



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0147522
(43) 공개일자 2024년10월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/0413 (2017.01) H03M 1/08 (2006.01)
H04J 99/00 (2009.01) H04W 24/02 (2009.01)
H04W 24/08 (2009.01) H04W 28/22 (2009.01)
(52) CPC특허분류
H04B 7/0413 (2013.01)
H03M 1/0854 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-0040023
(22) 출원일자 2024년03월22일
심사청구일자 2024년03월22일
(30) 우선권주장
1020230042098 2023년03월30일 대한민국(KR)

(71) 출원인
국립한밭대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
(72) 발명자
조나단 오병 아가봉
대전광역시 유성구 동서대로 158-7 HB A동 402호
이경재
대전광역시 유성구 노은동로 111, 1010동 701호
(74) 대리인
이은철, 이우영

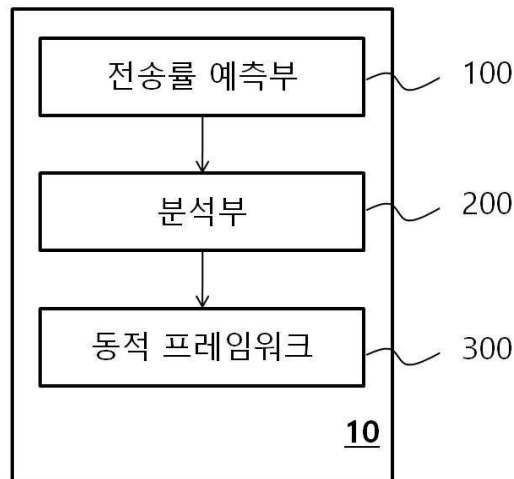
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템

(57) 요약

본 발명은 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템에 관한 것으로써, 하드웨어 복잡도와 전력 소비를 줄이기 위한 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템에 관한 것이다. 본 발명은 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템에 있어서, 전송효율을 최대화하기 위해 전송률을 예측하는 전송률 예측부(100), 전송률 분할 다중접속방식을 적용하는 무경계 셀자유 거대 다중안테나 전송방식의 최대 효율을 낼 수 있는 성능 분석을 하는 분석부(200), 비직교 전송을 설계하고 무인이동체의 ADC 해상도를 최적화하기 위한 동적 프레임워크(300)를 포함하여, 셀자유 거대 다중안테나 전송시스템에서 전송효율을 최대화하기 위해 전송률을 예측하여 다중안테나의 개수 및 ADC해상도를 최적화하여 무선통신 표준화에 적용 가능한 기술로 6G 표준화에서 활용할 수 있는 효과가 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H04J 99/00 (2022.08)

H04W 24/02 (2013.01)

H04W 24/08 (2013.01)

H04W 28/22 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711193334
과제번호	2021-0-00841-003
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	방송통신산업기술개발(R&D, 정보화)
연구과제명	전송률분할 다중접속 기반 셀자유 초거대 다중입출력 전이중 전송시스템 연구개발
과제수행기관명	한밭대학교산학협력단
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711179309
과제번호	00156212
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	정보통신방송혁신인재양성(R&D)
연구과제명	ICT혁신인재4.0 (한밭대학교)
과제수행기관명	한밭대학교산학협력단
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템에 있어서,
전송효율을 최대화하기 위해 전송률을 예측하는 전송률 예측부,
전송률 분할 다중접속방식을 적용하는 무경계 셀자유 거대 다중안테나 전송방식의 최대 효율을 낼 수 있는 성능 분석을 하는 분석부,
비직교 전송을 설계하고 무인이동체의 ADC 해상도를 최적화하기 위한 동적 프레임워크를 포함하는 것을 특징으로 하는 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 동적 프레임워크는 낮은 해상도의 아날로그-디지털 변환기(ADC)와 디지털-아날로그 변환기(DAC)로 인한 양자화 잡음(quantization noise, QN)의 영향을 줄이기 위한 것을 특징으로 하는 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 전송률 예측부는
실시간으로 각 사용자의 신호 강도, 신호 대 잡음비(SNR), 사용자의 위치, 사용 중인 서비스 유형, 간섭 수준을 포함하는 네트워크 성능 데이터를 수집하고, 네트워크 상황이 변할 때마다 실시간으로 이를 반영하여 채널 대역폭과 신호대 간섭 플러스 잡음비를 통해 각 사용자의 채널 용량을 계산하는 것을 특징으로 하는 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,
상기 분석부는 RSMA와 같은 전송률 분할 다중접속방식을 사용하여 통신 시스템의 최대 효율을 낼 수 있는 조건을 분석하되,
네트워크 시나리오에 대한 신호를 공통과 개인부분으로 하는 분할 비율을 결정하고, 낮은 채널 품질에서는 견고한 인코딩과 보수적인 모듈레이션을 적용하고, 높은 채널 품질에서는 높은 전송률을 가능하게 하는 모듈레이션을 적용하며,
각 수신기가 공통 신호와 개인 신호를 구분할 수 있도록 수신기가 먼저 공통 신호를 해석하고, 그 후 개인 신호에서 공통 신호의 영향을 제거하는 것을 특징으로 하는 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 하드웨어 복잡도와 전력 소비를 줄이기 위한 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 다중입력 다중출력(Multiple-Input Multiple-Output, MIMO) 기술은 복수개의 송수신 안테나에서 발생하는 순간적인 채널에 맞추어 공간적으로 정보를 다중화하여 전송하는 것이다. MIMO 전송은 한 개의 시간 및 주파수 자원

에 복수의 데이터 스트림(datastream)을 공간적으로 다중화하여 보낼 수 있기 때문에 데이터 전송률을 기존의 non-MIMO 전송과 비교하여 몇 배 더 증가시킬 수 있다. 또한, 다중 안테나 기술을 이용하여 기지국 및 유저 장비에서 채널 페이딩이 억제됨으로써 채널 용량, 네트워크 커버리지 영역, 및 스펙트럼 이용이 크게 향상 될 수 있다.

[0003] 특히, 거대 다중 안테나 시스템(Massive MIMO system: Massive Multi-Input Multi-Output System)은 기지국(BS: base station)에 다수의 안테나를 설치하여 단순한 선형(linear) 프리코더(precoder)만으로도 차세대 통신 시스템에서 요구하는 높은 데이터 효율(data rate)을 만족시킬 수 있다. 이론적으로 무한한 개수의 안테나를 사용할 경우 고속 페이딩(fast fading)뿐만 아니라 유저 간 간섭(IUI: inter-user interference)와 같이 시스템 성능을 제한하는 다양한 문제들을 완벽하게 제거할 수 있다.

[0004] 통신 기술이 복잡해지는 환경에서 기지국(base station)은 수많은 유저 단말 혹은 디바이스와 연결을 해야 한다. 하지만 4G 통신에서 사용되는 직교 다중 접속(orthogonal multiple access, OMA)은 자원의 직교성(orthogonality)을 이용하기 때문에 제한된 주파수 자원 안에서 서비스할 수 있는 유저의 수가 한정된다. 따라서 차세대 통신에서 거대 접속을 위해 비 직교 다중접속(non-orthogonal multiple access, NOMA) 기법이 고려되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 공개특허 10-2021-0141143 (2021.11.23)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 상술한 문제를 해결하고자, 전송률 분할 다중접속방식을 적용하는 무경계 셀자유 거대 다중안테나 전송방식의 최대효율을 낼 수 있는 성능분석을 통해 무인이동체의 ADC해상도를 최적화하는 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템을 제공함에 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 목적을 달성하기 위하여 본 발명은 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템에 있어서, 전송효율을 최대화하기 위해 전송률을 예측하는 전송률 예측부(100), 전송률 분할 다중접속방식을 적용하는 무경계 셀자유 거대 다중안테나 전송방식의 최대 효율을 낼 수 있는 성능 분석을 하는 분석부(200), 비직교 전송을 설계하고 무인이동체의 ADC 해상도를 최적화하기 위한 동적 프레임워크(300)를 포함한다.

[0008] 동적 프레임워크는 낮은 해상도의 아날로그-디지털 변환기(ADC)와 디지털-아날로그 변환기(DAC)로 인한 양자화 잡음(quantization noise, QN)의 영향을 줄이기 위한 구성이다.

[0009] 전송률 예측부는 실시간으로 각 사용자의 신호 강도, 신호 대 잡음비(SNR), 사용자의 위치, 사용 중인 서비스 유형, 간섭 수준을 포함하는 네트워크 성능 데이터를 수집하고, 네트워크 상황이 변할 때마다 실시간으로 이를 반영하여 채널 대역폭과 신호대 간섭 플러스 잡음비를 통해 각 사용자의 채널 용량을 계산한다.

[0010] 분석부는 RSMA와 같은 전송률 분할 다중접속방식을 사용하여 통신 시스템의 최대 효율을 낼 수 있는 조건을 분석하되, 네트워크 시나리오에 대한 신호를 공통과 개인부분으로 하는 분할 비율을 결정하고, 낮은 채널 품질에서는 견고한 인코딩과 보수적인 모듈레이션을 적용할 수 있고, 높은 채널 품질에서는 높은 전송률을 가능하게 하는 모듈레이션을 적용하며, 각 수신기가 공통 신호와 개인 신호를 구분할 수 있도록 수신기가 먼저 공통 신호를 해석하고, 그 후 개인 신호에서 공통 신호의 영향을 제거한다.

발명의 효과

[0011] 본 발명에 따르면, 셀자유 거대 다중안테나 전송시스템에서 전송효율을 최대화하기 위해 전송률을 예측하여 다중안테나의 개수 및 ADC해상도를 최적화하여 무선통신 표준화에 적용 가능한 기술로 6G 표준화에서 활용할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0012] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템의 전체 개요도이다.
 도 2는 서로 다른 ADC/DAC에 대한 전송 SNR에 대한 SE를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0013] 이하, 첨부된 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명을 상세히 설명한다. 다만, 본 발명이 예시적 실시 예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일 참조부호는 실질적으로 동일한 기능을 수행하는 부재를 나타낸다.
- [0014] 본 발명의 목적 및 효과는 하기의 설명에 의해서 자연스럽게 이해되거나 보다 분명해질 수 있으며, 하기의 기재만으로 본 발명의 목적 및 효과가 제한되는 것은 아니다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어서 본 발명과 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다.
- [0015] 본 실시예에 따른 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템은 특히 Rate Splitting Multiple Access(RSMA)라는 기법을 적용하여 비직교 전송 환경에서의 통신 효율을 극대화한다.
- [0016] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템의 전체 개요도이다. 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템은 전송률 예측부(100), 분석부(200), 동적 프레임워크(300)를 포함한다.
- [0017] 전송률 예측부(100)는 전송효율을 최대화하기 위해 전송률을 예측한다.
- [0018] 이러한 전송률 예측부는 통신 네트워크의 성능 지표인 전송률(Spectral Efficiency)을 실시간으로 예측한다. 예를 들어, 네트워크 상황(사용자의 수, 간섭 수준, 채널의 품질 등)이 변할 때 마다 실시간으로 이를 반영하여 예상되는 전송률을 계산한다.
- [0019] 예측된 전송률 정보는 네트워크의 자원 할당이나 스케줄링 결정에 중요한 역할을 한다. 예를 들어, 시스템은 예측된 전송률을 기반으로 어느 사용자에게 더 많은 전송 파워를 할당할지 결정할 수 있다.
- [0020] 참고로, 전송률 예측부의 전송효율을 최대화하기 위한 전송률 예측과 관련하여 설명하면 다음과 같다.
- [0021] 우선, 전송률 예측부는 실시간으로 네트워크 성능 데이터를 수집한다. 이 데이터에는 각 사용자의 신호 강도, 신호 대 잡음비(SNR), 사용자의 위치, 사용 중인 서비스 유형, 간섭 수준 등이 포함될 수 있다.
- [0022] 다음으로 수집된 데이터를 사용하여 각 사용자의 채널 품질을 추정한다. 채널 추정은 현재의 무선 채널 상태를 이해하는 데 필수적이며, 이는 전송률을 계산하는 데 중요한 변수이다.
- [0023] 다음으로 다른 사용자나 기타 소스에서 오는 간섭의 수준을 평가한다. 이는 채널 용량 계산에 영향을 미치며, 사용 가능한 전송률에 큰 영향을 줄 수 있다.
- [0024] 다음으로 통계적 모델링, 기계 학습, 또는 데이터 분석 알고리즘을 사용하여 실시간으로 수집된 데이터를 기반으로 현재 네트워크 상황에 대한 전송률을 예측한다.
- [0025] 전송률 계산에 있어서는 $C = B \log_2(1 + \text{SINR})$ 을 사용하여 각 사용자의 채널 용량을 계산한다. 여기서, C는 채널용량, B는 채널 대역폭, SINR은 신호대 간섭 플러스 잡음비를 의미한다. 이는 최대 전송률을 제공한다.
- [0026] 본 실시예에 따른 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템은 실시간으로 수집된 데이터와 예측 결과를 바탕으로 네트워크 자원 할당 전략을 동적으로 조정한다. 예를 들어, 전송률이 높은 사용자에게는 적은 자원을 할당하고, 전송률이 낮은 사용자에게는 더 많은 자원을 할당하여 전체 네트워크의 효율을 극대화할 수 있다.
- [0027] 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템에서, 피드백 반복을 통해 네트워크 성능과 사용자 경험을 지속적으로 모니터링하여 예측 모델을 개선하고, 네트워크 자원 할당 전략을 최적화할 수 있다. 이러한 전송률 예측 과정을 통해, 전송률 예측부는 통신 네트워크의 전송 효율을 실시간으로 최적화한다.
- [0028] 본 실시예에 따른 전송률 예측부는 실시간으로 각 사용자의 신호 강도, 신호 대 잡음비(SNR), 사용자의 위치,

사용 중인 서비스 유형, 간섭 수준을 포함하는 네트워크 성능 데이터를 수집하고, 네트워크 상황이 변할 때마다 실시간으로 이를 반영하여 채널 대역폭과 신호대 간섭 플러스 잡음비를 통해 각 사용자의 채널 용량을 계산한다.

- [0029] 분석부(200)는 전송률 분할 다중접속방식을 적용하는 무경계 셀자유 거대 다중안테나 전송방식의 최대 효율을 낼 수 있는 성능 분석을 한다. 이 부분은 송수신 알고리즘, 빔포밍 전략, 사용자 할당 기법 등을 시뮬레이션하여 최적의 조건을 찾아낸다.
- [0030] 이러한 분석부는 RSMA와 같은 전송률 분할 다중접속방식을 사용하여 통신 시스템의 최대 효율을 낼 수 있는 조건을 분석한다. 예를 들면, 다양한 사용자 환경에서의 SINR 측정값을 분석하여 어떤 전송 기법이 간섭을 최소화 하면서도 전송률을 최대화하는지 결정하는 작업을 수행한다.
- [0031] RSMA (Rate Splitting Multiple Access)는 무선 통신 시스템의 효율성을 최대화하기 위한 혁신적인 전송률 분할 방식이다. 이 기법을 활용하는 분석부는 시스템의 최대 효율을 달성하기 위해 여러 요소를 종합적으로 고려하고, 시뮬레이션을 통해 최적의 작동 조건을 찾아낸다. 이를 위해 분석부는 다음과 같은 작업을 수행한다.
- [0032] 송수신 알고리즘은 신호를 어떻게 인코딩하고 디코딩할지 결정한다. RSMA에서는 공통 신호와 개인 신호로의 분할이 중요한데, 이는 수신기가 다양한 채널 조건과 간섭 환경에서도 각 사용자에게 명확한 신호를 제공할 수 있도록 한다. 분석부는 특정 네트워크 시나리오에 대한 신호 분할 비율, 인코딩률 및 송수신 알고리즘의 성능을 시뮬레이션하고 분석한다.
- [0033] 본 실시예에서의 분석부는 RSMA와 같은 전송률 분할 다중접속방식을 사용하여 통신 시스템의 최대 효율을 낼 수 있는 조건을 분석하되, 네트워크 시나리오에 대한 신호를 공통과 개인부분으로 하는 분할 비율을 결정하고, 낮은 채널 품질에서는 견고한 인코딩과 보수적인 모듈레이션을 적용할 수 있고, 높은 채널 품질에서는 높은 전송률을 가능하게 하는 모듈레이션을 적용하며, 각 수신기가 공통 신호와 개인 신호를 구분할 수 있도록 수신기가 먼저 공통 신호를 해석하고, 그 후 개인 신호에서 공통 신호의 영향을 제거한다.
- [0034] 빔포밍은 안테나 어레이를 사용하여 신호의 방향을 조절하고 특정 사용자에게 신호를 집중시킨다. 이를 통해 신호의 강도를 높이고, 간섭을 줄일 수 있다. 분석부는 사용 가능한 안테나 어레이와 채널 정보를 바탕으로 최적의 빔포밍 벡터를 계산하고, 각 사용자에 대한 신호 집중도를 최적화한다.
- [0035] 사용자 할당 기법 탐색과 관련하여, RSMA는 사용자별로 다른 전송률 요구사항을 충족시키기 위해 각 사용자에게 다른 양의 자원을 할당한다. 분석부는 사용자의 데이터 요구, 위치, 기기 능력 등을 고려하여 자원 할당을 최적화한다. 이 과정에서 네트워크 전체의 스펙트럼 효율성을 극대화하면서도 각 사용자의 서비스 품질을 보장할 수 있는 방식을 찾는다. 분석부의 역할은 이론적 분석과 실제 시스템에서의 성능 테스트를 통합하여, 실제 운영 환경에서 RSMA가 최적으로 작동할 수 있는 조건을 식별하는 것이다. 이를 위해 복잡한 최적화 문제를 해결하고, 다양한 시스템 매개변수에 대한 감도 분석을 수행한다. 또한, 적응적인 전략을 개발하여 시간이 지남에 따라 변하는 네트워크 조건에 효과적으로 대응할 수 있도록 한다.
- [0036] 결과적으로, 분석부는 RSMA를 사용하는 무선 네트워크가 사용자의 수요와 통신 환경의 변화에 능동적으로 적응할 수 있도록 지원한다.
- [0037] 동적 프레임워크(300)는 비직교 전송을 설계하고 무인이동체의 ADC 해상도를 최적화하기 위한 구성이다. 여기서, 동적 프레임워크는 낮은 해상도의 아날로그-디지털 변환기(ADC)와 디지털-아날로그 변환기(DAC)로 인한 양자화 잡음(quantization noise, QN)의 영향을 줄이기 위한 구성이다.
- [0038] 동적 프레임워크는 비직교 전송 설계와 무인이동체(Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 등의 ADC(아날로그-디지털 변환기) 해상도를 최적화하기 위한 규칙, 알고리즘 및 프로세스를 포함한다.
- [0039] 예를 들어, UAV가 감시나 데이터 수집을 수행하는 경우, ADC의 해상도를 낮추어 에너지 소비를 줄이면서도 필요한 통신 품질을 유지할 수 있는 최적의 수준을 동적으로 조정한다. 여기서, 최적의 수준을 어떻게 동적으로 조정하는지에 대해 설명하면 다음과 같다.
- [0040] 동적 프레임워크는 실시간으로 변화하는 환경에 맞추어 무선 통신 시스템의 성능을 최적화하는 역할을 수행한다. 이 프레임워크 내에서 비직교 전송 설계와 ADC 해상도 최적화를 위한 주요 구성 요소를 설명하면 다음과 같다.
- [0041] 환경 감지와 관련하여, 실시간으로 무인이동체(UAV)의 주변 환경을 감지한다. 이는 신호 강도, 간섭 수준, 다른

무선 기기의 활동 등을 포함할 수 있다.

- [0042] 데이터 분석 및 예측과 관련하여, 수집된 데이터를 바탕으로 현재의 네트워크 상태와 예상되는 통신 요구 사항을 분석하고 예측한다. 예를 들어, 특정 시간 동안의 데이터 전송 요구량을 예측할 수 있다.
- [0043] 양자화 잡음 관리와 관련하여, 낮은 해상도 ADC/DAC로 인한 양자화 잡음의 영향을 분석한다. 양자화 잡음은 해상도가 낮을수록 커지는데, 이를 통계적으로 모델링하여 그 영향을 추정한다.
- [0044] 성능-에너지 소비 최적화와 관련하여, 통신 품질과 에너지 소비 사이의 균형을 찾는 최적화 알고리즘을 적용한다. 예를 들어, ADC의 해상도를 낮추면 에너지 소비는 줄지만 통신 품질이 떨어질 수 있다. 동적 프레임워크는 이 두 가지 요소 사이의 최적점을 동적으로 조정한다.
- [0045] 적응적 결정 메커니즘과 관련하여, 실시간으로 변화하는 환경에 대응하기 위한 결정 메커니즘을 포함한다. 예를 들어, 데이터 수집 중에 UAV가 감지한 채널의 품질이 저하되면 ADC의 해상도를 증가시켜 통신 품질을 유지할 수 있다.
- [0046] 피드백 루프와 관련하여, 시스템의 성능을 지속적으로 모니터링하고, 피드백을 통해 설정을 조정한다. 예를 들어, ADC 해상도의 변경이 실제로 통신 품질에 어떤 영향을 미쳤는지 분석하고, 필요에 따라 조정을 반복한다.
- [0047] 이러한 구성 요소들을 통해, 동적 프레임워크는 UAV와 같은 무인이동체의 ADC 해상도를 실시간으로 조정하여 에너지 효율을 극대화하면서도 필요한 통신 품질을 보장한다. 핵심은 실시간 데이터를 바탕으로 한 빠른 의사 결정과 끊임없는 시스템의 최적화이다.
- [0048] 또한 본 발명의 일 실시예에 따른 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템의 동적 프레임워크와 관련하여, 비직교 전송을 설계하고 무인이동체의 ADC(아날로그-디지털 변환기) 해상도를 최적화하기 위한 동적 프레임워크는 무선 통신 시스템의 효율성과 신뢰성을 극대화하기 위한 구성이다.
- [0049] 이러한 동적 프레임워크는 무인이동체(UAV, Unmanned Aerial Vehicle)와 같은 모바일 노드가 효율적이고 신뢰성 있는 통신을 유지할 수 있도록 한다.
- [0050] 환경 기반 양자화 해상도 조정과 관련하여, UAV가 다양한 통신 환경(예: 도시, 산악 지역 등)을 통과할 때, 채널의 품질과 간섭 수준이 변화한다. 동적 프레임워크는 실시간으로 이러한 환경 변화를 감지하고, ADC 해상도를 동적으로 조정하여 최적의 통신 품질을 유지할 수 있도록 한다. 예를 들어, 간섭이 적은 환경에서는 낮은 ADC 해상도로도 충분한 성능을 유지할 수 있어 에너지 소비를 줄일 수 있다.
- [0051] 양자화 잡음과의 균형과 관련하여, 낮은 해상도 ADC를 사용할 때 양자화 잡음이 증가하는 것을 고려하여, 프레임워크는 신호 대 양자화 잡음 비율(SQNR)을 최적화한다. 이는 전송 신호의 파워를 조절하거나, 더 효율적인 코딩 및 변조 방식을 적용함으로써 달성할 수 있다.
- [0052] 신호 처리 최적화와 관련하여, 비직교 전송 시스템에서는 각 UAV의 신호를 구분하기 위해 복잡한 신호 처리 기법이 필요하다. 동적 프레임워크는 신호의 분리 및 복구에 필요한 계산 복잡도와 에너지 효율 사이의 최적의 균형을 찾는다.
- [0053] 적응적 통신 프로토콜과 관련하여, UAV의 운영 조건(예: 속도, 고도 등)에 따라 최적의 통신 프로토콜을 선택한다. 예를 들어, 고속으로 이동하는 UAV는 더 높은 신호 처리 속도가 필요할 수 있으며, 동적 프레임워크는 이를 고려하여 적절한 프로토콜을 동적으로 적용한다.
- [0054] 피드백 기반 시스템 조정과 관련하여, 시스템은 지속적으로 성능 데이터를 수집하고 분석하여, ADC 해상도 및 신호 처리 알고리즘의 설정을 개선한다. 이를 통해, UAV가 다양한 조건에서도 최적의 성능을 발휘할 수 있도록 한다.
- [0055] 본 발명의 일 실시예에 따른 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템에서, Rate splitting multiple access (RSMA)는 비직교 전송을 설계하고 최적화하기 위한 동적 프레임워크를 제공한다. 이를 위해서는 메시지 분할(Rate message splitting) 및 연속적인 간섭제거(successive interference cancellation(SIC))이 활용된다.
- [0056] 본 실시예에서는 낮은 해상도의 아날로그-디지털 변환기(ADC)와 디지털-아날로그 변환기(DAC)로 인한 양자화 잡음(quantization noise, QN)의 영향을 줄이기 위해 RSMA 기술을 제안한다. 또한 본 실시예에는 Rayleigh 분포를 가정하고 스펙트럼 효율(SE, Spectral efficiency)과 에너지 효율(EE, Energy efficiency)을 분석한 것이

아니라 Rician 분포를 고려하였다.

[0057] 참고로, Rician 분산 채널은 직접 경로(LOS - Line Of Sight)와 반사 또는 산란 경로(NLOS - Non-Line Of Sight)가 혼합된 통신 환경을 나타내며, 이는 실제 무선 통신 환경을 더 정확하게 모델링한다. 따라서, 본 실시예에 따른 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템은 무선 통신 시스템의 성능을 평가하고 향상시키기 위한 보다 실질적이고 적용 범위가 넓은 시스템이라 할 수 있다.

[0058] 본 실시예에 따른 시스템은 하드웨어 복잡도와 전력 소비를 줄이기 위해 저해상도 ADCs/DACs가 장착된 기지국(Base Station, BS)에서 다운링크 멀티사용자 거대 다중 입출력(Massive MIMO) 시스템을 고려한다. BS는 M개의 송신 안테나를 장착하고, K개의 단일 안테나 사용자 방향으로 전송한다. 모든 노드는 반송파 모드에서 작동한다. 우리는 BS와 K개의 사용자 사이의 채널($\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{M \times K}$)이 Rician 페이딩 채널에서 채널 상태 정보를 불완전하게 알고 있다고 가정한다.

[0059] TDD 작동 방식은 채널 상호성을 이용하여 BS가 DL CSI를 획득할 수 있도록 한다. DL CSI는 "Downlink Channel State Information"의 약어로, 즉 하향 링크 채널 상태 정보를 의미한다. 이 정보는 무선 통신 시스템에서 송신 측에서 수신 측으로 데이터를 전송하기 전에 채널 상태 정보를 확인하여 적절한 전송 파라미터를 조정하고, 최적의 수신 신호 강도를 결정하기 위해 사용된다. TDD(Test-Driven Development)는 소프트웨어 개발 방법론 중 하나이며, TDD 방식은 이전 개발 단계에서 작성된 테스트 케이스를 사용하여 개발을 진행하며, 이를 통해 소프트웨어의 품질을 향상시키고, 오류를 줄이는 효과를 얻을 수 있다.

[0060] 길이 (τ 심볼)의 일관성 시간 간격에 대해 파일럿 신호 (채널 추정)에 τ_p 시퀀스를 사용한다. 나머지 ($\tau_d = \tau - \tau_p$) 시퀀스는 DL 전송에 사용된다.

[0061] (식 1)

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}_L[\omega(\omega + \mathbf{I}_k)^{-1}]^{1/2} + \mathbf{H}_w[(\omega + \mathbf{I}_k)^{-1}]^{1/2}$$

[0062]

[0063] 이때, $\mathbf{H}$: 전체 채널 행렬을 나타내고, $\mathbf{H}_L$: Line-of-Sight (LoS) 채널 행렬, $\mathbf{H}_w$: 다중경로(Rayleigh fading) 채널 행렬, ω : 대각선 요소가 각각 k 개의 값이 있는 $k \times k$ 대각행렬, $\mathbf{I}_k$: $k \times k$ 단위 행렬을 나타낸다. 위 식에서, 먼저 $(\omega + \mathbf{I}_k)^{-1}$ 은 $k \times k$ 행렬 $(\omega + \mathbf{I}_k)$ 의 역행렬을 나타낸다. 또한, $[\omega(\omega + \mathbf{I}_k)^{-1}]^{1/2}$ 는 LoS 성분에 대한 채널 변환을 나타내며, $[(\omega + \mathbf{I}_k)^{-1}]^{1/2}$ 는 다중경로 성분에 대한 채널 변환을 나타낸다. 따라서 전체 채널 행렬 H는 LoS 성분과 다중경로 성분의 합으로 나타낼 수 있다.

[0064] 여기서, $\mathbf{H}_L = \bar{\mathbf{H}}_L \mathbf{B}^{1/2}$ 및 $\mathbf{H}_w = \bar{\mathbf{H}}_w \mathbf{B}^{1/2}$ 는 $\text{CN}(0,1)$ 로 분포되며, H의 LoS 결정론적(deterministic) 및 레일리(Rayleigh) 성분을 나타낸다. ω 및 B는 각각 $K_{m,k}$ 및 B_k 요소가 있는 대규모 페이딩 계수 및 H의 라이시안 K 계수를 포함하는 $K \times K$ 대각 행렬로 제공된다.

[0065] 여기서, $\text{CN}(0,1)$ 은 complex-valued Gaussian distribution을 나타낸다. 여기서 "CN"은 "complex normal"을 의미하며, 분포의 평균이 0이고 분산이 1인 복소수 가우시안 분포를 나타낸다. 이 분포는 실수와 허수 부분이 각각 독립적으로 표준 정규 분포를 따르는 복소수 변수에서 유도된다.

[0066] LoS 성분은 $[\bar{\mathbf{H}}_L]_{mk} = e^{-j(m-1)(2\pi d/\lambda) \sin(\theta_k)}$ 로 모델링된다.

[0067] 이때, $[\bar{\mathbf{H}}_L]_{mk}$: 위치 m에서 k번째 사용자의 채널 계수를 나타내는 복소수 값, e : 자연상수 (2.71828...)를 나타내는 상수, j: 허수 단위를 나타내는 복소수 i와 같은 기호, m: 안테나 배열의 위치 지수, d: 안테나 사이의 간격, λ : 안테나 배열의 길이, θ_k : k번째 사용자의 방향 각도, $\sin(\theta_k)$: k번째 사용자의 방향 각도에서 안테나 배열로의 수직 거리에 대한 비율을 나타내는 사인 함수이다.

[0068] 이 식은 안테나 배열의 위치와 사용자의 방향 각도에 따라 채널 계인이 결정되는 모델을 나타낸다. 각 사용자의 위치와 방향에 따라 채널 계인은 다르게 측정된다.

[0069] 여기서 d 는 안테나 간격을, $\mathbf{x}$ 는 파장을, θ_k 는 도달각을 나타낸다.

[0070] MMSE를 가정한 채널 H 는 다음으로 분해된다. 이때, MMSE(Minimum Mean Squared Error)는 최소 평균 제곱 오차라는 의미로, 신호 처리에서 사용되는 추정기 중 하나이다. MMSE 추정기는 확률 분포를 가정하고, 입력 신호와 추정된 신호의 차이를 최소화하여 입력 신호의 값을 추정한다. 전송 경로에서 MMSE는 수신 측에서 원래 신호를 복원하는 데 사용될 수 있다. 즉, MMSE 추정기를 사용하여 수신된 신호에서 노이즈를 최소화하고, 채널 특성을 고려하여 원래의 신호를 추정할 수 있다. 본 실시예에서는 MMSE를 사용하여 Full-Duplex Massive MIMO Relay 시스템의 신호 전달 경로인 채널 H 를 분해하고, 이를 이용하여 전송률을 계산할 수 있다.

[0071] (식 2)

[0072]
$$\mathbf{H} = \hat{\mathbf{H}} + \mathbf{E}$$

[0073] 여기서, H 는 실제 채널 행렬, $\hat{\mathbf{H}}$ 는 추정된 채널 행렬, E 는 추정 오차를 나타낸다. 추정된 채널 행렬 $\hat{\mathbf{H}}$ 은 일반적으로 실제 채널 행렬 H 의 추정치이다. 추정 오차는 채널 추정 과정에서 발생하는 불확실성과 잡음에 의해 발생한다. 따라서 채널 행렬은 일반적으로 추정된 채널 행렬과 추정 오차의 합으로 표현된다.

[0074] 추정된 채널 행렬인 $\hat{\mathbf{H}} = [\hat{h}_1 \dots \hat{h}_K] \sim \text{CN}(\mathbf{E}[\hat{\mathbf{H}}], \hat{\mathbf{B}})$ 와 오류 행렬인 $\mathbf{E} = [\mathbf{e}_1, \dots, \mathbf{e}_K] \sim \text{CN}(\mathbf{0}, \mathbf{\Xi} - \hat{\mathbf{B}})$ 은 서로 독립이며, $\hat{\mathbf{B}}$ 와 $\mathbf{\Xi}$ 는 k 번째 원소가 $\hat{\beta}_K \triangleq \frac{\beta_K \gamma_K}{(K_{m,k}+1)}$ 와 $\epsilon_k \triangleq \frac{\beta_K}{(K_{m,k}+1)}$ 인 대각 행렬이다.

[0075] 참고로, $\hat{\mathbf{H}}$: 복소수(complex number)로 이루어진 K 개의 원소를 가진 열 벡터(column vector)로, 채널 상태 정보를 나타낸다. $\hat{h}_K$: k 번째 원소는 k 번째 사용자의 채널 상태 정보를 나타낸다. 즉, $\hat{h}_K$ 는 복소수(complex number)이다. $\hat{\mathbf{B}}$: $K \times K$ 크기의 공분산(covariance) 행렬이다. CN : 복소수(complex number)의 연속 확률 분포를 나타내는 표기이다. $\mathbf{E}[\hat{\mathbf{H}}]$: 채널 상태 정보의 기댓값(expected value)을 나타낸다. 채널 상태 정보가 무작위로 변화하는 경우, 이 값은 채널의 통계적 특성을 나타낸다. $\sim$: 확률 변수의 분포를 나타내는 표기이다. 예를 들어, $[\hat{\mathbf{H}}] \sim \text{CN}(\mu, \Sigma)$ 는 행렬 $[\hat{\mathbf{H}}]$ 의 원소가 평균값이 μ 이고 공분산이 Σ 인 복소수 분포를 가진다는 것을 의미한다.

[0076] 또한, E : 복소 가우시안 분포 (complex Gaussian distribution)를 따르는 K 차원의 벡터이다. $\mathbf{e}_k$: K 개의 요소 중 k 번째 요소이다. $\mathbf{\Xi}$ 는 공분산 행렬의 대각원소를 의미한다. 따라서, 이러한 공분산 행렬은 대각성분으로만 이루어져 있으며, 다른 성분은 모두 0이다. $\text{CN}(\mathbf{0}, \mathbf{\Xi} - \hat{\mathbf{B}})$: 평균이 0이고 공분산 행렬이 $\mathbf{\Xi} - \hat{\mathbf{B}}$ 인 복소 가우시안 분포이다. 여기서, $\mathbf{\Xi} - \hat{\mathbf{B}}$ 는 $\hat{\mathbf{B}}$ 의 의사 역행렬(pseudo-inverse)이다.

[0077] $\hat{\beta}_K \triangleq \frac{\beta_K \gamma_K}{(K_{m,k}+1)}$ 에서, β_k : K 차원 벡터인 빠른 페이딩 채널의 복소 가중치 벡터, γ_k : K 차원 벡터인 기지국의 안테나 간 채널 이득 벡터, $K_{m,k}$: $K \times M$ 차원의 안테나간 채널 이득 행렬, k : 수신 안테나 인덱스이며, 위 식에서 $\hat{\beta}_K$ 는 수신 안테나 인덱스 k 에서의 빠른 페이딩 채널의 복소 가중치 벡터를 추정하기 위한 수식이다. 이를 추정하기 위해서는, $K \times M$ 차원의 안테나간 채널 이득 행렬(K_m)과 수신 안테나 k 와의 안테나 간 채널 이득

벡터(γ_k)가 필요하다.

[0078] $\epsilon_k \triangleq \frac{\beta_K}{(K_{m,k}+1)}$ 에서, ϵ_k : k번째 사용자의 채널 행렬의 오차 벡터(error vector)를 나타낸다. β_K : K x K 크기의 복소수 값을 갖는 대각 성분을 포함한 행렬이며, 사용자의 채널 상태 정보를 나타낸다. $K_{m,k}$: 최대 수신 전력 제약 조건에서의 k번째 사용자의 전력을 나타낸다. k : 사용자 인덱스 번호를 나타낸다.

[0079] 여기서, $\gamma_K \triangleq \frac{p_\tau \tau_p \beta_K}{(p_\tau \tau_p \beta_K + 1)}$ 이고, p_τ 는 파일럿 파워를 나타낸다.

[0080] BS와 사용자(user) k 간의 채널은 채널 H의 열(column)인 h_k 로 주어진다.

[0081] BS는 메시지 W_k 를 개별 메시지 $W_{k,p}$ 와 공통 메시지 $W_{k,c}$ 로 분할한다. 공통 부분은 공통 코드북을 사용하여 공통 스트림 S_c 로 인코딩되며, 개별 메시지는 특정 사용자만 알 수 있는 코드북을 사용하여 개별 스트림으로 인코딩된다. 일치 필터(MF, Matched filter) 및 정규화 제로 포싱(RZF, regularized zero forcing) 선형 빔포밍 프리코더는 각각 공통 및 개별 스트림에 적용된다.

[0082] RS의 DAC 양자화 이전 송신 신호는 V_c 와 V_k 가 각각 공통 스트림(common streams)과 개별 스트림(private streams)에 대한 프리코더이며, P_c 와 P_k 는 각각 공통 스트림과 개별 스트림에 할당된 전력을 나타내는 경우에 다음의 식 3으로 주어진다.

[0083] (식 3)

$$\mathbf{x} = \sqrt{P_c} V_c s_c + \sum_{k=1}^K \sqrt{P_k} V_k s_k$$

[0085] 여기서, x: 송신하는 전체 신호의 벡터이다.

[0086] P_c : 전체 신호 중 공통 스트림에 할당된 전력이다.

[0087] V_c : 송신기에서 공통 스트림에 대한 전처리 행렬이다.

[0088] s_c : 공통 스트림의 정보를 담은 벡터이다.

[0089] P_k : 전체 신호 중 개별 스트림에 할당된 전력이다.

[0090] V_k : 송신기에서 개별 스트림에 대한 전처리 행렬이다.

[0091] s_k : 개별 스트림의 정보를 담은 벡터이다. Σ 기호는 모든 개별 스트림의 합을 나타낸다.

[0092] 이 식은 RS에서 하나의 공통 스트림(common stream)과 여러 개의 개인 스트림(private streams)으로 신호를 나누어 전송하는 전략을 수식적으로 나타낸 것이다. 공통 스트림은 모든 사용자가 받아들일 수 있는 정보를 포함하고, 개인 스트림은 특정 사용자에게만 전달되는 정보를 포함한다. 이러한 방식은 신호 처리에서 사용자간의 간섭을 줄이고, 각 사용자에게 최적화된 신호를 전송할 수 있게 해주는 데에 목적이 있다.

[0093] 이를 통해 RS는 여러 사용자가 동시에 데이터를 받을 때, 서로의 신호가 서로에게 간섭을 일으키는 것을 최소화 하면서, 효과적인 데이터 전송이 가능하도록 한다. 이 전략은 특히 간섭이 크게 문제가 되는 환경이나 다중 사용자 환경에서 유리하다.

[0094] k번째 사용자의 수신 신호는 식 4로 주어진다.

[0095] (식 4)

$$y_K = h_K^H x + n_k$$

[0097] 이때, y_K : User K가 수신한 신호의 벡터이다.

[0098] $h_K^H x$: User K와 송신자 사이의 채널 상태 정보이다. H는 수신기와 송신기 사이의 채널 가중치를 나타낸다. H의 전치 행렬은 송신기와 수신기 사이의 채널 가중치를 나타낸다.

[0099] x: 송신 신호 벡터이다.

[0100] n_k : User K가 수신하는 추가적인 가우시안 잡음이다.

[0101] 여기서, $n_k \sim CN(0,1)$ 는 k번째 노드에서의 AWGN(Additive White Gaussian Noise)이다. DAC 양자화 후 송신 신호는 왜곡된다. 양자화 이후 k번째 사용자의 수신 신호는 다음과 같다.

[0102] (식 5)

$$y_K = \sqrt{\alpha_D P_c} h_k^H V_c S_c + \sqrt{\alpha_D P_k} h_k^H V_k S_k + \sum_{j \neq K}^K \sqrt{\alpha_D P_k} h_k^H V_j S_j + h_k^H n_D + n_k.$$

[0104] 이때, y_K : k번째 사용자가 수신하는 신호

[0105] α : DAC (Digital-to-Analog Converter)에서의 선형 감쇠 계수

[0106] D : ADC (Analog-to-Digital Converter)에서의 선형 증폭 계수

[0107] P_c : 공통 스트림의 전력

[0108] h_k^H : k번째 사용자와 송신자 간의 채널을 나타내는 채널 임펄스 응답 (Channel Impulse Response) 또는 k번째 사용자의 채널에 대한 켄레 전치(hermitian transpose)이다. 이는 송신신호가 사용자에게 도달하기 전에 채널의 영향을 받게 된다.

[0109] V_c : 공통 스트림에 대한 송신자의 전송 가중치 벡터,

[0110] S_c : 공통 스트림에 대한 송신자의 전송 신호 벡터,

[0111] P_k : k번째 사용자의 개별 스트림의 전력,

[0112] V_k : k번째 사용자의 개별 스트림에 대한 송신자의 전송 가중치 벡터,

[0113] S_k : k번째 사용자의 개별 스트림에 대한 송신자의 전송 신호 벡터,

[0114] V_j : j번째 사용자의 수신 신호를 전달하는 가중치 벡터,

[0115] S_j : j번째 사용자의 전송 데이터를 담고 있는 신호 벡터,

[0116] n_k : AWGN(Additive White Gaussian Noise)으로, 수신기에서 발생하는 노이즈이다.

[0117] 식 5에서, $\sqrt{\alpha_D P_c} h_k^H V_c S_c$ 는 공통 스트림에 대한 항으로, k번째 사용자에게 전송된 공통 신호의 양과 채널을 통한 변형을 나타낸다. $\sqrt{\alpha_D P_k} h_k^H V_k S_k$ 는 k번째 사용자의 개인 스트림에 대한 항이다. 식 5는 식 4에 비해 DAC 양

자화 이후의 실제 수신 조건을 더 정확하게 반영한다. 양자화 잡음 n_D 과 다른 사용자들의 신호 간섭은 실제 무선 통신 환경에서 수신 신호의 품질을 저하시킬 수 있는 주요 요소이다.

여기서, α_D 는 양자화 비트에 따라 선형 계인이며, 표 1에 명시된 값으로 주어진다.

(표 1)

b	1	2	3	4	5
α	0.6366	0.8825	0.96546	0.990503	0.997501

α 는 선형 이득을 나타내며, 양자화기의 양자화 비트 b에 따라 값이 달라진다. α 의 일반적인 값이 표 1과 같다. $b > 5$ 인 경우, α 의 값은 $\alpha = 1 - \frac{\sqrt{3}\pi}{2} 2^{-2b}$ 이 된다. 이는 α 의 값이 1보다 작다는 것을 의미한다. 이것은 양자화로 인한 신호의 감쇠를 특징짓는다.

양자화 후 상관없는 잡음(uncorrelated noise) n_D 의 공분산 행렬은 $R_{n_D} = \alpha_D (1 - \alpha_D) \text{diag}(E\{xx^H\})$ 로 주어진다.

여기서, RnD: Random Decentralized Algorithm에서 사용되는 R&D 행렬, α_D : 분산형 알고리즘에서 사용되는 디자인 파라미터 ($0 < \alpha_D < 1$), $E\{xx^H\}$: 입력 벡터 x와 이 벡터의 공역전치행렬 x^H 의 기댓값, diag: 대각행렬을 반환하는 함수, 입력으로 주어진 벡터를 대각행렬의 대각원소로 사용하여 대각행렬을 만든다.

DAC 양자화 후 공통 및 개인 스트림의 SINR은 각각 (6)과 (7)로 나타낼 수 있다. 여기서, SINR은 Signal-to-interference-plus-Noise Ratio의 약자로, 신호대 잡음과 간섭 비율을 나타내는 지표이다. 무선통신에서는 주로 수신기가 수신하는 신호에 대한 간섭과 잡음의 영향을 분석하고, 통신 시스템의 성능을 평가하기 위해 사용된다.

(식 6)

$$SINR_{K,C} = \frac{\alpha_D P_c |h_k^H V_c|^2}{\alpha_D P_k \sum_{K=1}^K |h_k^H V_k|^2 + h_k^H R_{n_D} h_k + 1}$$

$SINR_{K,C}$ 는 k번째 사용자에게 대한 공통 스트림의 SINR, α_D 는 DAC 양자화 잡음의 영향을 나타내는 선형 이득 계수, P_c, P_k 는 각각 공통 스트림과 개인 스트림에 할당된 파워, $h_k^H V_c, h_k^H V_k$ 는 k번째 사용자의 채널 응답과 전처리 벡터의 내적으로, 채널을 통해 전송되는 신호의 효과적인 강도이다. n_D 는 DAC 양자화 잡음 벡터, 분모의 합산은 k번째 사용자에게 영향을 주는 모든 간섭과 잡음을 포함한다.

(식 7)

$$SINR_K = \frac{\alpha_D P_k |h_k^H V_k|^2}{\alpha_D P_k \sum_{j \neq K}^K |h_k^H V_j|^2 + h_k^H R_{n_D} h_k + 1}$$

$SINR_K$ 는 k번째 사용자에게 대한 개인 스트림의 SINR이다. 분자는 k번째 사용자의 개인 스트림에 대한 신호의 파워를 나타낸다. 분모는 다른 사용자들의 개인 스트림이 k번째 사용자에게 간섭으로 작용하는 파워와, 양자화 잡음의 파워, 그리고 AWGN의 파워를 합한 것이다.

[0131] 여기서, $SINR_{K,C}$ 는 k번째 사용자의 공통 스트림에 대한 SINR을 나타내며, $SINR_K$ 는 k번째 사용자의 개별 스트림에 대한 SINR을 나타낸다. 이러한 SINR값은 DAC 양자화 이후 각 사용자가 수신하는 신호에 대한 간섭과 잡음의 영향을 반영한다. SINR 값이 높을수록 더 나은 품질의 수신신호를 보장할 수 있으며, 통신 시스템의 성능을 평가하는데 중요한 역할을 한다.

[0132] 식 6과 식 7은 무선 통신 시스템에서 사용자의 신호 대 간섭 플러스 잡음비(SINR)를 계산하는 식이다. SINR은 수신된 신호의 질을 평가하는 중요한 척도로, 신호의 파워 대 간섭과 잡음의 합산 파워의 비율을 의미한다. 이 비율이 높을수록 수신된 신호의 품질이 좋다고 할 수 있다. 이러한 식 6과 식 7을 사용함으로써, 연구자들은 개별 사용자에게 대한 공통 스트림과 개인 스트림의 수신 품질을 각각 평가할 수 있다.

[0133] k번째 사용자의 공통 및 개인 메시지의 달성 가능한 비트율은 각각 다음과 같다.

[0134] (식 8)

$$C_{K,C} = \frac{\tau - \tau_p}{\tau} \log_2(1 + SINR_{K,C})$$

[0135] 여기서, $C_{K,C}$ 는 k번째 사용자에게 대한 공통 스트림의 스펙트럴 효율이다. τ 는 총 시간 슬롯의 길이, τ_p 는 파일럿 신호나 제어 신호를 전송하는 데 사용된 시간으로, 이는 총 시간 슬롯 중에서 데이터 전송에 사용되지 않는 부분이다. $SINR_{K,C}$ 는 공통 스트림에 대한 신호 대 간섭 플러스 잡음비이다. $\log_2(1 + SINR_{K,C})$ 는 신호 대 잡음비를 기반으로 한 채널 용량의 샤넬 공식을 사용하여 계산한 공통 스트림의 비트 전송률이다.

[0137] (식 9)

$$C_K = \frac{\tau - \tau_p}{\tau} \log_2(1 + SINR_K)$$

[0139] 여기서, C_K 는 K번째 사용자에게 대한 개인 스트림의 스펙트럴 효율, $SINR_K$ 는 개인 스트림에 대한 신호 대 간섭 플러스 잡음비(Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio)이다. 이 값이 높을수록 채널 품질이 좋다는 것을 의미한다.

[0140] 식 8과 식 9는 무선 네트워크의 설계 및 최적화를 위해 각 스트림의 효율을 평가하는 데 사용된다.

[0141] Monte Carlo 시뮬레이션(Monte Carlo simulation) 결과는 10,000번의 반복, $M=100$, $K=3$, 일관성 구간(coherence interval), $\tau=200$ 심볼, 파일럿 길이, $\tau_p=K$, 파일럿 파워 $P_p=2\text{dB}$ 및 동등한 ADC/DAC 양자화 비트 $(b_A(b_D))=1, 3$ 및 5로 설정된다.

[0142] 도 2는 서로 다른 ADC/DAC에 대한 전송 SNR에 대한 SE를 나타내는 그래프이다. 이러한 도 2에서, Rician 및 Rayleigh 페이딩(fading) 채널에 대한 신호 대 잡음 비율(SNR)에 대한 스펙트럴 효율(SE) 그래프를 나타낸다.

[0143] RS는 "Rate splitting"의 약어로, 수신측에서 다중 안테나를 이용하여 무선통신에서 신호의 질을 향상시키기 위해 다양한 공간 다이버시티 기법(ex. MIMO(Multiple-Input, Multiple-Output))을 적용한다. 이를 통해 다중 경로로부터 수신된 신호를 조합하여 신호 간 간섭을 줄이고, 수신 신호의 품질을 향상시킬 수 있다.

[0144] RS는 신호를 공통 부분과 개인 부분으로 분할하는 전송 기법이다. 공통 부분은 모든 사용자가 해독할 수 있으며, 각 사용자에게 지정된 개인 부분은 해당 사용자만이 해독할 수 있다. 이러한 분할은 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)가 완벽하지 않거나 사용자 간 간섭이 발생하는 경우에 특히 유용하며, 간섭을 효과적으로 관리하여 스펙트럼 효율을 높인다.

[0145] 이러한 분할을 통해 간섭이 심한 무선 통신 환경에서도 각 사용자가 자신에게 할당된 신호를 보다 잘 수신할 수 있게 도와주며, 이는 결국 전체 네트워크의 스펙트럼 효율을 향상시키는 결과를 가져온다.

[0146] 한편, MIMO와 같은 공간 다이버시티 기법은 다중의 송수신 안테나를 사용하여 통신 채널의 용량을 증가시키고, 다양한 경로를 통해 수신된 신호들을 조합하여 전체적인 신호의 품질을 향상시킨다. RS와 MIMO가 결합될 경우,

RS는 각각의 안테나로부터 수신된 신호를 효과적으로 처리하여 MIMO 시스템의 성능을 더욱 증대시킬 수 있다.

[0147] 본 실시예에서는 RS와 non-RS 기법을 비교하여 RS 기법이 더 높은 스펙트럴 효율을 보인다는 결과를 보여주고 있다.

[0148] RS 스키마(RS scheme)는 일반적으로 non-RS 스키마보다 높은 스펙트럴 효율을 달성한다. Rician 채널을 Rayleigh 채널로 적응하면 개선이 이루어진다. 두 페이딩 채널에서 고 SINR에서 비-RS보다 높은 속도 이득이 실현된다. 양자화 노이즈가 매우 높아지면($b_a(b_d)=1$), RS 스키마는 낮은 해상도 ADC / DAC 양자화 노이즈와 다중 사용자 간섭 효과를 완화할 수 없어 non-RS보다 우수하지 않다. $b_a(b_d)$ 가 증가함에 따라 RS는 두 채널 모델 모두에서 non-RS scheme보다 더 높은 SE를 달성한다. Rayleigh 및 Rician 채널에서 QN이 상대적으로 높은 $b_a(b_d)=3$ 의 RS scheme은 QN이 낮은 $b_a(b_d)=5$ 의 non-RS보다 40dB에서 각각 9.907% 및 8.4189% 더 높은 스펙트럴 효율을 달성한다.

[0149] 본 실시예에서, RS는 고 SINR에서 우세한 간섭의 효과를 극복하고 3비트 이상의 저해상도 ADC/DAC를 사용할 때 어느 정도 잘 수행될 수 있다는 것을 알 수 있다. RS scheme은 일반적으로 non-RS scheme보다 더 높은 스펙트럴 효율을 달성한다.

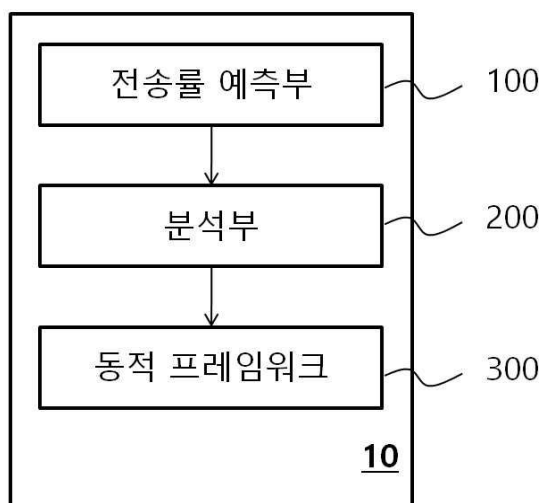
[0150] 본 실시예에서는 저해상도 DAC 및 ADC와 불완전한 CSI 하에서 RS massive MIMO 시스템의 성능을 분석하였다. 여기서, RS scheme이 양자화 잡음에 대해 견고하다는 것을 알 수 있다.

[0151] 본 실시예에 따른 전송률 분할 무경계 거대다중 입출력 전송 시스템은 불완전한 채널 상태 정보(CSI)와 저해상도 DACs 및 ADCs를 사용하는 대규모 MIMO 시스템에서 RS(Rate Splitting)의 성능을 분석하였다. 여기서, RS 방식이 양자화 잡음에 대해 강건함을 보여준다. 대규모 MIMO 시스템이란 많은 수의 안테나를 사용하여 데이터 전송률과 시스템 용량을 증가시키는 기술이다. 불완전한 CSI는 현실적인 통신 환경에서 발생하는 문제로, 송수신기가 채널의 상태를 정확히 알지 못하는 경우를 말한다. 저해상도의 DACs(디지털-아날로그 변환기)와 ADCs(아날로그-디지털 변환기)는 하드웨어의 복잡성과 비용을 낮추지만, 동시에 양자화 잡음을 발생시키는 원인이 될 수 있다.

[0152] 본 실시예에서는 RS 방식이 양자화 잡음에 강건하다고 결론지었다. 즉, RS 방식이 저해상도의 변환기를 사용함으로써 발생하는 양자화 잡음에도 불구하고 성능 저하를 최소화하면서 효과적인 통신을 유지할 수 있다는 것을 의미한다. 이러한 결과는 RS 방식이 실제로 통신 시스템의 성능을 개선할 수 있는 유용한 전략이 될 수 있음을 시사한다.

도면

도면1



도면2

