(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0110593
(43) 공개일자 2009년10월22일

(51) Int. Cl.
H04L 1/06 (2006.01) *H04B 7/08* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2008-0036177
(22) 출원일자 2008년04월18일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
엘지전자 주식회사
서울특별시 영등포구 여의도동 20번지
서강대학교산학협력단
서울 마포구 신수동 1-1 서강대학교
(72) 발명자
고현수
경기 안양시 동안구 호계1동 LG연구소
임빈철
경기 안양시 동안구 호계1동 LG연구소
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
양문옥

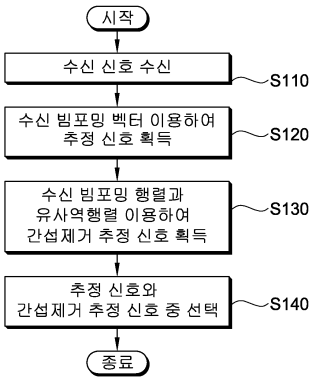
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 다중 안테나를 이용한 수신기 및 데이터 복원 방법

(57) 요 약

다중 안테나를 이용한 데이터 복원 방법을 제공한다. 상기 데이터 복원 방법은 복수의 안테나를 통하여 수신 신호를 수신하는 단계 및 채널 행렬을 분해하여 구한 수신 빔포밍 행렬을 이용해 상기 수신 신호를 공간 역다중화하여 간섭 신호를 제거한 간섭제거 추정 신호를 구하는 단계를 포함한다. 공간 역다중화를 이용해 인접 기지국으로부터의 간섭 신호의 영향을 최소화하고, 수신 빔포밍 행렬을 이용해 빔포밍 이득을 얻을 수 있다. 따라서, 셀 간 간섭을 줄이고, 수신 성능을 향상시킬 수 있다.

대 표 도 - 도3



(72) 발명자

천진영

경기 안양시 동안구 호계1동 LG연구소

성원진

서울 서초구 잠원동 60-7 녹원한신아파트 101-505

김성민

서울 마포구 성산동 200-195번지 102호

장재원

경기 고양시 일산동구 백석동 백송마을7단지아파트 임광아파트705동 1205호

이옥봉

경기 안양시 동안구 호계1동 LG연구소

특허청구의 범위

청구항 1

복수의 안테나를 통하여 수신 신호를 수신하는 단계; 및

채널 행렬을 분해하여 구한 수신 빔포밍 행렬을 이용해 상기 수신 신호를 공간 역다중화하여 간섭 신호를 제거한 간섭제거 추정 신호를 구하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 데이터 복원 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 수신 빔포밍 행렬로부터 수신 빔포밍 벡터를 구하고, 상기 수신 빔포밍 벡터를 이용해 상기 수신 신호로부터 추정 신호를 구하는 단계; 및

상기 간섭제거 추정 신호와 상기 추정 신호 중 어느 하나를 선택하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 데이터 복원 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 수신 빔포밍 행렬은 상기 채널 행렬을 고유값 분해(Singular Value decomposition)를 사용하여 구하는 것을 특징으로 하는 데이터 복원 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 간섭제거 추정 신호를 구하는 단계는

상기 수신 빔포밍 행렬을 이용해 변형 채널 행렬을 구하는 단계;

상기 변형 채널 행렬을 이용하여 유사역행렬을 구하는 단계; 및

상기 수신 빔포밍 행렬 및 상기 유사역행렬을 이용하여 가중치 벡터를 구하고, 상기 가중치 벡터를 이용하여 공간 역다중화를 하여 상기 간섭제거 추정 신호를 구하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 데이터 복원 방법.

청구항 5

제 2 항에 있어서, 상기 간섭제거 추정 신호에 대한 유효 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)과 상기 추정 신호에 대한 유효 SINR을 비교하여 유효 SINR이 큰 추정 신호를 선택하는 것을 특징으로 하는 데이터 복원 방법.

청구항 6

제 4 항에 있어서, 상기 채널 행렬 H_1은

$$H_1 = U_1 \sum_1 V_1^H$$

이고, 수신 빔포밍 행렬은 U_1^H인 것을 특징으로 하는 데이터 복원 방법. 여기서, V_1는 송신 빔포밍 행렬이고, $\sum_1$는 대각 행렬이다.

청구항 7

제 6 항에 있어서, 상기 변형 채널 행렬 G는

$$G = U_1^H[\, H_1 v_1^1 \cdots \sqrt{P_{M_R}/P_1}\, H_{M_R} v_1^{M_R}]$$

인 것을 특징으로 하는 데이터 복원 방법. 여기서, M_R은 상기 복수의 안테나의 개수이고, H_k(1≤k≤M_R, k는 자연수)는 k 번째 기지국과 상기 복수의 안테나 사이의 채널 행렬이고, v_1^k는 k 번째 기지국의 송신 빔포밍 행렬의 1 열벡터이고, P_k는 k 번째 기지국으로부터의 하향링크 신호에 대한 수신 전력이다.

청구항 8

제 7 항에 있어서, 상기 유사역행렬 Z는

$$Z=(G^H G)^{-1} G^H=\begin{bmatrix} z_1 \\ \vdots \\ z_{M_R} \end{bmatrix}$$ 또는

$$Z=(G^H G+\sigma^2 I)^{-1} G^H=\begin{bmatrix} z_1 \\ \vdots \\ z_{M_R} \end{bmatrix}$$

인 것을 특징으로 하는 데이터 복원 방법. 여기서, σ^2은 잡음의 분산이고, $z_k(1\leq k\leq M_R$, k는 자연수)는 상기 유사역행렬 Z의 k 번째 행벡터이다.

청구항 9

제 8 항에 있어서, 상기 가중치 벡터 w_{EB-IC}는 $w_{EB-IC} = z_1 U_1^H$인 것을 특징으로 하는 데이터 복원 방법.

청구항 10

수신 신호를 수신하는 복수의 안테나; 및

채널 행렬을 분해하여 구한 수신 빔포밍 행렬을 이용해 상기 수신 신호를 공간 역다중화하여 간섭 신호를 제거한 간섭제거 추정 신호를 구하는 빔포밍 공간 역다중 디코더를 포함하는 것을 특징으로 하는 수신기.

청구항 11

제 10 항에 있어서, 상기 수신 빔포밍 행렬로부터 구한 수신 빔포밍 벡터를 구하고, 상기 수신 빔포밍 벡터를 이용해 상기 수신 신호로부터 추정 신호를 구하는 빔포밍 디코더; 및

상기 간섭제거 추정 신호와 상기 추정 신호 중 어느 하나를 선택하여 출력 신호로 출력하는 출력기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 수신기.

청구항 12

제 10 항에 있어서, 상기 빔포밍 공간 역다중 디코더는 SD(Spatial Demultiplexing) 기법을 사용하는 것을 특징으로 하는 수신기.

청구항 13

제 11 항에 있어서, 상기 출력기는 상기 간섭제거 추정 신호에 대한 유효 SINR과 상기 추정 신호에 대한 유효 SINR을 비교하여 유효 SINR이 큰 추정 신호를 상기 출력 신호로 선택하는 것을 특징으로 하는 수신기.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

<1> 본 발명은 무선 통신 시스템에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 다중 안테나를 이용한 수신기 및 데이터 복원 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

<2> 최근 활발하게 연구되고 있는 차세대 멀티미디어 무선 통신 시스템은 초기의 음성 위주의 서비스를 벗어나

영상, 무선 데이터 등의 다양한 정보를 처리하여 전송할 수 있는 시스템이 요구되고 있다. 무선 통신 시스템의 목적은 다수의 사용자가 위치와 이동성에 관계없이 신뢰할 수 있는(reliable)한 통신을 할 수 있도록 하는 것이다. 그런데, 무선 채널(wireless channel)은 경로 손실(path loss), 잡음(noise), 다중 경로(multipath)에 의한 페이딩(fading) 현상, 심벌간 간섭(ISI, intersymbol interference) 또는 단말의 이동성으로 인한 도플러 효과(Doppler effect) 등의 비이상적인 특성이 있다. 무선 채널의 비이상적 특성을 극복하고, 무선 통신의 신뢰도(reliability)을 높이기 위해 다양한 기술이 개발되고 있다.

<3> MIMO(Multiple Input Multiple Output Antennas) 기술은 다중 송신 안테나와 다중 수신 안테나를 사용하여 데이터의 송수신 효율을 향상시킨다. MIMO 기술은 송신 안테나의 수와 수신 안테나의 수에 따라 다수의 독립 채널로 분해될 수 있다. 각각의 독립 채널은 공간 계층(spatial layer) 또는 스트림(stream)이라 할 수 있다.

<4> MIMO 기술에는 공간 다이버시티(Spatial diversity), 공간 다중화(Spatial multiplexing) 및 빔포밍(Beamforming) 등이 있다. 공간 다이버시티는 다중 송신 안테나에서 동일한 데이터를 전송하여 전송 신뢰도를 높이는 기술이다. 공간 다중화는 다중 송신 안테나에서 서로 다른 데이터를 동시에 전송하여 시스템의 대역폭을 증가시키지 않고 고속의 데이터를 전송할 수 있는 기술이다. 일반적으로 공간 다이버시티 기술이 사용될 경우, 신호 결합 기법을 이용한 데이터 복원 방법이 사용된다. 신호 결합 기법에는 선택 결합(Selective Combining), 동일 이득 결합 (Equal Gain Combining), 최대비 결합(Maximal Ratio Combining) 등이 있다. 공간 다중화 기술이 사용될 경우, 공간 역다중화(Spatial Demultiplexing; 이하 SD) 기법을 사용하여 각각의 전송 신호를 분리할 수 있다.

<5> 빔포밍은 다중 안테나에서 변화하는 채널 정보에 따른 가중치를 가하여 신호의 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)을 증가시키는 기술이다. 무선 통신 시스템에서 기지국이 단말에게 빔포밍을 통해 신호를 보내는 경우를 특히 하향링크(downlink) 빔포밍이라고 한다. 빔포밍 성능은 단말에서 피드백되는 채널 정보의 정확도에 비례하기 때문에 채널 정보의 정확도를 높이기 위해서는 피드백 정보량을 늘려주어야 한다. 피드백 정보량은 상향링크(uplink)의 무선 채널 상태와 피드백에 할당된 무선 자원의 양과 관계가 있다.

<6> 한편, 무선 통신 시스템은 서비스 지역의 제한과 사용자의 수용 용량의 한계를 극복하기 위하여 서비스 지역을 다수의 셀(Cell)로 나누어 통신 서비스를 제공한다. 이를 다중 셀 환경이라 한다. 인접한 셀 간에는 서로 다른 주파수 대역을 사용하고, 충분히 멀리 떨어진 셀 간에 동일한 주파수 대역을 사용함으로써 공간적으로 주파수 대역을 재사용할 수 있다. 공간적으로 주파수 대역을 재사용할 수 있으므로 다수의 셀 분포에서 채널의 수를 증가시켜 충분한 사용자를 수용할 수 있다.

<7> 그런데, 인접한 셀 간에 서로 다른 주파수 대역을 사용하더라도, 셀 간의 경계에 위치하는 사용자들은 인접하는 셀로부터의 간섭 신호에 의해 셀간 간섭(inter-cell interference)을 받게 된다. 셀간 간섭으로 인하여 사용자의 송신 신호 또는 수신 신호는 열화(depletion)될 수 있다. 특히, 다중 셀 환경에서 빔포밍 기술을 사용하는 경우, 인접한 셀의 기지국들이 각각 유사한 위치에 존재하는 단말들에게 빔패턴을 형성하여 신호를 전송하게 되면, 상호 간에 간섭 신호로 영향을 줄 수 있다. 이러한 간섭 신호는 셀 경계 지역에 위치한 단말에 가장 많은 영향을 미치게 되고, 이는 단말의 수신 성능 열화를 초래하게 된다.

<8> 따라서, 빔포밍 처리된 신호를 수신하는 경우, 셀간 간섭을 줄이고, 수신 성능을 향상시킬 수 있는 다중 안테나를 이용한 수신기 및 데이터 복원 방법이 필요하다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

<9> 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 셀간 간섭을 줄이고, 수신 성능을 향상시킬 수 있는 다중 안테나를 이용한 수신기 및 데이터 복원 방법을 제공함에 있다.

과제 해결수단

<10> 일 양태에서, 다중 안테나를 이용한 데이터 복원 방법을 제공한다. 상기 데이터 복원 방법은 복수의 안테나를 통하여 수신 신호를 수신하는 단계 및 채널 행렬을 분해하여 구한 수신 빔포밍 행렬을 이용해 상기 수신 신호를 공간 역다중화하여 간섭 신호를 제거한 간섭제거 추정 신호를 구하는 단계를 포함한다.

<11> 다른 양태에서, 다중 안테나를 이용한 수신기를 제공한다. 상기 수신기는 수신 신호를 수신하는 복수의 안테나 및 채널 행렬을 분해하여 구한 수신 빔포밍 행렬을 이용해 상기 수신 신호를 공간 역다중화하여 간섭 신호를 제

거한 간섭제거 추정 신호를 구하는 빔포밍 공간 역다중 디코더를 포함한다.

효 과

<12> 공간 역다중화를 이용해 인접 기지국으로부터의 간섭 신호의 영향을 최소화하고, 수신 빔포밍 행렬을 이용해 빔포밍 이득을 얻을 수 있다. 따라서, 셀간 간섭을 줄이고, 수신 성능을 향상시킬 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<13> 이하의 기술은 다양한 무선 통신 시스템에 사용될 수 있다. 무선 통신 시스템은 음성, 패킷 데이터 등과 같은 다양한 통신 서비스를 제공하기 위해 널리 배치된다.

<14> 도 1은 무선 통신 시스템을 나타낸 것이다.

<15> 도 1을 참조하면, 무선 통신 시스템은 기지국(1; Base Station, BS) 및 단말(2; Mobile Station, MS)을 포함한다. 하나의 기지국(1)은 적어도 하나의 셀(Cell)에 대해 서비스를 제공할 수 있다. 셀은 기지국(1)이 통신 서비스를 제공하는 영역이다. 기지국(1)은 일반적으로 단말(2)과 통신하는 고정된 지점(fixed station)을 말하며, 노드-B(Node-B), BTS(Base Transceiver System), 액세스 포인트(Access Point) 등 다른 용어로 불릴 수 있다. 단말(2)은 고정되거나 이동성을 가질 수 있으며, UE(User Equipment), UT(User Terminal), SS(Subscriber Station), 무선기기(wireless device) 등 다른 용어로 불릴 수 있다. 일반적으로 하향링크(downlink)는 기지국(1)에서 단말(2)로의 통신을 의미하며, 상향링크(uplink)는 단말(2)에서 기지국(1)으로의 통신을 의미한다.

<16> 무선 통신 시스템에 사용되는 다중 접속 기법에는 제한이 없다. 무선 통신 시스템은 CDMA(Code Division Multiple Access), TDMA(Time Division Multiple Access), FDMA(Frequency Division Multiple Access) 및 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access)와 같은 다양한 다중 접속 기법을 사용할 수 있다.

<17> 무선 통신 시스템은 다중 셀 환경이므로, 단말이 속한 셀에 인접하는 다른 셀이 존재한다. 단말이 속한 셀을 서빙 셀(Serving Cell)이라 하고, 인접하는 다른 셀을 인접 셀(Neighbor Cell)이라 한다. 인접 셀은 다른 기지국이 통신 서비스를 제공하는 영역이다. 서빙 셀에 속하는 기지국을 서빙 기지국(Serving BS)이라 하고, 인접 셀에 속하는 다른 기지국을 인접 기지국(Neighbor BS)이라 한다. 단말이 서빙 기지국으로부터 수신한 신호는 데이터 신호이고, 인접 기지국으로부터 수신한 신호는 간섭 신호이다.

<18> 공간 다중화 기술이 사용될 경우, 공간 다중화되어 전송되는 서로 다른 데이터 신호는 공간 역다중화(Spatial Demultiplexing; 이하 SD) 기법을 사용하여 각각의 데이터 신호에 대한 추정 신호로 분리될 수 있다. SD 기법으로 ZF(zero-forcing), 최소 평균 제곱 에러(Minimum Mean Squared Error; 이하 MMSE) 등이 사용될 수 있다. ZF는 수신 신호에 채널 행렬의 유사역행렬(pseudo-inverse matrix)을 곱하여 각각의 데이터 신호에 대한 추정 신호를 분리하는 방법이다. MMSE는 잡음의 영향까지 고려하여 검출 오류를 줄이는 것으로 MSE(Mean Square Error)를 최소화하는 방법이다. SD 기법은 하나의 기지국이 복수의 송신 안테나를 통해 서로 다른 신호를 전송하는 경우뿐 아니라, 복수의 기지국이 서로 다른 신호를 전송하는 경우에도 사용할 수 있다. 따라서, 서빙 기지국이 데이터 신호를 전송하고 인접 기지국이 간섭 신호를 전송하는 경우 단말은 SD 기법을 사용하여 서빙 기지국의 데이터 신호를 분리할 수 있다.

<19> 다중 셀 환경에서, M_T개의 기지국이 존재하고, 단말은 M_R개의 다중 안테나를 사용한다고 가정한다. 단말이 M_R개의 다중 안테나를 통해 수신하는 수신 신호를 $\mathbf{r}$이라 하고, 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

<20> $$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{Hs} + \boldsymbol{n}$$

<21> 여기서, $\mathbf{H}$는 M_T개의 기지국과 M_R개의 다중 안테나를 사용하는 단말 사이의 $M_R \times M_T$ 채널 행렬이고, $\mathbf{s}$는 M_T개의 기지국이 송신하는 송신 신호 벡터이고, $\mathbf{n}$은 잡음 벡터이다. 수신 신호 벡터는 $\mathbf{r} = [r_1, r_2, \cdots, r_{MR}]^T$, 송신 신호 벡터는 $\mathbf{s} = [s_1, s_2, \cdots, s_{MT}]^T$, 잡음 벡터는 $\mathbf{n} = [n_1, n_2, \cdots, n_{MR}]^T$로 표현할 수 있다. 채널 행렬 $\mathbf{H}$의 원소는 $h_{i,j}(1 \le i \le M_R, 1 \le j \le M_T$, i, j는 자연수)는 분산이 1인 복소 가우시안 변수일 수 있다.

<22> SD 기법을 사용하여 구한 추정 신호를 $\mathbf{y}_{SD}$라 하고, 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 2

<23> $$\boldsymbol{y}_{SD} = \boldsymbol{W}(\boldsymbol{Hs} + \boldsymbol{n})$$

<24> 여기서, $\mathbf{W}$는 $M_T \times M_R$ 가중치(Weight) 행렬이다. 가중치 행렬 $\mathbf{W}$는 ZF를 사용하는 경우 $\mathbf{W} = (\mathbf{H}^H\mathbf{H})^{-1}\mathbf{H}^H$ 이고, MMSE를 사용하는 경우 $\mathbf{W} = (\mathbf{H}^H\mathbf{H} + \sigma^2\mathbf{I})^{-1}\mathbf{H}^H$ 이다. $(\cdot)^H$는 허미션(Hermitian) 행렬이고, $(\cdot)^{-1}$은 역행렬이다.

<25> 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 안테나를 이용한 수신기를 도시한 블록도이다.

<26> 도 2를 참조하면, 수신기(100)는 복조기(110), 채널추정기(120), 디맵퍼(130), 디코딩부(140) 및 출력기(150)를 포함한다. 디코딩부(140)는 빔포밍 디코더(141), 공간 역다중 디코더(142) 및 추정 신호 선택기(143)를 포함할 수 있다. 수신기(100)는 M_R개($M_R \geq 1$, M_R은 자연수)의 수신 안테나(190-1, …,190-M_R)를 포함한다. 수신기(100)는 하향링크에서 단말의 일부분이거나, 상향링크에서 기지국의 일부분일 수 있다.

<27> 수신 안테나(190-1, …,190-M_R)를 통해 수신된 수신 신호는 복조기(110)에 의해 복조된다. 수신 신호는 서빙 기지국이 전송하는 송신 빔포밍 벡터로 처리된 데이터 신호와 인접 기지국이 전송하는 간섭 신호를 포함한다. 채널 추정기(120)는 채널을 추정하고, 디맵퍼(130)는 복조된 신호를 부호화된 데이터로 디맵핑한다. 디코딩부(140)는 부호화된 데이터를 디코딩하여 원래 데이터로 복원한다.

<28> 빔포밍 디코더(141)는 수신 신호를 송신 빔포밍 벡터에 대응하는 수신 빔포밍 벡터를 이용하여 신호처리한다. 수신 빔포밍 신호처리를 통해 데이터 신호에 대한 추정 신호를 구할 수 있다. 이때, 수신 빔포밍 벡터는 채널 행렬을 분해하여 구한 수신 빔포밍 행렬로부터 구할 수 있다.

<29> 빔포밍 공간 역다중 디코더(142)는 채널 행렬을 분해하여 구한 수신 빔포밍 행렬을 이용해 수신 신호를 공간 역다중화한다. 공간 역다중화를 통해 간섭 신호를 제거한 데이터 신호에 대한 간섭제거 추정 신호를 구할 수 있다. 빔포밍 공간 역다중 디코더(142)는 SD(Spatial Demultiplexing) 기법을 사용할 수 있다.

<30> 추정 신호 선택기(143)는 간섭제거 추정 신호와 추정 신호 중 어느 하나를 복원된 데이터로 선택하여 출력기(150)로 보낸다. 추정 신호 선택기(143)가 추정 신호를 선택하는 기준은 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio), 전송 효율(Spectral Efficiency), 단말과 서빙 기지국 사이 거리 등이 될 수 있다.

<31> 출력기(150)는 복원된 데이터를 출력 신호로 출력한다. 출력 신호는 수신 데이터로 수용(reception)된다.

<32> 이하, K개(K≥1, K는 자연수)의 기지국을 포함하는 다중 셀 환경을 고려한다. 각 기지국은 M_T개($M_T \geq 1$, M_T는 자연수)의 송신 안테나를 포함하고, 단말은 M_R개($M_R \geq 1$, M_R은 자연수)의 수신 안테나를 포함한다고 가정한다. 수신 신호는 서빙 기지국이 전송하는 송신 빔포밍 벡터로 처리된 데이터 신호와 인접 기지국이 전송하는 간섭 신호를 포함한다.

<33> 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 다중 안테나를 이용한 데이터 복원 방법을 나타내는 순서도이다.

<34> 도 3을 참조하면, 단말은 복수의 안테나를 통하여 수신 신호를 수신한다(S110).

<35> 수신 신호를 $\mathbf{r}$이라 하고, 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

<36> $$\begin{aligned}\boldsymbol{r} &= \sum_{k=1}^{K}\sqrt{P_k}\,\boldsymbol{H}_k\boldsymbol{x}_k + \boldsymbol{n} \\ &= \sqrt{P_1}\,\boldsymbol{H}_1\boldsymbol{x}_1 + \sum_{k=2}^{K}\sqrt{P_k}\,\boldsymbol{H}_k\boldsymbol{x}_k + \boldsymbol{n}\end{aligned}$$

<37> 여기서, K는 시스템 전체의 기지국 개수이고, P_k는 k 번째 기지국으로부터의 하향링크 신호에 대한 수신 전력이고, $\mathbf{H}_k$는 k 번째 기지국과 단말 사이의 $M_R \times M_T$의 채널 행렬이고, $\mathbf{x}_k$는 k 번째 기지국에서 전송되는 송신 신호 벡터이고, $\mathbf{n}$은 잡음 벡터이다. k = 1은 서빙 기지국의 인덱스이고, k = 2, …,K은 인접 기지국의 인덱스이다. $\mathbf{n}$은 부가백색 가우시안 잡음(AWGN: Additive White Gaussian Noise) 벡터일 수 있다.

<38> 임의의 행렬은 고유값 분해(Singular Value decomposition; 이하 SVD)를 사용하여 분해될 수 있다. SVD는 임의의 행렬을 유니터리 행렬(Unitary matrix) $\mathbf{U}$, 대각행렬(Diagonal matrix) $\sum$ 및 $\mathbf{V}$로 분해(Decomposition)할 수 있다. k 번째 기지국과 단말 사이의 채널 행렬 $\mathbf{H}_k$는 SVD를 사용하여 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 4

<39>
$$\boldsymbol{H}_k = [\, \boldsymbol{h}_1^k \ \cdots \ \boldsymbol{h}_{M_T}^k \,] = \boldsymbol{U}_k \sum\nolimits_k \boldsymbol{V}_k^H$$

<40> 여기서, $\mathbf{U}_k$의 허미션 행렬 $\mathbf{U}_k^H$는 수신 빔포밍 행렬이고, $\mathbf{V}_k$는 송신 빔포밍 행렬이고, $\sum_k$는 대각 행렬이다. $\mathbf{U}_k$, 송신 빔포밍 행렬 $\mathbf{V}_k$, 대각행렬 $\sum_k$는 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

<41>
$$\boldsymbol{U}_k = [\, \boldsymbol{u}_1^k \ \cdots \ \boldsymbol{u}_{M_R}^k \,]$$
$$\boldsymbol{V}_k = [\, \boldsymbol{v}_1^k \ \cdots \ \boldsymbol{v}_{M_T}^k \,]$$
$$\sum\nolimits_k = diag[\, \lambda_1^k \ \cdots \ \lambda_{M_R}^k \,]$$

<42> 여기서, 대각 행렬 $\sum_k$의 대각 요소(λ^k)는 고유값(singular value)이다. 상기 대각 요소는 λ_1^k가 최대값을 갖고, λ_{MR}^k가 최소값을 갖도록 내림차순으로 배열되어 있다고 가정한다.

<43> k 번째 기지국에서 전송되는 송신 신호 벡터 $\mathbf{x}_k$는 송신 빔포밍 행렬에서 생성된 벡터를 이용하여 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 6

<44>
$$\boldsymbol{x}_k = \boldsymbol{v}_1^k s_k$$

<45> 여기서, $\mathbf{v}_1^k$는 k 번째 기지국의 송신 빔포밍 행렬 $\mathbf{V}_k$의 1 열벡터(column vector)로, 최대 고유값 λ_1^k에 관계된 송신 빔포밍 벡터이고, s_k는 k 번째 기지국에서 전송하고자 하는 신호정보이다.

<46> 이와 같이, 단말은 복수의 안테나를 통하여 서빙 기지국이 전송하는 송신 빔포밍 벡터로 처리된 데이터 신호와 인접 기지국이 전송하는 간섭 신호를 포함하는 수신 신호를 수신한다.

<47> 단말은 수신 빔포밍 벡터를 이용해 수신 신호로부터 데이터 신호에 대한 추정 신호를 획득한다(S120). 수신 빔포밍 벡터는 송신 빔포밍 벡터에 대응한다. 수신 빔포밍 벡터는 수신 빔포밍 행렬 $\mathbf{U}_k^H$로부터 구할 수 있다. 수신 빔포밍 벡터를 이용하여 수신 신호로부터 검출한 추정 신호를 y_{EB}라 하고, 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 7

<48> $$y_{EB} = w_{EB} r = \sqrt{P_1}\lambda_1^1 s_1 + \tilde{n}_{EB}$$

<49> 여기서, w_{EB}는 수신 빔포밍 벡터로 $w_{EB} = (u_1^1)^H$이고, 최대 고유값 λ_1^k는 빔포밍 이득이고, $\tilde{n}_{EB}$는 수신 빔포밍 벡터에 의해 변형된 잡음 성분이다. $\tilde{n}_{EB}$는 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 8

<50> $$\tilde{n}_{EB} = (u_1^1)^H \left(\sum_{k=2}^{K} \sqrt{P_k} H_k v_1^k s_k + n \right)$$

<51> 이와 같이, 수신 신호로부터 추정 신호를 획득하는 방법을 빔포밍(Eigen-beamforming; EB) 기법이라고 한다.

<52> 인접 셀 간섭이 고려되지 않는 다중 셀 환경에서, 각각의 기지국이 서비스 영역에 속해 있는 단말에 빔포밍을 이용하여 신호를 전송하는 경우, 빔포밍은 수신 신호의 SINR을 최대화함으로써 빔포밍 이득을 얻을 수 있다. 그러나, 셀 경계와 같이 인접 셀 간섭이 큰 영역에서는 인접 셀에 위치한 기지국으로부터 전송되는 간섭 신호의 영향으로 인하여 단말의 수신 성능 열화가 발생하게 된다. 따라서, 셀 경계에 있는 단말에 가장 큰 영향을 미치는 기지국들이 빔포밍 처리된 신호를 송신할 때, 빔포밍 이득을 줄이지 않으면서도 인접 셀 간섭의 영향을 최소화할 수 있는 수신 신호처리 방안이 필요하다.

<53> 이하, 인접 셀 간섭의 영향을 최소화할 수 있는 수신 신호처리 방법을 간섭제거 빔포밍(Eigen-beamforming with interference cancellation; EB-IC) 기법이라 한다. 이제, 간섭제거 빔포밍 기법에 대해 설명한다.

<54> 단말은 수신 빔포밍 행렬과 유사역행렬을 이용하여 간섭제거 추정 신호를 획득한다(S130). 유사역행렬은 수신 빔포밍 행렬을 이용해 변형된 채널 행렬을 이용해 구할 수 있다. 수신 빔포밍 행렬과 유사 역행렬을 이용하여 수신 신호를 공간 역다중화함으로써 데이터 신호에 대한 간섭제거 추정 신호를 구할 수 있다.

<55> 수신 신호 r은 수신 안테나 개수 M_R을 이용하여 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 9

<56> $$r = \sqrt{P_1} H_1 x_1 + \sum_{k=2}^{M_R} \sqrt{P_k} H_k x_k + \sum_{k=M_R+1}^{K} \sqrt{P_k} H_k x_k + n$$

<57> 여기서, 인접 기지국의 인덱스는 수신 안테나 개수 M_R을 이용하여, $k = 2, \cdots, M_R$과 $k = M_R+1, \cdots, K$로 나눠서 표현할 수 있다. $k = 2, \cdots, M_R$의 인덱스 그룹은 간섭제거 빔포밍 기법을 통하여 간섭 신호를 제거할 수 있는 것이고, $k = M_R, \cdots, K$의 인덱스 그룹은 간섭제거 빔포밍 기법을 통하여 간섭 신호를 제거할 수 없는 것이다.

<58> 빔포밍 기법에서는 SVD를 이용한 채널 행렬의 분해를 통하여 발생하는 수신 빔포밍 벡터 $(u_1^1)^H$를 이용하여 단말에서 신호를 복원한다. 간섭제거 빔포밍 기법은 수신 빔포밍 행렬 U_1^H과 SD 기법에 사용되는 유사역행렬(pseudo-inverse matrix)를 결합하여 생성된 새로운 가중치 벡터를 이용하여 데이터를 복원한다.

<59> 수신 신호 r을 수신 빔포밍 행렬 U_1^H를 이용해 신호처리를 수행하면, 변형된 수신 신호 벡터을 구할 수 있다. 변형된 수신 신호 벡터를 r'이라 하고, 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 10

$$\begin{aligned} r' &= U_1^H r \\ &= U_1^H[\sqrt{P_1}\,H_1 v_1^1 \cdots \sqrt{P_{M_R}}\,H_{M_R} v_1^{M_R}]s + n' \\ &= \sqrt{P_1}\,Gs + n' \end{aligned}$$

<60>

<61> 여기서, G는 서빙 기지국에서 전송되는 데이터 신호와 인접 기지국에서 전송되는 간섭 신호를 고려되어 변형된 변형 채널 행렬이고, s는 송신 신호 벡터이고, n'은 잡음 신호 벡터이다. 변형 채널 행렬 G, 송신 신호 벡터 s, 잡음 신호 벡터 n'은 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 11

$$\begin{aligned} G &= U_1^H[\,H_1 v_1^1 \cdots \sqrt{P_{M_R}/P_1}\,H_{M_R} v_1^{M_R}] \\ s &= [s_1, s_2, \cdots, s_{M_R}]^T \\ n' &= U_1^H\Big(\sum_{k=M_R+1}^{K} \sqrt{P_k}\,H_k v_1^k s_k + n\Big) \end{aligned}$$

<62>

<63> 수신 빔포밍 행렬(U_1^H)을 이용한 신호처리 후, 변형 채널 행렬 G를 통하여 SD 기법을 사용하기 위한 유사역행렬을 구할 수 있다.

<64> SD 기법으로 ZF 기법을 사용할 경우, 유사역행렬은 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 12

$$Z=(G^H G)^{-1} G^H = \begin{bmatrix} z_1 \\ \vdots \\ z_{M_R} \end{bmatrix}$$

<65>

<66> 여기서, Z는 유사역행렬이고, z_i($1 \le i \le M_R$, i는 자연수)는 유사역행렬 Z의 i 번째 행벡터(row vector)이다.

<67> SD 기법으로 MMSE 기법을 사용할 경우, 유사역행렬은 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 13

$$Z=(G^H G+\sigma^2 I)^{-1} G^H = \begin{bmatrix} z_1 \\ \vdots \\ z_{M_R} \end{bmatrix}$$

<68>

<69> 여기서, Z는 유사역행렬이고, σ^2은 잡음(noise)의 분산(variance)이고, z_i($1 \le i \le M_R$, i는 자연수)는 유사역행렬 Z의 i 번째 행벡터이다.

<70> 이하, ZF 기법을 사용할 경우의 유사역행렬 또는 MMSE 기법을 사용할 경우의 유사역행렬을 모두 유사역행렬 Z라 한다.

<71> 유사역행렬 Z의 1 행벡터와 변형된 수신 신호 r'을 이용하여 신호를 복원할 수 있다. 간섭제거 빔포밍 기법을 통해 복원된 간섭제거 추정 신호를 y_{EB-IC}라 하고, 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 14

$$y_{EB-IC} = z_1 r' = z_1 U_1^H r = w_{EB-IC} r$$
$$= \sqrt{P_1}\lambda_1^1 s_1 + \tilde{n}_{EB-IC}$$

<72>

<73> 여기서, w_{EB-IC}는 가중치 벡터이고, λ_1^1는 빔포밍 이득이고, $\tilde{n}_{EB-IC}$는 변형된 잡음 성분이다. 변형된 잡음 성분 $\tilde{n}_{EB-IC}$는 $\tilde{n}_{EB-IC} = z_1 n'$로 표현할 수 있다. 즉, 간섭제거 빔포밍 기법을 사용하여 λ_1^1의 빔포밍 이득과 동시에 간섭 제거로 인한 수신 성능 이득을 얻을 수 있다.

<74> w_{EB-IC}는 간섭제거 빔포밍 기법을 위해 가중치 벡터로, 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 15

$$w_{EB-IC} = z_1 U_1^H$$

<75>

<76> 단말은 추정 신호와 간섭제거 추정 신호 중 어느 하나를 선택한다(S140). 추정 신호를 선택하는 기준은 SINR, 전송 효율, 단말과 서빙 기지국 사이 거리 등이 될 수 있다.

<77> 도 4는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 다중 안테나를 이용한 데이터 복원 방법을 나타내는 순서도이다. 도 4는 단말이 추정 신호와 간섭제거 추정 신호 중 어느 하나를 선택하는 기준을 유효 SINR로 하는 경우이다.

<78> 단말은 복수의 수신 안테나를 통해 수신 신호를 수신한다(S210). 이때, 수신 신호는 서빙 기지국이 전송하는 송신 빔포밍 처리된 데이터 신호와 인접 기지국이 전송하는 간섭 신호를 포함한다.

<79> 단말은 기지국들과 단말 간에 형성된 채널 정보를 추정하고, 잡음 신호의 세기를 추정한다(S220).

<80> 단말은 빔포밍 기법을 사용할 경우 유효(effective) SINR 및 간섭제거 빔포밍 기법을 사용할 경우 유효 SINR을 계산한다(S230). 각각의 유효 SINR은 단말에서 추정된 채널 정보와 잡음 신호의 세기를 이용하여 구할 수 있다.

<81> 빔포밍 기법을 사용하여 추정 신호를 검출한 경우, 추정 신호에 대한 유효 SINR을 $\hat{\mu}_{EB}$라 하고, 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 16

$$\hat{\mu}_{EB} = \frac{\left|\sqrt{P_1}\lambda_1^1 s_1\right|^2}{\left|n_{EB}\right|^2} = \frac{\left|w\sqrt{P_1}\,\boldsymbol{H}_1 \boldsymbol{v}_1^1\right|^2}{\left|w(\sum_{k=2}^{K}\sqrt{P_k}\,\boldsymbol{H}_k \boldsymbol{v}_1^k s_k + \boldsymbol{n})\right|^2} = \frac{\left|(\boldsymbol{u}_1^1)^H\sqrt{P_1}\,\boldsymbol{H}_1 \boldsymbol{v}_1^1\right|^2}{\left|(\boldsymbol{u}_1^1)^H(\sum_{k=2}^{K}\sqrt{P_k}\,\boldsymbol{H}_k \boldsymbol{v}_1^k s_k + \boldsymbol{n})\right|^2}$$

<82>

<83> 간섭제거 빔포밍 기법을 사용하여 간섭제거 추정 신호를 검출한 경우, 간섭제거 추정 신호에 대한 유효 SINR을 $\hat{\mu}_{EB\text{-}IC}$라 하고, 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 17

$$\mu_{EB\text{-}IC} = \frac{\left|\sqrt{P_1}\lambda_1^1 s_1\right|^2}{\left|n_{EB\text{-}IC}\right|^2} = \frac{\left|w\sqrt{P_1}\,\boldsymbol{H}_1 \boldsymbol{v}_1^1\right|^2}{\left|w(\sum_{k=M_R+1}^{K}\sqrt{P_k}\,\boldsymbol{H}_k \boldsymbol{v}_1^k s_k + \boldsymbol{n})\right|^2} = \frac{\left|\boldsymbol{z}_1 \boldsymbol{U}_1^H\sqrt{P_1}\,\boldsymbol{H}_1 \boldsymbol{v}_1^1\right|^2}{\left|\boldsymbol{z}_1 \boldsymbol{U}_1^H(\sum_{k=M_R+1}^{K}\sqrt{P_k}\,\boldsymbol{H}_k \boldsymbol{v}_1^k s_k + \boldsymbol{n})\right|^2}$$

<84>

<85> 빔포밍 기법의 유효 SINR인 $\hat{\mu}_{EB}$와 간섭제거 빔포밍 기법의 유효 SINR인 $\hat{\mu}_{EB\text{-}IC}$를 비교하여 데이터 복원에 필요한 가중치 벡터를 결정할 수 있다(S240).

<86> 이를 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 18

$$\frac{\hat{\mu}_{EB}}{\hat{\mu}_{EB\text{-}IC}} \leq 1$$

<87>

<88> 빔포밍 기법의 유효 SINR인 $\hat{\mu}_{EB}$가 간섭제거 빔포밍 기법의 유효 SINR인 $\hat{\mu}_{EB\text{-}IC}$보다 크면, 검출 벡터 $\mathbf{w}$는 수신 빔포밍 벡터 $(\mathbf{u}_1^1)^H$를 사용한다(S250).

<89> 간섭제거 빔포밍 기법의 유효 SINR인 $\hat{\mu}_{EB\text{-}IC}$가 빔포밍 기법의 유효 SINR인 $\hat{\mu}_{EB}$보다 크면, 검출 벡터 $\mathbf{w}$는 가중치 벡터 $\mathbf{z}_1\mathbf{U}_1^H$를 사용한다(S260).

<90> 검출 벡터 $\mathbf{w}$를 결정하는 방법은 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 19

<91>
$$\mathbf{w} = \begin{cases} (\mathbf{u}_1^1)^H, & \hat{\mu}_{\text{EB-IC}} \le \hat{\mu}_{\text{EB}} \\ \mathbf{z}_1\mathbf{U}_1^H, & \hat{\mu}_{\text{EB-IC}} > \hat{\mu}_{\text{EB}} \end{cases}$$

<92> 이와 같이, 추정 신호, 간섭제거 추정 신호에 대한 각각의 유효 SINR을 계산하고, 이를 비교함으로써 적응적(adaptive)으로 유효 SINR이 큰 추정 신호를 출력 신호로 선택할 수 있다(S270). 출력 신호는 검출 벡터와 수신 신호를 이용하여 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 20

<93>
$$y = \mathbf{w}r$$

<94> 이하, 상술한 수신기 및 데이터 복원 방법의 수신 성능에 대한 시뮬레이션(simulation)결과에 대하여 설명한다. 시뮬레이션 환경은 19개의 다중 셀 환경이고, 각 셀의 중심에는 기지국이 하나씩 있다. 셀의 중심에서 셀의 가장 먼 거리까지의 거리는 1로 정규화한다. 단말은 기지국 신호를 전송받는 하향링크 상황이다.

<95> 도 5는 시뮬레이션을 위한 다중 셀 환경의 일 예를 나타낸 것이다. 도 5는 19개의 다중 셀 중 하나의 서빙 기지국 셀(Cell_0)과 서빙 기지국 셀(Cell_0)을 둘러싼 6개의 인접 기지국 셀(Cell_1 내지 Cell_6)만을 도시한 것이다. 서빙 기지국 셀(Cell_0)은 단말(20)이 통신하는 서빙 기지국(10)이 속한 셀이고, 인접 기지국 셀(Cell_1 내지 Cell_6)은 인접 기지국(11, …, 16)이 속한 셀이다. 서빙 기지국(10)은 단말에게 데이터 신호를 전송하고, 인접 기지국(11, …, 16)의 신호들은 단말에게 간섭 신호로 작용한다. 단말(10)은 N개의 안테나를 포함한다.

<96> 도 5를 참조하면, 각 셀의 중심마다 하나의 기지국이 위치한다. 각 셀의 중심에서 셀의 가장 먼 거리까지의 거리(D)는 1로 정규화한다. 서빙 기지국(10)과 각각의 인접 기지국(11, …, 16) 간의 거리는 2(2D)로 서로 동일한 것으로 가정한다.

<97> 서빙 기지국(10)과 단말(20)과의 거리는 d이다. 시뮬레이션은 단말(20)이 d와 동일한 반지름을 갖는 동심원 상에 균일하게(uniform) 분포될 때 평균적으로 산출한 것이다.

<98> 도 6은 단말과 서빙 기지국 사이의 거리 변화에 따른 유효 SINR의 평균값(Average Effective SINR)을 도시한 그래프이다. 그래프 x축은 단말과 서빙 기지국 사이의 정규화 거리(Normalized Distance, d)이고, y축은 유효 SINR의 평균값이다. 유효 SINR의 평균값의 단위는 데시벨(decibel; dB)이다.

<99> 도 6은 간섭제거 빔포밍 기법(EB-IC)을 사용한 단말 및 빔포밍 기법(EB)을 사용한 단말에 대한 시뮬레이션 결과이다. 송신 안테나(M_T) 및 수신 안테나(M_R)는 2개, 3개, 4개를 사용한다. 두 기법 모두 단말과 서빙 기지국 사이의 거리(d)가 멀어질수록 유효 SINR의 평균값이 낮아진다. 인접 기지국의 간섭 신호의 세기가 증가하기 때문이다. 또한, 사용하는 안테나 개수가 증가할수록 유효 SINR의 평균값은 증가한다.

<100> 단말과 서빙 기지국 사이의 거리(d)가 가까울 때는 빔포밍 기법을 사용한 경우가 간섭제거 빔포밍 기법을 사용한 경우보다 유효 SINR 평균값이 높다. 단말과 서빙 기지국 사이의 거리(d)가 어느 지점에 오면, 빔포밍 기법을 사용한 곡선과 간섭제거 빔포밍 기법을 사용한 곡선이 교차한다. 송신 안테나 및 수신 안테나를 2개 사용한 경우, 단말과 서빙 기지국 사이의 거리(d)가 0.7 내지 0.8 부근에서 교차한다. 사용하는 안테나 개수가 증가할수

록, 두 곡선이 교차하는 단말과 서빙 기지국 사이의 거리(d)가 작아진다. 교차 후에는 간섭제거 빔포밍 기법을 사용한 경우가 빔포밍 기법을 사용한 경우보다 유효 SINR 평균값이 높다. 이는 단말이 서빙 기지국 근처에 있을 때는 빔포밍 기법이 수신 성능 향상에 유리하나, 간섭 신호의 세기가 큰 셀 경계 지역에서는 인접 기지국으로부터 전송되는 간섭 신호를 최소화할 수 있는 간섭제거 빔포밍 기법이 수신 성능 향상에 유리함을 나타낸다. 또한, 사용하는 안테나 개수가 증가할 수록 간섭제거 빔포밍 기법을 사용할 경우 수신 성능 이득을 얻을 수 있는 구간이 더욱 늘어남을 나타낸다. 따라서, 빔포밍 기법과 간섭제거 빔포밍 기법의 수신 성능 우위가 변화하는 지점에서 적응적으로 사용하는 것이 효율적일 것이다.

<101> 도 7은 송신 안테나 및 수신 안테나 개수 변화에 따른 전송 효율을 도시한 그래프이다. 그래프 x축은 송신 안테나 및 수신 안테나 개수(M_T, M_R)이고, y축은 전송 효율(Spectral Efficiency)이다. 전송 효율의 단위는 bps/Hz(bits per second/Hertz)이다. 도 7은 간섭제거 빔포밍 기법을 사용한 단말 및 빔포밍 기법을 사용한 단말에 대한 시뮬레이션 결과이다. 단말과 서빙 기지국 사이 거리(d)는 0.6, 0.8, 1.0이다.

<102> 도 7을 참조하면, 단말과 서빙 기지국 사이 거리(d)가 증가할수록, 간섭제거 빔포밍 기법을 사용한 단말이 빔포밍 기법을 사용한 단말에 비해 전송 효율이 높다. 즉, 단말이 셀 경계로 이동할수록 간섭제거 빔포밍 기법이 빔포밍 기법보다 수신 성능을 향상시킬 수 있다.

<103> 도 8은 유효 SINR에 따른 누적 분포 함수(Cumulative Distribution Function; CDF)를 도시한 그래프이다. 그래프 x축은 유효 SINR이고, y축은 누적 분포 함수이다. 도 8은 빔포밍 기법만을 사용한 단말 및 빔포밍 기법과 간섭제거 빔포밍 기법을 적응적으로 사용한 단말에 대한 시뮬레이션 결과이다. 송신 안테나(M_T) 및 수신 안테나(M_R)는 2개, 3개, 4개를 사용한다.

<104> 도 8을 참조하면, 일정한 CDF에서, 빔포밍 기법과 간섭제거 빔포밍 기법을 적응적으로 사용한 경우가 빔포밍 기법만을 사용한 경우보다 유효 SINR이 높다. 즉, 적응적 수신 방법을 사용하는 단말의 수신 성능이 더욱 향상됨을 나타낸다.

<105> 도 9는 단말과 서빙 기지국 사이의 거리(d) 변화에 따른 전송 효율을 도시한 그래프이다. 그래프의 x축은 단말과 서빙 기지국 사이의 정규화 거리(d)이고, y축은 전송 효율이다. 전송 효율의 평균값의 단위는 bps/Hz이다. 도 9는 빔포밍 기법을 사용한 단말, 간섭제거 빔포밍 기법을 사용한 단말, 빔포밍 기법과 간섭제거 빔포밍 기법을 적응적으로 사용한 단말에 대한 시뮬레이션 결과이다. 송신 안테나(M_T) 및 수신 안테나(M_R)는 2개, 4개를 사용한다.

<106> 도 9를 참조하면, 단말과 서빙 기지국 사이의 거리(d)가 큰 셀 경계에서는 간섭제거 빔포밍 기법을 사용한 경우가 빔포밍 기법보다 전송 효율이 높다. 또한, 빔포밍 기법과 간섭제거 빔포밍 기법을 적응적으로 사용하면 빔포밍 기법만을 사용한 경우나 간섭제거 빔포밍 기법만을 사용한 경우보다 전송 효율이 높다. 즉, 즉응적 수신 방법을 사용하는 단말의 수신 성능이 더욱 향상됨을 나타낸다.

<107> 상술한 시뮬레이션 결과들의 수치는 예시에 불과하며 한정 사항이 아니다. 시뮬레이션 결과들은 주어지는 조건에 따라 그 결과값이 달라질 수 있다. 시뮬레이션의 결과값이 달라지더라도 본 발명의 취지에 부합한다면 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 것이다.

<108> 이와 같이, 다중 안테나를 이용한 수신기의 경우, 빔포밍 기법 또는 간섭제거 빔포밍 기법만을 사용하는 대신 빔포밍 기법과 간섭제거 빔포밍 기법을 적응적으로 사용하는 경우 SINR 및 전송 효율이 크게 향상됨을 알 수 있다. 따라서, 적응적 수신 방법이 수신 성능을 크게 향상시킬 수 있다. 적응적 수신 방법은 서빙 기지국에 인접한 지역에서는 빔포밍 기법을 사용하고, 셀 경계에서는 간섭 신호를 최소화할 수 있는 간섭제거 빔포밍 기법을 사용할 수 있기 때문이다.

<109> 상술한 모든 기능은 상기 기능을 수행하도록 코딩된 소프트웨어나 프로그램 코드 등에 따른 마이크로프로세서, 제어기, 마이크로제어기, ASIC(Application Specific Integrated Circuit) 등과 같은 프로세서에 의해 수행될 수 있다. 상기 코드의 설계, 개발 및 구현은 본 발명의 설명에 기초하여 당업자에게 자명하다고 할 것이다.

<110> 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

<111> 도 1은 무선 통신 시스템을 나타낸 것이다.

<112> 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 안테나를 이용한 수신기를 도시한 블록도이다.

<113> 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 다중 안테나를 이용한 데이터 복원 방법을 나타내는 순서도이다.

<114> 도 4는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 다중 안테나를 이용한 데이터 복원 방법을 나타내는 순서도이다.

<115> 도 5는 시뮬레이션을 위한 다중 셀 환경의 일 예를 나타낸 것이다.

<116> 도 6은 단말과 서빙 기지국 사이의 거리 변화에 따른 유효 SINR의 평균값(Average Effective SINR)을 도시한 그래프이다.

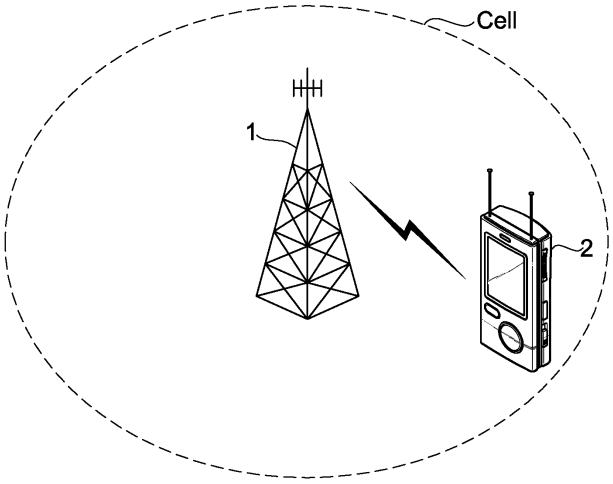
<117> 도 7은 송신 안테나 및 수신 안테나 개수 변화에 따른 전송 효율을 도시한 그래프이다.

<118> 도 8은 유효 SINR에 따른 누적 분포 함수(Cumulative Distribution Function; CDF)를 도시한 그래프이다.

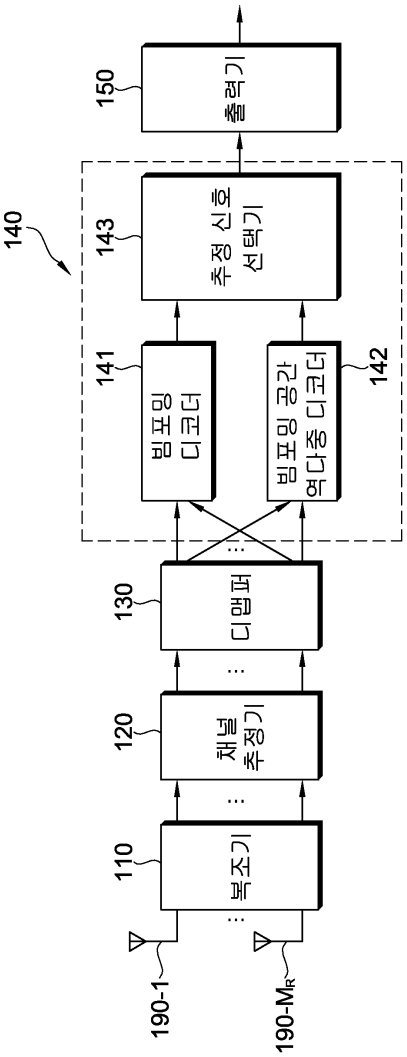
<119> 도 9는 단말과 서빙 기지국 사이의 거리(d) 변화에 따른 전송 효율을 도시한 그래프이다.

도면

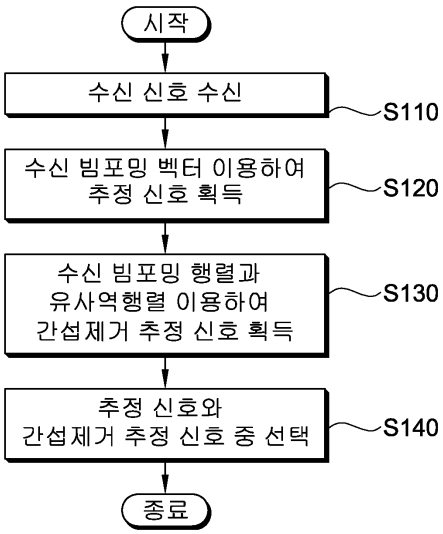
도면1



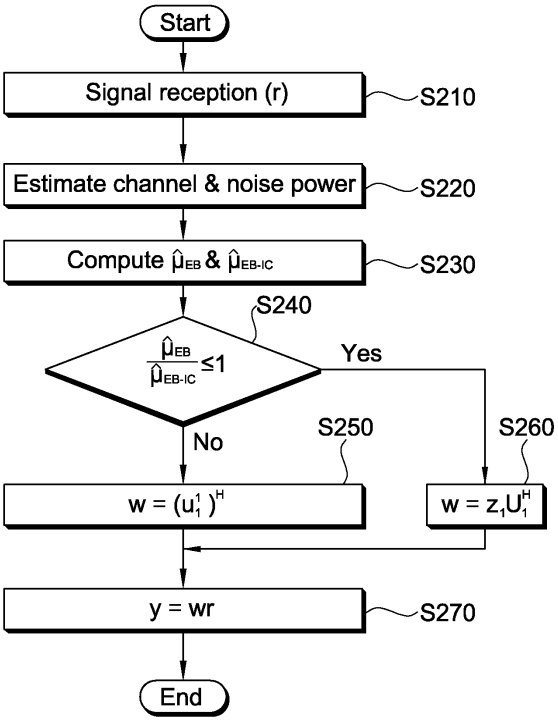
도면2


150
출력기
140
143
추정 신호 선택기
141
빔포밍 디코더
142
빔포밍 공간 역다중 디코더
130
디맵퍼
120
채널 추정기
110
복조기
190-1
190-MR

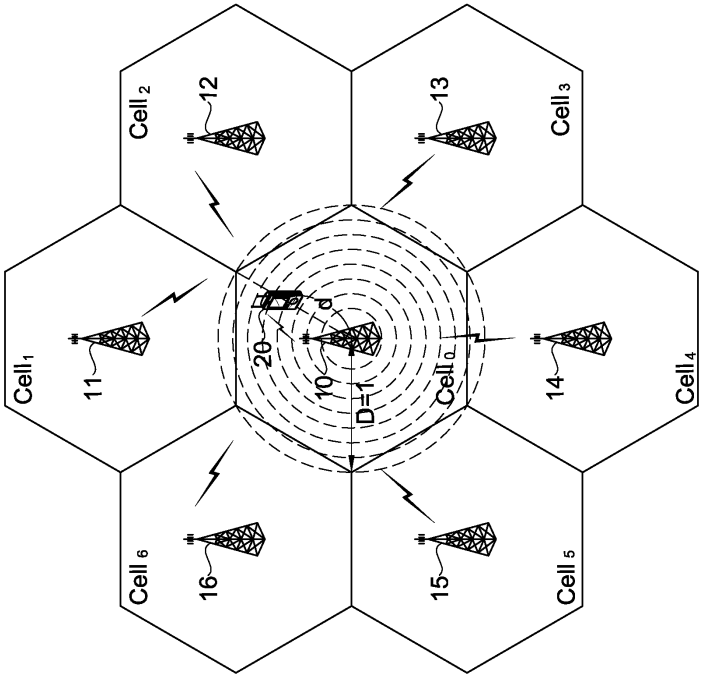
도면3


시작
수신 신호 수신
S110
수신 빔포밍 벡터 이용하여
추정 신호 획득
S120
수신 빔포밍 행렬과
유사역행렬 이용하여
간섭제거 추정 신호 획득
S130
추정 신호와
간섭제거 추정 신호 중 선택
S140
종료

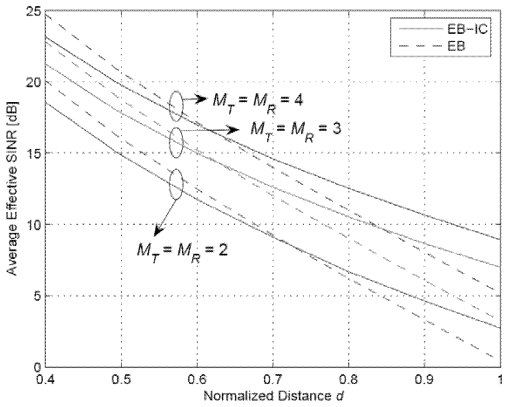
도면4


Start
Signal reception (r)
S210
Estimate channel & noise power
S220
Compute $\hat{\mu}_{EB}$ & $\hat{\mu}_{EB\text{-}IC}$
S230
S240
$\frac{\hat{\mu}_{EB}}{\hat{\mu}_{EB\text{-}IC}} \leq 1$
Yes
No
S250
S260
$w = (u_1^1)^H$
$w = z_1 U_1^H$
y = wr
S270
End

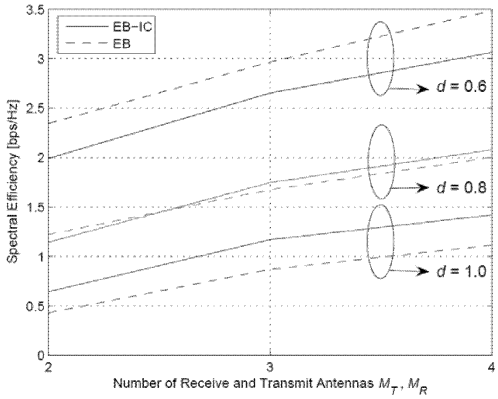
도면5


Cell 2
12
Cell 3
13
Cell 1
11
Cell 0
Cell 4
14
Cell 6
16
15
Cell 5
d
2θ
10
D=1

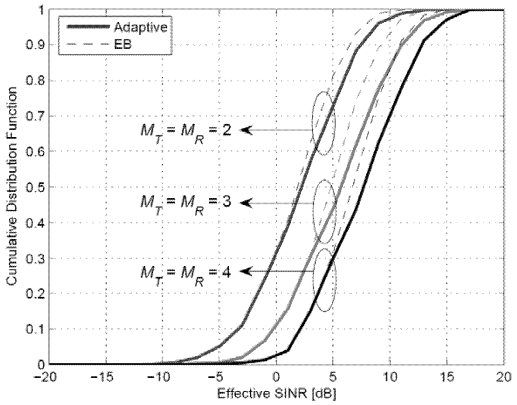
도면6


EB-IC
EB
$M_T = M_R = 4$
$M_T = M_R = 3$
$M_T = M_R = 2$
Average Effective SINR [dB]
Normalized Distance d
25
20
15
10
5
0
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1

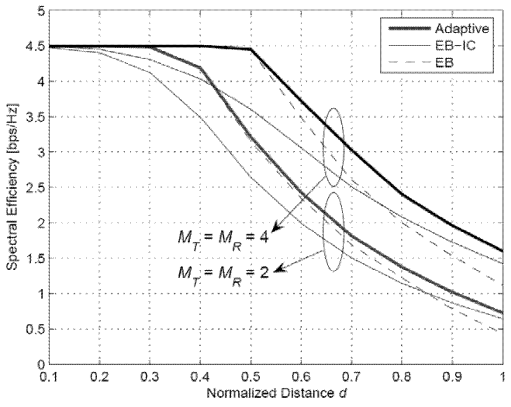
도면7


EB-IC
EB
d = 0.6
d = 0.8
d = 1.0
Spectral Efficiency [bps/Hz]
Number of Receive and Transmit Antennas M_T, M_R

도면8


Adaptive
EB
$M_T = M_R = 2$
$M_T = M_R = 3$
$M_T = M_R = 4$
Cumulative Distribution Function
Effective SINR [dB]

도면9


Adaptive
EB-IC
EB
$M_T = M_R = 4$
$M_T = M_R = 2$
Spectral Efficiency [bps/Hz]
Normalized Distance d