



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0032777  
(43) 공개일자 2012년04월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H04B 7/26 (2006.01) H04W 16/32 (2009.01)  
(21) 출원번호 10-2010-0094295  
(22) 출원일자 2010년09월29일  
심사청구일자 없음

(71) 출원인  
삼성전자주식회사  
경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)  
(72) 발명자  
신원재  
경기도 용인시 기흥구 삼성2로 95, 삼성종합기술원 기숙사 A510호 (농서동)  
이남윤  
서울특별시 관악구 남부순환로228길 6, 201호 (봉천동)  
(74) 대리인  
특허법인무한

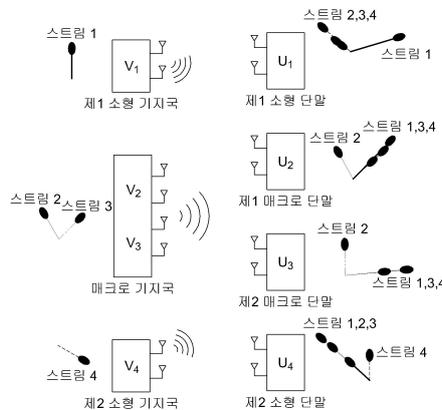
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 계층셀 통신 시스템에서 다운링크 빔포밍 벡터 결정 방법 및 장치

(57) 요약

계층셀 통신 시스템에서 다운링크 빔포밍 벡터를 결정하는 방법 및 장치가 제공된다. 소형 기지국들은 매크로 단말에서 소형 기지국들의 간섭이 제거되도록 소형 기지국들이 송신 빔포밍 벡터를 결정하고, 소형 기지국들의 송신 빔포밍 벡터에 기초하여 매크로 단말 및 소형 단말들은 수신 빔포밍 벡터들을 결정한다. 매크로 기지국은 각 단말의 수신 빔포밍 벡터들을 고려한 각 단말로의 실효 채널들을 기초로 송신 빔포밍 벡터를 결정한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

**노원중**

경기도 용인시 기흥구 삼성2로 97, 기숙사 C동 201호 (농서동, 삼성종합기술원)

**홍영준**

서울특별시 서초구 신반포로 9, 88동 202호 (반포동)

**최현호**

경기도 수원시 영통구 영통로 232, 벽적골8단지아파트 823동 1802호 (영통동)

**신창용**

서울특별시 강남구 도곡로93길 12, 대치우성2차아파트 201동 1102호 (대치동, 우성2차아파트201동)

**장경훈**

경기도 수원시 영통구 태장로82번길 32, 동수원엘지빌리지1차아파트 112동 1602호 (망포동)

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

상기 매크로 기지국에 대응하는 적어도 하나의 매크로 단말 각각에서 제1 소형 기지국으로부터의 간섭 및 제2 소형 기지국으로부터의 간섭이 정렬되도록 상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터가 결정된 경우, 상기 제1 소형 기지국에 대응하는 제1 소형 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 제1 소형 단말 사이의 제1 소형 실효 채널에 관한 정보 및 상기 제2 소형 기지국에 대응하는 제2 소형 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 제2 소형 단말 사이의 제2 소형 실효 채널에 관한 정보를 획득하는 단계; 및

상기 제1 소형 실효 채널에 관한 정보 및 상기 제2 소형 실효 채널에 관한 정보를 이용하여 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계

를 포함하고,

상기 적어도 하나의 매크로 단말 각각의 수신 빔포밍 벡터는

상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터에 따라 결정되는 매크로 기지국의 통신 방법.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계는

상기 제1 소형 실효 채널에 관한 정보 및 상기 제2 소형 실효 채널에 관한 정보를 이용하여 상기 제1 소형 단말 및 상기 제2 소형 단말 각각에서 상기 매크로 기지국으로부터의 간섭이 널링(nulling)되도록 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계

를 포함하는 매크로 기지국의 통신 방법.

### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 적어도 하나의 매크로 단말이 제1 매크로 단말 및 제2 매크로 단말을 포함하는 경우,

상기 제1 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 제1 매크로 단말 사이의 제1 매크로 실효 채널에 관한 정보 및 상기 제2 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 제2 매크로 단말 사이의 제2 매크로 실효 채널에 관한 정보를 수신하는 단계

를 더 포함하고,

상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계는

상기 제1 매크로 실효 채널에 관한 정보 및 상기 제2 매크로 실효 채널에 관한 정보를 더 이용하여 상기 제1 매크로 단말에서 상기 매크로 기지국으로부터의 제2 매크로 단말을 위한 신호에 의한 간섭이 널링되고 상기 제2 매크로 단말에서 상기 매크로 기지국으로부터의 제1 매크로 단말을 위한 신호에 의한 간섭이 널링되도록 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계

를 포함하는 매크로 기지국의 통신 방법.

### 청구항 4

제2항에 있어서,

이웃 매크로 기지국에 대응하는 이웃 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 이웃 매크로 단말 사이의 실효 채널에 관한 정보를 획득하는 단계

를 더 포함하고,

상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계는

상기 매크로 기지국 및 상기 이웃 매크로 단말 사이의 실효 채널에 관한 정보를 더 이용하여, 상기 이웃 매크로 단말에서 상기 매크로 기지국으로부터 상기 이웃 매크로 단말로의 간섭이 널링되도록 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계

를 포함하는 매크로 기지국의 통신 방법.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 매크로 단말 각각의 수신 빔포밍 벡터는

상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터에 기초하여 상기 적어도 하나의 매크로 단말 각각에서 상기 제1 소형 기지국 및 상기 제2 소형 기지국으로부터의 간섭이 널링되도록 결정되는 매크로 기지국의 통신 방법.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제1 소형 기지국 및 상기 제2 소형 기지국 각각과 상기 적어도 하나의 매크로 단말 각각 사이의 채널들에 대한 정보를 수신하는 단계; 및

상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터가 결정될 수 있도록 상기 제1 소형 기지국 및 상기 제2 소형 기지국 각각과 상기 적어도 하나의 매크로 단말 각각 사이의 채널들에 대한 정보를 상기 제1 소형 기지국 및 상기 제2 소형 기지국으로 전달하는 단계

를 더 포함하는 매크로 기지국의 통신 방법.

#### 청구항 7

매크로 기지국에 대응하는 매크로 단말의 통신 방법에 있어서,

제1 소형 기지국 및 상기 매크로 단말 사이의 제1 간섭 채널 및 제2 소형 기지국 및 상기 매크로 단말 사이의 제2 간섭 채널에 대한 정보를 피드백하는 단계;

상기 제1 간섭 채널 및 상기 제2 간섭 채널에 대한 정보를 피드백함에 응답하여 상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터가 결정되면, 상기 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계;

상기 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터를 이용하여 상기 매크로 기지국 및 상기 매크로 단말 사이의 실효 채널을 계산하는 단계; 및

상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터가 결정되기 이전에, 상기 매크로 기지국 및 상기 매크로 단말 사이의 실효 채널에 관한 정보를 상기 매크로 기지국으로 피드백하는 단계

를 포함하는 매크로 단말의 통신 방법.

#### 청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제1 간섭 채널 및 상기 제2 간섭 채널에 대한 정보를 피드백하는 단계는

상기 제1 간섭 채널에 대한 정보 및 상기 제2 간섭 채널에 대한 정보가 결합된 정보를 피드백하는 단계인 매크로 단말의 통신 방법.

#### 청구항 9

제7항에 있어서,

상기 제1 간섭 채널 및 상기 제2 간섭 채널에 대한 정보를 피드백하는 단계는

상기 제1 간섭 채널 및 상기 제2 간섭 채널에 대한 정보가 상기 제1 소형 기지국 및 상기 제2 소형 기지국으로 전달되도록 상기 제1 간섭 채널 및 상기 제2 간섭 채널에 대한 정보를 매크로 기지국으로 피드백하는 단계인 매크로 단말의 통신 방법.

#### 청구항 10

제7항에 있어서,

상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터에 관한 정보 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터에 관한 정보를 수신하는 단계

를 더 포함하고,

상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터는 상기 매크로 단말에서 상기 제1 소형 기지국으로부터의 간섭 및 상기 제2 소형 기지국으로부터의 간섭이 정렬되도록 결정되는 매크로 단말의 통신 방법.

#### 청구항 11

제7항에 있어서,

상기 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계는

상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제1 간섭 채널을 고려하여 상기 매크로 단말에서 상기 제1 소형 기지국으로부터의 간섭이 제거되고, 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 간섭 채널을 고려하여 상기 매크로 단말에서 상기 제2 소형 기지국으로부터의 간섭이 제거되도록 상기 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계인 매크로 단말의 통신 방법.

#### 청구항 12

제11항에 있어서,

상기 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계는

상기 제1 소형 기지국으로부터의 간섭의 방향 및 상기 제2 소형 기지국으로부터의 간섭의 방향과 직교(orthogonal)하는 방향으로 상기 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계인 매크로 단말의 통신 방법.

#### 청구항 13

매크로 기지국에 있어서,

상기 매크로 기지국에 대응하는 적어도 하나의 매크로 단말 각각에서 제1 소형 기지국으로부터의 간섭 및 제2 소형 기지국으로부터의 간섭이 정렬되도록 상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터가 결정된 경우, 상기 제1 소형 기지국에 대응하는 제1 소형 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 제1 소형 단말 사이의 제1 소형 실효 채널에 관한 정보 및 상기 제2 소형 기지국에 대응하는 제2 소형 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 제2 소형 단말 사이의 제2 소형 실효 채널에 관한 정보를 획득하는 채널 추정부; 및

상기 제1 소형 실효 채널에 관한 정보 및 상기 제2 소형 실효 채널에 관한 정보를 이용하여 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 송신 빔포밍 벡터 결정부

를 포함하고,

상기 적어도 하나의 매크로 단말 각각의 수신 빔포밍 벡터는

상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터에 따라 결정되는 매크로 기지국.

**청구항 14**

제13항에 있어서,

상기 송신 빔포밍 벡터 결정부는

상기 제1 소형 실효 채널에 관한 정보 및 상기 제2 소형 실효 채널에 관한 정보를 이용하여 상기 제1 소형 단말 및 상기 제2 소형 단말 각각에서 상기 매크로 기지국으로부터의 간섭이 널링되도록 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 매크로 기지국.

**청구항 15**

제14항에 있어서,

상기 적어도 하나의 매크로 단말이 제1 매크로 단말 및 제2 매크로 단말을 포함하는 경우,

상기 수신부는

상기 제1 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 제1 매크로 단말 사이의 제1 매크로 실효 채널에 관한 정보 및 상기 제2 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 제2 매크로 단말 사이의 제2 매크로 실효 채널에 관한 정보를 수신하고,

상기 송신 빔포밍 벡터 결정부는

상기 제1 매크로 실효 채널에 관한 정보 및 상기 제2 매크로 실효 채널에 관한 정보를 더 이용하여 상기 제1 매크로 단말에서 상기 매크로 기지국으로부터의 제2 매크로 단말을 위한 신호에 의한 간섭이 널링되고 상기 제2 매크로 단말에서 상기 매크로 기지국으로부터의 제1 매크로 단말을 위한 신호에 의한 간섭이 널링되도록 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 매크로 기지국.

**청구항 16**

제14항에 있어서,

상기 수신부는

이웃 매크로 기지국에 대응하는 이웃 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 이웃 매크로 단말 사이의 실효 채널에 관한 정보를 획득하고,

상기 송신 빔포밍 벡터 결정부는

상기 매크로 기지국 및 상기 이웃 매크로 단말 사이의 실효 채널에 관한 정보를 더 이용하여, 상기 이웃 매크로 단말에서 상기 매크로 기지국으로부터 상기 이웃 매크로 단말로의 간섭이 널링(nulling)되도록 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 매크로 기지국.

**청구항 17**

제15항에 있어서,

상기 적어도 하나의 매크로 단말 각각의 수신 빔포밍 벡터는

상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터에 기초하여 상기 적어도 하나의 매크로 단말 각각에서 상기 제1 소형 기지국 및 상기 제2 소형 기지국으로부터의 간섭이 널링되도록 결정되는 매크로 기지국.

**청구항 18**

제13항에 있어서,

상기 수신부는

상기 제1 소형 기지국 및 상기 제2 소형 기지국 각각과 상기 적어도 하나의 매크로 단말 각각 사이의 채널들에 대한 정보를 수신하고,

상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터가 결정될 수 있도록 상

기 제1 소형 기지국 및 상기 제2 소형 기지국 각각과 상기 적어도 하나의 매크로 단말 각각 사이의 채널들에 대한 정보를 상기 제1 소형 기지국 및 상기 제2 소형 기지국으로 전달하는 전달부를 더 포함하는 매크로 기지국.

**청구항 19**

대상 소형 기지국에 대응하는 대상 소형 단말의 통신 방법에 있어서,  
 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 고려한 상기 매크로 기지국으로부터 상기 대상 소형 단말로의 실효 채널에 대한 정보 및 이웃 소형 기지국으로부터 상기 대상 소형 단말로의 채널에 대한 정보를 획득하는 단계;  
 상기 대상 소형 단말에서 상기 매크로 기지국으로부터의 간섭 및 상기 이웃 소형 기지국으로부터의 간섭이 정렬 되도록 상기 이웃 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계; 및  
 상기 대상 소형 단말에서 상기 매크로 기지국으로부터의 간섭이 널링되도록 상기 대상 소형 단말의 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계  
 를 포함하는 대상 소형 단말의 통신 방법.

**청구항 20**

제19항에 있어서,  
 상기 이웃 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계는  
 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터 생성에 이용되는 코드북과 동일한 코드북에 기초하여 상기 이웃 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계이고,  
 상기 대상 소형 단말의 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계는  
 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터 생성에 이용되는 코드북과 동일한 코드북에 기초하여 상기 대상 소형 단말의 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계인 대상 소형 단말의 통신 방법.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명의 실시예들은 계층셀 통신 시스템에 관한 것으로, 보다 구체적으로 다운링크 송신 빔포밍 벡터 및 다운링크 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 최근 다양한 무선 통신 기술과 장비의 등장으로 인하여 무선 통신에 대한 수요가 급격히 증가하고 있다. 이는 곧 한정되어 있는 주파수 자원에 대한 부족을 초래하여 주파수 자원을 보다 효율적으로 사용하고자 하는 요구들이 증가하고 있다.

[0003] 계층 셀 환경은, 매크로 셀(macro cell) 내에, 소형 기지국에 의하여 형성되는 소형 셀들이 self organizing network 형태로 구축되는 환경을 말한다. 이때, 소형 기지국에 의하여 형성되는 소형 셀은, 예를 들어, 릴레이 셀, 랩토 셀, 피코 셀, Home Node-B(HNB)에 의한 셀, Home enhanced Node-B(HeNB)에 의한 셀, RRH(remote radio head)에 의한 셀 등이 있다.

[0004] 계층셀 환경은 전체 시스템 용량 증대를 가능하게 하지만, 매크로 기지국과 소형 기지국 간 간섭으로 인해 사용자의 서비스 품질이 떨어질 수 있다. 따라서 매크로 셀과 소형 셀 간 간섭을 효율적으로 관리할 필요가 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0005] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 계층 셀 통신 시스템에서 실효 채널 정보와 같은 적은 양의 피드백 정보를 이용하여 빔포밍 벡터를 결정함으로써 셀간 간섭(inter cell interference) 및 셀 내부 간섭(intra cell interference)을 효율적으로 제어할 수 있으며, 전체(full) 채널 정보를 피드백하는 경우에 근접한 통신 성능을

연을 수 있다.

**과제의 해결 수단**

- [0006] 본 발명의 일 실시예에 의한 매크로 기지국의 통신 방법은 상기 매크로 기지국에 대응하는 적어도 하나의 매크로 단말 각각에서 제1 소형 기지국으로부터의 간섭 및 제2 소형 기지국으로부터의 간섭이 정렬되도록 상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터가 결정된 경우, 상기 제1 소형 기지국에 대응하는 제1 소형 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 제1 소형 단말 사이의 제1 소형 실효 채널에 관한 정보 및 상기 제2 소형 기지국에 대응하는 제2 소형 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 제2 소형 단말 사이의 제2 소형 실효 채널에 관한 정보를 획득하는 단계; 및 상기 제1 소형 실효 채널에 관한 정보 및 상기 제2 소형 실효 채널에 관한 정보를 이용하여 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계를 포함하고, 상기 적어도 하나의 매크로 단말 각각의 수신 빔포밍 벡터는 상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터에 따라 결정된다.
- [0007] 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계는 상기 제1 소형 실효 채널에 관한 정보 및 상기 제2 소형 실효 채널에 관한 정보를 이용하여 상기 제1 소형 단말 및 상기 제2 소형 단말 각각에서 상기 매크로 기지국으로부터의 간섭이 널링(nulling)되도록 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0008] 상기 매크로 기지국의 통신 방법은 상기 적어도 하나의 매크로 단말이 제1 매크로 단말 및 제2 매크로 단말을 포함하는 경우, 상기 제1 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 제1 매크로 단말 사이의 제1 매크로 실효 채널에 관한 정보 및 상기 제2 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 제2 매크로 단말 사이의 제2 매크로 실효 채널에 관한 정보를 수신하는 단계를 더 포함하고, 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계는 상기 제1 매크로 실효 채널에 관한 정보 및 상기 제2 매크로 실효 채널에 관한 정보를 더 이용하여 상기 제1 매크로 단말에서 상기 매크로 기지국으로부터의 제2 매크로 단말을 위한 신호에 의한 간섭이 널링되고 상기 제2 매크로 단말에서 상기 매크로 기지국으로부터의 제1 매크로 단말을 위한 신호에 의한 간섭이 널링되도록 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0009] 상기 매크로 기지국의 통신 방법은 이웃 매크로 기지국에 대응하는 이웃 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 이웃 매크로 단말 사이의 실효 채널에 관한 정보를 획득하는 단계를 더 포함하고, 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계는 상기 매크로 기지국 및 상기 이웃 매크로 단말 사이의 실효 채널에 관한 정보를 더 이용하여, 상기 이웃 매크로 단말에서 상기 매크로 기지국으로부터 상기 이웃 매크로 단말로의 간섭이 널링(nulling)되도록 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0010] 상기 적어도 하나의 매크로 단말 각각의 수신 빔포밍 벡터는 상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터에 기초하여 상기 적어도 하나의 매크로 단말 각각에서 상기 제1 소형 기지국 및 상기 제2 소형 기지국으로부터의 간섭이 널링되도록 결정될 수 있다.
- [0011] 상기 매크로 기지국의 통신 방법은 상기 제1 소형 기지국 및 상기 제2 소형 기지국 각각과 상기 적어도 하나의 매크로 단말 각각 사이의 채널들에 대한 정보를 수신하는 단계; 및 상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터가 결정될 수 있도록 상기 제1 소형 기지국 및 상기 제2 소형 기지국 각각과 상기 적어도 하나의 매크로 단말 각각 사이의 채널들에 대한 정보를 상기 제1 소형 기지국 및 상기 제2 소형 기지국으로 전달하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0012] 본 발명의 일 실시예에 의한 매크로 기지국에 대응하는 매크로 단말의 통신 방법은 제1 소형 기지국 및 상기 매크로 단말 사이의 제1 간섭 채널 및 제2 소형 기지국 및 상기 매크로 단말 사이의 제2 간섭 채널에 대한 정보를 피드백하는 단계; 상기 제1 간섭 채널 및 상기 제2 간섭 채널에 대한 정보를 피드백함에 응답하여 상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터가 결정되면, 상기 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계; 상기 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터를 이용하여 상기 매크로 기지국 및 상기 매크로 단말 사이의 실효 채널을 계산하는 단계; 및 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터가 결정되기 이전에, 상기 매크로 기지국 및 상기 매크로 단말 사이의 실효 채널에 관한 정보를 상기 매크로 기지국으로 피드백하는 단계를 포함한다.

- [0013] 상기 제1 간섭 채널 및 상기 제2 간섭 채널에 대한 정보를 피드백하는 단계는 상기 제1 간섭 채널에 대한 정보 및 상기 제2 간섭 채널에 대한 정보가 결합된 정보를 피드백하는 단계일 수 있다.
- [0014] 상기 제1 간섭 채널 및 상기 제2 간섭 채널에 대한 정보를 피드백하는 단계는 상기 제1 간섭 채널 및 상기 제2 간섭 채널에 대한 정보가 상기 제1 소형 기지국 및 상기 제2 소형 기지국으로 전달되도록 상기 제1 간섭 채널 및 상기 제2 간섭 채널에 대한 정보를 매크로 기지국으로 피드백하는 단계일 수 있다.
- [0015] 상기 매크로 단말의 통신 방법은 상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터에 관한 정보 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터에 관한 정보를 수신하는 단계를 더 포함하고, 상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터는 상기 매크로 단말에서 상기 제1 소형 기지국으로부터의 간섭 및 상기 제2 소형 기지국으로부터의 간섭이 정렬되도록 결정될 수 있다.
- [0016] 상기 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계는 상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제1 간섭 채널을 고려하여 상기 매크로 단말에서 상기 제1 소형 기지국으로부터의 간섭이 제거되고, 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 간섭 채널을 고려하여 상기 매크로 단말에서 상기 제2 소형 기지국으로부터의 간섭이 제거되도록 상기 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계일 수 있다.
- [0017] 상기 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계는 상기 제1 소형 기지국으로부터의 간섭의 방향 및 상기 제2 소형 기지국으로부터의 간섭의 방향과 직교(orthogonal)하는 방향으로 상기 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계일 수 있다.
- [0018] 본 발명의 일 실시예에 따른 매크로 기지국은 상기 매크로 기지국에 대응하는 적어도 하나의 매크로 단말 각각에서 제1 소형 기지국으로부터의 간섭 및 제2 소형 기지국으로부터의 간섭이 정렬되도록 상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터가 결정된 경우, 상기 제1 소형 기지국에 대응하는 제1 소형 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 제1 소형 단말 사이의 제1 소형 실효 채널에 관한 정보 및 상기 제2 소형 기지국에 대응하는 제2 소형 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 제2 소형 단말 사이의 제2 소형 실효 채널에 관한 정보를 획득하는 채널 추정부; 및 상기 제1 소형 실효 채널에 관한 정보 및 상기 제2 소형 실효 채널에 관한 정보를 이용하여 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 송신 빔포밍 벡터 결정부를 포함하고, 상기 적어도 하나의 매크로 단말 각각의 수신 빔포밍 벡터는 상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터에 따라 결정된다.
- [0019] 상기 송신 빔포밍 벡터 결정부는 상기 제1 소형 실효 채널에 관한 정보 및 상기 제2 소형 실효 채널에 관한 정보를 이용하여 상기 제1 소형 단말 및 상기 제2 소형 단말 각각에서 상기 매크로 기지국으로부터의 간섭이 널링되도록 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.
- [0020] 상기 적어도 하나의 매크로 단말이 제1 매크로 단말 및 제2 매크로 단말을 포함하는 경우, 상기 수신부는 상기 제1 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 제1 매크로 단말 사이의 제1 매크로 실효 채널에 관한 정보 및 상기 제2 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 제2 매크로 단말 사이의 제2 매크로 실효 채널에 관한 정보를 수신하고, 상기 송신 빔포밍 벡터 결정부는 상기 제1 매크로 실효 채널에 관한 정보 및 상기 제2 매크로 실효 채널에 관한 정보를 더 이용하여 상기 제1 매크로 단말에서 상기 매크로 기지국으로부터의 제2 매크로 단말을 위한 신호에 의한 간섭이 널링되고 상기 제2 매크로 단말에서 상기 매크로 기지국으로부터의 제1 매크로 단말을 위한 신호에 의한 간섭이 널링되도록 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.
- [0021] 상기 수신부는 이웃 매크로 기지국에 대응하는 이웃 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 이웃 매크로 단말 사이의 실효 채널에 관한 정보를 획득하고, 상기 송신 빔포밍 벡터 결정부는 상기 매크로 기지국 및 상기 이웃 매크로 단말 사이의 실효 채널에 관한 정보를 더 이용하여, 상기 이웃 매크로 단말에서 상기 매크로 기지국으로부터 상기 이웃 매크로 단말로의 간섭이 널링(nulling)되도록 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.
- [0022] 상기 적어도 하나의 매크로 단말 각각의 수신 빔포밍 벡터는 상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터에 기초하여 상기 적어도 하나의 매크로 단말 각각에서 상기 제1 소형 기지국 및 상기 제2 소형 기지국으로부터의 간섭이 널링되도록 결정될 수 있다.
- [0023] 상기 수신부는 상기 제1 소형 기지국 및 상기 제2 소형 기지국 각각과 상기 적어도 하나의 매크로 단말 각각 사

이의 채널들에 대한 정보를 수신하고, 상기 매크로 기지국은 상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 상기 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터가 결정될 수 있도록 상기 제1 소형 기지국 및 상기 제2 소형 기지국 각각과 상기 적어도 하나의 매크로 단말 각각 사이의 채널들에 대한 정보를 상기 제1 소형 기지국 및 상기 제2 소형 기지국으로 전달하는 전달부를 더 포함할 수 있다.

[0024] 본 발명의 일 실시예에 의한 대상 소형 기지국에 대응하는 대상 소형 단말의 통신 방법은 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 고려한 상기 매크로 기지국으로부터 상기 대상 소형 단말로의 실효 채널에 대한 정보 및 이웃 소형 기지국으로부터 상기 대상 소형 단말로의 채널에 대한 정보를 획득하는 단계; 상기 대상 소형 단말에서 상기 매크로 기지국으로부터의 간섭 및 상기 이웃 소형 기지국으로부터의 간섭이 정렬되도록 상기 이웃 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계; 및 상기 대상 소형 단말에서 상기 매크로 기지국으로부터의 간섭이 널링 되도록 상기 대상 소형 단말의 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계를 포함한다.

[0025] 상기 이웃 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계는 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터 생성에 이용되는 코드북과 동일한 코드북에 기초하여 상기 이웃 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계이고, 상기 대상 소형 단말의 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계는 상기 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터 생성에 이용되는 코드북과 동일한 코드북에 기초하여 상기 대상 소형 단말의 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계일 수 있다.

**발명의 효과**

[0026] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 계층 셀 통신 시스템에서 실효 채널 정보와 같은 적은 양의 피드백 정보를 이용하여 빔포밍 벡터를 결정함으로써 셀간 간섭(inter cell interference) 및 셀 내부 간섭(intra cell interference)을 효율적으로 제어할 수 있으며, 전체(full) 채널 정보를 피드백하는 경우에 근접한 통신 성능을 얻을 수 있다.

[0027] 그리고 본 발명의 일 실시예에 따르면, 적은 양의 피드백 정보를 사용함으로써 통신 시스템 구현을 보다 용이하게 할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 계층 셀 통신 시스템을 도시한 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 송신 빔포밍 벡터 및 수신 빔포밍 벡터 결정 방법이 적용될 수 있는 계층 셀 통신 시스템을 도시한 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 송신 빔포밍 벡터 및 수신 빔포밍 벡터 결정 방법이 적용될 수 있는 둘 이상의 매크로 셀이 존재하는 계층 셀 통신 시스템을 도시한 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 송신 빔포밍 벡터 및 수신 빔포밍 벡터 결정 방법이 적용될 수 있는 둘 이상의 매크로 셀이 존재하는 계층 셀 통신 시스템을 도시한 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 매크로 기지국의 통신 방법을 나타낸 동작 흐름도이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 매크로 단말의 통신 방법을 나타낸 동작 흐름도이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 매크로 기지국의 기능블록도이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 매크로 단말의 기능블록도이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 피코 기지국들로부터 매크로 단말로의 간섭이 약한 계층 셀 통신 시스템을 도시한 도면이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 피코 기지국들로부터 매크로 단말로의 간섭이 약한 계층 셀 통신 시스템의 신호 전송 과정을 도시한 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0029] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0030] 본 발명의 실시예를 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고, 본 명세서에서 사용

되는 용어(terminology)들은 본 발명의 바람직한 실시예를 적절히 표현하기 위해 사용된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 본 발명이 속하는 분야의 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 본 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[0031] 본 발명의 일 실시예들은 계층 셀 통신 환경에서 채널에 관한 적은 양의 피드백 정보를 이용하여 전체(full) 채널 정보를 피드백하는 경우에 근접한 성능을 달성할 수 있는 송신 빔포밍 벡터들 및 수신 빔포밍 벡터들을 생성하는 방법을 제공할 수 있다.

[0032] 아래에서는 설명의 편의를 위해 몇 가지를 가정 한다. 하지만 본 발명의 실시예들은 이러한 가정이 존재해야만 동작하는 것이 아니며 권리의 범위를 한정하기 위한 것이 아니다. 즉, 기지국 및 단말의 수, 안테나 수 등이 확장된 경우에도 본 발명의 실시예들이 적용될 수 있다. 또한 이러한 가정은 LTE-Advanced와 같은 차세대 이동 통신 표준화 단체 등에서 고려하고 있는 환경과 비슷하다.

[0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 계층 셀 통신 시스템을 도시한 도면이다.

[0034] 도 1은 매크로 셀 내부에 두 개의 소형 셀이 존재하는 경우를 나타낸다. 매크로 셀은 매크로 기지국이 두 매크로 단말들(제1 매크로 단말 및 제2 매크로 단말)을 동시에 서비스하는 MU-MIMO 통신 시스템으로 동작하며, 매크로 기지국은 4개의 안테나를 가진다. 두 소형 셀들은 각 소형 기지국(제1 소형 기지국 및 제2 소형 기지국)이 각각 하나씩의 소형 단말(제1 소형 단말 및 제2 소형 단말)을 서비스하는 SU-MIMO 통신 시스템으로 동작하며, 각 소형 셀에 속하는 제1 소형 기지국 및 제2 소형 기지국은 각각 2개의 안테나를 가진다. 소형 셀은 통상적으로 적은 비용으로 제작되므로 소형 기지국의 안테나 수는 매크로 기지국의 안테나 수보다 적을 수 있다. 또한 시스템의 복잡도를 낮추기 위해 단일 단말을 서비스하는 경우가 많다.

[0035] 그리고 각 단말들(매크로 단말들 및 소형 단말들)은 각각 2개의 안테나를 가진다. 따라서 각 단말은 2차원의 신호 공간(2-dimensional signal space)를 가진다. 각 단말은 각 단말에 대응하는 기지국으로부터 하나의 스트림을 하나의 신호 공간을 이용하여 수신하고, 다른 하나의 신호 공간을 이용하여 셀간 간섭 및 셀 내부 간섭을 정렬할 수 있다면 각 단말은 각각 하나의 스트림을 완벽하게 수신할 수 있다.

[0036] 각 기지국이 각 단말을 위해 전송하는 신호는 [수학식 1]과 같이 나타낼 수 있다.

[0037] [수학식 1]

[0038] 
$$\mathbf{x}_i = \sqrt{p_i} \mathbf{v}_i \mathbf{s}_i$$

[0039] 여기서  $i=1,2,3,4$ 이다.  $i$ 는 단말의 인덱스이다. 즉, 제1 소형 단말, 제1 매크로 단말, 제2 매크로 단말 및 제2 소형 단말의 순으로  $i$ 의 값이 1부터 4에 각각 대응된다. 또한  $\mathbf{s}_i$ 는 전송하는 스트림을 나타낸다.  $\mathbf{v}_i$ 는 송신 빔포밍 벡터를 나타내고 단위 정규 벡터(unit norm vector)이다(즉,  $\|\mathbf{v}_i\|_2 = 1$ ).  $p_i$ 는 데이터 스트림의 전송 파워를 나타낸다.

[0040] 그러면, 각 단말이 수신하는 신호는 아래와 같이 표현된다. 우선, 제1 소형 단말이 수신하는 신호  $\mathbf{y}_1$ 은 [수학식 2]로 표현된다.

[0041] [수학식 2]

$$\mathbf{y}_1 = \mathbf{H}_{11}\sqrt{p_1}\mathbf{v}_1\mathbf{s}_1 + \underbrace{\sum_{i=2}^3 \mathbf{H}_{12}\sqrt{p_i}\mathbf{v}_i\mathbf{s}_i}_{\text{other-cell interference (매크로 셀)}} + \underbrace{\mathbf{H}_{13}\sqrt{p_3}\mathbf{v}_3\mathbf{s}_3}_{\text{other-cell interference (제2 소형 셀)}} + \mathbf{n}_1$$

[0042]

[0043] 제1 매크로 단말이 수신하는 신호  $\mathbf{y}_2$  및 제2 매크로 단말이 수신하는 신호  $\mathbf{y}_3$  는 [수학식 3]으로 표현된다.

$$\mathbf{y}_i^{macro} = \mathbf{H}_{i2}\sqrt{p_i}\mathbf{v}_i\mathbf{s}_i + \underbrace{\mathbf{H}_{i2}\sqrt{p_k}\mathbf{v}_k\mathbf{s}_k}_{\text{other-cell interference (매크로 셀)}} + \underbrace{\sum_{j=1, j \neq 2}^3 \mathbf{H}_{ij}\sqrt{p_j}\mathbf{v}_j\mathbf{s}_j}_{\text{other-cell interference (소형 셀)}} + \mathbf{n}_i$$

[0044]

where  $i, i \in \{2, 3\}, i \neq i$

[0045]

제2 소형 단말이 수신하는 신호  $\mathbf{y}_4$  는 [수학식 4]로 표현된다.

[0046] [수학식 4]

$$\mathbf{y}_4 = \mathbf{H}_{43}\sqrt{p_4}\mathbf{v}_4\mathbf{s}_4 + \underbrace{\sum_{i=2}^3 \mathbf{H}_{12}\sqrt{p_i}\mathbf{v}_i\mathbf{s}_i}_{\text{other-cell interference (매크로)}} + \underbrace{\mathbf{H}_{31}\sqrt{p_1}\mathbf{v}_1\mathbf{s}_1}_{\text{other-cell interference (제1 소형 셀)}} + \mathbf{n}_4$$

[0047]

[0048] 여기서  $\mathbf{H}_{ij}$  는 j번째 기지국과 i번째 단말 사이의 채널 매트릭스를 나타내고,  $\mathbf{n}_i$  는 i번째 단말에 더해지는 가산성 백색 잡음(Additive White Gaussian Noise; AWGN)이다. 각 단말은 각 단말의 수신 빔포밍 벡터  $\mathbf{u}_i^H$  를 이용하여 실효(effective) 신호를 얻을 수 있다.

[0049] 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따라 도 1과 같은 시스템 모델에서 매크로 셀 및 소형 셀들의 송신 빔포밍 벡터들 및 수신 빔포밍 벡터들이 어떻게 결정될 수 있는지를 단계별로 설명한다.

[0050] 첫 번째 단계에서, 각 소형 기지국은 각 소형 기지국으로부터 각 매크로 단말로의 간섭 채널들에 대한 정보를 피드백 받는다. 본 발명의 일 실시예에서, 제1 소형 기지국은 소형 기지국들로부터 매크로 단말들의 모든 (a11) 간섭 채널에 대한 정보들( $\mathbf{H}_{21}, \mathbf{H}_{23}, \mathbf{H}_{33}, \mathbf{H}_{31}$ )을 피드백받는 대신, 각 매크로 단말의 간섭 채널들에 대한 정보들이 결합된 정보를 피드백 받을 수 있다. 즉, 제1 소형 기지국은 제1 매크로 단말로부터

$(\mathbf{H}_{21})^{-1}\mathbf{H}_{23}$  를, 제2 매크로 단말로부터  $(\mathbf{H}_{33})^{-1}\mathbf{H}_{31}$  를 피드백 받을 수 있다. 마찬가지로 제2 소형 기지국도  $(\mathbf{H}_{21})^{-1}\mathbf{H}_{23}$  및  $(\mathbf{H}_{33})^{-1}\mathbf{H}_{31}$  를 피드백 받을 수 있다. 이러한 피드백 정보들은 각 매크로 단말들로부터 매크로 기지국을 거쳐서 제1 소형 기지국 및 제2 소형 기지국에 전달될 수 있다.

[0051] 두 번째 단계에서, 제1 소형 기지국 및 제2 소형 기지국은 매크로 단말 각각에서 제1 소형 기지국으로부터의 간섭 및 제2 소형 기지국으로부터의 간섭이 정렬되도록 상기 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터( $\mathbf{v}_1$ ) 및 상기 제

2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터( $\mathbf{v}_2$ )를 결정한다.

[0052] 소형 기지국들의 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 자세한 방법은 아래 수학식들로 설명될 수 있다.

[0053] [수학식 5]

$$\mathbf{H}_{21} \mathbf{v}_1 = \alpha \mathbf{H}_{23} \mathbf{v}_4$$

$$\mathbf{H}_{31} \mathbf{v}_1 = \beta \mathbf{H}_{33} \mathbf{v}_4$$

[0054]

[0055] [수학식 5]를 전개하여 [수학식 6]과 같이 나타낼 수 있다.

[0056] [수학식 6]

$$\mathbf{H}_{31} \left( \alpha (\mathbf{H}_{21})^{-1} \mathbf{H}_{23} \mathbf{v}_4 \right) = \beta \mathbf{H}_{33} \mathbf{v}_4$$

$$\Leftrightarrow \underbrace{\mathbf{H}_{31} \alpha (\mathbf{H}_{21})^{-1} \mathbf{H}_{23}}_{\mathbf{A}} \underbrace{\mathbf{v}_4}_{\mathbf{x}} = \beta \underbrace{\mathbf{H}_{33}}_{\mathbf{B}} \underbrace{\mathbf{v}_4}_{\mathbf{x}}$$

$$\Leftrightarrow \mathbf{Ax} = \lambda \mathbf{Bx}$$

[0057]

[0058] Rayleigh-Ritz method에 의하면 [수학식 6]으로부터 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터  $\mathbf{v}_4$ 가 [수학식 7]과 같이 결정될 수 있다.

[0059] [수학식 7]

$$\left( \mathbf{H}_{33} \right)^{-1} \mathbf{H}_{31} \left( \mathbf{H}_{21} \right)^{-1} \mathbf{H}_{23} \mathbf{v}_4 = \frac{\beta}{\alpha} \mathbf{v}_4$$

$$\therefore \mathbf{v}_4 = \mathit{eig} \left( \left( \mathbf{H}_{33} \right)^{-1} \mathbf{H}_{31} \left( \mathbf{H}_{21} \right)^{-1} \mathbf{H}_{23} \right)$$

*where eig(A) deonte a eigenvector of A*

[0060]

[0061] [수학식 7]은 2x2 행렬의 고유 벡터(eigenvector)를 구하는 것에 대한 것이다. 2x2 행렬이 서로 독립한 열(column)들을 가지고 있다면 반드시 2개의 고유 벡터가 존재한다.

[0062] 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터  $\mathbf{v}_1$ 은 [수학식 8]처럼 [수학식 5]에  $\mathbf{v}_4$ 를 대입하면 얻어질 수 있다.

[0063] [수학식 8]

$$\therefore \mathbf{v}_1 = \rho \left( \mathbf{H}_{21} \right)^{-1} \mathbf{H}_{23} \mathbf{v}_4$$

*where  $\rho$  is the constant to normalize  $|\mathbf{v}_1|^2$*

[0064]

[0065] 소형 기지국들이 소형 기지국들로부터 매크로 단말들로의 모든(all) 간섭 채널에 대한 정보들( $H_{21}$ ,  $H_{23}$ ,  $H_{33}$ ,  $H_{31}$ )을 피드백받는 경우, sum throughput 관점에서 더 이득이 있는 고유 벡터가  $\mathbf{v}_4$ 로 결정될 수 있다. 하지만 본 발명의 실시예들과 같이 제1 매크로 단말 및 제2 매크로 단말이  $(\mathbf{H}_{21})^{-1}\mathbf{H}_{23}$  과  $(\mathbf{H}_{33})^{-1}\mathbf{H}_{31}$  를 피드백하는 경우, 두 고유 벡터들 중에서 임의의 한 고유 벡터가  $\mathbf{v}_4$ 로 선택되어도 무방하다.

[0066] 세 번째 단계에서, 각 단말들은 소형 기지국들의 송신 빔포밍 벡터들로 인한 간섭을 고려하여 각 단말들의 수신 빔포밍 벡터들( $\mathbf{u}_1$ ,  $\mathbf{u}_2$ ,  $\mathbf{u}_3$ ,  $\mathbf{u}_4$ )을 결정한다. 소형 기지국들의 송신 빔포밍 벡터들이 이미 결정되었기 때문에, 각 단말은 소형 기지국들의 송신 빔포밍 벡터들과 간섭 채널 정보들을 이용하여 간섭을 제거하기 위한 수신 빔포밍 벡터  $\mathbf{u}_i^H$  를 결정할 수 있다.

[0067] 예를 들어, 제1 매크로 단말은 제1 소형 기지국 및 제2 소형 기지국으로부터의 간섭들이 정렬되는  $\mathbf{H}_{21}\mathbf{v}_1$  방향에 직교(orthogonal)하는 방향인  $(\mathbf{H}_{21}\mathbf{v}_1)^\perp$  방향으로  $\mathbf{u}_2$  를 결정할 수 있다. 제2 매크로 단말도 같은 방법으로  $\mathbf{u}_3$  를 결정할 수 있다.

[0068] 그리고, 제1 소형 단말은 제2 소형 기지국으로부터의 간섭의 방향인  $\mathbf{H}_{13}\mathbf{v}_4$ 의 방향과 직교하는 방향인  $(\mathbf{H}_{13}\mathbf{v}_4)^\perp$  방향으로  $\mathbf{u}_1$  를 결정할 수 있다. 제2 소형 단말도 같은 방법으로  $\mathbf{u}_4$  를 결정할 수 있다.

[0069] 지금까지 간섭의 방향과 직교하는 방향으로 수신 빔포밍 벡터들을 결정하는 방법을 설명하였지만, 본 발명의 실시예들은 노이즈를 고려한 최소 평균 제곱 오차(Minimum Mean Squared Error; MMSE) 필터를 수신 빔포밍 벡터로 결정할 수도 있다.

[0070] 네 번째 단계에서, 각 단말은 각 단말의 수신 빔포밍 벡터를 고려하여 매크로 기지국으로부터 각 단말로의 실효 채널을 계산한다. 그리고 각 단말은 매크로 기지국으로부터의 실효 채널에 대한 정보를 매크로 기지국으로 피드백한다.

[0071] 기존에는 각 단말이  $\mathbf{H}_{i2}$ ( $i$ 는 단말 인덱스( $i=1\sim 4$ ),  $\mathbf{H}_{i2}$ 는  $2 \times 4$  행렬임)를 피드백하였으나, 본 발명의 일 실시예에서는 각 단말이 각 단말의 수신 빔포밍 벡터를 고려한 매크로 기지국으로부터의 실효 채널에 대한 정보  $\mathbf{w}_i^H \mathbf{H}_{i2}$  ( $i$ 는 단말 인덱스( $i=1\sim 4$ ),  $\mathbf{H}_{i2}$ 는  $1 \times 4$  행렬임)를 매크로 기지국으로 피드백한다. 따라서 본 발명의 일 실시예에 따르면 피드백 오버헤드를 크게 줄일 수 있다.

[0072] 다섯 번째 단계에서, 매크로 기지국은 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터들  $\mathbf{v}_2$  및  $\mathbf{v}_3$ 를 결정한다. 매크로 기지국은 각 매크로 단말에서 i) 각 소형 단말의 수신 빔포밍 벡터를 고려한 매크로 기지국으로부터 각 소형 단말로의 실효 채널들이 널링되고, ii) 다른 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터를 고려한 매크로 기지국으로부터 다른 매크로 단말로의 실효 채널이 널링되도록 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터들을 결정할 수 있다. 이때, 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터는 실효 채널들이 널링되도록 결정되지 않고, 경우에 따라서 노이즈의 양을 고려하여 결정될 수도 있다.

[0073] 위와 같은 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터들을 결정하는 방법은 [수학식 9]와 같이 표현될 수 있다.

[0074] [수학식 9]

$$\mathbf{v}_i = \text{null} \left( \begin{bmatrix} \mathbf{u}_1^H \mathbf{H}_{12} & \mathbf{u}_4^H \mathbf{H}_{42} & \mathbf{u}_j^H \mathbf{H}_{j2} \end{bmatrix} \right)$$

where  $i, j \in \{2,3\}, j \neq i,$

*null(A) is the vector in null space of A with unit norm*

[0075]

[0076] [수학식 9]를 전개하면 [수학식 10]과 같이 정리된다.

[0077] [수학식 10]

$$\mathbf{v}_i = \text{null} \left( \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{u}_1^H \mathbf{H}_{12} & \mathbf{u}_4^H \mathbf{H}_{42} & \mathbf{u}_j^H \mathbf{H}_{j2} \end{bmatrix}}_{\mathbf{H}_{eff}} \right) = \text{null}(\mathbf{H}_{eff})$$

$$\Leftrightarrow \mathbf{v}_i = \bar{\mathbf{v}}_4$$

where  $\mathbf{H}_{eff} = \bar{\mathbf{U}}^H \bar{\Sigma} \bar{\mathbf{V}}$  (SVD decomposition)

$$= \begin{bmatrix} \bar{\mathbf{u}}_1 & \bar{\mathbf{u}}_2 & \bar{\mathbf{u}}_3 \end{bmatrix}^H \begin{bmatrix} \bar{\lambda}_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \bar{\lambda}_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \bar{\lambda}_3 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{\mathbf{v}}_1 & \bar{\mathbf{v}}_2 & \bar{\mathbf{v}}_3 & \bar{\mathbf{v}}_4 \end{bmatrix}$$

[0078]

[0079] 따라서 위와 같은 방법으로 매크로 기지국은 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터들을 결정할 수 있다.

[0080] 지금까지 각 단말이 하나씩의 스트림을 수신할 수 있도록 송신 빔포밍 벡터들 및 수신 빔포밍 벡터들을 결정하는 방법에 대해 설명하였다. 자유도(Degree Of Freedom; DOF) 대비 피드백 되어야 할 채널 정보의 양이 아래 표 1에 정리되어 있다.

표 1

[0081]

	DOF	피드백 정보의 수
TDMA (기존)	8/3	(2x2): 2개 (2x4): 2개
Hierarchical IA 1 (본 발명의 일 실시예)	4	(2x2): 2개 (1x4): 4개
Hierarchical IA 2 (본 발명의 일 실시예)	4	(2x2): 4개 (1x4): 4개
IA (기존)	4	(2x2): 8개 (2x4): 4개

[0082]

여기서, IA는 간섭 정렬(Interference Aligning)이다. 본 발명의 실시예들에 의한 계층적(Hierarchical) 간섭 정렬 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 한 방법(Hierarchical IA 1)은 지금까지 설명한 대로 소형 기지국들로부터 각 매크로 기지국들로의 간섭 채널 정보를 피드백하지 않는 방법이고, 다른 하나의 방법(Hierarchical IA 2)은 소형 기지국들로부터 각 매크로 기지국들로의 간섭 채널 정보를 이용하여 [수학식 7]의 고유 벡터를 구

하는 방법이다. Hierarchical IA 1 방법은 적은 양의 피드백을 기초로 전체 채널 정보가 피드백 되는 경우와 근접한 성능을 달성할 수 있다.

- [0083] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 송신 빔포밍 벡터 및 수신 빔포밍 벡터 결정 방법이 적용될 수 있는 계층셀 통신 시스템을 도시한 도면이다.
- [0084] 도 2를 참조하면, 매크로 셀 내부에 두 피코 셀이 존재한다. 매크로 기지국은 실외 단말을 서비스한다. 그리고 피코 셀 내의 피코 기지국은 실내 단말을 서비스한다. 위에서 설명한 방법으로 매크로 기지국 및 각 피코 기지국의 송신 빔포밍 벡터들 및 각 실외 단말 및 각 실내 단말의 수신 빔포밍 벡터들을 결정하면, 도 2에 도시된 바와 같은 셀간 간섭들 및 셀 내부 간섭들 모두가 제거될 수 있다.
- [0085] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 송신 빔포밍 벡터 및 수신 빔포밍 벡터 결정 방법이 적용될 수 있는 둘 이상의 매크로 셀이 존재하는 계층셀 통신 시스템을 도시한 도면이다.
- [0086] 본 발명의 일 실시예에 따른 송신 빔포밍 벡터 및 수신 빔포밍 벡터의 결정 방법은 도 3과 같이 매크로 기지국이 두 개 이상 존재하는 경우에도 적용될 수 있다. 이 경우, 매크로 기지국은 매크로 기지국으로부터 이웃 매크로 기지국이 서비스하는 이웃 실외 단말로의 실효 채널이 널링되도록 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.
- [0087] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 매크로 기지국의 통신 방법을 나타낸 동작 흐름도이다.
- [0088] 도 4를 참조하면, 매크로 기지국은 제1 소형 셀에 속하는 제1 소형 기지국 및 제2 소형 셀에 속하는 제2 소형 기지국 각각과 매크로 기지국에 대응하는 적어도 하나의 매크로 단말 각각 사이의 채널들에 대한 정보를 수신한다(410).
- [0089] 매크로 기지국은 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터가 결정될 수 있도록 제1 소형 기지국 및 제2 소형 기지국 각각과 적어도 하나의 매크로 단말 각각 사이의 채널들에 대한 정보를 제1 소형 기지국 및 제2 소형 기지국으로 전달한다(420).
- [0090] 적어도 하나의 매크로 단말 각각에서 제1 소형 기지국으로부터의 간섭 및 제2 소형 기지국으로부터의 간섭이 정렬되도록 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터가 결정된 경우, 매크로 기지국은 i) 제1 소형 기지국에 대응하는 제1 소형 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 매크로 기지국 및 상기 제1 소형 단말 사이의 제1 소형 실효 채널에 관한 정보 및 ii) 제2 소형 기지국에 대응하는 제2 소형 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 매크로 기지국 및 제2 소형 단말 사이의 제2 소형 실효 채널에 관한 정보를 획득한다(430). 이때, 적어도 하나의 매크로 단말 각각의 수신 빔포밍 벡터는 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터에 따라 결정될 수 있다.
- [0091] 매크로 기지국은 제1 소형 실효 채널에 관한 정보 및 제2 소형 실효 채널에 관한 정보를 이용하여 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정한다(440). 이때, 매크로 기지국은 제1 소형 실효 채널에 관한 정보 및 제2 소형 실효 채널에 관한 정보를 이용하여 제1 소형 단말 및 제2 소형 단말 각각에서 매크로 기지국으로부터의 간섭이 널링되도록 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.
- [0092] 그리고 매크로 기지국은 적어도 하나의 매크로 단말이 제1 매크로 단말 및 제2 매크로 단말을 포함하는 경우, 제1 매크로 실효 채널에 관한 정보 및 제2 매크로 실효 채널에 관한 정보를 더 이용하여 제1 매크로 단말에서 매크로 기지국으로부터의 제2 매크로 단말을 위한 신호에 의한 간섭이 널링되고 제2 매크로 단말에서 매크로 기지국으로부터의 제1 매크로 단말을 위한 신호에 의한 간섭이 널링되도록 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.
- [0093] 또한 매크로 기지국은 매크로 기지국 및 이웃 매크로 단말 사이의 실효 채널에 관한 정보를 더 이용하여, 이웃 매크로 단말에서 상기 매크로 기지국으로부터 이웃 매크로 단말로의 간섭이 널링되도록 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.

- [0094] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 매크로 단말의 통신 방법을 나타낸 동작 흐름도이다.
- [0095] 도 5를 참조하면, 매크로 단말은 제1 소형 기지국과 매크로 단말 사이의 제1 간섭 채널 및 제2 소형 기지국과 매크로 단말 사이의 제2 간섭 채널에 대한 정보를 피드백한다(510). 매크로 단말은 제1 간섭 채널에 대한 정보 및 제2 간섭 채널에 대한 정보가 결합된 정보를 피드백할 수 있다. 피드백은 매크로 기지국을 거쳐서 수행될 수도 있고, 제1 소형 기지국 및 제2 소형 기지국에 대해 직접 수행될 수도 있다.
- [0096] 매크로 단말은 제1 간섭 채널 및 제2 간섭 채널에 대한 정보를 피드백함에 응답하여 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터가 결정되면, 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터에 관한 정보 및 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터에 관한 정보를 수신할 수 있다.
- [0097] 매크로 단말은 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터에 관한 정보 및 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터에 관한 정보를 고려하여 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터를 결정한다(520). 매크로 단말은 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 제1 간섭 채널을 고려하여 상기 매크로 단말에서 제1 소형 기지국으로부터의 간섭이 제거되고, 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 제2 간섭 채널을 고려하여 매크로 단말에서 제2 소형 기지국으로부터의 간섭이 제거되도록 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다. 특히, 매크로 단말은 제1 소형 기지국으로부터의 간섭의 방향 및 제2 소형 기지국으로부터의 간섭의 방향과 직교(orthogonal)하는 방향으로 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.
- [0098] 매크로 단말은 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터를 이용하여 매크로 기지국 및 매크로 단말 사이의 실효 채널을 계산한다(530).
- [0099] 매크로 단말은 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터가 결정되기 이전에, 매크로 기지국 및 매크로 단말 사이의 실효 채널에 관한 정보를 매크로 기지국으로 피드백한다(540).
- [0100] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 매크로 기지국의 기능블록도이다.
- [0101] 도 6을 참조하면 본 발명의 일 실시예에 따른 매크로 기지국은 수신부(610), 전달부(620), 송신 빔포밍 벡터 결정부(630) 및 프리코더(640)를 포함한다.
- [0102] 수신부(610)는 i)제1 소형 기지국에 대응하는 제1 소형 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 매크로 기지국 및 제1 소형 단말 사이의 제1 소형 실효 채널에 관한 정보 및 ii)제2 소형 기지국에 대응하는 제2 소형 단말의 수신 빔포밍 벡터와 관련된 상기 매크로 기지국 및 상기 제2 소형 단말 사이의 제2 소형 실효 채널에 관한 정보를 획득한다. 수신부(610)는 제1 소형 기지국 및 제2 소형 기지국 각각과 적어도 하나의 매크로 단말 각각 사이의 채널들에 대한 정보를 수신할 수 있다.
- [0103] 전달부(620)는 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터가 결정될 수 있도록 제1 소형 기지국 및 제2 소형 기지국 각각과 적어도 하나의 매크로 단말 각각 사이의 채널들에 대한 정보를 제1 소형 기지국 및 제2 소형 기지국으로 전달한다.
- [0104] 송신 빔포밍 벡터 결정부(630)는 제1 소형 실효 채널에 관한 정보 및 제2 소형 실효 채널에 관한 정보를 이용하여 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 결정한다.
- [0105] 프리코더(640)는 송신 빔포밍 벡터 결정부(630)가 결정한 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 이용하여 프리코딩을 수행한다.
- [0106] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 매크로 단말의 기능블록도이다.
- [0107] 도 7을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 매크로 단말은 수신부(710), 채널 추정부(720), 피드백부(730), 수신 빔포밍 벡터 결정부(740), 실효 채널 계산부(750)를 포함한다.
- [0108] 수신부(710)는 제1 소형 기지국 및 제2 소형 기지국으로부터의 파일럿을 수신한다. 수신부(710)는 제1 소형 기지국 및 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 고려한 DM-RS(DeModulation Reference Signal)를 수신할 수 있다.
- [0109] 채널 추정부(720)는 제1 소형 기지국, 제2 소형 기지국 및 매크로 기지국 각각으로부터 매크로 단말로의 채널을

추정할 수 있다. 채널 추정부(720)는 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터를 고려한 제1 소형 기지국, 제2 소형 기지국 및 매크로 기지국 각각으로부터 매크로 단말로의 실효 채널을 추정할 수 있다. 채널 추정부(720)는 제1 소형 기지국 및 제2 소형 기지국 각각의 송신 빔포밍 벡터를 고려한 제1 소형 기지국 및 제2 소형 기지국 각각으로부터의 실효 채널을 추정할 수 있다.

- [0110] 피드백부(730)는 제1 소형 기지국과 매크로 단말 사이의 제1 간섭 채널 및 제2 소형 기지국과 매크로 단말 사이의 제2 간섭 채널에 대한 정보를 피드백한다. 그리고 피드백부(730)는 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터가 결정되기 이전에, 매크로 기지국 및 매크로 단말 사이의 실효 채널에 관한 정보를 매크로 기지국으로 피드백할 수 있다.
- [0111] 수신 빔포밍 벡터 결정부(740)는 제1 간섭 채널 및 제2 간섭 채널에 대한 정보를 피드백함에 응답하여 제1 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터 및 제2 소형 기지국의 송신 빔포밍 벡터가 결정되면, 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터를 결정한다.
- [0112] 실효 채널 계산부(750)는 매크로 단말의 수신 빔포밍 벡터를 이용하여 상기 매크로 기지국 및 상기 매크로 단말 사이의 실효 채널을 계산할 수 있다.
- [0113] 지금까지 본 발명의 일 실시예에 따른 매크로 기지국 및 매크로 단말과 이들의 통신 방법에 대해 설명하였다. 본 매크로 기지국 및 매크로 단말과 이들의 통신 방법은 앞서 도1 내지 도 3과 관련하여 다양한 실시예를 통하여 상술한 내용이 그대로 적용될 수 있으므로, 더 이상의 상세한 설명은 생략하도록 한다.
- [0114] 이하에서는 계층 셀 통신 시스템에서 소형 기지국으로부터 매크로 단말로의 간섭이 약한 경우의 빔포밍 벡터 생성 방법에 대해 설명한다.
- [0115] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 피코 기지국들로부터 매크로 단말로의 간섭이 약한 계층 셀 통신 시스템을 도시한 도면이다.
- [0116] 도 8을 참조하면, 매크로 셀 내부에 제1 피코 셀 및 제2 피코 셀이 존재하고, 제1 피코 셀에 포함되는 제1 피코 기지국은 제1 피코 단말을, 제2 피코 셀에 포함되는 제2 피코 기지국은 제2 피코 단말을 서비스한다. 도 8에 도시된 계층셀 통신 시스템은 제1 피코 기지국 및 제2 피코 기지국으로부터 매크로 단말로의 간섭이 약한 계층셀 통신 시스템을 나타낸다. 이러한 환경의 계층 셀 통신 시스템에서 빔포밍 벡터를 결정하는 방법을 도 9를 참조하여 설명한다.
- [0117] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 피코 기지국들로부터 매크로 단말로의 간섭이 약한 계층 셀 통신 시스템의 신호 전송 과정을 도시한 도면이다.
- [0118] 도 9를 참조하면, 매크로 단말은 제1 피코 기지국 및 제2 피코 기지국으로부터 적은 간섭을 받는다고 가정한다. 이러한 가정은 피코 셀들로부터의 간섭을 적게 받는 매크로 단말에 피코 셀들과 동일한 주파수 자원이 할당되도록 협력적 스케줄링이 수행되는 경우 실현될 수 있다. 피코 기지국들은 주로 음영지역(Shadow Area)이나 핫존(Hot Zone)지역에 설치되고 전송 파워가 제한적이기 때문에 위와 같은 가정을 만족하는 매크로 단말들은 많이 존재할 수 있다.
- [0119] 피코 셀을 예로 들어 설명하지만, 다른 소형 셀들에도 본 발명의 실시예들이 적용될 수 있음은 당연하다.
- [0120] 위와 같은 가정 하에서, 매크로 단말은 간섭을 받지 않기 때문에 매크로 단말은 단일 셀에서의 통신과 같이 동작하여도 무방하다.
- [0121] 각 기지국이 각 단말을 위해 전송하는 신호는 [수학식 11]로 표현된다.

[0122] [수학식 11]

$$\mathbf{x}_i = \sqrt{p_i} \mathbf{v}_i \mathbf{s}_i$$

[0123]

[0124]  $i=1,2,3$ 이다. 제1 피코 단말, 매크로 단말 및 제2 피코 단말의 순으로  $i$ 의 값이 1부터 3에 각각 대응된다. 도 9의 설명에서 사용되는 기호들의 원리는 도 1의 설명에서 사용된 기호들과 유사하다.

[0125] 그리고 제1 피코 단말이 수신하는 신호  $\mathbf{y}_1^{pico}$ , 매크로 단말이 수신하는 신호  $\mathbf{y}_2^{macro}$  및 제2 피코 단말이 수신하는 신호  $\mathbf{y}_3^{pico}$  는 [수학식 12], [수학식 13] 및 [수학식 14]와 같이 표현된다.

[0126] [수학식 12]

$$\mathbf{y}_1^{pico} = \mathbf{H}_{11} \sqrt{p_1} \mathbf{v}_1 \mathbf{s}_1 + \underbrace{\mathbf{H}_{12} \sqrt{p_2} \mathbf{v}_2 \mathbf{s}_2}_{\text{other-cell interference (Macro)}} + \underbrace{\mathbf{H}_{13} \sqrt{p_3} \mathbf{v}_3 \mathbf{s}_3}_{\text{other-cell interference (Pico)}} + \mathbf{n}_1$$

[0127]

[0128] [수학식 13]

$$\mathbf{y}_2^{macro} = \mathbf{H}_{22} \sqrt{p_2} \mathbf{v}_2 \mathbf{s}_2 + \mathbf{n}_2$$

[0129]

[0130] [수학식 14]

$$\mathbf{y}_3^{pico} = \mathbf{H}_{33} \sqrt{p_3} \mathbf{v}_3 \mathbf{s}_3 + \underbrace{\mathbf{H}_{32} \sqrt{p_2} \mathbf{v}_2 \mathbf{s}_2}_{\text{other-cell interference (Macro)}} + \underbrace{\mathbf{H}_{31} \sqrt{p_1} \mathbf{v}_1 \mathbf{s}_1}_{\text{other-cell interference (Pico)}} + \mathbf{n}_4$$

[0131]

[0132] 각 단말은 각 단말의 수신 빔포밍 벡터  $\mathbf{u}_i^H$  를 이용하여 실효(effective) 신호를 얻을 수 있다.

[0133] 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따라 도 9와 같은 시스템 모델에서 매크로 셀 및 피코 셀들의 송신 빔포밍 벡터들 및 수신 빔포밍 벡터들이 어떻게 결정될 수 있는지를 단계별로 설명한다.

[0134] 첫 번째로, 매크로 기지국은 매크로 단말들 중에서 피코 셀들로부터 간섭을 받지 않는 매크로 단말을 피코 셀들과 함께 스케줄링할 수 있다.

[0135] 두 번째로, 매크로 단말은 매크로 기지국으로부터 매크로 단말로 채널을 측정하고, 단일 셀 관점에서 최적의 송신 빔포밍 벡터( $\mathbf{v}_2$ ) 및 수신 빔포밍 벡터( $\mathbf{u}_2$ )를 결정한다. 셀간 간섭을 받지 않는 단일 셀 단말의 경우, 용량(capacity) 관점에서 최적의 송신 빔포밍 벡터 및 수신 빔포밍 벡터는 [수학식 15]와 같이 결정될 수 있다.

[0136] [수학식 15]

$$\mathbf{v}_2 = \mathbf{v}_1^{[22]}, \mathbf{u}_2 = \mathbf{u}_1^{[22]}$$

where  $\mathbf{H}_{22} = \mathbf{U}^H \Sigma \mathbf{V}$  (SVD decomposition)

$$= \begin{bmatrix} \mathbf{u}_1^{[22]} & \mathbf{u}_2^{[22]} \end{bmatrix}^H \begin{bmatrix} \lambda_1^{[22]} & 0 \\ 0 & \lambda_2^{[22]} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{v}_1^{[22]} & \mathbf{v}_2^{[22]} \end{bmatrix}$$

[0137]

[0138] 세 번째로, 매크로 단말이 업링크 채널을 통하여 매크로 기지국으로 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터  $\mathbf{v}_2$ 를 피드백한다. 이때, 매크로 단말은 단일 셀 코드북을 사용하는 방법과 같이 피드백할 PMI(Preferred Matrix Index)를 이용하여 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터  $\mathbf{v}_2$ 를 매크로 기지국으로 피드백할 수 있다.

[0139] 네 번째로, 매크로 기지국은 제1 피코 단말 및 제2 피코 단말로 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터  $\mathbf{v}_2$ 에 대한 정보를 전송한다. 즉, 매크로 기지국은 i)  $\mathbf{v}_2$ 가 프리코딩된 DM-RS를 제1 피코 단말 및 제2 피코 단말로 전송하거나, ii) X2 인터페이스를 통하여 제1 피코 기지국 및 제2 피코 기지국으로  $\mathbf{v}_2$ 에 대한 정보 및 매크로 기지국으로부터 제1 피코 단말 및 제2 피코 단말 각각으로의 간섭 채널에 대한 정보를 피드포워드(feedforward)할 수 있다.

[0140] 다섯 번째로, 제1 피코 단말 및 제2 피코 단말 각각은 매크로 기지국으로부터의 실효 간섭이 수신되는 신호 공간을 인식한다. 그리고 제1 피코 단말은 해당 신호 공간에 간섭이 정렬될 수 있도록 제2 피코 기지국의 송신 빔포밍 벡터  $\mathbf{v}_3$  및 제1 피코 단말이 수신하는 간섭을 제거할 수 있는 제1 피코 단말의 수신 빔포밍 벡터  $\mathbf{u}_1$ 을 결정한다. 제2 피코 단말도 같은 방법으로  $\mathbf{v}_1$  및  $\mathbf{u}_3$ 를 결정한다.

[0141] 구체적으로, 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터  $\mathbf{v}_2$ , 매크로 기지국으로부터의 간섭 채널 및 이웃 피코 기지국으로부터의 간섭 채널을 하는 경우, 피코 단말은 [수학식 16]과 같이 이웃 피코 기지국의 송신 빔포밍 벡터  $\mathbf{v}_j$  및 피코 단말의 수신 빔포밍 벡터  $\mathbf{u}_i$ 를 결정할 수 있다.

[0142] [수학식 16]

$$\mathbf{v}_j = \frac{\mathbf{H}_{ij}^{-1}(\mathbf{H}_{i2}\mathbf{v}_2)}{\|\mathbf{H}_{ij}^{-1}(\mathbf{H}_{i2}\mathbf{v}_2)\|}, \text{ where } i, j \in \{1,3\}, i \neq j$$

$$\mathbf{u}_i = \text{null}\left(\left(\mathbf{H}_{i2}\mathbf{v}_2\right)^H\right)$$

where  $\text{null}(\mathbf{A})$  is vector space contained in left null space of  $\mathbf{A}$

[0143]

[0144] 여기서, 간섭을 완전히 제거하기 위한 제로포싱 기법이 사용되는 예를 설명하였지만, 간섭이나 잡음(noise)을 고려하여 수신 빔포밍 벡터를 생성하는 것도 가능하다.

[0145] 여섯 번째로, 제1 피코 단말은 제1 피코 단말의 업링크 자원을 이용하여 제2 피코 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 전송하고, 제2 피코 단말은 제2 피코 단말의 업링크 자원을 이용하여 제1 피코 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 전송할 수 있다. 제1 피코 단말 및 제2 피코 단말은 업링크 CoMP를 이용하여 직접 이웃 피코 기지국으로 이웃 피코 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 전송할 수도 있다.

[0146] 위와 같은 방법은 매크로 셀이 최적의 송신 빔포밍 벡터 및 수신 빔포밍 벡터를 사용하면서, 피코 단말에서의 간섭 정렬 조건을 만족하기 위한 방법이다. 매크로 단말의 이동성이 크거나 매크로 셀이 최적의 송신 빔포밍 벡터 및 수신 빔포밍 벡터를 필요로 하지 않는 경우에는, 매크로 기지국의 송신 빔포밍 벡터를 임의로 선정하고 네 번째 단계부터 여섯 번째 단계까지를 반복하면서 모든 기지국과 단말의 빔포밍 벡터가 결정될 수도 있다.

[0147] 위와 같은 방법에 의하면 멀티 셀 코드북을 이용하지 않고, 단일 셀 코드북만으로도 모든 셀의 송신 빔포밍 벡터 및 수신 빔포밍 벡터들이 결정될 수 있다. 즉, 모든 기지국 및 단말이 동일한 코드북을 사용할 수 있다.

[0148] 자유도(DOF) 대비 피드백 되어야 할 채널 정보의 양이 아래 [표 2]에 정리되어 있다.

표 2

	DOF	피드백 정보의 수
TDMA(기준)	2	(2x2): 3개
TDMA+CoMP	2	(2x2): 3개
Hierarchical IA (Max-SINR/ZF)	3	(2x1): 3개
Iterative IS(기준)	3	(2x2): 6개

[0150] 본 발명의 일 실시예에 따른 Hierarchical IA 기술은 TDMA 및 TDMA와 CoMP를 결합한 형태보다 DOF 이득이 높고, Full CSIT를 이용하는 Iterative IA에 비해서 현저히 낮은 채널 정보 피드백의 양으로도 같은 DOF를 달성할 수 있다.

[0151] 상술한 방법들은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0152] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

[0153] 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

부호의 설명

[0154]

610: 수신부

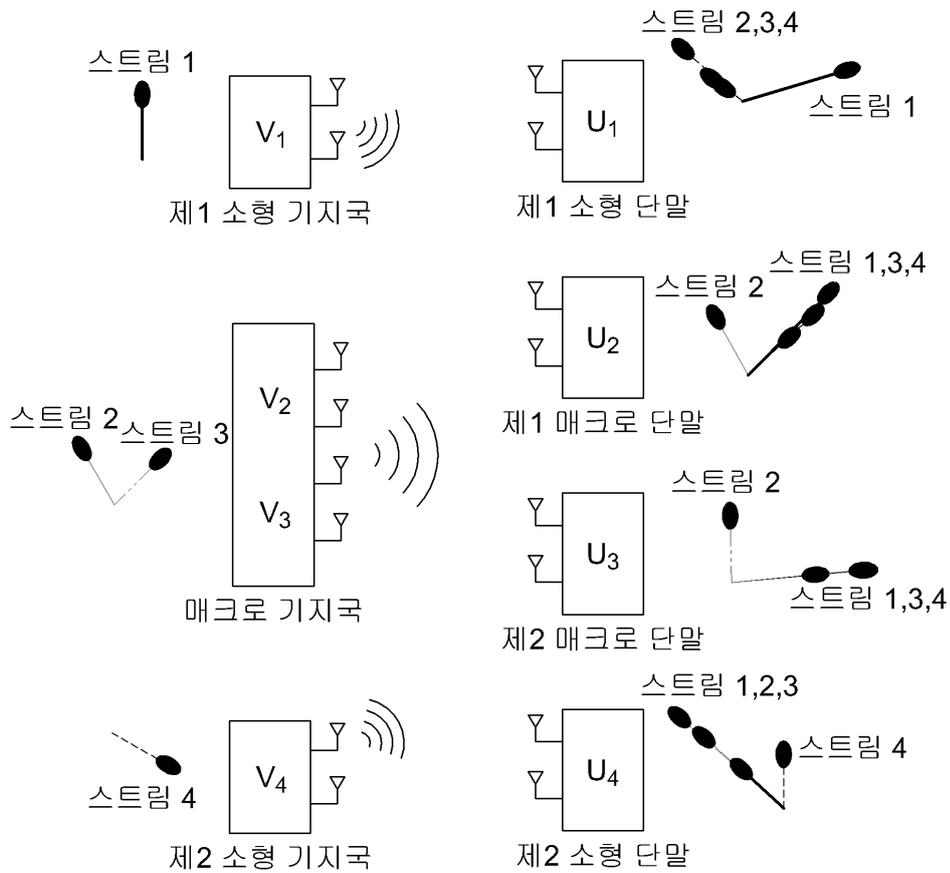
620: 전달부

630: 송신 빔포밍 벡터 결정부

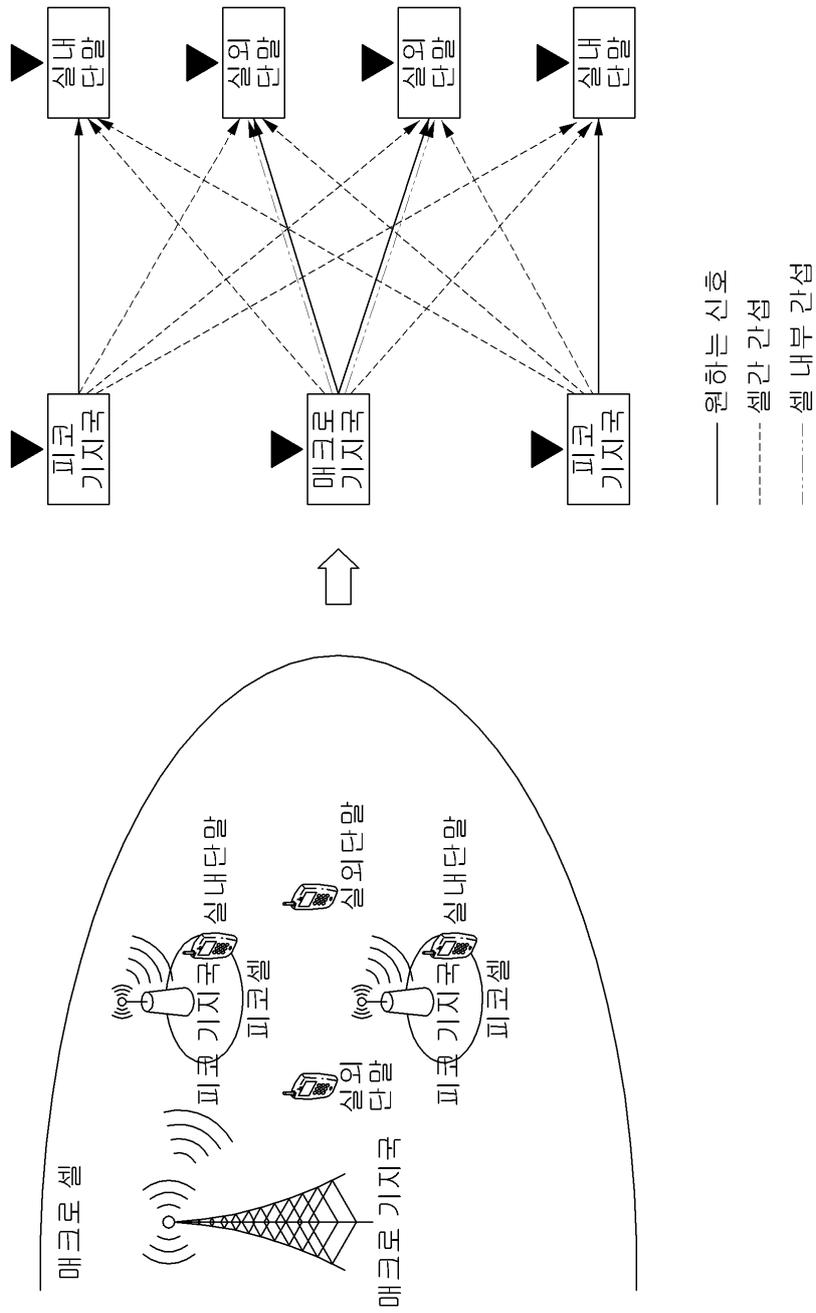
640: 프리코더

도면

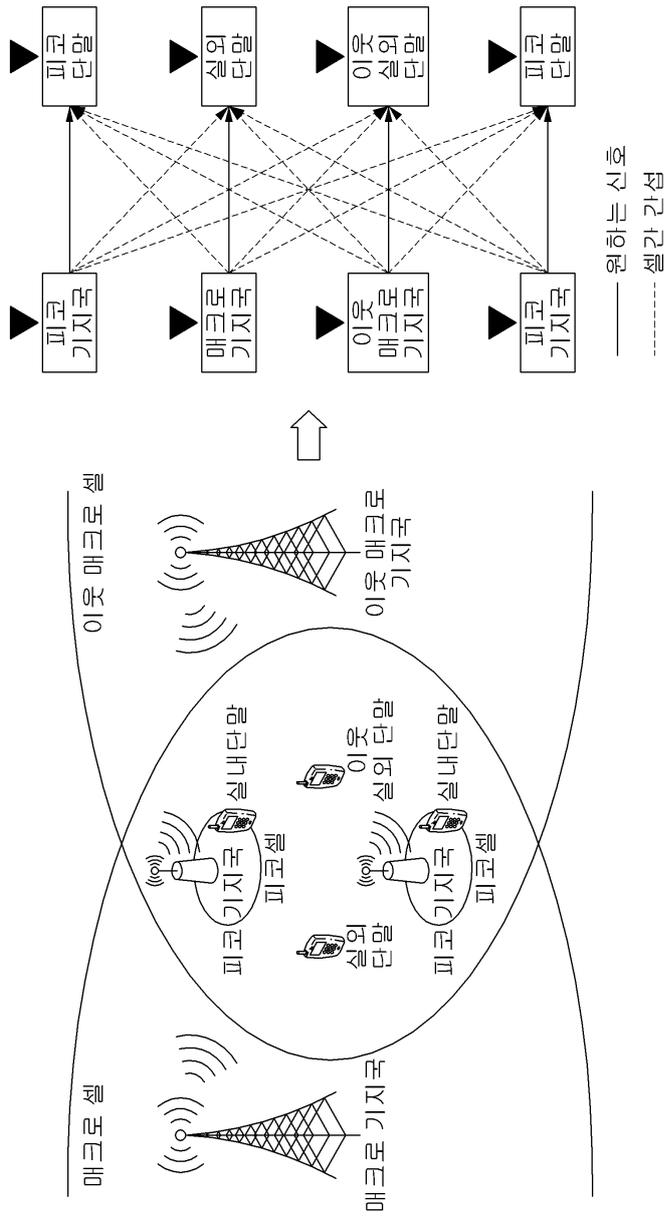
도면1



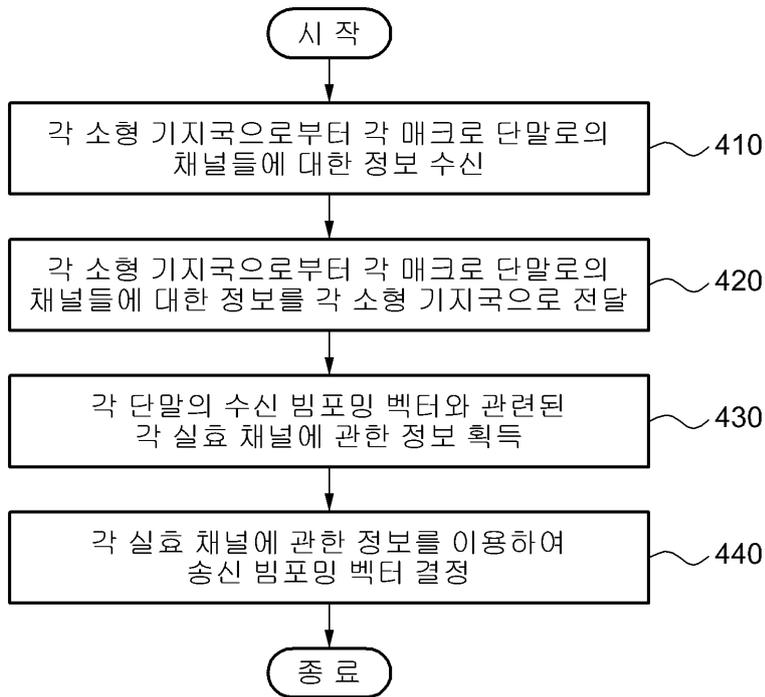
도면2



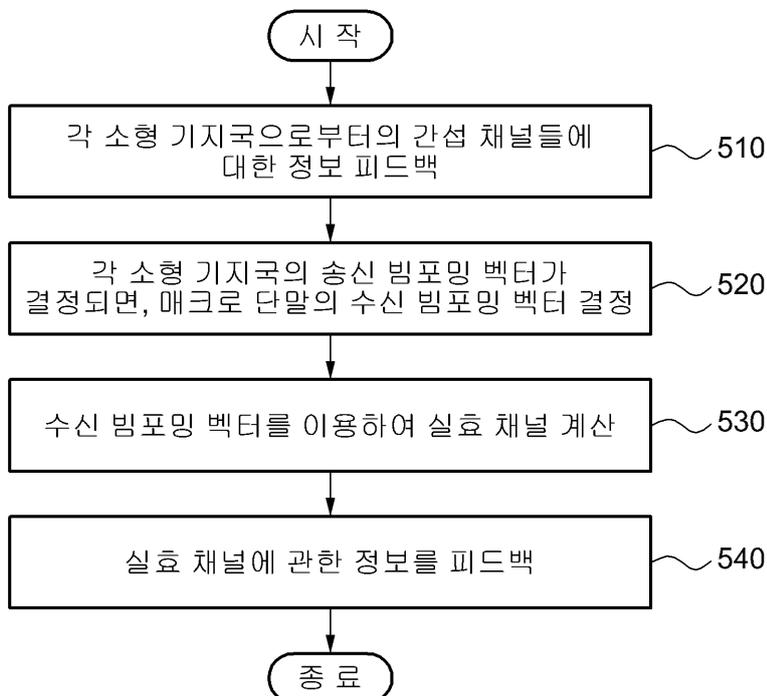
도면3



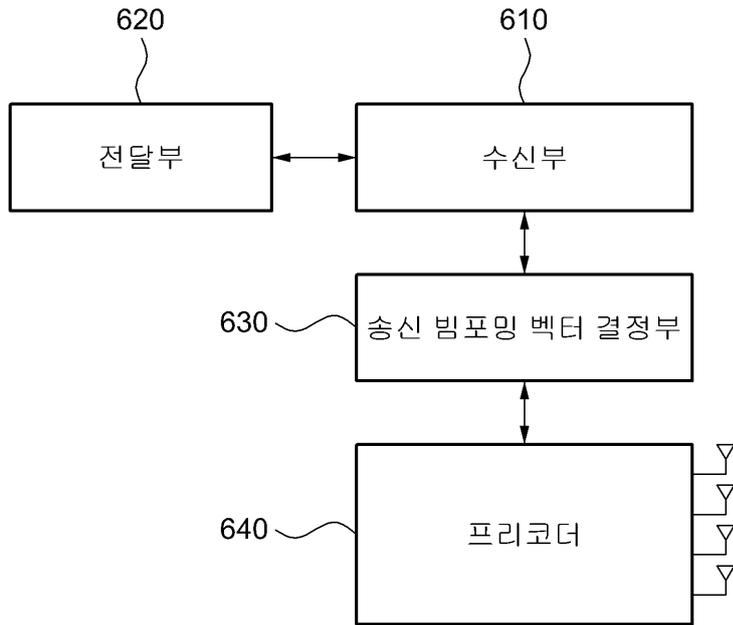
도면4



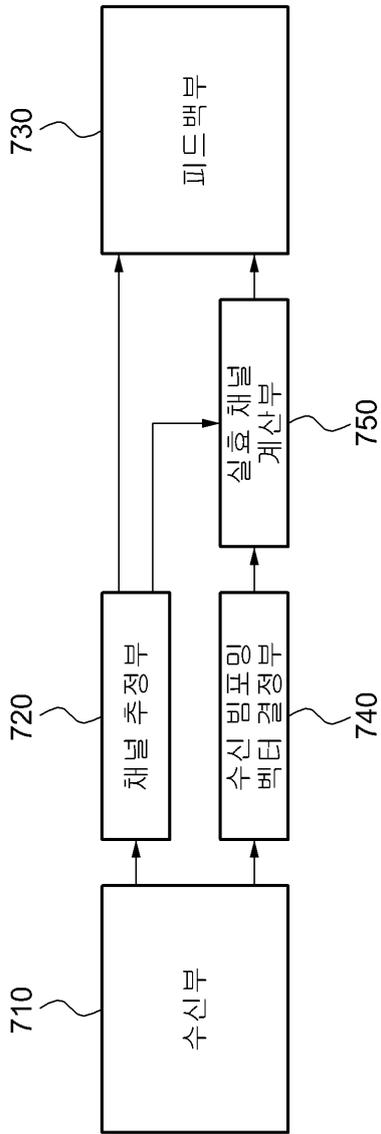
도면5



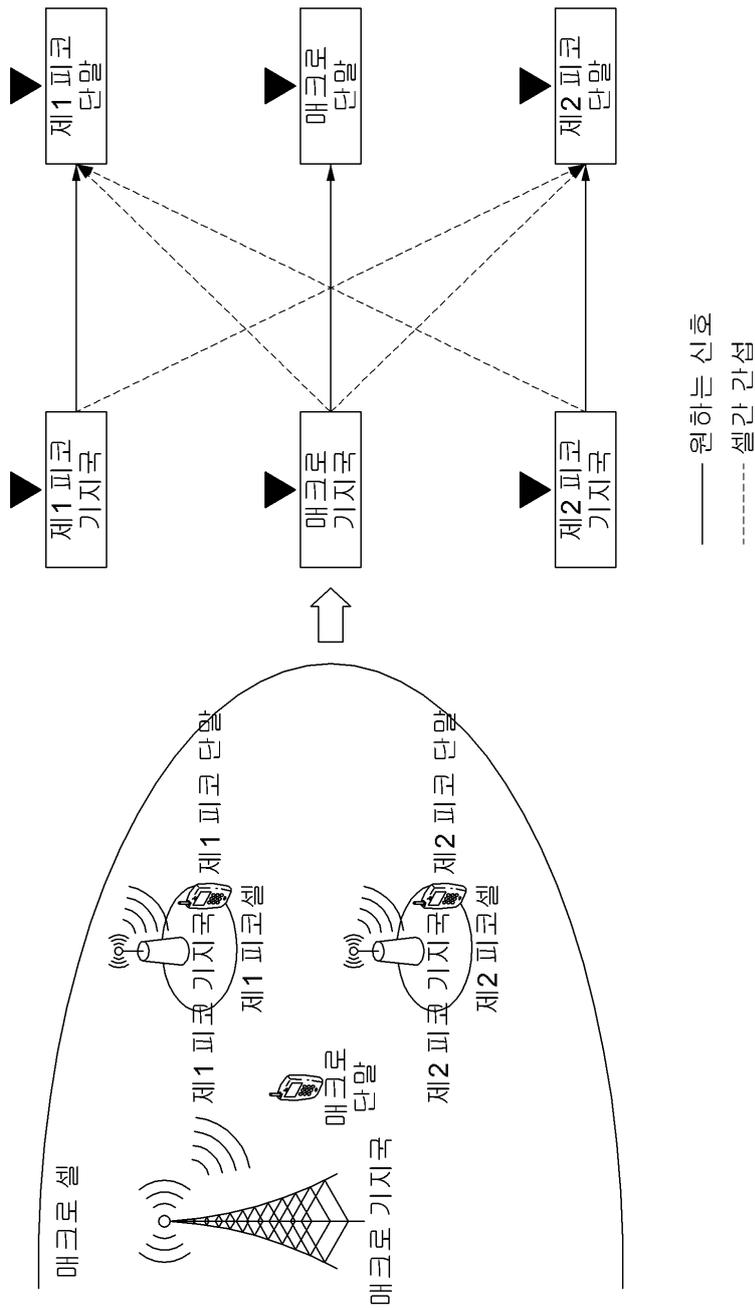
도면6



도면7



도면8



도면9

