



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0072744
(43) 공개일자 2025년05월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/04 (2017.01) H04B 17/391 (2015.01)
H04B 7/06 (2017.01) H04L 5/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04B 7/04026 (2023.05)
H04B 17/391 (2015.01)
(21) 출원번호 10-2023-0159694
(22) 출원일자 2023년11월17일
심사청구일자 2023년11월17일

(71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 갯벌로 27, 인천대학교 이노베이션센터(송도동)
(72) 발명자
전광길
인천광역시 연수구 해송로 70, 209동 805호(송도동, 송도웰카운티2단지)
(74) 대리인
특허법인충정

전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 6세대 무선 시스템 지원을 위한 OFDM 통신 시스템

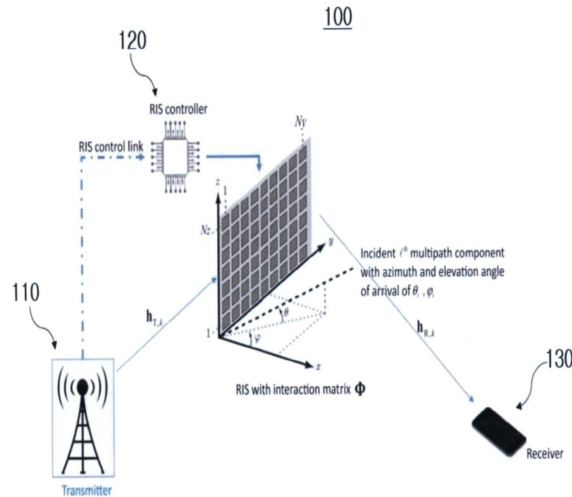
(57) 요약

6세대 무선 시스템 지원을 위한 OFDM 통신 시스템은 6세대 무선 통신 시스템을 지원하기 위하여 적대적 산적 접근 방식(adversarial bandit based on exponential weight algorithm for exploration and exploitation, EXP3)을 이용하여 RIS 기술의 연산 복잡도를 낮추고 실시간 작동이 가능하게 한다.

본 발명은 기존의 능동 중계/빔형성 기술과 달리 완전히 또는 거의 수동적으로 설계되어 하드웨어 비용과 에너지 소비가 더 낮은 효과가 있다.

본 발명은 기존의 통신 기술과 비교할 때 상당히 적은 데이터를 필요로 하고, 복잡도를 낮추어 달성 가능한 속도 및 에너지 효율성 측면에서 더 나은 결과를 도출할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H04B 7/06952 (2023.05)

H04L 5/001 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

K개의 부반송파를 갖는 직교 주파수 분할 다중(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 기반 전송을 채택한 송신기와 수신기를 포함하고,

상기 송신기는 재구성 가능한 지능형 표면(Reconfigurable Intelligent Surface, RIS)을 구비하고, 미리 정해지는 부호 벡터를 모아놓은 코드북 P에서의 모든 요소들의 확률을 계산하고, 상기 계산한 확률에 따라 반사 빔

포밍 벡터 ψ_n 를 선택하여 상기 부반송파를 상기 수신기로 송신하는 6세대 무선 시스템 지원을 위한 OFDM 통신 시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 RIS는 수신기에서 수신되는 수신 신호를 다음의 수학적 식 1로 나타내는 6세대 무선 시스템 지원을 위한 OFDM 통신 시스템.

[수학적 식 1]

$$y_k = \mathbf{h}_{R,k}^T \Phi \mathbf{h}_{T,k} s_k + n_k$$

여기서, y_k 는 수신기에서 수신되는 수신 신호이고, $\mathbf{h}_{T,k}, \mathbf{h}_{R,k}$ 는 $M \times 1$ 복소수값 벡터로서, $\mathbf{h}_{T,k}$ 는 RIS에 입력되는 입력 신호이고, $\mathbf{h}_{R,k}$ 는 RIS에서 출력되어 수신기에 입력되는 신호이고, $\Phi \in \mathbb{C}^{M \times M}$ 는 RIS 상호 작용 행렬이고, s_k and n_k 는 부반송파 k당 심볼과, 제로 평균과 분산 σ_n 을 가진 수신 잡음임.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 RIS에서의 채널 모델로는 $\mathbf{h}_{T,k}$ and $\mathbf{h}_{R,k}$ 에 대한 광대역 기하학적 채널 모델이 사용되는 6세대 무선 시스템 지원을 위한 OFDM 통신 시스템.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 RIS는 상기 수신기에서 달성 가능한 최대 속도의 반사 빔포밍 벡터 ψ_n 를 선택하는 6세대 무선 시스템 지원을 위한 OFDM 통신 시스템.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 최대 속도는 다음의 수학적 식 2에 의해 계산되는 RIS 지원을 위한 OFDM 통신 시스템.

[수학식 2]

$$R = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \log_2 \left(1 + \rho \left| (\mathbf{h}_{R,k} \odot \mathbf{h}_{T,k})^T \boldsymbol{\Psi} \right|^2 \right)$$

여기서, R은 최대 속도, K는 부반송파 개수, $\mathbf{h}_{T,k}, \mathbf{h}_{R,k}$ 는 $M \times 1$ 복소수값 벡터로서, $\mathbf{h}_{T,k}$ 는 RIS에 입력되는 입력 신호이고, $\mathbf{h}_{R,k}$ 는 RIS에서 출력되어 수신기에 입력되는 신호이고, $\boldsymbol{\Psi}$ 는 $M \times 1$ 열 벡터이고, $\odot$ 는 같은 크기의 두 행렬의 각 성분을 곱하는 연산하는 아다마르 곱(Hardward Product)이고, 신호 대 잡음비는 $\rho = P_T / K \sigma_n$ 이다. P_T 는 총 전송 전력이고, σ_n 는 분산임.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 RIS는 n번째 순번의 코드북의 확률을 하기의 수학식 3에 의해 계산하고, 상기 계산한 확률에 따라 임의의 순번(n_t)의 하나의 반사 빔포밍 벡터 $\boldsymbol{\Psi}_n$ 을 선택하고, 상기 선택한 반사 빔포밍 벡터 $\boldsymbol{\Psi}_n$ 을 상기 수학식 2에 대입하여여 달성 가능한 최대 속도를 계산하는 6세대 무선 시스템 지원을 위한 OFDM 통신 시스템.

[수학식 3]

$$p_n(t) = (1 - \gamma) \frac{w_n(t)}{\sum_{c=1}^N w_c(t)} + \frac{\gamma}{N}$$

여기서, $p_n(t)$ 은 반사 빔포밍 벡터가 선택될 확률, γ 은 랜덤으로 선택될 확률, w_n 은 가중치, N은 코드북에서 벡터 개수임.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 RIS는 샘플링된 채널 벡터를 추정하기 위해 파일럿 신호를 수신하는 경우, 채널 일관성 블록 크기 S에 걸쳐서 샘플링된 채널 벡터 $\bar{\mathbf{h}}(s) = \text{vec}([\bar{\mathbf{h}}_1(s), \bar{\mathbf{h}}_2(s), \dots, \bar{\mathbf{h}}_K(s)])$ 를 추정하기 위해 두 개의 파일럿 신호를 수신하는 6세대 무선 시스템 지원을 위한 OFDM 통신 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 OFDM 통신 시스템에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 6세대 무선 통신 시스템을 지원하기 위하여 적대적 산적 접근 방식(adversarial bandit based on exponential weight algorithm for exploration and exploitation, EXP3)을 이용하여 RIS 기술의 연산 복잡도를 낮추고 실시간 작동이 가능하게 하는 6세대 무선 시스템 지원을 위한 OFDM 통신 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 6세대 무선 통신 시스템은 미션 크리티컬 서비스(mission-critical services)(예를 들어, 자율 주행)로부터 안전 기준 작업까지 다양한 통신 서비스 관리에서 광범위하게 적용되고 있다.

[0003] 6세대(6G) 무선 시스템은 더 높은 수준의 자율성을 구현하고 인간과 기계 인터페이스를 개선하며 보다 다양한

환경에서 심층적인 연결을 달성할 것으로 예상된다.

[0004] 6세대 무선 시스템을 지원하기 위해서 재구성 가능한 지능형 표면(Reconfigurable Intelligent Surface, RIS)과 같은 핵심 물리 계층 기술이 연구되고 있다.

[0005] 그러나 이러한 RIS는 구현상의 문제로 인하여 실시간 작동과 관련하여 어려움을 겪고 있다.

[0006] 고차원 완전 수동 RIS는 일반적으로 채널 추정을 위해 비용이 많이 들거나 계산 복잡성이 높으며, 이로 인하여 피드백 오버헤드, 시스템 오버헤드가 많이 발생하여 시스템 구현의 문제점으로 대두되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 한국 특허공개번호 제10-2023-0054065호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명은 6세대 무선 통신 시스템을 지원하기 위하여 적대적 산적 접근 방식(adversarial bandit based on exponential weight algorithm for exploration and exploitation, EXP3)을 이용하여 RIS 기술의 연산 복잡도를 낮추고 실시간 작동이 가능하게 하는 6세대 무선 시스템 지원을 위한 OFDM 통신 시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 특징에 따른 6세대 무선 시스템 지원을 위한 OFDM 통신 시스템은,

[0010] K개의 부반송파를 갖는 직교 주파수 분할 다중(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 기반 전송을 채택한 송신기와 수신기를 포함하고,

[0011] 상기 송신기는 재구성 가능한 지능형 표면(Reconfigurable Intelligent Surface, RIS)을 구비하고, 미리 정해 지는 부호 벡터를 모아놓은 코드북 P에서의 모든 요소들의 확률을 계산하고, 상기 계산한 확률에 따라 반사 빔 포밍 벡터 ψ_n 를 선택하여 상기 부반송파를 상기 수신기로 송신한다.

[0012] RIS는 수신기에서 수신되는 수신 신호를 다음의 수학적 식 1로 나타낼 수 있다.

[0013] [수학적 식 1]

$$y_k = \mathbf{h}_{R,k}^T \Phi \mathbf{h}_{T,k} s_k + n_k$$

[0015] 여기서, y_k 는 수신기에서 수신되는 수신 신호이고, $\mathbf{h}_{T,k}, \mathbf{h}_{R,k}$ 는 $M \times 1$ 복소수값 벡터로서, $\mathbf{h}_{T,k}$ 는 RIS에 입력되는 입력 신호이고, $\mathbf{h}_{R,k}$ 는 RIS에서 출력되어 수신기에 입력되는 신호이고, $\Phi \in \mathbb{C}^{M \times M}$ 는 RIS 상 호 작용 행렬이고, s_k and n_k 는 부반송파 k당 심볼과, 제로 평균과 분산 σ_n 을 가진 수신 잡음임.

[0016] RIS에서의 채널 모델로는 $\mathbf{h}_{T,k}$ and $\mathbf{h}_{R,k}$ 에 대한 광대역 기하학적 채널 모델이 사용될 수 있다.

[0017] RIS는 상기 수신기에서 달성 가능한 최대 속도의 반사 빔포밍 벡터 ψ_n 를 선택할 수 있다.

발명의 효과

[0018] 전술한 구성에 의하여, 본 발명은 기존의 능동 중계/빔형성 기술과 달리 완전히 또는 거의 수동적으로 설계되어

하드웨어 비용과 에너지 소비가 더 낮은 효과가 있다.

[0019] 본 발명은 기존의 통신 기술과 비교할 때 상당히 적은 데이터를 필요로 하고, 복잡도를 낮추어 달성 가능한 속도 및 에너지 효율성 측면에서 더 나은 결과를 도출할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 6세대 무선 시스템 지원을 위한 OFDM 통신 시스템의 구성을 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 시뮬레이션을 위한 송신기, 수신기, RIS의 일례를 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 훈련 샘플수에 따른 달성 가능한 속도를 시뮬레이션한 결과를 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 활성요소 수에 따른 달성 가능한 속도를 시뮬레이션한 결과를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0022] 본 발명에서는 매우 적은 수의 활성 요소를 필요로 하는 반수동 RIS를 제공한다 본 발명에서는 채널 일관성 시간당 2개의 파일럿만 필요하고, 초기 단계에 있는 딥 러닝(DL) 도구의 적용은 실현 가능한 솔루션을 가능하게 한다는 가능성을 보여준다. 본 발명은 다운링크 기반 반사 빔포밍 참조 방법과 비교할 때 뛰어난 성능 이득을 갖는 두 가지 낮은 훈련 오버헤드와 에너지 효율적인 적대적 산적 접근 방식(Adversarial bandit approach)을 제공한다.

[0023] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 6세대 무선 시스템 지원을 위한 OFDM 통신 시스템의 구성을 나타낸 도면이다.

[0024] 본 발명의 실시예에 따른 6세대 무선 시스템 지원을 위한 OFDM 통신 시스템(100)은 송신기(110), RIS(120), 수신기(130)을 포함할 수 있다.

[0025] OFDM 통신 시스템(100)은 $M \times M$ 크기를 갖는 RIS(120)에 의해 송신기(110)와 수신기(130)의 통신이 지원된다.

[0026] 송신기(110)와 수신기(130)의 통신은 M 을 갖는 재구성 가능한 지능형 표면(Reconfigurable Intelligent Surface, RIS)(120)에 의해 지원된다.

[0027] 본 발명은 재구성 가능한 지능형 표면(Reconfigurable Intelligent Surface, RIS)(120)을 통한 무선 통신(예를 들어, 무선 신호들의 송신 및/또는 수신)을 위한 장치, 방법들, 프로세싱 시스템들, 및 컴퓨터 판독가능 매체들을 제공한다.

[0028] 일반적으로, RIS(120)는 인입 전자기장을 커스터마이징 가능한 방식으로 변경하도록 프로그램될 수 있는 집적 전자 회로들에 의해 제어된 메타-표면과 관련된다. 보다 구체적으로, RIS(120)는 입사 신호의 진폭을 변화시키지 않으면서 그 상에 입사하는 신호의 위상을 변화시킬 수 있는 하나 이상의 평면 반사 엘리먼트들로 구성될 수도 있다.

[0029] 일부 예들에서, RIS(120)는 반사 엘리먼트들의 어레이를 포함할 수도 있고, 여기서 어레이의 반사 엘리먼트들의 각각은 전자적으로 제어되는 공진 주파수에 의해 특징화된다. 반사 엘리먼트들은 연속적으로 또는 이산 포지션들로 인입 필드 상에서 동작할 수도 있다. 예를 들어, RIS(120)의 반사 엘리먼트들의 어레이는 업링크 또는 다운링크 송신의 특정 빔을 반사하기 위해 단일 그룹으로서 구성될 수도 있거나, 또는 엘리먼트들이 다중-입력 다중-출력(MIMO) 통신들을 보조하기 위해 이산 그룹들로 구성될 수도 있다.

[0030] 반사 엘리먼트들의 어레이는 RIS(120)로부터 반사된 전자기장들에 대해 변환을 수행하도록 엔지니어링된 물리적 특성들 (예를 들어, 유전율 및 투자율)을 갖는 메타 재료로 구성될 수도 있다.

[0031] 따라서, RIS(120)는 특정한 방향에서 인입 무선 빔들 또는 신호들을 포워딩 또는 "반사" 하도록 구성된 실질적으로 패시브 디바이스일 수도 있다.

[0032] RIS(120)는 MIMO 통신들에서 무선 통신 쓰루풋을 증가시키기 위해 액티브 안테나 엘리먼트들에 대한 저에너지

대안을 제공한다.

- [0033] 이와 같이, RIS(120)는 반사 엘리먼트들의 어레이의 각각에서 위상 시프트를 조정함으로써 입사 무선 신호들을 방향성으로 반사하도록 구성될 수도 있고, 이에 의해 하나 이상의 반사 엘리먼트들에 대한 위상 시프트 수정들에 의한 신호 전파를 허용한다.
- [0034] 송신기(110)와 수신기(130)는 모두 단일 안테나를 갖추고 있다고 가정한다.
- [0035] 송신기(110)와 수신기(130)는 K개의 부반송파를 갖는 직교 주파수 분할 다중(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 기반 전송을 채택한다.
- [0036] 송신기(110)는 RIS 컨트롤러를 구비한 재구성 가능한 지능형 표면(Reconfigurable Intelligent Surface, RIS)(120)을 구비하고, RIS 제어 링크를 통해 RIS 컨트롤러와 연결되어 있다. 이하에서는 본 발명에서는 설명의 편의를 위해서 RIS 컨트롤러를 RIS(120)로 표현하기로 한다.
- [0037] RIS(120)는 $M = N_y \cdot N_z$ 을 가진 상호 작용 행렬 Φ 을 형성한다.
- [0038] 도 1에 도시된 바와 같이, RIS(120)를 통한 제어 링크는 $M \times 1$ 복소수값 벡터 $\mathbf{h}_{T,k}, \mathbf{h}_{R,k} \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 에 의해 표현된다.
- [0039] RIS(120)는 수신기(130)에서 수신되는 수신 신호를 다음의 수학적 식 1로 표현할 수 있다.
- [0040] RIS(120)의 장점은 대부분 직접 경로가 차단되거나 매우 약한 경우에 활용된다,

수학적 식 1

[0041]
$$y_k = \mathbf{h}_{R,k}^T \Phi \mathbf{h}_{T,k} s_k + n_k$$

[0042] 여기서, y_k 는 수신기(130)에서 수신되는 수신 신호이고, $\mathbf{h}_{T,k}, \mathbf{h}_{R,k}$ 는 $M \times 1$ 복소수값 벡터로서, $\mathbf{h}_{T,k}$ 는 RIS(120)에 입력되는 입력 신호이고, $\mathbf{h}_{R,k}$ 는 RIS(120)에서 출력되어 수신기(130)에 입력되는 신호이고, $\Phi \in \mathbb{C}^{M \times M}$ 는 RIS 상호 작용 행렬이고, s_k and n_k 는 부반송파 k당 심볼과, 제로 평균과 분산 σ_n 을 가진 수신 잡음을 나타낸다.

[0043] P_T 가 총 전송 전력인 경우, 부반송파당 후속 전력 제한은 $E(|s_k|^2) = P_T/K$ 로 수행된다.

[0044] $M \times 1$ 열 벡터 Ψ 에서 상호 작용 행렬 Φ 의 대각선 요소를 재배열하면, $\Phi = \text{diag}(\Psi)$ 와 같은 이를 반사 빔포밍(BF) 벡터라고 한다.

[0045] 전술한 수학적 식 1은 다음의 수학적 식 2와 같이 보다 편리한 형태로 표현될 수 있다.

수학적 식 2

[0046]
$$y_k = (\mathbf{h}_{R,k} \odot \mathbf{h}_{T,k})^T \Psi s_k + n_k$$

[0047] 여기서, y_k 는 수신기(130)에서 수신되는 수신 신호이고, $\mathbf{h}_{T,k}, \mathbf{h}_{R,k}$ 는 $M \times 1$ 복소수값 벡터로서, $\mathbf{h}_{T,k}$ 는 RIS(120)에 입력되는 입력 신호이고, $\mathbf{h}_{R,k}$ 는 RIS(120)에서 출력되어 수신기(130)에 입력되는 신호이고,

$\Phi \in \mathbb{C}^{M \times M}$ 는 RIS 상호 작용 행렬이고, $(\cdot)^T$ and $E(\cdot)$ 는 각각 전치 연산 및 기대 연산이고, Ψ 는 $M \times 1$ 열 벡터이고, s_k and n_k 는 부반송파 k당 심볼과, 제로 평균과 분산 σ_n 을 가진 수신 잡음을 나타낸다.

⊙ 는 같은 크기의 두 행렬의 각 성분을 곱하는 연산하는 아다마르 곱(Hardward Product)을 나타내고, 위상 천이가 모든 부반송파에 대해 동일한 위상 천이를 적용하는 거의 수동적인 RIS(120)의 실제 구현 제약 사항을 거의 부과하지 않으면 Ψ 의 m번째 요소는 $[\Psi]_m = e^{j\phi_m}$ 로 모델링된다.

(1) 채널 모델 및 RIS 설계 목표

도 1에 도시된 바와 같이, RIS(120)에서의 채널 모델로는 $\mathbf{h}_{T,k}$ and $\mathbf{h}_{R,k}$ 에 대한 광대역 기하학적 채널 모델이 사용된다. 따라서, $\mathbf{h}_{T,k}$ and $\mathbf{h}_{R,k}$ 는 총 L개의 경로 중 ℓ 번째 경로의 도착/출발의 방위각과 고도의 함수로 표현되어 RIS(120)의 배열 벡터는 $\mathbf{a}(\theta_\ell, \varphi_\ell) \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 로 정의된다.

여기서, $\theta_\ell, \varphi_\ell$ 는 방위각과 고도이고, $\theta_\ell \in [0, 2\pi)$ and $\varphi_\ell \in [0, \pi)$ 이다(도 1 참조).

따라서, RIS(120)는 설계 목표로 수신기(130)에서 달성 가능한 최대 속도를 가진 반사 빔포밍(BF) 벡터 Ψ 를 선택하는 것이다.

수학식 3

$$R = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \log_2 \left(1 + \rho \left| (\mathbf{h}_{R,k} \odot \mathbf{h}_{T,k})^T \Psi \right|^2 \right)$$

여기서, R은 최대 속도, K는 부반송파 개수, $\mathbf{h}_{T,k}, \mathbf{h}_{R,k}$ 는 $M \times 1$ 복소수값 벡터로서, $\mathbf{h}_{T,k}$ 는 RIS(120)에 입력되는 입력 신호이고, $\mathbf{h}_{R,k}$ 는 RIS(120)에서 출력되어 수신기(130)에 입력되는 신호이고, Ψ 는 $M \times 1$ 열 벡터이고, $\odot$ 는 같은 크기의 두 행렬의 각 성분을 곱하는 연산하는 아다마르 곱(Hardward Product)이고, 신호 대 잡음비는 $\rho = P_T / K \sigma_n$ 이다. P_T 는 총 전송 전력이고, σ_n 는 분산을 나타낸다.

T는 지수 가중치 알고리즘의 반복 횟수이다.

최대화(Maximization)는 실제 무선 주파수(RF) 위상 시프터(phase shifter)가 양자화된 위상값을 사용한다는 사실로 인해 개별적으로 사전 정의된 코드북 P에 대해 수행된다.

수학식 3을 최대화하려면 코드북 P에 대한 철저한 검색이 필요하다.

(2) 탐색 및 활용을 위한 지수 가중치 알고리즘을 통한 적대적 산적 접근 방식(Adversarial bandit approach via exponential-weight algorithm for exploration and exploitation)

RIS(120)에서 반사 빔포밍(BF) 벡터를 예측하기 위해서는 다운링크(DownLink) 기반 접근 방식을 사용한다.

RIS(120)는 채널 일관성 블록 크기 S에 걸쳐서 샘플링된 채널 벡터 $\bar{\mathbf{h}}(s) = \text{vec}([\bar{\mathbf{h}}_1(s), \bar{\mathbf{h}}_2(s), \dots, \bar{\mathbf{h}}_K(s)])$ 를 추정하기 위해 두 개의 파일럿 신호를 수신한다.

파일럿 신호는 부반송파를 재현시키기 위하여 동기용으로 보내는 신호일 수 있다.

- [0062] 여기서, $\bar{\mathbf{h}}_k(s) \in \mathbb{C}^{\bar{M} \times 1}$ 은 s번째 채널 일관성 블록의 k번째 부반송파를 대해서 샘플링된 결합 채널 벡터 $\mathbf{h}_k = \mathbf{h}_{R,k} \odot \mathbf{h}_{T,k}$ 를 나타낸다.
- [0063] RIS 요소 $\bar{M} \ll M$ 의 분수를 사용하여 활성 요소로 간주된다(즉, 효과적인 업링크 및 다운링크 채널 추정을 위한 수신기(130) 체인을 처리하기 위하여 전체 RF 및 베이스밴드를 갖추고 있음).
- [0064] 빔 훈련 중에 RIS(120)는 코드북 P에서 하나의 반사 빔포밍 벡터 $\boldsymbol{\psi}$ (하나의 반사 BF 벡터가 모든 부반송파에 대해 사용 가능하기 때문에 아래 첨자 k가 제거된다는 점에 유의)를 사용하여 구성된다.
- [0065] 데이터 세트는 튜플 $\Upsilon \leftarrow (\bar{\mathbf{h}}(s), \mathbf{r}(s))$ 로부터 축소된다. 여기서, $\mathbf{r}(s) = [R_1(s), R_2(s), \dots, R_N(s)]^T$ 와 $R_n(s)$ 는 n번째 코드북을 이용하여 측정된 속도이다(N은 코드북(Codebook) P의 카디널리티(Cardinality)이다. 마지막으로 심층 신경망은 데이터 세트 Υ 를 사용하여 훈련한다.
- [0066] 새로운 아키텍처에도 불구하고, 업링크 및 다운링크 채널 벡터를 샘플링하기 위해서 몇 가지 액티브 요소의 사용을 제공한다
- [0067] 따라서, 본 발명은 코드북 P의 모든 요소를 동일하게 확장하는 대신 더 가능성 있는 최적의 빔을 선호하는 방식을 채택하는 적대적 산적 방식에 기반한 접근 방식을 제공한다.
- [0068] 따라서, 데이터 세트 Υ 에는 훈련에 더 유용한 데이터가 있다. 표 1은 탐사 및 활용을 위한 지수 가중치 알고리즘(EXP3)을 기반으로 제안된 적대적 산적을 보여준다. 적대적 산적 방식은 예상 이득(달성 가능한 속도)을 최대화하는 방식으로 대체 선택(반사 빔 형성) 중에서 고정된 제한된 리소스 세트(위상 시프터)를 할당해야 하는 다중 무장 산적 문제(multi-armed bandit problem)의 변형이다.
- [0069] 각 선택의 속성이 할당 당시 부분적으로만 알려지고 시간이 지남에 따라 더 잘 이해될 수 있는 경우이다. 이것은 산적 문제의 가장 강력한 일반화 중 하나이다. 분포의 모든 가정을 무시하기 때문이다.
- [0070] 지수 가중치 알고리즘을 통한 적대적 산적 접근 방식은 다음의 표 1과 같다.

표 1

Input: reflection beamforming codebook	
Initialize: $\gamma \in (0,1]$ and	
weights $w_n(t=1) = 1$ for $n = 1, \dots, N$	
Phase I: Learning phase	
1	For $s = 1$ to S do (span over S channel coherent blocks)
2	RIS receives two pilots to estimate $\bar{\mathbf{h}}(s)$
3	For $t = 1$ to T do (go over T iterations)
4	Compute the probability of the n -th codebook
	$p_n(t) = (1-\gamma) \frac{w_n(t)}{\sum_{c=1}^N w_c(t)} + \frac{\gamma}{N}$
5	Draw n_t randomly according to the probabilities $p_1(t), p_2(t), \dots, p_N(t)$ and RIS uses $\boldsymbol{\psi}_{n_t}$
6	RIS receives $R_{n_t}(s)$
7	Compute the reward $r_{n_t} \in [0,1]$
8	For $c = 1$ to N do (update the weights)
9	$\hat{r}_c(t+1) = \begin{cases} r_c(t)/p_c(t) & \text{if } c = n_t \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
10	$w_n(t+1) = w_n(t) e^{\gamma \hat{r}_c(t)/N}$
11	Store the new entry in the learning data set $\Upsilon \leftarrow (\bar{\mathbf{h}}(s), \mathbf{p}(s))$ where
	$\mathbf{p}(s) = [p_1(T), p_2(T), \dots, p_N(T)]^T$
12	Train the DL model using the learning dataset Υ
Phase II: Prediction phase	
13	While True do (for every channel coherent block s')
14	RIS receives two pilots to estimate $\bar{\mathbf{h}}(s')$
15	Predict the probability vector $\mathbf{p}(s')$
16	RIS uses $\boldsymbol{\psi}_{n^*}$ where $n^* = \arg \max_n [\mathbf{p}(s')]_n$

[0071]

[0072] RIS(120)는 심층 신경망을 포함하고, 입력으로 반사 빔포밍 코드북을 입력하고, 초기값으로 $\gamma \in (0,1]$, 가중치 $w_n(t=1) = 1$ for $n = 1, \dots, N$ 로 설정하며, 학습 단계와 예측 단계로 구현할 수 있다.

[0073] RIS(120)는 지수 가중치 알고리즘을 수행하고, 지수 가중치 알고리즘(표 1의 4단계 및 5단계)은 코드북 P에서 랜덤의 확률($1-\gamma$)까지 반사 빔포밍 벡터 $\boldsymbol{\psi}_n$ 을 선택한다.

[0074] RIS(120)는 n번째 순번의 코드북의 확률을 하기의 수학적 식 4에 의해 계산하고, 계산한 확률에 따라 임의의 순번(n_t)의 하나의 반사 빔포밍 벡터 $\boldsymbol{\psi}_n$ 을 선택하고, 선택한 반사 빔포밍 벡터 $\boldsymbol{\psi}_n$ 을 수학적 식 3에 대입하여 달 성 가능한 최대 속도를 계산할 수 있다.

수학식 4

$$p_n(t) = (1 - \gamma) \frac{w_n(t)}{\sum_{c=1}^N w_c(t)} + \frac{\gamma}{N}$$

[0075]

[0076] 여기서, $p_n(t)$ 은 반사 빔포밍 벡터가 선택될 확률, γ 은 랜덤으로 선택될 확률, w_n 은 가중치, N 은 코드북에서 벡터 개수를 나타낼 수 있다.

[0077] 코드북은 부호화/복호화를 위해서 미리 정해지는 부호 벡터들을 모아놓은 색인화된 집합체를 나타낼 수 있다.

[0078] RIS(120)는 더 높은 가중치를 갖는 선택(exploit)을 선호하고, 균일하게 무작위로 탐색하기 위해서 확률 γ 를 선택한다. 리워드를 받은 후(6단계 및 7단계), 가중치가 업데이트 된다(9단계 및 10단계). 기하급수적인 성장으로 우수한 반사 빔포밍 벡터의 무게가 크게 증가한다.

[0079] (3) 학습 오버헤드에 대한 참고 사항(A note on the training overhead)

[0080] 하나의 일관성있는 블록 s 에 대해 4 내지 10단계가 T 번 반복된다. 여기서, T 는 코드북의 크기 $N = |P|$ 로 설정되는 EXP 알고리즘 반복 횟수이다(향후 고려되는 작업은 다양한 시스템 매개변수에 따라 최적의 반복 횟수를 연구하는 것이다).

[0081] 모든 반복에서 EXP 알고리즘을 기반으로 하는 코드북에서 하나의 반사 빔포밍 벡터가 선택된다(5단계). 이는 수신기(130)가 해당 달성 가능한 속도(수학식 3)를 계산하는 후속 파일럿 전송에 사용된다.

[0082] 달성 가능한 속도는 리워드를 계산하는데 사용되며(7 내지 9 단계), 관련 가중치를 업데이트한다(10 단계).

[0083] 이러한 가중치는 선택한 반사 빔포밍 벡터의 확률 $p_n(t)$ 를 계산하는데 사용된다(4단계). T 반복 후, 데이터 세트는 $\Upsilon \leftarrow (\bar{\mathbf{h}}(s), \mathbf{p}(s))$ 로 업데이트된다.

[0084] 여기서, $\mathbf{p}(s) = [p_1(T), p_2(T), \dots, p_N(T)]^T$ 는 일관성 있는 블록 s 에 대한 코드북의 모든 요소의 확률을 나타낸다.

[0085] 이 프로세스는 시뮬레이션에 사용된 광선 추적 시나리오 '01'(도 2 참조)에서 54,300개의 가능한 위치에 해당하는 S 일관성 블록에 대해 반복된다. 훈련 데이터 세트 Υ 의 80%는 결합된 채널 벡터와 코드북 요소의 확률 사이의 매핑을 학습하기 위해 심층 신경망(DNN)을 훈련하는데 사용된다.

[0086] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 시뮬레이션을 위한 송신기, 수신기, RIS의 일례를 나타낸 도면이다.

[0087] 본 발명의 EXP3 기반 학습 방식은 deep-MIMO 데이터 세트의 실외 광선 추적 시나리오 '01'을 사용하여 평가된다.

[0088] RIS는 28GHz mmWave 설정에서 3dBi 이득을 갖는 16x16($M=256$) 안테나 요소가 있는 UPA(균일 평면 배열)를 채택했다. 송신 전력은 10dBW로 설정되고 수신기의 잡음 지수는 5dB입니다. 코드북 P 는 2D 이산 푸리에 변환(DFT) 행렬을 사용하여 구성된다.

[0089] BS#3은 RIS(120)로 선택되고 송신기(110)는 원시 R850 및 열 90의 위치에 고정된다. 수신기(130)는 원시 R1000과 R1300 사이의 x-y 그리드 내 54,300개 지점에 배치될 수 있다. 이 포인트는 80% 훈련 세트와 20% 테스트 세트로 분할된 데이터 세트를 구성한다.

[0090] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 훈련 샘플수에 따른 달성 가능한 속도를 시뮬레이션한 결과를 나타낸 도면이고, 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 활성요소 수에 따른 달성 가능한 속도를 시뮬레이션한 결과를 나타

낸 도면이다.

[0091] 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 EXP3 기반 방식은 DL 반사 빔 형성 기술에 비해 실질적으로 더 적은 데이터를 필요로 하는데, 이는 가능성이 낮은 반사 빔이 활용 단계에서 이를 제외하고 더 낮은 확률로 제공된다는 점을 강조하는 데이터 세트의 최적 선택으로 인해 발생한다.

[0092] 도 4에 도시된 바와 같이, EXP3 알고리즘(표 1, 5단계)과 DL 반사 빔형성은 도 4에 표시된 것처럼 경쟁력 있는 성능을 유지하기 위해 더 많은 활성요소가 필요하다. EXP3 기반 학습 방식은 DL 반사 빔포밍 방법을 사용한 결과 88%에 비해 최적 달성 가능 속도의 96%를 달성한다. 본 발명은 활성요소($\bar{M}$) 수가 4개 이상인 경우 모든 방법이 지니 보조 방법에 가까운 성능을 보이고 있는 것으로 보인다

[0093] 감지 단계(정상 작동) 동안, 일관성 있는 블록 s' 당 2개의 파일럿을 전송한다.

[0094] 결합된 채널 벡터 $\bar{\mathbf{h}}(s')$ 는 적은 수의 활성 요소를 사용하여 계산되고, DNN에 입력되어 코드북 $\mathbf{p}(s') = [p_1, p_2, \dots, p_N]^T$ 요소 확률을 추론한다.

[0095] RIS(120)는 코드북 ψ_{n^*} 을 사용한다. 여기서, $n^* = \arg \max_n [\mathbf{p}(s')]_n$ 이다.

[0096] 제안된 방식의 주요 장점은 속도를 심층 신경망 출력으로 사용하는 대신에, 풀 확률 벡터(pull-probability vector) $\mathbf{p}(s) = [p_1(T), p_2(T), \dots, p_N(T)]^T$ 는 정규화된 리워드(Reward)(7단계)를 사용하여 계산된 업데이트된 가중치를 사용하여 4단계에서 계산된다.

[0097] T는 코드북 크기 $N = |P|$ 로 설정된 EXP 알고리즘 반복 횟수의 숫자이다.

[0098] 정규화된 리워드(Reward) r_{n_t} 는 수신 속도 $R_{n_t}(s)$ as $r_{n_t} = R_{n_t}(s)/R_{\max}$ 을 이용하여 계산된다.

[0099] 여기서, $R_{\max}$ 는 달성 가능한 최대 속도이거나 $r_{n_t} \in [0, 1]$ 이 되도록 하는 숫자이다.

[0100] 표 1에서 제안한 방식의 학습 단계의 계산 복잡도는 두 부분으로 나뉜다. 첫번째 부분은 3단계 내지 10단계로 구성되고, 두 번째 부분은 DL 모델 교육을 수반하는 12단계로 구성된다.

[0101] 기본 스칼라 연산(예: 곱셈, 나눗셈, 지수화)을 수행하는 반면 참조 방법은 이 단계에서 어떤 연산도 포함하지 않는다. 그러나 DL 모델이 훈련되는 파트 2에서 참조 방법은 유사한 달성 가능한 속도에 도달하기 위해 10배 이상 더 큰 데이터 세트가 필요하다(도 3 참조). DL 모델의 훈련은 첫 번째 부분에 비해 단연 가장 지배적인 계산 부담이다.

[0102] $\gamma \in (0, 1]$ 와 반복 횟수 T는 수동으로 0.1로 설정되고, $N = |P|$ 에서 필요한 훈련 데이터 세트 크기가 상당히 증가한 것으로 나타났다.

[0103] 그러나 다양한 시스템 매개변수에 대해 이러한 하이퍼 매개변수의 최적값을 추론하려면 추가 조사가 필요하다. 한 가지 접근 방식은 가능한 모든 값에 대해 철저한 그리드 검색을 수행하는 것이다. 최적의 값은 훨씬 더 작은 훈련 데이터 세트의 제약 조건에서 최고의 달성 가능한 속도 및/또는 스펙트럼 에너지 효율성을 제공하는 값이다. 또 다른 매우 매력적인 접근 방식은 예를 들어 모델에 구애받지 않는 메타 학습(MAML) 알고리즘을 사용하여 이러한 하이퍼파라미터를 학습하는 메타 학습에 의존하는 것이다.

[0104] 다음의 표 2는 연산 복잡도를 개선하기 위하여 지수 잡음이 추가된 FPL(Follow the Perturbed Leader) 알고리즘을 이용하여 반사 빔포밍 벡터를 선택하는 적대적 산적 접근 방식을 설명하고 있다,

[0105] 표 2는 전술한 표 1과 비교하여 4단계에서 계산할 수 있는 지수 잡음이 추가 되었다.

표 2

Input: reflection beamforming codebook	
Initialize: γ real value	
Rewards $\hat{r}_n(t=1) = 0$ for $n = 1, \dots, N$	
Phase I: Learning phase	
1	For $s = 1$ to S do (span over S channel coherent blocks)
2	RIS receives two pilots to estimate $\bar{\mathbf{h}}(s)$
3	For $t = 1$ to T do (go over T iterations)
4	Generate a random noise from an exponential distribution for each arm $n : z_n(t) \sim \exp(\gamma)$
5	Draw an arm n_t where $n_t = \arg \max_n [\hat{r}_n(t) + z_n(t)]$ RIS uses Ψ_{n_t}
6	RIS receives $R_{n_t}(s)$
7	Compute the instantaneous reward $r_{n_t} \in [0, 1]$ based on $R_{n_t}(s)$
8	For $c = 1$ to N do (update the rewards)
9	$\hat{r}_c(t+1) = \begin{cases} \hat{r}_c(t) + r_c(t) & \text{if } c = n_t \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
10	Store the new entry in the learning data set $\Upsilon \leftarrow (\bar{\mathbf{h}}(s), \hat{\mathbf{r}}(s))$ where $\hat{\mathbf{r}}(s) = [\hat{r}_1(T), \hat{r}_2(T), \dots, \hat{r}_N(T)]^T$
11	Train the DL model using the learning dataset Υ
Phase II: Prediction phase	
12	While True do (for every channel coherent block s')
13	RIS receives two pilots to estimate $\bar{\mathbf{h}}(s')$
14	Predict the probability vector $\hat{\mathbf{r}}(s')$
15	RIS uses Ψ_{n^*} where $n^* = \arg \max_n [\hat{\mathbf{r}}(s')]_n$

[0106]

[0107] 본 발명은 6세대 무선 시스템을 지원하기 위해 지능형 재구성 안테나(Reconfigurable Intelligent Surfaces, RIS)기술이 실시간 작동하기 위하여 직면하고 있는 문제점을 해결하기 위한 것으로, 탐색 및 활용을 위한 지수 가중치 알고리즘을 기반으로 하는 적대적 산적 접근 방식(adversarial bandit based on exponential weight algorithm for exploration and exploitation, EXP3)을 제공하고, 연산 복잡도를 개선하기 위해 FPL(Follow the Perturbed Leader) 방식을 제공할 수 있다.

[0108] 본 발명은 코드북의 모든 요소를 동등하게 확장하는 대신 더 가능성이 높은 최적의 빔을 선호하는 방식을 채택 하는 adversarial bandit 방식에 기반한 접근 방식을 제안하고, 채널 모델은 광대역 기하학적 채널 모델이 사용 된다. 제안된 방법(EXP3 및 FPL)과 함께 사용된 상태-행동 심층 신경망 모델은 그 품질을 비교하기 위해 저전력 (PL)과 같은 최신 기술을 활용한다.

[0109] 본 발명에서는 매우 적은 수의 능동 요소를 필요로 하는 반수동 RIS를 조사하며 채널 일관성 시간당 2개의 파일럿만 필요하다는 점을 특징으로 한다. 본 발명의 EXP3 기반 방식은 DL 반사 빔 형성 기술과 비교할 때 상당히 적은 데이터를 필요로 하고, 제안된 FPL 알고리즘을 사용하면 복잡도가 낮은 대안을 고려하면서도 달성 가능한 속도 및 에너지 효율성 측면에서 더 나은 결과를 도출할 수 있다.

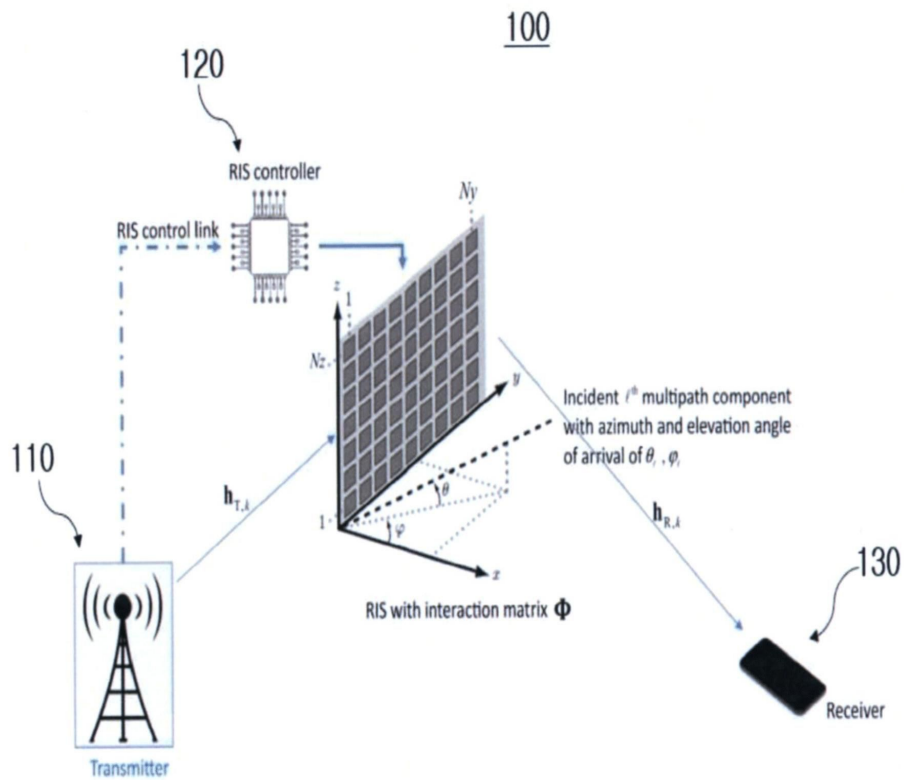
[0110] 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리 범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

부호의 설명

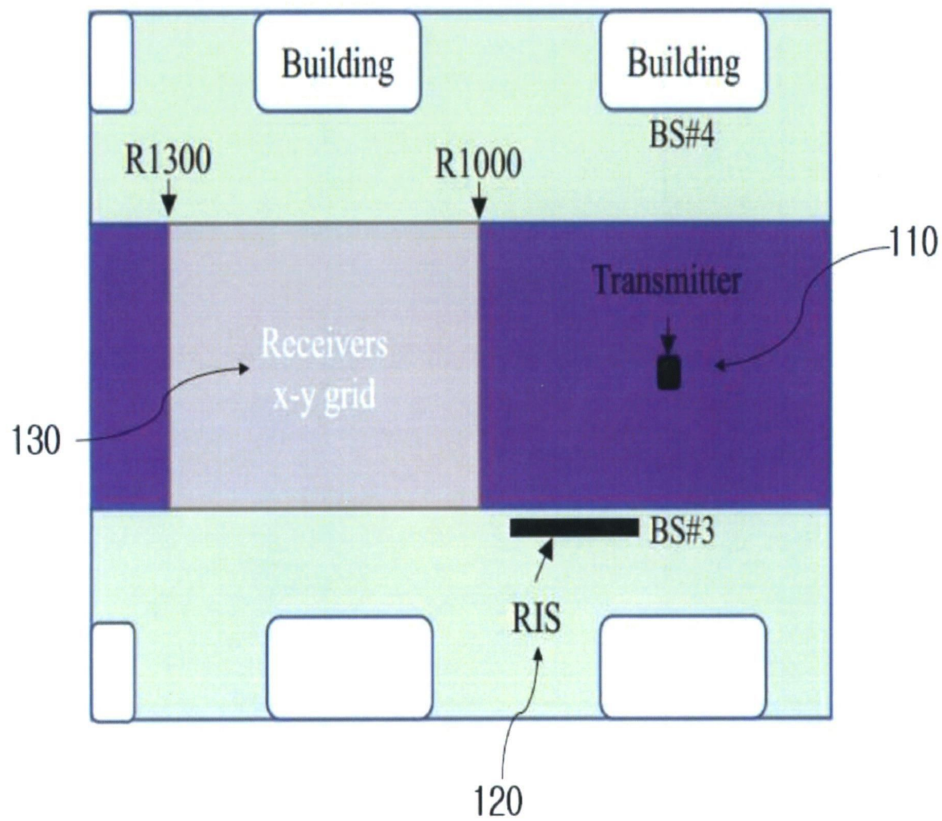
- [0111]
- 100: 통신 시스템
 - 110: 송신기
 - 120: RIS
 - 130: 수신기

도면

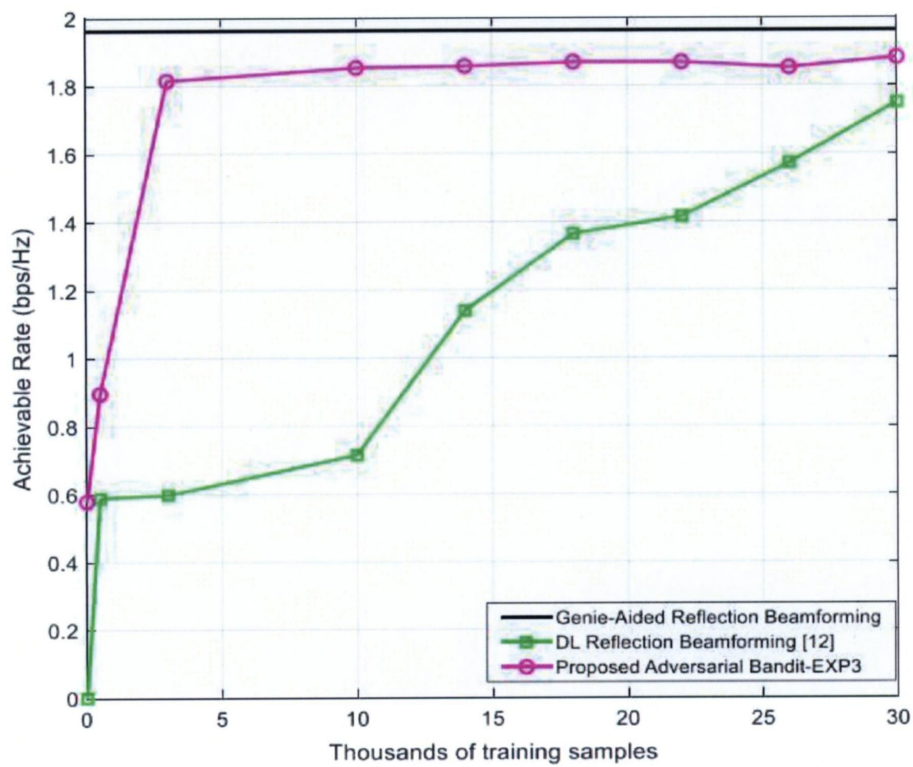
도면1



도면2



도면3



도면4

