



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년11월28일

(11) 등록번호 10-1466112

(24) 등록일자 2014년11월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04B 7/04 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0017534

(22) 출원일자 2009년03월02일

심사청구일자 2014년02월19일

(65) 공개번호 10-2010-0098854

(43) 공개일자 2010년09월10일

(56) 선행기술조사문헌

US20070127588 A1

US20060092054 A1

US20060068738 A1

US20060056531 A1

(73) 특허권자

삼성전자주식회사

경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)

보드 오브 리전츠, 더 유니버시티 오브 텍사스 시스템

미국 텍사스주 78701 오스틴 웨스트 7번 스트리트
201

(72) 발명자

고은석

경기도 성남시 수정구 수정로 289, 102동 1306호
(신흥동, 주공아파트)

권종형

경기도 성남시 분당구 서현로 184, 911호 (서현동, 엘지분당에클라트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

운동열

전체 청구항 수 : 총 7 항

심사관 : 김성태

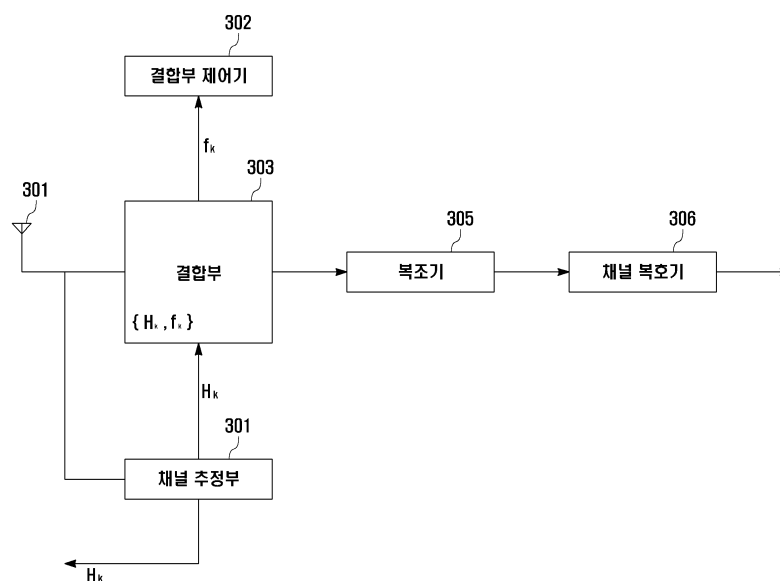
(54) 발명의 명칭 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 신호를 빔포밍 하는 방법 및 이를 위한 장치

(57) 요약

본 발명의 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 빔포밍 방법은 제 1 송신 신호 내지 제 3 송신 신호들이 전송되는 채널에 대응하는 각각의 채널 상태 정보 행렬(H_1, H_2, H_3)을 생성하는 단계, 상기 제 1 송신 신호 내지 제 3 송신 신호들에 각각 대응하는 송신 빔포밍 벡터들(f_1, f_2, f_3)을 각각의 채널 상태 정보 행렬($H_1, H_2,$

(뒷면에 계속)

대표도 - 도3



H_3)의 내적 및 외적을 이용하여 생성하는 단계 및 상기 제 1 송신 신호 내지 제 3 송신 신호들을 상기 각각의 송신 빔포밍 벡터들(f_1, f_2, f_3)을 이용하여 빔포밍 하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

본 발명의 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 빔포밍 방법 및 이를 위한 장치에 의하면 종래 기술에 비하여 SVD와 같은 복잡한 연산이 아닌 단순히 방정식의 해를 구하는 수치 해석의 연산만으로 송수신 빔포밍 벡터를 검출하는 것이 가능하다. 더불어, 다중 사용자의 클러스터링(Clustering)이 가능한 환경에서는 폐쇄형(Closed Form)의 해를 구하여 송수신 빔포밍 벡터를 검출하고 이를 이용하여 손쉽게 다중 사용자 - 다중 안테나 시스템을 구현할 수 있다.

(72) 발명자

김상현

서울특별시 서초구 반포대로13길 91, 청광아트빌라 B-202 (서초동)

로버트 히스

미국 텍사스 78712-0204, 오스틴, 1 유니버시티 스테이션 C0803

채찬병

3517 North Hills Dr. #H102, Austin, TX 78731, USA

특허청구의 범위

청구항 1

제 1 송신 신호 내지 제 3 송신 신호들이 전송되는 채널에 대응하는 각각의 채널 상태 정보 행렬(H_1, H_2, H_3)을 생성하는 단계;

상기 제 1 송신 신호 내지 제 3 송신 신호들에 각각 대응하는 송신 빔포밍 벡터들(f_1, f_2, f_3)을 채널 상태 정보 행렬의 내적 및 외적의 조합으로 생성하는 단계; 및

상기 제 1 송신 신호 내지 제 3 송신 신호들을 상기 각각의 송신 빔포밍 벡터들(f_1, f_2, f_3)을 이용하여 빔포밍 하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 빔포밍 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 송신 신호 내지 제 3 송신 신호들에 각각 대응하는 송신 빔포밍 벡터들(f_1, f_2, f_3)을 아래 수학식에 의하여 생성하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 빔포밍 방법.

<수학식>

$$(\overline{R_1 f_1} \times R_2 f_1) \times (\overline{R_2 (R_1 f_1 \times R_3 f_1)} \times R_3 (\overline{R_1 f_1} \times R_3 f_1)) = 0$$

$$f_2 = \overline{R_1 f_1} \times R_2 f_1$$

$$f_3 = \overline{R_1 f_1} \times R_3 f_1$$

(단, R_k 는 $H_k^H H_k$ 를 지칭함)

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 송신 신호와 제 3 송신 신호가 클러스터링 된 경우, 상기 제 1 신호에 대응하는 송신 빔포밍 벡터 f_1 은 상기 채널 상태 정보 행렬 H_1 의 주 좌측 고유 벡터인 것을 특징으로 하는 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 빔포밍 방법.

청구항 4

제 1 송신 신호 내지 제 3 송신 신호들을 각각의 송신 빔포밍 벡터들(f_1, f_2, f_3)을 이용하여 빔포밍 하는 빔포밍 제어부;

상기 제 1 송신 신호 내지 제 3 송신 신호들이 전송되는 채널에 대응하는 각각의 채널 상태 정보 행렬(H_1, H_2, H_3)을 이용하여 상기 각각의 송신 빔포밍 벡터들을 생성하는 빔포밍 제어부; 및

상기 채널 상태 정보를 생성하여 상기 빔포밍 제어부로 전송하는 채널 정보 수신부;를 포함하며,

상기 빔포밍 제어부는 아래 수학식에 의하여 송신 빔포밍 벡터들을 산출하는 것을 특징으로 하는 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 송신 장치.

<수학식>

$$(\overline{R_1 f_1} \times R_2 f_1) \times (\overline{R_2 (R_1 f_1 \times R_3 f_1)} \times R_3 (\overline{R_1 f_1} \times R_3 f_1)) = 0$$

$$f_2 = \overline{R_1 f_1} \times R_2 f_1$$

$$f_3 = \overline{R_1 f_1} \times R_3 f_1$$

(단, R_k 는 $H_k^H H_k$ 를 지칭함)

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 제 2 송신 신호와 제 3 송신 신호가 클러스터링 된 경우, 상기 제 1 신호에 대응하는 송신 빔포밍 벡터 f_1 은 상기 채널 정보 행렬 H_1 의 주 좌측 고유 벡터인 것을 특징으로 하는 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 송신 장치.

청구항 6

채널 상태 정보 행렬(H_i) 및 수신 빔포밍 벡터(w_i)를 이용하여 수신 신호의 수신 빔포밍 과정을 수행하는 결합부;

기지국으로부터 송신 빔포밍 벡터(f_i)를 수신하여 상기 결합부로 전송하는 결합부 제어기; 및

상기 수신 신호를 이용하여 상기 기지국과 연결된 채널의 채널 상태 정보 행렬을 생성하고, 상기 채널 상태 정보 행렬을 상기 결합부로 전송하는 채널 추정부;를 포함하며,

상기 w_i 는 $H_i f_i$ 인 것을 특징으로 하는 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 수신 장치.

청구항 7

제 6 항에 있어서, 상기 결합부 제어기는

상기 기지국으로부터 수신한 파일럿 신호에 포함된 상기 송신 빔포밍 벡터(f_i)를 추출하는 것을 특징으로 하는 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 수신 장치.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무선 통신 시스템에 관한 것으로서, 특히 다중 사용자(Multi User) - 다중 안테나(Multi Input Multi Output, MIMO) 무선 통신 시스템에서 공동 빔 형성(Coordinated Beamforming)을 위한 신호의 빔포밍 방법 및 이를 위한 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템은 다중 송신 안테나를 사용하는 기지국이 기지국과 복수의 사용자들 간의 채널 정보를 바탕으로 각 사용자의 데이터를 공간 다중화 하여 전송하는 방식으로 제한된 주파수 및 전력 자원 하에서 높은 셀 용량을 제공할 수 있다. 이러한 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템은 복수의 사용자들에게 신호 전송 시 공동 빔포밍 방식의 빔포밍 벡터를 산출하고, 이를 이용하여 복수의 사용자들 각각에 최적화된 송신 신호를 송출한다.

[0003] 종래의 공동 빔포밍을 위한 빔포밍 벡터를 구하는 과정은 반복적 계산 알고리즘으로 진행되어, 일반적으로 최적화된 빔포밍 벡터로 수렴할 때까지의 반복 계산 횟수를 정확히 측정하는 것은 매우 어려운 문제이다. 이러한 이유로 무선 통신 시스템 상의 데이터 전송에 있어 빔포밍 벡터 계산이 수렴할 때까지 지연을 일으킬 가능성이 있어 시스템에 불안정을 일으킬 수 있다. 따라서 반복 계산의 횟수를 강제로 제한하게 되면, 빔포밍 벡터의 부정확성으로 인해 공동 빔포밍의 성능이 감소하게 된다. 또한 반복 계산 과정에서 SVD(Singular Value Decomposition)와 같은 복잡한 행렬 연산을 반복 수행해야 한다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0004] 본 발명인 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 신호를 빔포밍 하는 방법 및 이를 위한 장치는 종래 방식에 비하여 송수신 빔포밍 벡터를 신속하고 정확하게 생성하여 신호 전송 시 발생하는 지연을 감소시키고 시스템 안정성을 높이는 것을 목적으로 한다.

과제 해결수단

[0005] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 빔포밍 방법은 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 빔포밍 방법은 제 1 송신 신호 내지 제 3 송신 신호들이 전송되는 채널에 대응하는 각각의 채널 상태 정보 행렬(H_1, H_2, H_3)을 생성하는 단계, 상기 제 1 송신 신호 내지 제 3 송신 신호들에 각각 대응하는 송신 빔포밍 벡터들(f_1, f_2, f_3)을 각각의 채널 상태 정보 행렬(H_1, H_2, H_3)의 내적 및 외적을 이용하여 생성하는 단계 및 상기 제 1 송신 신호 내지 제 3 송신 신호들을 상기 각각의 송신 빔포밍 벡터들(f_1, f_2, f_3)을 이용하여 빔포밍 하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다. 또한 상기 제 2 송신 신호와 제 3 송신 신호가 클러스터링 된 경우, 상기 제 1 신호에 대응하는 송신 빔포밍 벡터 f_1 은 상기 채널 정보 행렬 H_1 의 주 좌측 고유 벡터인 것을 특징으로 한다.

[0006] 또한 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 송신 장치는 제 1 송신 신호 내지 제 3 송신 신호들을 각각의 송신 빔포밍 벡터들(f_1, f_2, f_3)을 이용하여 빔포밍 하는 빔포머, 상기 제 1 송신 신호 내지 제 3 송신 신호들이 전송되는 채널에 대응하는 각각의 채널 상태 정보 행렬(H_1, H_2, H_3)을 이용하여 상기 각각의 송신 빔포밍 벡터들을 생성하는 빔포밍 제어부 및 상기 채널 상태 정보 행렬을 생성하여 상기 빔포밍 제어부로 전송하는 채널 정보 수신부를 포함하는 것을 특징으로 한다. 또한 상기 제 2 송신 신호와 제 3 송신 신호가 클러스터링 된 경우, 상기 제 1 신호에 대응하는 송신 빔포밍 벡터 f_1 은 상기 채널 정보 행렬 H_1 의 주 좌측 고유 벡터인 것을 특징으로 한다.

[0007] 또한 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 수신 장치는 채널 상태 정보 행렬(H') 및 수신 빔포밍 벡터(w')를 이용하여 수신 신호의 수신 빔포밍 과정을 수행하는 결합부, 기지국으로부터 송신 빔포밍 벡터(f')를 수신하여 상기 결합부로 전송하는 결합부 제어기, 및 상기 수신 신호를 이용하여 상기 기지국과 연결된 채널의 채널 상태 정보 행렬을 생성하고, 상기 채널 상태 정보 행렬을 상기 결합부로 전송하는 채널 추정부;를 포함하는 것을 특징으로 한다. 또한 상기 결합부 제어기는 상기 기지국으로부터 수신한 파일럿 신호에 포함된 상기 송신 빔포밍 벡터(f')를 추출하는 것을 특징으로 한다.

효과

[0008] 본 발명의 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 빔포밍 방법 및 이를 위한 장치에 의하면 종래 기술에 비하여 SVD와 같은 복잡한 연산이 아닌 단순히 방정식의 해를 구하는 수치 해석의 연산만으로 송수신 빔포밍 벡터를 검출하는 것이 가능하다. 더불어, 다중 사용자의 클러스터링(Clustering)이 가능한 환경에서는 폐쇄형(Closed Form)의 해를 구하여 송수신 빔포밍 벡터를 검출하고 이를 이용하여 손쉽게 다중 사용자 - 다중 안테나 시스템을 구현할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0009] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 상세히 설명한다. 이때 첨부된 도면에서 동일한 구성 요소는 가능한 동일한 부호로 나타내고 있음에 유의하여야 한다. 또한 본 발명의 요지를 흐리게 할 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 상세한 설명은 생략할 것이다.

[0010] 또한 이하에서 설명되는 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니 되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념으로 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

- [0011] 도 1은 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 공동 빔포밍을 위한 일반적인 송신 빔포밍 벡터 검출 방법의 순서도이다.
- [0012] 도 1을 참조하여 설명하면, 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 공동 빔포밍(Coordinated Beamforming) 방식의 송수신 빔포밍 벡터 산출은 일반적으로 송신단인 기지국에서 모든 사용자와의 하향링크 채널 정보를 이용하여 송신 빔포밍 벡터 및 수신 빔포밍 벡터를 구하는 방식이다. 단, 검출된 송신 빔포밍 벡터 및 수신 빔포밍 벡터는 단말기에서 결합 과정을 거쳤을 경우 사용자 간 간섭이 전혀 발생하지 않음을 만족해야 한다.
- [0013] 일반적으로 송신 빔포밍 벡터 및 수신 빔포밍 벡터는 아래와 같은 반복적 계산 과정을 통해 구할 수 있다. 단, 제한된 안테나 구성(2x2)에 대해서는 폐쇄형(Closed Form)의 해로도 산출될 수 있다. 일반적인 빔포밍 벡터 검출 방법을 보다 상세히 설명하면, 단계 101에서 전체 사용자의 수신 빔포밍 벡터를 초기화하여 빔포밍 벡터 검출 과정을 개시한다. 단계 102에서 i 를 1로 할당하여 i 번째 사용자의 송신 빔포밍 벡터를 검출하는 과정을 진행한다. 계속하여, 단계 103에서 기지국은 i 번째 사용자를 제외한 다른 사용자의 고정된 수신 빔포밍 벡터를 이용하여, i 번째 사용자에게 최적화된 송신 빔포밍 벡터를 검출한다.
- [0014] 또한 단계 104에서 기지국은 i 가 K 인지, 즉 전체 사용자 수와 일치하는지 판단한다. 전체 사용자에 관하여 송신 빔포밍 벡터 및 수신 빔포밍 벡터를 검출하는 과정이 이루어지지 않은 경우, 즉 단계 104에서 i 가 K 보다 작다고 판단된 경우, 단계 105에서 i 를 1만큼 증가시켜 단계 103을 다시 실행한다.
- [0015] 계속하여, 단계 104에서 i 와 K 가 같다고 판단된 경우, 즉 전체 사용자에 관하여 송신 빔포밍 벡터 및 수신 빔포밍 벡터를 검출하는 과정이 수행되었다고 판단된 경우, 단계 106에서 검출된 송신 빔포밍 벡터 및 수신 빔포밍 벡터가 수렴된 값 즉 최적화된 값인지 판단한다. 단계 106에서 검출된 송신 빔포밍 벡터 및 수신 빔포밍 벡터가 최적화된 값이 아니라고 판단되면, 단계 102 부터 상술한 방법을 재실행하여 최적화된 송신 빔포밍 벡터 및 수신 빔포밍 벡터를 검출한다. 또한 단계 106에서 검출된 송신 빔포밍 벡터 및 수신 빔포밍 벡터가 최적화된 값이라고 판단되면, 검출된 송신 빔포밍 벡터를 이용하여 신호를 송출하고, 단말은 이러한 수신 신호와 수신 빔포밍 벡터를 이용하여 수신 신호를 처리하여 송신된 신호를 추정한다.
- [0016] 또한 기지국과 단말기는 수신 빔포밍 벡터를 공유해야 하므로, 기지국이 단말기로 검출된 수신 빔포밍 벡터를 전달하기 위해 다음과 같은 파일럿(pilot) 신호를 사용한다. 즉 각 단말에게 중복 사용되지 않도록 전용 파일럿 채널을 할당하고, 파일럿 신호를 각 단말의 수신 빔포밍 벡터로 프리코딩 하여 신호를 송출하면, 단말은 수신한 파일럿 신호로부터 빔포밍 벡터를 검출하여 이를 수신 빔포밍 벡터로 사용한다.
- [0017] 상술한 바와 같이 송신 빔포밍 벡터 및 수신 빔포밍 벡터를 산출하는 과정은 반복적 계산 알고리즘으로 진행되어, 일반적으로 최적화된 빔포밍 벡터로 수렴할 때까지의 반복 계산 횟수를 정확히 측정하는 것은 매우 어려운 문제이다. 또한 무선 통신 시스템 상의 데이터 전송에 있어 송수신 빔포밍 벡터 계산이 수렴할 때까지 지연을 일으킬 가능성이 있어 시스템에 불안정을 일으킬 수 있다.
- [0018] 본 발명에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 공동 빔포밍 방식을 사용함에 있어서 송수신 빔포밍 벡터를 벡터의 내적과 외적을 이용하여 빠르고 정확하게 생성하는 방법을 제안한다.
- [0019] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 송신 장치의 블록 구성도이다.
- [0020] 도 2를 참조하여 설명하면, 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 송신 장치인 기지국은 채널 부호기(201, 202, 203), 변조기(204, 205, 206), 빔포머(207, 208, 209), 전송 신호 병합부(210, 211, 212), 송신 안테나(213, 214, 215), MCS(modulation and coding scheme) 제어부(216), 빔포밍 제어부(217), 채널 정보/제어 정보 수신부(218)를 포함할 수 있다.
- [0021] 또한 송신 안테나(213, 214, 215)의 개수는 3개이고, 수신 안테나의 개수는 N_r 개 이다. 이 때, 하나의 송신 안테나로 전송되는 신호는 하나의 단말에 전송되는 신호만으로 구성될 수 있고, 여러 개의 단말들로 전송되는 신호들의 병합으로 구성될 수 있다. 이 경우 전송 신호 병합부(210, 211, 212)에서 여러 개의 단말들로 전송되는 신호들을 병합한다.
- [0022] 단말로 전송하기 위한 신호들은 채널 부호기(201, 202, 203)에서 해당 방식으로 부호화되고, 변조기(204, 205, 206)는 채널 부호기(201, 202, 203)로부터 제공되는 부호화된 비트열을 변조하여 복소 심벌을 출력한다. 채널

정보/제어 정보 수신부(218)는 기지국이 제어하는 단말 또는 상위 레벨의 구성에서 채널 상태 또는 제어 정보를 수신하여 빔포밍 제어부(217)와 MCS 제어부(216)로 전송한다.

[0023] MCS 제어부(216)는 채널 정보/제어 정보 수신부(218)로부터 수신한 제어 정보를 이용하여, 채널 부호기(201, 202, 203) 및 변조기(204, 205, 206)의 복호 과정 및 변조 과정을 제어한다. 또한 빔포밍 제어부(217)는 채널 정보/제어 정보 수신부(218)로부터 수신한 채널 상태 정보와 본 발명의 실시예에 의하여 검출된 송신 빔포밍 벡터, 수신 빔포밍 벡터를 이용하여 변조기(204, 205, 206)로부터 출력된 복소 심벌을 빔포밍 한다.

[0024] 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 송신 장치인 기지국의 빔포밍 제어기(217)는 빔포밍 벡터 산출 동작을 수행하기 위해서 다음과 같은 가정을 요구된다. 첫째로 기지국은 모든 사용자에 대한 하향 링크 채널 정보를 알고 있다. 이 정보를 알기 위해 시분할 양방향 전송 방식(Time Division Duplexing, TDD) 방식에서는 상향 링크 사운드 채널(uplink sounding channel)을 이용할 수 있다. 또는 피드백 채널(feedback channel)을 통해 단말이 추정한 하향링크 채널 정보를 피드백 받을 수도 있다.

[0025] 둘째로 다수 개의 기지국들이 협력해서 각 기지국과 단말간의 채널 정보를 공유할 수 있다면 다수 개의 기지국 협력 방법(클러스터링)에도 사용할 수 있다. 셋째로 기지국과 단말들과의 채널은 주파수 비선택적 페이딩(flat fading) 채널이다. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기법을 사용할 경우 각 부반송파가 전송되는 채널을 주파수 비선택적 페이딩 채널로 가정하는데 무리가 없고, 천천히 움직이는 단말에 대해서 채널이 천천히 변한다고 볼 수 있다.

[0026] 넷째로 한 번에 송신 가능한 사용자의 수는 최대 3명이며 각 사용자는 하나의 스트림을 사용한다.

[0027] 한편 다중 사용자간 간섭을 제거하는 것이 다중 사용자 - 다중 안테나 시스템에서 빔포밍 벡터 결정의 조건이므로, 송신 빔포밍 벡터 f_k 구하는 식에 반영하여 모델링하면 다음 수학적 1과 같다.

[0028] <수학적 1>

[0029] Given $R_1, R_2, R_3 \in \mathcal{H}_{3 \times 3}$, find $f_1, f_2, f_3 \in \mathbb{C}^3$ s.t. $f_i \in \bigcap_{j \neq i} (R_j f_j)^\perp$

[0030] 여기서, R_k 는 $H_k^H H_k$ 이고, $(a)^\perp$ 는 $\mathcal{A}$ 에 직교하는 공간을 나타낸다.

[0031] 본 발명에서는 이러한 환경에서의 송신 빔포밍 벡터 f_k 를 벡터의 내적과 외적을 이용하여 구하는 방법을 제안한다. 우선 복소 벡터 v, w 에 대해 아래 수학적 2 및 수학적 3과 같이 벡터의 내적과 외적을 정의한다.

[0032] <수학적 2>

[0033]
$$v \cdot w = w^* v = \sum v_i \bar{w}_i$$

[0034] <수학적 3>

[0035]
$$v \times w = \begin{vmatrix} \mathbf{e}_1 & \mathbf{e}_2 & \mathbf{e}_3 \\ v_1 & v_2 & v_3 \\ \bar{w}_1 & \bar{w}_2 & \bar{w}_3 \end{vmatrix}$$

[0036]
$$= \mathbf{e}_1 v_2 \bar{w}_3 + \mathbf{e}_2 v_3 \bar{w}_1 + \mathbf{e}_3 v_1 \bar{w}_2 - \mathbf{e}_1 v_3 \bar{w}_2 - \mathbf{e}_2 v_1 \bar{w}_3 - \mathbf{e}_3 v_2 \bar{w}_1.$$

[0037] where, $\mathbf{e}_1 = [1 \ 0 \ 0]^T$, $\mathbf{e}_2 = [0 \ 1 \ 0]^T$, and $\mathbf{e}_3 = [0 \ 0 \ 1]^T$.

[0038] 이렇게 정의된 벡터의 내적과 외적은 다음의 수학적 4의 조건을 만족한다.

[0039] <수학식 4>

For complex vectors $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c} \in \mathbb{C}^3$,

$$(1) \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = \mathbf{b}^* \mathbf{a} = \overline{\mathbf{b} \cdot \mathbf{a}}$$

$$(2) \mathbf{a} \times \mathbf{b} = -\overline{\mathbf{b} \times \mathbf{a}}$$

$$(2)' \mathbf{a} \times \mathbf{b} = 0 \text{ if } \overline{\mathbf{b}} = \lambda \mathbf{a}, \exists \lambda \in \mathbb{C}^3$$

$$(3) (\mathbf{a} \times \mathbf{b}) \cdot \mathbf{c} = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ \bar{b}_1 & \bar{b}_2 & \bar{b}_3 \\ \bar{c}_1 & \bar{c}_2 & \bar{c}_3 \end{vmatrix}$$

$$(3)' (\overline{\mathbf{a}} \times \mathbf{b}) \cdot \mathbf{a} = 0 \text{ and } (\overline{\mathbf{a}} \times \mathbf{b}) \cdot \mathbf{b} = 0$$

$$(4) \mathbf{R} \in \mathcal{H}_{3 \times 3} \Rightarrow \mathbf{R}\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = \mathbf{a} \cdot \mathbf{R}\mathbf{b}, \text{ where } \mathcal{H} \text{ denotes Hermitian.}$$

[0040]

[0041] 이러한 수학식 4의 벡터의 내적과 외적의 특성을 이용하여 위의 송신 빔포밍 벡터 $\mathbf{f}_1$, $\mathbf{f}_2$ 및 $\mathbf{f}_3$ 의 관계를 구하면 아래 수학식 5 내지 수학식 8을 유도할 수 있다.

[0042] <수학식 5>

For $\mathbf{f}_1 \in \mathbb{C}^3$, set

$$\mathbf{f}_2 := \overline{\mathbf{R}_1 \mathbf{f}_1} \times \mathbf{R}_2 \mathbf{f}_1$$

$$\mathbf{f}_3 := \overline{\mathbf{R}_1 \mathbf{f}_1} \times \mathbf{R}_3 \mathbf{f}_1$$

[0043]

[0044] <수학식 6>

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_1 \mathbf{f}_1 \cdot \mathbf{f}_2 &= \overline{\mathbf{f}_2 \cdot \mathbf{R}_1 \mathbf{f}_1} \\ &= \overline{(\overline{\mathbf{R}_1 \mathbf{f}_1} \times \mathbf{R}_2 \mathbf{f}_1) \cdot \mathbf{R}_1 \mathbf{f}_1} \\ &= \overline{0} \\ &= 0 \end{aligned}$$

[0045]

[0046] <수학식 7>

$$\begin{aligned} \mathbf{f}_1 \cdot \mathbf{R}_2 \mathbf{f}_2 &= \mathbf{R}_2 \mathbf{f}_1 \cdot \mathbf{f}_2 \\ &= \overline{\mathbf{f}_2 \cdot \mathbf{R}_2 \mathbf{f}_1} \\ &= \overline{(\overline{\mathbf{R}_1 \mathbf{f}_1} \times \mathbf{R}_2 \mathbf{f}_1) \cdot \mathbf{R}_2 \mathbf{f}_1} \\ &= \overline{0} \\ &= 0 \end{aligned}$$

[0047]

[0048] <수학식 8>

$$\mathbf{R}_1 \mathbf{f}_1 \cdot \mathbf{f}_3 = 0 = \mathbf{f}_1 \cdot \mathbf{R}_3 \mathbf{f}_3.$$

[0049]

[0050] 한편 본 실시예에서 다중 사용자간 간섭을 제거하는 것이 다중 사용자 - 다중 안테나 시스템에서 송수신 빔포밍 벡터 결정의 조건이므로, 아래 수학식 9 및 수학식 10과 같은 관계가 도출되며, 수학식 6의 조건 (3)'에 의하여

수학식 12의 관계가 성립함을 알 수 있다.

[0051] <수학식 9>

$$R_2 f_2 \cdot f_3 = 0 = f_2 \cdot R_3 f_3$$

$$\Leftrightarrow f_2 \cdot R_2 f_3 = 0 = f_2 \cdot R_3 f_3$$

[0053] <수학식 10>

$$(\overline{R_2 f_3} \times R_3 f_3) \cdot R_3 f_3 = 0,$$

[0055] 수학식 9 및 수학식 10과 $f_2 \cdot R_3 f_3 = 0$ 라는 조건에 따라 아래 수학식 11의 방정식이 도출된다.

[0056] <수학식 11>

$$f_2 \parallel (\overline{R_2 f_3} \times R_3 f_3)$$

i.e.,

$$\begin{aligned} & (\overline{R_1 f_1} \times R_2 f_1) \parallel (\overline{R_2(\overline{R_1 f_1} \times R_3 f_1)} \times R_3(\overline{R_1 f_1} \times R_3 f_1)) \\ \Leftrightarrow & (\overline{R_1 f_1} \times R_2 f_1) \times (\overline{R_2(\overline{R_1 f_1} \times R_3 f_1)} \times R_3(\overline{R_1 f_1} \times R_3 f_1)) = 0 \end{aligned}$$

[0058] 결국 송신 빔포밍 벡터 f_k 구하는 문제는 위 수학식 11의 방정식에서 해를 구하는 문제로 귀결된다. 수학식 11의 방정식을 풀면 f_1 을 구할 수 있고, 수학식 7의 f_1 과 f_2 과의 관계 및 수학식 8의 f_1 과 f_3 의 관계를 이용하여 f_2 및 f_3 을 구할 수 있다.

[0059] 한편 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 다중 사용자의 클러스터링이 가능한 환경이라면, 아래 수학식 12와 같이 송신 벡터 f_k 를 구할 수 있다. 단 수학식 12에서는 두 번째와 세 번째 사용자는 동일한 송신 신호를 받도록 클러스터링 되었다고 가정한다.

[0060] <수학식 12>

Given the input symbols a, b , the received symbols can be expressed as

$$\begin{aligned} y_1 &= \underbrace{\frac{P}{2} w_1^* H_1 f_1 a}_{\text{desired signal}} + \underbrace{\frac{P}{4} w_1^* H_1 f_2 b + \frac{P}{4} w_1^* H_1 f_3 b + w_1^* n_1}_{\text{interferences}} \\ y_2 &= \underbrace{\frac{P}{4} w_2^* H_2 f_2 b + \frac{P}{4} w_2^* H_2 f_3 b}_{\text{desired signals}} + \underbrace{\frac{P}{2} w_2^* H_2 f_1 a + w_2^* n_2}_{\text{interference}} \\ y_3 &= \underbrace{\frac{P}{4} w_3^* H_3 f_3 b + \frac{P}{4} w_3^* H_3 f_2 b}_{\text{desired signals}} + \underbrace{\frac{P}{2} w_3^* H_3 f_1 a + w_3^* n_3}_{\text{interference}} \end{aligned}$$

[0062] 수학식 12에서는 각 송신 벡터 f_k 는 다음 수학식 13과 같이 표현될 수 있다.

[0063] <수학식 13>

$$f_1 = V_1^{(1)}$$

$$f_2 = \overline{R_1 f_1} \times R_2 f_1$$

$$f_3 = \overline{R_1 f_1} \times R_3 f_1$$

[0065] 여기서, $V_1^{(1)}$ 은 채널 정보 행렬 H_1 의 주 좌측 고유 벡터(principle right side singular vector)이다.

[0066] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 수신 장치의 블록 구성도이다.

[0067] 도 3을 참조하여 설명하면, 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 수신 장치 즉 단말기는 수신 안테나(301), 결합부 제어기(302), 결합부(303), 채널 추정부(304), 복조기(305), 채널 복호기(306)를 포함할 수 있다.

[0068] 수신 안테나(301)는 기지국으로부터 송신된 신호를 수신하며, 수신된 신호는 결합부(303) 및 채널 추정부(304)로 전송된다. 채널 추정부(304)는 수신된 신호를 이용하여 채널 상태 정보 행렬 H_k 를 생성하며, 이를 결합부(303)로 전송한다. 또한 채널 추정부(304)에서 생성된 채널 상태 정보 행렬 H_k 는 기지국으로도 전송된다.

[0069] 결합부(303)에서는 수신된 신호, 채널 상태 정보 행렬 및 수신 빔포밍 벡터를 이용하여 수신 빔포밍 과정을 수행하고 해당 단말로 전송된 신호를 필터링한다. 또한 결합부 제어기(302)는 기지국으로부터 전송된 파일럿 신호에서 송신 빔포밍 벡터를 추출하여 결합부(303)로 전송한다. 또한 복조기(305)는 결합부(303)에서 필터링된 신호 즉 복소 심벌을 복조하여 부호화된 데이터 비트를 생성하며, 채널 복호기(306)는 부호화된 데이터 비트를 해당 방식으로 복호하여 전송 신호를 추정한다.

[0070] 이하에서는 결합부(303)에서 수행되는 수신 빔포밍 과정에 관하여 보다 상세히 설명한다.

[0071] 기지국에서 단말로 송신되는 신호를 x_k , 해당 단말의 송신 빔포밍 벡터를 f_k 로 하면, 해당 단말의 송신 빔포밍된 신호는 $f_k^H x_k$ 가 된다. 그러면, 해당 단말의 결합부(303)에서 수신 빔포밍 단계를 거쳐 수신된 신호 y_k 는 다음 수학적 식 14와 같다.

[0072] <수학적 식 14>

$$y_k = w_k^H H_k f_k x_k + w_k^H H_k \sum_{i=1, i \neq k}^K f_i x_i + w_k^H n_k$$

[0073]

[0074] 여기서, w_k 는 수신 빔포밍 벡터를 나타내고, K 는 동시에 전송되는 전체 사용자의 수이며, n_k 는 k 번째 사용자의 가우시안 잡음 벡터이다. 또한 수학적 식 14를 참조하면, 수신 빔포밍 벡터는 송신 빔포밍 벡터 및 채널 상태 정보 행렬과의 관계를 이용하여 아래 수학적 식 15와 같이 표현할 수 있다.

[0075] <수학적 식 15>

$$w_k = H_k f_k$$

[0076]

[0077] 수학적 식 15를 참조하면, 수신 빔포밍 벡터 w_k 는 송신 빔포밍 벡터 f_k 에 의하여 결정된다. 따라서 기지국은 단말기로 생성된 송신 빔포밍 벡터 f_k 를 송신함으로써 단말기로 하여금 수신 빔포밍 벡터 w_k 를 생성하게 할 수 있다. 이때 기지국이 단말기에 송신 빔포밍 벡터 f_k 를 전달하기 위해 파일럿 신호의 빔포밍 기법을 사용한다. 각 단말에게 중복 사용되지 않도록 전용 파일럿 채널을 할당한 뒤, 각 단말의 송신 빔포밍 벡터 f_k 로 파일럿 신호를 빔포밍 하여 송출한다. 또한 단말의 결합부 제어기(302)는 수신한 파일럿 신호로부터 송신 빔포밍 벡터 f_k 를 검출한다. 상술한 바와 같이 결합부(303)에서는 신호 수신전에 파일럿 신호를 수신하여 검출한 송신 빔포밍 벡터 f_k 와 채널 추정부에서 생성된 H_k 를 이용하여 수신 빔포밍 벡터 w_k 를 인지하고 있으므로, 수신 빔포밍 과정을 수행할 수 있다.

산업이용 가능성

[0078] 한편 본 명세서와 도면에 개시된 본 발명의 실시예들은 본 발명의 기술 내용을 쉽게 설명하고 본 발명의 이해를 돕기 위해 특정 예를 제시한 것일 뿐이며, 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다. 여기에 개시된 실시

예들 이외에도 본 발명의 기술적 사상에 바탕을 둔 다른 변형예들이 실시 가능하다는 것은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것이다.

도면의 간단한 설명

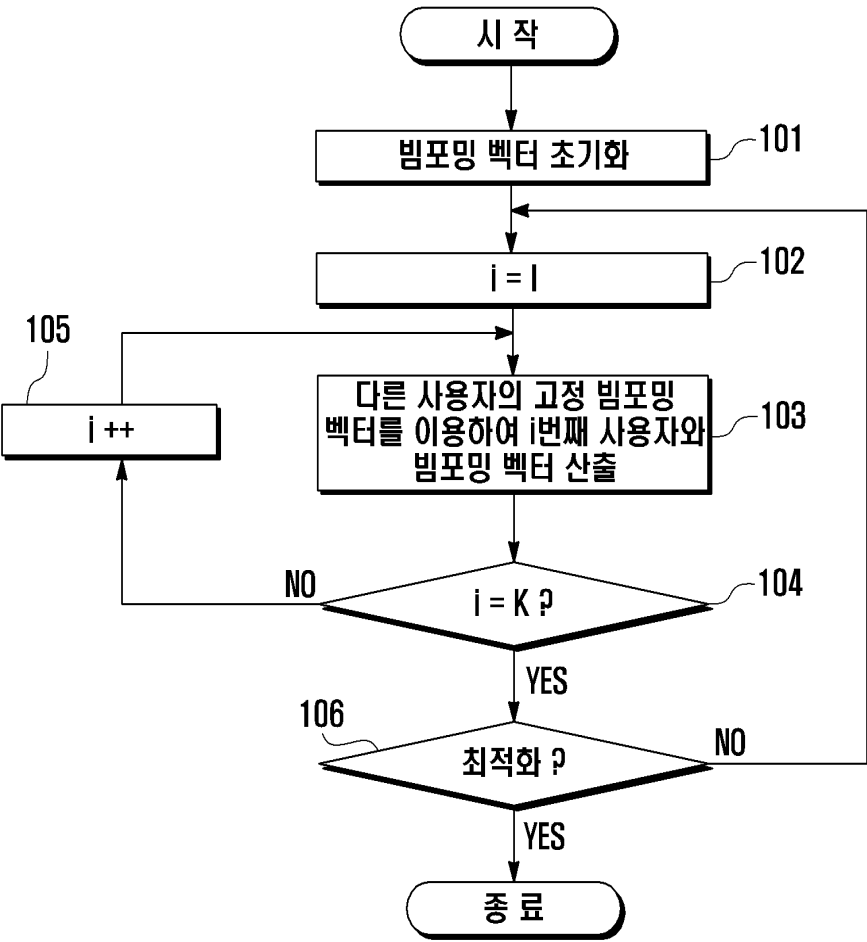
도 1은 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 공동 빔포밍을 위한 일반적인 송신 빔포밍 벡터 검출 방법의 순서도.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 송신 장치의 블록 구성도.

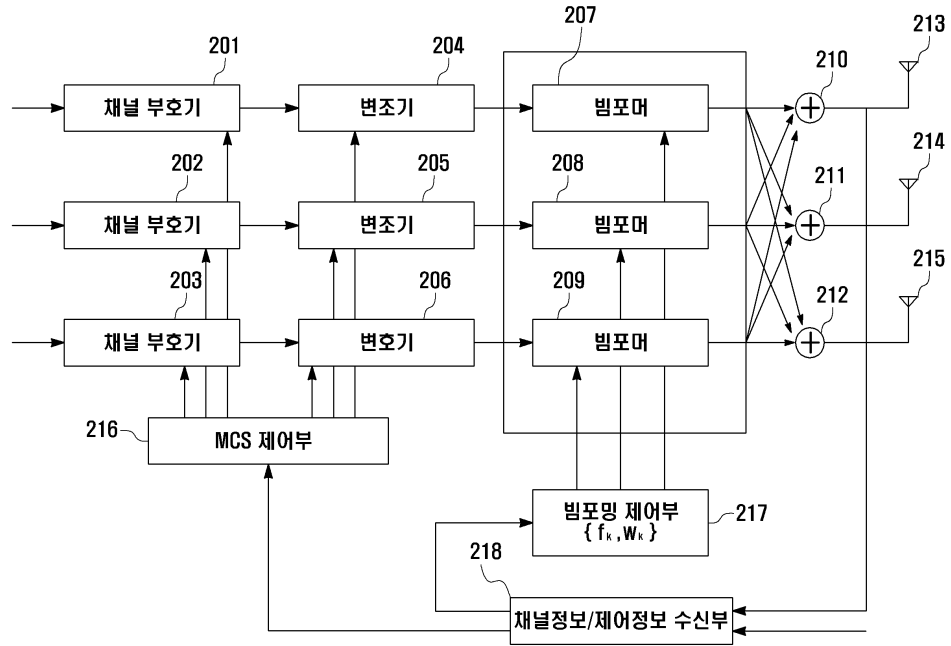
도 3은 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 - 다중 안테나 무선 통신 시스템에서 수신 장치의 블록 구성도.

도면

도면1



도면2



도면3

