



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0002313
(43) 공개일자 2024년01월05일

- | | |
|--|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 $H04B\ 7/0452$ (2017.01) $H04B\ 7/0426$ (2017.01)
 $H04B\ 7/08$ (2017.01) $H04J\ 99/00$ (2009.01)
 $H04W\ 52/42$ (2009.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
 $H04B\ 7/0452$ (2013.01)
 $H04B\ 7/043$ (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2022-0079372
 (22) 출원일자 2022년06월29일
 심사청구일자 2022년06월29일</p> | <p>(71) 출원인
 경희대학교 산학협력단
 경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)</p> <p>(72) 발명자
 김윤희
 경기도 성남시 분당구 대왕판교로606번길 10, 103동 1004호(백현동, 알파리움1단지)</p> <p>루이지 칸토스
 경기도 수원시 영통구 청명로59번길 45-6, 104호 (영통동)</p> <p>(74) 대리인
 김연권</p> |
|--|---|

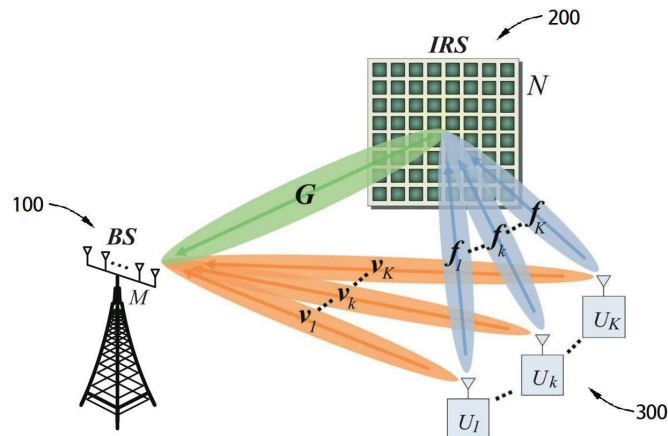
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **지능형 반사 표면 협력 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템, 및 이를 이용한 최소 데이터 전송률 향상을 위한 최적화 방법**

(57) 요약

상향 링크 비직교 다중 접속 시스템은 M개의 안테나를 포함하는 다중안테나 기지국, N개의 반사 소자를 포함하는 지능형 반사 표면, 및 K개의 사용자 단말을 포함할 수 있다. K개의 상기 사용자 단말 각각은 송신 전력에 기초하여 동시에 상기 다중안테나 기지국에 사용자 전송 신호를 출력할 수 있다. 상기 사용자 전송 신호는 IRS 반사계수에 기초하여 상기 지능형 반사 표면에 반사되어 상기 다중안테나 기지국으로 전송될 수 있다. 상기 다중안테나 기지국은 순차 간섭 소거의 순서에 따라, 상기 사용자 전송 신호에 수신 빔포밍을 적용하여 상기 사용자 전송 신호를 검출할 수 있다. 상기 수신 빔포밍, 상기 IRS 반사계수, 및 상기 송신 전력은 최적화 알고리즘에 기초하여 최소 데이터 전송률이 최대가 되도록 최적화될 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H04B 7/086 (2013.01)

H04J 99/00 (2022.08)

H04W 52/42 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711152558
과제번호	2021-0-02046-002
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	정보통신방송혁신인재양성
연구과제명	6H 차세대 이동통신 기술 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2021.07.01 ~ 2028.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711170415
과제번호	2021R1A2C1005869
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	(유형1-1)중견연구
연구과제명	지능반사표면 협력 매시브 IoT 접속
기 여 율	1/2
과제수행기관명	경희대학교(국제캠퍼스)
연구기간	2021.03.01 ~ 2025.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

M개의 안테나를 포함하는 다중안테나 기지국;

N개의 반사 소자를 포함하는 지능형 반사 표면; 및

K개의 사용자 단말을 포함하고,

K개의 상기 사용자 단말 각각은 송신 전력에 기초하여 동시에 상기 다중안테나 기지국에 사용자 전송 신호를 출력하고,

상기 사용자 전송 신호는 IRS 반사계수에 기초하여 상기 지능형 반사 표면에 반사되어 상기 다중안테나 기지국으로 전송되고,

상기 다중안테나 기지국은 순차 간섭 소거의 순서에 따라, 상기 사용자 전송 신호에 수신 빔포밍을 적용하여 상기 사용자 전송 신호를 검출하고,

상기 수신 빔포밍, 상기 IRS 반사계수, 및 상기 송신 전력은,

최적화 알고리즘에 기초하여 최소 데이터 전송률이 최대가 되도록 최적화되는 것을 특징으로 하는,

상향 링크 비직교 다중 접속 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 최적화 알고리즘은,

AO(Alternating Optimization) 알고리즘, 및 L-BFGS-B(Limited-memory Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno Bounded) 알고리즘 중 적어도 이용하여 상기 수신 빔포밍, 상기 IRS 반사계수, 및 상기 송신 전력을 최적화하는 것을 특징으로 하는,

상향 링크 비직교 다중 접속 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 AO 알고리즘은,

수신 빔포밍 최적화 단계, IRS 반사계수 최적화 단계, 및 송신 전력 최적화 단계를 순차적으로 수행하는 것을 특징으로 하는,

상향 링크 비직교 다중 접속 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 AO 알고리즘은 아래 [알고리즘 1]을 포함하는 것을 특징으로 하는,

상향 링크 비직교 다중 접속 시스템.

[알고리즘1]

Initialize $l = 0$, $\theta^{(0)} = \theta^{rand}$, $p^{(0)} = P^{max}$, and $W^{(0)} = W_{mmse}(\theta^{(0)}, p^{(0)})$.

repeat

$l \leftarrow l + 1$

Solve (15) with $p = p^{(l-1)}$ and $W = W^{(l-1)}$ for $X^\dagger$.

Obtain $\theta^{(l)}$ through Gaussian randomization with $X^\dagger$.

Solve (17) with $\theta = \theta^{(l)}$ and $W = W^{(l-1)}$ to get $p^{(l)}$.

Compute $W^{(l)} = W_{mmse}(\theta^{(l)}, p^{(l)})$ as (12).

until The maximum number I_{AO} of iterations is reached or the value of the objective function in (7) converges.

Output $\theta^* = \theta^{(l)}$, $p^* = p^{(l)}$, and $W^* = W^{(l)}$.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 L-BFGS-B 알고리즘은,

아래 [최소 데이터 전송률에 대한 근사식]을 활용하여 상기 수신 빔포밍, 상기 IRS 반사계수, 및 상기 송신 전력을 최적화하는 것을 특징으로 하는,

상향 링크 비직교 다중 접속 시스템.

[최소 데이터 전송률에 대한 근사식]

$$f(\mathbf{x}) = -\frac{1}{\rho} \ln \left(e^{-\rho \mathcal{R}_1(\mathbf{x})} + e^{-\rho \mathcal{R}_2(\mathbf{x})} \dots + e^{-\rho \mathcal{R}_K(\mathbf{x})} \right)$$

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 L-BFGS-B 알고리즘은,

상기 [최소 데이터 전송률에 대한 근사식]의 상기 $f(\mathbf{x})$ 의 그래디언트(gradient)를 아래 [산출식]과 같이 산출하고,

상기 [산출식]의 상기 그래디언트는 아래 [유도식]을 이용하여 유도되는 것을 특징으로 하는,

상향 링크 비직교 다중 접속 시스템.

[산출식]

$$\nabla_{\mathbf{x}} f(\mathbf{x}) = \left[\frac{\partial f(\mathbf{x})}{\partial x_1}, \frac{\partial f(\mathbf{x})}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f(\mathbf{x})}{\partial x_{N+K}} \right]^T$$

[유도식]

$$\nabla_{\mathbf{x}} f(\mathbf{x}) = c(\mathbf{x}) \mathbf{J}^T(\mathbf{x}) \alpha(\mathbf{x})$$

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 L-BFGS-B 알고리즘은,

최대로 할당된 상기 송신 전력을 기준으로 상기 IRS 반사계수에 대한 최적화만을 수행하고,

상기 IRS 반사계수는 반사위상이 제어됨에 따라 최적화되는 것을 특징으로 하는,

상향 링크 비직교 다중 접속 시스템.

청구항 8

K개의 사용자 단말 각각이 송신 전력에 기초하여 동시에 다중안테나 기지국에 사용자 전송 신호를 출력하는 단계;

상기 사용자 전송 신호가 IRS 반사계수에 기초하여 지능형 반사 표면에 반사되어 상기 다중안테나 기지국으로 전송되는 단계; 및

상기 다중안테나 기지국이 순차 간섭 소거의 순서에 따라, 상기 사용자 전송 신호에 수신 빔포밍을 적용하여 상기 사용자 전송 신호를 검출하는 단계를 포함하고,

상기 수신 빔포밍, 상기 IRS 반사계수, 및 상기 송신 전력은,

최적화 알고리즘에 기초하여 최소 데이터 전송률이 최대가 되도록 최적화되고,

상기 최적화 알고리즘은,

AO(Alternating Optimization) 알고리즘, 및 L-BFGS-B(Limited-memory Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno Bounded) 알고리즘 중 적어도 하나를 이용하는 것을 특징으로 하는,

최소 데이터 전송률 향상을 위한 최적화 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 최소 데이터 전송률을 향상시키기 위하여 수신 빔포밍, IRS 반사계수, 및 송신 전력을 최적화한 지능형 반사 표면 협력 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템 및 이를 이용한 최소 데이터 전송률 향상을 위한 최적화 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 현재 일상 생활에는 무수한 양의 데이터가 사용되고, 이에 따라 무선 통신 시스템에서의 데이터 요구량은 자연스레 증가하고 있다. 이러한 요구를 해결하기 위하여 거대 배열 다중-안테나 기술 또는 밀리미터파 통신 기술 등이 제안되었지만, 높은 전력 소모량과 가격 등의 현실적인 이유들로 한계점을 지니고 있다.

[0003] 지능형 반사 표면(Intelligent Reflecting Surface, IRS)은 미래 무선 통신의 주요한 신기술 후보군 중 하나로 각광받고 있다. 지능형 반사 표면은 수동 소자 요소를 여러 개 갖춘 평면 표면이며, 각각의 요소는 충돌하는 전자기파의 위상을 독립적으로 변화시킬 수 있는 것이 특징이다.

[0004] 지능형 반사 표면의 핵심 장점 중 하나는 수동 소자 요소의 제어가 가능하여, 실시간으로 각각 요소의 위상 변화율을 조절할 수 있다는 점이다. 지능형 반사 표면은 이를 이용하여 정보 전달율을 높이거나, 신호를 받지 못하는 유저를 돕는 등, 무선 통신 채널을 원하는 대로 실시간으로 바꿀 수 있다. 또한, 지능형 반사 표면은 수동 소자들을 이용하는 만큼 낮은 가격과 소모 전력을 기대할 수 있다.

[0005] 이에 따라, 현재 지능형 반사 표면을 이용한 무선 통신 시스템에 관하여 수많은 연구가 진행되고 있다. 지능형 반사 표면에 관한 대부분의 연구들은 지능형 반사 표면의 위상변화율을 고정된 채로 기지국의 빔포밍을 설계하고, 빔포머를 고정된 채로 위상 변화를 시키는 교번 최적화 기술을 사용한다.

[0006] 상기 연구들에 따라, 지능형 반사 표면을 이용하여 목표 최소 데이터 전송률이 있는 상황에서 소모 전력을 최소화하는 방법, 또는 최소 데이터 전송률을 최대화하는 방법 등이 제안되었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제 10-2022-0064154호 "지능형 반사 표면을 이용한 무선 전력 전송 시스템의 채널 추정 장치 및 방법"

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명의 일 목적은 최소 데이터 전송률이 최대가 되도록, 수신 빔포밍, IRS 반사계수, 및 송신 전력이 최적화된 지능형 반사 표면 협력 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템을 제공하는 것이다.
- [0009] 본 발명의 다른 목적은 지능형 반사 표면 협력 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템에서, 최소 데이터 전송률이 최대가 되도록, 수신 빔포밍, IRS 반사계수, 및 송신 전력을 최적화하는 방법을 제공하는 것이다.
- [0010] 다만, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 상기 언급된 과제에 한정되는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위에서 다양하게 확장될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0011] 본 발명의 일 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 실시예들에 따른 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템은 M개의 안테나를 포함하는 다중안테나 기지국, N개의 반사 소자를 포함하는 지능형 반사 표면, 및 K개의 사용자 단말을 포함할 수 있다. K개의 상기 사용자 단말 각각은 송신 전력에 기초하여 동시에 상기 다중안테나 기지국에 사용자 전송 신호를 출력할 수 있다. 상기 사용자 전송 신호는 IRS 반사계수에 기초하여 상기 지능형 반사 표면에 반사되어 상기 다중안테나 기지국으로 전송될 수 있다. 상기 다중안테나 기지국은 순차 간섭 소거의 순서에 따라, 상기 사용자 전송 신호에 수신 빔포밍을 적용하여 상기 사용자 전송 신호를 검출할 수 있다. 상기 수신 빔포밍, 상기 IRS 반사계수, 및 상기 송신 전력은 최적화 알고리즘에 기초하여 최소 데이터 전송률이 최대가 되도록 최적화될 수 있다.
- [0012] 일 실시예에서, 상기 최적화 알고리즘은 AO(Alternating Optimization) 알고리즘, 및 L-BFGS-B(Limited-memory Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno Bounded) 알고리즘 중 적어도 이용하여 상기 수신 빔포밍, 상기 IRS 반사계수, 및 상기 송신 전력을 최적화할 수 있다.
- [0013] 일 실시예에서, 상기 AO 알고리즘은 수신 빔포밍 최적화 단계, IRS 반사계수 최적화 단계, 및 송신 전력 최적화 단계를 순차적으로 수행할 수 있다.
- [0014] 일 실시예에서, 상기 AO 알고리즘은 아래 [알고리즘 1]을 포함할 수 있다.
- [0015] [알고리즘1]

Initialize $l = 0$, $\theta^{(0)} = \theta^{rand}$, $p^{(0)} = P^{max}$, and $W^{(0)} = W_{mmse}(\theta^{(0)}, p^{(0)})$.
repeat
 $l \leftarrow l + 1$
 Solve (15) with $p = p^{(l-1)}$ and $W = W^{(l-1)}$ for $X^\dagger$.
 Obtain $\theta^{(l)}$ through Gaussian randomization with $X^\dagger$.
 Solve (17) with $\theta = \theta^{(l)}$ and $W = W^{(l-1)}$ to get $p^{(l)}$.
 Compute $W^{(l)} = W_{mmse}(\theta^{(l)}, p^{(l)})$ as (12).
until The maximum number I_{AO} of iterations is reached
 or the value of the objective function in (7) converges.
 Output $\theta^* = \theta^{(l)}$, $p^* = p^{(l)}$, and $W^* = W^{(l)}$.

- [0016]
- [0017] 일 실시예에서, 상기 L-BFGS-B 알고리즘은 아래 [최소 데이터 전송률에 대한 근사식]을 활용하여 상기 수신 빔포밍, 상기 IRS 반사계수, 및 상기 송신 전력을 최적화할 수 있다.
- [0018] [최소 데이터 전송률에 대한 근사식]

$$f(\mathbf{x}) = -\frac{1}{\rho} \ln \left(e^{-\rho \mathcal{R}_1(\mathbf{x})} + e^{-\rho \mathcal{R}_2(\mathbf{x})} \dots + e^{-\rho \mathcal{R}_K(\mathbf{x})} \right)$$

- [0019]
- [0020] 일 실시예에서, 상기 L-BFGS-B 알고리즘은 상기 [최소 데이터 전송률에 대한 근사식]의 상기 $f(\mathbf{x})$ 의 그래디언트 (gradient)를 아래 [산출식]과 같이 산출할 수 있다. 상기 [산출식]의 상기 그래디언트는 아래 [유도식]을 이용하여 유도될 수 있다.

[0021] [산출식]

$$\nabla_{\mathbf{x}} f(\mathbf{x}) = \left[\frac{\partial f(\mathbf{x})}{\partial x_1}, \frac{\partial f(\mathbf{x})}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f(\mathbf{x})}{\partial x_{N+K}} \right]^T$$

[0023] [유도식]

$$\nabla_{\mathbf{x}} f(\mathbf{x}) = c(\mathbf{x}) \alpha(\mathbf{x})^T \mathbf{J}(\mathbf{x})$$

[0025] 일 실시예에서, 상기 L-BFGS-B 알고리즘은 최대로 할당된 상기 송신 전력을 기준으로 상기 IRS 반사계수에 대한 최적화만을 수행할 수 있다. 상기 IRS 반사계수는 반사위상이 제어됨에 따라 최적화될 수 있다.

[0026] 본 발명의 다른 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 실시예들에 따른 최소 데이터 전송률 향상을 위한 최적화 방법은 K개의 사용자 단말 각각이 송신 전력에 기초하여 동시에 다중안테나 기지국에 사용자 전송 신호를 출력하는 단계, 상기 사용자 전송 신호가 IRS 반사계수에 기초하여 상기 지능형 반사 표면에 반사되어 상기 다중안테나 기지국으로 전송되는 단계, 및 상기 다중안테나 기지국이 순차 간섭 소거의 순서에 따라, 상기 사용자 전송 신호에 수신 빔포밍을 적용하여 상기 사용자 전송 신호를 검출하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 수신 빔포밍, 상기 IRS 반사계수, 및 상기 송신 전력은 최적화 알고리즘에 기초하여 최소 데이터 전송률이 최대가 되도록 최적화될 수 있다. 상기 최적화 알고리즘은 AO(Alternating Optimization) 알고리즘, 및 L-BFGS-B(Limited-memory Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno Bounded) 알고리즘 중 적어도 하나를 이용할 수 있다.

발명의 효과

[0027] 본 발명의 실시예들에 따른 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템은 최적화 알고리즘이 적용되어 수신 빔포밍, IRS 반사계수, 및 송신 전력을 최적화됨에 따라, 최소 데이터 전송률을 향상시킬 수 있다.

[0028] 본 발명의 실시예에 따른 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템은 무선 통신 시스템에서 지능형 반사 표면을 상향 링크 환경에서 고려하며, 지능형 반사 표면에 포함된 반사 소자 할당을 통해, 최적의 효율로 높은 데이터 전송 성능을 달성할 수 있다.

[0029] 다만, 본 발명의 효과는 상술한 효과에 한정되는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위에서 다양하게 확장될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 본 발명의 실시예들에 따른 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템의 구성을 나타내는 도면이다.

도 2는 도 1의 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템에서 최적화에 사용되는 AO 알고리즘의 일 예시를 나타내는 도면이다.

도 3은 지능형 반사 표면의 IRS 반사소자 수에 따른 최소 데이터 전송률을 나타내는 도면이다.

도 4는 다중안테나 기지국의 안테나 수에 따른 최소 데이터 전송률을 나타내는 도면이다.

도 5는 도 1의 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템의 동작을 나타내는 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0031] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되지 않는다.

[0032] 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 특정한 개시형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.

[0033] 제1 또는 제2 등의 용어를 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 구성요소들은 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만, 예를 들면 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하

게 제2 구성요소는 제1 구성요소로도 명명될 수 있다.

- [0034] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성요소들 간의 관계를 설명하는 표현들, 예를 들면 "~사이에"와 "바로~사이에" 또는 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0035] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예들을 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함으로 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0036] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0037] 이하, 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 그러나, 특허출원의 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0038] 도 1은 본 발명의 실시예들에 따른 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템의 구성을 나타내는 도면이다.
- [0039] 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템에서는, 최적의 효율로 높은 데이터 전송 성능을 달성하는 것이 요구된다. 특히, 데이터 전송 성능 향상에는 최소 데이터 전송률을 최대화하는 것이 핵심적 요소가 될 수 있다.
- [0040] 이에, 본 발명의 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템은 최적화 알고리즘을 적용함으로써, 수신 빔포밍, IRS 반사계수, 및 송신 전력을 최적화하고, 최소 데이터 전송률을 향상시킬 수 있다.
- [0041] 도 1을 참조하면, 본 발명의 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템은 다중안테나 기지국(100), 지능형 반사 표면(200), 및 사용자 단말(300)을 포함할 수 있다.
- [0042] 예를 들어, 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템은 M개의 안테나를 포함하는 다중안테나 기지국(100)을 포함할 수 있다.
- [0043] 예를 들어, 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템은 N개의 반사 소자를 포함하는 지능형 반사 표면(200)을 포함할 수 있다.
- [0044] 예를 들어, 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템은 K개의 사용자 단말(300)(예컨대, $U_1, U_2, \dots, U_K$)을 포함할 수 있다.
- [0045] 무선 통신을 이용한 데이터 전송 과정에서, 사용자 단말(300)은 다중안테나 기지국(100)으로 전송 신호를 직접 송신할 수 있다.
- [0046] 사용자 단말(300)과 다중안테나 기지국(100) 사이의 채널은 v_k 일 수 있다. 예를 들어, k번 사용자 단말(300)과 M개의 안테나를 포함하는 다중안테나 기지국(100) 사이의 채널은 $v_k \in \mathbb{C}^M$ 로 표현될 수 있다.
- [0047] 무선 통신을 이용한 데이터 전송 과정에서, 사용자 단말(300)은 지능형 반사 표면(200)을 통해 다중안테나 기지국(100)으로 전송 신호를 송신할 수 있다.
- [0048] 사용자 단말(300)과 지능형 반사 표면(200) 사이의 채널은 f_k 일 수 있다. 예를 들어, k번 사용자 단말(300)과 N개의 반사 소자를 포함하는 지능형 반사 표면(200) 사이의 채널은 $f_k \in \mathbb{C}^N$ 로 표현될 수 있다.
- [0049] 지능형 반사 표면(200)과 다중안테나 기지국(100) 사이의 채널은 G일 수 있다. 예를 들어, N개의 반사 소자를 포함하는 지능형 반사 표면(200)과 M개의 안테나를 포함하는 다중안테나 기지국(100) 사이의 채널은

$\mathbf{G} \in \mathbb{C}^{M \times N}$ 로 표현될 수 있다.

[0050] 지능형 반사 표면(200)을 구성하는 N개의 반사 소자의 반사계수는 $\boldsymbol{\theta} = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N]^T \in \mathbb{C}^N$ 로 나타낼 수 있다.

[0051] 여기서, 반사 위상은 $\boldsymbol{\phi} = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_N]^T$ 로 나타낼 수 있으며, 반사계수는 반사 위상과 $\boldsymbol{\theta} = e^{j\boldsymbol{\phi}}$ 관계를 가질 수 있다.

[0052] 복수의 사용자 단말(300)은 동시에 다중안테나 기지국(100)에 사용자 전송 신호를 출력할 수 있다. 여기서, M개의 안테나를 포함하는 다중안테나 기지국(100)이 수신하는 사용자 전송 신호는 아래 [수학식 1]과 같이 나타낼 수 있다.

[0053] [수학식 1]

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= \sum_{k=1}^K \sqrt{p_k} (\mathbf{v}_k + \mathbf{G} \text{diag}(\boldsymbol{\theta}) \mathbf{f}_k) x_k + \mathbf{z} \\ &= \sum_{k=1}^K \sqrt{p_k} \mathbf{h}_k(\boldsymbol{\theta}) x_k + \mathbf{z}, \end{aligned}$$

[0054]

[0055] 여기서, x_k 는 k번 사용자 단말(300)이 전송한 사용자 전송 신호의 심볼이고, p_k 는 k번 사용자 단말(300)이 전송한 송신 전력일 수 있다.

[0056] 또한, $\mathbf{z} \in \mathbb{C}^M$ 는 분산이 σ^2 인 기지국 잡음을 나타낼 수 있다.

[0057] 또한, $\mathbf{h}_k(\boldsymbol{\theta}) = \mathbf{v}_k + \mathbf{A}_k \boldsymbol{\theta}$ 는 k번 사용자 단말(300)에서 다중안테나 기지국(100)까지 사용자 전송 신호가 전달되는 등가 채널 응답을 나타낼 수 있다. 이 때, $\mathbf{A}_k = \mathbf{G} \text{diag}(\mathbf{f}_k)$ 관계를 가질 수 있다.

[0058] 다중안테나 기지국(100)은 각 사용자 단말(300)의 사용자 전송 신호를 검출하기 위해, 순차 간섭 소거(Successive Interference Cancellation, SIC)의 순서를 결정할 수 있다.

[0059] 다중안테나 기지국(100)은 순차 간섭 소거의 순서에 따라 순차 간섭 소거된 사용자 전송 신호에 수신 빔포밍 $\mathbf{w}_k \in \mathbb{C}^M$ 을 적용하여 사용자 전송 신호를 검출할 수 있다.

[0060] 즉, 다중안테나 기지국(100)은 (k-1)번 심볼까지 순차 간섭 소거가 이루어진 이후, k번 심볼에 해당 해당하는 수신 신호대 잡음비(signal to interference plus noise ratio, SINR)는 아래 [수학식 2]와 같이 나타낼 수 있다.

[0061] [수학식 2]

$$\gamma_k(\mathbf{w}_k, \boldsymbol{\theta}, \mathbf{p}) = \frac{p_k |\mathbf{w}_k^H \mathbf{h}_k(\boldsymbol{\theta})|^2}{\sum_{l=k+1}^K p_l |\mathbf{w}_k^H \mathbf{h}_l(\boldsymbol{\theta})|^2 + \sigma^2 \|\mathbf{w}_k\|^2}$$

[0062]

[0063] 여기서, $\mathbf{p} = [p_1, p_2, \dots, p_K]^T \in \mathbb{R}^K$ 는 사용자 송신 전력 벡터일 수 있다.

[0064] 이를 이용하여, k번의 사용자 단말(300)이 전송하는 데이터 전송률(R_k)을 표현하면, 아래 [수학식 3]과 같이 나타낼 수 있다.

[0065] [수학식 3]

$$R_k(\mathbf{w}_k, \boldsymbol{\theta}, \mathbf{p}) = \log_2 (1 + \gamma_k(\mathbf{w}_k, \boldsymbol{\theta}, \mathbf{p}))$$

[0066]

[0067] 또한, 데이터 전송률(R_k)에 대한 최소 데이터 전송률은 아래 [수학식 4]와 같이 나타낼 수 있다.

[0068] [수학식 4]

[0069]
$$\min_{k \in \mathcal{K}} R_k(\mathbf{w}_k, \boldsymbol{\theta}, \mathbf{p})$$

[0070] 본 발명의 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템은 사용자 단말(300) 간 전송률 공정성(rate fairness)을 고려하여, 상기 최소 데이터 전송률이 최대가 되도록, 수신 빔포밍, IRS 반사계수, 및 송신 전력을 최적화할 수 있다.

[0071] 구체적으로, 수신 빔포밍($\mathbf{W}$), IRS 반사계수($\boldsymbol{\Theta}$), 및 송신 전력($\mathbf{p}$)이 반영된 최대-최소 데이터 전송률은 아래 [수학식 5]와 같이 나타낼 수 있다.

[0072] [수학식 5]

[0073]
$$\begin{aligned} & \max_{\mathbf{W} \in \mathbb{C}^{M \times N}, \boldsymbol{\Theta} \in \mathbb{C}^N, \mathbf{p} \in \mathbb{R}^K} \left\{ \min_{k \in \mathcal{K}} R_k(\mathbf{w}_k, \boldsymbol{\theta}, \mathbf{p}) \right\} \\ & \text{s.t. } \mathbf{w}_k \neq \mathbf{0}, k \in \mathcal{K}, \\ & \quad |\theta_n| = 1, n \in \mathcal{N}, \\ & \quad 0 \leq p_k \leq P_k^{\max}, k \in \mathcal{K}. \end{aligned}$$

[0074] 따라서, 최소 데이터 전송률이 최대가 되도록, 수신 빔포밍($\mathbf{W}$), IRS 반사계수($\boldsymbol{\Theta}$), 및 송신 전력($\mathbf{p}$)을 최적화하는 문제는 상기 [수학식 5]의 해(Solution)를 도출하는 문제로 귀결될 수 있다.

[0075] 본 발명의 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템은 상기 [수학식 5]의 해를 도출하기 위하여, AO(Alternating Optimization) 알고리즘 및 L-BFGS-B(Limited-memory Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno Bounded) 알고리즘 중 적어도 하나를 적용할 수 있다.

[0076] 도 2는 도 1의 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템에서 최적화에 사용되는 AO 알고리즘의 일 예시를 나타내는 도면이다.

[0077] 일 실시예에서, 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템은 상기 [수학식 5]의 해를 도출하기 위하여, AO(Alternating Optimization) 알고리즘을 적용할 수 있다.

[0078] 예를 들어, 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템은, AO 알고리즘을 적용함으로써, 수신 빔포밍, IRS 반사계수, 및 송신 전력을 순차적으로 최적화할 수 있다.

[0079] 즉, AO 알고리즘을 이용한 최적화 방법은 수신 빔포밍 최적화 단계, IRS 반사계수 최적화 단계, 및 송신 전력 최적화 단계를 포함할 수 있다.

[0080] 수신 빔포밍 최적화 단계는 [수학식 5]로부터 $\max_{\mathbf{w}_k \in \mathbb{C}^N} \gamma_k(\mathbf{w}_k, \boldsymbol{\theta}, \mathbf{p})$ s.t. 를 만족하는 수신 빔포밍을 도출할 수 있다.

[0081] 예를 들어, AO 알고리즘을 이용하여 최적화된 수신 빔포밍은 $\mathbf{w}_k^\dagger = \mathbf{B}_k^{-1}(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{p}) \mathbf{h}_k(\boldsymbol{\theta})$ 와 같이 나타낼 수 있다.

[0082] 여기서, 상기 최적화된 수신 빔포밍은 아래 [수식] 조건을 만족할 수 있다.

[0083] [수식]
$$\mathbf{B}_k(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{p}) = \sigma^2 \mathbf{I}_M + \sum_{l=k+1}^K p_l \mathbf{h}_l(\boldsymbol{\theta}) \mathbf{h}_l^H(\boldsymbol{\theta})$$

[0084] IRS 반사계수 최적화 단계는 $\max_{\mathbf{w}_k \in \mathbb{C}^N} \gamma_k(\mathbf{w}_k, \boldsymbol{\theta}, \mathbf{p})$ s.t. 를 만족하는 IRS 반사계수를 도출하기 위하여, 수신 빔포밍 및 송신 전력을 고정할 수 있다.

[0085] IRS 반사계수 최적화 단계는 $t_\theta = \min_{k \in \mathcal{K}} \gamma_k(\mathbf{w}_k, \boldsymbol{\theta}, \mathbf{p})$ 를 만족하는 t 를 정의할 수 있다. IRS 반사계수 최적화

단계는, 아래의 [수식]에 따른 $\max_{\boldsymbol{\theta} \in \mathbb{C}^N, t_\theta > 0} t_\theta$ 를 만족하는 t 를 도출할 수 있다.

[0086] [수식]

$$\begin{aligned} & \max_{\boldsymbol{\theta} \in \mathbb{C}^N, t_{\boldsymbol{\theta}} > 0} t_{\boldsymbol{\theta}} \\ \text{s.t. } & t_{\boldsymbol{\theta}} \leq \frac{p_k |\mathbf{w}_k^H \mathbf{h}_k(\boldsymbol{\theta})|^2}{\sum_{j=k+1}^K p_j |\mathbf{w}_k^H \mathbf{h}_j(\boldsymbol{\theta})|^2 + \tilde{\sigma}_k^2}, \quad k \in \mathcal{K}, \\ & |\theta_n| = 1, \quad n \in \mathcal{N} \end{aligned}$$

[0087]

[0088] 여기서, IRS 반사계수 최적화 단계는 $\mathbf{X} = \tilde{\boldsymbol{\theta}} \tilde{\boldsymbol{\theta}}^H \in \mathbb{S}_+^{N+1}$ 관계에 있는 $\mathbf{X}$ 를 정의할 수 있다. IRS 반사계수 최적화 단계는 상기 $\mathbf{X}$ 를 최적화할 수 있다.

[0089] 최적화된 $\mathbf{X}$ 는 IRS 반사계수로 변환될 수 있다.

[0090] 송신 전력 최적화 단계는 수신 빔포밍 및 IRS 반사계수에 대하여, 아래 [수식]을 만족하는 송신 전력을 도출할 수 있다.

[0091] [수식]

$$\begin{aligned} & \max_{\mathbf{p} \in \mathbb{R}^K, t_{\mathbf{p}} > 0} t_{\mathbf{p}} \\ \text{s.t. } & t_{\mathbf{p}} \leq \frac{p_k u_{k,k}}{\sum_{j=k+1}^K p_j u_{j,k} + \tilde{\sigma}_k^2}, \quad k \in \mathcal{K}, \\ & 0 \leq p_k \leq P_k^{\max}, \quad k \in \mathcal{K}, \end{aligned}$$

[0092]

[0093] 여기서, $u_{j,k} = |\mathbf{w}_k^H \mathbf{h}_j(\boldsymbol{\theta})|^2$ 일 수 있다.

[0094] 이와 같이, 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템은 AO 알고리즘에 기반하여 수신 빔포밍, IRS 반사계수, 및 송신 전력을 순차적으로 최적화함으로써, 최소 데이터 전송량을 최소화할 수 있다.

[0096] 일 실시예에서, 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템은 상기 [수학식 5]의 해를 도출하기 위하여, L-BFGS-B(Limited-memory Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno Bounded) 알고리즘을 적용할 수 있다.

[0097] 예를 들어, L-BFGS-B 알고리즘을 이용한 최적화 방법은 비선형 최적화 기법일 수 있다.

[0098] 비선형 최적화 기법은 아래 [수학식 6]의 최소 데이터 전송률에 대한 근사식을 활용하여 수신 빔포밍, IRS 반사계수, 및 송신 전력을 최적화할 수 있다.

[0099] [수학식 6]

$$f(\mathbf{x}) = -\frac{1}{\rho} \ln \left(e^{-\rho \mathcal{R}_1(\mathbf{x})} + e^{-\rho \mathcal{R}_2(\mathbf{x})} \dots + e^{-\rho \mathcal{R}_K(\mathbf{x})} \right)$$

[0100]

[0101] 여기서, $\mathbf{x} = [\boldsymbol{\phi}^T, \mathbf{p}^T]^T \in \mathbb{R}^{N+K}$ 이고, $\mathcal{R}_k(\mathbf{x}) = \log_2(1 + \Gamma_k(\mathbf{x}))$ 이며, $\Gamma_k(\mathbf{x}) = \gamma_k(\mathbf{w}_k^\dagger, e^{j\phi}, \mathbf{p})$ 이고, $\gamma_k(\mathbf{w}_k^\dagger, \boldsymbol{\theta}, \mathbf{p}) = p_k \mathbf{h}_k^H(\boldsymbol{\theta}) \mathbf{B}_k^{-1}(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{p}) \mathbf{h}_k(\boldsymbol{\theta})$ 일 수 있다.

[0102] 또한, $\mathbf{B}_k(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{p}) = \sigma^2 \mathbf{I}_M + \sum_{l=k+1}^K p_l \mathbf{h}_l(\boldsymbol{\theta}) \mathbf{h}_l^H(\boldsymbol{\theta})$ 일 수 있다.

[0103] 상기 [수학식 6]의 근사식을 적용하면 [수학식 5]의 해를 도출하는 문제는, 아래 [수학식 7]과 같이 실수 변수에 대한 최적화 문제로 변경될 수 있다.

[0104] [수학식 7]

$$\begin{aligned} & \max_{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^{N+K}} f(\mathbf{x}) \\ \text{s.t. } & 0 \leq x_l \leq 2\pi, \quad l \in \mathcal{N} \\ & 0 \leq x_{l+N} \leq P_l^{\max}, \quad l \in \mathcal{K}, \end{aligned}$$

[0105]

[0106] 여기서, 상기 [수학식 7]의 해를 효율적으로 도출하는 방법으로 L-BFGS-B 알고리즘을 적용할 수 있다.

[0107] 한편, L-BFGS-B 알고리즘을 적용하기 위해, 아래 [수식]과 같은 $f(\mathbf{x})$ 의 gradient (예컨대, $\nabla_{\mathbf{x}} f(\mathbf{x}) = \left[\frac{\partial f(\mathbf{x})}{\partial x_1}, \frac{\partial f(\mathbf{x})}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f(\mathbf{x})}{\partial x_{N+K}} \right]^T$)가 필요할 수 있다.

[0108] 상기 $f(\mathbf{x})$ 의 gradient는 아래 [수학식 8]을 이용하여 유도할 수 있다.

[0109] [수학식 8]

$$\nabla_{\mathbf{x}} f(\mathbf{x}) = c(\mathbf{x}) \mathbf{J}^T(\mathbf{x}) \boldsymbol{\alpha}(\mathbf{x})$$

[0110]

[0111] 여기서, $c(\mathbf{x}) = 1 / \left[\ln 2 \sum_{i=1}^K (1 + \Gamma_i(\mathbf{x}))^{-\rho} \right]$ 이고, $\alpha_k(\mathbf{x}) = (1 + \Gamma_k(\mathbf{x}))^{-(\rho+1)}$ 일 수 있다.

[0112] 또한, $\mathbf{J}(\mathbf{x})$ 는 $(k, 1)$ 번째 원소가 $\frac{\partial \Gamma_k}{\partial x_l}$ 인 자코비안(Jacobian) 행렬이며, 아래 [수식]을 만족할 수 있다.

[0113] [수식]

$$\frac{\partial \Gamma_k}{\partial x_l} = \frac{\partial \Gamma_k}{\partial \phi_l} = -2p_k \Im \{ e^{j\phi_l} \mathbf{h}_k^H \mathbf{B}_k^{-1} (\mathbf{a}_{kl} - \mathbf{Q}_{kl} \mathbf{B}_k^{-1} \mathbf{h}_k) \}$$

for $l \in \mathcal{N}$ and

$$\frac{\partial \Gamma_k}{\partial x_{N+l}} = \frac{\partial \Gamma_k}{\partial p_l} = \begin{cases} 0, & l < k \\ \mathbf{h}_k^H \mathbf{B}_k^{-1} \mathbf{h}_k, & l = k \\ -p_k |\mathbf{h}_l^H \mathbf{B}_k^{-1} \mathbf{h}_k|^2, & l > k \end{cases}$$

[0114]

[0115] 여기서, $\mathbf{a}_{kl}$ 는 $\mathbf{A}_k$ 의 1번째 열에 해당될 수 있다. 또한, $\mathbf{Q}_{kl} = \sum_{j=k+1}^K p_j \mathbf{a}_{jl} \mathbf{h}_j^H$ 를 만족할 수 있다.

[0116] 상기 [수학식 7]의 해를 L-BFGS-B 알고리즘을 이용하여 도출한 $(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{p})$ 를 적용하는 경우, 최적화된 수신 빔포밍은 $\mathbf{w}_k^\dagger = \mathbf{B}_k^{-1}(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{p}) \mathbf{h}_k(\boldsymbol{\theta})$ 와 같이 나타낼 수 있다.

[0117] 한편, 실시예에 따라, 상기 L-BFGS-B 알고리즘은 최대로 할당된 상기 송신 전력을 기준으로 상기 IRS 반사계수에 대한 최적화만을 수행할 수 있다.

[0118] 예를 들어, 상기 IRS 반사계수는 반사위상($\emptyset$)이 제어됨에 따라 최적화될 수 있다.

[0119] 반사 위상은 $\boldsymbol{\phi} = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_N]^T$ 로 나타낼 수 있으며, 반사계수는 반사 위상과 $\boldsymbol{\theta} = e^{j\boldsymbol{\phi}}$ 관계에 있을 수 있다.

[0120] 이와 같이, 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템은 L-BFGS-B 알고리즘이 적용된 비선형 최적화 기법을 이용하여 수신 빔포밍, IRS 반사계수, 및 송신 전력을 최적화함으로써, 최소 데이터 전송률을 최대화할 수 있다.

[0121] 도 3은 지능형 반사 표면(200)의 IRS 반사소자 수에 따른 최소 데이터 전송률을 나타내는 도면이다.

[0122] 도 3을 참조하면, 사용자 단말(300) 수가 4(예컨대, K=4)이고, 다중안테나 기지국(100)의 안테나 수가 1개 또는 2개(예컨대, M=1, 2)일 때, IRS 반사소자 수(예컨대, N개)에 따른 평균 최소 데이터 전송률이 도시되어 있다.

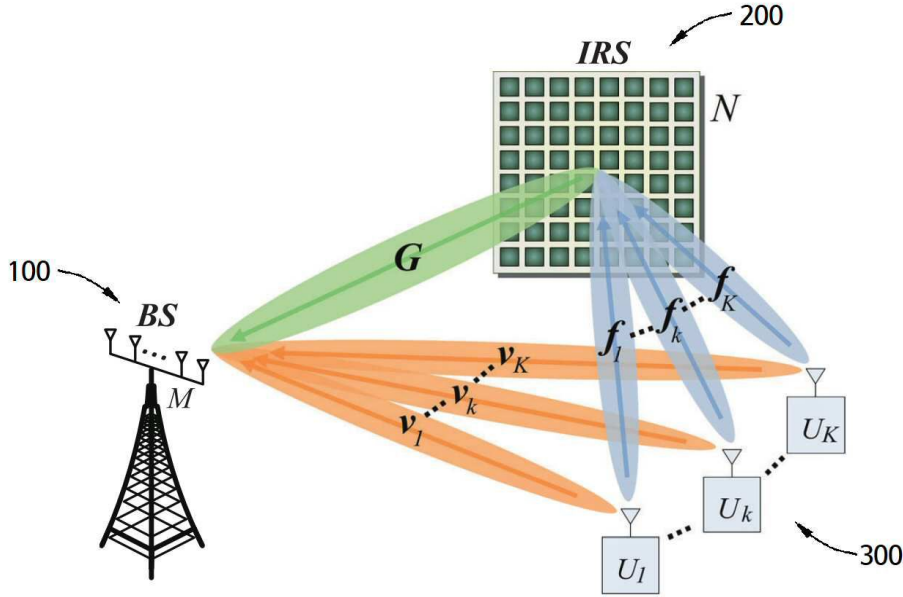
- [0123] 도 3에서 보듯이, IRS 반사소자 수가 증가함에 따라, AO 알고리즘 및 L-BFGS-B 알고리즘을 적용한 경우(AO-SDR(IRS/PA) 및 L-BFGS-B(IRS/PA)) 평균 최소 데이터 전송율은, 비교군(L-BFGS-B(IRS), 및 No-IRS(PA)) 경우 대비 높은 최소 데이터 전송율을 나타낼 수 있다.
- [0124] 도 4는 다중안테나 기지국(100)의 안테나 수에 따른 최소 데이터 전송률을 나타내는 도면이다.
- [0125] 도 4 참조하면, 사용자 단말(300) 수가 2M(예컨대, K=2M)일 때, 다중안테나 기지국(100)의 안테나 수(예컨대, M개)에 따른 평균 최소 데이터 전송률(a) 및 평균 시스템 성능(b)이 도시되어 있다.
- [0126] 도 4에서 보듯이, 안테나 수가 증가함에 따라, AO 알고리즘 및 L-BFGS-B 알고리즘을 적용한 경우(AO-SDR(IRS/PA) 및 L-BFGS-B(IRS/PA)) 평균 최소 데이터 전송율은, 비교군(L-BFGS-B(IRS), 및 No-IRS(PA)) 경우 대비 높은 최소 데이터 전송율 및 평균 시스템 성능을 나타낼 수 있다.
- [0127] 도 5는 도 1의 상향 링크 비직교 다중 접속 시스템의 동작을 나타내는 순서도이다.
- [0128] 도 1 및 5를 참조하면, 본 발명의 최소 데이터 전송률 향상을 위한 최적화 방법은 K개의 사용자 단말(300) 각각이 송신 전력에 기초하여 동시에 다중안테나 기지국(100)에 사용자 전송 신호를 출력하는 단계(S100), 상기 사용자 전송 신호가 IRS 반사계수에 기초하여 상기 지능형 반사 표면(200)에 반사되어 상기 다중안테나 기지국(100)으로 전송되는 단계(S200), 및 상기 다중안테나 기지국(100)이 순차 간섭 소거의 순서에 따라, 상기 사용자 전송 신호에 수신 빔포밍을 적용하여 상기 사용자 전송 신호를 검출하는 단계(S300)를 포함할 수 있다.
- [0129] 상기 수신 빔포밍, 상기 IRS 반사계수, 및 상기 송신 전력은 최적화 알고리즘에 기초하여 최소 데이터 전송률이 최대가 되도록 최적화될 수 있다.
- [0130] 상기 최적화 알고리즘은 AO(Alternating Optimization) 알고리즘, 및 L-BFGS-B(Limited-memory Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno Bounded) 알고리즘 중 적어도 하나를 이용할 수 있다.
- [0131] 본 발명의 최소 데이터 전송률 향상을 위한 최적화 방법은 최적화 알고리즘을 사용하여 수신 빔포밍, IRS 반사계수, 및 송신 전력을 최적화할 따라, 최소 데이터 전송률을 향상시킬 수 있다.
- [0132] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 최소 데이터 전송률 향상을 위한 최적화 방법은 무선 통신 시스템에서 지능형 반사 표면(200)을 상향 링크 환경에서 고려하며, 지능형 반사 표면(200)에 포함된 반사 소자 할당을 통해, 최적의 효율로 높은 데이터 전송 성능을 달성할 수 있다.
- [0133] 다만, 이에 대해서는 상술한 바 있으므로, 그에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0134] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPA(field programmable array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.
- [0135] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.
- [0136] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

- [0137]
- 100: 다중안테나 기지국
- 200: 지능형 반사 표면
- 300: 사용자 단말

도면

도면1

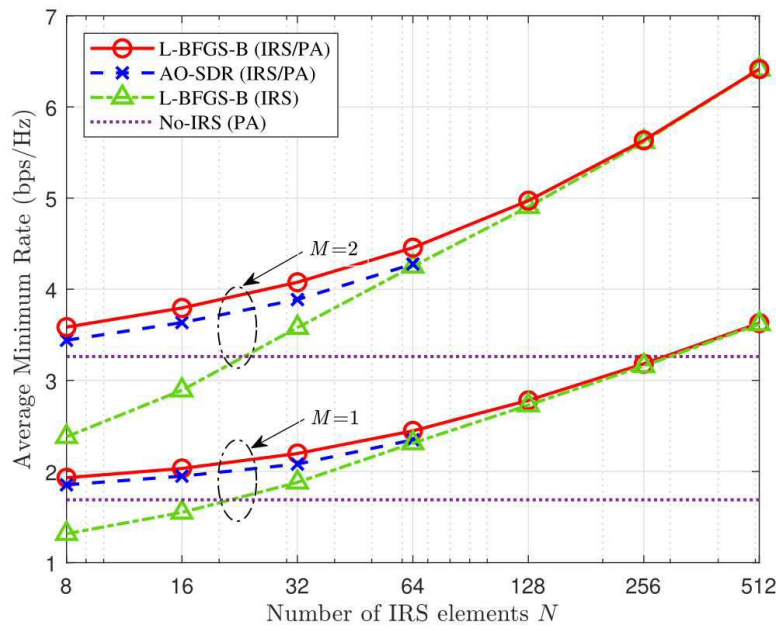


도면2

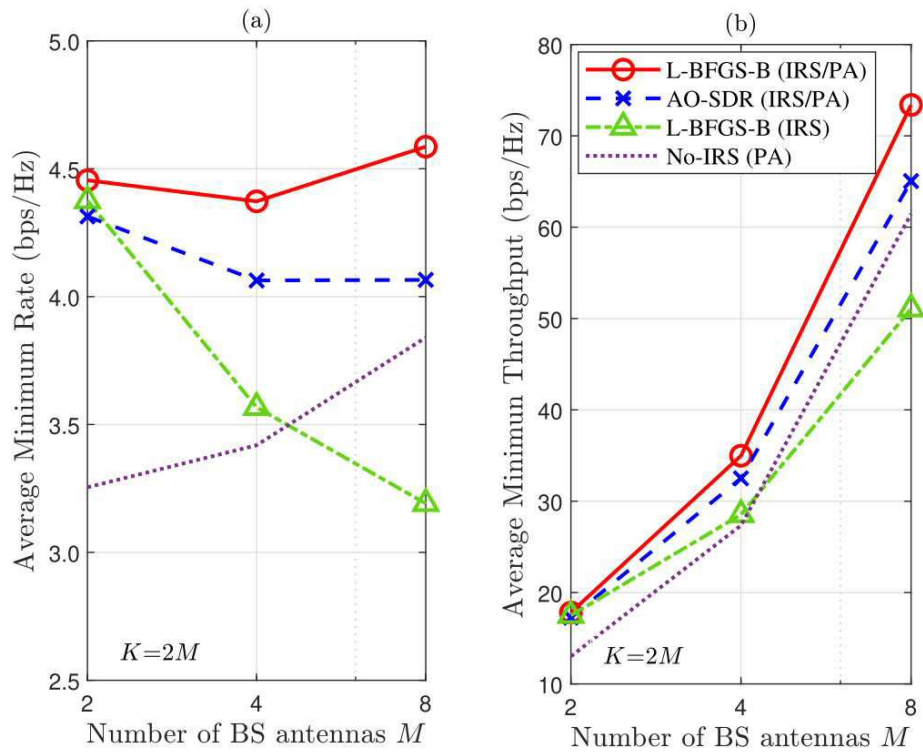
Algorithm 1 AO algorithm for the max-min rate optimization

- 1: Initialize $l = 0$, $\theta^{(0)} = \theta^{rand}$, $p^{(0)} = P^{max}$, and $W^{(0)} = W_{mmse}(\theta^{(0)}, p^{(0)})$.
 - 2: **repeat**
 - 3: $l \leftarrow l + 1$
 - 4: Solve (15) with $p = p^{(l-1)}$ and $W = W^{(l-1)}$ for $X^\dagger$.
 - 5: Obtain $\theta^{(l)}$ through Gaussian randomization with $X^\dagger$.
 - 6: Solve (17) with $\theta = \theta^{(l)}$ and $W = W^{(l-1)}$ to get $p^{(l)}$.
 - 7: Compute $W^{(l)} = W_{mmse}(\theta^{(l)}, p^{(l)})$ as (12).
 - 8: **until** The maximum number I_{AO} of iterations is reached or the value of the objective function in (7) converges.
 - 9: Output $\theta^* = \theta^{(l)}$, $p^* = p^{(l)}$, and $W^* = W^{(l)}$.
-

도면3



도면4



도면5

