



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0040960  
(43) 공개일자 2014년04월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04B 7/02 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2012-0107680

(22) 출원일자 2012년09월27일

심사청구일자 2012년09월27일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울시 성북구 안암로 145 (안암동)

(72) 발명자

이인규

서울 강남구 선릉로 221, 302동 1201호 (도곡동, 도곡텍슬아파트)

박해욱

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

(74) 대리인

최관락, 송인호, 민영준

전체 청구항 수 : 총 10 항

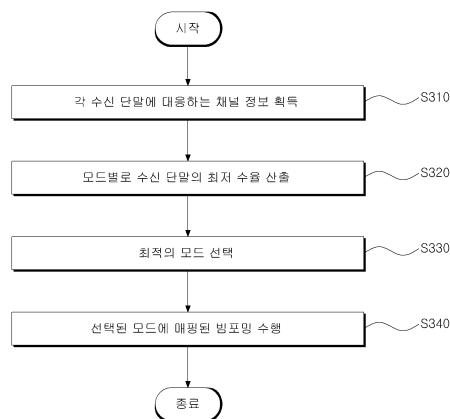
(54) 발명의 명칭 무선 통신 기지국의 신호 처리 방법, 장치, 그리고 수신 단말의 신호 처리 방법

### (57) 요약

본 발명은 무선 통신 기지국의 신호 처리 방법 및 장치, 그리고 수신 단말의 신호 처리 방법에 관한 것이다.

본 발명의 일실시예에 의한 무선 통신 기지국의 신호 처리 방법은 다중 셀 시스템에서 복수의 기지국간 협력을 통해 빔포밍을 수행하는 기지국의 신호 처리 방법으로서, 각 수신 단말에 대응되는 채널 정보를 획득하는 단계; 상기 채널 정보에 근거하여 최저 사용자 수율을 복수의 모드에 각각 대응되게 산출하는 단계- 상기 복수의 모드는 정렬된 간섭 조건 및 정렬되지 않은 간섭 조건에 따라 구분되고, 각 모드 별로 매핑된 빔포밍 벡터가 설정됨-; 상기 산출된 각 모드에 대한 최저 사용자 수율에 근거하여 특정 모드를 선택하는 단계; 및 상기 선택된 특정 모드에 매핑된 빔포밍 벡터를 이용하여 빔포밍을 수행하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2010-0017909

부처명 교육과학기술부

연구사업명 중견연구자지원사업 도약 연구

연구과제명 불규칙 행렬이론을 이용한 분산 안테나 기반 다중셀 이동통신 시스템 설계

기 여 율 1/1

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2010.05.01 ~ 2011.04.30

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

다중 셀 시스템에서 복수의 기지국간 협력을 통해 빔포밍을 수행하는 기지국의 신호 처리 방법으로서,  
각 수신 단말에 대응되는 채널 정보를 획득하는 단계;

상기 채널 정보에 근거하여 최저 사용자 수율을 복수의 모드에 각각 대응되게 산출하는 단계- 상기 복수의 모드는 정렬된 간섭 조건 및 정렬되지 않은 간섭 조건에 따라 구분되고, 각 모드 별로 매핑된 빔포밍 벡터가 설정됨-;

상기 산출된 각 모드에 대한 최저 사용자 수율에 근거하여 특정 모드를 선택하는 단계; 및

상기 선택된 특정 모드에 매핑된 빔포밍 벡터를 이용하여 빔포밍을 수행하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 무선 통신 기지국의 신호 처리 방법.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 다중 셀 시스템은 3 셀 시스템이고,

상기 정렬된 간섭 조건은 3 셀에 대응되는 3 개의 수신 단말 중 정렬된 간섭을 가지는 두 개의 수신 단말을 선택하는 경우를 포함하고,

상기 정렬되지 않은 간섭 조건은 정렬되지 않은 간섭을 가지는 수신 단말이 어느 기지국으로부터 간섭을 받는지에 대한 경우를 포함하는 것을 특징으로 하는 무선 통신 기지국의 신호 처리 방법.

### 청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 무선 통신 기지국의 신호 처리 방법은

상기 기지국이 지원하는 수신 단말로부터 채널 정보를 수신하는 단계; 및

타 기지국과 채널 정보를 공유하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 무선 통신 기지국의 신호 처리 방법.

### 청구항 4

제 2 항에 있어서, 상기 무선 통신 기지국의 신호 처리 방법은

상기 기지국이 지원하는 수신 단말에 상기 선택된 특정 모드에 대한 정보를 전송하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 무선 통신 기지국의 신호 처리 방법.

### 청구항 5

다중 셀 시스템에서 복수의 기지국간 협력을 통해 빔포밍을 수행하는 기지국의 신호 처리 장치로서,

각 수신 단말에 대응되는 채널 정보를 획득하는 채널 정보 획득부;

상기 채널 정보에 근거하여 최저 사용자 수율을 복수의 모드에 각각 대응되게 산출하는 최저 수율 산출부- 상기 복수의 모드는 정렬된 간섭 조건 및 정렬되지 않은 간섭 조건에 따라 구분되고, 각 모드 별로 매핑된 빔포밍 벡터가 설정됨-;

상기 산출된 각 모드에 대한 최저 사용자 수율에 근거하여 특정 모드를 선택하는 모드 선택부;

상기 선택된 특정 모드에 매핑된 빔포밍 벡터를 이용하여 빔포밍을 수행하는 빔포밍부; 및

상기 채널 정보 획득부, 상기 최저 수율 산출부, 상기 모드 선택부 및 상기 빔포밍부를 제어하는 제어부를 포함하는 것을 특징으로 하는 무선 통신 기지국의 신호 처리 장치.

### 청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 다중 셀 시스템은 3 셀 시스템이고,

상기 정렬된 간섭 조건은 3 셀에 대응되는 3 개의 수신 단말 중 정렬된 간섭을 가지는 두 개의 수신 단말을 선택하는 경우를 포함하고,

상기 정렬되지 않은 간섭 조건은 정렬되지 않은 간섭을 가지는 수신 단말이 어느 기지국으로부터 간섭을 받는지에 대한 경우를 포함하는 것을 특징으로 하는 무선 통신 기지국의 신호 처리 장치.

#### 청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 무선 통신 기지국의 신호 처리 장치는 통신부를 더 포함하되,

상기 제어부는 상기 통신부를 통해 상기 기지국이 지원하는 수신 단말로부터 채널 정보를 수신하고, 타 기지국과 채널 정보를 공유하는 것을 특징으로 무선 통신 기지국의 신호 처리 장치.

#### 청구항 8

제 6 항에 있어서, 상기 무선 통신 기지국의 신호 처리 장치는

상기 기지국이 지원하는 수신 단말에 상기 선택된 특정 모드에 대한 정보를 전송하는 전송부를 더 포함하는 것을 특징으로 무선 통신 기지국의 신호 처리 방법.

#### 청구항 9

다중 셀 시스템에서 복수의 기지국간 협력을 통해 빔포밍을 수행하는 기지국이 지원하는 수신 단말의 신호 처리 방법으로서,

복수의 모드 중 상기 기지국에 의해 선택된 특정 모드에 대한 정보를 수신하는 단계- 상기 복수의 모드는 정렬된 간섭 조건 및 정렬되지 않은 간섭 조건에 따라 구분됨; 및

상기 선택된 모드에 매핑된 필터를 적용하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 무선 통신 기지국이 지원하는 수신 단말의 신호 처리 방법.

#### 청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 다중 셀 시스템은 3 셀 시스템이고,

상기 정렬된 간섭 조건은 3 셀에 대응되는 3 개의 수신 단말 중 정렬된 간섭을 가지는 두 개의 수신 단말을 선택하는 경우를 포함하고,

상기 정렬되지 않은 간섭 조건은 정렬되지 않은 간섭을 가지는 수신 단말이 어느 기지국으로부터 간섭을 받는지에 대한 경우를 포함하는 것을 특징으로 하는 무선 통신 기지국이 지원하는 수신 단말의 신호 처리 방법.

### 명세서

#### 기술분야

[0001] 본 발명은 무선 통신 기지국의 신호 처리 방법 및 장치, 그리고 수신 단말의 신호 처리 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 최저 사용자 수율을 최대화할 수 있는 모드에 따라 신호 처리를 수행하는 무선 통신 기지국의 신호 처리 방법 및 장치, 그리고 수신 단말의 신호 처리 방법에 관한 것이다.

#### 배경기술

[0002] 통신 커버리지를 셀로 분할하는 개념 정립 단계인 셀룰러 이동통신 초기 단계에서부터 최근 차세대 4G시스템 도입이 가시화되고 있는 현 단계까지 간섭 문제는 여러 가지 기술적인 문제 중 가장 중요한 이슈로 대두되고 있다.

[0003] 기존의 전통적인 셀룰러 시스템에서는 이러한 간섭문제를 중앙 집중적인 제어에 의해 관리해 왔지만 켈토 셀 및 차세대 4G 시스템이 도입됨에 따라 이동통신 시스템의 네트워크 구조가 다계층 구조로 변화되고 시스템에서 관리해야 할 개체의 수가 기하급수적으로 증가하게 되어 중앙집중적인 관리가 원천적으로 불가능해지는 환경이 되었다.

[0004] 또한, 인접한 기지국들이 동일한 주파수 대역을 사용하여 데이터를 전송하는 경우, 셀의 경계에 위치한 단말은 인접 셀의 경계에 위치한 인접 셀 단말이 사용하는 빔 인덱스로 인해 간섭을 받는 현상이 발생할 수 있다. 예를 들어, 기지국 A가 주파수 대역 1을 이용하여 셀 경계에 위치한 단말 A로 데이터를 전송하기 위해 사용하는 빔포밍 벡터의 방향과, 기지국 B가 주파수 대역 1을 이용하여 셀 경계에 위치한 단말 B로 데이터를 전송하기 위해 사용하는 빔포밍 벡터의 방향이 중복되는 경우, 단말 A와 단말 B로 각각 수신되는 신호는 상호 간 간섭으로 작용하게 된다.

[0005] 따라서 최근에는 상기와 같은 셀간 간섭 현상이 해결하기 위하여 기지국 간 협동 전송 시스템 및 이를 이용하여 통신을 수행하는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 목적은 다중 셀 시스템 환경에서 최저 사용자 수율을 최대화할 수 있는 모드에 따라 신호 처리를 수행하는 무선 통신 기지국의 신호 처리 방법 및 장치, 그리고 수신 단말의 신호 처리 방법을 제공하는 데 있다.

### 과제의 해결 수단

[0007] 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명의 일실시예에 의하면, 다중 셀 시스템에서 복수의 기지국간 협력을 통해 빔포밍을 수행하는 기지국의 신호 처리 방법으로서, 각 수신 단말에 대응되는 채널 정보를 획득하는 단계; 상기 채널 정보에 근거하여 최저 사용자 수율을 복수의 모드에 각각 대응되게 산출하는 단계- 상기 복수의 모드는 정렬된 간섭 조건 및 정렬되지 않은 간섭 조건에 따라 구분되고, 각 모드 별로 매핑된 빔포밍 벡터가 설정됨-; 상기 산출된 각 모드에 대한 최저 사용자 수율에 근거하여 특정 모드를 선택하는 단계; 및 상기 선택된 특정 모드에 매핑된 빔포밍 벡터를 이용하여 빔포밍을 수행하는 단계를 포함하는 무선 통신 기지국의 신호 처리 방법이 제공된다.

[0008] 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명의 일실시예에 의하면, 다중 셀 시스템에서 복수의 기지국간 협력을 통해 빔포밍을 수행하는 기지국의 신호 처리 장치로서, 각 수신 단말에 대응되는 채널 정보를 획득하는 채널 정보 획득부; 상기 채널 정보에 근거하여 최저 사용자 수율을 복수의 모드에 각각 대응되게 산출하는 최저 수율 산출부-상기 복수의 모드는 정렬된 간섭 조건 및 정렬되지 않은 간섭 조건에 따라 구분되고, 각 모드 별로 매핑된 빔포밍 벡터가 설정됨-; 상기 산출된 각 모드에 대한 최저 사용자 수율에 근거하여 특정 모드를 선택하는 모드 선택부; 상기 선택된 특정 모드에 매핑된 빔포밍 벡터를 이용하여 빔포밍을 수행하는 빔포밍부; 및 상기 채널 정보 획득부, 상기 최저 수율 산출부, 상기 모드 선택부 및 상기 빔포밍부를 제어하는 제어부를 포함하는 무선 통신 기지국의 신호 처리 장치가 제공된다.

[0009] 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명의 일실시예에 의하면, 다중 셀 시스템에서 복수의 기지국간 협력을 통해 빔포밍을 수행하는 기지국이 지원하는 수신 단말의 신호 처리 방법으로서, 복수의 모드 중 상기 기지국에 의해 선택된 특정 모드에 대한 정보를 수신하는 단계- 상기 복수의 모드는 정렬된 간섭 조건 및 정렬되지 않은 간섭 조건에 따라 구분됨; 및 상기 선택된 모드에 매핑된 필터를 적용하는 단계를 포함하는 무선 통신 기지국이 지원하는 수신 단말의 신호 처리 방법.

### 발명의 효과

[0010] 본 발명의 일실시예에 의하면, 최저 사용자 수율을 최대화할 수 있는 모드에 따라 통신을 수행할 수 있다.

[0011] 본 발명의 일실시예에 의하면, 최저 사용자 수율을 최대화할 수 있는 모드에 따라 빔포밍을 수행할 수 있다.

[0012] 본 발명의 일실시예에 의하면, 최저 사용자 수율을 최대화할 수 있는 모드에 따라 수신 단말의 필터를 적용할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0013] 도 1은 본 발명의 일실시예와 관련된 다중 셀 시스템에서 기지국간 협력을 통해 빔포밍을 수행하는 기지국의 신호 처리 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 일실시예와 관련된 무선 통신 기지국의 신호 처리 장치의 블록도를 나타내는 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 일실시예와 관련된 무선 통신 기지국의 신호 처리 방법을 나타내는 흐름도이다.
- 도 4는 본 발명의 일실시예와 관련된 무선 통신 기지국이 지원하는 수신 단말의 신호 처리 방법을 나타내는 흐름도이다.
- 도 5는 일실시예와 관련된 통신과 다른 통신 기법과의 성능을 비교한 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0014] 이하, 첨부된 도면을 참조하면서 본 발명의 일실시예와 관련된 무선 통신 기지국의 신호 처리 방법 및 장치, 그리고 수신 단말의 신호 처리 방법에 대해 설명하기로 한다.
- [0015] 도 1은 본 발명의 일실시예와 관련된 다중 셀(cell) 시스템에서 기지국간 협력을 통해 빔포밍을 수행하는 기지국의 신호 처리 방법을 설명하기 위한 도면이다. 본 명세서에서 "셀"은 "기지국"을 의미할 수 있다.
- [0016] 이하, 실시예에서는 다중 셀(cell) 시스템이 3 셀 시스템이고, 각 셀에서 서포트(support)하는 수신 단말은 하나인 것을 가정하여 설명하기로 하나, 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0017] 도시된 바와 같이, 본 발명의 일실시예와 관련된 무선 통신 시스템은 3개의 기지국(BS 1, BS 2, BS 3) 및 각 기지국이 지원하는 수신 단말기(Rx 1, Rx 2, Rx 3)를 포함할 수 있다. 기지국이 지원하는 수신 단말이라 함은 해당 무선 통신 기지국이 타겟하여 신호를 전송하고자 단말기를 의미한다. 도면에서 실선은 desired 신호를, 점선은 간섭 신호를 나타낸다. 그러면 i번째 사용자의 수신 신호는 수학식 1과 같이 나타낼 수 있다.

### 수학식 1

$$y_i = h_{i,i}x_i + \sum_{j \neq i, j=1}^3 h_{i,j}x_j + n_i$$

[0018]

- [0019] 여기서  $x_i$ 는 i번째의 기지국의 송신 신호,  $h_{i,j}$ 는 j 번째 기지국에서 i 번째,  $n_i$ 는 평균이 0이고 분산이 1인 복소 백색 가우시안 채널을 나타낸다.

- [0020] 한편, 본 실시예에서는 기지국의 power constraint를 수학식 2와 같이 고려할 수 있다.

### 수학식 2

$$E[|x_i|^2] \leq P_{\max} \text{ for } i = 1, 2, 3$$

[0021]

- [0022]  $P_{\max}$ 는 기지국에서 사용할 수 있는 최대 파워를 나타낸다. 여기서 E는 평균 연산을 의미한다. 즉 평균 파워는  $P_{\max}$  보다 작아야 한다.

- [0023] 상기 수학식 1을 실수값의 표현으로 정리하면 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다.

### 수학식 3

$$\mathbf{y}_i = \mathbf{H}_{i,i}\mathbf{x}_i + \sum_{j \neq i, j=1} \mathbf{H}_{i,j}\mathbf{x}_j + \mathbf{n}_i$$

여기서  $\mathbf{y}_i = [\Re\{y_i\} \ \Im\{y_i\}]^T$  이고,  $\mathbf{x}_i = [\Re\{x_i\} \ \Im\{x_i\}]^T$  이고,

$\mathbf{n}_i = [\Re\{n_i\} \ \Im\{n_i\}]^T$  이고,  $\mathbf{H}_{i,j} = \begin{bmatrix} \Re\{h_{i,j}\} & -\Im\{h_{i,j}\} \\ \Im\{h_{i,j}\} & \Re\{h_{i,j}\} \end{bmatrix}$  이다. 그리고

$\Re\{x\}$  과  $\Im\{x\}$  는 복소수  $x$ 의 실수부와 허수부를 나타낸다.

수학식 3에서 입력 신호( $x_i$ )의 covariance(공분산 행렬)을 수학식 4와 같이 나타낼 수 있다.

### 수학식 4

$$\mathbf{Q}_i = E[\mathbf{x}_i\mathbf{x}_i^H]$$

상기 수학식 4는 eigen value decomposition (EVD)을 이용하여 수학식 5와 같이 분해될 수 있다.

### 수학식 5

$$\mathbf{Q}_i = \mathbf{J}(\phi_i)\text{diag}(\lambda_i, P_i - \lambda_i)\mathbf{J}(-\phi_i)$$

여기서  $0 \leq P_i \leq P_{\max}$ ,  $0 \leq \lambda_i \leq P_i$  이고,  $\mathbf{J}(\phi) = \begin{bmatrix} \cos(\phi) & -\sin(\phi) \\ \sin(\phi) & \cos(\phi) \end{bmatrix}$  이다. 수학식 5에서  $\lambda_i$  는 입력 신호의 실수부와 허수부의 asymmetric 정도를 결정하며, 본 실시예에서는 가장 극단적인 case인  $\lambda_i = P_i$  인 asymmetric 경우를 고려한다.

그러면 수학식 3은 rotation 행렬을 이용하여 수학식 6과 같이 표현할 수 있다.

### 수학식 6

$$\mathbf{y}_i = A_{i,i}\mathbf{J}(\theta_{i,i})\mathbf{x}_i + \sum_{j \neq i, j=1} A_{i,j}\mathbf{J}(\theta_{i,j})\mathbf{x}_j + \mathbf{n}_i$$

여기서  $\mathbf{H}_{i,j} = A_{i,j}\mathbf{J}(\theta_{i,j})$  이고,  $A_{i,j} = |h_{i,j}|$  and  $\theta_{i,j} = \angle h_{i,j}$  이다.

상기 수학식 6을 이용하여 달성할 수 있는 수신 단말의 수율(rate)을 수학식 7과 같이 계산할 수 있다.

## 수학식 7

$$R_i^{AC} = \frac{1}{2} \log_2 \frac{\det(E[y_i y_i^T])}{\det(E[(y_i - A_{i,i} J(\theta_{i,i}) v_i u_i)(y_i - A_{i,i} J(\theta_{i,i}) v_i u_i)^T])}$$

[0035]

[0036] 여기서 상첨자 AC는 asymmetric complex signaling을 나타낸다. 그리고 det는 수학적 기호로 determinant를 나타낸다. 또한,  $x_i = v_i u_i$ 이며  $v_i$ 는 빔포밍 벡터,  $u_i$ 는 실수 데이터 심볼을 나타낸다.

[0037] 본 발명의 일실시예에 의한 기지국(BS)의 신호 처리 장치는 상기 수학식 4를 이용하여 최저 사용자 수율을 최대화할 수 있는 모드에 따라 빔포밍을 수행할 수 있다. 이하에서 최저 사용자 수율을 최대화할 수 있는 모드에 따라 빔포밍을 수행하는 방법에 대해 상세히 설명하고자 한다.

[0038] 도 2는 본 발명의 일실시예와 관련된 무선 통신 기지국의 신호 처리 장치의 블록도를 나타내는 도면이다.

[0039] 도시된 바와 같이, 신호 처리 장치(100)는 채널 정보 획득부(110), 최저 수율 산출부(120), 모드 선택부(130), 빔포밍부(140), 통신부(150) 및 제어부(160)를 포함할 수 있다. 그러나, 도시된 구성요소 모두가 필수구성요소인 것은 아니다. 도시된 구성요소보다 많은 구성요소로 상기 신호 처리 장치(100)가 구성될 수도 있고, 그보다 적은 구성요소에 의해서도 신호 처리 장치(100)가 구성될 수 있다.

[0040] 채널 정보 획득부(110)는 각 수신 단말에 대응하는 채널 정보를 획득할 수 있다. 예를 들어, 다중 셀에 존재하는 기지국들은 자신이 지원하는 수신 단말로부터 채널 정보를 수신하고, 자신이 수신한 채널 정보와 타 기지국이 수신한 채널 정보를 공유하는 방식으로 각 수신 단말에 대응하는 채널 정보를 획득할 수 있다.

[0041] 최저 수율 산출부(120)는 기 설정된 복수의 모드에 각각 대응되게 최저 사용자 수율(worst-user rate)을 산출할 수 있다. 본 명세서에서 최저 사용자 수율이라 함은 각 모드에서 최저 수율을 나타내는 수신 단말의 수율을 의미한다.

[0042] 또한, 상기 복수의 모드는 정렬된 간섭 조건 및 정렬되지 않은 간섭 조건에 따라 구분될 수 있다. 상기 정렬된 간섭 조건이라 함은 정렬된 간섭이 발생할 수 있는 경우의 수를 포함하고, 정렬되지 않은 간섭 조건이라 함은 정렬되지 않은 수신 단말이 어떤 기지국으로부터 간섭을 받는지에 대한 경우 수를 포함할 수 있다.

[0043] 본 실시예인 3 셀 시스템에서는 상기 복수의 모드는 6가지의 모드가 될 수 있다. 구체적으로 설명하면, 3개의 수신 단말 중 정렬된 간섭을 가지는 2개의 수신 단말을 선택하는 경우가 3이고, 정렬되지 않은 나머지 하나의 수신 단말이 간섭을 받는 경우 2(정렬된 두 개의 수신 단말에 대응되는 2개의 셀 중 어느 하나에서 간섭을 받을 수 있기 때문에)이기 때문에 복수의 모드는 6(3\*2=6)개가 된다.

[0044] 최저 수율 산출부(120)는 상기 수학식 7를 이용하여 각 모드 별로 6개의 최저 사용자 수율을 산출할 수 있다. 이 경우, 각 모드 별로 빔포밍 벡터가 매핑되어 있다. 즉, 모드 별로 빔포밍 벡터가 설정되어 있다. 따라서 최저 수율 산출부(120)는 각 모드에 매핑되어 있는 빔포밍 벡터와 획득된 채널 정보를 수학식 7을 이용하여 6개의 최저 사용자 수율을 산출할 수 있다.

[0045] 모드 선택부(130)는 상기 산출된 6개의 최저 사용자 수율 중 가장 큰 값에 대응되는 모드를 최적의 모드로 선택할 수 있다.

[0046] 빔포밍부(140)는 상기 선택된 모드에 매핑된 빔포밍 벡터를 이용하여 빔포밍을 수행할 수 있다.

[0047] 통신부(150)는 각종 신호 또는 정보를 타 기지국 또는 지원하는 수신 단말로부터 수신하거나 각종 신호 또는 정보를 타 기지국 또는 지원하는 수신 단말로 전송할 수 있다. 예를 들어, 통신부(150) 지원하는 수신 단말로부터 채널 정보를 수신하거나, 상기 선택된 모드에 대한 정보를 상기 지원하는 수신 단말에 전송할 수 있다. 또한, 통신부(150)는 타 기지국이 획득한 채널 정보를 수신하거나 자신이 획득한 채널 정보를 타 기지국에 전송할 수 있다.

[0048] 제어부(160)는 채널 정보 획득부(110), 최저 수율 산출부(120), 모드 선택부(130), 빔포밍부(140), 및 통신부(150)에서 수행하는 전반적인 기능을 제어한다.

[0049] 이하에서는 빔포밍 벡터를 설계하는 방법 및 수신 단말에서 필터를 설계하는 방법에 대해 구체적으로 설명하기로 한다. 특히, 첫 번째 사용자와 두 번째 사용자(즉, 첫 번째 수신 단말과 두 번째 수신 단말)는 완벽하게 정렬된 간섭 가지고, 세 번째 사용자(즉, 세 번째 수신 단말)은 완벽하게 정렬되지 못하는 간섭을 가지는 상황에 대해 설명하도록 한다.

[0050] 먼저, 수학식 7를 이용하여 최저 사용자 수율 중 가장 큰 값에 대응되는 모드를 최적의 모드로 선택하는 방법은 수학식 8과 표현할 수 있다.

### 수학식 8

$$\begin{aligned} & \max_{\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \mathbf{v}_3} \min\{R_1^{AC}, R_2^{AC}, R_3^{AC}\} \\ & \text{subject to } \|\mathbf{v}_i\|^2 \leq P_{\max}, \forall i = 1, 2, 3. \end{aligned}$$

[0051]

[0052] 여기서는 기지국이 총 3개인 경우를 나타낸다.

[0053] 하지만, 수학식 8은 non-convex이므로 이 식을 바로 푸는 것은 매우 복잡하기 때문에, 간섭 정렬과 파워 컨트롤 기반의 방식을 이용할 수 있다.

[0054] 빔포밍 벡터는  $\mathbf{v}_i = \sqrt{P_i} \mathbf{j}(\phi_i)$  으로 파워 부분  $P_i$ 와 빔방향 부분  $\mathbf{j}(\phi)$  으로 정의하면, 수학식 6은 하기 수학식 9과 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 9

$$\mathbf{y}_i = \sqrt{P_i} A_{i,i} \mathbf{j}(\theta_{i,i} + \phi_i) u_i + \sum_{j \neq i, j=1}^3 \sqrt{P_j} A_{i,j} \mathbf{j}(\theta_{i,j} + \phi_j) u_j + \mathbf{n}_i$$

[0055]

[0056] 상기 수학식 9를 이용하여 간섭 정렬을 실행하는 빔포밍 벡터를 설계할 수 있다. 하지만, 3-user(즉, 3 셀 시스템)의 경우 빔포밍 벡터를 설계할 때 spatial dimension의 부족으로 세 명의 사용자(세 개의 수신 단말) 모두 간섭을 정렬시킬 수는 없다. 따라서, 두 명의 사용자가 정렬된 간섭을 갖는 상황을 가정하기로 한다. 첫 번째와 두 번째 사용자가 정렬된 간섭을 갖는다면, 그 조건은 수학식 10과 같다.

### 수학식 10

$$\begin{aligned} \text{span}(\mathbf{j}(\theta_{1,2} + \phi_2)) &= \text{span}(\mathbf{j}(\theta_{1,3} + \phi_3)) \\ \text{span}(\mathbf{j}(\theta_{2,1} + \phi_1)) &= \text{span}(\mathbf{j}(\theta_{2,3} + \phi_3)) \end{aligned}$$

[0057]

[0058] 그러면, 수학식 10을 만족시키는 빔포밍 벡터는 수학식 11과 같이 구해질 수 있다.

수학식 11

$$\begin{aligned}\mathbf{v}_1 &= \sqrt{P_1}\mathbf{j}(\theta_{2,3} - \theta_{2,1} + \phi_3) \\ \mathbf{v}_2 &= \sqrt{P_2}\mathbf{j}(\theta_{1,3} - \theta_{1,2} + \phi_3) \\ \mathbf{v}_3 &= \sqrt{P_3}\mathbf{j}(\phi_3).\end{aligned}$$

[0059]

$O_3$ 는 rate 성능을 변화 시키지 않기 때문에,  $O_3$ 는 0으로 간주할 수 있다.

[0060]

상기 수학식 11을 수학식 9에 대입하면 사용자 1과 2(즉, 첫 번째 수신 단말과 두 번째 수신 단말)의 수신 신호는 수학식 12와 같이 구해질 수 있다.

[0061]

수학식 12

$$\begin{aligned}\mathbf{y}_i &= \sqrt{P_i}A_{i,i}\mathbf{j}(\theta_{i,i} + \theta_{i,3} - \theta_{i,i})u_i \\ &+ (\sqrt{P_i}A_{i,i}u_i + \sqrt{P_3}A_{i,3}u_3)\mathbf{j}(\theta_{i,3}) + \mathbf{n}_i\end{aligned}$$

[0062]

여기서  $\bar{1}=2, \bar{2}=1$ 이다. 그러면 수신 단말에서는 zero-forcing(ZF) 필터

[0063]

$$\mathbf{w}_i = \mathbf{j}(\theta_{i,3} - \frac{\pi}{2})^T$$

를 이용하여 수신 신호를 복호할 수 있다. ZF 필터를 거친 신호는 수학식

13과 같다

수학식 13

$$\hat{u}_i = \sqrt{P_i}A_{i,i} \cos(\alpha_{i,i}) + \tilde{n}_i$$

[0064]

여기서,  $\alpha_{i,i} = \theta_{i,i} + \theta_{i,3} - \theta_{i,i} - \theta_{i,3} + \frac{\pi}{2}$ ,  $\tilde{n}_i = \mathbf{w}_i\mathbf{n}_i \sim N(0, \frac{\sigma_n^2}{2})$ 이다.

[0065]

하지만, 사용자 3(즉, 세 번째 수신 단말)의 경우 완벽하게 정렬된 간섭을 갖지 못하며, 사용자 3의 수신 신호는 수학식 14와 같다.

[0066]

수학식 14

$$\mathbf{y}_3 = \sqrt{P_3}A_{3,3}\mathbf{j}(\theta_{3,3})u_3 + \sum_{i=1}^2 \sqrt{P_i}A_{i,i}\mathbf{j}(\beta_{3,i})u_i + \mathbf{n}_3$$

[0067]

[0068] 여기서,  $\beta_{3,i} = \theta_{3,i} + \theta_{i,3} - \theta_{i,i}$  for  $i = 1, 2$  이다.

[0069] 수학식 14에서 알 수 있듯이, 간섭 정렬 조건은  $\text{span}(\mathbf{j}(\beta_{3,1})) = \text{span}(\mathbf{j}(\beta_{3,2}))$  이며, 이는 채널의 randomness 조건에 의해서 확률적으로 일어날 가능성이 거의 희박하다.

[0070] 따라서, 수학식 14 등식 오른쪽에서 두 번째 term의 간섭 중 첫 번째 BS에서 오는 간섭을 제거하는 필터  $\mathbf{w}_3 = \mathbf{j}(\alpha_{3,1} - \frac{\pi}{2})^T$  를 고려할 수 있다. 그러면 필터의 output는 수학식 15와 같이 표현할 수 있다.

수학식 15

$$\begin{aligned} \hat{u}_3 = & \sqrt{P_3} A_{3,3} \cos(\theta_{3,3} - \beta_{3,1} + \frac{\pi}{2}) u_3 \\ & + \sqrt{P_2} A_{3,2} \cos(\beta_{3,2} - \beta_{3,1} + \frac{\pi}{2}) u_2 + \tilde{n}_3. \end{aligned}$$

[0071]

[0072] 수학식 13과 수학식 15를 이용하여 신호 대 간섭잡음비(SINR ratio)를 계산하면 수학식 16과 같다.

수학식 16

$$\gamma_1^{AC} = \frac{G_{1,1} P_1}{\sigma_n^2/2}, \gamma_2^{AC} = \frac{G_{2,2} P_2}{\sigma_n^2/2}, \gamma_3^{AC} = \frac{G_{3,3} P_3}{\sigma_n^2/2 + G_{3,2} P_2}$$

[0073]

[0074] 여기서  $G_{i,j} = (A_{i,j})^2 \cos^2(\alpha_{i,j}), \alpha_{3,3} = \theta_{3,3} - \beta_{3,1} + \frac{\pi}{2}$  and  $\alpha_{3,2} = \beta_{3,2} - \beta_{3,1} + \frac{\pi}{2}$  이다.

[0075] 그러면 수학식 8은 수학식 17과 같이 변환될 수 있다.

수학식 17

$$(P_1^*, P_2^*, P_3^*) = \arg \max_{0 \leq P_i \leq P_{\max}, i=1,2,3} \min\{\gamma_1^{AC}, \gamma_2^{AC}, \gamma_3^{AC}\}$$

[0076]

[0077] 수학식 17은 이제 power control 문제로 변환되었다. Power control 문제를 풀기 위해서 다음과 같은 두 가지 성질이 이용될 수 있다.

[0078] 첫째,  $P_1$ 과  $P_3$ 는 수학식 16에 있는 다른 사용자의 SINR에 영향을 미치지 않으므로,  $P_1 = P_3 = P_{\max}$ 으로 정의될 수 있다.

[0079] 또한,  $\gamma_2^{AC}$  와  $\gamma_3^{AC}$  는  $P_2$ 에 단조 증가, 단조 감소 함수이다. 상기 특성을 이용하면 수학식 18과 같이 최저 사용자 수율을 최대화하는 기지국 2의 파워를 구할 수 있다.

수학식 18

$$P_2^* = \begin{cases} \frac{-G_{2,2} + \sqrt{(\sigma_n^2/2)^2 G_{2,2}^2 + 4(\sigma_n^2/2) G_{2,2} G_{3,2} G_{3,3} P_{\max}}}{2G_{2,2} G_{3,2}}, & \text{if } \bar{\gamma}_2^{AC}(P_{\max}) > \bar{\gamma}_3^{AC}(P_{\max}) \\ P_{\max}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기서,  $\bar{\gamma}_i^{AC}(P_2) = \gamma_i^{AC}|_{P_1=P_3=P_{\max}}$  이다.

이상의 설명에서 사용자 1과 2가 완벽히 정렬된 간섭을 가지는 시스템을 고려하였다. 또한, 사용자 3는 기지국 1로부터 오는 간섭을 제거하는 필터를 사용하는 상황을 고려하였다.

이 상황을 일반적인 상황으로 확장한다면, 완벽히 정렬되는 간섭과, 남게 되는 간섭에 따라 총 6가지의 모드를 고려할 수 있다. 따라서, 이 6가지 모드 중에 가장 좋은 성능을 가지는 모드의 송신 전략을 채택한다면 추가적으로 선택 이득 (selection diversity)을 얻을 수 있다. 이는 수학식 19와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 19

$$\hat{\gamma}^{AC} = \max_{\substack{i,j \in \{1,2,3\} \\ i < j \\ k \in \{i,j\}}} \{ \gamma_{\max-\min}^{AC}(i, j, k) \}$$

위의 수식에서  $\gamma_{\max-\min}^{AC}(i, j, k)$  는 (i, j) 사용자는 완벽히 정렬된 간섭을 가지고, 나머지 한 명의 사용자는 **BS**  $k \in \{i, j\}$  에서 오는 간섭을 필터를 이용하여 제거하는 모드를 선택하였을 때 최대화된 최저 사용자 수율을 나타낸다. 즉, 선택 이득은 6가지 모드 중 한 가지 모드를 선택할 때 발생하는 이득을 나타낸다. 즉, 한 가지 모드만을 고려했을 때보다, 6가지 모드 전부를 고려했을 경우가 전체 시스템의 최저 사용자 수율이 최대화 될 수 있다.

다음은 상기 신호 처리 장치(100)가 수행하는 신호 처리 방법에 대해 설명하도록 하겠다.

도 3은 본 발명의 일실시예와 관련된 무선 통신 기지국의 신호 처리 방법을 나타내는 흐름도이다.

먼저, 채널 획득부(110)는 타 기지국과의 채널을 공유함으로써, 상기 다중 셀이 각각 지원하는 수신 단말에 대한 채널 정보를 획득할 수 있다(S310). 예를 들어, 다중 셀에 존재하는 기지국들은 자신이 지원하는 수신 단말로부터 채널 정보를 수신하고, 자신이 수신한 채널 정보와 타 기지국이 수신한 채널 정보를 공유하는 방식으로 각 수신 단말에 대응하는 채널 정보를 획득할 수 있다.

최저 수율 산출부(120)는 상기 획득된 채널 정보와 수학식 7을 각 모드별(3 셀 시스템에서는 6개의 모드가 존재함) 최저 사용자 수율을 산출할 수 있다(S320). 즉, 3 셀 시스템 6개의 최저 사용자 수율이 산출될 수 있다.

모드 선택부(130)는 상기 산출된 6개의 최저 사용자 수율 중 가장 큰 값에 대응되는 모드를 최적의 모드로 선택할 수 있다(S330).

빔포밍부(140)는 상기 선택된 모드에 매핑된 빔포밍 벡터를 이용하여 빔포밍을 수행할 수 있다(S340). 예를 들어, 선택된 모드가 사용자 1과 사용자 2가 완벽히 정렬된 간섭을 가지고, 사용자 3은 기지국 1로부터 오는 간섭을 제거하는 필터를 사용하는 모드라면, 수학식 11을 이용하여 빔포밍을 수행할 수 있다.

도 4는 본 발명의 일실시예와 관련된 무선 통신 기지국이 지원하는 수신 단말의 신호 처리 방법을 나타내는 흐름도이다.

름도이다.

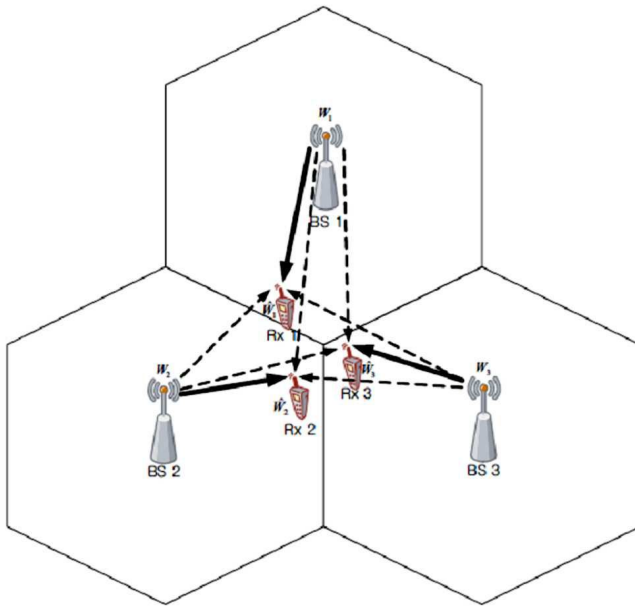
- [0093] 기지국이 지원하는 수신 단말은 상기 기지국으로부터 선택된 모드에 대한 정보를 수신할 수 있다(S410). 예를 들어, 기지국에서 6개의 모드 중 1번 모드를 최적의 모드로 선택하였을 경우, 상기 통신부(150)는 1번 모드를 선택하였다는 것을 수신 단말에 알려줄 수 있다.
- [0094] 그러면, 수신 단말은 상기 선택된 모드에 매핑된 필터를 사용하여 수신 신호를 처리할 수 있다(S420).
- [0095] 도 5는 일실예와 관련된 통신과 다른 통신 기법과의 성능을 비교한 도면이다.
- [0096] AC는 asymmetric complex signaling 알고리즘 기반의 기법을 나타내고, SC는 symmetric complex signaling 알고리즘 기반의 기법을 나타낸다. 도면을 통해 확인할 수 있듯이, AC를 이용한 빔포밍 방법이 파워컨트롤만 하는 SC보다 성능이 좋음을 나타낸다. 또한, 빨간 두 선은 선택이득이 있고 없고의 성능차이를 나타낸다. SC에서 non-cooperative는 각 기지국이 파워 컨트롤을 안하고 최대의 파워를 사용했을 경우 최저 사용자 수율이며, exhaustive search는 파워컨트롤을 일일이 전부 조사하여 찾았을 경우의 성능이다.
- [0097] 상술한 무선 통신 기지국의 신호 처리 방법 및 수신 단말의 신호 처리 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터로 판독 가능한 기록 매체에 기록될 수 있다. 이때, 컴퓨터로 판독 가능한 기록매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 한편, 기록매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다.
- [0098] 컴퓨터로 판독 가능한 기록매체에는 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.
- [0099] 한편, 이러한 기록매체는 프로그램 명령, 데이터 구조 등을 지정하는 신호를 전송하는 반송파를 포함하는 광 또는 금속선, 도파관 등의 전송 매체일 수도 있다.
- [0100] 또한, 프로그램 명령에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상술한 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.
- [0101] 상기와 같이 설명된 무선 통신 기지국의 신호 처리 방법 및 장치, 그리고 수신 단말의 신호 처리 방법은 상기 설명된 실시예들의 구성과 방법이 한정되게 적용될 수 있는 것이 아니라, 상기 실시예들은 다양한 변형이 이루어질 수 있도록 각 실시예들의 전부 또는 일부가 선택적으로 조합되어 구성될 수도 있다.

## 부호의 설명

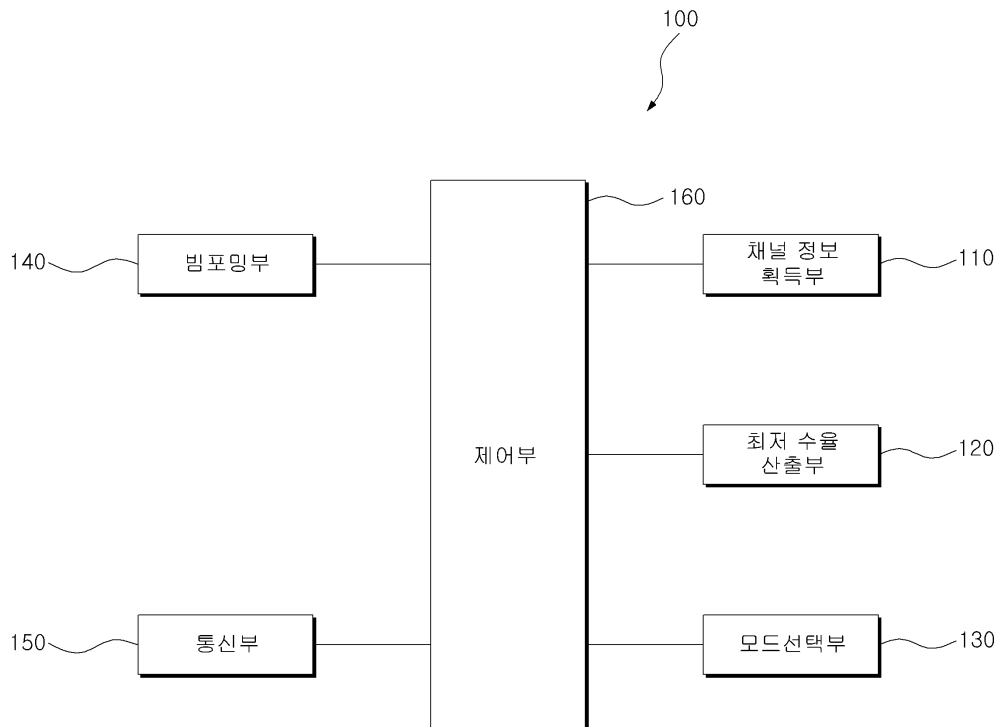
- [0102] BS: 기지국
- Rx: 수신 단말
- 100: 기지국의 신호 처리 장치
- 110: 채널 정보 획득부
- 120: 최저 수율 산출부
- 130: 모드 선택부
- 140: 빔포밍부
- 150: 통신부
- 160: 제어부

도면

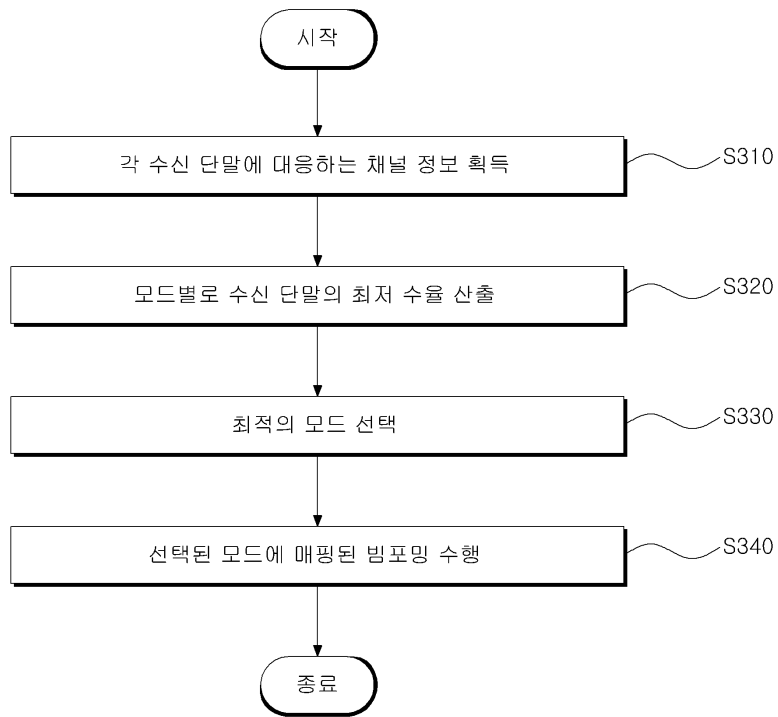
도면1



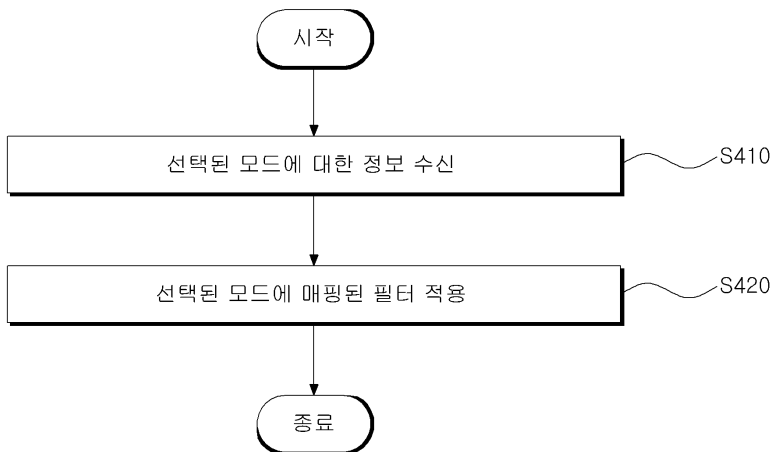
도면2



도면3



도면4



도면5

