(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0027945
(43) 공개일자 2010년03월11일

(51) Int. Cl.
H04B 7/04 (2006.01) *H04W 48/08* (2009.01)
(21) 출원번호 10-2009-0041534
(22) 출원일자 2009년05월13일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
61/093,510 2008년09월02일 미국(US)
(뒷면에 계속)

(71) 출원인
엘지전자 주식회사
서울특별시 영등포구 여의도동 20번지
서강대학교산학협력단
서울 마포구 신수동 1-1 서강대학교
(72) 발명자
성원진
서울 서초구 잠원동 60-7 녹원한신아파트 101-505
조준호
경기도 안양시 동안구 호계1동 LG연구소
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
양문옥

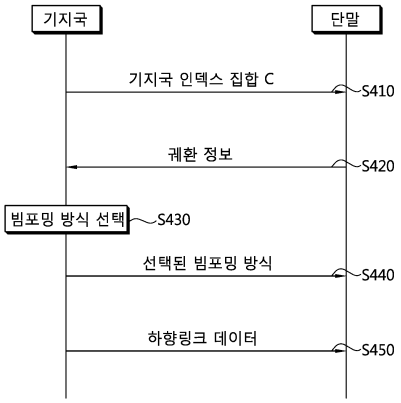
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 다중 셀 협력에 기반하는 데이터 전송 방법 및 장치

(57) 요 약

다중 셀 협력에 기반하는 데이터 전송 방법이 제공된다. 상기 방법은 단말에게 협조적 전송에 참여하는 인접 셀들에 관한 정보를 전송하는 단계, 기 단말로부터 다중 셀 협력을 위한 빔포밍 방식의 선택을 위한 궤환 정보를 수신하되, 상기 궤환 정보는 상기 인접 셀들로 인한 외부 간섭의 통계적 정보를 포함하는 단계, 상기 궤환 정보를 기반으로 상기 단말에 대한 빔포밍 방식을 선택하는 단계, 상기 선택된 빔포밍 방식에 해당하는 빔포밍 벡터를 생성하는 단계, 및 상기 빔포밍 벡터가 적용된 데이터를 상기 단말에게 전송하는 단계를 포함한다.

대 표 도 - 도4



(72) 발명자

강병우

경기도 안양시 동안구 호계1동 LG연구소

김재원

경기도 김포시 고촌면 신곡리 수기마을힐스테이트 아파트 219-601

장재원

경기 고양시 일산동구 백석동 백송마을7단지아파트 임광아파트 705동 1205호

양석철

경기도 안양시 동안구 호계1동 LG연구소

김세진

서울특별시 광진구 광장동 극동아파트 7동 906호

(30) 우선권주장

61/104,348 2008년10월10일 미국(US)

61/110,928 2008년11월03일 미국(US)

특허청구의 범위

청구항 1

다중 셀 협력에 기반하는 데이터 전송 방법에 있어서,

단말에게 협조적 전송에 참여하는 인접 셀들에 관한 정보를 전송하는 단계;

상기 단말로부터 다중 셀 협력을 위한 빔포밍 방식의 선택을 위한 궤환 정보를 수신하되, 상기 궤환 정보는 상기 인접 셀들로 인한 외부 간섭의 통계적 정보를 포함하는 단계;

상기 궤환 정보를 기반으로 상기 단말에 대한 빔포밍 방식을 선택하는 단계;

상기 선택된 빔포밍 방식에 해당하는 빔포밍 벡터를 생성하는 단계; 및

상기 빔포밍 벡터가 적용된 데이터를 상기 단말에게 전송하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 궤환 정보는 상기 단말이 원하는 QoS(Quality of Service)에 관한 정보를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 QoS에 관한 정보는 특정 전송률을 보장받기 위한 최소한의 SINR(Signal-to-interference Noise Ratio)인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 빔포밍 방식은 상기 외부 간섭의 통계적 정보의 정확도를 기반으로 선택되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 선택된 빔포밍 방식을 상기 단말에게 알려주는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 선택된 빔포밍 방식은 사용자간 간섭 완화를 고려하는 방식, 사용자간 간섭 와화 및 SINR 최대화를 고려한 방식 및 다중 사용자의 전송률 합을 최대화하는 방식 중 하나인 것을 특징으로 하는 방법.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 무선 통신에 관한 것으로, 구체적으로는 무선 통신 시스템에서 다중 셀 협력에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] MIMO(Multiple-Input and Multiple-Output) 시스템은 공간 다중화 이득 및 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 전송기법을 사용함으로써 전송 효율을 증대하고 통신 신호 품질을 향상시킨다. 일반적인 MIMO 시스템에 대한 기술은 점대점(point-to-point) 통신을 기반으로 하고 있으며, 다수 개의 안테나를 갖는 하나의 기지국과 다수 개의

안테나를 갖는 하나의 단말간의 링크를 고려하여 다이버시티 이득을 증대하거나 공간 다중화율을 높이는 방법을 통해 성능을 향상시킨다. 다이버시티 이득을 최대로 얻기 위한 방법으로는 기지국과 단말 간의 채널 행렬의 특이값(singular value) 분해(decomposition)를 통해 얻은 최대 특이 벡터를 송신 빔포밍 벡터로 사용하는 것이 있다.

[0003] 최근 다수 사용자들의 신호를 동시에 전송하는 점대다(point-to-multipoint) 통신 방식이 주목 받고 있다. 이는 다수 개의 안테나를 갖는 하나의 기지국과 적어도 하나의 안테나를 갖는 다수 개의 단말간의 링크를 고려하는 방식이다. 점대점에 기반한 MIMO를 SU-MIMO(single user MIMO)리고 하는 데 반해, 점대다에 기반한 MIMO를 MU-MIMO(multi-user MIMO)라고 한다.

[0004] 최근에는 복수의 기지국의 협력 통신을 이용하여 다이버시티 이득(Diversity Gain)을 얻을 수 있는 다중 셀 협력 시스템(Multi-cell Cooperative system)에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다. 다중 셀 협력 시스템은 셀 커버리지의 확장(Cell Coverage Extension), 데이터 처리율 향상(Throughput Enhancement), 셀 경계 지역에서의 성능 향상 등을 제공하기 위하여 도입되고 있다.

[0005] 다중 셀 협력 시스템에서, MU-MIMO를 구현하기 위해서는 사용자간 간섭 제어가 필요하다. 일반적인 MU-MIMO는 사용자간 간섭 제어를 수반하지만, 다중 셀 협력으로 인한 인접 기지국으로부터의 간섭을 고려하지 못하고 있다. 또한, 사용자간 간섭 제거만을 고려할 경우 사용자의 신호 품질이 낮아질 수 있다.

[0006] 다중 셀 협력 시스템에서 신호 품질을 높이고 사용자간 간섭을 줄일 수 있는 기법이 필요하다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0007] 본 발명은 이루고자 하는 기술적 과제는 다중 셀 협력 시스템에서 사용자간간섭을 완화한 데이터 전송 방법 및 장치를 제공하는 데 있다.

과제 해결수단

[0008] 일 양태에 있어서, 다중 셀 협력에 기반하는 데이터 전송 방법이 제공된다. 상기 방법은 단말에게 협조적 전송에 참여하는 인접 셀들에 관한 정보를 전송하는 단계, 기 단말로부터 다중 셀 협력을 위한 빔포밍 방식의 선택을 위한 궤환 정보를 수신하되, 상기 궤환 정보는 상기 인접 셀들로 인한 외부 간섭의 통계적 정보를 포함하는 단계, 상기 궤환 정보를 기반으로 상기 단말에 대한 빔포밍 방식을 선택하는 단계, 상기 선택된 빔포밍 방식에 해당하는 빔포밍 벡터를 생성하는 단계, 및 상기 빔포밍 벡터가 적용된 데이터를 상기 단말에게 전송하는 단계를 포함한다.

[0009] 상기 빔포밍 방식은 상기 외부 간섭의 통계적 정보의 정확도를 기반으로 선택될 수 있다. 상기 선택된 빔포밍 방식은 사용자간 간섭 완화를 고려하는 방식, 사용자간 간섭 완화 및 SINR 최대화를 고려한 방식 및 다중 사용자의 전송률 합을 최대화하는 방식 중 하나일 수 있다.

효 과

[0010] 다중 셀 협력 시스템에서 단말간의 간섭을 줄일 수 있다. 다중 셀 협력 시스템에서 MU-MIMO를 구현할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0011] 이하의 방법, 장치 및 기술은 CDMA(code division multiple access), FDMA(frequency division multiple access), TDMA(time division multiple access), OFDMA(orthogonal frequency division multiple access), SC-FDMA(single carrier frequency division multiple access) 등과 같은 다양한 무선 접속 기술에 적용될 수 있다. 무선 접속 기술은 다양한 무선 통신 표준 시스템으로 구현될 수 있다. WCDMA(Wideband CDMA)는 3GPP(3rd Generation Partnership Project) 표준화 기구에 의한 UTRAN(Universal Terrestrial Radio Access Network)와 같은 무선 기술로 구현될 수 있다. CDMA2000는 CDMA에 기반한 무선 기술이다. 3GPP2(3rd Generation Partnership Project 2) 표준화 기구에 의한 HRPD(High Rate Packet Data)는 CDMA2000 기반 시스템에서 높은 패킷 데이터 서비스를 제공한다. eHRPD(evolved HRPD)는 HRPD의 진화이다. TDMA는 GSM(Global System for Mobile communications)/GPRS(General Packet Radio Service)/EDGE(Enhanced Data Rates for GSM Evolution)와 같은 무선 기술로 구현될 수 있다. OFDMA는 IEEE 802.11 (Wi-Fi), IEEE 802.16 (WiMAX), IEEE 802-20, E-

UTRAN(Evolved-UTRAN) 등과 같은 무선 기술로 구현될 수 있다. LTE(long term evolution)은 E-UTRAN를 사용하는 E-UMTS(Evolved-UMTS)의 일부로써, 하향링크에서 OFDMA를 채용하고 상향링크에서 SC-FDMA(single carrier frequency division multiple access)를 채용한다. LTE-A(Advanced)는 LTE의 진화이다.

[0012] 이하의 기술이 적용되는 다중 안테나 시스템 또는 MIMO(Multiple-Input Multiple-Output) 시스템은 다중 전송 안테나와 적어도 하나의 수신 안테나를 이용한 시스템이다. 이하의 기술은 다양한 MIMO (multiple input multiple output) 방식에 적용될 수 있다. MIMO 방식은 동일한 스트림을 다중 계층으로 전송하는 공간 다이버시티(spatial diversity)와 다중 스트림을 다중 계층으로 전송하는 공간 다중화(spatial multiplexing)가 있다. 공간 다중화에서 다중 스트림이 하나의 사용자에게 전송될 때 SU-MIMO(Single User-MIMO) 또는 SDMA(spatial division multiple access)라고 한다. 공간 다중화에서 다중 스트림이 다수의 사용자에게 전송될 때 MU-MIMO(Multi User-MIMO)라고 한다. 또한, 공간 다이버시티 및 공간 다중화는 각각 사용자로부터의 보고되는 궤환(feedback) 정보의 이용 여부에 따라 개루프(open-loop) 방식과 폐루프(closed-loop) 방식으로 나눌 수 있다.

[0013] 기지국(11; Base Station, BS) 은 특정한 지리적 영역(일반적으로 셀이라고 함)에 대해 통신 서비스를 제공한다. 셀은 다시 다수의 영역(섹터라고 함)으로 나누어질 수 있다. 단말(User Equipment, UE)은 고정되거나 이동성을 가질 수 있으며, MS(mobile station), UT(user terminal), SS(subscriber station), 무선기기(wireless device), PDA(personal digital assistant), 무선 모뎀(wireless modem), 휴대기기(handheld device) 등 다른 용어로 불릴 수 있다. 기지국은 일반적으로 단말과 통신하는 고정된 지점(fixed station)을 말하며, eNB(evolved-NodeB), BTS(Base Transceiver System), 액세스 포인트(Access Point) 등 다른 용어로 불릴 수 있다.

[0014] 도 1은 다중 셀 환경에서의 무선 통신시스템을 도시한 예시도이다. 기지국A (20-A)는 단말A(10-A)에게 통신 서비스를 제공하고, 기지국B(20-B)는 단말B(10-B)에게 통신 서비스를 제공한다고 하자. 단말A(10-A)에 대하여 기지국A(20-A)는 서빙 기지국이고 기지국B(20-B)는 인접 기지국이다. 단말B(10-B)에 대하여 기지국B(20-B)는 서빙 기지국이고 기지국A(20-A)는 인접 기지국이다. 단말에게 통신 서비스를 제공하는 기지국을 서빙 기지국(Serving BS)이라 하고, 서빙기지국에 인접하는 기지국을 인접 기지국(Neighbor BS)이라 한다. 서빙 기지국의 셀을 서빙 셀(Serving Cell)이라 하고, 인접기지국의 셀을 인접 셀(Neighbor Cell)이라 한다.

[0015] 기지국B(20-B)는 단말B(10-B)에게 스케줄링을 통하여 무선자원을 할당하고, 하향링크 데이터를 전송한다. 기지국 B(20-B)가 전송하는 하향링크 데이터는 단말 B(10-B)뿐만 아니라 단말 A(10-A)로 수신될 수도 있다. 따라서, 기지국 B(20-B)의 하향링크 데이터는 단말 A(10-A)에게 간섭(interference)으로 작용할 수 있다.

[0016] 먼저 단일 사용자 전송인 SU-MIMO(single user MIMO)를 고려하자.

[0017] Nr개의 안테나를 갖는 단말이 Nt개의 안테나를 갖는 기지국으로부터 받은 Nr×1의 수신신호 벡터는 다음 식과 같이 표현된다.

수학식 1

[0018] $$\mathbf{r} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{n}$$

[0019] 여기서, $\mathbf{H}$는 Nr×Nt의 채널 행렬, $\mathbf{x}$는 Nt×1의 전송 신호 벡터, $\mathbf{r}$는 Nr×1의 AWGN(additive white Gaussian noise)를 의미한다. 채널 행렬은 SVD(singular value decomposition)에 의해 다음 식과 같이 분해된다.

수학식 2

[0020] $$\mathbf{r} = \mathbf{H}\Sigma\mathbf{V}^{H}$$

[0021] 여기서, Σ=dig{σ_1, σ_2, ..., $\sigma_{rank\{H\}}$}는 채널 행렬 $\mathbf{H}$의 특이값(singular value)들로 이루어진 대각행렬이며, $\mathbf{U}$=[u_1, u_2, ..., $u_{rank\{H\}}$] 및 $\mathbf{V}$=[v_1, v_2, ..., $v_{rank\{H\}}$] 는 특이값들에 해당하는 특이 벡터들로 이루어진 행렬이다.

[0022] 최대 값을 갖는 특이값 인덱스를 $m=\arg\max_{i=1,\ldots,rank(\mathbf{H})}\{\sigma_i\}$ 이라 정의하고, 송신 및 수신 빔포밍 벡터로 $\mathbf{v}_m$ 및 $\mathbf{u}_m^H$ 를 사용한다. 전송 데이터 심볼을 d라 하고 송신 신호 벡터 $\mathbf{x}=\mathbf{v}_m d$ 와 같이 생성하여, 선택된 수신 빔포밍 벡터를

사용하여 신호처리를 수행하면 다음 식과 같다.

수학식 3

$$\mathbf{u}_m^H \mathbf{r} = \mathbf{u}_m^H \mathbf{H} \mathbf{v}_m d + \mathbf{u}_m^H \mathbf{n}$$
$$= \sigma_m d + \mathbf{u}_m^H \mathbf{n}$$

[0023]

[0024] AWGN 성분의 전력을 σ_1^2 라 할 때 SNR(Signal-to-Noise Ratio)은 다음 식과 같다.

수학식 4

$$\gamma_m = \frac{\sigma_m^2}{\sigma_n^2}$$

[0025]

[0026] 이제, MU-MIMO를 고려한다. 사용자 간 간섭을 제거하는 빔포밍을 사용하여 K 개의 단말을 위한 신호를 동시에 전송하는 경우, k번째 단말 UE_k를 위한 전송 신호 벡터를 다음 식과 같이 정의한다.

수학식 5

$$\tilde{\mathbf{x}}_k = \sqrt{p_k}\, \mathbf{M}_{MU,k} \mathbf{v}_{SU,k} d_k$$

[0027]

[0028] 여기서, $\mathbf{M}_{MU,k}$는 다중 사용자 프리코딩 행렬, $\mathbf{v}_{SU,k}$는 사용자 간 간섭이 제거된 단일 사용자 MIMO 채널에서의 송신 빔포밍 벡터, $\sqrt{p_k}$ 및 d_k는 UE_k를 위해 사용된 전송 전력 및 전송된 데이터 심볼이다.

[0029] UEk와 기지국 간의 채널 행렬을 $\mathbf{H}_i$ 라 할 때, 연접된 채널 행렬을 다음과 같이 정의한다.

수학식 6

$$\overline{\boldsymbol{H}}_k = \left[\boldsymbol{H}_1^T \ \cdots \ \boldsymbol{H}_{k-1}^T \ \boldsymbol{H}_{k+1}^T \ \cdots \ \boldsymbol{H}_K^T \right]^T$$

[0030]

[0031] 상기 연접된 채널 행렬에 대해 다음 식과 같이 SVD를 수행한다.

수학식 7

$$\overline{\boldsymbol{H}}_k = \boldsymbol{U}_k \boldsymbol{\Sigma}_k \left[\boldsymbol{V}_k^{(1)} \ \ \boldsymbol{V}_k^{(0)} \right]^H$$

[0032]

[0033] 다중 사용자 프리코딩 행렬 $\mathbf{M}_{MU,k}=\mathbf{V}_k^{(0)}$ 로 생성한다. 이는 $i \neq j$ 인 경우에 대하여 $\mathbf{H}_i\mathbf{M}_{MU,j}=0$ 를 만족하기 때문에 다중 사용자 간 간섭을 완벽히 제거하는 신호처리 행렬의 기능을 수행한다. 사용자 간 간섭제거 신호처리 행렬을 사용한 경우 K개의 수신 신호 벡터들은 다음 식과 같이 사용자 간 간섭이 없는 블록 대각화 채널로 표현이 가능하다.

수학식 8

$$\begin{bmatrix} \mathbf{r}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{r}_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{H}}_1 \mathbf{M}_{M,1} & \cdots & \mathbf{0} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \cdots & \tilde{\mathbf{H}}_K \mathbf{M}_{M,K} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{p_1}\,\mathbf{v}_{SU,1} d_1 \\ \vdots \\ \sqrt{p_K}\,\mathbf{v}_{SU,K} d_K \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{n}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{n}_K \end{bmatrix}$$

[0034]

[0035] 각 사용자 별 송신 빔포밍 벡터를 구성하기 위한 방법으로는 UEk의 유효 채널 $\tilde{\mathbf{H}}_k \mathbf{M}_{M,k}$를 대상으로 maximum eigen-mode 단일 사용자 전송 방식을 사용하는 것이 가능하다.

[0036] 무선 통신 시스템은 동일 주파수 또는 시간 자원을 사용하는 인접 셀들로부터의 간섭이 존재하며, 이는 잡음 환경에서 MIMO 전송 방식의 성능을 열화시키는 주요 원인 중 하나로 작용한다. 특히 셀 경계지역에 위치한 단말의 경우 SINR(signal-to-interference and noise ratio)이 낮아지고, 전송률이 저하될 수 있다. 수학식 5와 같이 생성된 전송 신호 벡터를 사용하는 경우 각 사용자의 신호 품질에 직접적인 영향을 주는 SINR을 높이기 보다는 사용자 간 간섭만을 제거하게 되어 QoS(Quality of service)를 보장하는 데 문제가 있을 수 있다.

[0037] 이제, 다중 셀 환경에서 다수의 기지국간 상호 협력을 통해 다수의 사용자에 협력적 전송을 하는 경우를 고려한다.

[0038] 협력적 신호 전송에 참여하는 기지국들로 이루어진 클러스터 내 K개의 단말을 위해 협력적 전송에 참여하는 기지국의 인덱스 집합을 C로 명명하면, UEk의 다중 안테나를 통해 수신된 신호는 다음 식과 같다.

수학식 9

$$\mathbf{r}_k = \sum_{b \in C} \mathbf{H}_{k,b} \left(\mathbf{x}_{k,b} + \sum_{i=1, i \neq k}^{K} \mathbf{x}_{i,b} \right) + \sum_{b=1, b \neq C}^{L} \mathbf{H}_{k,b} \mathbf{x}_b + \mathbf{n}_k$$

[0039]

[0040] 여기서, $\mathbf{H}_{k,b}$는 b-번째 기지국 (BS_b)의 Nt개 송신 안테나와 UE_k의 Nr개 수신 안테나 간의 Nr×Nt 채널 행렬이며, $\mathbf{x}_{k,b}$는 BS_b에서 UE_k로의 송신 신호 벡터를 의미하고, $\mathbf{x}_b$는 BS_b에서 전송된 송신 신호 벡터들의 합을 의미한다. C 집합의 원소의 개수를 |C|로 정의할 때 각 단말의 채널행렬을 연접하여 $\tilde{\mathbf{H}}_k = [\, \mathbf{H}_{k,C(1)} \cdots \mathbf{H}_{k,C(|C|)} \,]$ 을 정의하고, 각 기지국에서 UE_k를 위해 전송될 전송신호 벡터를 연접하여 $\tilde{\mathbf{x}}_k = [\, \mathbf{x}^T_{k,C(1)} \cdots \mathbf{x}^T_{k,C(|C|)} \,]$ 을 정의한다.

[0041] 또한, 인접 셀로 인한 외부 간섭 및 잡음 신호성분을 $\mathbf{z}_k = \sum_{b \neq C} \mathbf{H}_{k,b} \mathbf{x}_b + \mathbf{n}_k$ 으로 정의하면, 상기 수학식 9는 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 10

$$\mathbf{r}_k = \tilde{\mathbf{H}}_k \tilde{\mathbf{x}}_k + \tilde{\mathbf{H}}_k \sum_{i=1, i \neq k}^{K} \tilde{\mathbf{x}}_i + \mathbf{z}_k$$

[0042]

[0043] 여기서, $\tilde{\mathbf{H}}_k \sum_{i=1, i \neq k}^{K} \tilde{\mathbf{x}}_i$ 는 협력적 신호 전송에 참여하는 기지국으로 이루어진 클러스터 내 다중 사용자 간 간섭에 해당하는 신호 성분이다. 수신 신호 $\mathbf{r}_k$에 임의의 수신 빔포밍 벡터 $\mathbf{u}_k$를 적용하면 다음 식과 같다.

수학식 11

$$\mathbf{u}_k \mathbf{r}_k = \mathbf{u}_k \tilde{\mathbf{H}}_k \tilde{\mathbf{x}}_k + \mathbf{u}_k \tilde{\mathbf{H}}_k \sum_{i=1, i\neq k}^{K} \tilde{\mathbf{x}}_i + \mathbf{u}_k \mathbf{z}_k$$

[0044]

[0045] 클러스터 외부 간섭 및 잡음 신호의 공분산(covariance) 행렬을 다음 식과 같이 정의한다.

수학식 12

$$\boldsymbol{R}+k = E\{\mathbf{z}_k \mathbf{z}_k^H\} = \sum_{b\notin C} \mathbf{H}_{k,b} E\{\mathbf{x}_b \mathbf{x}_b^H\} \mathbf{H}_{k,b}^H + \sigma_n^2 \boldsymbol{I}_{Nt}$$

[0046]

[0047] 이는 인접 셀들로 인한 외부 간섭의 통계적 정보라 할 수 있으며, 이 통계적 정보를 정확히 추정하는 것이 후술하는 빔포밍 방식의 성능에 영향을 미치게 된다.

[0048] 수신 빔포밍을 적용한 수신신호의 SINR은 다음 식과 같다.

수학식 13

$$\gamma_k = \frac{E\left|\mathbf{u}_k \tilde{\mathbf{H}}_k \tilde{\mathbf{x}}_k\right|^2}{E\left|\mathbf{u}_k \tilde{\mathbf{H}}_k \sum_{i=1, i\neq k}^{K} \tilde{\mathbf{x}}_i\right|^2 + \mathbf{u}_k^H \mathbf{R}_k \mathbf{u}_k}$$

[0049]

[0050] 지정된 전송률을 보장하기 위한 최소한의 SINR이 QoS로 설정될 수 있다.

[0051] 이제 다중 셀 협력 시스템에서 MU-MIMO를 위한 빔포밍 기법들에 대해 기술한다. 기지국은 3가지의 빔포밍 방식을 사용할 수 있다. 기지국은 각 단말로부터 수신되는 궤환 정보를 기반으로 빔포밍 방식을 결정할 수 있다. 제1 방식은 사용자간 간섭 완화 및 기지국들간 간섭 완화를 고려한 간섭 완화(interference mitigation) 방식, 제2 방식은 사용자간 간섭 완화 및 SINR 최대화를 고려한 SINR 최대화 방식, 제3 방식은 다중 사용자의 전송률 합을 최대화하기 위한 전송률 합 최대화 방식이다.

[0052] (1) 제1 방식 : 간섭 완화 방식

[0053] 사용자 간 간섭을 제거하기 위해 수학식 5를 기반으로 한 전송 신호를 사용한다. 클러스터 간 간섭 완화를 위한 수신 빔포밍은 OC(Optimal combining) 또는 MMSE-ISD(Minimum Mean-Squared-Error based Intercell Spatial Demultiplexing)를 사용할 수 있다. 외부 간섭의 통계적 정보 획득 방식에 따라 OC와 MMSE-ISD을 적응적으로 활용할 수 있다.

[0054] 먼저, OC에 기반한 수신 빔포밍을 위해, 수학식 8과 같이 블록 대각화가 수행된 UE_k의 수신 신호 $\mathbf{r}_k$에 심볼 인덱스 n을 추가하여 다음 식과 같이 나타낸다.

수학식 14

$$\mathbf{r}_k[n] = \sqrt{p_k}\, \tilde{\mathbf{H}}_k \mathbf{M}_{\mathrm{MU},k} \mathbf{v}_{SU,k} d_k[n] + \mathbf{z}_k[n]$$

[0055]

[0056] 수신 신호 $\mathbf{r}_k[n]$ 을 N_{corr}개의 길이만큼 상관을 취한 뒤 유효 채널 성분을 제거하여, OC를 기반으로 하여 클러스터 외부 간섭 및 잡음 성분의 공분산 행렬을 다음 식과 같이 구한다.

수학식 15

$$\mathbf{R}_{OC,k}(N_{corr})=\frac{1}{N_{corr}}\left(\sum_{n=m+1}^{m+N_{corr}}\mathbf{r}_k[n]\,\mathbf{r}_k^H[n]\right)-p_k\,\tilde{\mathbf{H}}_k\,\mathbf{M}_{\mathrm{MU},k}\,\mathbf{v}_{SU,k}\left(\tilde{\mathbf{H}}_k\,\mathbf{M}_{\mathrm{MU},k}\,\mathbf{v}_{SU,k}\right)^H$$

[0057]

[0058] 블록 대각화가 수행된 UE_k의 수신 신호 $\mathbf{r}_k$에 수신 빔포밍 벡터 $\mathbf{u}_k$를 적용하면 다음 식과 같다.

수학식 16

$$\mathbf{u}_k^H\,\mathbf{r}_k=\sqrt{p_k}\,\mathbf{u}_k^H\,\tilde{\mathbf{H}}_k\,\mathbf{M}_{\mathrm{MU},k}\,\mathbf{v}_{SU,k}\,d_k+\mathbf{u}_k^H\,\mathbf{z}_k$$

[0059]

[0060] 간섭이 존재하는 수신 신호의 SINR을 최대화하는 최적 결합 수신신호처리 빔포밍 벡터는 다음 식과 같다.

수학식 17

$$\mathbf{u}_{OC,k}=\mu_{Rx}\,\mathbf{R}_{OC,k}^{-1}(N_{Corr})\,\tilde{\mathbf{H}}_k\,\mathbf{M}_{\mathrm{MU},k}\,\mathbf{v}_{SU,k}$$

[0061]

[0062] 수학식 15로부터 생성된 $\mathbf{R}_{OC,k}$ (N_{corr})가 수학식 12의 클러스터 외부 간섭 및 잡음 성분의 공분산 행렬 $\mathbf{R}_k$ 즉, 외부 간섭의 통계적 정보를 정확히 추정하였을 때 최적의 성능을 얻을 수 있다.

[0063] 다음으로, MMSE-ISD 에 기반한 수신 빔포밍을 제안한다. 수신 신호의 검출을 위하여 협조적 전송에 참여하는 기지국과 단말 사이의 채널 정보뿐만 아니라 협조적 전송에 참여하지 않는 인접 기지국에서 전송되는 간섭신호의 채널 정보를 추가적으로 이용하여 공분산 행렬을 다음과 같이 구한다.

수학식 18

$$\mathbf{R}_{ISD,k}(D)=\sum_{b\in D}(\mathbf{H}_{k,b}\,\mathbf{v}_b)(\mathbf{H}_{k,b}\,\mathbf{v}_b)^H+(\sigma_I^2+\sigma_n^2)\,\mathbf{I}_{Nr}$$

[0064]

[0065] 여기서, $\mathbf{v}_b$는 b-번째 기지국에서 사용하는 빔포밍 벡터이고, $\mathbf{H}_{k,b}\mathbf{v}_b$는 b-번째 기지국과 UE_k 간의 유효 채널이고, D는 협조적 전송에 참여하지 않는 클러스터 외부의 기지국들 중 단말기에서 유효 채널 추정이 가능한 기지국 인덱스 집합을 의미한다.

[0066] 시스템 내 채널 추정이 불가한 기지국들로부터의 채널 전력의 합을 다음 식과 같이 정의한다.

수학식 19

$$\sigma_I^2=\sum_{b=1,b\notin C,D}^{I}|\mathbf{H}_{k,b}\,\mathbf{v}_b|^2$$

[0067]

[0068] 수신 신호의 상관을 수학식 12의 공분산 행렬을 추정하는 OC 기법과 달리 MMSE-ISD는 추정 가능한 채널 정보 및 추정 불가능한 채널의 전력 합을 사용하여 수학식 18과 같이 클러스터 외부 간섭 및 잡음 신호 성분의 공분산 행렬을 근사적으로 구성한다.

[0069] MMSE-ISD에 기반한 수신 신호처리 빔포밍 벡터는 다음 식과 같다.

수학식 20

$$\mathbf{u}_{ISD,k}=\mu_{Rx}\,\boldsymbol{R}_{ISD,k}^{-1}(D)\,\tilde{\boldsymbol{H}}_k\boldsymbol{M}_{\mathrm{MU},k}\,\mathbf{v}_{SU,k}$$

[0070]

[0071] 수학식 18로부터 생성된 $\mathbf{R}_{ISD,k}(D)$가 수학식 12의 클러스터 외부 간섭 및 잡음 성분의 공분산 행렬 $\mathbf{R}_k$을 정확히

추정할 때 최적의 성능을 얻을 수 있다.

[0072] (2) 제2 방식: SINR 최대화 방식

[0073] 수학식 8로부터 얻어지는 수신 신호에 수신 빔포밍 벡터 $\mathbf{u}_k$을 적용한 경우의 SINR은 다음 식과 같다.

수학식 21

$$\gamma_k = \frac{(\mathbf{u}_k^H \tilde{\mathbf{H}}_k \mathbf{M}_{\mathrm{MU},k} \mathbf{v}_{SU,k})(\mathbf{u}_k^H \tilde{\mathbf{H}}_k \mathbf{M}_{\mathrm{MU},k} \mathbf{v}_{SU,k})^H}{\mathbf{u}_k^H \mathbf{R}_k \mathbf{u}_k}$$

[0074]

[0075] SINR를 최대화하기 위한 최적의 수신 빔포밍 벡터는 다음 식과 같다.

수학식 22

$$\mathbf{u}_{opt,k} = \mu_{Rx} \mathbf{R}_k^{-1} \tilde{\mathbf{H}}_k \mathbf{M}_{\mathrm{MU},k} \mathbf{v}_{SU,k}$$

[0076]

[0077] 최적의 수신 빔포밍 벡터는 수학식 15의 OC 기법 또는 수학식 18의 MMSE-ISD 기법을 통해 얻을 수 있다. 수학식 22의 빔포밍 벡터를 적용한 경우 수신 신호의 SINR은 다음과 같다.

수학식 23

$$\gamma_k = \mathbf{v}_k^H (\tilde{\mathbf{H}}_k \mathbf{M}_{\mathrm{MU},k})^H \mathbf{R}_k^{-1} \tilde{\mathbf{H}}_k \mathbf{M}_{\mathrm{MU},k} \mathbf{v}_k$$

[0078]

[0079] 허미션(Hermitian) 행렬 $A_k = (\tilde{\mathbf{H}}_k \mathbf{M}_{\mathrm{MU},k})^H \mathbf{R}_k^{-1} \tilde{\mathbf{H}}_k \mathbf{M}_{\mathrm{MU},k}$를 정의하고, 고유치 분해(eigenvalue decomposition)를 수행하면 다음 식과 같다.

수학식 24

$$A_k = (\tilde{\mathbf{H}}_k \mathbf{M}_{\mathrm{MU},k})^H \mathbf{R}_k^{-1} \tilde{\mathbf{H}}_k \mathbf{M}_{\mathrm{MU},k}$$

[0080]

$$= \mathbf{V}_k \Lambda_k \mathbf{V}_k^H = \begin{bmatrix} \mathbf{v}_{1,k} & \cdots & \mathbf{v}_{\mathrm{rank}(A_k),k} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{1,k}^2 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \sigma_{\mathrm{rank}(A_k),k}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{v}_{1,k} & \cdots & \mathbf{v}_{\mathrm{rank}(A_k),k} \end{bmatrix}^H$$

[0081]

[0082] 최대 값을 갖는 고유값 인덱스를 $m = \underset{i=1,\ldots,\mathrm{rank}(\mathbf{A}_k)}{\arg\max} \{\sigma_{i,k}^2\}$ 이라 정의하면, SINR을 최대화 하는 송신 신호 벡터는 다음 식과 같다.

수학식 25

$$\tilde{\mathbf{x}}_k = \sqrt{p_k} \mathbf{M}_{\mathrm{MU},k} \mathbf{v}_{SU,k} d_k = \sqrt{p_k} \mathbf{V}_k^{(0)} \mathbf{v}_{m,k} d_k$$

[0083]

[0084] (3) 제3 방식 : 전송률 합 최대화 방식

[0085] 이는 MMSE 기반의 빔포밍 벡터를 이용한다. 분산 안테나 환경에서 적합하도록 안테나 당 평균 송신 전력을 제한하는 PAPC(per-antenna power constraint)를 만족하도록 한다.

[0086] 외부 클러스터 간섭 성분의 백색화를 위하여 수학식 10의 수신신호에 다음과 같은 신호 처리를 수행한다.

수학식 26

$$\mathbf{R}_k^{1/2}\mathbf{r}_k = \mathbf{R}_k^{1/2}\tilde{\mathbf{H}}_k\tilde{\mathbf{x}}_k + \mathbf{R}_k^{1/2}\tilde{\mathbf{H}}_k\sum_{i=1,i\neq k}^{K}\tilde{\mathbf{x}}_i + \mathbf{R}_k^{1/2}\mathbf{z}_k$$

[0087]

$$= \mathbf{R}_k^{1/2}\tilde{\mathbf{H}}_k\sqrt{p_k}\,\tilde{\mathbf{v}}_k d_k + \mathbf{R}_k^{1/2}\tilde{\mathbf{H}}_k\sum_{i=1,i\neq k}^{K}\sqrt{p_i}\,\tilde{\mathbf{v}}_i d_i + \mathbf{R}_k^{1/2}\mathbf{z}_k$$

[0088]

[0089] 여기서, UE_k를 위한 전송 신호 벡터로 $\tilde{\mathbf{x}}_k = \sqrt{p_k}\,\tilde{\mathbf{v}}_k d_k$을 사용한다. 표기의 편의를 위하여 $\mathbf{r}_k^{(w)} = \mathbf{R}_{-1/2}^{(w)}\mathbf{r}_k$ 및 $\tilde{\mathbf{H}}_k^{(w)} = \mathbf{R}_{-1/2}^{(w)}\tilde{\mathbf{H}}_k$ 로 정의하면 SINR을 최대화 하는 수신 빔포밍 벡터는 다음 식과 같다.

수학식 27

$$\mathbf{u}_{MMSE,k} = \mu_k^{Rx}\left(\sum_{i=1}^{K}p_i\,\tilde{\mathbf{H}}_k^{(w)}\tilde{\mathbf{v}}_i\tilde{\mathbf{v}}_i^H\tilde{\mathbf{H}}_k^{(w)H} + \mathbf{I}_{Nr}\right)^{-1}\tilde{\mathbf{H}}_k^{(w)}\tilde{\mathbf{v}}_k$$

[0090]

[0091] 상향채널에서 SINR을 최대화하는 송신 빔포밍 벡터를 다음 식과 같이 생성한다.

수학식 28

$$\tilde{\mathbf{v}}_{MMSE,k} = \mu_k^{Tx}\left(\sum_{i=1}^{K}q_i\,\tilde{\mathbf{H}}_k^{(w)H}\tilde{\mathbf{u}}_i\tilde{\mathbf{u}}_i^H\tilde{\mathbf{H}}_k^{(w)} + \mathbf{I}_{|C|Nt}\right)^{-1}\tilde{\mathbf{H}}_k^{w)H}\mathbf{u}_k$$

[0092]

[0093] 여기서, q_k는 상향채널에서 UEk에게 할당된 전송 전력 값이다.

[0094] 또한, 안테나 당 평균 다중 사용자 전송률 합을 최대화하는 전력제어는 다음 식과 같은 최적화 문제의 해를 찾는 방법으로 수행이 가능하다

수학식 29

$$\text{Maximize}\ \sum_{k=1}^{K}\log_2(1+\gamma_k)$$

$$\text{Subject to}\ \sum_{k=1}^{K}p_k\left|v_{k,C(j)}^{n}\right|^2 \le P_{\max}^{\text{Ant}},\quad \text{for } n\in\{1,\ldots M_{C(j)}\},\ j\in\{1,\ldots|C|\}$$

$$p_i \ge 0,\qquad \text{for } i\in\{1,\ldots K\}$$

[0095]

[0096] 수학식 30 및 31과 같은 행렬을 정의한다.

수학식 30

$$a_k = \frac{\gamma_k}{(1+\gamma_k)\left|\mathbf{u}_k^H\tilde{\mathbf{H}}_k^{(w)}\tilde{\mathbf{v}}_k\right|^2},\quad \boldsymbol{D}_a = \text{diag}([\,1/a_1\ \ldots\ 1/a_K])$$

[0097]

수학식 31

$$b_k=\frac{\gamma_{k,ul}}{(1+\gamma_{k,ul})\left|\tilde{\mathbf{v}}_k^H\tilde{\mathbf{H}}_k^{(w)H}\mathbf{u}_k\right|^2},\ \boldsymbol{D}_b=\mathrm{diag}([\,1/b_1\ \ldots\ 1/b_K]^T)$$

[0098]

[0099] 또한, (i,j)번째 원소값을 $\left|\mathbf{u}_i^H\tilde{\mathbf{H}}_i^{(w)}\tilde{\mathbf{v}}_j\right|^2$ 으로 갖는 K×K 행렬을 A로, (i,j) 번째 원소값을 $\left|\tilde{\mathbf{v}}_j^H\tilde{\mathbf{H}}_i^{(w)H}\mathbf{u}_i\right|^2$ 으로 갖는 K×K 행렬을 B로 정의한다.

[0100] 고려하는 최적화 문제에서, γ_k 및 $\gamma_{k,ul}$ 의 값으로 다음 식과 같은 값을 사용한다.

수학식 32

$$\bar{\gamma}_k(\boldsymbol{p})=\frac{p_k}{\sigma_k^2},\quad \bar{\gamma}_{k,ul}(\boldsymbol{q})=\frac{q_k}{\sigma_{k,ul}^2}$$

[0101]

[0102] 여기서,

수학식 33

$$\sigma_k^2=\frac{\sum_{i=1,i\neq k}^{K}p_i\left|\mathbf{u}_k^H\tilde{\mathbf{H}}_k^{(w)}\tilde{\mathbf{v}}_i\right|^2+1}{\left|\mathbf{u}_k^H\tilde{\mathbf{H}}_k^{(w)}\tilde{\mathbf{v}}_k\right|^2},\ \sigma_{k,ul}^2=\frac{\sum_{i=1,i\neq k}^{K}q_i\left|\tilde{\mathbf{v}}_k^H\tilde{\mathbf{H}}_k^{(w)H}\mathbf{u}_i\right|^2+1}{\left|\tilde{\mathbf{v}}_k^H\tilde{\mathbf{H}}_k^{(w)H}\mathbf{u}_k\right|^2}$$

[0103]

[0104] 으로 정의된다.

[0105] 또한, PAPC 구속조건을 표현하기 위하여 |C|Nt×K 행렬 V를 다음 식과 같이 정의한다.

수학식 34

$$\boldsymbol{V}=\begin{bmatrix}\begin{bmatrix}\left|\mathbf{v}_{1,C(1)}^{1}\right|^2 & \cdots & \left|\mathbf{v}_{K,C(1)}^{1}\right|^2\\ \vdots & \ddots & \vdots\\ \left|\mathbf{v}_{1,C(1)}^{M_{C(1)}}\right|^2 & \cdots & \left|\mathbf{v}_{K,C(1)}^{M_{C(1)}}\right|^2\end{bmatrix}\\ \vdots\\ \begin{bmatrix}\left|\mathbf{v}_{1,C(|C|)}^{1}\right|^2 & \cdots & \left|\mathbf{v}_{K,C(|C|)}^{1}\right|^2\\ \vdots & \ddots & \vdots\\ \left|\mathbf{v}_{1,C(|C|)}^{M_{C(|C|)}}\right|^2 & \cdots & \left|\mathbf{v}_{K,C(|C|)}^{M_{C(|C|)}}\right|^2\end{bmatrix}\end{bmatrix}$$

[0106]

[0107] 제안되는 전력 제어 벡터 업데이트는 다음 식과 같다.

수학식 35

$$p_k^* = \left[\frac{1}{\ln(2)\alpha_k} - \sigma_k^2 \right]^+ , \quad q_k^* = \left[\frac{1}{\ln(2)\beta_k} - \sigma_{k,ul}^2 \right]^+$$

[0108]

[0109] 여기서, $\alpha_{k\in\{1,\ldots,K\}}$ 및 $\beta_{k\in\{1,\ldots,K\}}$ 는 각각 다음 식과 같다.

수학식 36

$$[\alpha_1 \ \cdots \ \alpha_K] \equiv \boldsymbol{\mu}^{*T}\mathbf{V}, \ [\beta_1 \ \cdots \ \beta_K] \equiv \boldsymbol{\lambda}^{*T}\mathbf{V}(\mathbf{V}_a - \mathbf{A})^{-1}(\mathbf{D}_b - \mathbf{B})$$

[0110]

[0111] 사용되는 $\boldsymbol{\mu}$ 및 $\boldsymbol{\lambda}$ 는 다음 식과 같이 같은 반복적인 업데이트를 통해 구한다.

수학식 37

$$\boldsymbol{\mu}^{(n+1)} = \left[\boldsymbol{\mu}^{(n)} + \delta_n(\mathbf{V}\mathbf{p}^{(n)} - P_{\max}^{\mathrm{Ant}} \mathbf{1}_{\mathrm{M}} \right]^+ ,$$

[0112]

$$\boldsymbol{\lambda}^{(n+1)} = \left[\boldsymbol{\lambda}^{(n)} + \delta_n\left(\mathbf{V}(\mathbf{D}_a - \mathbf{A})^{-1}(\mathbf{D}_b - \mathbf{B})\mathbf{q}^{(n)} - P_{\max}^{\mathrm{Ant}} \mathbf{1}_{\mathrm{M}} \right) \right]^+$$

[0113]

[0114] 여기서, δ_n은 반복 횟수에 따른 스텝 크기(step size)이다.

[0115] 하향링크 채널에서 SINR을 최대화하는 수신 빔포밍 벡터의 생성을 위해서는 상향링크 채널의 송신 빔포밍 벡터 $\tilde{\mathbf{v}}_i$ 및 전력 제어 벡터 $\mathbf{p}=[p_1, \cdots, p_K]^T$ 가 지정되어 있어야 한다. 상향링크 채널에서 SINR을 최대화하는 송신 빔포밍 벡터의 생성을 위해서 하향링크 채널의 수신 빔포밍 벡터 $\mathbf{u}_i$ 및 전력 제어 벡터 $\mathbf{q}=[q_1, \cdots, q_K]^T$ 가 지정되어 있어야 한다.

[0116] 도 2는 빔포밍 벡터 및 전력제어 벡터 업데이트를 나타낸 순서도이다. 먼저, 송신 빔포밍 벡터 $\mathbf{p}^{(0)}$ 와 전력제어 벡터 $\tilde{\mathbf{v}}_i^{(0)}$, 반복 횟수 i를 초기화한다(S210). 수학식 27을 이용하여 수신 빔포밍 벡터 $\mathbf{u}_{MMSE,k}$ 를 획득한다(S220). 수학식 35를 이용하여 상향링크 채널의 전력제어 벡터 $\mathbf{q}^{(i)}$ 를 업데이트한다(S230). 수학식 28을 이용하여 송신 빔포밍 벡터 $\tilde{\mathbf{v}}_{MMSE,k}$를 획득한다(S240). 수학식 35를 이용하여 하향링크 채널의 전력제어 벡터 $\mathbf{p}^{(i)}$를 업데이트한다(S250). 원하는 QoS를 만족하는지 여부를 확인한다(S260). QoS의 만족 여부는 원하는 최소 SINR을 만족하는지 여부를 통해 확인할 수 있다. QoS가 만족하거나 반복 횟수 i가 최대 반복 횟수 i_{max}에 도달할 때까지 반복한다(S270, S280).

[0117] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 다중 셀 협력 방법을 나타낸 순서도이다. 먼저, 협조적 전송에 참여하는 기지국을 대상으로 클러스터를 구성하고 이를 클러스터 내 단말에게 전달한다(S310). 협조적 전송에 참여하는 기지국들을 선택하여 클러스터를 구성하여, 클러스터 내 기지국 인덱스 집합 C를 생성한다. 클러스터 내 단말들에게 기지국 인덱스 집합 C가 전달된다. 클러스터의 구성은 특정 기지국이 수행할 수도 있고, 복수의 기지국을 관리하는 기지국 제어장치를 통해 수행될 수 있다.

[0118] 클러스터 내 단말들은 궤환 정보를 보고 한다(S320). 클러스터 내 단말들은 서빙 기지국으로 궤환 정보를 보고할 수 있다. 궤환 정보는 채널 상태 정보, 클러스터 외부 간섭의 통계적 정보 및/또는 단말의 QoS 정보를 포함할 수 있다. 단말은 전술한 3가지의 빔포밍 방식 중 하나를 선택하고, 선택된 빔포밍 방식을 궤환 정보에 포함시킬 수 있다. 빔포밍 방식에 따라 궤환 정보에 포함되는 정보가 달라질 수 있다.

[0119] 클러스터 외부 간섭의 통계적 정보는 수학식 12의 클러스터 외부 간섭 및 잡음 신호의 공분산 행렬 $\mathbf{R}_k$에 관한 정보이다. 제1 방식이 선택되는 경우 OC 기반 및/또는 MMSE-ISD 기반의 공분산 행렬 $\mathbf{R}_k$이 궤환될 수 있다. OC 기반의 수학식 15를 사용할 경우 클러스터 외부 간섭의 통계적 정보 $\mathbf{R}_k=\mathbf{R}_{OC,k}(N_{corr})$가 되고, MMSE-ISD 기반의 수학식 18의 방식을 사용할 경우 클러스터 외부 간섭의 통계적 정보 $\mathbf{R}_k=\mathbf{R}_{ISD,k}(D)$가 된다. 협조적 전송에 참여하지 않는 기지국 인덱스 집합 D의 크기 및 D 집합 내 기지국 채널추정의 정확도에 따라 $\mathbf{R}_{ISD,k}(D)$의 신뢰도가 결정되며, 이를 통해 MMSE-ISD 활용 여부를 결정할 수 있다. 단말은 수학식 13의 SINR을 구하여, OC 또는 MMSE-ISD를 선택할 수 있다.

[0120] 클러스터 내 단말들은 협조적 전송에 참여하는 기지국의 송신 안테나와 단말의 수신 안테나 간 채널 상태 정보를 추정한다. 그리고, 클러스터 내 단말들은 제공받는 서비스의 종류 및 전송 데이터 양에 따라 지정된 전송률을 보장받기 위한 최소한의 수신 SINR을 QoS로 설정할 수 있다.

[0121] 궤환 정보를 기반으로 다중 셀 협력을 통해 데이터를 전송할 단말들을 선택한다(S330).

[0122] 선택된 단말들 별로 빔포밍 방식이 선택된다(S340). 전술한 제1 방식, 제2 방식 및 제3 방식 중 하나가 빔포밍 방식으로 선택될 수 있다. 제1 방식은 사용자간 간섭 완화 및 기지국들간 간섭 완화를 고려한 간섭 완화 방식, 제2 방식은 사용자간 간섭 완화 및 SINR 최대화를 고려한 SINR 최대화 방식, 제3 방식은 다중 사용자의 전송률 합을 최대화하기 위한 전송률 합 최대화 방식이다. 제1 및 2 방식은 클러스터 외부 간섭의 통계적 정보의 정확도에 따라 성능에 차이가 있을 수 있다. 보다 정확한 통계적 정보를 사용할 경우 제2 방식이 제1 방식보다 높은 간섭 완화 성능을 보인다. 하지만 통계적 정보의 정확도가 떨어질 경우 제2 방식의 성능이 오히려 제1 방식보다 열화될 수 있다. 통계적 정보의 정확도에 따라 제1 방식 및 제2 방식간을 적응적으로 취할 수 있다. 제3 방식은 반복적인 방식으로 제1 및 제2 방식보다 QoS는 보장할 수 있으나, 복잡도 및 계산량에 대한 부담이 있다. 따라서, 제1 및 제2 방식을 통하여 사용자가 요구하는 QoS를 만족시키지 못하는 경우, 제3 방식을 취할 수 있다.

[0123] 기지국은 통계적 정보를 활용한다면 제1 방식 및 제2 방식 중 어느 하나를 선택하고, 통계적 정보를 활용하지 않는다면 제3 방식을 선택할 수 있다.

[0124] 빔포밍 방식은 궤환정보내에 단말이 선택한 빔포밍 방식이 선택될 수 있다. 이는 기지국이 자신이 선택한 빔포밍 방식을 별도로 단말에게 알려주지 않거나, 단말이 선택한 빔포밍 방식의 적용 여부만을 단말에게 알려줌으로써, 시그널링 오버헤드를 줄일 수 있다.

[0125] 기지국은 제1 내지 3 방식 중 우선순위를 기반으로 빔포밍 방식을 선택할 수 있다. 예를 들어, 제1 방식의 적용 여부를 가장 먼저 확인하여, 제1 방식을 통해 원하는 QoS가 보장되지 않으면 제2 방식의 적용 여부를 확인한다. 제2 방식을 통해 원하는 QoS가 보장되지 않으면 제3 방식의 적용 여부를 확인한다.

[0126] 기지국은 선택된 빔포밍 방식에 따른 빔포밍 벡터를 생성하고, 필요한 경우안테나별로 전력 제어를 수행한다(S350). 기지국은 빔포밍 벡터 및 전력제어가 적용된 데이터를 각 단말에게 전송한다(S360).

[0127] 클러스터를 구성하는 기지국 간의 협조적 전송에 의해 셀간 간섭을 완화하고, 신호 품질을 높일 수 있다. 또한 다중 사용자를 위한 신호를 동시에 전송함으로써 전송률 합 측면에서 높은 성능을 기대할 수 있다. 사용자 간 간섭 및 클러스터 외부 간섭을 제어하기 위해, 신호처리 방식의 성능에 영향을 주는 변수들의 정확도 및 단말이 요구하는 QoS를 고려하여 적응적으로 빔포밍 방식이 선택될 수 있다.

[0128] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 셀 협력의 신호 흐름도이다. 협조적 전송에 참여하는 기지국들을 선택하여 클러스터가 구성되고, 클러스터 내 기지국 인덱스 집합 C가 단말로 전달된다(S410).

[0129] 단말은 궤환 정보를 보고한다(S420). 궤환 정보는 채널 상태 정보, 클러스터 외부 간섭의 통계적 정보 및/또는 단말의 QoS 정보를 포함할 수 있다.

[0130] 기지국은 궤환 정보를 기반으로 빔포밍 방식을 선택한다(S430). 기지국은 선택된 빔포밍 방식을 단말에게 알려준다(S440). 기지국은 빔포밍 벡터 및 전력 제어가 적용된 하향링크 데이터를 단말에게 전송한다(S450).

[0131] 이제 실시된 모의 실험에 대해 기술한다. 시스템 내 셀 개수 L=19이고, 협조적 전송에 참여하는 기지국 인덱스 집합 C={1, 2, 3}이고, 클러스터 내 단말의 개수 K=3이라 한다. 각 기지국의 커버리지 내에 하나의 단말이 있고, 단말들은 기지국으로부터 동일한 거리의 동심원상에 랜덤하게 분포하도록 한다. 각 기지국의 송신 안테나 개수 및 단말의 수신 안테나 개수로는 Nt=6 및 Nr=2의 값을 사용한다.

[0132] 도 5는 단말의 위치에 따른 평균 SINR의 변화를 나타낸 그래프이다. d는 정규화 거리를 나타내고, 이는 셀 중심에서 셀 경계간의 거리를 비율로 나타낸 것이다. 정규화 거리가 작을수록 셀 중심에 위치하고, 셀 경계에 있을 때 정규화 거리는 1이다. 종래 기술에 비해 제1 및 제2 방식이 보다 높은 SINR을 나타낸다. 또한, 단말이 상대적으로 외부 간섭의 영향이 커지는 정규화 거리 1에 가까이 위치할수록, 성능 이득의 폭이 커짐을 보여준다.

[0133] 도 6은 클러스터 외부 간섭의 통계적 정보의 정확도에 따른 성능 비교를 나타낸 그래프이다. 단말이 추정한 실제 클러스터 외부 간섭의 통계적 정보 $\mathbf{R}_k$와 기지국으로 궤환된 통계적 정보를 $\hat{\mathbf{R}}_k$ 이라 할 때, 궤환 정보의 정확도를 나타내기 위한 파라미터로 ρ를 사용한다. ρ=1 일수록 실제 단말에서 추정한 정보와 궤환 정보 간의 오차가 없는 것을 의미한다. 실험 결과를 통해 예상한 바와 같이 궤환 정보의 정확도가 줄어들수록 추가적으로 궤환 정보를 활용하는 제2 방식의 성능이 열화 되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 궤환 정보의 정확도에 따라 제1 방식 또는 제2 방식을 적응적으로 선택할 필요가 있음을 보여준다.

[0134] 도 7은 제2, 및 제3 방식의 성능을 비교한 그래프이다. 실험 결과를 통해 제3 방식이 제2 방식보다 대역폭 효율을 나타냄을 알 수 있으며, 특히 단말이 간섭의 영향이 큰 정규화 거리 1에 가까이 위치할수록 큰 성능 이득을 보인다. 따라서, 제1 또는 제2 방식 기반의 빔포밍 기법을 통하여 요구하는 QoS를 만족하지 못하는 단말의 경우, 높은 대역폭 효율을 갖는 제3 방식을 사용하는 것이 효율적일 수 있다.

[0135] 도 8은 본 발명의 실시예를 구현하기 위한 기지국과 단말의 블록도이다. 기지국(1100)은 프로세서(1110)와 송수신기(1120)를 포함한다. 송수신기(1120)는 무선 신호를 송신 및/또는 수신한다. 프로세서(1110)는 송수신기(1120)와 연결되어, 전술한 다중 셀 협력 기법을 구현한다.

[0136] 단말(1200)은 프로세서(1210), 송수신기(1220) 및 사용자 인터페이스(1230)을 포함한다. 송수신기(1220)는 무선 신호를 송신 및/또는 수신한다. 프로세서(1210)는 송수신기(1220)와 연결되어, 전술한 궤환 정보의 보고 및 빔포밍 방식에 따른 데이터를 수신한다. 사용자 인터페이스(1230)는 프로세서(1210)와 연결되어, 사용자와의 인터페이스를 제공한다. 사용자 인터페이스(1230)는 잘 알려진 키패드와 같은 입력 도구 및/또는 사용자 환경을 제공하는 디스플레이 장치를 포함할 수 있다.

[0137] 본 발명은 하드웨어, 소프트웨어 또는 이들의 조합으로 구현될 수 있다. 하드웨어 구현에 있어, 상술한 기능을 수행하기 위해 디자인된 ASIC(application specific integrated circuit), DSP(digital signal processing), PLD(programmable logic device), FPGA(field programmable gate array), 프로세서, 제어기, 마이크로 프로세서, 다른 전자 유닛 또는 이들의 조합으로 구현될 수 있다. 소프트웨어 구현에 있어, 상술한 기능을 수행하는 모듈로 구현될 수 있다. 소프트웨어는 메모리 유닛에 저장될 수 있고, 프로세서에 의해 실행된다. 메모리 유닛이나 프로세서는 당업자에게 잘 알려진 다양한 수단을 채용할 수 있다.

[0138] 이상 본 발명에 대하여 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시켜 실시할 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 따라서 상술한 실시예에 한정되지 않고, 본 발명은 이하의 특허청구범위의 범위 내의 모든 실시예들을 포함한다고 할 것이다.

도면의 간단한 설명

[0139] 도 1은 다중 셀 환경에서의 무선 통신시스템을 도시한 예시도이다.

[0140] 도 2는 빔포밍 벡터 및 전력제어 벡터 업데이트를 나타낸 순서도이다.

[0141] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 다중 셀 협력 방법을 나타낸 순서도이다.

[0142] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 셀 협력의 신호 흐름도이다.

[0143] 도 5는 단말의 위치에 따른 평균 SINR의 변화를 나타낸 그래프이다.

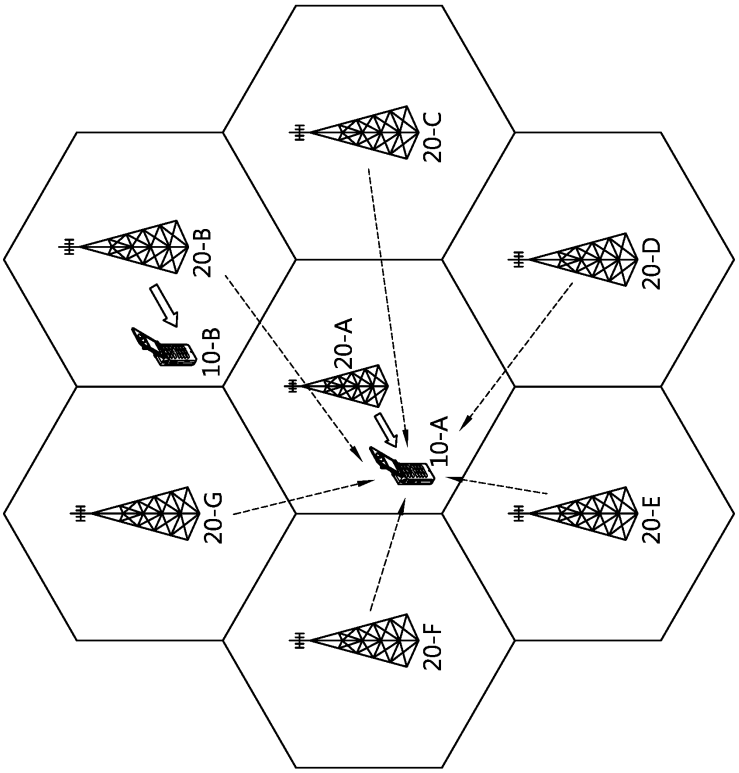
[0144] 도 6은 클러스터 외부 간섭의 통계적 정보의 정확도에 따른 성능 비교를 나타낸 그래프이다.

[0145] 도 7은 제2, 및 제3 방식의 성능을 비교한 그래프이다.

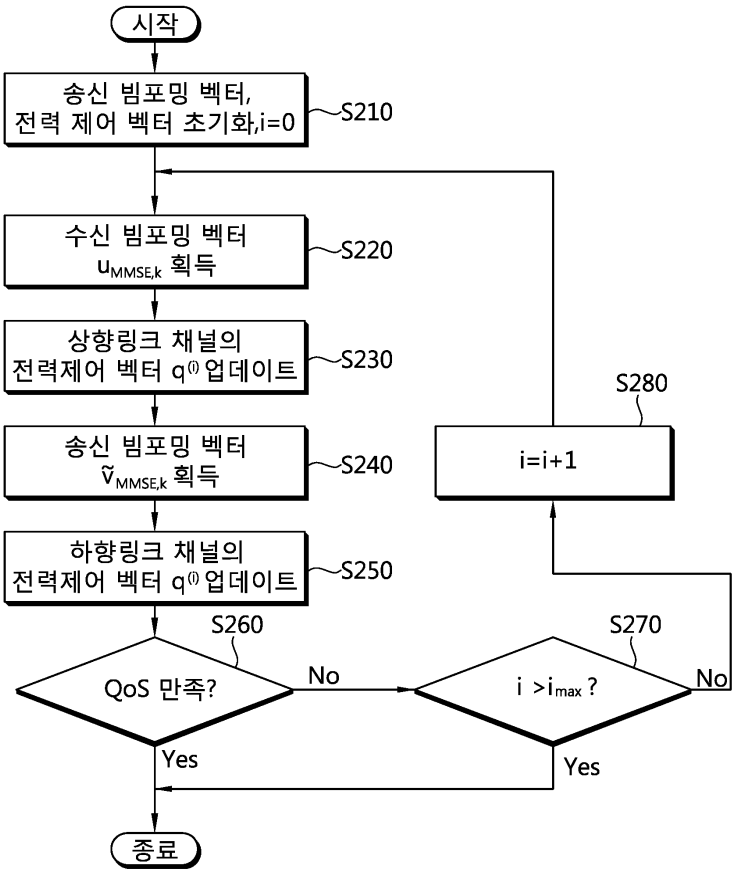
[0146] 도 8은 본 발명의 실시예를 구현하기 위한 기지국과 단말의 블록도이다.

도면

도면1



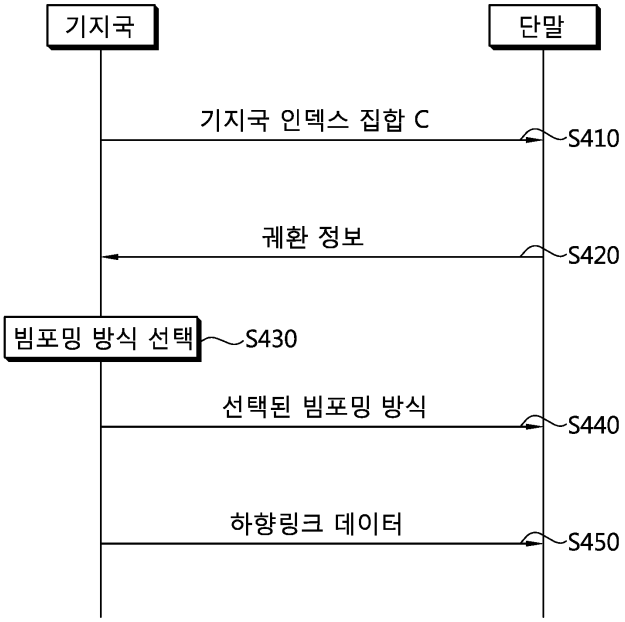
도면2


시작
송신 빔포밍 벡터, 전력 제어 벡터 초기화,i=0
S210
수신 빔포밍 벡터 $u_{MMSE,k}$ 획득
S220
상향링크 채널의 전력제어 벡터 $q^{(i)}$ 업데이트
S230
송신 빔포밍 벡터 $\tilde{v}_{MMSE,k}$ 획득
S240
하향링크 채널의 전력제어 벡터 $q^{(i)}$ 업데이트
S250
S260
QoS 만족?
No
Yes
S270
$i > i_{max}$?
No
Yes
S280
i=i+1
종료

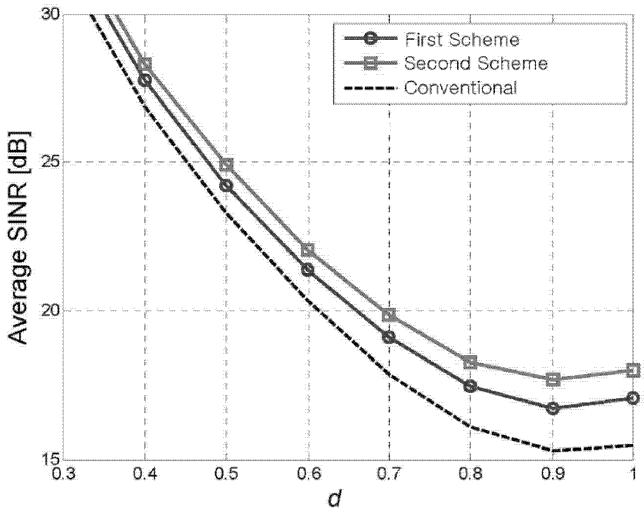
도면3


시작
클러스터 구성
S310
클러스터 내 단말들의 궤환 정보 보고
S320
단말들 선택
S330
단말별 빔포밍 방식 선택
S340
빔포밍 벡터 생성 및 전력 제어
S350
데이터 전송
S360
종료

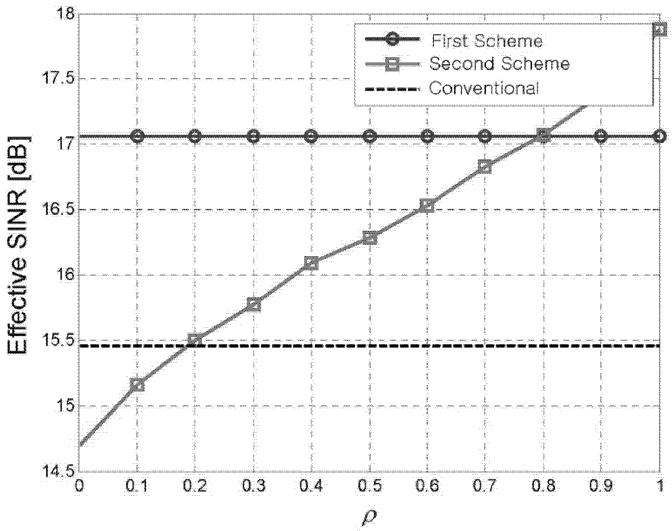
도면4


기지국
단말
기지국 인덱스 집합 C
S410
궤환 정보
S420
빔포밍 방식 선택
S430
선택된 빔포밍 방식
S440
하향링크 데이터
S450

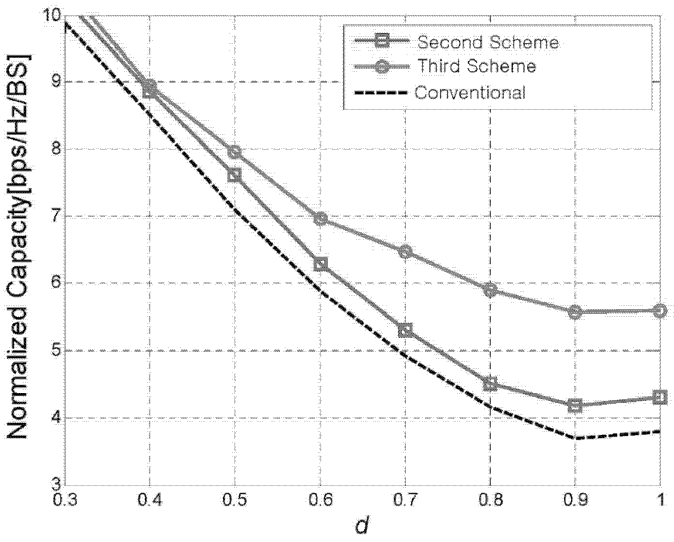
도면5


First Scheme
Second Scheme
Conventional
Average SINR [dB]
30
25
20
15
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
d

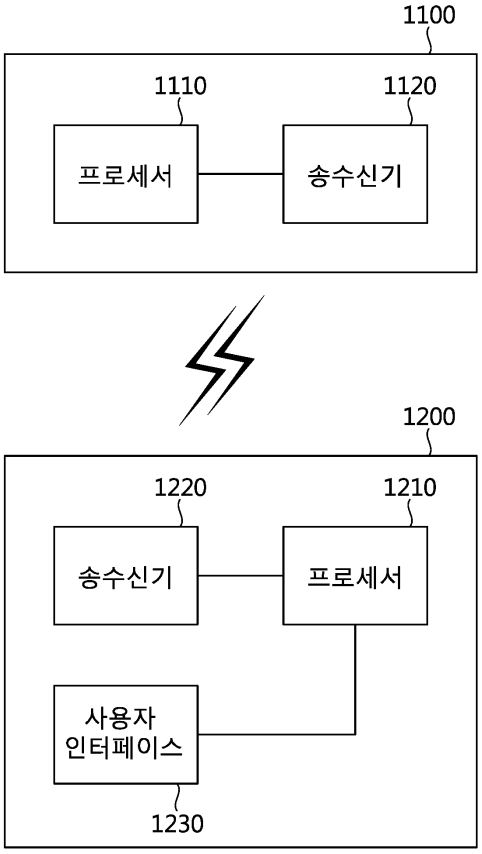
도면6


First Scheme
Second Scheme
Conventional
Effective SINR [dB]
ρ
18
17.5
17
16.5
16
15.5
15
14.5
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1

도면7


Second Scheme
Third Scheme
Conventional
Normalized Capacity[bps/Hz/BS]
d
10
9
8
7
6
5
4
3
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1

도면8


1100
1110
1120
프로세서
송수신기
1200
1220
1210
송수신기
프로세서
사용자
인터페이스
1230