를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 26

제25항에 있어서,

상기 긴-주기 채널 정보는, SNR(Signal to Noise Ratio) 및 채널 공분산(channel covariance) 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 27

제25항에 있어서,

상기 통신부는, 상기 기지국으로부터 상기 임계치를 수신하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 28

제25항에 있어서,

상기 통신부는, 상기 기지국으로부터 신호를 수신하며,

상기 신호는, 상기 긴-주기 채널 정보에 기초하여 결정되는 누출 계수(leakage coefficient)에 기초하여 결정된 빔포밍 벡터로 프리코딩(precoding)된 신호를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 무선 통신 시스템에서 빔포밍(beamforming)에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 다중 안테나 기법은 주파수 자원의 증가 없이 시스템 수율(throughput)을 증가시키는 차세대 이동통신의 핵심 기술로 주목되고 있다. 대용량 데이터 서비스를 다수의 정지 및 이동하는 사용자들에게 끊김 없이 제공하기 위해, 기지국, 단말, 중계국(relay), 펨토(femto)-기지국 등의 망(network) 구성 요소들이 서로 협업하는 다중 노드 협업 기술이 최근 활발히 연구되고 있다.

[0003] 다중 셀 다중 안테나 시스템에서 시스템의 전체 전송율을 증가시키기 위하여, 다른 셀로부터의 간섭을 조정함으로써 상기 간섭이 시스템에 미치는 영향을 줄이는 것이 요구된다. 이를 위해 다양한 시스템들이 개발되어 왔고, 그 중 하나로서, CB(Coordinated Beamforming) 시스템이 제시된 바 있다. 상기 CB 시스템은 다중 셀 협력 통신 기법의 하나로서 논의된다. 상기 다중 셀 협력 통신은 'CoMP(Coordinated Multiple Point transmission/reception)'로 불리기도 한다. 상기 다중 셀 협력 통신은 각 기지국의 협력 정도에 따라서 상기 CB 또는 상기 JP(Joint Processing)로 구분될 수 있다. 상기 JP는 기지국들 사이에 데이터 공유가 이루어지며, 데이터와 채널 정보를 함께 공유하여 협력 전송하는 기법이고, 상기 CB는 셀 간 데이터 공유를 필요로 하지 아니하고, 채널 정보 공유를 통한 협력 전송 기법을 의미한다.

[0004] 다수의 연구들을 통해, 상기 CB 시스템에서 V-SINR(Virtual-Signal to Interference-plus-Noise Ratio)의 다른 셀의 사용자로 가는 누출(leakage) 성분을 적절히 조절함으로써 파레토 최적(Pareto optimal)이 달성됨이 밝혀진 바 있다. 글로벌(global) 채널 정보를 이용하며, 높은 복잡도를 요구하는 다항 블록 근사(poly block

approximation) 및 전송률 프로파일(rate profile) 기술 기반의 가중치 합 전송률 최적화(weighted sum rate maximization) 기반의 빔포밍 기법이 제안된 바 있다. 또한, 상기 VSINR의 누출 계수(leakage coefficient)를 반복적으로 최적화하는 방안도 제안된 바 있다. 여기서, 상기 누출 계수 계산은 매 채널 인지(channel realization)마다 수행해야 하므로, 계산 복잡도가 다소 높다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 일 실시 예는 무선 통신 시스템에서 빔포밍(beamforming)을 수행하기 위한 장치 및 방법을 제공한다.

[0006] 본 발명의 다른 실시 예는 무선 통신 시스템에서 셀 간 간섭(inter-cell interference)을 완화하기 위한 장치 및 방법을 제공한다.

[0007] 본 발명의 또 다른 실시 예는 무선 통신 시스템에서 빔포밍 벡터(beamforming) 결정의 계산 복잡도를 감소시키기 위한 장치 및 방법을 제공한다.

[0008] 본 발명의 또 다른 실시 예는 무선 통신 시스템에서 빔포밍 벡터 결정을 위해 사용되는 누출 계수(leakage coefficient)를 결정하기 위한 장치 및 방법을 제공한다.

[0009] 본 발명의 또 다른 실시 예는 무선 통신 시스템에서 긴-주기(long-term) 채널 정보에 기초하여 누출 계수를 결정하기 위한 장치 및 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 기지국의 동작 방법은, 다수의 시점에서 수집된 순시적(instantaneous) 채널 파라미터들로부터 결정되는 긴-주기(long-term) 채널 정보의 변화량이 임계치를 초과하면, 단말로의 송신 신호가 적어도 하나의 다른 단말에게 간섭으로 작용하는 비율을 나타내는 누출 계수(leakage coefficient)를 갱신하는 과정과, 상기 누출 계수에 기초하여 빔포밍 벡터를 결정하는 과정과, 상기 빔포밍 벡터로 빔포밍된 신호를 송신하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0011] 본 발명의 다른 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 단말의 동작 방법은, 다수의 시점에서 수집된 순시적 채널 파라미터들로부터 긴-주기(long-term) 채널 정보를 결정하는 과정과, 상기 긴-주기 채널 정보의 변화량이 임계치를 초과하면, 상기 긴-주기 채널 정보를 기지국으로 송신하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0012] 본 발명의 또 다른 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 기지국 장치는, 다수의 시점에서 수집된 순시적 채널 파라미터들로부터 결정되는 긴-주기 채널 정보의 변화량이 임계치를 초과하면, 단말로의 송신 신호가 적어도 하나의 다른 단말에게 간섭으로 작용하는 비율을 나타내는 누출 계수를 갱신하고, 상기 누출 계수에 기초하여 빔포밍 벡터를 결정하는 제어부와, 상기 빔포밍 벡터로 빔포밍된 신호를 송신하는 송신부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 본 발명의 또 다른 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 단말 장치는, 다수의 시점에서 수집된 순시적 채널 파라미터들로부터 긴-주기 채널 정보를 결정하는 제어부와, 상기 긴-주기 채널 정보의 변화량이 임계치를 초과하면, 상기 긴-주기 채널 정보를 기지국으로 송신하는 통신부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0014] 무선 통신 시스템에서 불규칙 확률 이론에 기반하여 누출 계수(leakage coefficient)를 채널 통계(channel statistic) 또는 SNR(Signal-to-Noise Ratio)이 변화할 때만 수행함으로써, 낮은 계산 복잡도로 효율적인 빔포밍이 가능하다. 또한, 본 발명에서 제시하는 기법은, 셀 당 단일 사용자가 아닌 셀 당 다수의 사용자들이 존재하는 시스템으로 확장이 가능하므로, 높은 활용도를 가진다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 간섭 발생 환경의 일 예를 도시한다.

도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 간섭 발생 환경의 다른 예를 도시한다.

도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 간섭 발생 환경의 또 다른 예를 도시한다.

도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 기지국들 및 단말들을 도시한다.

도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 기지국의 동작 절차를 도시한다.

도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 단말의 동작 절차를 도시한다.

도 7은 본 발명의 다른 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 단말의 동작 절차를 도시한다.

도 8은 본 발명의 다른 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 기지국의 동작 절차를 도시한다.

도 9는 본 발명의 또 다른 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 단말의 동작 절차를 도시한다.

도 10은 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 기지국의 블록 구성을 도시한다.

도 11은 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 단말의 블록 구성을 도시한다.

도 12 내지 도 14는 본 발명의 실시 예에 따른 빔포밍 기법의 성능을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 동작 원리를 상세히 설명한다. 하기에서 본 발명을 설명에 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] 이하 본 발명은 무선 통신 시스템에서 간섭 채널을 고려한 빔포밍(beamforming)을 위한 기술에 대해 설명한다.

[0018] 이하 설명에서 사용되는 빔포밍 벡터를 결정하기 위해 사용되는 파라미터들을 지시하는 용어, 망 객체(network entity)들을 지시하는 용어 등은 설명의 편의를 위한 것이다. 따라서, 본 발명이 후술되는 용어들에 한정되는 것은 아니며, 동등한 기술적 의미를 가지는 대상을 지칭하는 다른 용어가 사용될 수 있다.

[0019] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 간섭 발생 환경의 일 예를 도시한다. 상기 도 1은 3개의 기지국들(110-1 내지 110-3) 및 3개의 단말들(120-1 내지 120-3)이 통신을 수행하는 경우를 예시한다.

[0020] 상기 도 1을 참고하면, 기지국A(110-1)가 단말A(120-1)로, 기지국B(110-2)가 단말B(120-2)로, 기지국C(110-3)이 단말C(120-C)로 신호를 송신한다. 상기 단말들(120-1 내지 120-3)이 모두 셀 경계에 위치하므로, 상기 단말들(120-1 내지 120-3)은 서빙(serving) 기지국 외 다른 기지국들로부터의 신호도 수신할 수 있다. 즉, 상기 기지국A(110-1)의 신호는 상기 단말A(120-1)에게 의도한(desired) 신호로, 상기 단말B(120-2) 및 상기 단말C(120-3)에게 간섭 신호로 작용한다. 유사하게, 상기 기지국B(110-2)의 신호는 상기 단말B(120-2)에게 의도한 신호로, 상기 단말A(120-1) 및 상기 단말C(120-3)에게 간섭 신호로 작용한다. 또한, 상기 기지국C(110-3)의 신호는 상기 단말C(120-3)에게 의도한 신호로, 상기 단말A(120-1) 및 상기 단말B(120-2)에게 간섭 신호로 작용한다.

[0021] 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 간섭 발생 환경의 다른 예를 도시한다. 상기 도 2는 2개의 기지국들(210-1 및 210-2) 및 4개의 단말들(220-1 내지 220-4)이 통신을 수행하는 환경을 예시한다.

[0022] 상기 도 2를 참고하면, 기지국A(210-1)가 단말A(220-1) 및 단말B(220-2)로, 기지국B(210-2)가 단말C(220-3) 및 단말D(220-4)로 신호를 송신한다. 즉, 상기 도 1의 예와 달리, 상기 기지국A(210-1) 및 상기 기지국B(210-2)은 동일 자원을 통해 서로 다른 단말들로 서로 다른 데이터를 송신할 수 있다. 이때, 상기 단말들(220-1 내지 220-4)은 서빙 기지국 외 다른 기지국들로부터의 신호도 수신할 수 있다. 이에 따라, 상기 기지국A(210-1)의 신호는 상기 단말A(220-1) 및 상기 단말B(220-2)에게 의도한 신호로, 상기 단말C(220-3) 및 상기 단말D(220-4)에게 간섭 신호로 작용한다. 유사하게, 상기 기지국B(210-2)의 신호는 상기 단말C(220-3) 및 상기 단말D(220-4)에게 의도한 신호로, 상기 단말A(220-1) 및 상기 단말B(220-2)에게 간섭 신호로 작용한다.

[0023] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 간섭 발생 환경의 또 다른 예를 도시한다. 상기 도 3은 애드-혹(ad-hoc) 망(network) 환경을 예시한다. 상기 애드-혹 망은 개별적으로 존재하는 무선 통신 가능한 노드(node)들 간 서로 통신을 수행하는 자율적인 구조의 망을 의미한다.

[0024] 상기 도 3을 참고하면, 단말(301)을 비롯한 다수의 노드들(301 내지 309)이 상기 애드-혹 망을 구성한다. 상기 애드-혹 망은 자율적으로 구성되므로, 다양한 형태의 간섭 신호가 발생할 수 있다. 이에 따라, 상기 다수의 노드들(301 내지 309) 중 신호를 송신하는 노드는 이하 설명할 실시 예들에 따라 빔포밍을 수행함으로써 간섭을 완화할 수 있다.

[0025] 본 발명의 다양한 실시 예들은 간섭이 존재하는 환경에서 효율적인 빔포밍 기법을 제시한다. 본 발명에서 고려하는 시스템은 상기 도 1과 같이 특정 자원 내에서 한 명의 사용자로 신호를 송신할 수 있으며, 상기 도 2와 같이 특정 자원 내에서 다수의 사용자들로 신호를 송신할 수 있다. 본 발명의 실시 예들은 다수의 기지국이 협력 없이 효율적인 빔포밍을 진행할 수 있는 장점을 가지며, 효과적으로 전체 시스템 수율(throughput)을 증대시킬 수 있다. 나아가, 본 발명은, 간섭이 존재하는 무선 통신 환경인 셀룰러 시스템, 애드-혹 망 등에 용이하게 적용 가능하며, 차세대 무선 통신인 5G 또는 4G 이상(Beyond 4G)의 시스템에도 적용될 수 있다.

[0026] 본 발명의 실시 예는 간섭 채널 상황에서 각 기지국이 로컬(local) CSI(Channel State Information)을 이용하여 빔포밍 벡터를 계산하는 방안을 제안한다. 종래의 기법들과는 다르게, 본 발명의 실시 예에 따른 알고리즘은 긴-주기(long-term) 채널 통계(statistic) 정보를 이용하므로, 상대적으로 낮은 계산 복잡도를 가진다. 여기서, 상기 긴-주기 채널 통계는 SNR(Signal to Noise Ratio), 채널 상관(channel correlation), 경로 손실(path loss) 등과 같이 순시(instantaneous) 채널 정보 등으로 대표되는 짧은 주기(short-term) 통계에 비하여, 상대적으로 느리게 변하는 채널 관련 파라미터를 의미한다.

[0027] 이하, 본 발명은 상기 도 1과 같은 다중 안테나를 갖는 다수의 기지국들이 다수의 단말들을 서비스하는 IFC(Interference Channel) 환경을 고려한 실시 예를 설명한다. 이 경우, 기지국들 및 단말들은 하기 도 4와 같이 모델링(modeling)될 수 있다.

[0028] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 기지국들 및 단말들을 도시한다. 상기 도 4를 참고하면, M개의 기지국들(410-1 내지 410-M)이 M개의 단말들(420-1 내지 420-M)로 신호를 송신한다. 상기 M개의 기지국들(410-1 내지 410-M) 각각은 송신 데이터 S_1 내지 S_M 각각을 빔포밍 벡터 V_1 내지 V_M 각각을 이용하여 빔포밍을 수행한다.

[0029] 상기 도 4와 같은 경우, 단말-m은 기지국-m으로부터 의도한 신호를 수신하며, 다른 기지국으로부터 수신되는 신호는 모두 간섭으로 작용한다. 상기 단말-m이 수신하는 신호는 하기 <수학식 1>과 같이 표현될 수 있다.

수학식 1

[0030]
$$y_m = \mathbf{h}_{m,m}^{\mathsf{H}} \mathbf{v}_m s_m + \sum_{j=1, j\neq m}^{M} \mathbf{h}_{m,j}^{\mathsf{H}} \mathbf{v}_j s_j + n_m$$

[0031] 상기 <수학식 1>에서, 상기 y_m은 단말-m의 수신 신호, 상기 $h_{m,m}$은 기지국-m 및 단말-m간 채널 벡터, 상기 v_m은 단말-m을 위한 빔포밍 벡터, 상기 s_m은 단말-m의 데이터, 상기 M은 기지국의 개수, 상기 $h_{m,j}$는 기지국-j 및 단말-m간 채널 벡터, 상기 v_j은 단말-j를 위한 빔포밍 벡터, 상기 n_m은 단말-m에 수신되는 잡음을 의미한다. 상기 <수학식 1>에서, 상기 $h_{m,m}^{H} v_m s_m$ 및 상기 s_m 이외의 성분은 단말-m에게 셀 간 간섭(inter-cell interference)으로 작용한다.

[0032] 상기 단말-m의 SINR(Signal to Interference and Noise Ratio)는 하기 <수학식 4>와 같이 결정될 수 있다.

수학식 2

[0033] $$\gamma_m(\{\mathbf{v}_l\}) = \frac{|\mathbf{h}_{m,m}^{\mathrm{H}}\mathbf{v}_m|^2}{N_0 + \sum_{j=1,j\neq m}^{M}|\mathbf{h}_{m,j}^{\mathrm{H}}\mathbf{v}_j|^2}$$

[0034] 상기 <수학식 2>에서, 상기 $\gamma_m(\{\mathbf{v}_l\})$는 단말-m의 SINR, 상기 $\mathbf{h}_{m,m}$는 기지국-m 및 단말-m간 채널 벡터, 상기 $\mathbf{v}_m$은 단말-m을 위한 빔포밍 벡터, 상기 N_0는 잡음 분산, 상기 $\mathbf{h}_{m,j}$는 기지국-j 및 단말-m간 채널 벡터, 상기 $\mathbf{v}_j$은 단말-j를 위한 빔포밍 벡터, 상기 M은 기지국의 개수를 의미한다.

[0035] 따라서, 가중치-합 전송률(WSR: Weighted Sum Rate)을 최대화하는 빔포밍 벡터를 계산하는 문제는 하기 <수학식 3>과 같이 표현될 수 있다.

수학식 3

[0036] $$\max_{\{\mathbf{v}_l\}} \quad \sum_{m=1}^{M} w_m R_m(\{\mathbf{v}_l\})$$
$$\text{s.t.} \quad \|\mathbf{v}_l\|^2 \leq 1 \quad \forall l \rightarrow \|\mathbf{v}_l\|^2 = 1$$

[0037] 상기 <수학식 3>에서, 상기 $\mathbf{v}_l$은 빔포밍 벡터, 상기 M은 기지국의 개수, 상기 w_m은 단말-m을 위한 가중치(weight) 항(term), 상기 $R_m(\{\mathbf{v}_l\})$은 빔포밍 벡터 $\mathbf{v}_l$을 사용한 경우 단말-m의 성취 가능한 전송률(achievable rate)을 의미한다. 상기 가중치 w_m는 양수로서, 단말-m의 QoS(Quality of Service)를 만족시키기 위해 결정되며, 상기 단말-m의 QoS 및 스케줄링 기법에 의하여 결정될 수 있다. $N>M$인 경우, 다시 말해, 기지국의 안테나 개수가 기지국의 개수보다 큰 경우, 최적(optimality) 손해 없이 $||\mathbf{v}_l||^2=1$로 결정된다.

[0038] 상기 <수학식 3>과 같은 문제의 해(solution)를 결정하기 위해, 논문 「R. Zhang and S. Cui, "Cooperative interference management with MISO beamforming", IEEE Transactions on Signal Processing, Oct. 2010」에서, 누출 계수(leakage coefficient)를 이용하여 상기 문제의 파레토-최적화(Pareto-optimal)을 달성하는 빔포밍 벡터를 하기 <수학식 4>와 같이 결정하는 방안이 제시된 바 있다.

수학식 4

[0039] $$\mathbf{v}_m = \frac{\left(N_0\mathbf{I}_N + \sum_{j=1,j\neq m}^{M}\alpha_{j,m}\mathbf{h}_{j,m}\mathbf{h}_{j,m}^{\mathrm{H}}\right)^{-1}\mathbf{h}_{m,m}}{\left\|\left(N_0\mathbf{I}_N + \sum_{j=1,j\neq m}^{M}\alpha_{j,m}\mathbf{h}_{j,m}\mathbf{h}_{j,m}^{\mathrm{H}}\right)^{-1}\mathbf{h}_{m,m}\right\|} \triangleq \frac{\bar{\mathbf{v}}_m}{\|\bar{\mathbf{v}}_m\|}$$

[0040] 상기 <수학식 4>에서, 상기 $\mathbf{v}_m$은 단말-m을 위한 빔포밍 벡터, 상기 N_0는 잡음 분산, 상기 I_N은 크기 N의 단위 행렬, 상기 $\alpha_{j,m}$은 기지국-m에서 단말-j로의 신호에 대한 누출 계수, 상기 $\mathbf{h}_{j,m}$는 기지국-m 및 단말-j 간 채널 벡터, 상기 $\bar{\mathbf{v}}_m$은 정규화(normalization) 전의 단말-m을 위한 빔포밍 벡터를 의미한다.

[0041] 또한, 논문 「S.-H. Park, H. Park, H. Kong, and I. Lee, "New beamforming techniques based on virtual SINR maximization for coordinated multi-cell transmission," IEEE Transactions on Wireless

Communications, Mar. 2012.」에서, 상기 가중치-합 전송률 및 VSINR(virtual SINR)의 관계를 이용하여 상기 누출 계수를 결정하는 방안이 제시된 바 있다. 상기 VSINR은 특정 수신단으로의 신호 및 상기 신호가 다른 수신단으로 영향을 주는 간섭의 비율을 의미한다, 상기 VSINR은 하기 <수학식 5>와 같이 정의될 수 있다.

수학식 5

[0042] $$\mathrm{VSINR}_m = \frac{|\mathbf{h}_{m,m}^{\mathrm{H}}\mathbf{v}_m|^2}{N_0 + \sum_{j\neq m}\alpha_{j,m}|\mathbf{h}_{j,m}^{\mathrm{H}}\mathbf{v}_m|^2}$$

[0043] 상기 <수학식 5>에서, 상기 $VSINR_m$은 단말-m에 대한 VSINR, 상기 $h_{m,m}$는 기지국-m 및 단말-m간 채널 벡터, 상기 v_m은 단말-m을 위한 빔포밍 벡터, 상기 N_0는 잡음 분산, 상기 $\alpha_{j,m}$은 기지국-m에서 단말-j로의 신호에 대한 누출 계수, 상기 $h_{j,m}$는 기지국-m 및 단말-j간 채널 벡터를 의미한다. 상기 누출 계수는 단말-m으로의 신호가 다른 단말에게 간섭으로 작용하는 양적 비율을 의미한다.

수학식 6

[0044] $$\alpha_{j,k} = \frac{N_0}{\beta_j\left(\frac{I_k}{\beta_k} - \sum_{i=1,i\neq k}^{M}\frac{|\mathbf{h}_{i,k}^{\mathrm{H}}\bar{\mathbf{v}}_k|^2}{\beta_i\|\bar{\mathbf{v}}_k\|^2}\right)}$$

$$I_k = N_0 + \sum_{j=1,j\neq k}^{M}\frac{|\mathbf{h}_{k,j}^{\mathrm{H}}\bar{\mathbf{v}}_j|^2}{\|\bar{\mathbf{v}}_j\|^2}$$

$$\beta_k = \frac{I_k(I_k+D_k)}{w_k D_k}$$

$$D_k = \frac{|\mathbf{h}_{k,k}^{\mathrm{H}}\bar{\mathbf{v}}_k|^2}{\|\bar{\mathbf{v}}_k\|^2}$$

[0045] 상기 <수학식 6>에서, 상기 $\alpha_{j,k}$는 기지국-k에서 단말-j로의 신호에 대한 누출 계수, 상기 N_0는 잡음 분산, 상기 M은 기지국의 개수, 상기 $h_{i,k}$는 기지국-k 및 단말-i 간 채널 벡터, 상기 $\bar{v}_k$는 정규화 전의 단말-k를 위한 빔포밍 벡터, 상기 w_k는 단말-k를 위한 가중치를 의미한다. 상기 β_j는 및 상기 I_k는 순시적(instantaneous) CSI(Channel State Information)에 의해 결정된다.

[0046] 상기 <수학식 4> 및 상기 <수학식 6>에 나타난 방식은 채널이 변경될 때마다 누출 계수를 재결정해야 하므로, 상대적으로 높은 알고리즘 복잡도를 가진다. 따라서, 본 발명의 실시 예는 불규칙 행렬 이론을 이용하여 누출 계수를 계산하는 새로운 기법을 제시한다.

[0047] 불규칙 행렬 이론의 결과를 이용하면, M/N의 비율, 다시 말해, 기지국의 개수 대 기지국의 안테나 개수의 비율이 고정되어있는 상황에서, 상기 안테나 개수가 무한히 커지면, 상기 누출 계수는 하기 <수학식 7>과 같은 결정적 등가물(deterministic equivalent)에 거의 확실하게(almost surely) 수렴할 수 있다.

수학식 7

$$\alpha_{j,k}^{\circ} = \frac{N_0}{\beta_j^{\circ}\left(\frac{I_k^{\circ}}{\beta_k^{\circ}} - \sum_{i=1, i\neq k}^{M} \frac{\Upsilon_{ik}^{\circ}}{\beta_i^{\circ}\Psi_k^{\circ}}\right)} \qquad \text{for } j \in \mathcal{M}\backslash\{k\}$$

$$\beta_k^{\circ} = \frac{I_k^{\circ}(I_k^{\circ} + D_k^{\circ})}{w_k D_k^{\circ}},\ I_k^{\circ} = N_0 + \sum_{j=1, j\neq k}^{M} \frac{\Upsilon_{kj}^{\circ}}{\Psi_j^{\circ}},\ D_k^{\circ} = \frac{(m_k^{\circ})^2}{\Psi_k^{\circ}}$$

[0048]

[0049] 상기 <수학식 7>에서, 상기 $\alpha_{j,k}^{\circ}$는 누출 계수의 결정적 등가물, 상기 N_0는 잡음 분산, 상기 M은 기지국의 개수, 상기 Υ_{ik}°는 누출 간섭(leakage interference)의 전력, 상기 Ψ_k°는 전력 정규화 항(power normalization term), 상기 w_k는 단말-k를 위한 가중치, 상기 m_k°는 단말-k에 대한 의도한 신호 전력을 의미한다.

[0050] 상기 의도한 신호의 전력 m_k° 및 전력 정규화 항 Ψ_k°은 하기 <수학식 8>과 같이 얻어질 수 있다.

수학식 8

$$m_k^{\circ} = \frac{1}{N}\mathrm{tr}\,\mathbf{T}\left(\mathrm{L}_k, \frac{N_0}{N}\right),\ \Psi_k^{\circ} = \frac{1}{N}\mathrm{tr}\,\mathbf{T}'\left(\mathrm{L}_k, \frac{N_0}{N}\right)$$

[0051]

[0052] 상기 <수학식 8>에서, 상기 m_k°는 단말-k에 대한 의도한 신호 전력, 상기 N은 기지국의 안테나 개수, 상기 L_k는 누출 계수들의 집합, 상기 N_0는 잡음 분산, 상기 Ψ_k°는 전력 정규화 항을 의미한다. 상기 L_k는 $\{\alpha_{1,k}, \cdots, \alpha_{k-1,k}, \alpha_{k+1,k}, \cdots, \alpha_{M,k}\}$로 정의될 수 있다. 상기 <수학식 8>에 포함된 함수 $T(\,)$ 및 함수 $T'(\,)$는 하기 <수학식 9>와 같이 정의된다.

수학식 9

$$\mathbf{T}(\mathcal{S}, \rho) = \left(\frac{1}{N}\sum_{s_i \in \mathcal{S}} \frac{s_i}{1 + e_i} + \rho\right)^{-1} \mathbf{I}_N$$

$$\mathbf{T}'(\mathcal{S}, \rho) = \left(1 + \frac{1}{N}\sum_{s_i \in \mathcal{S}} \frac{s_i e_i'}{(1 + e_i)^2}\right) \mathbf{T}(\mathcal{S}, \rho)^2$$

$$\mathbf{e}' = \left(\mathbf{I}_{|\mathcal{S}|} - \mathbf{J}\right)^{-1}\mathbf{v},$$

$$[\mathbf{J}]_{ij} = \frac{s_i s_j}{N^2(1 + e_j)^2}\mathrm{tr}\mathbf{T}(\mathcal{S}, \rho)^2 \qquad \text{for } i, j = 1, \ldots, |\mathcal{S}|$$

$$\mathbf{v} = \left[\frac{s_1}{N}\mathrm{tr}\mathbf{T}(\mathcal{S}, \rho)^2, \ldots, \frac{s_{|\mathcal{S}|}}{N}\mathrm{tr}\mathbf{T}(\mathcal{S}, \rho)^2\right]^{\mathrm{T}}$$

[0053]

[0054] 상기 <수학식 9>에서, 상기 N은 기지국의 안테나 개수, 상기 $\mathcal{S}$는 임의의 집합, 상기 s_i는 집합 $\mathcal{S}$의 i번째

원소, 상기 ρ는 양의 스칼라(scalar) 값, 상기 e_i는 고정 점 방정식(fixed-point equation) $e_i = s_i\left(\frac{1}{N}\sum_{j=1,\cdots,|\mathcal{S}|}\frac{s_j}{1+e_j}+\rho\right)^{-1}$의 유일한(unique) 양의 해(positive solution), 상기 I_N은 크기 N의 단위 행렬, 상기 e'는 e_i들의 집합을 의미한다.

[0055] 논문 「S.-H. Park, H. Park, H. Kong, and I. Lee, "New beamforming techniques based on virtual SINR maximization for coordinated multi-cell transmission," IEEE Transactions on Wireless Communications, Mar. 2012.」에서 제시한 누출 계수는, 의도한 신호의 전력 $|h_{k,k}^H \bar{v}_k|^2$, 전력 정규화 항 $||\bar{v}_k||^2$, 누출 간섭의 전력(leakage interference power) $|h_{j,k}^H \bar{v}_k|^2$의 세 가지 변수들로 구성된다. 불규칙 행렬 이론을 이용하여, N이 커짐에 따라 각각의 항이 어떤 형태로 수렴하는지 확인할 수 있다면, 상기 누출 계수의 결정적 등가물이 용이하게 구성될 수 있다. 상기 의도한 신호의 전력을 살펴보면, 누출 계수가 주어진 상황에서 하기 <수학식 10>와 같은 관계식이 얻어질 수 있다.

수학식 10

$$\begin{aligned}\mathbf{h}_{k,k}^{\mathsf{H}}\bar{\mathbf{v}}_k &= \mathbf{h}_{k,k}^{\mathsf{H}}\left(N_0\mathbf{I}_N+\sum_{j=1,j\neq k}^{M}\alpha_{j,k}\mathbf{h}_{j,k}\mathbf{h}_{j,k}^{\mathsf{H}}\right)^{-1}\mathbf{h}_{k,k}\\ &= \frac{1}{N}\mathbf{h}_{k,k}^{\mathsf{H}}\boldsymbol{\Sigma}_k\mathbf{h}_{k,k}\end{aligned}$$

[0056]

[0057] 상기 <수학식 10>에서, 상기 $h_{k,k}$는 기지국-k 및 단말-k 간 채널 벡터, 상기 $\bar{v}_k$은 정규화 전의 단말-k를 위한 빔포밍 벡터, 상기 N_0는 잡음 분산, 상기 I_N은 크기 N의 단위 행렬, 상기 $\alpha_{j,k}$은 기지국-k에서 단말-j로의 신호에 대한 누출 계수, 상기 N은 기지국의 안테나 개수를 의미한다. 상기 Σ_k는 N×N 크기의 행렬로서, 하기 <수학식 11>과 같이 정의된다.

수학식 11

$$\boldsymbol{\Sigma}_k=\left(\frac{N_0}{N}\mathbf{I}_N+\sum_{j=1,j\neq k}^{M}\frac{\alpha_{j,k}}{N}\mathbf{h}_{j,k}\mathbf{h}_{j,k}^{H}\right)^{-1}$$

[0058]

[0059] 상기 <수학식 11>에서, 상기 N_0는 잡음 분산, 상기 N은 기지국의 안테나 개수, 상기 I_N은 크기 N의 단위 행렬, 상기 $\alpha_{j,k}$은 기지국-k에서 단말-j로의 신호에 대한 누출 계수, 상기 $h_{j,k}$는 기지국-k 및 단말-j 간 채널 벡터를 의미한다.

[0060] 한편, N×N 행렬 시리즈(series) A_1, A_2, … 과 랜덤 벡터 시리즈 x_1, x_2, …에 대해 하기 <수학식 12>과 같은 결과가 성립함이 밝혀진 바 있다.

수학식 12

$$\mathbf{x}_N^{\mathsf{H}}\mathbf{A}_N\mathbf{x}_N-\frac{1}{N}\mathrm{tr}\mathbf{A}_N\xrightarrow{N\to\infty}0$$

[0061]

[0062] 상기 <수학식 12>에서, 상기 x_N은 길이가 N이고 각 원소가 평균이 0, 분산이 1/N 인 랜덤 변수로 이루어진 벡

터, 상기 A_N은 임의의 N×N 행렬, 기호 $\xrightarrow{N\to\infty}$는 N이 무한대로 커질 때 거의 확실하게(almost surely) 하게 수렴함을 의미한다. 불규칙 행렬 이론을 이용한 위 결과에 $x_N=h_{k,k}$, $A_N=\Sigma_k$를 대입하면, 하기 <수학식 13>의 관계가 성립할 수 있다.

수학식 13

[0063]
$$\mathbf{h}_{k,k}^{\mathsf{H}}\bar{\mathbf{v}}_k - \frac{1}{N}\mathrm{tr}\boldsymbol{\Sigma}_k \xrightarrow{N\to\infty} 0$$

[0064] 상기 <수학식 13>에서, 상기 $h_{k,k}$는 기지국-k 및 단말-k 간 채널 벡터, 상기 $\bar{v}_k$은 정규화 전의 단말-k를 위한 빔포밍 벡터, 상기 N은 기지국의 안테나 개수, 상기 Σ_k는 N×N 크기의 상기 <수학식 11>과 같이 정의되는 행렬을 의미한다.

[0065] 불규칙 행렬 이론에 기반한 논문 「S.Wagner, R.Couillet, M.Debbah, and D.T.M.Slock, "Large system analysis of linear precoding in correlated MISO broadcast channels under limited feedback", IEEE Transactions on Information Theory, July 2012」은 평균이 0, 분산이 1인 원소를 갖는 랜덤 벡터 u_k에 대해, $h_k=\frac{1}{\sqrt{N}}u_k$를 열(column)로 갖는 랜덤 행렬 H는 하기 <수학식 14>을 만족함을 보였다.

수학식 14

[0066]
$$\frac{1}{N}\mathrm{tr}\left(\mathbf{H}\mathbf{H}^{\mathsf{H}}+\rho\mathbf{I}_N\right)^{-1} - \frac{1}{N}\mathrm{tr}\mathbf{T}(\rho) \xrightarrow{a.s.} 0$$

[0067] 상기 <수학식 14>에서, 상기 N은 랜덤 행렬 H의 열 또는 행 개수, 상기 H는 $h_k=\frac{1}{\sqrt{N}}u_k$을 열로 갖는 랜덤 행렬, 상기 ρ는 양의 스칼라 값, 상기 I_N은 크기 N의 단위 행렬을 의미한다. 상기 $T(\rho)$는 N×N 행렬로서, 하기 <수학식 15>와 같이 정의된다.

수학식 15

[0068]
$$\mathbf{T}(\rho)=\left(\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{K}\frac{\mathbf{R}_k}{1+\delta_k(\rho)}+\rho\mathbf{I}_N\right)^{-1}$$

[0069] 상기 <수학식 15>에서, 상기 N은 상기 $T(\rho)$의 열 또는 행의 개수, 상기 R_k는 단말-k에 대한 채널 공분산(channel covariance), 상기 $\delta_k(\rho)$는 방정식 $\delta_k(\rho)=\frac{1}{N}tr(T(\rho))$의 유일한 양의 해, 상기 ρ는 SNR(Signal to Noise Ratio), 상기 I_N은 크기 N의 단위 행렬을 의미한다.

[0070] 상술한 $T(S,\rho)$ 및 m_k를 이용하면, 하기 <수학식 16>와 같은 결과가 도출될 수 있다.

수학식 16

[0071] $$\mathbf{h}_{k,k}^{\mathsf{H}}\bar{\mathbf{v}}_k - m_k^{\circ} \xrightarrow{N\to\infty} 0$$

[0072] 상기 <수학식 16>에서, 상기 $\boldsymbol{h}_{k,k}$는 기지국-k 및 단말-k 간 채널 벡터, 상기 $\bar{\boldsymbol{v}}_k$은 정규화 전의 단말-k를 위한 빔포밍 벡터, 상기 $\boldsymbol{m}_k^{\cdot}$는 단말-k에 대한 의도한 신호 전력, 상기 $\boldsymbol{N}$은 기지국의 안테나 개수를 의미한다.

[0073] 한편, 논문 「S.-H. Park, H. Park, H. Kong, and I. Lee, "New beamforming techniques based on virtual SINR maximization for coordinated multi-cell transmission," IEEE Transactions on Wireless Communications, Mar. 2012.」의 결과를 이용하면, 전력 정규화 항 $||\bar{\boldsymbol{v}}_k||^2$은 하기 <수학식 17>과 같은 관계식을 만족한다.

수학식 17

[0074] $$\|\bar{\mathbf{v}}_k\|^2 = \mathbf{h}_{k,k}^{\mathsf{H}}\left(N_0\mathbf{I}_N + \sum_{j=1,j\neq k}^{M}\alpha_{j,k}\mathbf{h}_{j,k}\mathbf{h}_{j,k}^{\mathsf{H}}\right)^{-2}\mathbf{h}_{k,k}$$

[0075] 상기 <수학식 17>에서, 상기 $||\bar{\boldsymbol{v}}_k||^2$은 전력 정규화 항, 상기 $\boldsymbol{h}_{k,k}$는 기지국-k 및 단말-k 간 채널 벡터, 상기 $\boldsymbol{N}_0$는 잡음 분산, 상기 $\boldsymbol{I}_N$은 크기 N의 단위 행렬, 상기 $\boldsymbol{M}$은 기지국의 개수, 상기 $\alpha_{j,k}$은 기지국-k에서 단말-j로의 신호에 대한 누출 계수를 의미한다.

[0076] 상기 <수학식 17>에 불규칙 행렬 이론의 결과를 적용하면, 상기 전력 정규화 항 $||\bar{\boldsymbol{v}}_k||^2$에 대해서 하기 <수학식 18>의 결과를 도출해 낼 수 있다.

수학식 18

[0077] $$\|\bar{\mathbf{v}}_k\|^2 - \frac{1}{N^2}\mathrm{tr}\boldsymbol{\Sigma}_k^2 \xrightarrow{N\to\infty} 0$$

[0078] 상기 <수학식 18>에서, 상기 $||\bar{\boldsymbol{v}}_k||^2$은 전력 정규화 항, 상기 $\boldsymbol{N}$은 기지국의 안테나 개수, 상기 $\boldsymbol{\Sigma}_k$는 N×N 크기의 상기 <수학식 11>과 같이 정의되는 행렬을 의미한다.

[0079] 논문 「S.Wagner, R.Couillet, M.Debbah, and D.T.M.Slock, "Large system analysis of linear precoding in correlated MISO broadcast channels under limited feedback", IEEE Transactions on Information Theory, July 2012.」에서 제시한 정리에 따르면, 랜덤 행렬 $\boldsymbol{H}$대해 하기 <수학식 19>와 같은 결과가 성립한다.

수학식 19

[0080] $$\frac{1}{N}\mathrm{tr}\left(\mathbf{H}\mathbf{H}^{\mathsf{H}} + \rho\mathbf{I}_N\right)^{-2} - \frac{1}{N}\mathrm{tr}\mathbf{T}'(\rho) \xrightarrow{a.s.} 0$$

[0081] 상기 <수학식 19>에서, 상기 $\boldsymbol{N}$은 상기 랜덤 행렬 $\boldsymbol{H}$의 행 또는 열 개수, 상기 $\boldsymbol{H}$는 랜덤 행렬, 상기 ρ는

양의 스칼라 값, 상기 I_N은 크기 N의 단위 행렬을 의미한다. 상기 $T'(\rho)$는 N×N 행렬로서, 하기 <수학식 20>과 같이 정의된다.

수학식 20

$$\mathbf{T}'(\rho)=\mathbf{T}(\rho)^2+\mathbf{T}(\rho)\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{K}\frac{\delta_k'(\rho)}{(1+\delta_k(\rho))^2}\mathbf{T}(\rho)$$

$$\boldsymbol{\delta}'(\rho)=[\delta_1'(\rho)\cdots\delta_K'(\rho)]^T=(\mathbf{I}_K-\mathbf{J}(\rho))^{-1}\mathbf{v}(\rho)$$

$$[\mathbf{J}(\rho)]_{kl}=\frac{\mathrm{tr}\left(T(\rho)^2\right)}{N^2(1+\delta_l(\rho))^2},[\mathbf{v}(\rho)]_k=\frac{1}{N}\mathrm{tr}\left(\mathbf{T}(\rho)^2\right)$$

[0082]

[0083] 상기 <수학식 20>에 따르면, 상기 $T(\rho)$는 상기 <수학식 15>와 같이 정의되는 행렬, 상기 N은 상기 랜덤 행렬 H의 행 또는 열 개수, 상기 $\delta_k(\rho)$는 방정식 $\delta_k(\rho)=\frac{1}{N}tr(T(\rho))$의 유일한 양의 해, 상기 I_K는 크기 K의 단위 행렬, 상기 ρ는 양의 스칼라 값을 의미한다.

[0084] 이에 따라, 하기 <수학식 21>과 같은 결론이 도출될 수 있다.

수학식 21

$$\|\bar{\mathbf{v}}_k\|^2-\Psi_k^{\circ}\xrightarrow{N\to\infty}0$$

[0085]

[0086] 상기 <수학식 21>에서, 상기 $\|\bar{v}_k\|^2$은 전력 정규화 항, 상기 $\Psi_k^{\cdot}$는 전력 정규화 항의 결정적 등가물, 상기 N은 기지국의 안테나 개수를 의미한다.

[0087] 마지막으로, 누출 간섭의 전력은 하기 <수학식 22>와 같이 표현될 수 있다.

수학식 22

$$|\mathbf{h}_{j,k}^H\bar{\mathbf{v}}_k|^2=\frac{1}{N^2}\mathbf{h}_{k,k}^H\boldsymbol{\Sigma}_k\mathbf{h}_{j,k}\mathbf{h}_{j,k}^H\boldsymbol{\Sigma}_k\mathbf{h}_{k,k}$$

[0088]

[0089] 상기 <수학식 22>에서, 상기 $h_{j,k}$는 기지국-k 및 단말-j 간 채널 벡터, 상기 $\bar{v}_k$은 정규화 전의 단말-k를 위한 빔포밍 벡터, 상기 N은 기지국의 안테나 개수, 상기 Σ_k는 N×N 크기의 상기 <수학식 11>과 같이 정의되는 행렬을 의미한다.

[0090] 의도한 신호의 전력의 경우와 유사하게 불규칙 행렬 이론을 적용하면, 누출 간섭의 전력은 하기 <수학식 23>와 같이 거의 확실하게 수렴할 수 있다.

수학식 23

$$|\mathbf{h}_{j,k}^H\bar{\mathbf{v}}_k|^2-\frac{1}{N^2}\mathbf{h}_{j,k}^H\boldsymbol{\Sigma}_k^2\mathbf{h}_{j,k}\xrightarrow{N\to\infty}0$$

[0091]

[0092] 상기 <수학식 23>에서, 상기 $\boldsymbol{h}_{j,k}$는 기지국-k 및 단말-j 간 채널 벡터, 상기 $\bar{\boldsymbol{v}}_k$은 정규화 전의 단말-k를 위한 빔포밍 벡터, 상기 N은 기지국의 안테나 개수, 상기 $\boldsymbol{\Sigma}_k$는 N×N 크기의 상기 <수학식 11>과 같이 정의되는 행렬을 의미한다.

[0093] 이때, 셔면-모리슨(Sherman-Morrison) 행렬 역변환(matrix inversion) 공식을 이용하면, 하기 <수학식 24>와 같은 결과가 도출될 수 있다.

수학식 24

[0094] $$\frac{1}{N^2}\mathrm{tr}\mathbf{h}_{j,k}^{\mathrm{H}}\boldsymbol{\Sigma}_k^2\mathbf{h}_{j,k}=\frac{1}{N^2}\mathrm{tr}\frac{\mathbf{h}_{j,k}^{\mathrm{H}}\boldsymbol{\Sigma}_{jk}\boldsymbol{\Sigma}_{jk}\mathbf{h}_{j,k}}{(1+\frac{\alpha_{j,k}}{N}\mathbf{h}_{j,k}^{\mathrm{H}}\boldsymbol{\Sigma}_{jk}\mathbf{h}_{j,k})^2}$$

[0095] 상기 <수학식 25>에서, 상기 N은 기지국의 안테나 개수, 상기 $\boldsymbol{h}_{j,k}$는 기지국-k 및 단말-j 간 채널 벡터, 상기 $\boldsymbol{\Sigma}_k$는 N×N 크기의 상기 <수학식 11>과 같이 정의되는 행렬, 상기 $\alpha_{j,k}$은 기지국-k에서 단말-j로의 신호에 대한 누출 계수를 의미한다. 상기 $\boldsymbol{\Sigma}_{jk}$는 N×N 크기의 행렬로서, 하기 <수학식 25>와 같이 정의된다.

수학식 25

[0096] $$\boldsymbol{\Sigma}_{jk}=\left(\frac{N_0}{N}\mathbf{I}_N+\sum_{i=1,i\neq j,k}^{M}\frac{\alpha_{i,k}}{N}\mathbf{h}_{i,k}\mathbf{h}_{i,k}^{H}\right)^{-1}$$

[0097] 상기 <수학식 25>에서, 상기 N_0는 잡음 분산, 상기 N은 기지국의 안테나 개수, 상기 $\boldsymbol{I}_N$은 크기 N의 단위 행렬, 상기 M은 기지국의 개수, 상기 $\alpha_{j,k}$은 기지국-k에서 단말-j로의 신호에 대한 누출 계수, 상기 $\boldsymbol{h}_{i,k}$는 기지국-k 및 단말-i 간 채널 벡터를 의미한다.

[0098] 논문 「R.Couillet and M.Debbah, Random Matrix Methods for Wireless Communications, 1st ed. Cambridge University Press, 2011.」에 제시된 정리를 적용하면, 하기 <수학식 26>가 도출될 수 있다.

수학식 26

[0099] $$\frac{1}{N}\mathrm{tr}\boldsymbol{\Sigma}_{jk}-\bar{m}_{jk}^{\circ}\xrightarrow{N\to\infty}0,\ \bar{m}_{jk}^{\circ}=\frac{1}{N}\mathrm{tr}\mathbf{T}(\mathcal{U}_{jk},\frac{N_0}{N})$$

[0100] 상기 <수학식 26>에서, 상기 N은 기지국의 안테나 개수, 상기 $\boldsymbol{\Sigma}_{jk}$는 상기 <수학식 25>와 같이 정의되는 N×N 크기의 행렬, 상기 $T(\,)$는 상기 <수학식 9>와 같이 정의되는 함수, 상기 $\mathcal{U}_{jk}$는 $L_k/\{\alpha_{j,k}\}$로 정의되는 집합, 상기 N_0는 잡음 분산을 의미한다.

[0101] 상기 <수학식 26>에 논문 「S.Wagner, R.Couillet, M.Debbah, and D.T.M.Slock, "Large system analysis of linear precoding in correlated MISO broadcast channels under limited feedback", IEEE Transactions on Information Theory, July 2012.S.Wagner, R.Couillet, M.Debbah, and D.T.M.Slock, "Large system analysis of linear precoding in correlated MISO broadcast channels under limited feedback", IEEE Transactions on Information Theory, July 2012.」의 정리를 이용하면 누출 간섭의 전력 $|\boldsymbol{h}_{j,k}^{H}\bar{\boldsymbol{v}}_k|^2$는 하기 <수학식 27>과 같이 거의 확실하게(almost surely) 수렴한다.

수학식 27

[0102] $$\frac{1}{N}\mathrm{tr}\Sigma_{jk}^2 - \bar{\Psi}_{jk}^{\circ} \xrightarrow{N\to\infty} 0, \quad \bar{\Psi}_{jk}^{\circ} = \frac{1}{N}\mathrm{tr}\mathbf{T}'(\mathcal{U}_{jk}, \frac{N_0}{N})$$

[0103] 상기 <수학식 27>에서, 상기 N은 기지국의 안테나 개수, 상기 Σ_{jk}는 상기 <수학식 25>와 같이 정의되는 N×N 크기의 행렬, 상기 $T'(\,)$는 상기 <수학식 9>와 같이 정의되는 함수, 상기 $\mathcal{U}_{jk}$는 $L_k/\{\alpha_{j,k}\}$로 정의되는 집합, 상기 N_0는 잡음 분산을 의미한다.

[0104] 이에 따라, 하기 <수학식 28>과 같은 결론이 얻어질 수 있다.

수학식 28

[0105] $$|\mathbf{h}_{j,k}^{\mathrm{H}}\bar{\mathbf{v}}_k|^2 - \Upsilon_{jk}^{\circ} \xrightarrow{N\to\infty} 0$$

$$\Upsilon_{jk}^{\circ} = \frac{1}{N}\frac{\bar{\Psi}_{jk}^{\circ}}{(1+\alpha_{j,k}\bar{m}_{jk}^{\circ})^2}$$

[0106] 상기 <수학식 28>에서, 상기 $\boldsymbol{h}_{j,k}$는 기지국-k 및 단말-j 간 채널 벡터, 상기 $\bar{\boldsymbol{v}}_k$은 정규화 전의 단말-k를 위한 빔포밍 벡터, 상기 $\Upsilon_{jk}^{\cdot}$는 누출 간섭 항, 상기 N은 기지국의 안테나 개수, 상기 $\Psi_k^{\cdot}$는 전력 정규화 항, 상기 $\alpha_{j,k}$은 기지국-k에서 단말-j로의 신호에 대한 누출 계수, 상기 $m_{jk}^{\cdot}$는 <수학식 26>와 같이 정의되는 변수를 의미한다.

[0107] 상술한 바와 같이, 상기 누출 계수의 결정적 등가물이 결정될 수 있다. 결과적으로, 상기 누출 계수의 결정적 등가물을 산출하는 알고리즘은 하기 <표 1>과 같이 정리될 수 있다.

표 1

[0108]

단계1	$k \in \mathcal{M}$인 모든 k에 대하여, $\alpha_{j,k}$ 초기화
단계2	모든 k에 대한 고정 점(fixed-point) 알고리즘을 이용하여, $\mathbf{T}(\mathcal{L}_k, \frac{N_0}{N})$및 $\mathbf{T}(\mathcal{U}_{jk}, \frac{N_0}{N})$에 대한 e_i들 산출
단계3	모든 k에 대한 e_i들에 기초하여, m_k°, Ψ_k°, Υ_{jk}° 산출
단계4	모든 k에 대해 <수학식 7>에 따라 가중치 계수 $\alpha_{j,k}^{\circ}$ 갱신
단계5	단계2로 되돌아가 수렴할 때 까지 반복

[0109] $\alpha_k=\{\alpha_{1,k},\cdots,\alpha_{M,k}\}$로 정의할 때, $\|\alpha_k\|^2$가 임계치(threshold) 이하인 조건이 만족되면, 특정 값으로 수렴했다고 판단하고, 알고리즘을 종료한다. 상기 임계치는 다양한 방법으로 설정될 수 있다. 이하 모의 실험의 경우, 상기 임계치는 10^{-6}으로 설정되었다.

[0110] 상술한 바와 같이, 본 발명의 실시 예에 따른 빔포밍 기법에서, 누출 계수 또는 상기 누출 계수의 결정적 등가물은 긴-주기 채널 정보(예: SNR, 채널 공분산 등)의 변화가 특정 임계치를 넘었을 때 산출된다. 상기 누출 계수의 산출을 위해, 불규칙 행렬 이론에 기초한 결정적 등가물이 이용된다. 이때, 상기 누출 계수는 순시 채널 정보가 아닌 상기 긴-주기 채널 정보, 안테나 개수, 단말 개수만을 요구하는 간략화된 과정을 통해 결정될 수

있다. 이에 따라, 기지국들은, 상기 누출 계수의 결정이 필요한 경우에만, 다른 기지국과 긴-주기 채널 정보를 교환할 수 있다. 이에 따라, 계산 복잡도 및 시스템 오버헤드가 크게 감소될 수 있다.

[0111] 상술한 바와 같이, 다수의 기지국들 각각이 분산적으로(disributed) 빔포밍을 수행하기 위해, 각 기지국은 모든 채널 정보 $h_{j,m}$($\forall m=1,\cdots,K$)를 획득해야 한다. 또한, 빔포밍 벡터를 결정하기 위해 사용되는 누출 계수 $\alpha_{j,k}$를 결정하기 위해, 각 기지국은 모든 사용자로에 대한 SNR $\rho_{j,k}$($\forall j,k$) 및 채널 공분산 $R_{j,k}$($\forall j,k$)을 획득해야 한다. 예를 들어, 3개의 기지국들 및 3개의 단말들이 존재하는 경우, 하기 <표 2>와 같은 정보가 요구된다.

표 2

[0112]

	기지국-A	기지국-B	기지국-C
단말-A	ρ_{11}, R_{11}	ρ_{12}, R_{12}	ρ_{13}, R_{13}
단말-B	ρ_{21}, R_{21}	ρ_{23}, R_{23}	ρ_{23}, R_{23}
단말-C	ρ_{31}, R_{31}	ρ_{32}, R_{32}	ρ_{33}, R_{33}

[0113] 상기 <표 2>와 같이, 3개의 기지국들 및 3개의 단말들이 통신을 수행하는 경우, 총 18개의 파라미터들이 요구된다. 본 발명의 실시 예에 따른 알고리즘에 따르면, 긴-주기 통계(예: SNR, 채널 공분산, 채널 상관, 채널 분산(distribution) 등)가 변화하는 경우에만 상기 누출 계수가 계산될 수 있다.

[0114] 상기 도 2에 도시된 하나의 기지국이 다중 단말을 서비스하는 IFBC(Interference Broadcast Channel) 환경에서 상술한 기법이 적용될 수 있다. 가중치-합 전송률을 최대화하는 문제를 하기 <수학식 29>와 같이 제시할 수 있다.

수학식 29

[0115]
$$\max_{\{\mathbf{v}_{l,u}\}} R_{\Sigma}(\{\mathbf{v}_{l,u}\}) \quad \text{s.t.} \quad \sum_{u=1}^{K}\|\mathbf{v}_{l,u}\|^2 \le 1 \quad \forall l,u$$

[0116] 상기 <수학식 29>에서, 상기 $v_{l,u}$는 단말-u를 위해 기지국-l에서 사용하는 빔포밍 벡터, 상기 $R_{\Sigma}(\{v_{l,u}\})$는 가중치-합 전송률, 상기 K는 셀 당 단말의 개수를 의미한다. 상기, 가중치-합 전송률 $R_{\Sigma}(\{v_{l,u}\})$및 SINR는 하기 <수학식 30>와 같이 정의된다.

수학식 30

[0117]
$$R_{\Sigma}(\{\mathbf{v}_{l,u}\})=\sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}w_{m,k}R_{m,k}(\{\mathbf{v}_{l,u}\})=\sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}w_{m,k}\log_2(1+\gamma_{m,k}(\{\mathbf{v}_{l,u}\})),$$

$$\gamma_{m,k}(\{\mathbf{v}_{l,u}\})=\frac{|\mathbf{h}_{m,k,m}^{H}\mathbf{v}_{m,k}|^2}{N_0+\sum_{(j,u)\neq(m,k)}|\mathbf{h}_{m,k,j}^{H}\mathbf{v}_{j,u}|^2}$$

[0118] 상기 <수학식 30>에서, 상기 $R_{\Sigma}(\{v_{l,u}\})$는 가중치-합 전송률, 상기 $v_{l,u}$는 단말-u를 위해 기지국-l에서 사용하

는 빔포밍 벡터, 상기 M은 기지국의 개수, 상기 K는 셀 당 단말의 개수, 상기 $w_{m,k}$는 단말-k 및 기지국-m에 대한 가중치, 상기 $R_{m,k}(\{v_{l,u}\})$는 단말-k 및 기지국-m 간 전송률, 상기 $\gamma_{m,k}(\{v_{l,u}\})$은 SINR, 상기 $h_{m,k,m}$은 기지국-m의 셀 내에 위치한 단말-k 및 기지국-m 간 채널 벡터, 상기 $h_{m,k,n}$는 기지국-m의 셀 내에 위치한 단말-k 및 기지국-j 간 채널 벡터, 상기 N_0는 잡음 분산을 의미한다.

[0119] 상기 IFC 환경과 달리, 상기 IFBC 환경의 경우, 송신 전력의 할당이 더 고려되어야 한다. 상기 IFC와 비슷한 방법으로 누출 계수 및 각 변수는 하기 <수학식 31>과 같이 정의될 수 있다.

수학식 31

$$\alpha^{\circ}_{j,u,m,k} = \frac{KN_0}{\beta_{j,u}\left(\frac{I^{\circ}_{m,k}}{\beta^{\circ}_{m,k}} - \sum_{(n,i)\neq(m,k)} \frac{\Upsilon^{\circ}_{n,i,m,k}}{\beta^{\circ}_{n,i}\Psi^{\circ}_{m,k}}\right)}$$

$$\beta^{\circ}_{m,k} = \frac{I^{\circ}_{m,k}(I^{\circ}_{m,k}+D^{\circ}_{m,k})}{w_{m,k}D^{\circ}_{m,k}}$$

$$I^{\circ}_{m,k} = KN_0 + \sum_{(j,u)\neq(m,k)} \frac{\Upsilon^{\circ}_{m,k,j,u}}{\Psi^{\circ}_{j,u}}$$

$$D^{\circ}_{m,k} = \frac{(m^{\circ}_{m,k})^2}{\Psi^{\circ}_{m,k}}$$

$$m^{\circ}_{m,k} = \frac{1}{N}\mathrm{trT}(\mathcal{G}_{m,k}, \frac{KN_0}{N})$$

$$\Psi^{\circ}_{m,k} = \frac{1}{N}\mathrm{trT}'(\mathcal{G}_{m,k}, \frac{KN_0}{N})$$

$$\Upsilon^{\circ}_{n,i,m,k} = \frac{1}{N}\frac{\bar{\Psi}^{\circ}_{n,i,m,k}}{(1+\alpha_{n,i,m,k}\bar{m}^{\circ}_{n,i,m,k})^2}$$

$$\bar{m}^{\circ}_{n,i,m,k} = \frac{1}{N}\mathrm{trT}(\mathcal{G}^{n,i}_{m,k}, \frac{KN_0}{N})$$

$$\bar{\Psi}^{\circ}_{n,i,m,k} = \frac{1}{N}\mathrm{trT}'(\mathcal{G}^{n,i}_{m,k}, \frac{KN_0}{N})$$

$$\mathcal{G}^{n,i}_{m,k} = \mathcal{G}_{m,k}\backslash\{\alpha_{n,i,m,k}\}$$

[0120]

[0121] 상기 <수학식 31>에서, 상기 $\alpha^{\cdot}_{j,u,m,k}$는 누출 계수의 결정적 등가물, 상기 K는 셀 당 단말 개수, 상기 N_0는 잡음 분산, 상기 $\Upsilon^{\cdot}_{n,i,m,k}$는 누출 간섭 항, 상기 $\Psi^{\cdot}_{m,k}$는 전력 정규화 항, 상기 $w_{m,k}$는 기지국-m 및 단말-k에 대한 가중치, 상기 $m^{\circ}_{m,k}$는 기지국-m으로부터 단말-k로의 의도한 신호 전력, 상기 $\varsigma_{m,k}$는 누출 계수들의 집합, 상기 N은 기지국 안테나 개수, 상기 $T(\,)$ 및 상기 $T'(\,)$는 상기 <수학식 9>와 같이 정의되는 함수, 상기 $\alpha_{n,i,m,k}$는 누출 계수를 의미한다.

[0122] 상술한 값들은, IFC 환경에서 균등 전력(equal power)을 고려한 시스템(예: 셀 당 2명의 사용자들이 존재하면, 각 사용자에게 P/2의 전력을 할당)과 동일하게 결정된다. 이에 따라, 가중치-합 전송률의 근사값은 하기 <수학식 32>과 같이 얻어질 수 있다.

수학식 32

[0123]
$$\hat{R}_{\Sigma} = \sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K} w_{m,k}\log_2(1+\gamma^{\circ}_{m,k}) = \sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K} w_{m,k}\log_2(1+p_{m,k}\nu^{\circ}_{m,k})$$

[0124] 상기 <수학식 32>에서, 상기 $\hat{R}_{\Sigma}$은 가중치-합 전송률의 근사값, 상기 M은 기지국의 개수, 상기 K는 셀 당 단말 개수, 상기 $w_{m,k}$는 단말-k 및 기지국-m에 대한 가중치, 상기 $\gamma^{\cdot}_{m,k}$는 SINR, 상기 $p_{m,k}$는 기지국-m이 단말-k에 대하여 할당한 전력, 상기 $v^{\cdot}_{m,k}$는 단말-k를 위해 기지국-m에서 사용하는 빔포밍 벡터를 의미한다. 상기 $\gamma^{\cdot}_{m,k}$는 $\frac{D^{\cdot}_{m,k}}{I^{\cdot}_{m,k}}$ 로, 상기 $v^{\cdot}_{m,k}$는 $\gamma^{\cdot}_{m,k}/p_{m,k}$로 표현될 수 있다.

[0125] 송신 전력 제한 $\sum_{k=1}^{K} p_{m,k}=1$ 에 의해 상기 가중치-합 전송률의 근사값을 최대화하는 전력 할당 결과는 하기 <수학식 33>와 같은 잘 알려진 워터-필링(water-filling) 형태로 얻어질 수 있다.

수학식 33

[0126]
$$p^{\star}_{m,k} = \left[w_{m,k}\,\mu - \frac{1}{\nu^{\circ}_{m,k}}\right]^{+} \quad \text{for } k = 1,\ldots,K$$

[0127] 상기 <수학식 33>에서, 상기 $p^{*}_{m,k}$는 기지국-m이 단말-k에 대하여 할당한 전력, $[x]^{+}$는 0 또는 x 중 큰 값을 나타내는 함수, 상기 $w_{m,k}$는 단말-k 및 기지국-m에 대한 가중치, 상기 μ는 $\sum_{k=1}^{K} p_{m,k}=1$ 을 만족하는 워터 레벨(water level), 상기 $v^{\cdot}_{m,k}$는 단말-k를 위해 기지국-m에서 사용하는 빔포밍 벡터, 상기 K는 셀 당 단말 개수를 의미한다.

[0128] 또한, 상기 IFBC 환경에서 빔포밍 벡터는 하기 <수학식 34>와 같이 결정될 수 있다.

수학식 34

[0129]
$$\mathbf{v}_{m,k} = \frac{1}{\sqrt{K}}\frac{\bar{\mathbf{v}}_{m,k}}{\|\bar{\mathbf{v}}_{m,k}\|}$$

$$\bar{\mathbf{v}}_{m,k} = \left(KN_0\mathbf{I}_N + \sum_{(j,u)\neq(m,k)} \alpha_{j,u,m,k}\mathbf{h}_{j,u,m}\mathbf{h}^{\mathrm{H}}_{j,u,m}\right)^{-1}\mathbf{h}_{m,k,m}$$

[0130] 상기 <수학식 34>에서, 상기 $v_{m,k}$은 단말-k를 위한 기지국-m에서 사용하는 빔포밍 벡터, 상기 K는 셀 당 단말의 개수, 상기 $\bar{v}_{m,k}$은 정규화 전의 단말-k를 위한 기지국-m에서 사용하는 빔포밍 벡터, 상기 N_0는 잡음 분산, 상기 I_N은 크기 N의 단위 행렬, 상기 $\alpha_{j,u,m,k}$는 단말-k를 위한 기지국-m에서 사용하는 빔포밍 벡터의 기

지국-j에 접속한 단말-u에 대한 누출 계수, 상기 $h_{j,u,m}$는 기지국-j의 셀 내에 위치한 단말-u 및 기지국-m 간 채널 벡터를 의미한다.

[0131] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 기지국의 동작 절차를 도시한다.

[0132] 상기 도 5를 참고하면, 기지국은 501단계에서 Th_SNR 및 Th_Chcov를 설정한다. 상기 Th_SNR 및 상기 Th_Chcov는 긴-주기 채널 통계의 변화를 관측하기 위한 임계치들이다. 구체적으로, 상기 Th_SNR는 SNR 변화량의 임계치, 상기 Th_Chcov는 채널 공분산(channel covariance) 변화량의 임계치를 의미한다. 본 발명의 다른 실시 예에 따라, 상기 SNR 변화량의 임계치 및 상기 채널 공분산 변화량의 임계치는 미리 결정된 시스템 파라미터로 정의될 수 있다.

[0133] 이어, 상기 기지국은 503단계로 진행하여 적어도 하나의 단말의 가중치를 결정한다. 상기 가중치는 해당 단말의 QoS를 만족시키기 위해 결정된다. 따라서, 상기 기지국은 상기 적어도 하나의 단말의 QoS 요구 및 스케줄링 기법에 기초하여 상기 가중치를 결정할 수 있다.

[0134] 이어, 상기 기지국은 505단계로 진행하여 적어도 하나의 단말로부터 채널에 관련된 피드백 정보를 수신한다. 상기 피드백 정보는 상기 적어도 하나의 단말에 대한 순시 채널 정보를 포함한다.

[0135] 이어, 상기 기지국은 507단계로 진행하여 상기 적어도 하나의 단말에 대한 순시적 채널 정보를 측정한다. 예를 들어, FDD(Frequency Division Duplex) 시스템의 경우, 상기 기지국은 상기 단말로부터 수신되는 피드백 정보, 예를 들어, CQI(Channel Quality Information)에 의해 지시되는 SNR, PMI(Precoding Matrix Index)로부터 순시적 채널 정보를 측정할 수 있다. 단, TDD(Time Division Duplex) 시스템의 경우, 상기 기지국은, 단말로부터의 피드백 없이, 단말로부터 수신되는 사운딩(sounding) 기준 신호(RS: Reference Signal)를 이용하여 상기 순시 채널 정보를 직접 측정할 수 있다. 이 경우, 상기 505단계는 생략될 수 있다. 단, TDD 시스템이라도, 상기 기지국은 상기 피드백 정보를 수신할 수 있다.

[0136] 이후, 상기 기지국은 509단계로 진행하여 긴-주기 채널 통계가 갱신되었는지 판단한다. 상기 긴-주기 채널 통계는 다수의 시점에서 수집된 순시적 채널 파라미터들로부터 결정되는 채널 정보이다. 예를 들어, 상기 긴-주기 채널 통계는 SNR 및 채널 공분산(Chcov) 중 적어도 하나를 포함한다. 예를 들어, 상기 기지국은 순시적 채널 정보를 측정하는 주기보다 상대적으로 긴-주기의 구간 동안 수집된 순시적 채널 정보를 이용하여 채널 공분산 및 SNR 중 적어도 하나를 산출하고, 이전 긴-주기의 구간에서 결정된 긴-주기 채널 통계와 비교함으로써 채널 변화를 판단할 수 있다. 예를 들어, 상기 기지국은 현재 구간 및 이전 구간의 채널 공분산들의 프로비니어스 놈(frobenious norm)을 산출함으로써 상기 긴-주기 채널 통계들을 비교할 수 있다. 비교 결과, 변화량이 정해진 임계치를 초과하면, 예를 들어, 상기 SNR의 변화량이 상기 Th_SNR을 초과하거나 또는 상기 채널 공분산의 변화량이 상기 Th_Chcov을 초과하면, 상기 기지국은 상기 긴-주기 채널 통계가 갱신됨을 판단할 수 있다. 만일, 상기 긴-주기 채널 통계가 갱신되지 아니하면, 상기 기지국은 이하 515단계로 진행한다.

[0137] 반면, 상기 긴-주기 채널 통계가 갱신되면, 상기 기지국은 이하 511단계로 진행하여 주변 셀의 적어도 하나의 다른 기지국과 긴-주기 채널 통계 정보를 교환한다. 상기 긴-주기 채널 통계 정보는 SNR 및 채널 공분산 중 적어도 하나를 포함한다. 즉, 상기 기지국은 백홀(backhaul) 망을 통해 적어도 하나의 다른 기지국과 빔포밍 벡터 결정에 필요한 정보를 교환한다.

[0138] 이어, 상기 기지국은 513단계로 진행하여 상기 긴-주기 채널 통계 정보에 기초하여 상기 적어도 하나의 단말에 대한 누출 계수를 갱신한다. 상기 누출 계수는 해당 단말로의 신호가 다른 단말에게 간섭으로 작용하는 양적 비율을 의미한다. 예를 들어, 상기 누출 계수는 상기 <수학식 7> 또는 상기 <수학식 31>에 따라 결정될 수 있다. 본 발명의 다른 실시 예에 따라, 상기 기지국은 입력 변수들에 대응하는 누출 계수들을 미리 정의한 테이블을 보유할 수 있다. 이 경우, 상기 기지국은 상기 긴-주기 채널 통계 정보, 기지국의 안테나 개수에 대응하는 누출 계수를 상기 테이블 내에서 검색함으로써, 상기 누출 계수를 결정할 수 있다.

[0139] 이어, 상기 기지국은 515단계로 진행하여 상기 누출 계수를 이용하여 상기 적어도 하나의 단말을 위한 빔포밍 벡터를 결정한다. 상기 빔포밍 벡터는 VSINR 빔포밍 벡터일 수 있다. 예를 들어, 상기 빔포밍 벡터는 상기 <수학식 4>와 같이 결정될 수 있다. 즉, 상기 기지국은 상기 누출 계수, 상기 순시적 채널 정보, SNR 등에 기초하여 상기 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다. 구체적으로, 상기 기지국은 상기 <표 1>에 나타난 알고리즘에 따라 상기 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.

[0140] 이후, 상기 기지국은 517단계로 진행하여 데이터 및 기준 신호를 송신한다. 상기 데이터는 상기 빔포밍 벡터를 이용하여 프리코딩(precoding)된다. 상기 기준 신호는 사용자 특정된 기준 신호(URS: User-Specific RS)를 포함할 수 있다.

[0141] 상기 도 5를 참고하여 설명한 실시 예에서, 기지국은 긴-주기 채널 통계에 기초하여 상기 누출 계수의 갱신 여부를 판단한다. 그러나, 본 발명의 다른 실시 예에 따라, 상기 기지국은 단말로부터의 통지에 따라 상기 누출 계수의 갱신 여부를 판단할 수 있다. 이 경우, 상기 단말은 상기 누출 계수의 갱신이 필요함이 판단될 때마다, 이벤트 드리븐(event driven) 형식으로, 긴-주기 채널 통계 정보(예: SNR, 채널 공분산 등)를 피드백할 수 있다.

[0142] 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 단말의 동작 절차를 도시한다.

[0143] 상기 도 6을 참고하면, 상기 단말은 601단계에서 Th_SNR 및 Th_Chcov를 설정한다. 상기 Th_SNR 및 상기 Th_Chcov는 긴-주기 채널 통계의 변화를 관측하기 위한 시스템 파라미터이다. 구체적으로, 상기 Th_SNR는 SNR 변화량의 임계치, 상기 Th_Chcov는 채널 공분산 변화량의 임계치를 의미한다. 본 발명의 다른 실시 예에 따라, 상기 단말은 상기 SNR 변화량의 임계치 및 상기 채널 공분산 변화량의 임계치를 직접 결정하지 아니하고, 기지국으로부터 수신할 수 있다. 예를 들어, 상기 SNR 변화량의 임계치 및 상기 채널 공분산 변화량의 임계치는 방송 채널을 통해 시스템 정보로서 상기 기지국으로부터 제공될 수 있다.

[0144] 이후, 상기 단말은 603단계로 진행하여 CSI 및 SNR을 측정한다. 즉, 상기 단말은 상기 기지국으로부터 수신되는 신호, 예를 들어, 기준 신호를 이용하여 상기 채널 상태를 측정할 수 있다. 상기 채널 상태는 채널 벡터를 포함할 수 있다. 또한, 상기 단말은 상기 기준 신호를 이용하여 RSSI(Received Signal Strength Indicator)를 측정하고, 상기 RSSI에 기초하여 SNR을 산출할 수 있다. 다른 예로, 상기 단말은 동기 신호를 이용하여 상기 채널 상태 및 SNR을 측정할 수 있다.

[0145] 이어, 상기 단말은 605단계로 진행하여 채널 공분산을 갱신한다. 즉, 상기 단말은 측정된 CSI에 기초하여 상기 채널 공분산을 결정한다. 상기 채널 공분산은 긴-주기 채널 통계로서, 순시적 채널 정보를 측정하는 주기보다 상대적으로 긴-주기의 구간 동안 수집된 순시적 채널 정보를 이용하여 산출될 수 있다. 여기서, 상기 채널 공분산은 샘플(sample) 채널 공분산으로 지칭될 수 있다.

[0146] 이후, 상기 단말은 607단계로 진행하여 상기 CSI를 피드백한다. 즉, 상기 기지국에서의 순시적 채널 정보 획득을 위해, 상기 단말은 CQI를 상기 기지국으로 제공한다. 상기 CQI는 PMI를 포함할 수 있다. 본 발명의 다른 실시 예에 따라, 상기 607단계는 생략될 수 있다. 예를 들어, 상기 기지국이 상기 단말에서 송신되는 신호를 이용하여 직접 순시적 채널 정보를 측정하는 경우, 상기 CSI는 피드백되지 아니할 수 있다.

[0147] 이어, 상기 단말은 609단계로 진행하여 SNR 변화량이 상기 Th_SNR을 초과하는지 또는 채널 공분산의 변화량이 상기 Th_Chcov를 초과하는지 판단한다. 상기 채널 공분산의 변화량은 현재 구간 및 이전 구간의 채널 공분산들의 프로비니어스 놈을 산출함으로써 결정될 수 있다.

[0148] 상기 Th_SNR을 초과하는지 또는 채널 공분산의 변화량이 상기 Th_Chcov를 초과하면, 상기 단말은 611단계로 진행하여 상기 채널 공분산 및 상기 SNR 중 적어도 하나를 상기 기지국으로 피드백한다. 이때, 상기 단말은 상기 채널 공분산 및 상기 SNR 중 임계치를 초과한 적어도 하나를 피드백할 수 있다.

[0149] 도 7은 본 발명의 다른 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 단말의 동작 절차를 도시한다.

[0150] 상기 도 7을 참고하면, 상기 단말은 701단계에서 프리코딩된 데이터 신호 및 기준 신호를 수신한다. 상기 기준 신호는 사용자 특정된 기준 신호를 포함할 수 있다. 상기 프리코딩은 상기 기지국에 의해 결정된 빔포밍 벡터에 의해 수행된다.

[0151] 이어, 상기 단말은 703단계로 진행하여 상기 단말로의 의도한 신호를 디코딩(decoding)한다. 다시 말해, 상기 단말은 상기 기준 신호를 이용하여 상기 단말로의 의도한 신호를 판단하고, 상기 데이터 신호를 디코딩한다.

[0152] 도 8은 본 발명의 다른 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 기지국의 동작 절차를 도시한다.

[0153] 상기 도 8을 참고하면, 상기 기지국은 801단계에서 빔포밍 벡터의 갱신이 필요한지 판단한다. 긴-주기 채널 통계의 변화량이 임계치를 초과하는 경우, 상기 빔포밍 벡터의 갱신이 필요하다 판단될 수 있다. 이를 위해, 상기 기지국이 상기 긴주기 채널 통계 정보를 측정할 수 있다. 또는, 상기 기지국은 단말로부터 상기 긴-주기 채널 통계 정보가 피드백되면, 긴-주기 채널 통계의 변화량이 임계치를 초과함을 판단할 수 있다.

[0154] 상기 빔포밍 벡터의 갱신이 필요하면, 상기 기지국은 803단계로 진행하여 적어도 하나의 다른 기지국과 상기 긴-주기 채널 통계 정보를 교환한다. 여기서, 상기 긴-주기 채널 통계 정보는 SNR 및 채널 공분산 중 적어도 하나를 포함한다.

[0155] 이어, 상기 기지국은 805단계로 진행하여 누출 계수 및 빔포밍 벡터를 결정한다. 상기 기지국은 상기 기지국의 셀 내에 위치한 단말에 대한 긴-주기 채널 통계 정보 및 다른 셀에 위치한 단말에 대한 긴-주기 채널 통계 정보에 기초하여 상기 누출 계수를 결정한다. 예를 들어, 상기 누출 계수는 상기 <수학식 7> 또는 상기 <수학식 31>에 따라 결정될 수 있다. 다른 예로, 상기 기지국은 미리 정의한 테이블을 이용하여 상기 누출 계수를 결정할 수 있다. 그리고, 상기 기지국은 상기 누출 계수를 이용하여 상기 적어도 하나의 단말을 위한 빔포밍 벡터를 결정한다. 예를 들어, 상기 빔포밍 벡터는 상기 <수학식 4>와 같이 결정될 수 있다.

[0156] 상기 도 8에 도시되지 아니하였으나, 상기 기지국은 상기 빔포밍 벡터를 이용하여 상기 단말로 송신되는 데이터 신호를 빔포밍하고, 빔포밍된 데이터 신호를 송신할 수 있다. 나아가, 상기 기지국은 기준 신호를 송신할 수 있다.

[0157] 도 9는 본 발명의 또 다른 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 단말의 동작 절차를 도시한다.

[0158] 상기 도 9를 참고하면, 상기 단말은 901단계에서 긴-주기 채널 통계 정보를 결정한다. 상기 긴-주기 채널 통계는 다수의 시점에서 수집된 순시적 채널 파라미터들로부터 결정되는 채널 정보이다. 따라서, 상기 긴-주기 채널 통계는 긴-주기 동안 수집된 순시적 채널 정보로부터 결정될 수 있다. 상기 긴-주기 채널 통계는 SNR 및 채널 공분산 중 적어도 하나를 포함한다.

[0159] 상기 단말은 903단계로 진행하여 빔포밍 벡터의 갱신이 필요한지 판단한다. 상기 긴-주기 채널 통계의 변화량이 임계치를 초과하는 경우, 상기 빔포밍 벡터의 갱신이 필요하다 판단될 수 있다. 따라서, 상기 단말은 이전 긴-주기의 구간에서 결정된 긴-주기 채널 통계와 비교함으로써 채널 변화량을 판단한다.

[0160] 상기 빔포밍 벡터의 갱신이 필요하면, 상기 단말은 905단계로 진행하여 상기 긴-주기 채널 통계 정보를 기지국으로 피드백한다. 이때, 상기 단말은 상기 채널 공분산 및 상기 SNR 모두를 피드백하거나, 또는, 임계치를 초과한 적어도 하나를 피드백할 수 있다.

[0161] 이후, 상기 도 9에 도시되지 아니하였으나, 상기 단말은 상기 기지국으로부터 빔포밍된 데이터 신호를 수신한다. 상기 데이터 신호는 상기 피드백된 긴-주기 채널 통계 정보에 의해 결정된 빔포밍 벡터에 의해 빔포밍된다. 또한, 상기 데이터 신호에 더하여, 상기 단말은 기준 신호를 더 수신할 수 있다.

[0162] 도 10은 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 기지국의 블록 구성을 도시한다.

[0163] 상기 도 10에 도시된 바와 같이, 상기 기지국은 RF(Radio Frequency)처리부(1010), 기저대역(baseband)처리부(1020), 백홀통신부(1030), 저장부(1040), 제어부(1050)를 포함하여 구성된다.

[0164] 상기 RF처리부(1010)는 신호의 대역 변환, 증폭 등 무선 채널을 통해 신호를 송수신하기 위한 기능을 수행한다. 즉, 상기 RF처리부(1010)는 상기 기저대역처리부(1020)로부터 제공되는 기저대역 신호를 RF 대역 신호로 상향변환한 후 안테나를 통해 송신하고, 상기 안테나를 통해 수신되는 RF 대역 신호를 기저대역 신호로 하향변환한다. 예를 들어, 상기 RF처리부(1010)는 송신 필터, 수신 필터, 증폭기, 믹서(mixer), 오실레이터(oscillator), DAC(Digital to Analog Convertor), ADC(Analog to Digital Convertor) 등을 포함할 수 있다. 상기 RF처리부(1010)는 다수의 RF 체인들을 포함할 수 있다.

[0165] 상기 기저대역처리부(1020)는 시스템의 물리 계층 규격에 따라 기저대역 신호 및 비트열 간 변환 기능을 수행한다. 예를 들어, 데이터 송신 시, 상기 기저대역처리부(1020)은 송신 비트열을 부호화 및 변조함으로써 복소 심벌들을 생성한다. 또한, 데이터 수신 시, 상기 기저대역처리부(1020)은 상기 RF처리부(1010)로부터 제공되는 기저대역 신호를 복조 및 복호화를 통해 수신 비트열을 복원한다. 예를 들어, OFDM(Orthgonal Frequency

Division Multiplexing) 방식에 따르는 경우, 데이터 송신 시, 상기 기저대역처리부(1020)은 송신 비트열을 부호화 및 변조함으로써 복소 심벌들을 생성하고, 상기 복소 심벌들을 부반송파들에 매핑한 후, IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 연산 및 CP(Cyclic Prefix) 삽입을 통해 OFDM 심벌들을 구성한다. 또한, 데이터 수신 시, 상기 기저대역처리부(1020)은 상기 RF처리부(1010)로부터 제공되는 기저대역 신호를 OFDM 심벌 단위로 분할하고, FFT(Fast Fourier Transform) 연산을 통해 부반송파들에 매핑된 신호들을 복원한 후, 복조 및 복호화를 통해 수신 비트열을 복원한다. 또한, 상기 기저대역처리부(1020)는 빔포밍을 수행하는 프리코더(precoder)(1022)를 포함한다. 상기 프리코더(1022)는 상기 제어부(1050)에 의해 결정된 빔포밍 벡터를 송신 데이터에 곱함으로써 프리코딩을 수행한다.

[0166] 상기 기저대역처리부(1020) 및 상기 RF처리부(1010)는 상술한 바와 같이 신호를 송신 및 수신한다. 이에 따라, 상기 기저대역처리부(1020) 및 상기 RF처리부(1010)는 송신부, 수신부, 송수신부, 통신부 또는 무선 통신부로 지칭될 수 있다.

[0167] 상기 백홀통신부(1030)는 네트워크 내 다른 노드들과 통신을 수행하기 위한 인터페이스를 제공한다. 즉, 상기 백홀통신부(1030)는 상기 기지국에서 다른 노드, 예를 들어, 다른 기지국으로 송신되는 비트열을 물리적 신호로 변환하고, 상기 다른 기지국으로부터 수신되는 물리적 신호를 비트열로 변환한다.

[0168] 상기 저장부(1040)는 상기 기지국의 동작을 위한 기본 프로그램, 설정 정보 등의 데이터를 저장한다. 특히, 본 발명의 일 실시 예에 따라, 상기 저장부(1040)는 입력 변수들에 대응하는 누출 계수들을 미리 정의한 테이블을 저장할 수 있다. 여기서, 상기 입력 변수는 긴-주기 채널 통계 정보, 기지국의 안테나 개수 중 적어도 하나를 포함한다. 그리고, 상기 저장부(1040)는 상기 제어부(1050)의 요청에 따라 저장된 데이터를 제공한다.

[0169] 상기 제어부(1050)는 상기 기지국의 전반적인 동작들을 제어한다. 예를 들어, 상기 제어부(1040)는 상기 기저대역처리부(1020) 및 상기 RF처리부(1010)을 통해 또는 상기 백홀통신부(1030)을 통해 신호를 송수신한다. 또한, 상기 제어부(1040)는 상기 저장부(1040)에 데이터를 기록하고, 읽는다. 이를 위해, 상기 제어부(1040)는 적어도 하나의 프로세서(processor)를 포함할 수 있다. 본 발명의 실시 예에 따라, 상기 제어부(1050)는 빔포밍 벡터를 결정하기 위해 필요한 누출 계수를 결정하는 누출계수결정부(1052), 상기 누출 계수를 이용하여 빔포밍 벡터를 결정하는 빔포밍벡터결정부(1054)를 포함한다. 예를 들어, 상기 제어부(1050)는 상기 기지국이 상기 도 5 또는 상기 도 8에 도시된 절차를 수행하도록 제어할 수 있다. 본 발명의 실시 예에 따른 상기 제어부(1050)의 동작은 다음과 같다.

[0170] 본 발명의 일 실시 예에 따라, 상기 제어부(1050)는 적어도 하나의 단말로부터 수신되는 채널에 관련된 피드백 정보를 통해, 또는, 상기 적어도 하나의 단말로부터 송신되는 신호에 대한 측정을 통해, 상기 적어도 하나의 단말에 대한 순시 채널 정보를 획득한다. 그리고, 상기 제어부(1050)는 긴-주기 동안 수집된 순시적 채널 정보에 기초하여 긴-주기 채널 통계를 산출하고, 이전 긴-주기의 구간에서 결정된 긴-주기 채널 통계와 비교함으로써 채널 변화량을 판단한다. 여기서, 상기 긴-주기 채널 통계는 SNR 및 채널 공분산 중 적어도 하나를 포함한다. 만일, 상기 채널 변화량이 임계치를 초과하면, 상기 제어부(1050)는 상기 백홀통신부(1030)를 통해 적어도 하나의 다른 기지국과 긴-주기 채널 통계 정보를 교환한 후, 상기 긴-주기 채널 통계 정보에 기초하여 상기 적어도 하나의 단말에 대한 누출 계수를 갱신한다. 예를 들어, 상기 누출 계수는 상기 <수학식 7> 또는 상기 <수학식 31>에 따라 결정될 수 있다. 다른 예로, 상기 제어부(1050)는 상기 저장부(1040)에 저장된 미리 정의한 테이블을 이용하여 상기 누출 계수를 결정할 수 있다. 그리고, 상기 제어부(1050)는 상기 누출 계수를 이용하여 상기 적어도 하나의 단말을 위한 빔포밍 벡터를 결정한다. 예를 들어, 상기 빔포밍 벡터는 상기 <수학식 4>와 같이 결정될 수 있다. 이후, 상기 제어부(1050)는 상기 빔포밍 벡터에 따라 빔포밍을 수행하도록 상기 프리코더(1022)를 제어한다.

[0171] 본 발명의 일 실시 예에 따라, 상기 제어부(1050)는 단말로부터의 통지에 따라 상기 누출 계수의 갱신 여부를 판단할 수 있다. 이 경우, 상기 제어부(1050)는 상기 단말로부터 긴-주기 채널 통계 정보가 피드백되면 상기 누출 계수의 갱신이 필요하다 판단한다. 이에 따라, 상기 제어부(1050)는 상기 적어도 하나의 다른 기지국들과 상기 긴-주기 채널 통계 정보를 교환하고, 상기 누출 계수를 새로이 결정하고, 상기 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.

[0172] 도 11은 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 단말의 블록 구성을 도시한다.

[0173] 상기 도 11을 참고하면, 상기 단말은 RF처리부(1110), 기저대역처리부(1120), 저장부(1130), 제어부(1140)를 포

함한다.

[0174] 상기 RF처리부(1110)는 신호의 대역 변환, 증폭 등 무선 채널을 통해 신호를 송수신하기 위한 기능을 수행한다. 즉, 상기 RF처리부(1110)는 상기 기저대역처리부(1120)로부터 제공되는 기저대역 신호를 RF 대역 신호로 상향변환한 후 안테나를 통해 송신하고, 상기 안테나를 통해 수신되는 RF 대역 신호를 기저대역 신호로 하향변환한다. 예를 들어, 상기 RF처리부(1110)는 송신 필터, 수신 필터, 증폭기, 믹서, 오실레이터, DAC, ADC 등을 포함할 수 있다. 상기 도 11에서, 하나의 안테나만이 도시되었으나, 상기 단말은 다수의 안테나들을 구비할 수 있다.

[0175] 상기 기저대역처리부(1120)은 시스템의 물리 계층 규격에 따라 기저대역 신호 및 비트열 간 변환 기능을 수행한다. 예를 들어, 데이터 송신 시, 상기 기저대역처리부(1120)은 송신 비트열을 부호화 및 변조함으로써 복소 심벌들을 생성한다. 또한, 데이터 수신 시, 상기 기저대역처리부(1120)은 상기 RF처리부(1110)로부터 제공되는 기저대역 신호를 복조 및 복호화를 통해 수신 비트열을 복원한다. 예를 들어, OFDM 방식에 따르는 경우, 데이터 송신 시, 상기 기저대역처리부(1120)는 송신 비트열을 부호화 및 변조함으로써 복소 심벌들을 생성하고, 상기 복소 심벌들을 부반송파들에 매핑한 후, IFFT 연산 및 CP 삽입을 통해 OFDM 심벌들을 구성한다. 또한, 데이터 수신 시, 상기 기저대역처리부(1120)은 상기 RF처리부(1110)로부터 제공되는 기저대역 신호를 OFDM 심벌 단위로 분할하고, FFT 연산을 통해 부반송파들에 매핑된 신호들을 복원한 후, 복조 및 복호화를 통해 수신 비트열을 복원한다.상기 기저대역처리부(1120) 및 상기 RF처리부(1110)는 상술한 바와 같이 신호를 송신 및 수신한다. 이에 따라, 상기 기저대역처리부(1120) 및 상기 RF처리부(1110)는 송신부, 수신부, 송수신부 또는 통신부로 지칭될 수 있다.

[0176] 상기 저장부(1130)는 상기 단말의 동작을 위한 기본 프로그램, 응용 프로그램, 설정 정보 등의 데이터를 저장한다. 그리고, 상기 저장부(1130)는 상기 제어부(1140)의 요청에 따라 저장된 데이터를 제공한다.

[0177] 상기 제어부(1140)는 상기 단말의 전반적인 동작들을 제어한다. 예를 들어, 상기 제어부(1140)는 상기 기저대역처리부(1120) 및 상기 RF처리부(1110)를 통해 신호를 송수신한다. 또한, 상기 제어부(1140)는 상기 저장부(1140)에 데이터를 기록하고, 읽는다. 이를 위해, 상기 제어부(1140)는 적어도 하나의 프로세서를 포함할 수 있다. 본 발명의 실시 예에 따라, 상기 제어부(1140)는 기지국으로 채널 정보의 피드백 여부를 판단하고, 피드백할 채널 정보를 생성하는 채널정보관리부(1142)를 포함한다. 예를 들어, 상기 제어부(1140)는 상기 단말이 상기 도 6, 상기 도 7 또는 상기 도 9에 도시된 절차를 수행하도록 제어할 수 있다. 본 발명의 실시 예에 따른 상기 제어부(1140)의 동작은 다음과 같다.

[0178] 본 발명의 일 실시 예에 따라, 상기 제어부(1140)는 긴-주기 채널 통계 정보를 측정한다. 상기 긴-주기 채널 통계는 긴-주기 동안 수집된 순시적 채널 정보로부터 결정될 수 있다. 상기 긴-주기 채널 통계는 SNR 및 채널 공분산 중 적어도 하나를 포함한다. 그리고, 상기 제어부(1140)는 이전 긴-주기의 구간에서 결정된 긴-주기 채널 통계와 비교함으로써 채널 변화량을 판단한다. 만일, 상기 채널 변화량이 임계치를 초과하면, 상기 제어부(1140)는 상기 긴-주기 채널 통계 정보를 기지국으로 피드백한다. 이때, 상기 제어부(1140)는 상기 채널 공분산 및 상기 SNR 모두를 피드백하거나, 또는, 임계치를 초과한 적어도 하나를 피드백할 수 있다.

[0179] 도 12 내지 도 14는 본 발명의 실시 예에 따른 빔포밍 기법의 성능을 도시한다. 상기 도 12는 반복(iteration) 횟수에 따른 가중치-합 전송률을, 상기 도 13은 단일 사용자 환경에서 종래의 기법 및 본 발명에 대한 SNR에 따른 가중치-합 전송률을, 상기 도 14는 다중 사용자 환경에서 종래의 기법 및 본 발명에 대한 SNR에 따른 가중치-합 전송률을 나타낸다.

[0180] 상기 도 12를 참고하면, 본 발명의 실시 예에 따른 기법의 수렴 속도가 확인된다. 즉, SNR 및 초기 누출 계수와 무관하게, 2회의 반복 내에서 최적의 값으로 수렴됨이 확인된다.

[0181] 상기 도 13을 참고하면, 단일 사용자 환경에서 본 발명의 실시 예에 따른 기법과 종래의 기법들의 가중치-합 전송률이 비교된다. 상기 도 13에 나타난 바와 같이, 종래의 최적 기법에 대비한 본 발명의 실시 예에 따른 기법의 성능 열화는 다른 종래의 기법들에 비하여 현저하게 적다. 다시 말해, 본 발명의 실시 예에 따른 기법은 최적의 기법과 유사한 성능을 보인다.

[0182] 상기 도 14를 참고하면, 다중 사용자 환경에서 본 발명의 실시 예에 따른 기법과 종래의 기법들의 가중치-합 전송률이 비교된다. 본 발명의 실시 예에 따른 기법은 균등 전력 할당의 경우 및 워터-필링 전력 할당의 경우로 구분된다. 상기 도 14에 나타난 바와 같이, 종래의 기법에 비하여 큰 성능 열화가 없음이 확인된다.

[0183] 본 발명의 청구항 또는 명세서에 기재된 실시 예들에 따른 방법들은 하드웨어, 소프트웨어, 또는 하드웨어와 소프트웨어의 조합의 형태로 구현될(implemented) 수 있다.

[0184] 소프트웨어로 구현하는 경우, 하나 이상의 프로그램(소프트웨어 모듈)을 저장하는 컴퓨터 판독 가능 저장 매체가 제공될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 저장 매체에 저장되는 하나 이상의 프로그램은, 전자 장치(device) 내의 하나 이상의 프로세서에 의해 실행 가능하도록 구성된다(configured for execution). 하나 이상의 프로그램은, 전자 장치로 하여금 본 발명의 청구항 또는 명세서에 기재된 실시 예들에 따른 방법들을 실행하게 하는 명령어(instructions)를 포함한다.

[0185] 이러한 프로그램(소프트웨어 모듈, 소프트웨어)은 랜덤 액세스 메모리 (random access memory), 플래시(flash) 메모리를 포함하는 불휘발성(non-volatile) 메모리, 롬(ROM: Read Only Memory), 전기적 삭제가능 프로그램가능 롬(EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read Only Memory), 자기 디스크 저장 장치(magnetic disc storage device), 컴팩트 디스크 롬(CD-ROM: Compact Disc-ROM), 디지털 다목적 디스크(DVDs: Digital Versatile Discs) 또는 다른 형태의 광학 저장 장치, 마그네틱 카세트(magnetic cassette)에 저장될 수 있다. 또는, 이들의 일부 또는 전부의 조합으로 구성된 메모리에 저장될 수 있다. 또한, 각각의 구성 메모리는 다수개 포함될 수도 있다.

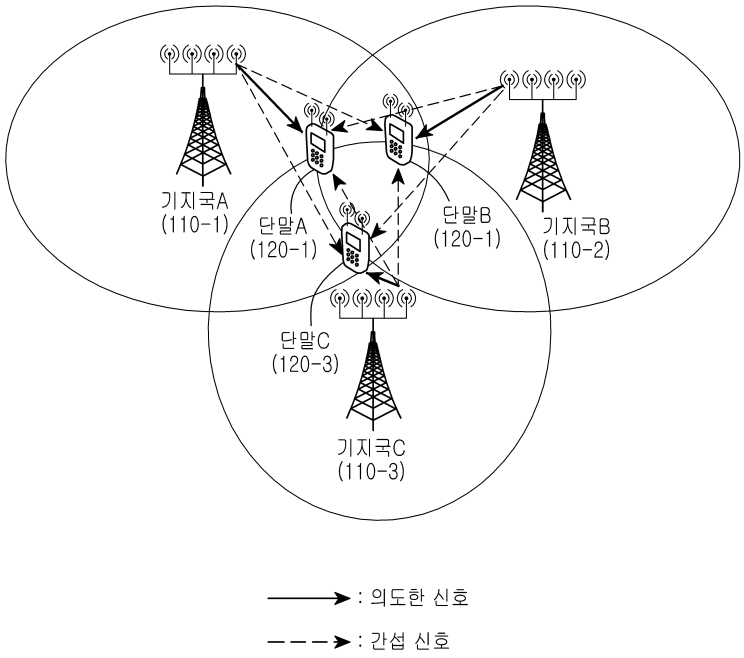
[0186] 또한, 상기 프로그램은 인터넷(Internet), 인트라넷(Intranet), LAN(Local Area Network), WLAN(Wide LAN), 또는 SAN(Storage Area Network)과 같은 통신 네트워크, 또는 이들의 조합으로 구성된 통신 네트워크를 통하여 접근(access)할 수 있는 부착 가능한(attachable) 저장 장치(storage device)에 저장될 수 있다. 이러한 저장 장치는 외부 포트를 통하여 본 발명의 실시 예를 수행하는 장치에 접속할 수 있다. 또한, 통신 네트워크상의 별도의 저장장치가 본 발명의 실시 예를 수행하는 장치에 접속할 수도 있다.

[0187] 상술한 본 발명의 구체적인 실시 예들에서, 발명에 포함되는 구성 요소는 제시된 구체적인 실시 예에 따라 단수 또는 복수로 표현되었다. 그러나, 단수 또는 복수의 표현은 설명의 편의를 위해 제시한 상황에 적합하게 선택된 것으로서, 본 발명이 단수 또는 복수의 구성 요소에 제한되는 것은 아니며, 복수로 표현된 구성 요소라하더라도 단수로 구성되거나, 단수로 표현된 구성 요소라 하더라도 복수로 구성될 수 있다.

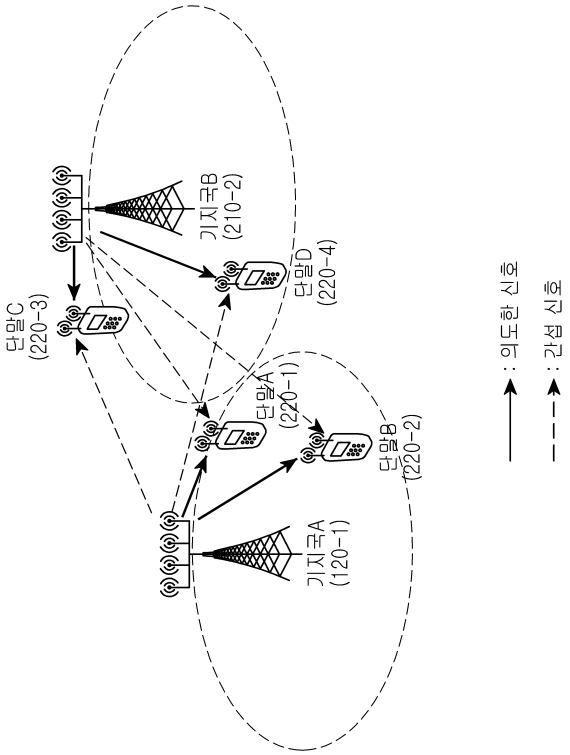
[0188] 한편 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 아니 되며 후술하는 특허청구의 범위뿐만 아니라 이 특허청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면

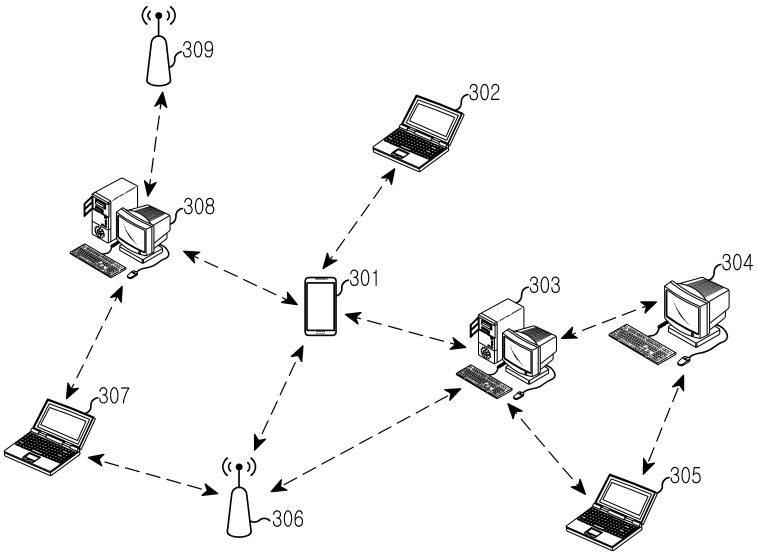
도면1


기지국A
(110-1)
단말A
(120-1)
단말B
(120-1)
기지국B
(110-2)
단말C
(120-3)
기지국C
(110-3)
: 의도한 신호
: 간섭 신호

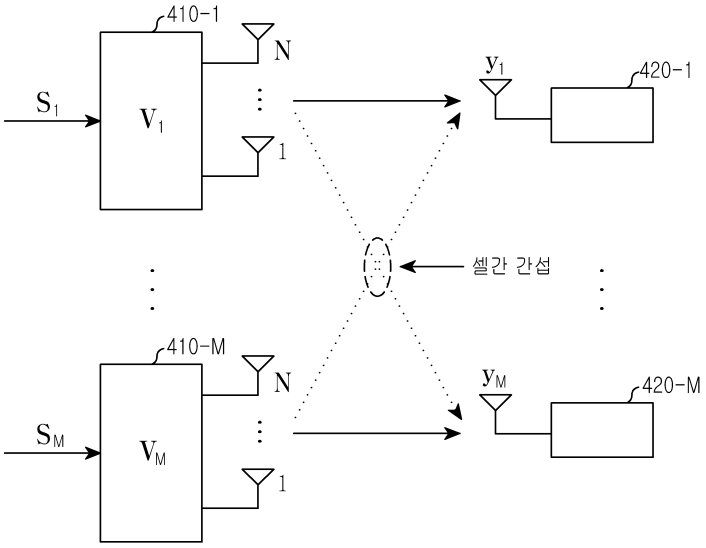
도면2


기지국B
(210-2)
단말D
(220-4)
단말C
(220-3)
단말A
(220-1)
단말B
(220-2)
기지국A
(120-1)
: 의도한 신호
: 간섭 신호

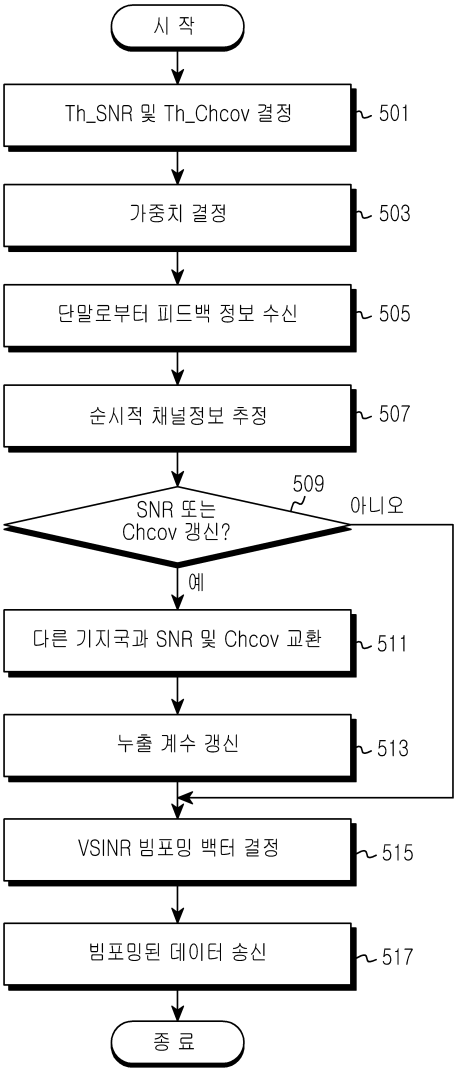
도면3


309
302
308
301
303
304
307
306
305

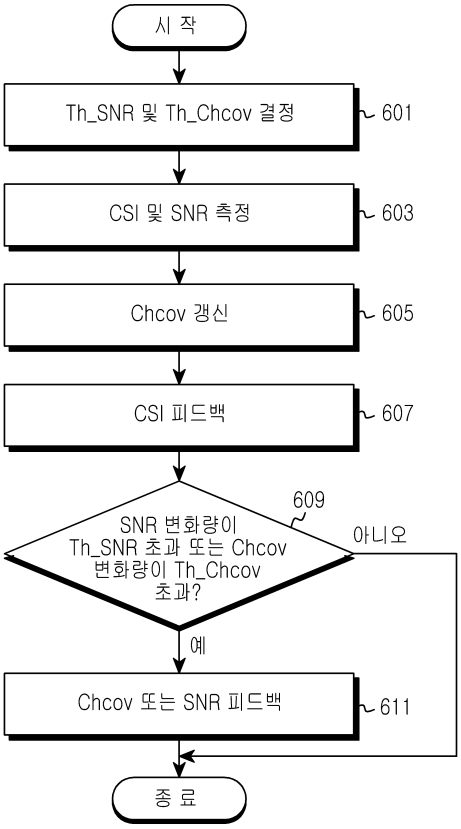
도면4


410-1
N
1
S1
V1
y1
420-1
셀간 간섭
410-M
N
1
SM
VM
yM
420-M

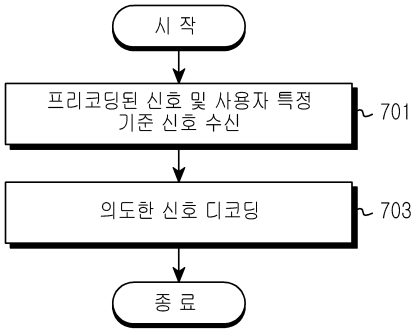
도면5


시 작
Th_SNR 및 Th_Chcov 결정
501
가중치 결정
503
단말로부터 피드백 정보 수신
505
순시적 채널정보 추정
507
509
SNR 또는
Chcov 갱신?
아니오
예
다른 기지국과 SNR 및 Chcov 교환
511
누출 계수 갱신
513
VSINR 빔포밍 백터 결정
515
빔포밍된 데이터 송신
517
종 료

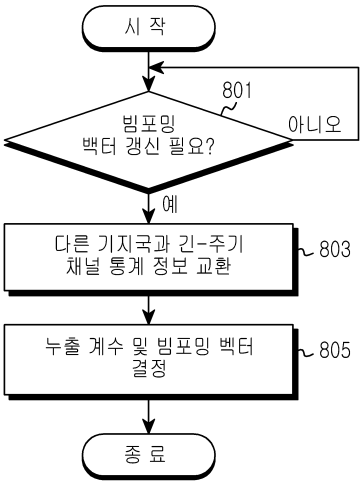
도면6


시 작
Th_SNR 및 Th_Chcov 결정
601
CSI 및 SNR 측정
603
Chcov 갱신
605
CSI 피드백
607
609
SNR 변화량이 Th_SNR 초과 또는 Chcov 변화량이 Th_Chcov 초과?
아니오
예
Chcov 또는 SNR 피드백
611
종 료

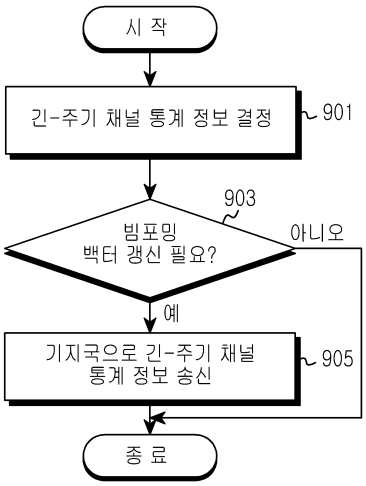
도면7


시 작
프리코딩된 신호 및 사용자 특정 기준 신호 수신
701
의도한 신호 디코딩
703
종 료

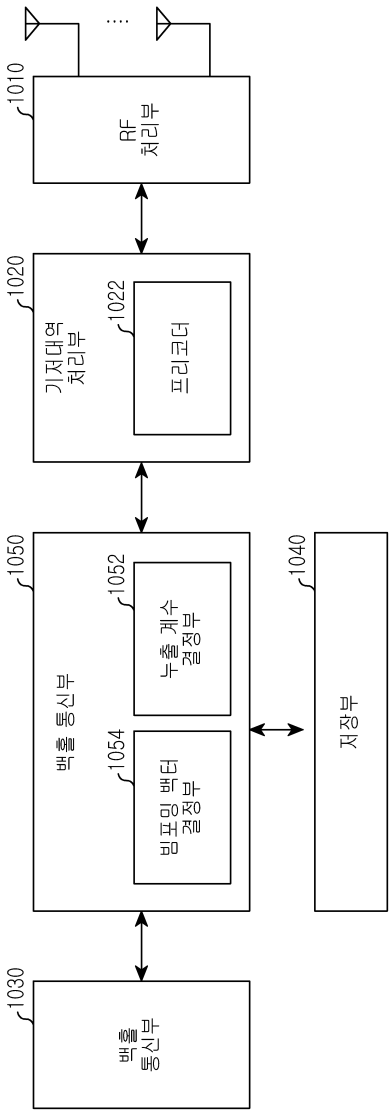
도면8


시 작
801
빔포밍
백터 갱신 필요?
아니오
예
다른 기지국과 긴-주기
채널 통계 정보 교환
803
누출 계수 및 빔포밍 벡터
결정
805
종 료

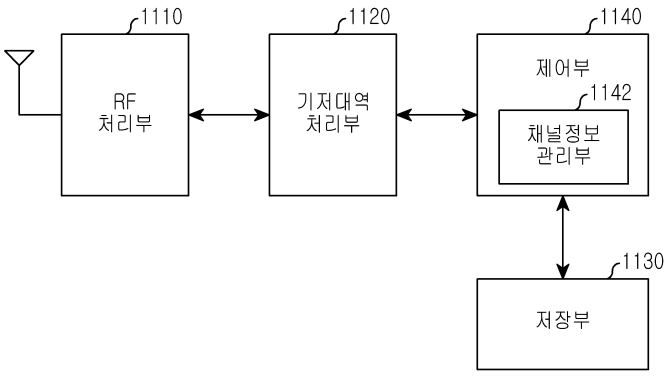
도면9


시 작
긴-주기 채널 통계 정보 결정
901
903
빔포밍
백터 갱신 필요?
아니오
예
기지국으로 긴-주기 채널
통계 정보 송신
905
종 료

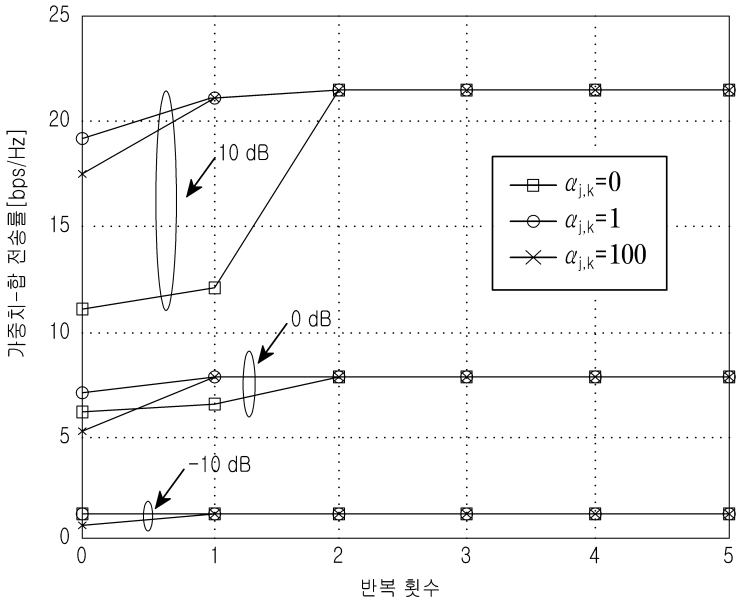
도면10


1010
RF
처리부
1020
기저대역
처리부
1022
프리코더
1050
백홀 통신부
1052
누출 계수
결정부
1054
빔포밍 벡터
결정부
1040
저장부
1030
백홀
통신부

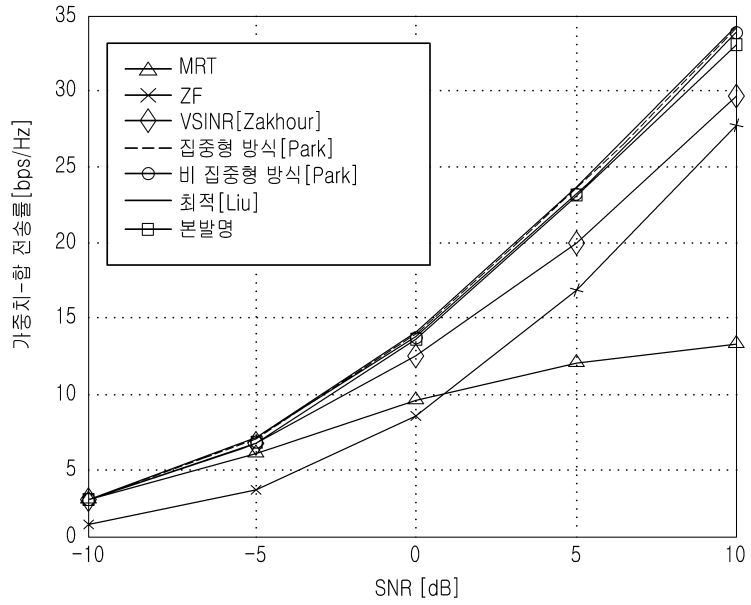
도면11


1110
RF
처리부
1120
기저대역
처리부
1140
제어부
1142
채널정보
관리부
1130
저장부

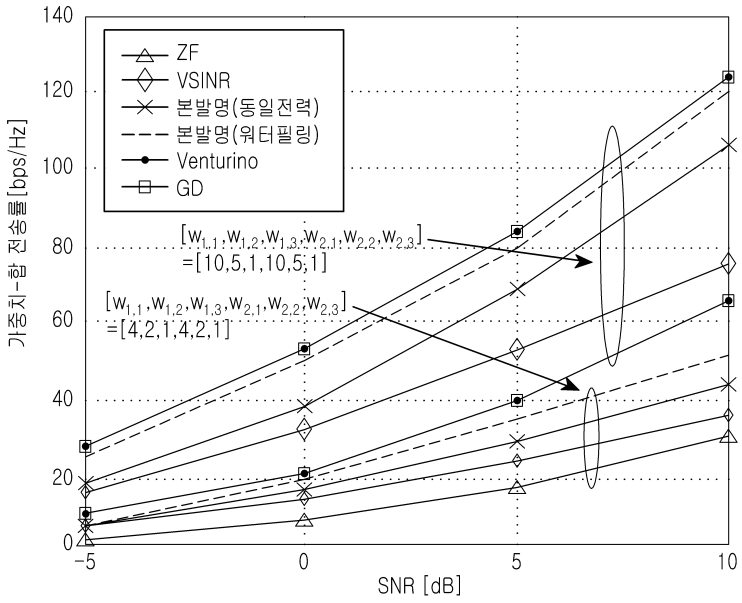
도면12


25
20
15
10
5
0
0
1
2
3
4
5
가중치-합 전송률[bps/Hz]
반복 횟수
10 dB
0 dB
-10 dB
$\alpha_{j,k}$=0
$\alpha_{j,k}$=1
$\alpha_{j,k}$=100

도면13


35
30
25
20
15
10
5
0
-10
-5
0
5
10
가중치-합 전송률[bps/Hz]
SNR [dB]
MRT
ZF
VSINR[Zakhour]
집중형 방식[Park]
비 집중형 방식[Park]
최적[Liu]
본발명

도면14


140
120
100
80
60
40
20
0
−5
0
5
10
SNR [dB]
가중치-합 전송률 [bps/Hz]
ZF
VSINR
본발명(동일전력)
본발명(워터필링)
Venturino
GD
[w1,1,w1,2,w1,3,w2,1,w2,2,w2,3]
=[10,5,1,10,5,1]
[w1,1,w1,2,w1,3,w2,1,w2,2,w2,3]
=[4,2,1,4,2,1]