

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2024-0071977
(43) 공개일자 2024년05월23일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 24/02 (2009.01) G06N 3/08 (2023.01)
H04B 7/145 (2006.01) H04W 52/36 (2009.01)
H04W 88/08 (2009.01)
- (52) CPC특허분류
H04W 24/02 (2013.01)
G06N 3/08 (2023.01)
- (21) 출원번호 10-2023-0016273
(22) 출원일자 2023년02월07일
심사청구일자 2023년02월07일
- (30) 우선권주장
1020220152749 2022년11월15일 대한민국(KR)
- (71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
- (72) 발명자
홍충선
경기도 용인시 수지구 상현로 30-10, 4813동 101호(상현동, 광고상떼빌파크뷰)
- 피예손
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 경희대학교 전자정보대학 352호
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
두호특허법인

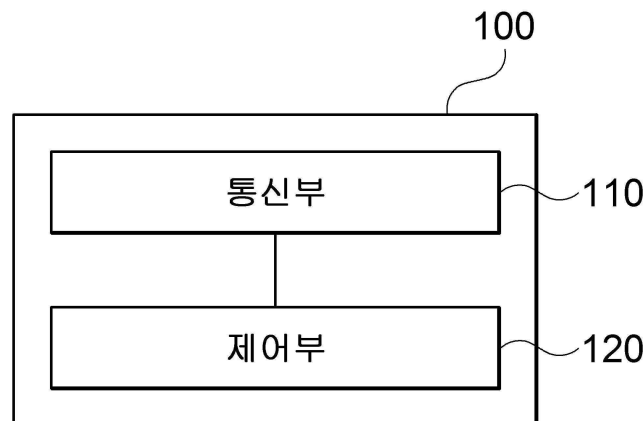
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 다중 RIS 통신을 지원하는 기지국 및 기지국의 동작 방법

(57) 요약

다중 RIS 통신을 지원하는 기지국 및 기지국의 동작 방법이 개시된다. 일 실시예에 따른 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면을 통하여 하나 이상의 사용자 단말과 통신을 수행하는 기지국은 하나 이상의 사용자 단말 및 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면(Reconfigurable Intelligent Surface, RIS) 중 적어도 하나와 통신을 수행하는 통신부; 및 통신부와 연결된 제어부를 포함하며, 제어부는 통신부를 통해 연결된 하나 이상의 사용자 단말에 대한 데이터 전송 속도(data rate)의 합을 최대로 만드는 하나 이상의 사용자 단말과 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면의 매칭 상태, 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 on/off 상태, 총 소비 전력 및 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 위상 값을 결정할 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

H04B 7/145 (2013.01)

H04W 52/367 (2013.01)

H04W 88/08 (2013.01)

(72) 발명자

홍상훈

경기도 용인시 수지구 성북1로163번길 11, 205동
101호(성북동, 버들치마을 경남아너스빌2차)

김현수

경기도 성남시 분당구 정자로 143, 205동 1304호(
정자동, 한솔마을)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711162037
과제번호	2020R1A4A1018607
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원
연구과제명	Meta Federated Learning기반 이동엣지 컴퓨팅시스템 핵심구조 개발
기 여 율	1/4
과제수행기관명	경희대학교(국제캠퍼스)
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711193491
과제번호	2019-0-01287-005
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	SW컴퓨팅산업원천기술개발
연구과제명	(스타랩)분산 엣지를 위한 진화형 딥러닝 모델생성 플랫폼_2단계
기 여 율	1/4
과제수행기관명	경희대학교(국제캠퍼스)
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711193622
과제번호	2021-0-02068-003
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	정보통신방송혁신인재양성
연구과제명	인공지능 혁신 허브 연구 개발
기 여 율	1/4
과제수행기관명	고려대학교산학협력단
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711179316
과제번호	155911
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	인공지능융합혁신인재양성
연구과제명	인공지능융합혁신인재양성(경희대학교)
기 여 율	1/4
과제수행기관명	경희대학교산학협력단
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면을 통하여 하나 이상의 사용자 단말과 통신을 수행하는 기지국에 있어서,

하나 이상의 사용자 단말 및 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면(Reconfigurable Intelligent Surface, RIS) 중 적어도 하나와 통신을 수행하는 통신부; 및

상기 통신부와 연결된 제어부를 포함하며,

상기 제어부는

통신부를 통해 연결된 하나 이상의 사용자 단말에 대한 데이터 전송 속도(data rate)의 합을 최대로 만드는 하나 이상의 사용자 단말과 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면의 매칭 상태, 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 on/off 상태, 총 소비 전력 및 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 위상값을 결정하는, 기지국.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 하나 이상의 사용자 단말과 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면의 매칭 상태는 기지국이 하나 이상의 사용자 단말 각각에 신호를 송신 및 수신 중 적어도 하나를 하는 데 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면 각각을 이용하는지 여부를 나타내는, 기지국.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면 중 하나 이상의 사용자 단말이 매칭된 재구성 가능한 지능형 표면의 경우, 매칭된 하나 이상의 사용자 단말 각각에 적어도 하나의 반사 요소를 on 상태로 할당하는, 기지국.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 총 소비 전력은

기지국의 전송 전력, 기지국의 회로 소비 전력, 하나 이상의 사용자 단말 각각의 회로 소비 전력 및 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면 각각의 회로 소비 전력의 합인, 기지국.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 기지국의 전송 전력은 기지국에서 하나 이상의 사용자 단말로 신호를 전송하기 위한 전력의 합이며, 상기 기지국의 전송 전력은 기지국의 최대 기지국의 전송 전력 이하인, 기지국.

청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면 각각의 회로 소비 전력은 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면이 위상 변환을 위해 소비하는 전력을 포함하는, 기지국.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 하나 이상의 사용자 단말에 대한 데이터 전송 속도 각각은 최소 데이터 전송 속도 이상인, 기지국.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 제어부는

심층 강화학습(deep reinforcement learning, DRL) 및 컨벡스 최적화(convex optimization)를 이용하여 하나 이상의 사용자 단말에 대한 데이터 전송 속도(data rate)의 합을 최대로 만드는 하나 이상의 사용자 단말과 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면의 매칭 상태, 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 on/off 상태, 총 소비 전력 및 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 위상값을 결정하는, 기지국.

청구항 9

하나 이상의 프로세서들, 및

상기 하나 이상의 프로세서들에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램들을 저장하는 메모리를 구비하며, 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면을 통하여 하나 이상의 사용자 단말과 통신을 수행하는 기지국의 동작 방법으로서,

통신을 수행할 하나 이상의 사용자 단말을 결정하는 단계; 및

하나 이상의 사용자 단말에 대한 데이터 전송 속도(data rate)의 합을 최대로 만드는 하나 이상의 사용자 단말과 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면의 매칭 상태, 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 on/off 상태, 총 소비 전력 및 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 위상값을 결정하는 단계를 포함하는, 기지국의 동작 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 하나 이상의 사용자 단말과 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면의 매칭 상태는 기지국이 하나 이상의 사용자 단말 각각에 신호를 송신 및 수신 중 적어도 하나를 하는 데 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면 각각을 이용하는지 여부를 나타내는, 기지국의 동작 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면 중 하나 이상의 사용자 단말이 매칭된 재구성 가능한 지능형 표면

의 경우, 매칭된 하나 이상의 사용자 단말 각각에 적어도 하나의 반사 요소를 on 상태로 할당하는, 기지국의 동작 방법.

청구항 12

제 9 항에 있어서,

상기 총 소비 전력은

기지국의 전송 전력, 기지국의 회로 소비 전력, 하나 이상의 사용자 단말 각각의 회로 소비 전력 및 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면 각각의 회로 소비 전력의 합인, 기지국의 동작 방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 기지국의 전송 전력은 기지국에서 하나 이상의 사용자 단말로 신호를 전송하기 위한 전력의 합이며, 상기 기지국의 전송 전력은 기지국의 최대 기지국의 전송 전력 이하인, 기지국의 동작 방법.

청구항 14

제 12 항에 있어서,

상기 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면 각각의 회로 소비 전력은 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면이 위상 변환을 위해 소비하는 전력을 포함하는, 기지국의 동작 방법.

청구항 15

제 9 항에 있어서,

상기 하나 이상의 사용자 단말에 대한 데이터 전송 속도 각각은 최소 데이터 전송 속도 이상인, 기지국의 동작 방법.

청구항 16

제 9 항에 있어서,

상기 결정하는 단계는

심층 강화학습(deep reinforcement learning, DRL) 및 컨벡스 최적화(convex optimization)를 이용하여 하나 이상의 사용자 단말에 대한 데이터 전송 속도(data rate)의 합을 최대로 만드는 하나 이상의 사용자 단말과 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면의 매칭 상태, 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 on/off 상태, 총 소비 전력 및 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 위상값을 결정하는, 기지국의 동작 방법.

청구항 17

비일시적 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(non-transitory computer readable storage medium)에 저장된 컴퓨터 프로그램으로서,

상기 컴퓨터 프로그램은 하나 이상의 명령어들을 포함하고, 상기 명령어들은 하나 이상의 프로세서들을 갖는 컴퓨팅 장치에 의해 실행될 때, 상기 컴퓨팅 장치로 하여금,

통신을 수행할 하나 이상의 사용자 단말을 결정하는 단계; 및

하나 이상의 사용자 단말에 대한 데이터 전송 속도(data rate)의 합을 최대로 만드는 하나 이상의 사용자 단말과 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면의 매칭 상태, 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 on/off 상태, 총 소비 전력 및 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 위상값을 결정하는 단계를 수행하도록 하는, 컴퓨터 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 다중 RIS 통신을 지원하는 기지국 및 기지국의 동작 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 사물인터넷(IoT)과 증강현실(AR), 가상현실(VR), 영상 스트리밍, 온라인 게임 등의 멀티미디어 어플리케이션의 방대한 성장으로 많은 대역폭의 사용이 요구되고 있으며, 이에 따라 많은 에너지의 사용이 필요하게 되었다. 이러한 에너지 소모 문제를 해결하기 위해 네트워크 구조를 발전시키기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.

[0004] 최근 5세대 무선 네트워크(5G), 6세대 무선 네트워크(6G)의 등장으로 재구성 가능한 지능형 표면(Reconfigurable Intelligent Surface, RIS)은 쉬운 배치, 스펙트럼 효율성의 향상 및 비용적 효율성으로 인해 학문 및 산업 분야 모두에 엄청난 관심을 받게 되었다.

[0005] RIS는 수신 신호를 다양한 방식으로 반사하도록 프로그래밍 할 수 있는 전자회로가 통합된 인공적으로 구성 되어있는 메타 표면이며, 각각의 RIS 유닛은 저비용의 반사 요소를 갖고 있다. RIS는 이산형 또는 연속 구조에서 위상 편이 방향을 지정할 수 있도록 반사 요소를 전자적으로 제어할 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제10-2022-0156599호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 다중 RIS 통신을 지원하는 기지국 및 기지국의 동작 방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 일 양상에 따르면, 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면을 통하여 하나 이상의 사용자 단말과 통신을 수행하는 기지국은 하나 이상의 사용자 단말 및 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면(Reconfigurable Intelligent Surface, RIS) 중 적어도 하나와 통신을 수행하는 통신부; 및 통신부와 연결된 제어부를 포함하며, 제어부는 통신부를 통해 연결된 하나 이상의 사용자 단말에 대한 데이터 전송 속도(data rate)의 합을 최대로 만드는 하나 이상의 사용자 단말과 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면의 매칭 상태, 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 on/off 상태, 총 소비 전력 및 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 위상값을 결정할 수 있다.

[0011] 하나 이상의 사용자 단말과 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면의 매칭 상태는 기지국이 하나 이상의 사용자 단말 각각에 신호를 송신 및 수신 중 적어도 하나를 하는 데 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면 각각을 이용하는지 여부를 나타낼 수 있다.

- [0012] 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면 중 하나 이상의 사용자 단말이 매칭된 재구성 가능한 지능형 표면의 경우, 매칭된 하나 이상의 사용자 단말 각각에 적어도 하나의 반사 요소를 on 상태로 할당할 수 있다.
- [0013] 총 소비 전력은 기지국의 전송 전력, 기지국의 회로 소비 전력, 하나 이상의 사용자 단말 각각의 회로 소비 전력 및 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면 각각의 회로 소비 전력의 합일 수 있다.
- [0014] 기지국의 전송 전력은 기지국에서 하나 이상의 사용자 단말로 신호를 전송하기 위한 전력의 합이며, 기지국의 전송 전력은 기지국의 최대 기지국의 전송 전력 이하일 수 있다.
- [0015] 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면 각각의 회로 소비 전력은 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면이 위상 변환을 위해 소비하는 전력을 포함할 수 있다.
- [0016] 하나 이상의 사용자 단말에 대한 데이터 전송 속도 각각은 최소 데이터 전송 속도 이상일 수 있다.
- [0017] 제어부는 심층 강화학습(deep reinforcement learning, DRL) 및 컨벡스 최적화(convex optimization)를 이용하여 하나 이상의 사용자 단말에 대한 데이터 전송 속도(data rate)의 합을 최대로 만드는 하나 이상의 사용자 단말과 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면의 매칭 상태, 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 on/off 상태, 총 소비 전력 및 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 위상값을 결정할 수 있다.
- [0018] 일 양상에 따르면, 하나 이상의 프로세서들, 및 하나 이상의 프로세서들에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램들을 저장하는 메모리를 구비하며, 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면을 통하여 하나 이상의 사용자 단말과 통신을 수행하는 기지국의 동작 방법은 통신을 수행할 하나 이상의 사용자 단말을 결정하는 단계; 및 하나 이상의 사용자 단말에 대한 데이터 전송 속도(data rate)의 합을 최대로 만드는 하나 이상의 사용자 단말과 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면의 매칭 상태, 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 on/off 상태, 총 소비 전력 및 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 위상값을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0019] 일 양상에 따르면, 비일시적 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(non-transitory computer readable storage medium)에 저장된 컴퓨터 프로그램으로서, 컴퓨터 프로그램은 하나 이상의 명령어들을 포함하고, 명령어들은 하나 이상의 프로세서들을 갖는 컴퓨팅 장치에 의해 실행될 때, 컴퓨팅 장치로 하여금, 통신을 수행할 하나 이상의 사용자 단말을 결정하는 단계; 및 하나 이상의 사용자 단말에 대한 데이터 전송 속도(data rate)의 합을 최대로 만드는 하나 이상의 사용자 단말과 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면의 매칭 상태, 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 on/off 상태, 총 소비 전력 및 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 위상값을 결정하는 단계를 수행하도록 할 수 있다.

발명의 효과

- [0021] 다중 RIS 통신을 지원하여 네트워크의 에너지 효율을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0023] 도 1은 일 실시예에 따른 기지국이 동작하는 환경을 설명하기 위한 예시도이다.
- 도 2는 일 실시예에 따른 기지국의 구성도이다.
- 도 3은 일 실시예에 따른 기지국의 동작 방법을 도시한 흐름도이다.
- 도 4는 예시적인 실시예들에서 사용되기에 적합한 컴퓨팅 장치를 포함하는 컴퓨팅 환경을 예시하여 설명하기 위한 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0024] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 구체적인 실시형태를 설명하기로 한다. 이하의 상세한 설명은 본 명세서에서 기술된 방법, 장치 및/또는 시스템에 대한 포괄적인 이해를 돕기 위해 제공된다. 그러나 이는 예시에 불과하며 본 발명은 이에 제한되지 않는다.

[0025] 본 발명의 실시예들을 설명함에 있어서, 본 발명과 관련된 공지기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다. 그리고, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다. 상세한 설명에서 사용되는 용어는 단지 본 발명의 실시예들을 기술하기 위한 것이며, 결코 제한적이어서는 안 된다. 명확하게 달리 사용되지 않는 한, 단수 형태의 표현은 복수 형태의 의미를 포함한다. 본 설명에서, "포함" 또는 "구비"와 같은 표현은 어떤 특성들, 숫자들, 단계들, 동작들, 요소들, 이들의 일부 또는 조합을 가리키기 위한 것이며, 기술된 것 이외에 하나 또는 그 이상의 다른 특성, 숫자, 단계, 동작, 요소, 이들의 일부 또는 조합의 존재 또는 가능성을 배제하도록 해석되어서는 안 된다.

[0026] 또한, 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 구성 요소들은 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로 사용될 수 있다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성 요소는 제2 구성 요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성 요소도 제1 구성 요소로 명명될 수 있다.

[0027] 도 1은 일 실시예에 따른 기지국이 동작하는 환경을 설명하기 위한 예시도이다.

[0028] 기지국과 사용자 단말 사이에 장애물이 있는 경우, 송신기와 수신기 사이의 강한 세기의 LoS(Line of Sight) 링크를 얻기 어렵다. 이때, 여러 개의 RIS를 배치하면 빠른 전송을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 수신 신호 강도를 향상시키기 위한 다양한 경로를 설정할 수 있다.

[0029] 일 예로, 재구성 가능한 지능형 표면은 수신 신호를 다양한 방식으로 반사하도록 프로그래밍 할 수 있는 전자회로가 통합된 인공적으로 구성 되어있는 메타 표면이다. 각각의 RIS 유닛은 저비용의 반사 요소(reflective elements, RE)를 갖고 있으며, 이산형 또는 연속 구조에서 위상 편이 방향을 지정할 수 있도록 전자적으로 제어될 수 있다.

[0030] 일 예에 따르면, 기지국이 사용자 단말과 통신을 수행하는 경우, 기지국은 사용자 단말과 직접 연결될 수 있으며, 재구성 가능한 지능형 표면을 통해 사용자 단말과 연결될 수도 있다. 이때, 기지국은 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 반사 요소들 중 적어도 하나를 사용자 단말에 할당할 수 있으며, 할당된 반사 요소들의 위상값을 제어할 수 있다.

[0031] 일 예로, 도 1은 다중 RIS 기반 무선 다운링크 통신 시스템이라는 상황을 가정한다. 도 1을 참조하면, 통신 시스템은 다중 안테나를 가지고 있는 단일 기지국 BS(100), r 개의 RIS 집합을 R , 단일 안테나로 구성된 k 개의 사용자 단말 집합을 K 이라 한다. 각각의 RIS r 은 $r \in R$ 이며, RIS들의 반사 요소들은 $N_r = [1_r, 2_r, \dots, N_r]$ 의 집합으로 나타낼 수 있다. 각각의 반사 요소는 n_r 로 나타내며, 통신 서비스를 활용하기 위해서 입사 신호를 재구성할 위상 변환 장치와 함께 할당될 수 있다. 기지국의 가용 무선 주파수는 각각의 반송 주파수 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_K\}$ 로 나뉘며 W 의 대역폭을 갖는다. 또한, 기지국과 사용자가 서로 다른 반송 주파수를 통해 전송된다고 가정할 때, RIS는 모든 수신 신호를 반영하더라도 주어진 반송 주파수의 수신신호는 사용자에게 디코딩 될 수 있다.

[0032] 일 예로, 기지국과 사용자 사이의 직접 및 간접 통신을 모두 고려하며, 직접 통신 링크는 레일리 페이딩을 기초로 모델링될 수 있다. 이에 따라, 기지국과 사용자 단말 k 간의 채널 이득은 수학식 1과 같이 나타낼 수 있다.

[0033] [수학식 1]

$$H_{B,k} = \sqrt{\rho d_{b,k}^{-\alpha_{b,k}}} \tilde{h}$$

[0034]

[0036] 여기서, $d_{b,k}$ 는 사용자 단말 k 와 기지국 간의 거리이며, ρ 는 $d_0 = 1m$ 기준 거리에서의 경로 손실을 나타낸다.

$\alpha_{k \geq 2}$ 는 경로 손실 지수이며, $\tilde{h}$ 는 단위 분산과 평균이 0인 복소 가우스 랜덤 변수의 랜덤한 산란 요소이다. 간접 통신 링크의 경우 기지국과 RIS 그리고 RIS와 사용자 단말 간 통신에 대한 두 가지 구성 요소가 있다. 기지국과 RIS 통신에서는 레일리 페이딩을 사용할 수 있다. 이에 따라, 기지국과 RIS 간 채널 이득은 r 이며, $h_{B,r}$ 은 수학식 1에 기반하여 구성될 수 있다. RIS와 사용자 단말 간 통신에서는 LoS와 NLoS(Non-LoS) 모두를 고려할 수 있다. 이에 따라, RIS r 과 사용자 단말 k 사이의 채널 이득은 라이시안 페이딩을 적용할 수 있으며, 아래 수

학식 2와 같이 나타낼 수 있다.

[수학식 2]

$$\mathbf{h}_{r,k} = \sqrt{\rho d_{r,k}^{-\alpha_{r,k}}} \left(\sqrt{\frac{\hat{R}}{1 + \hat{R}}} \mathbf{h}_{r,k}^{LoS} + \sqrt{\frac{1}{1 + \hat{R}}} \mathbf{h}_{r,k}^{NLoS} \right)$$

여기서, $d_{r,k}$ 는 RIS r과 사용자 단말 k사이의 거리이며, $\hat{R}$ 은 라이시안 페이딩을 나타낸다. 그리고, $\mathbf{h}_{r,k}^{LoS}$ 는 출발 각(AoD)을 포함하는 결정적인 LOS 성분 벡터이다. $\mathbf{h}_{r,k}^{NLoS}$ 는 NLoS 성분 벡터로 각각 동일하고 독립적으로 분포된 (i.i.d) 복잡한 가우스 분포를 따른다. RIS r에 들어있는 반사 요소 n은 수학식 3과 같이 실현 가능한 위상 편이 값 집합의 입사 신호를 반영한다.

[수학식 3]

$$\theta_{n_r} = e^{j\frac{2\pi\phi}{2^b}}, \forall r \in \mathcal{R}, \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

여기서, ϕ 은 위상 편이 지수이고, b는 비트에서의 위상 변이체의 해결책이다. 이에 따라, RIS r의 위상 편이 값은 $\Theta_r = [\theta_{1r}, \theta_{2r}, \dots, \theta_{N_r}]$ 의 벡터로 나타낼 수 있다. 결론적으로, 반사 계수 행렬은 Θ_r 이며, 아래 수학식 4와 같이 나타낼 수 있다.

[수학식 4]

$$\Theta_r = \text{diag}(k_{1r} e^{j\theta_{1r}}, k_{2r} e^{j\theta_{2r}}, \dots, k_{N_r} e^{j\theta_{N_r}})$$

여기서, k_{nr} 은 RIS r의 n번 반사 요소의 증폭 반사 계수이고, j는 복소수이다. 이를 적용하는 경우, 사용자 단말 k에서 수신된 신호는 수학식 5와 같이 나타낼 수 있다.

[수학식 5]

$$\mathbf{y}_k = \sqrt{p_k} \left(\mathbf{H}_{B,k} \mathbf{s}_k + \sum_{r=1}^R \mathbf{h}_{r,k} \Theta_r \mathbf{h}_{B,r}^H \mathbf{s}_k \right) + \mathbf{w}_k$$

여기서, p_k 와 s_k 는 각각 사용자 단말 k에 대한 기지국의 전송 전력과 단위 전력 복합체에 기반한 전송 신호이며, $\mathbf{w}_k$ 는 수신기에서의 부가적인 가우시안 백색잡음을 나타낸다.

도 2는 일 실시예에 따른 기지국의 구성도이다.

일 실시예에 따르면, 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면을 통하여 하나 이상의 사용자 단말과 통신을 수행하는 기지국(100)은 하나 이상의 사용자 단말 및 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면(Reconfigurable Intelligent Surface, RIS) 중 적어도 하나와 통신을 수행하는 통신부(110) 및 통신부(110)와 연결된 제어부(120)를 포함할 수 있다.

일 예로, 기지국(100)은 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면과 유선 또는 무선으로 연결될 수 있다. 제어부(120)는 통신부(110)를 통하여 유선 또는 무선으로 연결된 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 반사 요소의 전원 및 위상값을 제어할 수 있다.

일 실시예에 따르면, 제어부(120)는 통신부(110)를 통해 연결된 하나 이상의 사용자 단말에 대한 데이터 전송 속도(data rate)의 합을 최대로 만드는 하나 이상의 사용자 단말과 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면의 매칭 상태, 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 on/off 상태, 총 소비

전력 및 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 위상값을 결정할 수 있다.

일 예로, 제어부(120)는 아래 수학적 식 6에 기초하여 최적화를 수행할 수 있다.

[수학적 식 6]

$$\mathbf{\tilde{p}}: \max_{\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{p}, \boldsymbol{\theta}} \frac{\sum_{k=1}^K r_k}{P}$$

$$\text{s.t. C1: } \sum_{k=1}^K p_k \leq P_{\max}$$

$$\text{C2: } r_k \geq r_k^{\min}, \forall k \in \mathcal{K}$$

$$\text{C3: } 0 \leq \theta_{n_r} < 2\pi, \forall r \in \mathcal{R}, \forall n \in \mathcal{N}$$

$$\text{C4: } y_k^{n_r} \leq x_k^r, \forall k \in \mathcal{K}, \forall r \in \mathcal{R}$$

$$\text{C5: } x_k^r \in \{0, 1\}, \forall r \in \mathcal{R}$$

$$\text{C6: } y_k^{n_r} \in \{0, 1\}, \forall k \in \mathcal{K}$$

여기서, 제약조건 C1은 기지국의 총 전송 전력이 기지국에서 사용 가능 가능한 최대 전력인 $P_{\max}$ 보다 작아야 함을 나타낸다. 제약조건 C2는 각 사용자의 QoS(Quality of Service) 제약 조건을 나타낸다. 제약조건 C3은 위상변이 값이 0과 2π 에 있어야 하며, $\theta_{n_r} \in [0, 2\pi]$ 처럼 나타낸다. 제약조건 C4는 어떠한 RIS $r \in \mathcal{R}$ 이라도 RIS에 사용자 k 가 속해있다면 해당 RIS의 반사 요소는 사용자 k 에 대해 on이어야 한다는 조건을 나타낸다. 마지막으로, 제약조건 C5와 C6은 사용자와 RIS의 연결 및 반사요소 On/Off 상태의 이진 제약조건을 각각 나타낸다.

일 예로, 수학적 식 6에서의 데이터 전송속도는 아래 수학적 식 7과 같이 나타낼 수 있다.

[수학적 식 7]

$$r_k = W \log_2 1 + \gamma_k$$

여기서, W 는 사용자 단말에 대한 총 가용 대역폭을 나타내며, γ_k 는 신호 대 잡음비(SNR)로 아래 수학적 식 8과 같이 나타낼 수 있다.

[수학적 식 8]

$$\gamma_k = \frac{p_k |h_{B,k} s_k + \sum_{r=1}^R \sum_{n=1}^{N_r} x_k^r y_k^{n_r} h_{r,k} \theta_r h_{B,r} s_k|^2}{\sigma^2}$$

일 실시예에 따르면, 하나 이상의 사용자 단말과 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면의 매칭 상태는 기지국이 하나 이상의 사용자 단말 각각에 신호를 송신 및 수신 중 적어도 하나를 하는 데 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면 각각을 이용하는지 여부를 나타낼 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 사용자 단말과 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면의 매칭 상태는 $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{|\mathcal{K}| \times |\mathcal{R}|}$ 와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, $\mathbf{X}$ 는 수학적 식 6의 매개변수를 나타내며, 시스템에 있는 모든 RIS $|\mathcal{R}|$ 에 대한 모든 사용자 단말 $|\mathcal{K}|$ 의 연관 행렬을 나타낸다. 각각의 사용자 단말 k 에 대해서 연관 행렬의 각 요소는 아래 수학적 식 9과 같이 나타낼 수 있다.

[0077] [수학식 9]

[0078]
$$x_k^r = \begin{cases} 1, & \text{if BS transmit to UE } K \text{ via RIS } r \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0080] 일 실시예에 따르면, 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면 중 하나 이상의 사용자 단말이 매칭된 재구성 가능한 지능형 표면의 경우, 매칭된 하나 이상의 사용자 단말 각각에 적어도 하나의 반사 요소를 on 상태로 할당할 수 있다. 예를 들어, 수학식 6의 제약조건 C4와 같이 어떠한 RIS $r \in R$ 이라도 RIS에 사용자 k 가 속해있다면 해당 RIS의 반사 요소는 사용자 k 에 대해 on이어야 한다.

[0081] 일 예로, $Y \in R^{[R] \times [N]}$ 는 모든 반사 요소 $|N_r|$ 에 대한 On/Off 상태 행렬이며, 수학식 6의 매개변수를 나타낸다. 예를 들어, 기지국은 에너지를 비축하기 위해 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 스위치를 On/Off할 수 있다. 이때, 각 반사 요소 n_r 에 대한 ON/OFF 상태는 아래 수학식 10과 같이 정의할 수 있다.

[0082] [수학식 10]

[0083]
$$y_k^{n_r} = \begin{cases} 1, & \text{if reflective elements } n_r \text{ is switched on} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0085] 일 실시예에 따르면, 총 소비 전력은 기지국의 전송 전력, 기지국의 회로 소비 전력, 하나 이상의 사용자 단말 각각의 회로 소비 전력 및 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면 각각의 회로 소비 전력의 합일 수 있다. 예를 들어, 기지국이 모든 RIS 반사 요소의 위상 변환을 제어한다고 가정할 수 있다. 또한, RIS 반사 요소가 수동적인 요소이며 전송을 위해 어떠한 전력을 소비하지 않는다고 가정할 수 있다. 이러한 경우, 다중 RIS가 지원하는 통신의 총 전력은 기지국 전송 전력, RIS 위상 변환을 위한 전력, 모든 사용자와 기지국의 회로 전력 소비로 구성될 수 있다. 이에 따라, 시스템의 총 전력 소비량은 아래 수학식 11과 같이 나타낼 수 있다.

[0086] [수학식 11]

[0087]
$$P = \sum_{k=1}^K (\theta p_k + P_k^c) + \sum_{r=1}^R \sum_{n=1}^{N_r} x_k^r y_k^{n_r} N_r P_{RIS} + \hat{P}_B$$

[0089] 여기서, $1/\theta$ 은 송신 전력 증폭기의 효율, p_k 는 기지국의 전송 전력, P_k^c 는 각 사용자 단말 k 의 회로 전력을 나타낸다. P_{RIS} 와 $\hat{P}_B$ 는 각각 RIS r 의 회로 전력 소비량과 기지국의 회로 전력 소비량을 나타낸다.

[0090] 일 실시예에 따르면, 기지국의 전송 전력은 기지국에서 하나 이상의 사용자 단말로 신호를 전송하기 위한 전력의 합이며, 기지국의 전송 전력은 기지국의 최대 기지국의 전송 전력 이하일 수 있다. 예를 들어, 수학식 6의 제약조건 C1과 같이 기지국의 총 전송 전력이 기지국에서 사용 가능한 최대 전력인 P_{max} 보다 작아야 한다.

[0091] 일 실시예에 따르면, 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면 각각의 회로 소비 전력은 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면이 위상 변환을 위해 소비하는 전력을 포함할 수 있다. 예를 들어, 재구성 가능한 지능형 표면 각각의 회로 소비 전력은 수학식 11의 P_{RIS} 를 포함할 수 있다.

[0092] 일 실시예에 따르면, 하나 이상의 사용자 단말에 대한 데이터 전송 속도 각각은 최소 데이터 전송 속도 이상일 수 있다. 예를 들어, 수학식 6의 제약조건 C2와 같이 각 사용자의 QoS를 보장하기 위하여 사용자 단말에 대한 데이터 전송 속도 각각은 최소 데이터 전송 속도 이상이어야 한다.

[0093] 일 실시예에 따르면, 제어부(110)는 심층 강화학습(deep reinforcement learning, DRL) 및 컨벡스 최적화(convex optimization)를 이용하여 하나 이상의 사용자 단말에 대한 데이터 전송 속도(data rate)의 합을 최대한으로 만드는 하나 이상의 사용자 단말과 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면의 매칭 상태, 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 on/off 상태, 총 소비 전력 및 하나 이상의 재구성

가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 위상값을 결정할 수 있다.

- [0094] 예를 들어, 수학식 6의 결정변수 X , Y , P 와 θ 는 제약조건 C2와 목적 함수에서 공통적으로 연관 되어있다. 또한, 공식화한 문제는 혼합 정수형이며, 컨벡스 하지 않다. 결과적으로, 문제는 NP-Hard 문제가 되고 다항 시간 안에 풀기 어렵다. 이에 따라, BCD 접근법을 적용하는 경우, 문제를 두가지 하위 문제로 나눌 수 있다. 예를 들어, 1) 다수 사용자-RIS 연결, 반사 요소의 ON/OFF 상태, 위상 변이 문제 및 2) 전력 제어 문제로 나눌 수 있다. 이후, 제어부(120)는 하위 문제를 해결하기 위해 DRL방식과 컨벡스 최적화 기법을 적용할 수 있다.
- [0095] 도 3은 일 실시예에 따른 기지국의 동작 방법을 도시한 흐름도이다.
- [0096] 일 예에 따르면, 기지국은 하나 이상의 프로세서들, 및 하나 이상의 프로세서들에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램들을 저장하는 메모리를 구비하며, 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면을 통하여 하나 이상의 사용자 단말과 통신을 수행할 수 있다. 이를 위하여 기지국은 통신을 수행할 하나 이상의 사용자 단말을 결정할 수 있다(310). 이후, 기지국은 하나 이상의 사용자 단말에 대한 데이터 전송 속도(data rate)의 합을 최대로 만드는 하나 이상의 사용자 단말과 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면의 매칭 상태, 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 on/off 상태, 총 소비 전력 및 하나 이상의 재구성 가능한 지능형 표면에 포함된 하나 이상의 반사 요소의 위상값을 결정할 수 있다(320).
- [0097] 도 3의 실시예 중 도 1 내지 도 2를 참조하여 설명한 내용과 중복되는 내용은 생략하였다.
- [0098] 도 4는 예시적인 실시예들에서 사용되기에 적합한 컴퓨팅 장치를 포함하는 컴퓨팅 환경(10)을 예시하여 설명하기 위한 블록도이다. 도시된 실시예에서, 각 컴포넌트들은 이하에 기술된 것 이외에 상이한 기능 및 능력을 가질 수 있고, 이하에 기술된 것 이외에도 추가적인 컴포넌트를 포함할 수 있다.
- [0099] 도시된 컴퓨팅 환경(10)은 컴퓨팅 장치(12)를 포함한다. 일 실시예에서, 컴퓨팅 장치(12)는 기지국일 수 있다.
- [0100] 컴퓨팅 장치(12)는 적어도 하나의 프로세서(14), 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16) 및 통신 버스(18)를 포함한다. 프로세서(14)는 컴퓨팅 장치(12)로 하여금 앞서 언급된 예시적인 실시예에 따라 동작하도록 할 수 있다. 예컨대, 프로세서(14)는 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16)에 저장된 하나 이상의 프로그램들을 실행할 수 있다. 하나 이상의 프로그램들은 하나 이상의 컴퓨터 실행 가능 명령어를 포함할 수 있으며, 컴퓨터 실행 가능 명령어는 프로세서(14)에 의해 실행되는 경우 컴퓨팅 장치(12)로 하여금 예시적인 실시예에 따른 동작들을 수행하도록 구성될 수 있다.
- [0101] 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16)는 컴퓨터 실행 가능 명령어 내지 프로그램 코드, 프로그램 데이터 및/또는 다른 적합한 형태의 정보를 저장하도록 구성된다. 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16)에 저장된 프로그램(20)은 프로세서(14)에 의해 실행 가능한 명령어의 집합을 포함한다. 일 실시예에서, 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16)는 메모리(랜덤 액세스 메모리와 같은 휘발성 메모리, 비휘발성 메모리, 또는 이들의 적절한 조합), 하나 이상의 자기 디스크 저장 디바이스들, 광학 디스크 저장 디바이스들, 플래시 메모리 디바이스들, 그 밖에 컴퓨팅 장치(12)에 의해 액세스되고 원하는 정보를 저장할 수 있는 다른 형태의 저장 매체, 또는 이들의 적합한 조합일 수 있다.
- [0102] 통신 버스(18)는 프로세서(14), 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16)를 포함하여 컴퓨팅 장치(12)의 다른 다양한 컴포넌트들을 상호 연결한다.
- [0103] 컴퓨팅 장치(12)는 또한 하나 이상의 입출력 장치(24)를 위한 인터페이스를 제공하는 하나 이상의 입출력 인터페이스(22) 및 하나 이상의 네트워크 통신 인터페이스(26)를 포함할 수 있다. 입출력 인터페이스(22) 및 네트워크 통신 인터페이스(26)는 통신 버스(18)에 연결된다. 입출력 장치(24)는 입출력 인터페이스(22)를 통해 컴퓨팅 장치(12)의 다른 컴포넌트들에 연결될 수 있다. 예시적인 입출력 장치(24)는 포인팅 장치(마우스 또는 트랙패드 등), 키보드, 터치 입력 장치(터치패드 또는 터치스크린 등), 음성 또는 소리 입력 장치, 다양한 종류의 센서 장치 및/또는 촬영 장치와 같은 입력 장치, 및/또는 디스플레이 장치, 프린터, 스피커 및/또는 네트워크 카드와 같은 출력 장치를 포함할 수 있다. 예시적인 입출력 장치(24)는 컴퓨팅 장치(12)를 구성하는 일 컴포넌트로서 컴퓨팅 장치(12)의 내부에 포함될 수도 있고, 컴퓨팅 장치(12)와는 구별되는 별개의 장치로 컴퓨팅 장치(12)와 연결될 수도 있다.
- [0104] 이상에서 본 발명의 대표적인 실시예들을 상세하게 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상술한 실시예에 대하여 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 변형이 가능함을 이해할 것이다. 그러므로 본 발명의 권리범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허

청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

부호의 설명

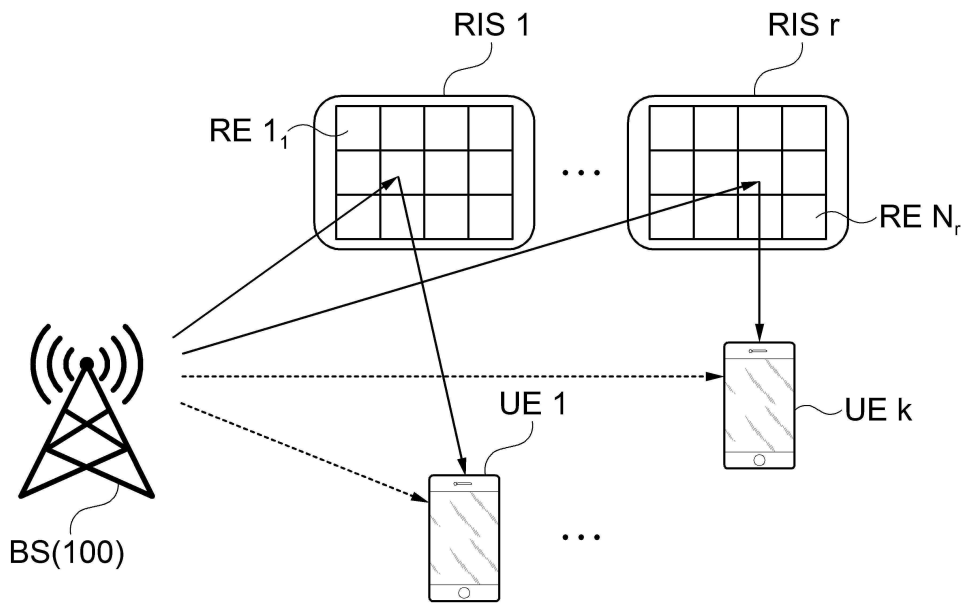
100: 기지국

110: 통신부

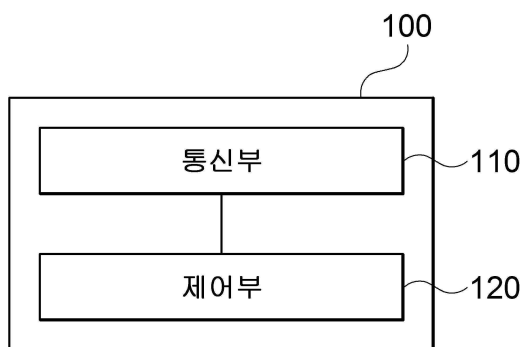
120: 제어부

도면

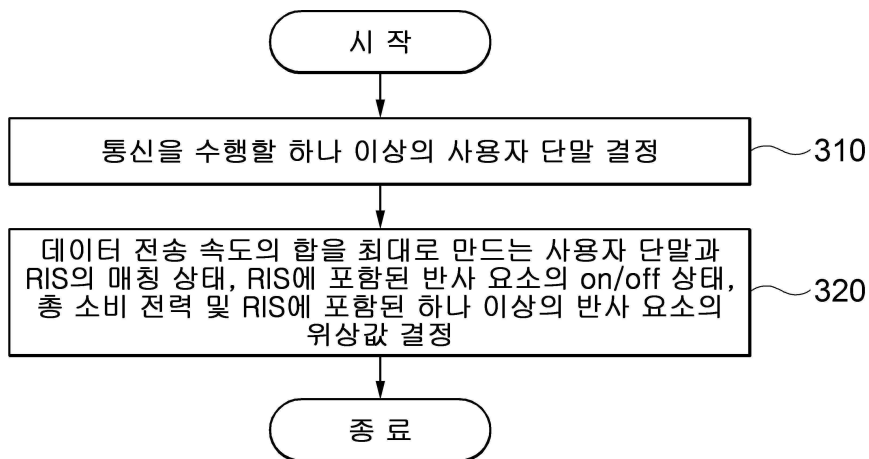
도면1



도면2



도면3



도면4

10

