(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0097696
(43) 공개일자 2023년07월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/0452 (2017.01) *G06N 3/08* (2023.01)
H04B 17/309 (2015.01) *H04B 7/0426* (2017.01)
H04B 7/06 (2017.01) *H04W 72/04* (2009.01)
(52) CPC특허분류
H04B 7/0452 (2013.01)
G06N 3/08 (2023.01)
(21) 출원번호 10-2021-0187442
(22) 출원일자 2021년12월24일
심사청구일자 2021년12월24일

(71) 출원인
아주대학교산학협력단
경기도 수원시 영통구 월드컵로 206 (원천동)
(72) 발명자
신원재
서울특별시 강남구 일원로14길 25, 푸른마을아파트
성재협
경기도 용인시 수지구 신봉2로 26, 신봉마을엘지자이1차아파트
(74) 대리인
특허법인로얄

전체 청구항 수 : 총 15 항

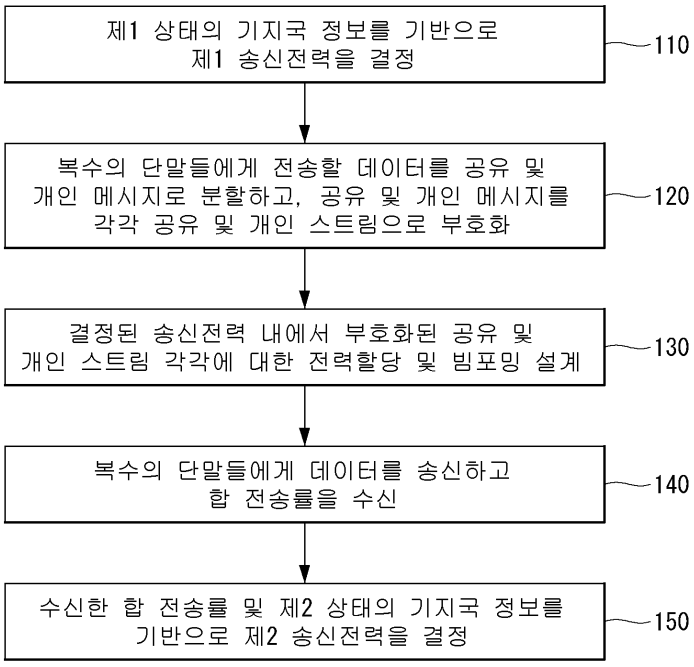
(54) 발명의 명칭 **에너지 공급이 제한된 기지국이 심층강화학습을 기반으로 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속 방법**

(57) 요 약

본 발명의 일 실시 예에 따른 에너지 공급이 제한된 기지국이 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속 방법은, 제1 상태의 상기 기지국 정보를 기반으로 제1 송신전력을 결정하는 단계; 복수의 단말들에게 전송할 데이터를 공유 및 개인 메시지로 분할하고, 상기 공유 및 개인 메시지를 각각 공유 및 개인 스트림으로 부

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



호화하는 단계; 상기 결정된 송신전력 내에서 상기 부호화된 공유 및 개인 스트림 각각에 대한 전력할당 및 빔포밍 설계를 하는 단계; 상기 복수의 단말들에게 상기 데이터를 송신하고 합 전송률을 수신하는 단계; 및 상기 수신한 합 전송률 및 제2 상태의 상기 기지국 정보를 기반으로 제2 송신전력을 결정하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다. 이에 따라, 본 발명의 일 실시 예에서는, 기지국이 복수의 단말들에게서 수신한 합 전송률 및 기지국 상태 정보를 기반으로 심층강화학습을 사용하여 송신전력을 결정하고 결정된 송신전력 내에서 최적화 기법을 사용하여 부호화된 공유 및 개인 스트림 각각에 대한 전력할당 및 빔포밍 설계를 함으로써 에너지 공급이 제한된 기지국이 변화하는 외부 에너지 및 통신 채널 상태에 적합하도록 공급받은 에너지를 효율적으로 사용 가능하다.

(52) CPC특허분류

H04B 17/309 (2023.05)
H04B 7/0426 (2013.01)
H04B 7/0617 (2013.01)
H04W 52/42 (2013.01)
H04W 72/0453 (2023.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711134433
과제번호	2021-0-00467-001
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	6G핵심기술개발(R&D)
연구과제명	지능형 6G 무선 액세스 시스템
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교산학협력단
연구기간	2021.04.01 ~ 2021.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

에너지 공급이 제한된 기지국이 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속 방법에 있어서,

제1 상태의 상기 기지국 정보를 기반으로 제1 송신전력을 결정하는 단계;

복수의 단말들에게 전송할 데이터를 공유 및 개인 메시지로 분할하고, 상기 공유 및 개인 메시지를 각각 공유 및 개인 스트림으로 부호화하는 단계;

상기 결정된 송신전력 내에서 상기 부호화된 공유 및 개인 스트림 각각에 대한 전력할당 및 빔포밍 설계를 하는 단계;

상기 복수의 단말들에게 상기 데이터를 송신하고 합 전송률을 수신하는 단계; 및

상기 수신한 합 전송률 및 제2 상태의 상기 기지국 정보를 기반으로 제2 송신전력을 결정하는 단계;

를 포함하는 전송률 분할 다중접속 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 부호화된 공유 및 개인 스트림 각각에 대한 전력할당 및 빔포밍 설계는, 상기 개인 스트림의 빔포밍 설계는 제로포싱(Zero-Forcing) 기법을 이용하여 우선적으로 수행하고 상기 개인 스트림의 전력할당, 상기 공유 스트림의 전력할당 및 상기 공유 스트림의 빔포밍 설계는 제1 최적화 알고리즘을 이용하여 수행되는 것을 특징으로 하는 전송률 분할 다중접속 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 제1 최적화 알고리즘은 SLSQP(sequential least squares programming) 알고리즘인 것을 특징으로 하는 전송률 분할 다중접속 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제1 및 제2 상태의 기지국 정보는 상기 기지국에 수확된 에너지의 양, 상기 기지국에 저장되어 있는 에너지의 양, 및 상기 복수의 단말들에게 피드백 받은 채널 정보를 포함하고,

상기 송신전력의 결정은 제2 심층강화학습 알고리즘을 이용하여 수행되는 것을 특징으로 하는 전송률 분할 다중접속 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 제2 상태의 기지국에 저장되어 있는 에너지의 양은,

(a) 상기 기지국 보유 가능 최대 에너지의 양;

(b) 상기 제1 상태의 기지국에 저장되어 있는 에너지의 양에서 상기 제1 상태의 결정된 송신전력 및 상기 데이터가 전송된 시간의 곱을 빼고, 상기 제2 상태의 기지국에 수확된 에너지의 양을 더한 에너지의 양;

상기 (a) 및 (b) 중 더 작은 에너지의 양으로 결정하는 것을 특징으로 하는 전송률 분할 다중접속 방법.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 제2 심층강화학습 알고리즘은 SAC(soft actor critic) 알고리즘인 것을 특징으로 하는 전송률 분할 다중접속 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 기지국은 이동 기지국인 것을 특징으로 하는 전송률 분할 다중접속 방법.

청구항 8

에너지 공급이 제한된 통신 환경에서 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속을 사용하는 기지국에 있어서,

복수의 단말들과 신호를 송수신하는 송수신부;

상기 송수신부와 접속되고 상기 기지국의 동작을 제어하는 프로세서; 및 메모리를 포함하고,

상기 프로세서는,

제1 상태의 상기 기지국 정보를 기반으로 제1 송신전력을 결정하는 동작;

상기 복수의 단말들에게 전송할 데이터를 공유 및 개인 메시지로 분할하고, 상기 공유 및 개인 메시지를 각각 공유 및 개인 스트림으로 부호화하는 동작;

상기 결정된 송신전력 내에서 상기 부호화된 공유 및 개인 스트림 각각에 대한 전력할당 및 빔포밍 설계를 하는 동작;

상기 복수의 단말들에게 상기 데이터를 송신하고 합 전송률을 수신하는 동작; 및

상기 수신한 합 전송률 및 제2 상태의 상기 기지국 정보를 기반으로 제2 송신전력을 결정하는 동작;

을 수행하는 기지국.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 부호화된 공유 및 개인 스트림 각각에 대한 전력할당 및 빔포밍 설계는, 상기 개인 스트림의 빔포밍 설계는 제로포싱(Zero-Forcing) 기법을 이용하여 우선적으로 수행하고 상기 개인 스트림의 전력할당, 상기 공유 스트림의 전력할당 및 상기 공유 스트림의 빔포밍 설계는 제1 최적화 알고리즘을 이용하여 수행되는 것을 특징으로 하는 기지국.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 제1 최적화 알고리즘은 SLSQP(sequential least squares programming) 알고리즘인 것을 특징으로 하는 기지국.

청구항 11

제8항에 있어서,

상기 제1 및 제2 상태의 기지국 정보는 상기 기지국에 수확된 에너지의 양, 상기 기지국에 저장되어 있는 에너지의 양, 및 상기 복수의 단말들에게 피드백 받은 채널 정보를 포함하고,

상기 송신전력의 결정은 제2 심층강화학습 알고리즘을 이용하여 수행되는 것을 특징으로 하는 기지국.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 제2 상태의 기지국에 저장되어 있는 에너지의 양은,

(a) 상기 기지국 보유 가능 최대 에너지의 양;

(b) 상기 제1 상태의 기지국에 저장되어 있는 에너지의 양에서 상기 제1 상태의 결정된 송신전력 및 상기 데이터가 전송된 시간의 곱을 빼고, 상기 제2 상태의 기지국에 수확된 에너지의 양을 더한 에너지의 양;

상기 (a) 및 (b) 중 더 작은 에너지의 양으로 결정하는 것을 특징으로 하는 기지국.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 제2 심층강화학습 알고리즘은 SAC(soft actor critic) 알고리즘인 것을 특징으로 하는 기지국.

청구항 14

제8항에 있어서,

상기 기지국은 이동 기지국인 것을 특징으로 하는 기지국.

청구항 15

에너지 공급이 제한된 통신 환경에서의 합 전송률 최대화를 위한 전송률 분할 다중접속을 제공하기 위해 디지털 처리 장치에 의해 실행될 수 있는 명령어들의 프로그램이 유형적으로 구현되어 있으며, 디지털 처리 장치에 의해 판독될 수 있는 기록매체로서,

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항의 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 에너지 공급이 제한된 기지국이 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 심층강화학습 및 최적화 기법을 이용하여 송신기에서의 전력할당 및 빔포밍 설계를 최적화하는, 에너지 공급이 제한된 통신 환경에서 합 전송률 최대화를 위한 전송률 분할 다중접속 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] LTE 기반의 4G 이동통신의 등장 이후 복수개의 안테나를 이용한 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기술은 이동통신에서 반드시 필요한 핵심 기술이 되었다. 최근 MIMO 기술은 Massive MIMO 등으로 발전하여 이론적으로는 무한대의 안테나까지도 고려하고 있다. 또한, 무선 LAN에서도 802.11n을 시작으로 MIMO 기술이 보급되어 최근 출시되는 모든 무선 LAN에서는 MIMO 기술을 기본으로 채용하고 있으며, 빔포밍과 공간 다중화 기술을 결합한 다중 사용자 MIMO(Multi-User MIMO: MU-MIMO) 기술이 등장하였다.

[0003] 다중 사용자 MIMO 기술은 하나의 기지국에서 다수의 안테나를 사용하여 동일 주파수 대역으로 다수 사용자에게 동시에 서비스를 지원 가능하여 무선 대역의 효율성이 증대된다. 이러한 장점에도 불구하고 하나의 기지국에서 다수의 안테나를 사용하여 다수 사용자에게 서비스를 제공하기 때문에 사용자 간의 간섭(inter-user interference) 문제가 존재하게 되며, 무선 통신의 특성상 정보 전달 매체인 채널의 정보는 급격히 변화하므로 모든 사용자에 대하여 정확한 채널 정보를 획득하기란 사실상 불가능하게 되어 서비스를 제공받는 사용자 간의 신호 간섭은 피할 수 없는 실정이다.

[0004] 전송률 분할 다중접속기술(RSMA: Rate-Splitting Multiple Access)은 비직교 다중 사용자 접속기술로서, 다중 사용자 및 다중 안테나 통신 환경에서 우수한 성능과 강인성을 가지며 다양한 채널 환경에서 다수의 사용자를 지원 가능한 것이 특징이다. 이러한 전송률 분할 다중접속기술은 기존의 다중접속기술에 비해 에너지 및 주파수 대역의 효율성과 부정확한 채널 상태 정보에 강인하다는 측면에서 강점을 지니고 있다. 한편, 지금까지의 전송률 분할 다중접속기술은 송신전력에 제한이 없는 기지국을 사용하여 기지국이 일정 송신전력으로 사용자에게 서비스를 제공할 수 있는 환경에서 변화하는 채널 상태 정보에 대비하여 최대의 합 전송률을 제공할 수 있도록 발

전되어왔다.

[0005] 직진성이 강한 고주파 대역(mmWave)을 사용하는 차세대 이동통신기술인 6G에서는 무인 항공기 시스템인 드론형 기지국 플랫폼을 활용하는 이동 기지국의 중요성이 점차 부각되고 있다. 고주파 대역은 기존 주파수 대역에 비해 넓은 대역폭을 활용하기 때문에 대용량 데이터의 전송에는 적합하지만 직진성이 강하므로 전파 쉐도잉(shadowing) 등에 상대적으로 취약하며 이를 해결하기 위해 기지국 수를 늘리고 기지국 간의 간격을 좁히는 스몰 셀(small cell)의 중요성이 점점 커지는 실정이다. 이동 기지국은 제한된 송신전력으로 인해 태양에너지, RF 신호 등의 외부 에너지를 통해 에너지를 공급받으므로 이를 통신 채널 상태에 적합하게 효율적으로 사용해야 사용자에게 신뢰성 있는 서비스 제공이 가능하다. 그러나 변화하는 외부 에너지와 통신 채널 상태에 적합하게 공급받은 에너지를 효율적으로 사용하기는 어렵다. 이에 따라, 에너지 공급이 제한된 기지국이 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속 방법에 있어서 변화하는 외부 에너지 및 통신 채널 상태에 적합하게 공급받은 에너지를 효율적으로 사용 가능한 다중접속 방법이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 상술한 바와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 기지국이 변화하는 외부 에너지 및 통신 채널 상태에 적합하게 공급받은 에너지를 효율적으로 사용 가능하도록 하는 에너지 공급이 제한된 기지국이 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 제1 특징에 따른 에너지 공급이 제한된 기지국이 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속 방법은, 제1 상태의 상기 기지국 정보를 기반으로 제1 송신전력을 결정하는 단계; 복수의 단말들에게 전송할 데이터를 공유 및 개인 메시지로 분할하고, 상기 공유 및 개인 메시지를 각각 공유 및 개인 스트림으로 부호화하는 단계; 상기 결정된 송신전력 내에서 상기 부호화된 공유 및 개인 스트림 각각에 대한 전력할당 및 빔포밍 설계를 하는 단계; 상기 복수의 단말들에게 상기 데이터를 송신하고 합 전송률을 수신하는 단계; 및 상기 수신한 합 전송률 및 제2 상태의 상기 기지국 정보를 기반으로 제2 송신전력을 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0008] 본 발명의 제2 특징에 따른 에너지 공급이 제한된 통신 환경에서 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속을 사용하는 기지국은, 복수의 단말들과 신호를 송수신하는 송수신부; 상기 송수신부와 접속되고 상기 기지국의 동작을 제어하는 프로세서; 및 메모리를 포함하고, 상기 프로세서는, 제1 상태의 상기 기지국 정보를 기반으로 제1 송신전력을 결정하는 동작; 상기 복수의 단말들에게 전송할 데이터를 공유 및 개인 메시지로 분할하고, 상기 공유 및 개인 메시지를 각각 공유 및 개인 스트림으로 부호화하는 동작; 상기 결정된 송신전력 내에서 상기 부호화된 공유 및 개인 스트림 각각에 대한 전력할당 및 빔포밍 설계를 하는 동작; 상기 복수의 단말들에게 상기 데이터를 송신하고 합 전송률을 수신하는 동작; 및 상기 수신한 합 전송률 및 제2 상태의 상기 기지국 정보를 기반으로 제2 송신전력을 결정하는 동작을 수행하는 것을 특징으로 한다.

[0009] 본 발명의 제3 특징에 따른 에너지 공급이 제한된 통신 환경에서의 합 전송률 최대화를 위한 전송률 분할 다중접속을 제공하기 위해 디지털 처리 장치에 의해 실행될 수 있는 명령어들의 프로그램이 유형적으로 구현되어 있으며, 디지털 처리 장치에 의해 판독될 수 있는 기록매체는, 본 발명의 제1 특징에 따른 전송률 분할 다중접속 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램이 기록된 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0010] 본 발명의 실시 예에 따른 에너지 공급이 제한된 기지국이 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속 방법은 다음과 같은 효과를 제공한다.

[0011] 기지국이 복수의 단말들에게서 수신한 합 전송률 및 기지국 상태 정보를 기반으로 심층강화학습을 사용하여 송신전력을 결정하고 결정된 송신전력 내에서 최적화 기법을 사용하여 부호화된 공유 및 개인 스트림 각각에 대한 전력할당 및 빔포밍 설계를 함으로써 에너지 공급이 제한된 기지국이 변화하는 외부 에너지 및 통신 채널 상태에 적합하도록 공급받은 에너지를 효율적으로 사용 가능하다.

[0012] 상술한 효과는 기지국이 불가피하게 에너지 공급이 제한될 수 밖에 없는 이동 기지국인 경우 더욱 큰 장점이 되

며, 이러한 이동 기지국은 셀과 셀 사이를 이어주는 역할을 하여 네트워크 연결성의 확보를 보다 용이하게 해주며, 기존에 기지국이 존재하지 않아 통신이 제한된 지역까지 서비스 지원이 가능하다.

[0013] 전송률 분할 다중접속기술을 사용함으로써, 다중 사용자 MIMO 환경에서 사용자들의 채널 상태 정보를 정확히 알지 못하더라도 동일한 주파수 대역을 사용하여 사용자들에게 신뢰성 있는 서비스를 제공하는 것이 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 에너지 공급이 제한된 기지국이 심층강화학습을 기반으로 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속 방법에 대한 플로우차트이다.

도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 에너지 공급이 제한된 통신 환경에서 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속을 사용하는 기지국을 나타내는 블록도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 에너지 공급이 제한된 기지국이 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속 방법이 수행되는 일련의 과정을 개략적으로 도시한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 전송률 분할 다중접속기술을 포함한 다중접속기술들의 성능을 비교한 그래프이다.

도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른 에너지 공급이 제한된 통신 환경에서 심층강화학습이 활용된 전송률 분할 다중 접속기술을 포함한 다중접속기술들의 성능을 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 이하, 본 발명에 대해서 실시예 및 도면을 참조하여 구체적으로 설명한다. 그러나, 이하의 설명은 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0016] 본 발명의 실시 예들에서 기지국은 일반적으로 무선기기와 통신하는 고정된 지점(fixed station)을 말하나 이동성을 가질 수도 있으며, eNB(evolved-NodeB), BTS(base transceiver system) 등의 용어로 대체될 수 있다.

[0017] 또한, 본 발명의 실시 예들에서 단말은 고정되거나 이동성을 가질 수 있으며, 사용자 기기(UE: User Equipment), 이동국(MS: Mobile Station), 가입자 단말(SS: Subscriber Station), 이동 가입자 단말(MSS: Mobile Subscriber Station), 이동단말(Mobile Terminal) 또는 발전된 이동단말(AMS: Advanced Mobile Station) 등의 용어로 대체될 수 있다.

[0018] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 에너지 공급이 제한된 기지국이 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속 방법에 대한 플로우차트이고, 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 에너지 공급이 제한된 통신 환경에서 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속을 사용하는 기지국을 나타내는 블록도이다.

[0019] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 에너지 공급이 제한된 기지국(200)이 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속 방법(100)은, 제1 상태의 상기 기지국 정보를 기반으로 제1 송신전력을 결정하는 단계(110); 복수의 단말들(300)에게 전송할 데이터를 공유 및 개인 메시지로 분할하고, 상기 공유 및 개인 메시지를 각각 공유 및 개인 스트림으로 부호화하는 단계(120); 상기 결정된 송신전력 내에서 상기 부호화된 공유 및 개인 스트림 각각에 대한 전력할당 및 빔포밍 설계를 하는 단계(130); 상기 복수의 단말들(300)에게 상기 데이터를 송신하고 합 전송률을 수신하는 단계(140); 및 상기 수신한 합 전송률 및 제2 상태의 상기 기지국 정보를 기반으로 제2 송신전력을 결정하는 단계(150);를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0020] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 에너지 공급이 제한된 통신 환경에서 심층강화학습을 기반으로 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속을 사용하는 기지국(200)은, 복수의 단말들(300)과 신호를 송수신하는 송수신부(210); 상기 송수신부(210)와 접속되고 상기 기지국(200)의 동작을 제어하는 프로세서(220); 및 메모리(230)를 포함하고, 상기 프로세서(220)는, 제1 상태의 상기 기지국 정보를 기반으로 제1 송신전력을 결정하는 동작(110); 상기 복수의 단말들(300)에게 전송할 데이터를 공유 및 개인 메시지로 분할하고, 상기 공유 및 개인 메시지를 각각 공유 및 개인 스트림으로 부호화하는 동작(120); 상기 결정된 송신전력 내에서 상기 부호화된 공유 및 개인 스트림 각각에 대한 전력할당 및 빔포밍 설계를 하는 동작(130); 상기 복수의 단말들(300)에게 상기 데이터를 송신하고 합 전송률을 수신하는 동작(140); 및 상기 수신한 합 전송률 및 제2 상태의 상기 기지국 정보를 기반으로 제2 송신전력을 결정하는 동작(150);을 수행하는 것을 특징으로 한다.

[0021] 기지국(200)은 기지국 상태 정보를 기반으로 송신전력을 결정한다. 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 기지국의 상태 정보는 기지국에 수확된 에너지의 양, 기지국에 저장되어 있는 에너지의 양 및 통신하는 복수의 단말들(300)에게 피드백 받은 채널 정보를 포함할 수 있다.

[0022] 이러한 송신전력의 결정은 기지국(200)의 프로세서(220)가 송수신부(210) 및 메모리(230)를 통해 기지국의 상태 정보를 수신하여 심층강화학습 알고리즘을 수행하여 이루어지게 된다.

[0023] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 심층강화학습 알고리즘은 머신러닝 기반의 모델로서 강화 학습(reinforcement learning) 기반의 모델일 수 있다. 강화 학습 기반의 모델은 관리자의 개입 없이 학습에 따라 지속적으로 또는 주기적으로 업데이트될 수 있다.

[0024] 강화 학습 기반의 모델은, 에이전트(agent)가 환경(environment)로부터 액션(action)을 취하며, 이에 따라 에이전트에 보상(reward)과 State(상태)가 주어지게 되고, 보상이 가장 크게 되도록 에이전트를 훈련시키는 모델일 수 있다. 강화 학습 기반의 모델은, 에이전트가 사전 지식을 가지고 있는지 여부에 따라, 모델 베이스(model-based) 알고리즘을 사용하는 모델 또는 모델 프리(model-free) 알고리즘을 사용하는 모델로 구분될 수 있다.

[0025] 심층 강화 학습은, 상술한 바와 같은 강화 학습을 사용하여 실제 환경과 같은 연속적이고 복잡한 상태 공간과 행동 공간에서의 문제를 해결하기 위해 심층 신경망(deep neural network)을 사용하는 알고리즘이다. 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 에이전트는 기지국, 환경은 에너지 공급이 제한된 전송률 분할 다중접속 통신 환경, 행동은 기지국에서 사용자로의 송신, 보상은 합 전송률, 상태는 수확된 에너지의 양, 기지국에 저장되어 있는 에너지의 양 및 통신하는 복수의 단말들에게 피드백 받은 채널 정보로 설정할 수 있다.

[0026] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 송신전력의 결정에 사용되는 심층강화학습 알고리즘은 SAC(soft actor critic) 알고리즘일 수 있다.

[0027] 기지국(200)은 전송률 분할 다중접속기술을 사용하여 복수의 단말들(300)에게 전송할 데이터를 공유 메시지(Common message) 및 개인 메시지(Private message)의 2종류로 분할한다. 공유 메시지는 모든 사용자가 공유하는 코드북(Codebook)을 사용하여 1개의 공유 스트림으로 부호화(encoding)되며 이는 모든 사용자가 복호화(decoding)할 수 있다. 개인 메시지는 각 메시지에 해당하는 특정 사용자만 가지는 코드북을 통해 개인 스트림으로 부호화되며 상기 특정 사용자에 의해서만 복호화 가능하다.

[0028] 사용자는 공유 스트림을 복호화하고 공유 메시지 중 자신의 메시지에 해당하는 부분을 얻는다. 그리고 순차적 간섭제거 기법(SIC: successive interference cancellation)을 통해 수신 신호에서 공유 스트림을 제거한다. 순차적 간섭제거 기술은 수신기 측에서 다중 수신신호를 동시에 처리하는데 사용된다. 이 기술은 대상 신호들 중에서 신호 강도 차이를 이용하여 수신기에서 신호를 처리하도록 한다. 즉, 수신기는 보다 강한 신호를 복호화한 후 중첩된 신호로부터 강한 신호를 먼저 추출하고, 이후 나머지 신호로부터 약한 신호를 제거한다.

[0029] 공유 스트림 제거 후 사용자는 다른 사용자에 해당하는 개인 스트림으로 인한 간섭만을 가지게 되며 이를 잡음으로 처리하여 원하는 개인 스트림을 복호화 한다. 이러한 순차적 간섭제거 기법을 사용한 공유 스트림과 개인 스트림의 복호화를 통해 각 사용자는 자신에게 해당하는 원래의 메시지를 얻을 수 있게 된다.

[0030] 따라서, 기지국은 서비스를 제공받을 사용자들의 채널 상태 정보를 정확하게 알지 못하는 상황(예를 들어, 양자화 에러, 채널 상태 변경 등에 기인한 경우)에서 공유 메시지를 활용하여 사용자들에게 전송할 메시지의 일부를 멀티캐스트(multicast)로 전송하여 인접한 사용자 간의 신호 간섭을 최소화할 수 있다.

[0031] 기지국은 분할한 메시지를 다수의 사용자들에게 전송하기 위해 프리코더(precoder)를 사용하여 하나의 공유 스트림에 대해서 전력할당 및 빔포밍(beamforming) 설계를 하고, 각각의 개인 스트림에 대해서도 전력할당 및 빔포밍 설계를 한다. 이 경우 공유 스트림의 전력할당 및 빔포밍 설계와 각각의 개인 스트림의 전력할당은 비볼록(non-convex)한 문제에 해당한다.

[0032] 볼록(convex)한 문제는 하나의 최소값(global minimum) 또는 하나의 최대값(global maximum)이 존재하므로 이들을 계산하기가 상대적으로 수월하나, 삼차식과 같은 비볼록한 문제의 경우는 최소값 또는 최대값에 추가적으로 극소값(local minimum) 및 극대값(local maximum)을 가지므로 최소값 또는 최대값의 계산이 상대적으로 어렵다. 예를 들어, 비볼록한 문제에 있어서, 볼록한 문제를 푸는 대표적인 방법인 경사 하강법(gradient descent)과 같은 방식들을 사용하여 문제를 푸는 경우, 최소값 또는 최대값으로 수렴하지 않고 극소값 또는 극대값에 빠지게 되어 구하고자 했던 최소값 또는 최대값을 산출하지 못하는 경우가 발생할 수 있다.

[0033] 이에 따라, 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 부호화된 공유 및 개인 스트림 각각에 대한 전력할당 및 빔포밍 설

계는, 개인 스트림의 빔포밍 설계는 제로포싱(Zero-Forcing) 기법을 이용하여 우선적으로 수행하고 개인 스트림의 전력할당, 공유 스트림의 전력할당 및 공유 스트림의 빔포밍 설계는 최적화 알고리즘을 이용하여 수행할 수 있다.

[0034] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 개인 스트림의 전력할당, 공유 스트림의 전력할당 및 공유 스트림의 빔포밍 설계에 사용되는 최적화 알고리즘은 SLSQP(sequential least squares programming) 알고리즘일 수 있다.

[0035] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, SLSQP 알고리즘은 개인 스트림의 전력할당, 공유 스트림의 전력할당 및 공유 스트림의 빔포밍 설계를 단순화해 목적함수를 볼록한 이차식으로 근사하여 계산하고 다음 지점을 예측하여 다시 동일한 방법을 수행하는 일련의 과정을 반복하면서 문제를 풀어냄으로써 비볼록/비선형의 문제를 최적으로 해결할 수 있다.

[0036] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, SLSQP 알고리즘은 개인 스트림 및 공유 스트림의 전력할당에 관하여는 기지국이 전력할당을 심층강화학습의 결과로 결정된 송신전력보다 크게 설정할 수 없다는 제약 조건, 및 전송하고자 하는 모든 메시지들의 전력할당 비율의 합이 1보다 작거나 같아야 한다는 상하한 조건 하에서 동작되고, 공유 스트림의 빔포밍 설계에 관하여는 공유 스트림의 정규화된 빔포밍 벡터의 L2 norm의 제곱이 1보다는 작거나 같아야 한다는 조건 하에서 동작한다.

[0037] 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 에너지 공급이 제한된 기지국이 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속 방법이 수행되는 일련의 과정을 개략적으로 도시한 도면이다.

[0038] 도 3과 함께 다시 도 2를 참조하면, 기지국(200)은 송수신부(210), 프로세서(220) 및 메모리(230)를 포함한다. 프로세서(220)는 본 발명에서 제안한 절차 및/또는 방법들을 구현하도록 구성될 수 있다. 메모리(230)는 프로세서(220)와 연결되고 프로세서(220)의 동작과 관련한 다양한 정보를 저장한다. 송수신부(210)는 프로세서(220)와 연결되고 복수의 단말들(300)과 통신하여 무선 신호를 송신 및/또는 수신한다.

[0039] 도 3에서, B_i는 i번째 단계에서 기지국에 저장되어 있는 에너지의 양, E_i는 i번째 단계에서 수확된 에너지의 양, h_i는 i번째 단계에서 복수의 단말들이 기지국에 피드백할 채널 상태 정보, H_i는 i번째 단계에서 기지국이 복수의 단말들에게 피드백 받은 채널 상태 정보, 그리고 e_i는 i번째 단계에서 발생하는 채널 상태 정보 손실을 나타낸다.

[0040] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 기지국(200)은 복수의 단말들(300)에게 데이터를 송신하고 합 전송률(10)을 수신할 수 있다. 또한 상기 수신한 합 전송률(10)과 다음 상태의 기지국 정보(20)를 기반으로 송신전력을 다시 결정할 수 있다.

[0041] 도 3을 참조하면, 다음 상태의 기지국 정보(20)는 i번째 단계에서 기지국에 저장되어 있는 에너지의 양(B_i), i번째 단계에서 수확된 에너지의 양(E_i), i번째 단계에서 피드백 받은 채널 정보 상태(H_i)를 포함하는 정보이다.

[0042] 송신전력의 결정에는 심층강화학습 알고리즘이 사용될 수 있고, 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 상기 심층강화학습 알고리즘은 SAC(soft actor critic) 알고리즘(30)일 수 있다.

[0043] 기지국(200)은 기지국에 저장되어 있는 에너지의 양, 수확된 에너지의 양, 피드백 받은 채널 정보 상태를 기반으로 사용할 송신전력을 결정한다. 이후 기지국(200)은 통신 환경(즉, 복수의 단말들(300))으로부터 합 전송률(10)을 보상으로 받아 수행했던 행동에 대한 평가를 받으며, 동시에 다음 상태의 기지국 정보(20)를 전달받게 된다. 에이전트는 이를 참고하여 보다 큰 보상을 받을 수 있는 방향으로 일련의 학습 과정을 반복 진행하여 최적의 송신전력을 결정할 수 있게 된다.

[0044] 이 경우, 기지국에 저장되어 있는 에너지의 양은 소정 조건을 만족해야 하고 기지국에 저장되어 있는 에너지의 양을 단계별로 b1 및 b2, 기지국의 최대 저장 가능 에너지의 양을 max b, 송신전력을 p, 전송시간을 T, 수확된 에너지의 양을 E라고 하면 그 조건은 하기와 같다.

[0045] $b2 = m(b1, p, E) = \min(\max b, b1-pT+E)$

[0046] 따라서, 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 제2 상태의 기지국에 저장되어 있는 에너지의 양은, (a) 기지국 보유 가능 최대 에너지의 양, (b) 제1 상태의 기지국에 저장되어 있는 에너지의 양에서 제1 상태의 결정된 송신전력 및 데이터가 전송된 시간의 곱을 빼고, 제2 상태의 기지국에 수확된 에너지의 양을 더한 에너지의 양, 인 경우에 상기 (a) 및 (b) 중 더 작은 에너지의 양으로 결정될 수 있다.

[0047] 심층강화학습 알고리즘인 SAC(soft actor critic) 알고리즘(30)을 통해 다시 결정된 송신전력(40)은 i번째 단계에서 부호화된 공유 및 개인 스트림 각각에 대한 전력할당 및 빔포밍 설계를 하도록 사용되고, 이러한 동작의 수행에 있어서 최적화 기법인 SLSQP(sequential least squares programming) 알고리즘(50)이 사용되며, i번째 단계에서 최적의 프리코더를 이용하여 다수의 사용자들인 복수의 단말들(300)에게 데이터를 전송하게 된다.

[0048] 이후 기지국(200)은 복수의 단말들(300)로부터 새로운 합 전송률을 보상으로 받아 수행했던 행동에 대한 평가를 받게 되고, 상술한 바와 같이 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속 방법은 반복적으로 수행될 수 있다.

[0049] 본 발명의 일 실시 예에 있어서, 에너지 공급이 제한된 통신 환경의 기지국은 이동 기지국일 수 있다. 드론형 기지국 플랫폼은 셀과 셀 사이를 이어주는 역할을 하여 네트워크 연결성의 확보를 보다 용이하게 해 주며, 기재국이 존재하지 않아서 통신이 제한된 지역까지도 서비스를 지원할 수 있도록 해 준다. 또한, 기지국의 고도를 높여 가시선전파(line of sight)를 최대한 확보하여 고주파 대역 통신에 있어서 쉐도잉 등에 취약한 면을 보완할 수 있고, 자연 재해 등의 이유로 기존의 기지국이 파괴된 경우에도 지속적인 서비스 제공이 가능하다.

[0050] 이동 기지국은 제한된 송신전력으로 인해 태양에너지, RF신호 등의 외부 에너지를 통해 에너지를 공급받으므로 이를 통신 채널 상태에 적합하게 효율적으로 사용해야 사용자에게 신뢰성 있는 서비스 제공이 가능한 바, 본 발명에 따른 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속 방법을 통해 변화하는 외부 에너지 및 통신 채널 상태에 적합하게 공급받은 에너지를 효율적으로 사용 가능하게 된다.

[0051] 이하에서는 1) 전송률 분할 다중접속기술과 그 외의 다중접속기술들의 성능 비교, 및 2) 에너지 공급이 제한된 통신 환경에서 심층강화학습이 활용된 전송률 분할 다중 접속기술과 그 외의 다중접속기술들의 성능 비교에 대한 실험 과정 및 결과를 구체적으로 설명한다.

[0052] 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 전송률 분할 다중접속기술을 포함한 다중접속기술들의 성능을 비교한 그래프이고, 도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른 에너지 공급이 제한된 통신 환경에서 심층강화학습이 활용된 전송률 분할 다중 접속기술을 포함한 다중접속기술들의 성능을 비교한 그래프이다.

[0053] 실험에 대한 시뮬레이션 환경은 이동 기지국이 에너지 수확을 통해 50% 확률로 배터리 충전가능 용량만큼 외부의 에너지를 공급받은 뒤 다수의 사용자들에게 서비스를 제공해주는 통신 환경이다. 이 경우 사용자는 채널 상태 정보를 완전하게 알고 있으며 이를 기지국에게 피드백 해 주는 과정에서 양자화 에러, 채널 상태의 급격한 변화 등으로 인해 채널 상태 정보 손실이 발생한다. 이에 따라 기지국은 불완전한 채널 상태 정보를 피드백 받게 된다.

[0054] 도 4 및 도 5의 그래프들에서, x축은 학습을 진행한 횟수(learning iteration)이고, 시뮬레이션 과정에서는 100 step을 1 iteration으로 설정하였다. y축은 1000 step이 진행될 때마다 학습된 에이전트가 정해진 검증 환경에 대해 평가한 성능의 상대적인 척도이다. 여기서, step은 에이전트와 환경의 상호작용을 의미한다.

[0055] 검증 환경은 학습 환경과 동일하게 설정되었다. 이동 기지국은 동일하게 에너지 수확을 통해 50% 확률로 배터리 충전가능 용량만큼 외부의 에너지를 공급받은 뒤 수확된 에너지의 양, 배터리에 남아있는 에너지의 양, 피드백 받은 채널 정보로 동일하게 구성된 상태 하에서 최적의 송신전력을 결정하여 다수의 사용자들에게 서비스를 제공한다. 이후 환경으로부터 보상 즉, 합 전송률을 수신한다. 성능의 비교에 있어서 보다 뚜렷한 가시화를 위해 환경으로부터 받은 보상에 1/10000을 곱해주어 값을 산출하여 그래프의 y축으로 도시되도록 설정하였으며 평가 과정의 일관성을 보장하기 위해 검증 모델은 일정하게 설정하였다.

[0056] 다시 도 4를 참조하면, 다음의 4가지 경우에 대해 비교하였다. Equal(Equal Power Allocation Precoder) Greedy, WF(Water Filling Precoder) Greedy, SLSQP Greedy(기지국이 자신이 피드백 받은 불완전한 채널 상태 정보가 불완전하다는 것을 인지하고 있는 경우), SLSQP Greedy(no-info σ_e)(기지국이 자신이 피드백 받은 불완전한 채널 상태정보가 완전하다고 인지하고 있는 경우).

[0057] Greedy란 심층강화학습을 적용하지 않은 경우라는 것을 의미한다. 즉, 기지국이 에너지를 수확하면 수확된 에너지, 배터리에 남아있는 에너지의 양 및 피드백 받은 채널 정보를 고려하지 않고 에너지를 수확하면 수확하는 대로 모두 사용해버리는 경우이다.

[0058] SLSQP Greedy와 SLSQP Greedy(no-info σ_e)는 메시지를 개인메시지와 공유메시지로 나누어 함께 전송하는 전송률 분할 다중접속기술을 사용한 결과이고, Equal Greedy와 WF Greedy는 메시지를 개인메시지와 공유메시지로 나

누지 않고 유니캐스트(unicast) 방식으로만 메시지를 전송하고 있는 일반적인 다중접속기술이다.

[0059] 도 4의 실험 결과를 통해 메시지를 개인메시지와 공유메시지로 나누어 전송하는 전송률 분할 다중 접속기술이 공유 메시지를 사용하지 않는 다른 다중접속기술들에 비해 합 전송률 측면에서 우월한 성능을 보이고 있음을 알 수 있다.

[0060] 다시 도 5를 참조하면, 다음의 8가지 경우에 대해 비교하였다. SAC+SLSQP, SAC+SLSQP(no-info σ_e), SAC+WF, SAC+Equal, Equal Greedy, WF Greedy, SLSQP Greedy, SLSQP Greedy(no-info σ_e).

[0061] 도 5의 실험 결과를 통해 에너지 수확 환경에서 심층강화학습을 사용한 4가지 경우의 결과가 심층강화학습을 사용하지 않은 4가지 경우의 결과와 비교하여 합 전송률 측면에서 각각 우월한 성능을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 심층강화학습을 사용한 경우에 대해서 Greedy한 경우 각각을 동일 조건 하에서 비교해 보면 전송률 분할 다중접속기술이 공유메시지를 사용하지 않는 다른 다중접속기술들에 비해 우월한 성능을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 따라서, 본 발명에 따른 에너지 수확을 고려한 심층강화학습 기반 합 전송률 최대화를 위한 전송률 분할 다중접속 방법이 동일 조건의 통신 환경에서 기존의 다중접속기술들에 비해 우월한 성능을 보이고 있음을 알 수 있다.

[0062] 지금까지 살펴본 바와 같이, 본 발명의 실시 예에 따른 에너지 공급이 제한된 기지국이 합 전송률 최대화를 수행하기 위한 전송률 분할 다중접속 방법은 기지국이 복수의 단말들에게서 수신한 합 전송률 및 기지국 상태 정보를 기반으로 심층강화학습을 사용하여 송신전력을 결정하고 결정된 송신전력 내에서 최적화 기법을 사용하여 부호화된 공유 및 개인 스트림 각각에 대한 전력할당 및 빔포밍 설계를 함으로써 에너지 공급이 제한된 기지국이 변화하는 외부 에너지 및 통신 채널 상태에 적합하도록 공급받은 에너지를 효율적으로 사용 가능한 효과를 제공한다.

[0063] 본 발명에 따른 실시예는 다양한 수단, 예를 들어, 하드웨어, 펌웨어(firmware), 소프트웨어 또는 그것들의 결합 등에 의해 구현될 수 있다. 하드웨어에 의한 구현의 경우, 본 발명의 일 실시예는 하나 또는 그 이상의 ASICs(application specific integrated circuits), DSPs(digital signal processors), DSPDs(digital signal processing devices), PLDs(programmable logic devices), FPGAs(field programmable gate arrays), 프로세서, 컨트롤러, 마이크로 컨트롤러, 마이크로 프로세서 등에 의해 구현될 수 있다.

[0064] 펌웨어나 소프트웨어에 의한 구현의 경우, 본 발명의 일 실시예는 이상에서 설명된 기능 또는 동작들을 수행하는 모듈, 절차, 함수 등의 형태로 구현될 수 있다. 소프트웨어 코드는 메모리 유닛에 저장되어 프로세서에 의해 구동될 수 있다. 상기 메모리 유닛은 상기 프로세서 내부 또는 외부에 위치하여, 이미 공지된 다양한 수단에 의해 상기 프로세서와 데이터를 주고 받을 수 있다.

[0065] 한편, 본 발명의 실시예들은 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록 장치를 포함한다.

[0066] 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피디스크, 광 데이터 저장장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현하는 것을 포함한다. 또한, 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어, 분산 방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다. 그리고 본 발명을 구현하기 위한 기능적인(functional) 프로그램, 코드 및 코드 세그먼트들은 본 발명이 속하는 기술 분야의 프로그래머들에 의하여 용이하게 추론될 수 있다.

[0067] 다양한 변형예가 본 발명의 범위를 벗어남이 없이 본 명세서에 기술되고 예시된 구성 및 방법으로 만들어질 수 있으므로, 상기 상세한 설명에 포함되거나 첨부 도면에 도시된 모든 사항은 예시적인 것으로 본 발명을 제한하기 위한 것이 아니다. 따라서, 본 발명의 범위는 상술한 예시적인 실시예에 의해 제한되지 않으며, 이하의 청구범위 및 그 균등물에 따라서만 정해져야 한다.

부호의 설명

[0068] 10: i-1단계의 합 전송률 20: i단계의 기지국 상태 정보

30: SAC 알고리즘 40: i단계의 결정된 송신전력

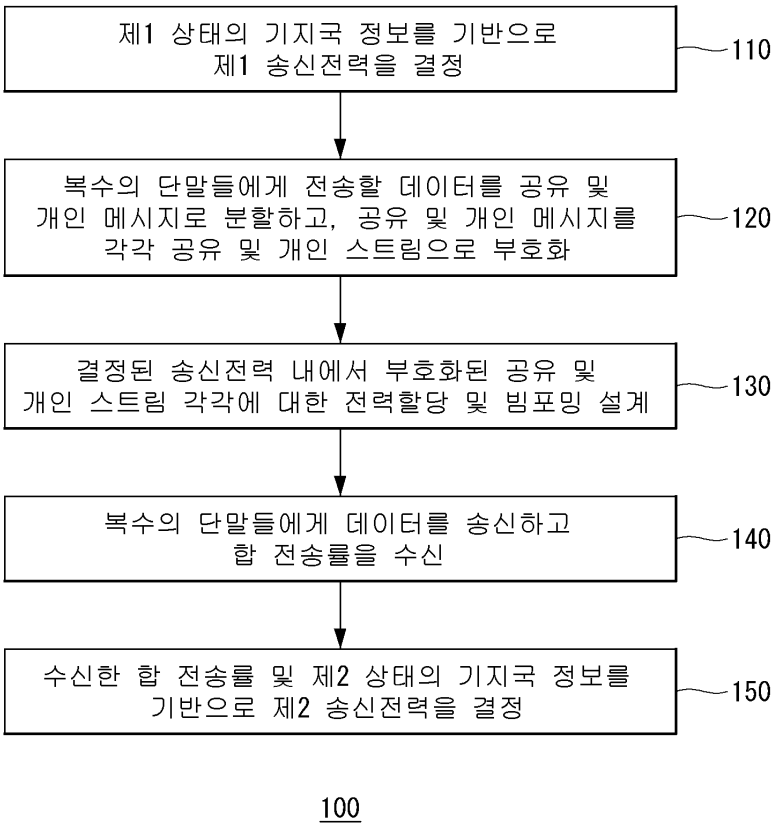
50: SLSQP 알고리즘 200: 기지국

210: 송수신부 220: 프로세서

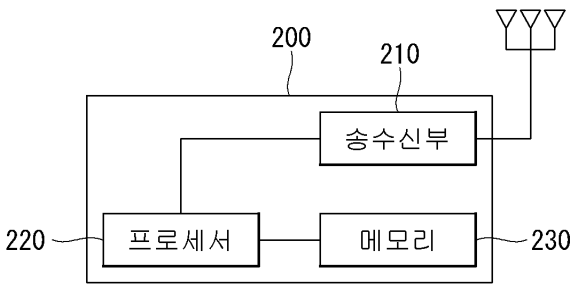
230: 메모리 300: 사용자 단말들

도면

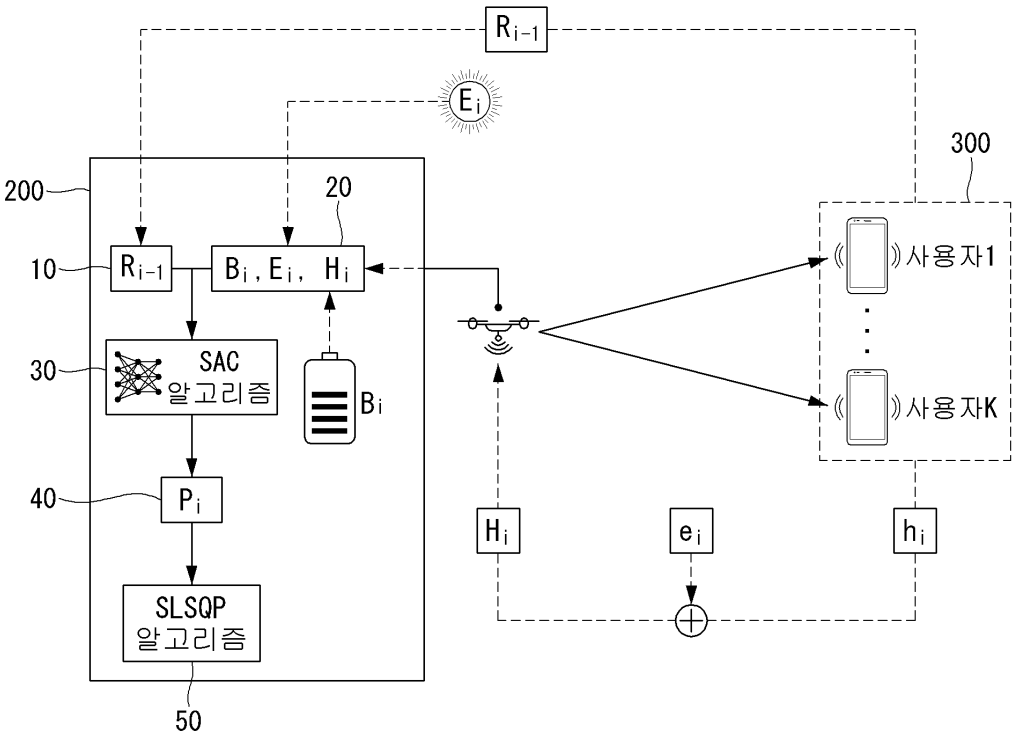
도면1



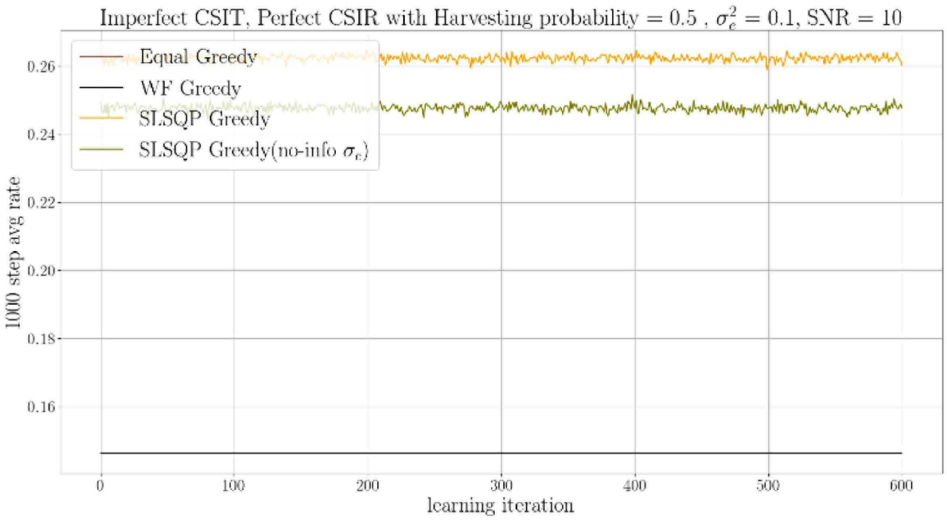
도면2



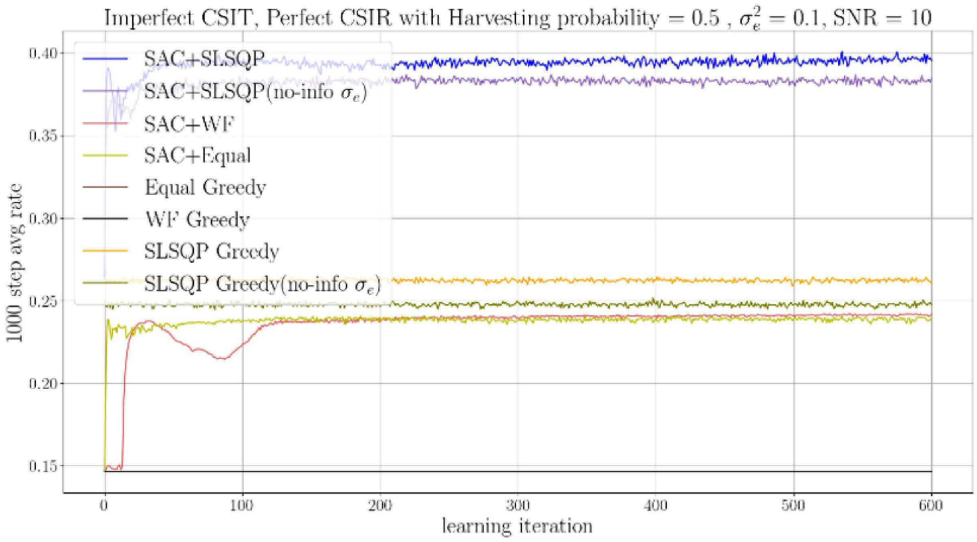
도면3


Ri-1
Ei
300
200
20
10
Ri-1
Bi , Ei , Hi
사용자1
30
SAC
알고리즘
Bi
사용자K
40
Pi
Hi
ei
hi
SLSQP
알고리즘
50

도면4


Imperfect CSIT, Perfect CSIR with Harvesting probability = 0.5 , σ_e^2 = 0.1, SNR = 10
Equal Greedy
WF Greedy
SLSQP Greedy
SLSQP Greedy(no-info σ_e)
1000 step avg rate
0.26
0.24
0.22
0.20
0.18
0.16
0
100
200
300
400
500
600
learning iteration

도면5


Imperfect CSIT, Perfect CSIR with Harvesting probability = 0.5 , $\sigma_e^2 = 0.1$, SNR = 10
SAC+SLSQP
SAC+SLSQP(no-info σ_e)
SAC+WF
SAC+Equal
Equal Greedy
WF Greedy
SLSQP Greedy
SLSQP Greedy(no-info σ_e)
1000 step avg rate
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0
100
200
300
400
500
600
learning iteration