



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0011504
(43) 공개일자 2025년01월21일

- | | |
|--|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/04 (2017.01) H04B 7/0426 (2017.01)
H04B 7/0452 (2017.01) H04B 7/0456 (2017.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
H04B 7/04013 (2023.05)
H04B 7/043 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2023-0092008
(22) 출원일자 2023년07월14일
심사청구일자 2023년07월14일</p> | <p>(71) 출원인
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)</p> <p>(72) 발명자
송형규
경기도 성남시 분당구 중앙공원로 17, 320-303(서현동, 한양아파트)</p> <p>유영환
서울특별시 강남구 선릉로72길 26-16, 401호
(뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인
이강민, 남승희</p> |
|--|---|

전체 청구항 수 : 총 8 항

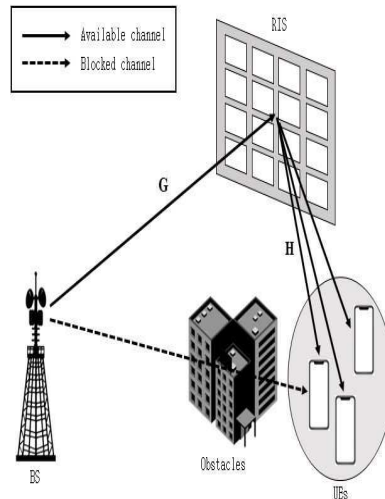
(54) 발명의 명칭 MU-MIMO 무선 통신 시스템에서 비율 분할 다중 접속 기반 재구성 가능한 지능형 표면의 그룹 연결된 임피던스 네트워크

(57) 요약

본 발명은 MU-MIMO 시스템에서 RSMA 전송 기반 상호 연결된 임피던스 네트워크를 형성하는 RIS의 사용자 스케줄링을 통한 수동 소자의 그룹화 방법과 최적의 RSMA 전력 분할 비율을 얻기 위한 간단한 방법에 관한 것으로서, 더 상세하게는 유효 채널 이득에 따른 스케줄링을 진행하고, 그 순서에 따라 채널 이득이 큰 RIS 수동 소자들을 그룹화하며, 이러한 그룹화 방법으로 최적의 RIS 산란 행렬을 구하고 FP 적용하여 반복 알고리즘을 통해 최적 RSMA 전력 분할 비율을 구하는 방법에 관한 것이다.

본 발명에 따르면, 각 사용자 채널에 적응적이며 간섭을 유연하게 관리함으로써 SDMA 기반 기존 RIS를 포함한 시스템보다 향상된 sum-rate 성능을 보장할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H04B 7/0452 (2013.01)

H04B 7/0456 (2013.01)

(72) 발명자

김민아

서울특별시 은평구 서오릉로11길 9-4, 201호

유승근

강원도 원주시 봉화서부로 11, 104-1803

김형도

서울특별시 강북구 오현로31길 89, 103-1303

신경호

경기도 용인시 수지구 성복2로 10, 113-601

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345366486
과제번호	2020R1A6A1A03038540
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공학술연구기반구축
연구과제명	자율지능무인비행체연구소
기 여 율	1/3
과제수행기관명	세종대학교
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711193919
과제번호	2017-0-00217-007
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	방송통신산업기술개발(R&D, 정보화)
연구과제명	투명도와 레이어 가변형 실감 사이니지 기술 연구
기 여 율	1/3
과제수행기관명	서울과학기술대학교 산학협력단
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711193909
과제번호	2021-0-01816-003
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	정보통신방송혁신인재양성
연구과제명	메타버스 자율트윈 핵심기술 연구
기 여 율	1/3
과제수행기관명	세종대학교 산학협력단
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

RSMA 시스템 기반 RIS의 수동 소자를 그룹화하고 산란행렬을 최적화하는 방법으로서,
 기존 RIS 구조의 산란 행렬을 통해 초기 산란 행렬을 정의하는 초기 산란 행렬 정의 단계;
 상기 초기 산란 행렬을 통해 사용자 스케줄링을 정의하고, 사용자 스케줄링 순서에 따라 RIS 수동 소자들을 그룹화하는 수동소자 그룹화 단계;
 그룹별로 순차적으로 quasi-Newton method를 사용하여 산란 행렬을 최적화하는 산란행렬 최적화 단계;
 를 포함하여 구성되는 수동소자 그룹화에 따른 산란행렬 최적화 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,
 상기 초기 산란 행렬 정의 단계는,
 아래 수식 1에서, 채널이득이 최대화되는 산란 행렬 Φ_s 를 초기 산란 행렬로 정의하는 수동소자 그룹화에 따른 산란행렬 최적화 방법.
 (수식 1)

$$\Phi_s = \arg \max_{\Phi} |\mathbf{H}\Phi\mathbf{G}|^2$$

($\mathbf{H}$: 송신기와 전체 수신기 간의 채널행렬, Φ : 산란행렬, $\mathbf{G}$: 송신기와 RIS(Riconfigurabele Intelligent Surface) 간의 채널행렬)

청구항 3

제 1항에 있어서,
 상기 수동소자 그룹화 단계는,
 상기 정의된 초기 산란 행렬을 통해 아래 수식 (2)에 따라, 유효 채널 이득이 큰 사용자 순으로 사용자 스케줄링 순서를 정하고, 유효 채널 이득이 큰 수동 소자들을 RIS 수동소자 그룹에 추가하는 수동소자 그룹화에 따른 산란행렬 최적화 방법.
 (수식 2)

$$\tilde{R}[l] = \arg \max_k |\mathbf{h}_k \Phi \mathbf{G}|^2$$

($\tilde{R}[l]$ 는 l 번째 스케줄링 사용자, $\mathbf{h}_k$ 는 k 번째 수신기와 RIS(Reconfigurable Intelligent Surface) 간 채널, Φ 는 산란행렬, $\mathbf{G}$ 는 송신기와 RIS간의 채널행렬)

청구항 4

제3항에 있어서,
 상기 수동소자 그룹화 단계는,
 상기 유효채널 이득이 큰 수동소자를 아래 수식 (3)를 통하여 획득하고, 이를 아래 수식 (4)에 따라, 수동소자 그룹 S_g 를 갱신하는,

수동소자 그룹화에 따른 산란행렬 최적화 방법.

(수식 3)

$$\hat{m} = \arg \max_m |\mathbf{h}_{\tilde{K}[\hat{g}]} \Phi_{m,m} \mathbf{G}|^2$$

($\hat{m}$ 은 유효 채널이득이 큰 RIS 수동소자, $\hat{g}$ 은 그룹이 스케줄링 된 사용자를 모두 지원하고 다시 첫 스케줄링 사용자를 지원하기 위해 g 와 전체 사용자 수 N_K 의 나머지 연산을 한 값을 의미하며, $\tilde{K}[\hat{g}]$ 는 $\hat{g}$ 번째 스케줄링 사용자를 나타내며, $\mathbf{h}_{\tilde{K}[\hat{g}]}$ 는 $\tilde{K}[\hat{g}]$ 번째 수신기와 RIS(Reconfigurable Intelligent Surface) 간 채널 벡터, $\Phi_{m,m}$ 은 RIS 산란행렬에서 m 번째 행과 m 번째 열에 해당하는 원소)

(수식 4)

$$S_g = S_g \cup \{\hat{m}\}$$

(S_g 는 g 번째 그룹에 속한 RIS 수동 소자들의 집합, $\hat{m}$ 은 수학적 17의 유효 채널이득이 큰 RIS 수동소자)

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 산란행렬 최적화 단계는,

상기 수동소자 그룹화 단계에서 그룹화된 수동소자 그룹별로 순차적으로 quasi-Newton method를 사용하여 산란행렬을 최적화하는,

수동소자 그룹화에 따른 산란행렬 최적화 방법.

청구항 6

청구항 1 내지 5 중의 어느 한 항의 산란행렬 최적화 방법을 통하여 산란 행렬을 최적화하고,

시스템의 Sum-rate을 최대화하는 RSMA 전력 분할 비율을 구하기하기 위한 목적함수에 보조 변수들을 추가하여 fractional programing을 적용함으로써, 분수 표현이 없는 RSMA 전력분할비율 최적화 목적함수 설정 단계;

상기 최적화 목적함수의 최적화 해를 구하기 위해 상기 목적함수를 각 변수들에 대하여 1차 미분한 식의 해를 구하는 최적화 해 도출단계;

를 포함하는 RSMA 전력 분할 비율 최적화 방법.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 분수 표현이 없는 RSMA 전력분할비율 최적화 목적함수 설정 단계는,

시스템 sum rate을 최대화하는 RSMA 전력분할비율 값을 도출하기 위한 것이며,

상기 시스템 sum rate은 아래 (수식 5)로 주어지는 RSMA 전력 분할 비율 최적화 방법.

(수식 5)

$$R = \log_2(1 + v_c) - v_c + 2\mu_c \sqrt{(1 + v_c)P_c |\mathbf{h}_{\hat{k}} \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_c|^2} - \mu_c^2 P_c |\mathbf{h}_{\hat{k}} \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_c|^2 -$$

$$\sum_{k=1}^{N_K} \mu_c^2 P_p |\mathbf{h}_{\hat{k}} \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_k|^2 + \mu_c^2 \sigma_k^2 + \sum_{k=1}^{N_K} \left\{ \log_2(1 + v_k) - v_k + 2\mu_k \sqrt{(1 + v_k)P_p |\mathbf{h}_k \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_k|^2} - \right.$$

$$\left. \sum_{j \neq k} \mu_k^2 P_p |\mathbf{h}_k \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_j|^2 + \mu_k^2 \sigma_k^2 \right\}$$

($\hat{k}$: 공용스트림의 최소 SINR 값을 갖는 수신기, $\mathbf{h}_k$: $\hat{k}$ 번째 수신기와 RIS 사이의 채널, Φ : 산란행렬, $\mathbf{p}_c$: 공용 스트림 프리코더 벡터, $\mathbf{P}_k$: k 번째 수신기 개인 스트림 프리코더 벡터 $\mathbf{p}_j$: $j \neq k$ 인 수신기 개인 스트림 프리코더 벡터 σ_k^2 : k 번째 수신기 잡음전력, P_c, P_p 는 각 스트림에 할당된 전력)

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 최적화해 도출단계는,

아래 수식 6으로부터 일차 미분을 통해 보조변수 및 RSMA 전력분할비율의 최적화 해를 도출하는 RSMA 전력 분할 비율 최적화 방법.

(수식 6)

$$\begin{aligned} \frac{\partial R}{\partial x} = & \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \log_2(1 + v_c) - v_c + 2\mu_c \sqrt{(1 + v_c)P_c} |\mathbf{h}_{\hat{k}} \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_c|^2 - \mu_c^2 P_c |\mathbf{h}_{\hat{k}} \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_c|^2 - \right. \\ & \left. \sum_{k=1}^{N_K} \mu_c^2 P_p |\mathbf{h}_{\hat{k}} \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_k|^2 + \mu_c^2 \sigma_k^2 + \sum_{k=1}^{N_K} \left\{ \log_2(1 + v_k) - v_k + 2\mu_k \sqrt{(1 + v_k)P_p} |\mathbf{h}_k \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_k|^2 - \right. \right. \\ & \left. \left. \sum_{j \neq k} \mu_k^2 P_p |\mathbf{h}_k \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_j|^2 + \mu_k^2 \sigma_k^2 \right\} \right\} \end{aligned}$$

($x = \{v_c, \mu_c, v_k, \mu_k, \alpha\}$, $\hat{k}$: 공용스트림의 최소 SINR 값을 갖는 수신기, $\mathbf{h}_k$: $\hat{k}$ 번째 수신기와 RIS 사이의 채널, Φ : 산란행렬, $\mathbf{p}_c$: 공용 스트림 프리코더 벡터, $\mathbf{P}_k$: k 번째 수신기 개인 스트림 프리코더 벡터 $\mathbf{p}_j$: $j \neq k$ 인 수신기 개인 스트림 프리코더 벡터 σ_k^2 : k 번째 수신기 잡음전력, P_c, P_p 는 각 스트림에 할당된 전력)

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 MU-MIMO 시스템에서, 시스템에서 전송되는 총 데이터 전송률인 sum-rate의 향상을 위해, RSMA(Rate-splitting multiple access)와 RIS(Reconfigurable intelligent surface) 방식을 결합한 경우, RIS(Reconfigurable intelligent surface)의 그룹 연결된 임피던스 네트워크를 형성하는 RIS 수동 소자에 대한 사용자 스케줄링을 통한 그룹화 방법 및 RSMA의 전력 분할 비율의 최적화 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] RIS(Reconfigurable intelligent surface)와 RSMA(Rate-splitting multiple access)는 향상된 스펙트럼 효율을 제공할 수 있어 B5G와 6G의 유망 기술로 주목받고 있다. RIS는 무선 신호를 원하는 방향으로 독립적으로 반사할 수 있는 다수의 수동 소자로 구성된다. 송신기와 수신기 간 채널 링크가 차단된 경우 RIS 기반 무선 통신을 통해 스펙트럼 효율 개선이 가능하다. 기존 RIS 소자는 각 수동소자에 접지된 임피던스에 의해서만 제어되었다. 최근 상호 연결된 임피던스 네트워크를 통해 각 RIS 소자를 제어할 수 있는 새로운 RIS 구조를 통해 스펙트럼 효율 성능 향상이 이루어졌다.

[0003] RSMA는 사용자 메시지를 공용 메시지와 개인 메시지로 분할함으로써 간섭을 부분적으로 디코딩하고 잡음으로 처리할 수 있다. 분할 메시지는 공용 및 개인 스트림으로 독립적으로 인코딩된다. 공용 스트림은 여러 사용자가 공유하고 개인 스트림은 각 사용자를 위한 것으로, 다른 다중 접속 기법보다 간섭 관리를 유연하게 처리할 수 있다. 또한, 이 기법은 불완전한 CSI(Channel State Information)에 대한 견고성을 가지고 있다. 따라서 RSMA는 RIS의 수동 소자 적용으로 인한, RIS 기반 무선 채널에 대한 CSI 추정이 부정확한 RIS의 단점을 완화할 수 있다.

[0004] 그러나, 여전히, RIS 수동소자의 적절한 그룹화 방법 및 RSMA 전력 분할방법이 마련되지 않아, 시스템 sum-rate

향상이 저조한 상황이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0005] 본 발명은 MU-MIMO 시스템에서 RSMA 전송 기반 상호 연결된 임피던스 네트워크를 형성하는 RIS의 사용자 스케줄링을 통한 수동 소자의 그룹화 방법을 제공한다. 또한 최적의 RSMA 전력 분할 비율을 얻기 위한 방법을 제공하여 sum-rate 성능을 향상시킬 수 있다.

과제의 해결 수단

- [0006] 본 발명은 하향링크 MU-MIMO 시스템에서 사용자 스케줄링을 통한 RIS 수동 소자를 그룹화하고 RSMA 전력 분할 비율을 최적화한다. RIS 소자 그룹화를 위해, sum-rate를 최대화하는 기존 RIS 구조의 산란 행렬을 구하는 단계; 각 사용자의 유효 채널 이득에 따른 사용자 스케줄링 단계; 사용자 스케줄링 순서에 따라 채널 이득이 큰 RIS 수동 소자들을 그룹화하는 단계를 포함한다. 그룹화를 진행하고 계산 복잡도를 줄이기 위해 그룹별로 순차적으로 산란행렬을 Quasi-Newton 방법을 사용하여 최적화하는 단계; FP(Fractional programming)를 적용하는 단계; 해당 식을 반복적으로 미분하여 최적의 변수들을 고정 및 업데이트하는 단계로 최적의 RSMA 전력 분할 비율을 구할 수 있다.

발명의 효과

- [0007] 본 발명에 따르면, MU-MIMO 시스템에서 사용자 스케줄링 기반 RIS 수동 소자 그룹화 알고리즘과 RSMA 전력 분할 비율 최적화 알고리즘을 제공하였으며, 그룹화된 수동 소자 간 상호 연결된 임피던스를 갖는 RIS 산란행렬과 저 복잡도의 최적 RSMA 전력 분할 비율을 구할 수 있다. 이를 통해 기존 RIS 및 SDMA(Spatial division multiple access) 기반 시스템보다 높은 sum-rate 성능을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0008] [도 1]은 RIS가 포함된 MU-MIMO 하향링크 시스템을 나타낸다.
- [도 2]는 본 발명에서 사용자 스케줄링을 통한 RIS 수동 소자 그룹화를 통해 산란행렬을 최적화하는 알고리즘의 순서도를 나타낸다.
- [도 3]은 본 발명에서 제공하는 그룹화 알고리즘을 통해 얻어진 수동 소자 그룹화와 인접 소자 간 그룹화된 일반적인 그룹화를 나타낸다.
- [도 4]는 FP 기반 RSMA 전력 분할 비율 최적화의 반복 횟수에 따른 sum-rate 성능을 그래프로 나타낸 것이다.
- [도 5]는 일반적인 그룹화 방법과 본 발명에서 제공하는 그룹화 방법을 RSMA와 SDMA 기반 시스템에 각각 적용하였을 때, RIS 수동 소자 개수에 따른 sum-rate 성능을 그래프로 나타낸 것이다.
- [도 6]은 기존 RIS와 제공되는 RIS를 RSMA와 SDMA 기반 시스템에 적용하였을 때, sum-rate 성능을 전송 전력에 따라 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0009] 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시 예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다.
- [0010] 본 발명은 일실시예로, M_t 개의 송신안테나를 가진 송신기에서 싱글 안테나를 가진 M_R 개의 수신기와 N_t 개의 수동 소자를 갖고 있는 RIS를 포함하는 하향링크 다중 사용자 MIMO 시스템을 고려한다. [도 1]은 이러한 시스템 모델을 나타낸다.
- [0011] 재구성 가능한 임피던스 네트워크를 구성하는 N_t 개 RIS 수동 소자들의 산란행렬(scattering matrix) Φ 는 네트워크 이론에 의해 수학식 1과 같이 표현될 수 있다.

수학식 1

[0012]

$$\Phi = (\mathbf{Z}_I + \mathbf{Z}_0 \mathbf{I})^{-1} (\mathbf{Z}_I - \mathbf{Z}_0 \mathbf{I}) \in \mathbb{C}^{N_I \times N_I}$$

[0013]

$\mathbf{I}$ 는 단위행렬(정방행렬), $\mathbb{C}^{N_I \times N_I}$ 는 크기가 $N_I \times N_I$ (아래 첨자 I 는 수동소자임을 표시하는 첨자이다)인 복소행렬을 의미하고, $\mathbf{z}_I$ 는 임피던스 행렬을 의미하며, $\mathbf{z}_0$ 는 자유공간의 임피던스 또는 시스템의 특성 임피던스로서, 통상 50Ω 으로 설정된다.

[0014]

RIS에 의해 반사되는 신호의 전력을 최대화하기 위해서, 본 발명에서는 $\mathbf{z}_I = j\mathbf{X}_I$ 와 같이 리액턴스 성분만 있다고 가정한다. 여기서 $\mathbf{X}_I \in \mathbb{R}^{N_I \times N_I}$ 는 리액턴스 행렬($\mathbb{R}^{N_I \times N_I}$ 는 크기가 $N_I \times N_I$ 인 실수행렬)을 의미한다.

[0015]

M_I 개의 RIS 수동 소자들이 M_G 개(아래 첨자 G 는 그룹을 의미하는 부호이다) 그룹으로 그룹화되어 있을 때, 그룹 연결된 임피던스들에 의해 그룹별로 임피던스 네트워크가 형성된다. 즉, 그룹 내 RIS 수동 소자들만 서로 임피던스로 연결되어 임피던스 네트워크를 형성한다.

[0016]

또한 RIS 임피던스 네트워크는 수동 소자들 간에 연결된 임피던스만 존재하는 것이 아니라 각 수동 소자들과 접지한 임피던스 또한 존재한다. 따라서 RIS 소자들은 서로 다른 상태로 표현될 수 있으며, 각 소자와 접지 사이의 임피던스 값에 따라 소자들의 동작이 변화하고, 이를 통해 RIS의 전기적인 특성과 동작을 제어할 수 있다.

[0017]

본 발명에서, 리액턴스 행렬은 대칭 조건을 만족하는 블록 대각행렬(Block Diagonal Matrix)로 표현되므로, 수학식 1의 RIS 산란 행렬 또한 대칭 조건을 만족하는 블록 대각 행렬로서 표현된다. 이는 대각행렬(Diagonal Matrix)로 표현되었던 종래의 RIS와 비교되며, 네트워크 이론에 따라 산란 행렬은 유니터리 조건을 만족해야 한다. 따라서 리액턴스 행렬과 산란 행렬은 각각 수학식 2, 3과 같이 표현된다.

수학식 2

[0018]

$$\mathbf{X}_I = \text{diag}(\mathbf{X}_{I,1}, \mathbf{X}_{I,2}, \dots, \mathbf{X}_{I,N_G}), \mathbf{X}_{I,g} = \mathbf{X}_{I,g}^T (g = 1, 2, \dots, N_G)$$

수학식 3

[0019]

$$\Phi = \text{diag}(\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_{N_G}), \Phi_g = \Phi_g^T, \Phi_g^H \Phi_g = \mathbf{I} (g = 1, 2, \dots, N_G)$$

[0020]

본 발명은 송신기와 수신기 간 채널 링크가 차단되어 있다고 가정하며 송신기와 RIS, RIS와 수신기 간 채널들은 모두 mmWave 무선 통신을 적용하기 위해 3GPP TR 38.900 3D SCM (3rd generation partnership project TR 38.900 3-dimensional spatial channel model)이 사용되었다.

[0021]

해당 시스템에서 임의의 k 번째 수신기가 수신한 신호 y_k 는 수학식 4와 같이 표현될 수 있다.

수학식 4

[0022]

$$y_k = \mathbf{h}_k \Phi \mathbf{G} \mathbf{x} + n_k$$

[0023]

여기서 $\mathbf{h}_k \in \mathbb{C}^{1 \times N_I}$ 는 k 번째 수신기와 RIS 간 채널로서, 시스템 내 모든 수신기와 RIS 간 채널은

$\mathbf{H} = [\mathbf{h}_1, \mathbf{h}_2, \dots, \mathbf{h}_{N_K}]^T \in \mathbb{C}^{N_K \times N_I}$ 로 표현되며, $\mathbf{G} \in \mathbb{C}^{N_I \times N_T}$ 는 송신기와 RIS 간 채널, $\mathbf{x} \in \mathbb{C}^{N_T \times 1}$ 는 송신전력 P_T 로 제한되어 $\mathbb{E}\{\mathbf{x}^H \mathbf{x}\} \leq P_T$ 을 만족하는 송신 신호, $\mathbf{n}_k$ 는 수신기에서의 AWGN(Additive white Gaussian noise)이다. 송신기와 전체 수신기 간 채널 $\mathbf{H}_{eff} = \mathbf{H}\Phi\mathbf{G}$ 은 계단식 채널이라고 정의한다.

[0024] RSMA 시스템에서는 송신기에서 메시지 분리를 통해 공용 메시지와 개인 메시지로 분리하고, 각 공용 메시지들을 메시지 조합기를 통해 하나의 공용 메시지로 조합된다. 공용 메시지는 모든 수신기에서 디코딩 가능한 하나의 코드북을 이용하여 공용 스트림 s_c 로 인코딩된다. 반면, 개인 메시지들은 각각 독립적으로 $s_1, s_2, \dots, s_{N_K}$ 로 인코딩된다. 인코딩된 스트림은 평균이 0이고 분산이 1이라고 가정하며 각 스트림들은 선형 프리코더를 통해 프리코딩 한다고 가정하고 송신 신호는 수학식 5와 같이 표현될 수 있다.

수학식 5

$$\mathbf{x} = \sqrt{P_c} \mathbf{p}_c s_c + \sum_{k=1}^{N_K} \sqrt{P_p} \mathbf{p}_k s_k$$

[0025]

[0026] 여기서 $P_c = (1 - \alpha)P_T$, $P_p = \alpha P_T / N_K$ 는 각 스트림에 할당된 전력, $\alpha \in [0, 1]$ 는 RSMA 전력 분할 비율, $\mathbf{p}_c, \mathbf{p}_k$ 는 프리코더 벡터이며, P_T 는 송신전력이다. 본 발명에서는 프리코더 벡터를 각각 SVD(Singular value decomposition) 프리코더와 ZF(Zero-forcing) 프리코더 사용을 가정한다.

[0026]

[0027] 전체 수신기에 대한 개인 스트림 프리코더를 $\mathbf{P}_p = [\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_{N_K}]$ 로 표현한다면, 유효채널 행렬 $\mathbf{H}_{eff}$ 는 SVD(Singular Value Decomposition) 분해기법에 의해 그 전치행렬이 수학식 6과 같이 표현될 수 있으며, $\mathbf{H}_{eff}$ 의 유사 역행렬 $\mathbf{W}$ 이 수학식 7로부터 구해지며, 이들로부터 공용 스트림 프리코더 $\mathbf{p}_c$ 와 전체 개인 스트림 프리코더 $\mathbf{P}_p$ 는 수학식 8, 9와 같이 표현될 수 있다.

[0027]

수학식 6

$$\mathbf{H}_{eff}^T = \mathbf{U} \Sigma \mathbf{V}^H$$

[0028]

[0029] (U: singular vector matrix, V: right singular matrix) SVD, Heffective matrix: cascaded channel)

[0029]

수학식 7

$$\mathbf{W} = \mathbf{H}_{eff}^H (\mathbf{H}_{eff} \mathbf{H}_{eff}^H)^{-1}$$

[0030]

수학식 8

$$\mathbf{p}_c = ([\mathbf{U}]_{1,1}, [\mathbf{U}]_{2,1}, \dots, [\mathbf{U}]_{N_T,1})^T$$

[0031]

수학식 9

$$\mathbf{P}_p = \mathbf{W} / \|\mathbf{W}\|$$

[0032]

[0033] 이로부터, 임의의 k 번째 수신기에서 수신한 신호는 수학식 10과 같이 표현된다. 수학식 10에서, 첫 번째 항은

[0033]

공용 메시지를 나타내며, 두 번째 항은 k번째 수신기의 개인 메시지를 나타내고, 세 번째 항은 다른 수신기의 개인 메시지에 의한 간섭을 나타내며, n_k 는 수신기에서의 AWGN(Additive White Gaussian Noise)을 나타낸다.

수학식 10

$$y_k = \sqrt{P_c} \mathbf{h}_k \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_c s_c + \sqrt{P_p} \mathbf{h}_k \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_k s_k + \sum_{j \neq k}^{N_K} \sqrt{P_p} \mathbf{h}_k \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_j s_j + n_k$$

공용 스트림은 다른 개인 스트림을 간섭 성분으로 간주하고 디코딩되며, 각 수신기는 디코딩된 공용스트림을 제거하고 각 개인 스트림을 디코딩한다. 따라서 임의의 번째 수신기에서 공용스트림과 개인스트림의 SINR(signal-to-interference-plus-noise ratio) 및 수신기들의 sum-rate은 각각 수학식 11, 12, 13과 같이 구해진다. 수학식 11, 12에서, σ_k^2 은 잡음전력을 의미한다.

수학식 11

$$\gamma_{c,k} = P_c |\mathbf{h}_k \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_c|^2 / \left(\sum_{j=1}^{N_K} P_p |\mathbf{h}_k \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_j|^2 + \sigma_k^2 \right)$$

수학식 12

$$\gamma_{p,k} = P_p |\mathbf{h}_k \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_k|^2 / \left(\sum_{j \neq k}^{N_K} P_p |\mathbf{h}_k \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_j|^2 + \sigma_k^2 \right)$$

수학식 13

$$R = \log_2(1 + \gamma_c) + \sum_{k=1}^{N_K} \log_2(1 + \gamma_{p,k})$$

여기서, 공용스트림은 모든 수신기에서 디코딩되어야 하므로, $\gamma_c = \min \gamma_{c,k}$ 로 표현이 가능하다. 이는 각 수신기에서 공용스트림에 대한 SINR 중 가장 낮은 값을 선택하는 것을 의미한다.

본 발명은, Sum-rate을 최대화하는 RIS 수동 소자 그룹화 방법을 통한 산란 행렬과 RSMA 전력 분할 비율을 최적화하기 위해서, 아래에 설명하는 절차를 통해, 먼저 산란 행렬 최적화를 진행하고 다음으로 전력 분할 비율을 최적화한다.

전력 분할 비율 값이 주어진다면, 통상의 최적화 알고리즘인 quasi-Newton method를 사용하여 최적의 산란행렬을 구할 수 있다. 하지만 RIS 수동 소자가 증가할수록 계산 복잡도가 증가하기 때문에 본 발명에서는 그룹별로 순차적으로 최적화를 진행함으로써 계산 복잡도를 줄일 수 있다.

각 그룹에 해당하는 유효 채널은 다음 수학식 14로 표현된다.

수학식 14

$$[\mathbf{h}_k]_{1:S_g} \Phi_g [\mathbf{G}]_{S_g,1:N_T}$$

수학식 14에서, S_g 는 g 번째 그룹에 속한 RIS 수동 소자들의 집합이며, [도 2]에 도시한 알고리즘에 따라 해당 집합을 구할 수 있다.

수학식 15와 같이 기존 RIS구조에서, 채널이득을 최대화하는 산란행렬을 초기 산란 행렬 Φ^s 로 정의한 후, 이를

바탕으로, 수학적식 16을 사용하여 각 사용자의 유효 채널 이득이 큰 순서대로 스케줄링 $\tilde{K}$ 을 정의한다.

수학적식 15

$$\Phi s = \arg \max_{\Phi} |\mathbf{H} \Phi \mathbf{G}|^2$$

위에서 설명한 것과 같이 $\mathbf{H}$ 는 송신기와 전체 수신기 간의 채널행렬, Φ 는 산란행렬, $\mathbf{G}$ 는 송신기와 RIS(Reconfigurable Intelligent Surface) 간의 채널행렬)이다.

수학적식 16

$$\tilde{K}[l] = \arg \max_k |\mathbf{h}_k \Phi \mathbf{G}|^2$$

($\tilde{K}[l]$ 는 l 번째 스케줄링 사용자, $\mathbf{h}_k$ 는 k 번째 수신기와 RIS(Reconfigurable Intelligent Surface) 간 채널, Φ 는 산란행렬, $\mathbf{G}$ 는 송신기와 RIS간의 채널행렬)

이후 사용자 스케줄링 순서에 따라 수학적식 17과 같이 유효 채널 이득이 큰 RIS 수동 소자들을 찾고, 이를 해당 사용자를 지원하는 그룹에 할당함으로써 그룹화를 진행한다. 이때, 각 그룹은 스케줄링 순서에 해당하는 사용자만을 지원하며, 스케줄링 된 사용자들의 지원이 종료되면 다시 첫 스케줄링 사용자부터 지원을 한다. 이는 수학적식 18과 연산하여 각 그룹에 유효 채널 이득이 큰 RIS 수동소자를 추가하여 갱신된 수동소자 그룹 S_g 를 구함으로써 달성된다. 수학적식 18은 집합 S_g 에 수학적식 17에서 구한 RIS 수동소자를 추가하여 새로운 집합을 형성하는 연산이다(수동소자 그룹 S_g 의 갱신). 그룹화 진행이 끝나면 그룹별로 순차적으로 최적의 산란행렬 Φ_g 을 구한다. 그룹별로 순차적으로 산란행렬을 최적화하는 것은 통상의 quasi-Newton method 최적화 기법을 적용하여 수행할 수 있다.

수학적식 17

$$\hat{m} = \arg \max_m |\mathbf{h}_{\tilde{K}[\hat{g}]} \Phi_{m,m} \mathbf{G}|^2$$

여기서, $\hat{m}$ 은 유효 채널이득이 큰 RIS 수동소자, $\hat{g}$ 은 그룹이 스케줄링 된 사용자를 모두 지원하고 다시 첫 스케줄링 사용자를 지원하기 위해 g 와 전체 사용자 수 N_K 의 나머지 연산을 한 값을 의미하며, $\tilde{K}[\hat{g}]$ 는 $\hat{g}$ 번째 스케줄링 사용자를 나타내며, $\mathbf{h}_{\tilde{K}[\hat{g}]}$ 는 $\tilde{K}[\hat{g}]$ 번째 수신기와 RIS(Reconfigurable Intelligent Surface) 간 채널 벡터, $\Phi_{m,m}$ 은 RIS 산란행렬에서 m 번째 행과 m 번째 열에 해당하는 원소이다.

수학적식 18

$$S_g = S_g \cup \{\hat{m}\}$$

(S_g 는 g 번째 그룹에 속한 RIS 수동 소자들의 집합, $\hat{m}$ 은 수학적식 17의 유효 채널이득이 큰 RIS 수동소자)

[도 3]은 본 발명의 그룹화 방법을 통해 얻어진 그룹화와 종래의 그룹화 방식의 차이를 보여준다. 일반적으로, 가로 축이나 세로축의 소자들을 그룹화하는 종래의 그룹화 방식(도 3a)보다 본 발명의 그룹화 방법(도 3b)은 사

용자의 채널에 적응적으로 그룹화할 수 있다.

[0056] 마지막으로, 공용 스트림과 개인 스트림에 대하여 최적의 RSMA 전력 분할 비율을 구해야 하는데, 본 목적 함수는 nonconvex function이다. 따라서 최적의 RSMA 전력 분할 비율(공용 스트림과 개인 스트림 사이의 전력 분할 비율)을 간단히 구하기 위해서 본 발명에서는 목적함수를 최적화하기 위해 Fractional Programming(FP)를 적용하여 목적함수를 분수 표현이 없는 식으로 표현하고 각 변수들에 대하여 1차미분한 식이 0이 되는 값을 구하고 업데이트함으로써 최적화할 수 있다.

[0057] 본 발명에서는, 시스템의 Sum-rate을 수학적 식 13에 수학적 식 11, 12를 대입하여 표현하고 이를, 보조 변수들 $(\nu_c, \mu_c, \nu_k, \mu_k)$ 을 추가하여 FP를 적용하면 수학적 식 19와 같이 표현된다. 여기에서, 보조 변수들 $\nu_c, \mu_c, \nu_k, \mu_k$ 또한, RSMA 전력분할 비율과 같이 최적화되어야 한다.

수학적 식 19

$$R = \log_2(1 + \nu_c) - \nu_c + 2\mu_c \sqrt{(1 + \nu_c)P_c |\mathbf{h}_{\hat{k}} \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_c|^2} - \mu_c^2 P_c |\mathbf{h}_{\hat{k}} \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_c|^2 -$$

$$\sum_{k=1}^{N_K} \mu_c^2 P_p |\mathbf{h}_{\hat{k}} \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_k|^2 + \mu_c^2 \sigma_k^2 + \sum_{k=1}^{N_K} \left\{ \log_2(1 + \nu_k) - \nu_k + 2\mu_k \sqrt{(1 + \nu_k)P_p |\mathbf{h}_k \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_k|^2} - \right.$$

$$\left. \sum_{j \neq k} \mu_k^2 P_p |\mathbf{h}_k \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_j|^2 + \mu_k^2 \sigma_k^2 \right\}$$

[0058]

[0059] ($\hat{k}$: 공용스트림의 최소 SINR 값을 갖는 수신기, $\mathbf{h}_k$: $\hat{k}$ 번째 수신기와 RIS 사이의 채널, Φ : 산란행렬, $\mathbf{p}_c$: 공용 스트림 프리코더 벡터, $\mathbf{p}_k$: k 번째 수신기 개인 스트림 프리코더 벡터 $\mathbf{p}_j$: $j \neq k$ 인 수신기 개인 스트림 프리코더 벡터 σ_k^2 : k 번째 수신기 잡음전력, P_c, P_p 는 각 스트림에 할당된 전력)

[0060] 각 변수들을 최적화하기 위해, 다른 변수들은 고정하고 구하고자 하는 변수에 대하여 수학적 식 19를 수학적 식 20과 같이 1차 미분하여 최적 값을 구하고 업데이트한다. 해당 과정을 sum-rate 값이 최대값에 수렴할 때까지 반복한다.

수학적 식 20

$$\frac{\partial R}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \log_2(1 + \nu_c) - \nu_c + 2\mu_c \sqrt{(1 + \nu_c)P_c |\mathbf{h}_{\hat{k}} \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_c|^2} - \mu_c^2 P_c |\mathbf{h}_{\hat{k}} \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_c|^2 - \right.$$

$$\left. \sum_{k=1}^{N_K} \mu_c^2 P_p |\mathbf{h}_{\hat{k}} \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_k|^2 + \mu_c^2 \sigma_k^2 + \sum_{k=1}^{N_K} \left\{ \log_2(1 + \nu_k) - \nu_k + 2\mu_k \sqrt{(1 + \nu_k)P_p |\mathbf{h}_k \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_k|^2} - \right. \right.$$

$$\left. \left. \sum_{j \neq k} \mu_k^2 P_p |\mathbf{h}_k \Phi \mathbf{G} \mathbf{p}_j|^2 + \mu_k^2 \sigma_k^2 \right\} \right\}$$

[0061]

[0062] ($\mathbf{x} = \{\nu_c, \mu_c, \nu_k, \mu_k, \alpha\}$, $\hat{k}$: 공용스트림의 최소 SINR 값을 갖는 수신기, $\mathbf{h}_k$: $\hat{k}$ 번째 수신기와 RIS 사이의 채널, Φ : 산란행렬, $\mathbf{p}_c$: 공용 스트림 프리코더 벡터, $\mathbf{p}_k$: k 번째 수신기 개인 스트림 프리코더 벡터 $\mathbf{p}_j$: $j \neq k$ 인 수신기 개인 스트림 프리코더 벡터 σ_k^2 : k 번째 수신기 잡음전력, P_c, P_p 는 각 스트림에 할당된 전력)

[0063] 이와 같이 수학적 식 20이 0이 되는 해를 구하며 변수들을 업데이트함으로써, 시스템 sum rate을 최대화하는 보조 변수들 $(\nu_c, \mu_c, \nu_k, \mu_k)$ 과 RSMA 전력분할비율의 최적값을 구한다.

[0064] RSMA 전력분할비율의 최적값은 수학적 식 5에 대한 설명에서 보듯이, $P_c = (1 - \alpha)P_T$, $P_p = \alpha P_T / N_K$ 가 각 스트림

에 할당된 전력일 때, $\alpha \in [0,1]$ 값의 최적 값이 되므로, 수학적 20이 0이 되는 P_c , P_p 의 해를 구함으로써, 최적의 RSMA 전력 분할 비율이 산출된다.

[0065] <실시 예>

[0066] [도 4] ~ [도 6]는 본 발명을 이용해 시뮬레이션 한 결과이다.

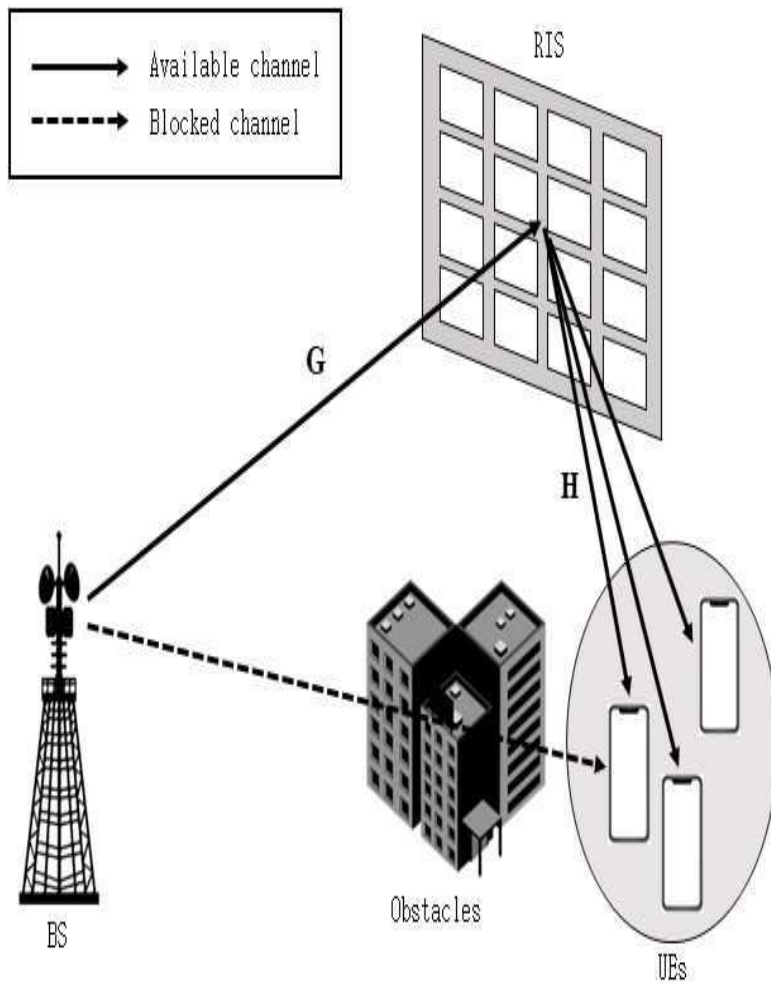
[0067] [도 4]는 반복 수에 따른 sum-rate 성능을 기존 RIS와 본 발명에서의 RIS 구조에 대해 나타낸다. 약 10번의 반복을 거치면 sum-rate이 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 또한 해당 알고리즘을 통해 약 10 bps/Hz정도의 sum-rate 향상이 있는 것을 확인할 수 있다.

[0068] [도 5]는 일반적인 그룹화 방법과 본 발명에서 제공하는 그룹화 방법을 RSMA와 SDMA 기반 시스템에 각각 적용하였을 때, RIS 수동 소자 개수에 따른 sum-rate 성능을 나타낸다. RIS 수동 소자가 48개일 때, RSMA 기반 시스템은 두 RIS 구조에서 7.7%, 9.8% 이득을 얻는다. 또한, 본 발명에서 제공하는 그룹화 방법이 일반적인 그룹화 방법보다 더 향상된 sum-rate 성능을 보인다. 그룹의 개수가 적을수록 더 높은 sum-rate 성능을 보여주지만, $N_G=8$ 의 본 발명에서 제공하는 그룹화 방법은 $N_G=4$ 의 일반적인 그룹화 방법의 성능의 근접한 성능을 얻는 것을 확인할 수 있다.

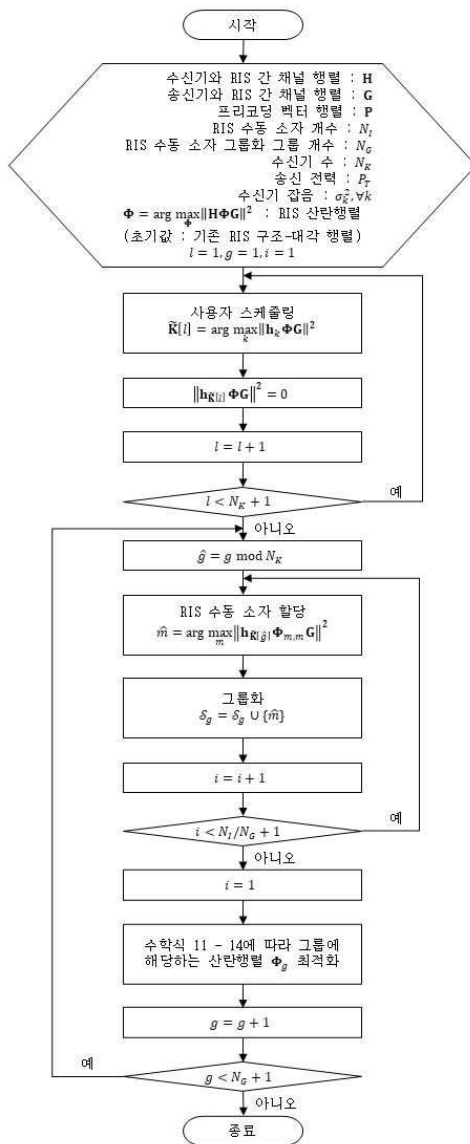
[0069] [도 6]은 RSMA와 SDMA 시스템에서 기존 RIS와 본 발명에서의 RIS의 전송전력에 따른 sum-rate 성능을 나타낸다. 본 발명에서의 RIS는 기존 RIS보다 향상된 sum-rate 성능을 보이며 RSMA 시스템은 SDMA 시스템보다 훨씬 향상된 성능을 보장한다.

도면

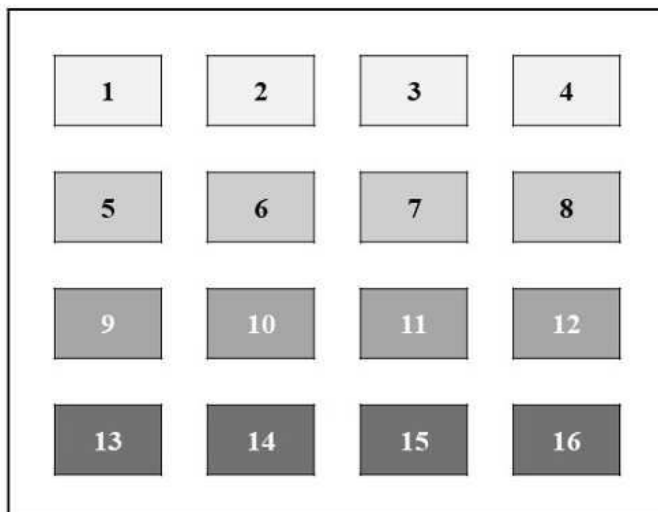
도면1



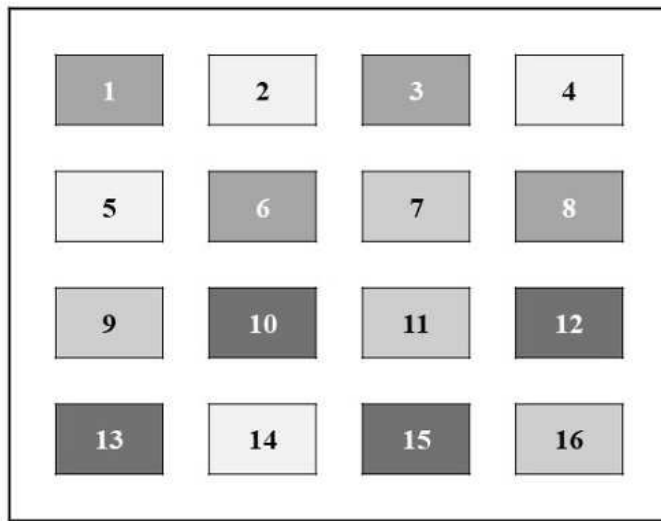
도면2



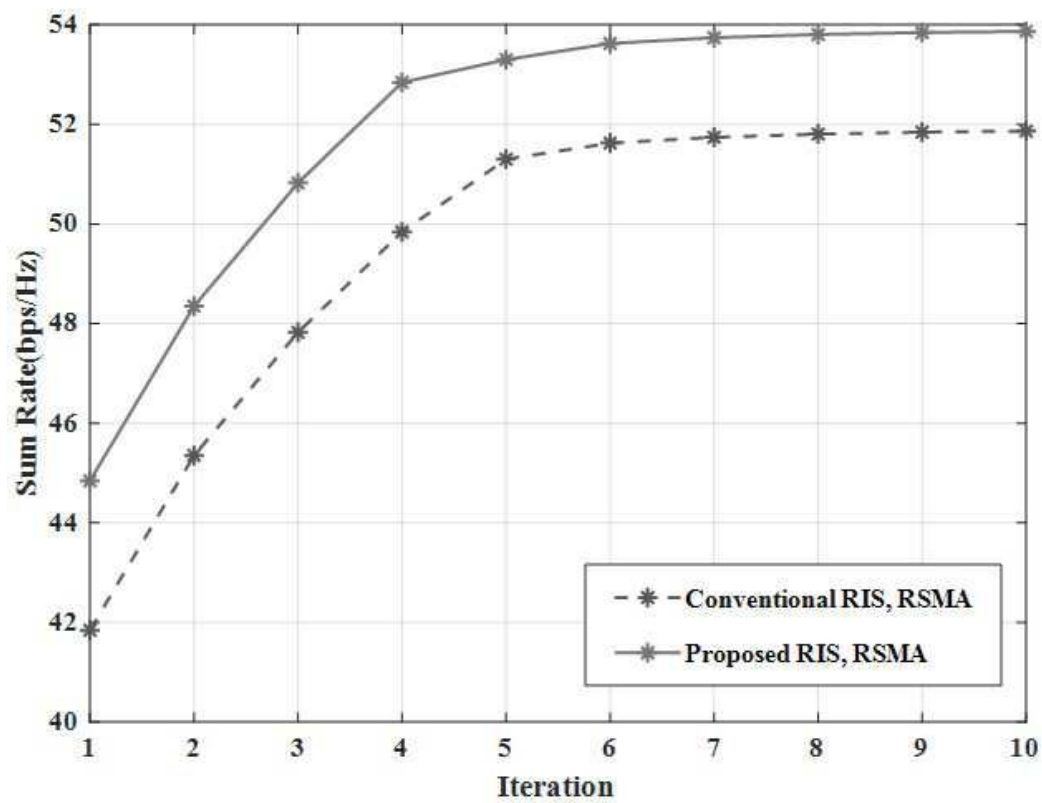
도면3a



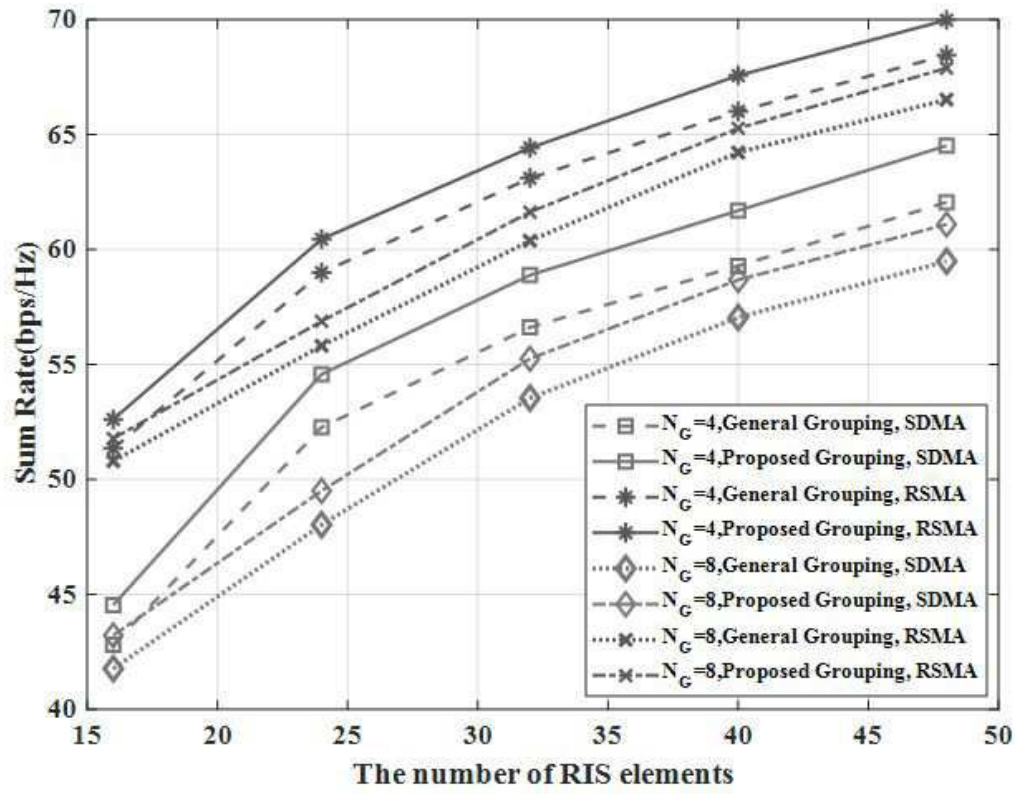
도면3b



도면4



도면5



도면6

