



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0105090

(43) 공개일자 2015년09월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04L 27/26 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0027295

(22) 출원일자 2014년03월07일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

삼성전자주식회사

경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

유형열

서울특별시 종로구 율곡로30길 12-16

채찬병

경기도 과천시 별양로 12 래미안슈르아파트 315동 903호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

이건주, 김정훈

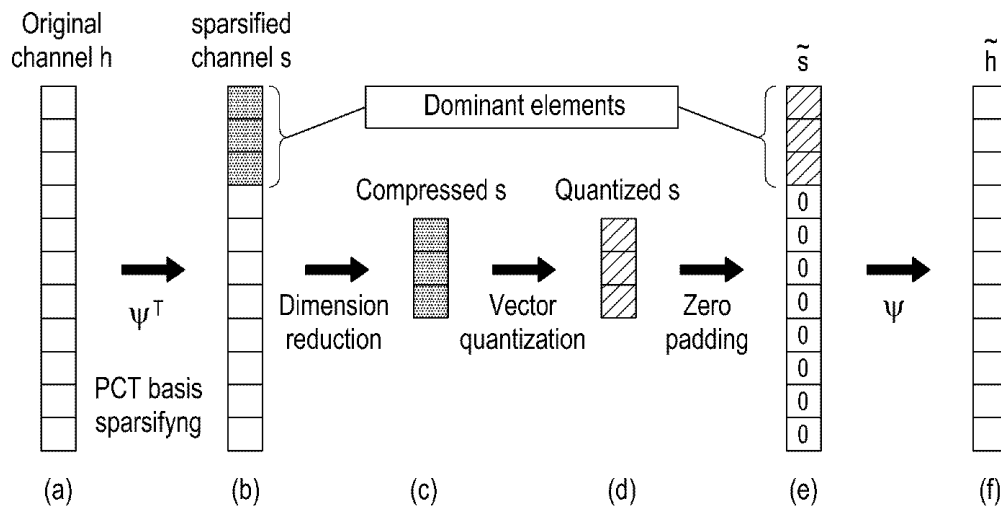
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 다중 입력 다중 출력 시스템에서 채널 피드백 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 다중 입력 다중 출력 안테나를 사용하는 무선 통신 시스템에서 채널을 피드백하는 방법 및 장치에 관한 것으로, 송신기로부터 신호를 수신하고 상기 수신된 신호에 대한 채널 매트릭스를 구성하고, 상기 채널 매트릭스에 미리 정해진 기저를 이용하여 기저 변환된 스파스(sparse) 채널을 구성하고, 상기 스파스 채널에서 상기 송신기로 피드백 할 채널 부분을 선택하고, 상기 선택된 채널 부분을 양자화하여 코드북을 생성하고 생성된 코드북에 해당되는 코드북 인덱스를 상기 송신기로 피드백한다.

대표도



(72) 발명자

임연근

경상북도 포항시 북구 중흥로213번길 9 대명그랜드
3차 맨션 가동 503호

심민수

서울특별시 강남구 삼성로 649 상아아파트 3동 10
2호

곽영우

경기도 수원시 영통구 센트럴파크로 34 광고센트럴
타운62단지아파트 6209동 1402호

이효진

경기도 수원시 영통구 영통로331번길 58-7 래미안
아파트 302호

지형주

서울특별시 송파구 올림픽로 99 잠실엘스아파트
107동 702호

김윤선

경기도 성남시 분당구 내정로 186 파크타운대림아
파트 103동 803호

명세서

청구범위

청구항 1

다중 입력 다중 출력(Multiple Input Multiple Output: MIMO) 시스템에서 수신기가 송신기로 채널을 피드백하는 방법에 있어서,

송신기로부터 신호를 수신하고 상기 수신된 신호에 대한 채널 매트릭스를 구성하는 과정과,

상기 채널 매트릭스에 미리 정해진 기저를 이용하여 기저 변환된 스파스(sparse) 채널을 구성하는 과정과,

상기 스파스 채널에서 상기 송신기로 피드백 할 채널 부분을 선택하는 과정과,

상기 선택된 채널 부분을 양자화하여 코드북을 생성하고 생성된 코드북에 해당되는 코드북 인덱스를 상기 송신기로 피드백하는 과정을 포함하는 채널 피드백 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 미리 정해진 기저는 상기 채널 매트릭스를 바탕으로 채널의 롱텀(long-term) 정보를 구하고, 상기 롱텀 정보 바탕으로 고유값 분해(eigen value decomposition; EVD)를 통해 계산된 값인 채널 피드백 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 스파스 채널은 채널에 기여하는 부분과 기여하지 않는 부분으로 구분되고,

상기 피드백 할 채널 부분을 선택하는 과정은, 상기 채널에 기여하는 부분 중 채널 압축률에 따라 상기 피드백 할 채널 부분을 선택하는 채널 피드백 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 코드북은 상기 스파스 채널의 오토 코베리언스 값을 토대로 생성하는 채널 피드백 방법.

청구항 5

다중 입력 다중 출력(Multiple Input Multiple Output: MIMO) 시스템에서 송신기로 채널을 피드백하는 장치에 있어서,

송신기로부터 신호를 수신하고 상기 수신된 신호에 대한 채널 매트릭스를 구성하는 채널 추정기와,

상기 채널 매트릭스에 미리 정해진 기저를 이용하여 기저 변환된 스파스(sparse) 채널을 구성하는 기저 변환기와,

상기 스파스 채널에서 상기 송신기로 피드백 할 채널 부분을 선택하는 채널 차원 감소기와,

상기 선택된 채널 부분을 양자화하여 코드북을 생성하고 생성된 코드북에 해당되는 코드북 인덱스를 상기 송신기로 피드백하는 채널 양자화기를 포함하는 채널 피드백 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 미리 정해진 기저는 상기 채널 매트릭스를 바탕으로 채널의 롱텀(long-term) 정보를 구하고, 상기 롱텀 정보 바탕으로 고유값 분해(eigen value decomposition; EVD)를 통해 계산된 값인 채널 피드백 장치.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 스파스 채널은 채널에 기여하는 부분과 기여하지 않는 부분으로 구분되고,

상기 채널 차원 감소기는, 상기 채널에 기여하는 부분 중 채널 압축률에 따라 상기 피드백 할 채널 부분을 선택하는 채널 피드백 장치.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 코드북은 상기 스파스 채널의 오토 코베리언스 값을 토대로 생성하는 채널 피드백 장치.

청구항 9

다중 입력 다중 출력(Multiple Input Multiple Output: MIMO) 시스템에서 송신기가 수신기로부터 채널 피드백을 수신하는 방법에 있어서,

상기 수신기로부터 코드북 인덱스를 수신하는 과정과,

상기 코드북 인덱스 및 미리 정해진 코드북을 이용하여 채널 벡터를 선택하는 과정과,

상기 선택된 채널 벡터의 차원을 복원하는 과정과,

상기 수신기에서 적용된 기저와 동일한 기저로 기저 역변환을 수행하여 채널을 복원하는 과정을 포함하는 채널 피드백 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 기저는 수신기에서 채널의 롱텀(long-term) 정보를 바탕으로 고유값 분해(eigen value decomposition; EVD)를 통해 계산된 값인 채널 피드백 방법.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 차원을 복원하는 과정은,

상기 선택된 채널 벡터의 엘리먼트가 존재하지 않는 공간을 0으로 패딩하여 차원을 복원하는 채널 피드백 방법.

청구항 12

제9항에 있어서,

상기 복원된 채널을 이용하여 빔포밍을 수행하는 과정을 더 포함하는 채널 피드백 방법.

청구항 13

다중 입력 다중 출력(Multiple Input Multiple Output: MIMO) 시스템에서 수신기로부터 채널 피드백을 수신하는 장치에 있어서,

상기 수신기로부터 코드북 인덱스를 수신하고, 상기 코드북 인덱스 및 미리 정해진 코드북을 이용하여 채널 벡터를 선택하는 코드북 채널 복원기와,

상기 선택된 채널 벡터의 차원을 복원하는 채널 차원 복원기와,

상기 수신기에서 적용된 기저와 동일한 기저로 기저 역변환을 수행하여 채널을 복원하는 기저 연산 및 채널 복원기를 포함하는 채널 피드백 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 기저는 수신기에서 채널의 롱텀(long-term) 정보를 바탕으로 고유값 분해(eigen value decomposition; EVD)를 통해 계산된 값인 채널 피드백 장치.

청구항 15

제13항에 있어서,

상기 채널 차원 복원기는, 상기 선택된 채널 벡터의 엘리먼트가 존재하지 않는 공간을 0으로 패딩하여 차원을 복원하는 채널 피드백 장치.

청구항 16

제13항에 있어서,

상기 복원된 채널을 이용하여 빔포밍을 수행하는 빔 형성기를 더 포함하는 채널 피드백 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 다중 입력 다중 출력(Multiple Input Multiple Output, 이하 MIMO라 함) 안테나를 사용하는 무선 통신 시스템에서 채널을 피드백하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 무선 통신 환경에서 고품질의 데이터를 고속으로 전송하기 위해 공간 영역의 자원을 활용하는 다중 입력 다중 출력(Multiple Input Multiple Output, MIMO) 시스템에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히, 기지국에서 수십~수백개의 안테나를 사용하는 매시브(Massive) MIMO 기술에 대한 관심이 높아지고 있다.

[0003] Massive MIMO 시스템은 신호 송신 장치, 일 예로 기지국(Base Station: BS)에 다수의 안테나들을 설치하여 고속 페이딩(fast fading)과, 사용자간 간섭(inter-user interference) 등과 같은 다양한 문제들을 간단한 선형 프리코더(linear pre-coder)만을 사용하여 비교적 쉽게 해결하면서, 비교적 높은 데이터 레이트(data rate)를 획득할 수 있다. 상기 Massive MIMO 시스템의 장점은 기지국이 그 지원하는 안테나들의 개수에 제한이 없고, 기지국은 상기 기지국 자신이 지원하는 안테나들 각각에 대한 채널 정보를 모두 알고 있다는 가정을 기반으로 한다.

[0004] MIMO 시스템은 동일한 시간 및 주파수 자원을 한 사용자가 모두 사용하는 SU-MIMO(Single-User MIMO) 방식과 공간 다중화를 통해 여러 사용자가 동일한 시간 및 주파수 자원을 공유하는 MU-MIMO(Multi-User MIMO) 방식으로 구분할 수 있다.

[0005] SU-MIMO 방식은 채널 피드백을 위하여 Grassmanian 코드북 등 채널의 principal singular vector를 양자화하여 전송하는 방식이 개발되어 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.16 등 여러 표준에서 논의되었다.

[0006] MU-MIMO 방식은 사용자간 협력이 거의 불가능하기 때문에 기지국에서 사용하는 프리코더(precoder)만으로 수신기(사용자)간 간섭을 제거 또는 완화해야 한다. 또한 기지국에서 다중 사용자를 지원하는 프리코더를 생성하기 위해 각각의 수신기들은 채널정보를 기지국으로 피드백 해주어야 한다. MU-MIMO 방식에서는 채널 정보를 그대로 전송하는 직접적인(explicit) 피드백 방법과 수신기가 PMI(Precoding Matrix Indicator)를 선택하여 기지국으로 전송하는 간접적인(implicit) 피드백 방법이 사용된다.

[0007] 지금까지의 채널 피드백 기술은 유한 개의 안테나를 사용하고 채널 공간 상관도가 상대적으로 낮은 시스템 환경에서 설계되었다. 그런데 Massive MIMO 시스템의 경우 수십 내지 수백 개의 안테나를 제한된 공간에 설치해야 하므로 기존 시스템보다 공간 상관도가 높아진다. 또한 수신기가 PMI를 기지국으로 전송하는 피드백 방식은 공간 상관도가 높은 Massive MIMO 환경에 적합하지 않다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명은 공간 상관도가 상대적으로 높은 다중 안테나 시스템에서 채널 피드백의 오버헤드를 줄이고 복잡도를 낮추기 위한 채널 피드백 장치 및 방법을 제공한다.
- [0009] 본 발명은 다중 안테나로 인한 고차원 채널 매트릭스를 효율적으로 압축하여 압축된 채널 코드북을 송신기로 피드백하는 채널 피드백 장치 및 방법을 제공한다.
- [0010] 본 발명은 단일/다중 사용자 Massive MIMO 시스템의 성능을 극대화하는 다중 입력 다중 출력 시스템에서 채널 피드백 장치 및 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

- [0011] 본 발명의 실시예에 따르면, 다중 입력 다중 출력(Multiple Input Multiple Output: MIMO) 시스템에서 송신기가 송신기로 채널을 피드백하는 방법에 있어서, 송신기로부터 신호를 수신하고 상기 수신된 신호에 대한 채널 매트릭스를 구성하는 과정과, 상기 채널 매트릭스에 미리 정해진 기저를 이용하여 기저 변환된 스파스(sparse) 채널을 구성하는 과정과, 상기 스파스 채널에서 상기 송신기로 피드백 할 채널 부분을 선택하는 과정과, 상기 선택된 채널 부분을 양자화하여 코드북을 생성하고 생성된 코드북에 해당되는 코드북 인덱스를 상기 송신기로 피드백하는 과정을 포함한다.
- [0012] 또한 본 발명의 실시예에 따르면, 다중 입력 다중 출력(Multiple Input Multiple Output: MIMO) 시스템에서 송신기로 채널을 피드백하는 장치에 있어서, 송신기로부터 신호를 수신하고 상기 수신된 신호에 대한 채널 매트릭스를 구성하는 채널 추정기와, 상기 채널 매트릭스에 미리 정해진 기저를 이용하여 기저 변환된 스파스(sparse) 채널을 구성하는 기저 변환기와, 상기 스파스 채널에서 상기 송신기로 피드백 할 채널 부분을 선택하는 채널 차원 감소기와, 상기 선택된 채널 부분을 양자화하여 코드북을 생성하고 생성된 코드북에 해당되는 코드북 인덱스를 상기 송신기로 피드백하는 채널 양자화기를 포함한다.
- [0013] 또한 본 발명의 실시예에 따르면, 다중 입력 다중 출력(Multiple Input Multiple Output: MIMO) 시스템에서 송신기가 수신기로부터 채널 피드백을 수신하는 방법에 있어서, 상기 수신기로부터 코드북 인덱스를 수신하는 과정과, 상기 코드북 인덱스 및 미리 정해진 코드북을 이용하여 채널 벡터를 선택하는 과정과, 상기 선택된 채널 벡터의 차원을 복원하는 과정과, 상기 수신기에서 적용된 기저와 동일한 기저로 기저 역변환을 수행하여 채널을 복원하는 과정을 포함한다.
- [0014] 또한 본 발명의 실시예에 따르면, 다중 입력 다중 출력(Multiple Input Multiple Output: MIMO) 시스템에서 수신기로부터 채널 피드백을 수신하는 장치에 있어서, 상기 수신기로부터 코드북 인덱스를 수신하고, 상기 코드북 인덱스 및 미리 정해진 코드북을 이용하여 채널 벡터를 선택하는 코드북 채널 복원기와, 상기 선택된 채널 벡터의 차원을 복원하는 채널 차원 복원기와, 상기 수신기에서 적용된 기저와 동일한 기저로 기저 역변환을 수행하여 채널을 복원하는 기저 연산 및 채널 복원기를 포함한다.

도면의 간단한 설명

- [0015] 도 1은 본 발명의 실시예를 설명하기 위해 채널의 공간 상관도를 비교한 도면
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 피드백 방법을 개략적으로 도시한 도면
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따라 sparse 도메인으로 변환하는 예를 도시한 도면
- 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 피드백을 위한 수신기의 구성을 나타낸 도면
- 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 피드백 방법을 도시한 순서도
- 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 피드백 신호를 수신하는 송신기의 구성을 도시한 도면
- 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 피드백 신호를 수신하는 송신기의 동작 절차를 도시한 도면
- 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 피드백 방법에 대한 성능 이득을 확인하기 위한 모의 실험 결과를 도시한 도면

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0016] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예들을 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.

- [0017] 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.
- [0018] 본 발명의 실시예에서는 채널 공간 상관도가 높은 다중 안테나 시스템에서 피드백을 효율적으로 수행하기 위한 방법 및 장치에 관해 기술한다.
- [0019] 본 발명의 일 실시예에서는 단말에서 추정된 하향링크 채널 정보를 스파스 도메인(sparse domain)으로 변환하여 필요한 부분만 송신기로 피드백한다. 송신기에서는 단일 사용자 또는 다중 사용자로부터 피드백 받은 채널 정보를 바탕으로 프리코더를 설계하고 설계한 프리코더를 이용하여 데이터를 전송한다. 단말은 채널 정보를 sparse 도메인으로 변환함에 있어서 채널 특성을 반영하지 않는 2차원 이산 코사인 변환(Discrete Cosine Transform; DCT)을 사용한다. 또한 필요한 부분만큼 선택된 채널, 즉 압축 채널은 아날로그 또는 디지털 피드백 방식으로 송신기로 전송할 수 있다.
- [0020] 본 발명의 다른 실시예에서는 sparse 도메인으로 변환할 때 채널의 롱텀(long-term) 특성, 즉 상관 매트릭스 특징을 고려한 주성분 변환(Principal Component Transform; PCT)을 사용한다. 또한 필요한 부분만큼 선택된 채널, 즉 압축 채널은 아날로그 또는 디지털 피드백 방식으로 송신기로 전송할 수 있다.
- [0021] 도 1은 본 발명의 실시예를 설명하기 위해 채널의 공간 상관도를 비교한 도면이다.
- [0022] 도 1의 (a)는 송신기 안테나와 수신기 안테나가 각각 32개인 SU-MIMO 시스템에서 채널의 공간 상관도가 높은 경우(예를 들어 안테나간 공간이 좁은 스캐어 안테나 어레이의 경우)의 채널 값을 3차원으로 나타낸 것이다. 이를 sparse 도메인으로 변환하면 (b)와 같이 특정 위치들의 값만으로 채널 값이 표현된다. 도 1의 (c)는 동일한 환경에서 채널의 공간 상관도가 낮은 경우(예를 들어 안테나간 공간이 넓은 리니어 안테나 어레이의 경우)의 채널 값을 3차원으로 나타낸 것이다. 이를 sparse 도메인으로 변환하면 (d)와 같이 특정 위치들의 값만으로 채널 값을 표현하기 어려운 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 2차원 배열 안테나의 경우에 더욱 두드러지게 나타난다.
- [0023] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 피드백 방법을 개략적으로 도시한 도면이다.
- [0024] 도 2를 참조하면, 수신기는 추정된 채널 매트릭스를 벡터화하고(a), 벡터화 된 채널을 본 발명의 실시예에 따라 미리 정해진 기저(sparsifying basis) Ψ 를 곱하여 sparse 도메인으로 변환하고 채널에 기여하는 부분(dominant elements)과 기여하지 않는 부분으로 구분한다(b). sparse 도메인으로 변환된 채널 s의 엘리먼트들은 위에서부터 내림차순으로 배열된다. 이때, 시스템에서 사용되는 채널 압축률 등을 고려하여 채널에 기여하는 부분을 선택(차원 감소)하고 부호화하여 압축한다(c). 그리고 압축된 부분만을 벡터 양자화(Vector Quantization)하여 이에 해당되는 코드북 인덱스를 디지털 또는 아날로그 방식으로 피드백한다(d). 벡터 양자화는 데이터 압축을 위해 널리 사용되는 기술로 무선 통신에서의 제한된 피드백을 위해 주로 사용된다.
- [0025] 수신기에서는 압축된 피드백 정보를 수신하고, 정보가 없는 부분에 0을 삽입하여 원래 채널 벡터와 동일한 크기의 벡터로 복원한다(e). 그리고 수신기에서 사용한 기저와 동일한 기저를 적용하여 최종적으로 피드백 채널을 복원한다(f).
- [0026] 도 3은 본 발명의 실시예에 따라 sparse 도메인으로 변환하는 예를 도시한 것이다.
- [0027] 도 3을 참조하면, 수신기는 채널의 특성이 반영되지 않는 기저 변환 방법(예를 들어, 2차원 DCT)을 사용하는 경우(a) 지그재그(zigzag) 방향으로 낮은 주파수의 순서로 선택하고(b), 채널에 기여하는 부분만을 선택하여 압축해서 송신기로 전송한다(c, d). 송신기에서는 피드백 받은 값의 빈 공간에 0값을 넣어서 원 크기의 채널 벡터로 복원하고(e) 이를 기저 역변환하여 피드백 채널을 복원한다(f). 그리고 복원된 채널을 빔포밍 및 프리코딩 연산에 적용한다.
- [0028] 한편, 채널의 특성이 반영된 기저 변환 방법(예를 들어, KLT(Karhunen-Loeve Transform) 변환, PCA(principal component analysis) 변환 등)를 사용하는 경우에는 채널의 특성을 고려하여 압축할 채널 값을 선택하여 송신기로 전송한다.
- [0029] 이하에서는 본 발명의 실시예에 따른 채널의 특성을 고려한 채널 압축 방법에 대해 설명한다.
- [0030] N_r 개의 수신 안테나를 갖는 수신기와 N_t 개의 송신 안테나를 갖는 송신기 간의 공간 상관된 MIMO 채널 매트릭스는 다음 수학식 1과 같이 표현할 수 있다.

수학식 1

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_k &= \mathbf{R}_{RX}^{1/2} \mathbf{H}_{iid} \mathbf{R}_{TX}^{1/2} \\ \mathbf{h} &= ((\mathbf{R}_{TX}^{1/2})^T \otimes \mathbf{R}_{RX}^{1/2}) \mathbf{h}_{iid} \\ \text{Let } \mathbf{R} &= ((\mathbf{R}_{TX}^{1/2})^T \otimes \mathbf{R}_{RX}^{1/2}) \\ \mathbf{C}_h &= \mathbb{E}[\mathbf{h}\mathbf{h}^H] = \mathbb{E}[\mathbf{R}\mathbf{h}_{iid}\mathbf{h}_{iid}^H\mathbf{R}^H] \\ &= \mathbb{E}[\mathbf{R}\mathbf{R}^H] = \mathbf{R}\mathbf{R}^H \\ \text{EVD: } \mathbf{C}_h &= \mathbf{\Psi}\mathbf{\Lambda}\mathbf{\Psi}^{-1} = \mathbf{\Psi}\mathbf{\Lambda}\mathbf{\Psi}^H \end{aligned}$$

상기 수학식 1에서 \mathbf{H} 는 시스템의 채널 매트릭스이고 \mathbf{R}_{RX} 와 \mathbf{R}_{TX} 는 각각 수신기 안테나와 송신기 안테나에서 발생하는 공간 상관 매트릭스이고, \mathbf{H}_{iid} 는 요소값이 iid(independent and identically distributed) complex zero-mean을 따르는 $N_r \times N_t$ 매트릭스이다. \mathbf{h} 는 \mathbf{H} 의 벡터값이고, \mathbf{h}_{iid} 는 \mathbf{H}_{iid} 의 벡터값이다. 전체 채널 매트릭스 \mathbf{H} 를 바탕으로 채널의 long-term 정보(\mathbf{C}_h)를 구하면 이를 바탕으로 고유값 분해(eigen value decomposition; EVD)를 통해 기저 변환 함수 $\mathbf{\Psi}$ 를 얻을 수 있다. \mathbf{C}_h 는 대칭(symmetric) 매트릭스이므로, 본 발명의 실시예에 따른 sparsifying basis $\mathbf{\Psi}$ 는 EVD를 통해 계산될 수 있다. $\mathbf{\Psi}$ 는 \mathbf{C}_h 의 정규화된 고유벡터(normalized eigenvector)이고, $\mathbf{\Lambda}$ 는 요소값이 고유값을 가지는 대각 매트릭스이다.

도 2의 (b)에서 Sparse 도메인으로 변환된 채널의 벡터값 \mathbf{s} 는 original 채널 \mathbf{h} 에 기저 변환 함수 $\mathbf{\Psi}$ 를 적용한 것이므로 $\mathbf{s} = \mathbf{\Psi}^H \mathbf{h} = \mathbf{\Psi}^H \mathbf{R} \mathbf{h}_{iid}$ 로 표현할 수 있다.

\mathbf{s} 의 오토 코베리언스(auto-covariance) \mathbf{C}_s 는 다음 수학식 2와 같이 표현할 수 있다.

수학식 2

$$\begin{aligned} \mathbf{C}_s &= \mathbb{E}[\mathbf{s}\mathbf{s}^H] = \mathbb{E}[\mathbf{\Psi}^H \mathbf{R} \mathbf{h}_{iid} \mathbf{h}_{iid}^H \mathbf{R}^H \mathbf{\Psi}] \\ &= \mathbb{E}[\mathbf{\Psi}^H \mathbf{R} \mathbf{R}^H \mathbf{\Psi}] = \mathbf{\Lambda} \end{aligned}$$

수학식 2에서 \mathbb{E} 는 예상 연산자(expectation operator)를 의미한다.

따라서 \mathbf{s} 의 각 엔트리는 서로 독립적이며 분산값이 \mathbf{C}_s 의 고유값인 complex zero-mean 가우스 분포를 따른다. 채널의 상관도가 높은 경우에 $\mathbf{\Lambda}$ 는 적은 dominant element를 가지며, 따라서 본 발명의 실시예에 따른 기저함수는 우수한 성능의 sparsifying performance를 제공할 수 있음을 알 수 있다.

본 발명의 실시예에서는 수학식 2의 \mathbf{C}_s 값을 고려하여 코드북을 만들어 사용한다. 본 발명의 실시예에서는 LBG(Linde, Buzo, and Gray) 알고리즘을 이용하여 코드북을 생성하는 방법에 대해 설명하겠으나, 본 발명은 이에 한정되지 않으며 코드북 생성을 위해 다른 알고리즘을 이용할 수도 있다.

LBG 알고리즘은 두 가지 최적화 기준법(가장 가까운 이웃 조건과 중심 조건)을 해결하기 위해 트레이닝 셋을 이용하는 반복 알고리즘이다. 가장 가까운 이웃 조건은 인코딩 영역이 관련 코드 벡터에 근접한 모든 벡터로 구성되는 것을 말하고, 중심 조건은 코드 벡터가 인코딩 영역에 있는 모든 트레이닝 벡터의 평균이 되는 것이다. 트레이닝 셋은 양자화된 벡터의 대표이다. LBG 알고리즘은 분할 부분(splitting part)과 반복 부분(iteration part)의 두 부분으로 구성된다. 첫 번째 코드 벡터는 중심 조건을 만족하기 위해 모든 트레이닝 벡터의 평균값으로 계산된다. 이후 Splitting 알고리즘은 코드 벡터의 개수를 증가시킨다. 가장 가까운 이웃 조건에 따라, Iteration 알고리즘에서 트레이닝 시퀀스 셋은 각 코드 벡터와 관련된 인코딩 영역으로 구분된다. 이후 중심 조

건에 따라 새로운 코드 벡터가 각 인코딩 영역을 평균하여 계산된다. Iteration 알고리즘은 각 값에 대해 제공 오차 왜곡 측정(squared-error distortion measure coverage)이 각 값으로 수렴할 때까지 반복된다. 이러한 알고리즘의 두 부분은 원하는 개수의 코드 벡터가 얻어질 때까지 반복된다.

[0040] 본 발명의 실시예에 따른 Sparsified channel \mathbf{s} 의 압축된 피드백 벡터를 위한 코드북을 생성하기 위해 각 엘리먼트가 zero-mean 가우스 분포를 따르는 벡터 셋으로서 트레이닝 시퀀스 셋을 생성한다. 생성된 벡터의 차원은 정해진 압축률에 따라 결정된다. zero-mean 가우스 분포는 벡터의 각 엘리먼트의 분산값이 수학적 2의 \wedge 에서 크기 순으로 뽑힌 고유값을 가진다.

[0041] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 피드백을 위한 수신기의 구성을 나타낸 도면이다.

[0042] 도 4를 참조하면, 복수 개의 안테나(417)를 통해 수신되는 정보를 바탕으로 채널 추정기(405)를 통하여 수신 채널 매트릭스를 구성하고, 기저 변환기(407)에서 본 발명의 실시예에 따른 기저를 적용하여 신호를 sparse 도메인으로 변환한다. 이후 채널 차원 감소기(411)에서 채널 압축률에 따라 채널의 차원을 감소시키고 채널 양자화기(413)에서 코드북 인덱스를 선택한 후 선택한 코드북 인덱스를 송신기로 피드백을 한다.

[0043] 또한 안테나(417)를 통해 수신된 정보는 수신필터(403)로 전달되고, 수신필터(403)는 채널 추정기(405)로부터 추정된 채널값을 이용하여 신호를 필터링하고, 필터링된 신호는 복조기(409)에서 복조된 후 디인터리버/채널 디코더(413)에서 디인터리빙 및 디코딩된다.

[0044] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 피드백 방법을 도시한 순서도이다.

[0045] 도 5를 참조하면, 복수 개의 안테나를 통해 신호가 수신되면(501), 수신되는 정보를 바탕으로 채널을 추정하여 수신 채널 매트릭스를 구성하고(503), 수신 채널 매트릭스에 본 발명의 실시예에 따른 기저를 적용하여 신호를 sparse한 도메인으로 변환한다(505). 이후 채널 압축률에 따라 채널의 차원을 감소시키고(507) 채널 양자화를 통해 코드북 인덱스를 선택한 후(509) 선택한 코드북 인덱스를 송신기로 피드백을 한다(511).

[0046] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 피드백 신호를 수신하는 송신기의 구성을 도시한 것이다.

[0047] 도 6을 참조하면, 송신기로 전송할 신호들은 MCS 제어기(607)의 제어에 따라 복수 개의 채널코드/인터리버(601,602)에서 인코딩 및 인터리빙되고, 복수 개의 변조기(603,604)를 통해 각각 변조되며, 변조된 신호들은 빔형성기(605)를 거쳐서 복수 개의 송신 안테나(615)를 통해 송신된다.

[0048] 한편, 본 발명의 실시예에 따라 수신기로부터 코드북 인덱스가 피드백되면, 코드북 채널 복원기(613)에서 기약속된 코드북을 통하여 채널 벡터를 선택하고, 채널 차원 복원기(611)에서 채널 차원을 복원한 후 기저 연산기 및 채널 복원기(609)에서 수신기와 동일한 기저를 이용하여 기저 역변환한 후 채널 값을 복원한다. 빔형성기(605)는 복원된 채널 값을 바탕으로 빔 형성을 수행한다.

[0049] 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 피드백 신호를 수신하는 송신기의 동작 절차를 도시한 도면이다.

[0050] 도 7을 참조하면, 수신기로부터 코드북 인덱스가 피드백되면(701), 기약속된 코드북을 통하여 채널 벡터를 선택하고(703), 선택된 채널 벡터의 채널 차원을 복원한 후(705) 수신기와 동일한 기저를 이용하여 기저 역변환한 후 채널 값을 복원한다(707). 이후 복원된 채널 값을 바탕으로 빔 형성을 수행한다(709).

[0051] 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 피드백 방법에 대한 성능 이득을 확인하기 위한 모의 실험 결과이다.

[0052] 도 8을 참조하면, 단일 사용자 massive MIMO 시스템의 경우 채널 정보가 완벽한 레퍼런스 시스템 대비 10% 압축률을 갖는 본 발명의 실시예와 성능이 거의 차이가 없음을 알 수 있으며, 이를 1%로 압축하여도 성능 열화가 심하지 않음을 확인할 수 있다. 또한, 다중 사용자 massive MIMO 시스템의 경우 15%의 압축률을 적용했을 경우, 본 발명의 실시예는 기존 기술 대비 2배 이상의 다중화 이득이 있음을 확인할 수 있다.

[0053] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 입력 다중 출력 시스템에서 채널 피드백 장치 및 방법은 하드웨어, 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 조합의 형태로 실현 가능하다는 것을 알 수 있을 것이다. 이러한 임의의 소프트웨어는 예를 들어, 삭제 가능 또는 재기록 가능 여부와 상관없이, ROM 등의 저장 장치와 같은 휘발성 또는 비휘발성 저장 장치, 또는 예를 들어, RAM, 메모리 칩, 장치 또는 집적 회로와 같은 메모리, 또는 예를 들어 CD, DVD, 자기 디스크 또는 자기 테이프 등과 같은 광학 또는 자기적으로 기록 가능함과 동시에 기계(예를 들어, 컴퓨터)로 읽을 수 있는 저장 매체에 저장될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 입력 다중 출력

시스템에서 채널 피드백 방법은 제어부 및 메모리를 포함하는 컴퓨터 또는 휴대 단말에 의해 구현될 수 있고, 상기 메모리는 본 발명의 실시 예들을 구현하는 지시들을 포함하는 프로그램 또는 프로그램들을 저장하기에 적합한 기계로 읽을 수 있는 저장 매체의 한 예임을 알 수 있을 것이다.

[0054]

따라서, 본 발명은 본 명세서의 임의의 청구항에 기재된 장치 또는 방법을 구현하기 위한 코드를 포함하는 프로그램 및 이러한 프로그램을 저장하는 기계(컴퓨터 등)로 읽을 수 있는 저장 매체를 포함한다. 또한, 이러한 프로그램은 유선 또는 무선 연결을 통해 전달되는 통신 신호와 같은 임의의 매체를 통해 전자적으로 이송될 수 있고, 본 발명은 이와 균등한 것을 적절하게 포함한다.

[0055]

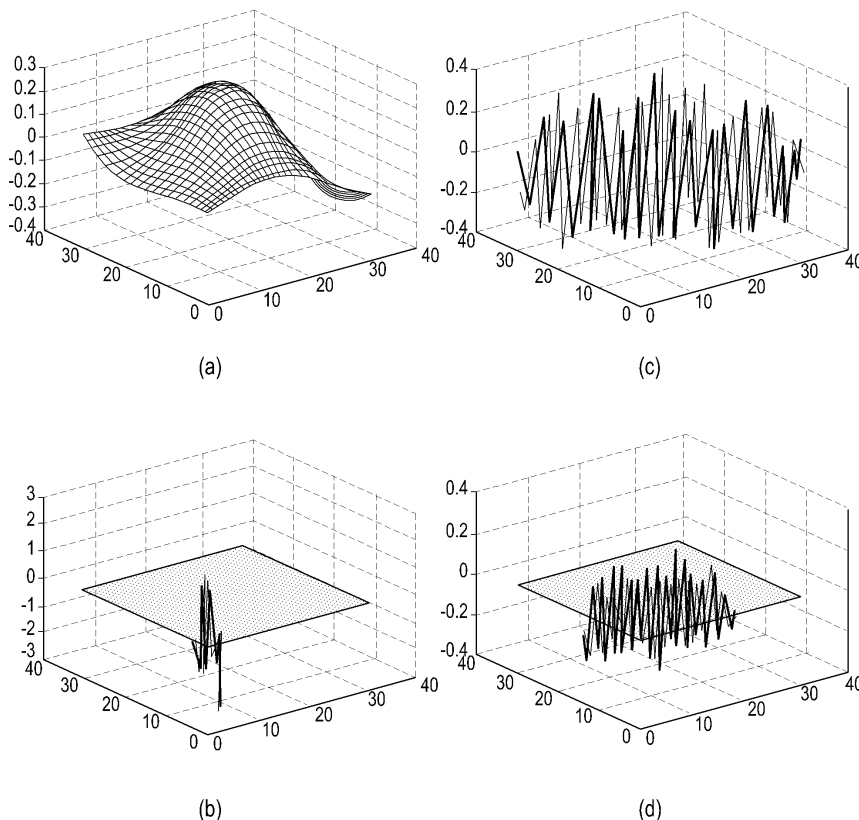
또한 본 발명의 실시 예에 따른 다중 입력 다중 출력 시스템에서 채널 피드백 장치는 유선 또는 무선으로 연결되는 프로그램 제공 장치로부터 상기 프로그램을 수신하여 저장할 수 있다. 상기 프로그램 제공 장치는 상기 프로그램 처리 장치가 기 설정된 다중 입력 다중 출력 시스템에서 채널 피드백 방법을 수행하도록 하는 지시들을 포함하는 프로그램, 다중 입력 다중 출력 시스템에서 채널 피드백 방법에 필요한 정보 등을 저장하기 위한 메모리와, 상기 그래픽 처리 장치와의 유선 또는 무선 통신을 수행하기 위한 통신부와, 상기 그래픽 처리 장치의 요청 또는 자동으로 해당 프로그램을 상기 송수신 장치로 전송하는 제어부를 포함할 수 있다.

[0056]

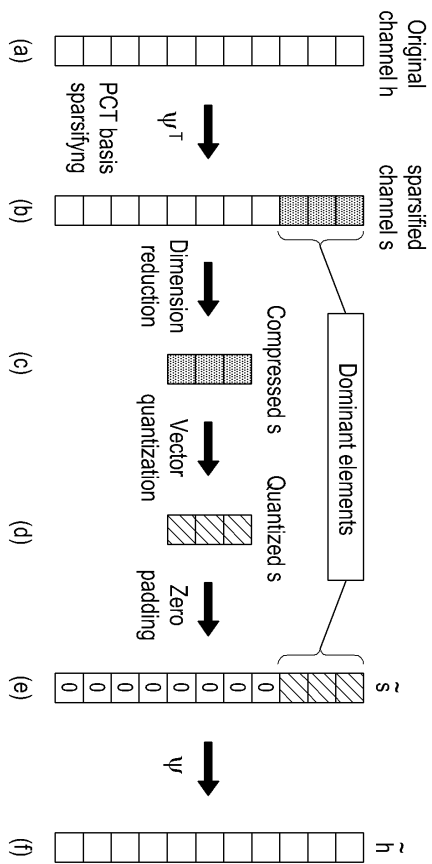
한편 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 안되며 후술하는 특허청구의 범위뿐만 아니라 이 특허청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면

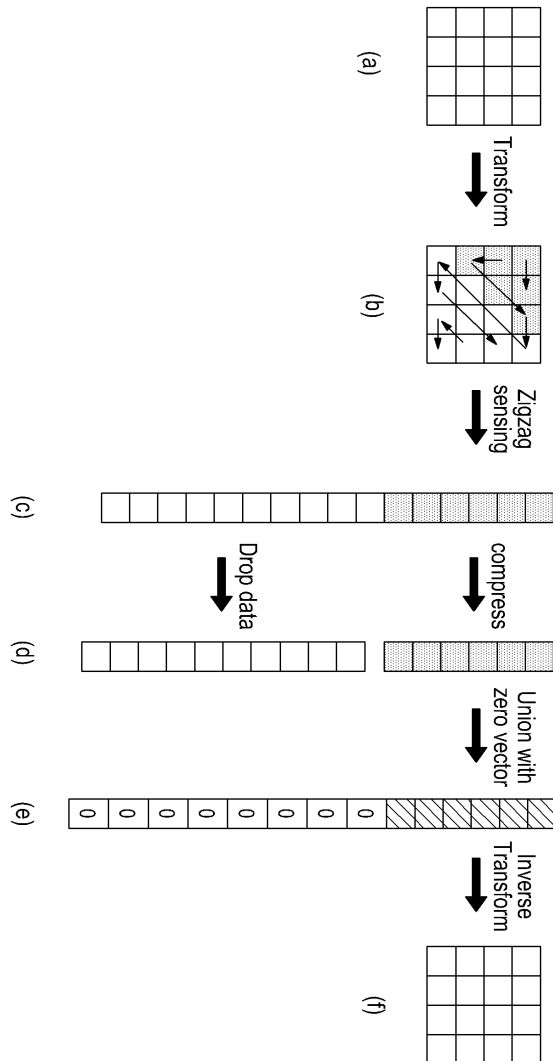
도면1



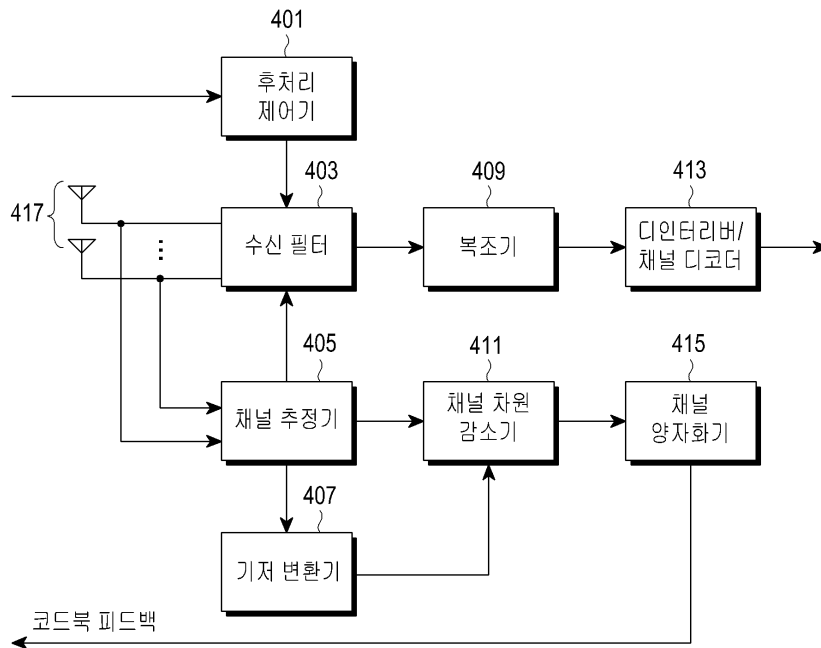
도면2



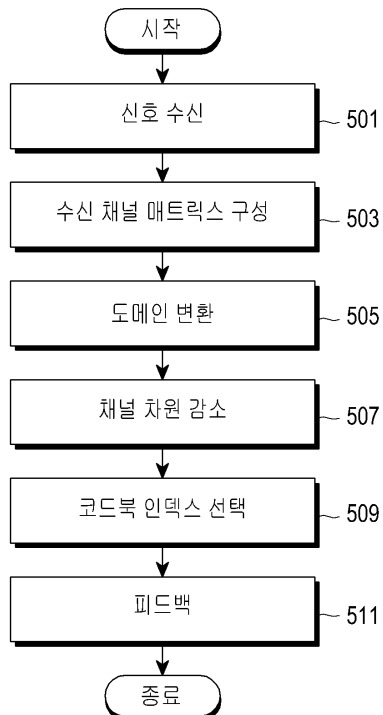
도면3



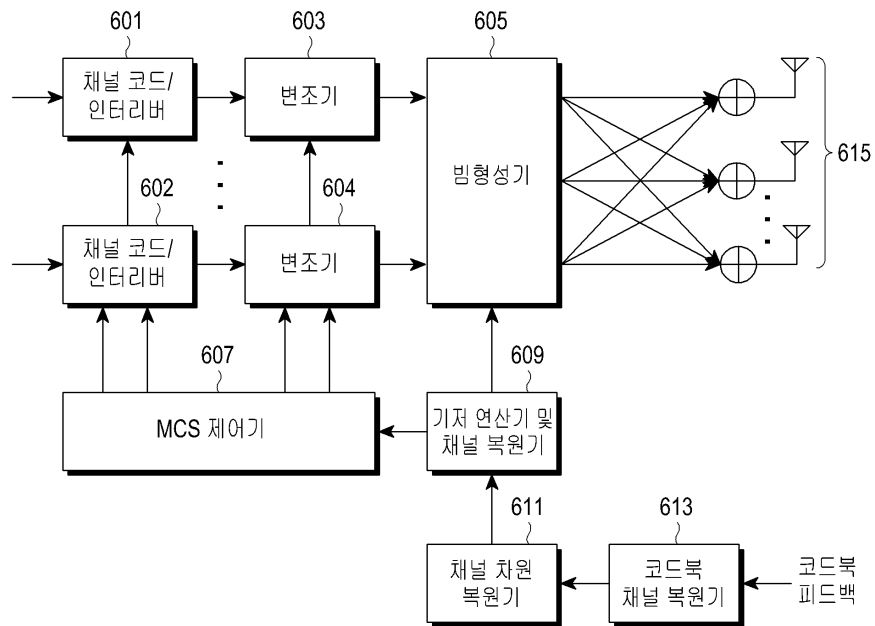
도면4



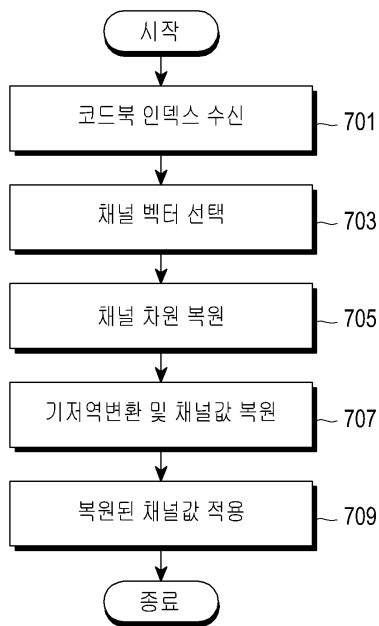
도면5



도면6



도면7



도면8

