(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0088519
(43) 공개일자 2024년06월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/06 (2017.01) *G01S 7/00* (2006.01)
G06N 3/08 (2023.01) *H04B 7/0413* (2017.01)
H04B 7/145 (2006.01) *H04W 24/02* (2009.01)
H04W 8/00 (2009.01)
(52) CPC특허분류
H04B 7/0617 (2013.01)
G01S 7/003 (2021.01)
(21) 출원번호 10-2023-0027953
(22) 출원일자 2023년03월02일
심사청구일자 2023년03월02일
(30) 우선권주장
1020220173550 2022년12월13일 대한민국(KR)

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
이영록
서울특별시 동대문구 약령시로 2길 69 (제기동)
고영채
서울시 강남구 일원로 127, 107동 301호 (가람아파트)
(74) 대리인
특허법인위솔

전체 청구항 수 : 총 15 항

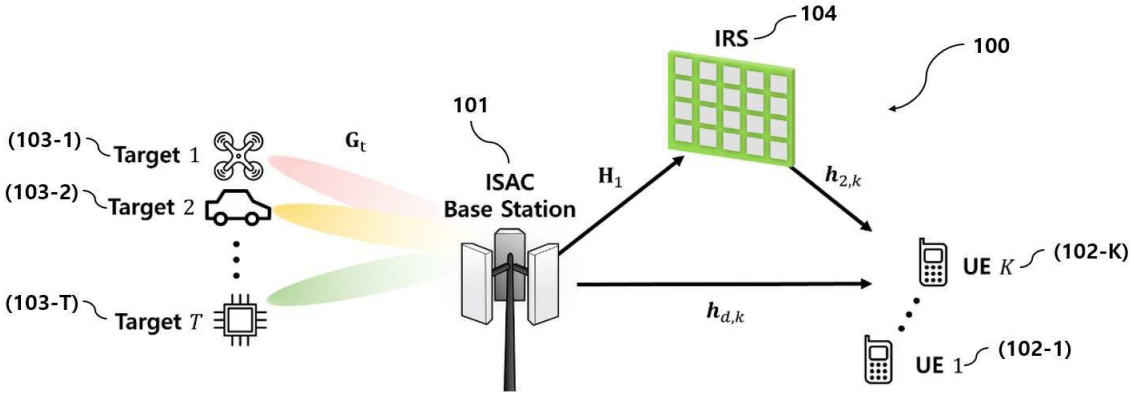
(54) 발명의 명칭 **무선 통신 시스템에서 통합된 감지 및 통신을 위한 방법, 장치 및 시스템**

(57) 요 약

본 발명은 무선 통신 시스템에서 통합된 감지 및 통신을 위한 방법, 장치 및 시스템에 관한 것이며, 보다 상세하게는, 무선 통신 시스템에서 레이더의 감지와 안테나의 통신을 동시에 수행하는 통신 시스템 및 그의 신호 처리 기법에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시 예에 따른 통합된 감지 및 통신 시스템을 지원하는 기지국이 수행하는

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



방법은, 목표물을 감지하기 위해 사용되는 감지 신호 및 상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬을 생성하는 단계, 통신 사용자와 통신을 하기 위해 사용되는 통신 신호 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬을 생성하는 단계, 상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬을 기반으로 상기 감지 신호 및 통신 신호를 통합된 신호로 전송하는 단계 및 상기 통합된 신호에 대해 감지 목표물로부터 반사된 신호 및 하나 이상의 반사 요소를 포함하는 지능형 반사 표면에서 반사된 신호를 기반으로 감지 목표물을 감지하는 단계를 포함하고, 상기 통합된 신호는 상기 지능형 반사 표면을 기반으로 통신 사용자 단말(user equipment, UE)에게 전송될 수 있다.

(52) CPC특허분류

G06N 3/08 (2023.01)
H04B 7/0413 (2013.01)
H04B 7/145 (2013.01)
H04W 24/02 (2013.01)
H04W 8/005 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711152525
과제번호	2021-0-01810-002
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	정보통신방송혁신인재양성
연구과제명	양자세계를 연결하는 초신뢰 양자인터넷 요소 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교산학협력단
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

통합된 감지 및 통신 시스템을 지원하는 기지국이 수행하는 방법에 있어서,

목표물을 감지하기 위해 사용되는 감지 신호 및 상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬을 생성하는 단계;

통신 사용자와 통신을 하기 위해 사용되는 통신 신호 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬을 생성하는 단계;

상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬을 기반으로 상기 감지 신호 및 통신 신호를 통합된 신호로 전송하는 단계; 및

상기 통합된 신호에 대해 감지 목표물로부터 반사된 신호 및 하나 이상의 반사 요소를 포함하는 지능형 반사 표면에서 반사된 신호를 기반으로 감지 목표물을 감지하는 단계를 포함하고,

상기 통합된 신호는 상기 지능형 반사 표면을 기반으로 통신 사용자 단말(user equipment, UE)에게 전송되는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬은,

감지 시스템의 SINR(signal to interference plus noise ratio)가 미리 설정된 임계값 이상이 되도록 생성되는, 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬은,

상기 기지국의 전송 전력이 미리 설정된 최대 전송 전력 이하가 되도록 생성되는, 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬은,

상기 하나 이상의 반사 요소 각각의 크기가 1인 것을 기반으로 생성되는, 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬은 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬은 심층 강화 학습을 기반으로 생성되고,

상기 심층 강화 학습은,

상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬, 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬 및 상기 지능형 반사 표면의 반사 요소 행렬을 행동(action) 변수로 정의하고,

채널 정보, 감지 시스템의 SINR(signal to interference plus noise ratio) 및 상기 기지국의 전송 전력을 상태(state) 변수로 정의하고,

통신 시스템의 합산 전송률(sum rate)를 보상(reward) 변수로 정의하는 강화 학습 모델을 기반으로 수행되는,

방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 심층 강화 학습을 위해, 상기 행동 변수, 상태 변수 및 보상 변수를 기반으로 정의된 상기 강화 학습 모델의 에피소드(episode)를 미리 설정된 수만큼 반복적으로 수행하는 단계를 포함하고,

상기 에피소드를 수행하는 단계는,

상기 에피소드를 위한 행동 변수를 선택하는 단계;

선택된 상기 행동 변수를 기반으로 감지 신호와 통신 신호를 통합된 신호로 전송하는 단계;

전송된 상기 통합된 신호에 대한 감지 시스템의 SINR을 계산하는 단계;

전송된 상기 통합된 신호에 대한 통신 시스템의 SINR 및 합산 전송률(sum rate)를 계산하는 단계; 및

상기 에피소드를 위한 행동 변수, 상태 변수 및 보상 변수를 저장하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 에피소드를 위한 행동 변수는, 이전 에피소드에서 저장된 행동 변수, 상태 변수 및 보상 변수를 기반으로 DDPG(deep deterministic policy gradient) 알고리즘을 사용하여 선택되는, 방법.

청구항 8

통합된 감지 및 통신 시스템을 지원하는 기지국 장치에 있어서,

송수신부;

메모리; 및

적어도 하나의 프로세서를 포함하고, 상기 프로세서는,

목표물을 감지하기 위해 사용되는 감지 신호 및 상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬을 생성하고,

통신 사용자와 통신을 하기 위해 사용되는 통신 신호 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬을 생성하고,

상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬을 기반으로 상기 감지 신호 및 통신 신호를 통합된 신호로 전송하고,

상기 통합된 신호에 대해 감지 목표물로부터 반사된 신호 및 하나 이상의 반사 요소를 포함하는 지능형 반사 표면에서 반사된 신호를 기반으로 감지 목표물을 감지하도록 상기 기지국을 제어하고,

상기 통합된 신호는 상기 지능형 반사 표면을 기반으로 통신 사용자 단말(user equipment, UE)에게 전송되는, 기지국 장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬은,

감지 시스템의 SINR(signal to interference plus noise ratio)가 미리 설정된 임계값 이상이 되도록 생성되는, 기지국 장치.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬은,

상기 기지국의 전송 전력이 미리 설정된 최대 전송 전력 이하가 되도록 생성되는, 기지국 장치.

청구항 11

제8항에 있어서,

상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬은,

상기 하나 이상의 반사 요소 각각의 크기가 1인 것을 기반으로 생성되는, 기지국 장치.

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬은 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬은 심층 강화 학습을 기반으로 생성되고,

상기 심층 강화 학습은,

상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬, 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬 및 상기 지능형 반사 표면의 반사 요소 행렬을 행동(action) 변수로 정의하고,

채널 정보, 감지 시스템의 SINR(signal to interference plus noise ratio) 및 상기 기지국의 전송 전력을 상태(state) 변수로 정의하고,

통신 시스템의 합산 전송률(sum rate)를 보상(reward) 변수로 정의하는 강화 학습 모델을 기반으로 수행되는, 기지국 장치.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 프로세서는 상기 심층 강화 학습을 위해, 상기 행동 변수, 상태 변수 및 보상 변수를 기반으로 정의된 상기 강화 학습 모델의 에피소드(episode)를 미리 설정된 수만큼 반복적으로 수행하도록 상기 기지국을 제어하고,

상기 에피소드를 수행하는 단계는,

상기 에피소드를 위한 행동 변수를 선택하는 단계;

선택된 상기 행동 변수를 기반으로 감지 신호와 통신 신호를 통합된 신호로 전송하는 단계;

전송된 상기 통합된 신호에 대한 감지 시스템의 SINR을 계산하는 단계;

전송된 상기 통합된 신호에 대한 통신 시스템의 SINR 및 합산 전송률(sum rate)를 계산하는 단계; 및

상기 에피소드를 위한 행동 변수, 상태 변수 및 보상 변수를 저장하는 단계를 포함하는, 기지국 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 에피소드를 위한 행동 변수는, 이전 에피소드에서 저장된 행동 변수, 상태 변수 및 보상 변수를 기반으로 DDPG(deep deterministic policy gradient) 알고리즘을 사용하여 선택되는, 기지국 장치.

청구항 15

통합된 감지 및 통신 시스템에 있어서,

목표물을 감지하기 위해 사용되는 감지 신호 및 상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬을 생성하고, 통신 사용자와 통신을 하기 위해 사용되는 통신 신호 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬을 생성하고, 상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬을 기반으로 상기 감지 신호 및 통신 신호를 통합된 신호로 전송하고, 상기 통합된 신호에 대해 감지 목표물로부터 반사된 신호 및 지능형 반사 표면에서 반사된 신호를 기반으로 감지 목표물을 감지하는 기지국; 및

하나 이상의 반사 요소를 포함하고, 상기 하나 이상의 반사 요소를 통해 상기 기지국으로부터 전송된 신호의 진

폭과 위상을 조절하여 반사하는 지능형 반사 표면을 포함하는, 통합된 감지 및 통신 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 무선 통신 시스템에서 통합된 감지 및 통신을 위한 방법, 장치 및 시스템에 관한 것이며, 보다 상세하게는, 무선 통신 시스템에서 레이더의 감지와 안테나의 통신을 동시에 수행하는 통신 시스템 및 그의 신호 처리 기법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 통합된 감지 및 통신(integrated sensing and commucniation, ISAC) 시스템은 별도로 운용되던 감지 시스템과 통신 시스템을 하나의 시스템에서 운용할 수 있도록 고안된 것으로, 동일한 시간, 주파수, 공간(spatial) 영역에서 동일한 자원, 파형, 신호 처리 기술 및 하드웨어 등의 핵심 요소를 공유할 수 있는 장점이 있다. 따라서, 통합된 감지 및 통신 시스템을 이용할 경우 감지 시스템과 통신 시스템을 별도로 운용하는 것과 비교할 때 주파수와 공간 확비 비용, 하드웨어 구축에 필요한 비용 등을 절감할 수 있고, 주파수와 전력의 효율성을 상당히 높일 수 있다.

[0003] 통합된 감지 및 통신 시스템을 운용하기 위해서는 서로 다른 하드웨어, 자원, 파형 및 신호 처리 기법 등을 이용하는 감지 시스템과 통신 시스템을 통합하여 동작시킬 수 있는 새로운 방법 및 시스템이 필요하다. 본 발명은 감지 시스템과 통신 시스템을 통합하여 운용하는 방법, 장치 및 시스템, 그리고 이러한 시스템에서의 빔 형성 방법 등의 신호 처리 방법에 관한 것이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제 10-2330915호(2021.11.22)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 통합된 감지와 통신 시스템을 사용하기 위해서는 기지국에서 감지와 통신을 위한 빔을 별도로 형성하고, 별도로 형성된 감지 빔 및 통신 빔을 각각 감지와 통신에 사용해야 한다. 그런데 감지 시스템과 통신 시스템은 신호를 수신하는 방법이 서로 달라 수신 신호의 형태가 다르기 때문에, 새로운 빔 형성 기법이 요구된다. 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는, 감지 및 통신을 위한 통합된 빔 형성 방법을 제공하는 것이다.

[0006] 감지 시스템 및 통신 시스템은 성능 측면에서 서로 간섭으로 작용할 수 있기 때문에, 어느 한 시스템의 최소 성능 요구 사항을 만족시키기 위해서는 다른 시스템의 성능이 크게 낮아질 수 있다. 지능형 반사 표면은 간섭이 존재하는 환경에서 빔 또는 채널을 효율적으로 제어할 수 있는 기술로, 밀리미터파 대역과 같은 고주파 대역에서 사용할 수 있다. 따라서, 본 발명이 해결하고자 하는 다른 기술적 과제는, 통신 시스템의 성능을 최대화하기 위해 기지국과 통신 사용자 간의 통신을 보조하는 지능형 반사 표면을 도입하여 통신을 수행하는 방법을 제공하는 것이다.

[0007] 본 발명의 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 전술한 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시 예에 따른 통합된 감지 및 통신 시스템을 지원하는 기지국이 수행하는 방법은, 목표물을 감지하기 위해 사용되는 감지 신호 및 상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬을 생성하는 단계, 통신 사용자와 통신을 하기 위해 사용되는 통신 신호 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬을 생성하는 단계, 상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬을 기반으로 상기 감지 신호 및 통신 신호를 통합된 신호로 전송하는 단계 및 상기 통합된 신호에 대해 감지 목표물로부터

반사된 신호 및 하나 이상의 반사 요소를 포함하는 지능형 반사 표면에서 반사된 신호를 기반으로 감지 목표물을 감지하는 단계를 포함하고, 상기 통합된 신호는 상기 지능형 반사 표면을 기반으로 통신 사용자 단말(user equipment, UE)에게 전송될 수 있다.

[0009] 일 실시 예에 따르면, 상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬은, 감지 시스템의 SINR(signal to interference plus noise ratio)가 미리 설정된 임계값 이상이 되도록 생성될 수 있다.

[0010] 일 실시 예에 따르면, 상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬은, 상기 기지국의 전송 전력이 미리 설정된 최대 전송 전력 이하가 되도록 생성될 수 있다.

[0011] 일 실시 예에 따르면, 상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬은, 상기 하나 이상의 반사 요소 각각의 크기가 1인 것을 기반으로 생성될 수 있다.

[0012] 일 실시 예에 따르면, 상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬은 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬은 심층 강화 학습을 기반으로 생성되고, 상기 심층 강화 학습은, 상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬, 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬 및 상기 지능형 반사 표면의 반사 요소 행렬을 행동(action) 변수로 정의하고, 채널 정보, 감지 시스템의 SINR(signal to interference plus noise ratio) 및 상기 기지국의 전송 전력을 상태(state) 변수로 정의하고, 통신 시스템의 합산 전송률(sum rate)를 보상(reward) 변수로 정의하는 강화 학습 모델을 기반으로 수행될 수 있다.

[0013] 일 실시 예에 따르면, 상기 방법은 상기 심층 강화 학습을 위해, 상기 행동 변수, 상태 변수 및 보상 변수를 기반으로 정의된 상기 강화 학습 모델의 에피소드(episode)를 미리 설정된 수만큼 반복적으로 수행하는 단계를 포함하고, 상기 에피소드를 수행하는 단계는, 상기 에피소드를 위한 행동 변수를 선택하는 단계, 선택된 상기 행동 변수를 기반으로 감지 신호와 통신 신호를 통합된 신호로 전송하는 단계, 전송된 상기 통합된 신호에 대한 감지 시스템의 SINR을 계산하는 단계, 전송된 상기 통합된 신호에 대한 통신 시스템의 SINR 및 합산 전송률(sum rate)를 계산하는 단계 및 상기 에피소드를 위한 행동 변수, 상태 변수 및 보상 변수를 저장하는 단계를 포함할 수 있다.

[0014] 일 실시 예에 따르면, 상기 에피소드를 위한 행동 변수는, 이전 에피소드에서 저장된 행동 변수, 상태 변수 및 보상 변수를 기반으로 DDPG(deep deterministic policy gradient) 알고리즘을 사용하여 선택될 수 있다.

[0015] 또한, 본 발명의 일 실시 예에 따른 통합된 감지 및 통신 시스템을 지원하는 기지국 장치는, 송수신부, 메모리 및 적어도 하나의 프로세서를 포함하고, 상기 프로세서는, 목표물을 감지하기 위해 사용되는 감지 신호 및 상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬을 생성하고, 통신 사용자와 통신을 하기 위해 사용되는 통신 신호 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬을 생성하고, 상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬을 기반으로 상기 감지 신호 및 통신 신호를 통합된 신호로 전송하고, 상기 통합된 신호에 대해 감지 목표물로부터 반사된 신호 및 하나 이상의 반사 요소를 포함하는 지능형 반사 표면에서 반사된 신호를 기반으로 감지 목표물을 감지하도록 상기 기지국을 제어하고, 상기 통합된 신호는 상기 지능형 반사 표면을 기반으로 통신 사용자 단말(user equipment, UE)에게 전송될 수 있다.

[0016] 또한, 본 발명의 일 실시 예에 따른 통합된 감지 및 통신 시스템은, 목표물을 감지하기 위해 사용되는 감지 신호 및 상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬을 생성하고, 통신 사용자와 통신을 하기 위해 사용되는 통신 신호 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬을 생성하고, 상기 감지 신호를 위한 빔 형성 행렬 및 상기 통신 신호를 위한 빔 형성 행렬을 기반으로 상기 감지 신호 및 통신 신호를 통합된 신호로 전송하고, 상기 통합된 신호에 대해 감지 목표물로부터 반사된 신호 및 지능형 반사 표면에서 반사된 신호를 기반으로 감지 목표물을 감지하는 기지국 및 하나 이상의 반사 요소를 포함하고, 상기 하나 이상의 반사 요소를 통해 상기 기지국으로부터 전송된 신호의 진폭과 위상을 조절하여 반사하는 지능형 반사 표면을 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0017] 본 발명의 다양한 실시 예들에 따르면, 통합된 감지 및 통신 시스템에서 지능형 반사 표면과 심층 강화 학습 기반의 알고리즘을 통해 통신 시스템의 성능을 최대화할 수 있다.

[0018] 본 발명의 효과들은 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해 될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 통합된 감지 및 통신 시스템에서 목표물을 감지하고 통신을 수행하는 과정을 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 기지국의 구성을 나타낸 블록도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 지능형 반사 표면의 구성을 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 심층 강화 학습 기반의 빔 형성 알고리즘을 나타낸 순서도이다.

도 5는 서로 다른 통신 사용자의 숫자에 따른 학습 곡선을 나타낸 도면이다.

도 6은 감지 시스템의 최저 SINR 요구치의 변화에 따른 통신 사용자의 sum rate를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] ● ● ● ● ● ● ● ● ● 본 발명의 목적과 기술적 구성 및 그에 따른 작용 효과에 관한 자세한 사항은 본 발명의 명세서에 첨부된 도면에 의거한 이하의 상세한 설명에 의해 보다 명확하게 이해될 것이다. 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시 예를 상세하게 설명한다.

[0021] 본 명세서에서 개시되는 실시 예들은 본 발명의 범위를 한정하는 것으로 해석되거나 이용되지 않아야 할 것이다. 이 분야의 통상의 기술자에게 본 명세서의 실시 예를 포함한 설명은 다양한 응용을 갖는다는 것이 당연하다. 따라서, 본 발명의 상세한 설명에 기재된 임의의 실시 예들은 본 발명을 보다 잘 설명하기 위한 예시적인 것이며 본 발명의 범위가 실시 예들로 한정되는 것을 의도하지 않는다.

[0022] 도면에 표시되고 아래에 설명되는 기능 블록들은 가능한 구현의 예들일 뿐이다. 다른 구현들에서는 상세한 설명의 사상 및 범위를 벗어나지 않는 범위에서 다른 기능 블록들이 사용될 수 있다. 또한, 본 발명의 하나 이상의 기능 블록이 개별 블록들로 표시되지만, 본 발명의 기능 블록들 중 하나 이상은 동일 기능을 실행하는 다양한 하드웨어 및 소프트웨어 구성들의 조합일 수 있다.

[0023] 또한, 어떤 구성요소들을 포함한다는 표현은 "개방형"의 표현으로서 해당 구성요소들이 존재하는 것을 단순히 지칭할 뿐이며, 추가적인 구성요소들을 배제하는 것으로 이해되어서는 안 된다.

[0024] 나아가 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급될 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 한다.

[0026] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 통합된 감지 및 통신 시스템에서 목표물을 감지하고 통신을 수행하는 과정을 나타낸 도면이다. 구체적으로 도 1을 참조하면, 지능형 반사 표면이 기지국과 통신 사용자 사이의 통신을 보조하는 상황에서, 기지국이 목표물 감지와 사용자와의 통신을 동시에 수행하는 통합된 감지 및 통신 시스템이 도시되어 있다.

[0027] 기지국(101)은 목표물 감지와 통신 사용자와의 통신을 수행하는 주체로서 gNode B, eNode B, Node B, BS (Base Station), 무선 접속 유닛, 기지국 제어기, 또는 네트워크 상의 노드 중 적어도 하나일 수 있다. 기지국(101)은 감지와 통신을 수행하기 위한 신호와 빔 형성 행렬을 각각 생성하고, 이들을 동시에 송신할 수 있다. 일 예로, 기지국(101)은 목표물(103-1, 103-2,쪋,103-T)을 향해 감지 신호를 송신하고, 감지 신호에 대해 목표물로부터 반사되는 신호를 수신하여 이를 기반으로 목표물에 대한 정보를 획득할 수 있다. 또한, 기지국(101)은 지능형 반사 표면(104) 또는 통신 사용자(102-1,쪋,102-K)에게 통신 신호를 송신할 수 있다. 이하 설명에서 "기지국"은 별도로 정의하지 않는 한 통합된 감지 및 통신(integrated sensing and communication, ISAC)을 지원하는 기지국(101)을 의미하는 것으로 이해될 수 있다.

[0028] 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 기지국의 구성을 나타낸 블록도이다.

[0029] 도 2를 참조하면, 기지국(101)은 프로세서(201), 송수신부(202) 및 메모리(203)을 포함할 수 있다. 다만 기지국의 구성 요소가 전술한 예에 한정되는 것은 아니다. 예를 들어, 기지국은 전술한 구성 요소보다 더 많은 구성요소를 포함하거나 더 적은 구성 요소를 포함할 수 있다. 뿐만 아니라, 프로세서(201), 송수신부(202) 및 메모

리(203)가 하나의 칩(Chip) 형태로 구현될 수도 있다. 프로세서(201)는 본 발명을 실시 함에 있어서 기지국이 필요한 동작할 수 있도록 일련의 과정을 제어할 수 있다. 프로세서(201)는 하나 또는 복수 개일 수 있으며, 프로세서(201)는 메모리(203)에 저장된 프로그램을 실행함으로써 본 발명의 다양한 실시 예들에 따른 통합된 감지 및 통신 시스템을 지원할 수 있다. 송수신부(202)는 외부 장치와 신호를 송수신할 수 있다. 예를 들어, 송수신부(202)는 목표물 감지를 위한 감지 신호 및/또는 통신 사용자와의 통신을 위한 통신 신호를 송신하고, 목표물(103-1,쪋,103-T)로부터 반사된 신호, 지능형 반사 표면(104)으로부터 반사된 신호 및/또는 통신 사용자(102-1,쪋,102-K)로부터 송신된 신호를 수신할 있다. 송수신부(202)는 송신되는 신호의 주파수를 상승 변환 및 증폭하는 RF 송신기와, 수신되는 신호를 저 잡음 증폭하고 주파수를 하강 변환하는 RF 수신기 등으로 구성될 수 있다. 다만, 이는 송수신부(202)는 일 실시 예일 뿐이며, 송수신부(202)의 구성요소가 RF 송신기 및 RF 수신기에 한정되는 것은 아니다. 또한, 송수신부(202)는 무선 채널을 통해 신호를 수신하여 프로세서(201)로 출력하고, 프로세서(201)로부터 출력된 신호를 무선 채널을 통해 전송할 수 있다. 메모리(203)는 기지국(101)의 동작에 필요한 프로그램 및 데이터를 저장할 수 있다. 메모리(203)는 롬(ROM), 램(RAM), 하드디스크, CD-ROM 및 DVD 등과 같은 저장 매체 또는 저장 매체들의 조합으로 구성될 수 있다. 또한, 메모리(203)는 복수 개일 수 있다.

[0030] 통신 사용자(102-1,쪋,102-K)는 기지국(101)과 통신을 수행하는 주체로서 기지국(101)이 송신한 신호 또는 지능형 반사 표면(104)에 의해 반사된 신호를 수신할 수 있다. 이하 설명에서 통신 사용자(102-1,쪋,102-K)라 함은 실제로 기지국과 통신을 수행하는 장치인 통신 사용자 단말(user equipment, UE), 이동국(mobile station, MS), 셀룰러폰, 스마트폰, 컴퓨터, 또는 통신 기능을 수행할 수 있는 임의의 멀티미디어 시스템을 포함하는 단말기를 의미하는 것으로 이해될 수 있다.

[0031] 목표물(103-1,쪋,103-T)는 기지국(101)의 감지 목표가 되는 대상으로서, 기지국(101)에 의해 송신되어 목표물(103-1,쪋,103-T)에 도달한 신호의 적어도 일부를 반사시킬 수 있다. 기지국(101)은 목표물(103-1,쪋,103-T)로부터 반사된 신호를 수신하여, 해당 목표물에 대한 정보를 획득할 수 있다.

[0032] 지능형 반사 표면(104)은 간섭이 존재하는 환경에서 빔 또는 채널을 효율적으로 제어하기 위한 것으로, 기지국(101)과 통신 사용자(102-1,쪋,102-K) 간의 통신을 보조하여 통신 성능을 증가시켜주는 역할을 수행할 수 있다.

[0033] 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 지능형 반사 표면의 구성을 나타낸 도면이다.

[0034] 도 3을 참조하면, 지능형 반사 표면(104)은 N(N≥1) 개의 반사 요소(301)들로 구성될 수 있다. 지능형 반사 표면(104)의 반사 요소(301)는 수신된 신호의 진폭과 위상을 조절하여 다시 외부로 반사하는 역할을 수행하며, 따라서 기지국(101)으로부터 수신된 신호를 보다 효율적으로 통신 사용자(102-1,쪋,102-K)에게 도달할 수 있게끔 진폭과 위상을 조절함으로써 기지국(101)과 통신 사용자(102-1,쪋,102-K) 간의 통신을 보조할 수 있다.

[0036] 본 발명은 통합된 감지 및 통신 시스템에서, 기지국(101)과 통신 사용자(102-1,쪋,102-K) 사이의 통신 시스템의 성능을 최대화할 수 있는 빔 형성 방법을 제공한다.

[0037] 우선, 도 1 과 같이 지능형 반사 표면(104)이 구비된 통합된 감지 및 통신 시스템에서 통신 시스템의 성능을 정의하는 방법에 대하여 설명한다.

[0038] 기지국(101)은 감지와 통신을 동시에 수행하기 위해 각각 M 개의 안테나가 장착된 송신 및 수신 안테나 배열(antenna array)을 구비하고 있으며, 이를 통해 감지와 통신을 수행하기 위한 신호와 빔 형성 행렬을 각각 생성하고, 이들을 동시에 송신할 수 있다. 기지국(101)에 의해 송신되는 신호를 수학식으로 표현하면 다음과 같다.

[0039] [수학식 1]

[0040] $$x = W_c s_c + W_r s_r$$

[0041] [수학식 1]에서 $W_c = [w_{c,1}, \cdots, w_{c,k}, \cdots, w_{c,K}]$는 통신을 위한 빔 형성 행렬이며, $w_{c,k}$는 통신 빔 형성 행렬에서의 k 번째 사용자를 위한 빔 형성 벡터를 나타낸다. $W_r = [w_{r,1}, \cdots, w_{r,m}, \cdots, w_{r,M}]$는 감지를 위한 빔 형성 행렬이며, $w_{r,m}$ 은 감지 빔 형성 행렬에서의 m 번째 기지국 안테나를 위한 빔 형성 벡터를 나타낸다. K는 통신 사용자의 수, M은 기지국(101)의 송신 안테나의 수이다. s_c은 통신을 위한 기지국(101)의 송신 신호 벡터, 그리고 s_r은 감지를 위한 기지국(101)의 송신 신호 벡터를 나타낸다.

[0042] 지능형 반사 표면(104)은 기지국(101)과 통신 사용자(102-1,쪋,102-K) 사이의 통신을 보조하여 통신 성능을 증

가시켜주는 기능을 수행할 수 있다. 지능형 반사 표면(104)에는 N개의 반사 요소가 구비되며, 각 반사 요소가 기지국(101)으로부터 송신된 통신 신호의 진폭과 위상을 조절한 후 통신 사용자(102-1,쪋,102-K)에게 반사하여 통신 채널의 이득을 높이는 역할을 할 수 있다. 여기서 반사 요소들은 NxN 크기의 행렬로 표현할 수 있으며, 이를 수학식으로 나타내면 다음과 같다. 이하 설명에서 반사 요소라 함은 NxN 크기로 정의되는 반사 요소 행렬과 동일한 의미로 이해될 수 있다.

[0043] [수학식 2]

[0044] $$\Phi = diag\left(\alpha_1 e^{j\theta_1}, \ldots, \alpha_n e^{j\theta_n}, \ldots, \alpha_N e^{j\theta_N}\right), \forall n$$

[0045] [수학식 2]에서 α_n과 θ_n은 각각 n 번째 반사 요소에서의 진폭과 위상을 나타내고, $diag(\cdot)$는 괄호 안의 값들을 대각선으로 배치한 대각 행렬을 나타낸다. 일 예로, $\alpha_i e^{j\theta_i}$ ($1 \le i \le N$)은 NxN 크기의 행렬 Φ의 i 행 i 열 대각 성분에 대응될 수 있다.

[0046] 이처럼 지능형 반사 표면(104)이 포함된 시스템에서, 통신 사용자는 기지국(101)에 의해 송신되어 직접 통신 사용자에게 도달한 신호, 그리고 기지국(101)에 의해 송신된 후 지능형 반사 표면(104)에 의해 반사되어 통신 사용자에게 도달한 신호를 모두 수신할 수 있다. 이 때, 기지국(101)에 의해 송신되어 직접 통신 사용자에게 도달하는 신호는 기지국과 통신 사용자 사이에서 존재하는 채널을 거쳐 통신 사용자에게 도달하는 한편, 기지국(101)에 의해 송신된 후 지능형 반사 표면(104)에 의해 반사되어 통신 사용자에게 도달하는 신호는 기지국(101)과 지능형 반사 표면(104) 사이의 채널, 그리고 지능형 반사 표면(104)과 통신 사용자 사이의 채널을 거쳐 통신 사용자에게 도달한다. 따라서, 기지국의 송신 신호 x에 대해 통신 사용자 k가 수신하는 통신 수신 신호 y_k는 아래 [수학식 3]과 같이 나타낼 수 있다.

[0047] [수학식 3]

[0048] $$y_k = \left(h_{d,k}^H + h_{2,k}^H \Phi \mathrm{H}_1\right)x + n_k = h_{eff,k}^H x + n_k$$

[0049] [수학식 3]에서 $h_{d,k}^H$는 기지국과 통신 사용자 간의 채널 벡터, H_1는 기지국과 지능형 반사 표면 간의 채널 행렬, 그리고 $h_{2,k}^H$은 지능형 반사 표면과 통신 사용자 간의 채널 행렬을 나타내며, Φ는 [수학식 2]에서 정의한 지능형 반사 표면(104)의 반사 요소를 나타낸다. n_k는 부가 백색 가우시안 잡음(additive white Gaussian noise) 신호로, 평균의 크기가 0, 분산이 1인 정규분포를 따르는 랜덤 변수이다.

[0050] 간소화를 위해 $h_{eff,k}^H = \left(h_{d,k}^H + h_{2,k}^H \Phi \mathrm{H}_1\right)$로 정의하면, 통신 사용자 k가 수신하는 통신 수신 신호 y_k는 [수학식 4]와 같이 간단하게 표현할 수 있다.

[0051] [수학식 4]

[0052] $$y_k = h_{eff,k}^H x + n_k$$

[0053] 시스템의 성능을 나타내는 성능 지표 중 하나인 SINR(signal-to-interference-plus-noise ratio)는 신호 대 간섭 및 잡음의 비(ratio)를 나타내는 지표로서, 앞서 설명한 바를 바탕으로 통신 사용자 k의 SINR γ_k를 계산하면 아래 [수학식 5]와 같이 나타낼 수 있다.

[0054] [수학식 5]

[0055] $$\gamma_k = \frac{\left|h_{eff,k}^H w_{c,k}\right|^2}{\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^{K} \left|h_{eff,k}^H w_{c,i}\right| + \sum_{j=1}^{T} \left|h_{eff,k}^H w_{r,j}\right| + \sigma_k^2}$$

[0056] [수학식 5]에서 $\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^{K} \left|h_{eff,k}^H w_{c,i}\right|$는 수신된 신호 중 통신 사용자 k가 아닌 다른 통신 사용자의 신호로서 통신 사

용자 간의 간섭을 나타내고, $\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq k}}^{T}\left|h_{eff,k}^{H}w_{r,j}\right|$ 는 감지 빔 형성 행렬로 인한 간섭, 그리고 σ_k^2는 부가 백색 가우시안 잡음으로 인한 잡음의 전력 크기를 나타낸다.

[0057] 통신 시스템의 성능은 시스템 내 모든 사용자의 SINR을 기반으로 하는 합산 전송률(sum rate) C를 통해 정의되며, sum rate C는 구체적으로 아래 [수학식 6]와 같이 정의될 수 있다.

[0058] [수학식 6]

[0059] $$C=\sum_{k=1}^{K}\log_2(1+\gamma_k)$$

[0060] 이상 지능형 반사 표면(104)이 구비된 통합된 감지 및 통신 시스템에서, 기지국(101)과 통신 사용자(102-1,쩓,102-K) 사이의 통신 시스템의 성능을 정의하는 방법에 대하여 설명하였다.

[0062] 통합된 감지 및 통신 시스템에서 기지국(101)은 통신 사용자와의 통신 뿐만 아니라 감지 동작도 함께 수행하므로, 통신 시스템 뿐만 아니라 감지 시스템의 성능 역시 일정 요구 수준을 만족하도록 동작할 필요가 있다. 따라서, 아래에서는 지능형 반사 표면(104)이 구비된 통합된 감지 및 통신 시스템에서 감지 시스템의 성능을 정의하는 방법에 대하여 설명한다.

[0063] 통신 시스템에서는 통신 사용자가 기지국에 의해 송신된 신호를 수신하여 최종 수신 신호를 분석하는 반면, 감지 시스템의 경우 기지국이 목표물을 향해 감지 신호를 송신하면 이 신호가 목표물로부터 다시 반사되어 다시 기지국에 의해 수신되고 기지국은 이 반사된 신호를 바탕으로 목표물에 대한 정보를 얻는다. 이 때 만약 시스템에 지능형 반사 표면(104)이 존재할 경우, 감지 신호는 지능형 반사 표면(104)에서도 반사되어 기지국에 도달할 수 있기 때문에, 해당 지능형 반사 표면(104)에서 반사된 신호는 감지 신호에 간섭으로 작용할 수 있다.

[0064] 따라서, 기지국의 송신 신호 x에 대해, 지능형 반사 표면(104)에 의한 반사를 함께 고려하여 기지국에서 감지되는 수신 신호 y_r을 수학식으로 나타내면 [수학식 7]과 같이 나타낼 수 있다.

[0065] [수학식 7]

[0066] $$y_r=(\mathbf{A}_{\mathbf{BS}}+H_1^H\Phi\mathbf{A}_{\mathbf{IRS}}\Phi^H H_1)x+n_r$$

[0067] [수학식 7]에서 $\mathbf{A}_{\mathbf{BS}}$ 및 $\mathbf{A}_{\mathbf{IRS}}$는 각각 기지국(101)과 지능형 반사 표면(104)에서의 목표물 응답 행렬을 나타내며, n_r은 부가 백색 가우시안 잡음 신호로, 평균의 크기가 0, 분산이 1인 정규분포를 따르는 값이다.

[0068] 전술한 바와 같이 기지국(101)이 아닌 지능형 반사 표면(104)으로 반사된 감지 신호는 감지 신호에서 간섭으로 작용하며, 이를 바탕으로 감지 시스템의 SINR을 계산하면 아래 [수학식 8]과 같다.

[0069] [수학식 8]

[0070] $$\gamma_r=\mathrm{tr}\left(\mathbf{A}_{\mathbf{BS}}\mathbf{R}\mathbf{A}_{\mathbf{BS}}^{\mathbf{H}}\left(\mathbf{A}_{\mathbf{IRS}}\mathbf{R}\mathbf{A}_{\mathbf{IRS}}^{\mathbf{H}}+\sigma_r^2 I_M\right)^{-1}\right)$$

[0071] [수학식 8]에서 tr(.)은 정사각행렬의 주대각성분의 합을 나타내고, I_M은 크기가 MxM인 단위 행렬, 그리고 σ_r^2는 부가 백색 가우시안 잡음으로 인한 잡음의 전력 크기를 나타낸다.

[0072] 참고로 기지국 입장에서 통신 신호와 통신을 위한 빔 형성 행렬은 모두 알고 있는 정보이기 때문에, 기지국은 통신 신호가 감지 시스템에 끼치는 간섭은 완벽히 제거할 수 있으며 따라서 [수학식 8]에서 정의한 감지 시스템의 SINR에서는 통신 신호를 감지 시스템의 간섭으로 고려하지 않았다.

[0073] 전술한 바와 같이, 통합된 감지 및 통신 시스템에서 기지국(101)은 감지 동작도 함께 수행하므로, 감지 시스템의 성능 역시 일정 요구 수준을 만족하도록 동작할 필요가 있으며 이를 수학식으로 나타내면 아래 [수학식 9]과 같이 나타낼 수 있다.

[0074] [수학식 9]

[0075] $$\gamma_r \geq \gamma_{r,th}$$

[0076] 여기서 $\gamma_{r,th}$는 감지 시스템에서 요구되는 최소 SINR 값이며, 따라서 [수학식 9]는 감지 시스템의 SINR γ_r이 적어도 감지 시스템에서 요구되는 최소 SINR 값 $\gamma_{r,th}$ 이상임을 나타낸다.

[0078] 통신 시스템의 성능을 최대화함에 있어서 고려해야 할 또 다른 조건으로, 실제 시스템에서는 전력을 무제한으로 사용할 수는 없기 때문에, 사용 가능한 최대 전력에 대한 제약이 고려될 필요가 있다. 앞서 [수학식 1]에서 정의한 기지국(101)의 송신 신호 $x = W_c s_c + W_r s_r$에 대해, 통합된 감지 및 통신 시스템의 전력 R은 [수학식 10]과 같이 표현될 수 있다.

[0079] [수학식 10]

[0080] $$R = \sum_{k=1}^{K} \|w_{c,k}\|^2 + \sum_{m=1}^{M} \|w_{r,m}\|^2$$

[0081] 이 때 사용 가능한 최대 전력을 P_t라고 하면, 시스템의 최대 전력 제약 조건은 [수학식 11]와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 K는 통신 사용자의 수, M은 기지국의 송신 안테나의 수를 나타낸다.

[0082] [수학식 11]

[0083] $$\|R\|_F^2 \leq P_t$$

[0084] 여기서 $\|.\|_F^2$는 행렬의 Frobenius norm을 나타내며, 따라서 [수학식 11]은 통신 시스템의 전력이 사용 가능한 최대 전력을 넘지 않음을 나타낸다.

[0086] 이상 설명한 통신 시스템의 성능 및 제약 조건을 바탕으로, 통합된 감지 및 통신 시스템에서 통신 사용자의 sum rate C를 최대화하기 위한 기지국과 지능형 반사 표면의 빔 형성 행렬과 반사 요소 행렬을 최적의 값으로 선택하는 최적화 문제를 세울 수 있다. 이를 수학식으로 나타내면 아래 [수학식 12]와 같다.

[0087] [수학식 12]

[0088] $$\max_{W_C, W_r, \Phi} C$$

[0089] $$s.t\ \gamma_k \geq \gamma_{r,th}$$

[0090] $$\|R\|_F^2 \leq P_t$$

[0091] $$\left|\alpha_n e^{j\theta_n}\right| = 1, \forall n$$

[0092] $$\Phi = diag\left(\alpha_1 e^{j\theta_1}, \ldots, \alpha_n e^{j\theta_n}, \ldots, \alpha_N e^{j\theta_N}\right), \forall n$$

[0093] [수학식 12]에서 첫 번째 수식 $\max_{W_C, W_r, \Phi} C$는 통신 시스템의 sum rate를 최대화 하고자 하는 목적 함수를 나타낸다.

[0094] [수학식 12]에서 두 번째 수식 $\gamma_k \geq \gamma_{r,th}$는 목적 함수인 통신 시스템의 sum rate 최대화하는데에 고려해야 할 제약 조건으로서, [수학식 9]에서와 같이 감지 시스템의 성능이 적어도 시스템에서 요구되는 일정 성능 이상으로 보장되어야 함을 나타낸다. 여기서 γ_k는 감지 시스템의 SINR 값을 나타내며, $\gamma_{r,th}$는 시스템에서 요구되는 최소 SINR 값을 나타낸다.

[0095] [수학식 12]에서 세 번째 수식 $\|R\|_F^2 \leq P_t$는 목적 함수인 통신 시스템의 sum rate 최대화하는데에 고려해야 할 또 다른 제약 조건으로서, [수학식 11]에서와 같이 시스템의 최대 전력에 대한 제한을 나타낸다.

[0096] [수학식 12]에서 네 번째 수식 $\left|\alpha_n e^{j\theta_n}\right| = 1, \forall n$ 및 다섯 번째 수식 $\Phi = diag\left(\alpha_1 e^{j\theta_1}, \ldots, \alpha_n e^{j\theta_n}, \ldots, \alpha_N e^{j\theta_N}\right), \forall n$ 은 지능형 반사 표면(104)의 정의와 관련된 수식으로서, 일반적으로 지능형 반사 표면(104)이 가장 높은 성능을 내기 위해서는 항상 최대 전력으로 신호를 반사하도록 설계되므로, 각 반사 요소의 크기를 최대값인 1로 정의하였다. 즉, 반사 요소의 진폭 α_n의 절대값은 모두 1이다.

[0097] 이러한 [수학식 12]에 따른 최적화 문제는 목적 함수 뿐만 아니라 일부 제약 조건들이 볼록(convex)하지 않기 때문에, 일반적인 볼록 최적화 문제로는 풀 수 없다. 따라서, 본 발명은 심층 강화 학습 기법 중 하나인 DDPG(deep deterministic policy gradient)를 사용하여 최적의 빔 형성 행렬과 반사 요소 행렬을 선택할 수 있는 알고리즘을 제안한다.

[0098] 심층 강화 학습은 어떠한 환경(environment)에서 상태(state)가 주어졌을 때, 보상(reward)를 최대화 할 수 있는 행동(action)을 학습하는 학습 모델로서, 본 발명에서는 [수학식 12]에 따른 최적화 문제를 심층 강화 학습 기법에 대입하기 위하여 강화 학습 모델의 행동(action), 상태(state), 보상(reward)을 다음과 같이 정의한다.

[0099] - 행동(action): 통신을 위한 빔 형성 행렬(W_c), 감지를 위한 빔 형성 행렬(W_r) 및 지능형 반사 표면의 반사 요소(Φ)

[0100] - 상태(state): 이전 에피소드의 행동(action), 채널 행렬 또는 벡터($h_{d,k}^H, h_{2,k}^H$, H), 감지 시스템의 SINR(γ_k) 및 시스템의 송신 전력($\|R\|_F^2$)

[0101] - 보상(reward): 통신 시스템의 sum rate (C)

[0102] 행동(action), 상태(state), 보상(reward)이 상기와 같이 정의된 강화 학습 모델을 기반으로 심층 강화 학습을 수행하는 방법에 대하여 이하 도 4를 참조하여 설명한다.

[0103] 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 심층 강화 학습 기반의 빔 형성 알고리즘을 나타낸 순서도이다.

[0104] 기지국은 T 개의 목표물을 감지하기 위해 사용하는 신호 s_r과 K 명의 사용자와 통신을 수행하기 위해 사용하는 신호 s_c를 생성할 수 있다(S401).

[0105] 이후 심층 강화 학습을 수행하기 위한 초기 단계로서, 행동(action)에 해당하는 요소들의 초기 값으로서 통신을 위한 빔 형성 행렬(W_c), 감지를 위한 빔 형성 행렬(W_r) 및 지능형 반사 표면의 반사 요소(Φ)의 초기 값을 각각 선택할 수 있다(S402).

[0106] 기지국은 S401 단계에서 생성한 신호 s_r, s_c에 S402 단계에서 선택한 통신을 위한 빔 형성 행렬 W_c의 초기 값 및 감지를 위한 빔 형성 행렬 W_r의 초기 값을 적용하여 통합된 신호로 송신할 수 있다(S403). 통합된 신호는 [수학식 1]에서 설명한 바와 같이 $x = W_c s_c + W_r s_r$로 표현될 수 있다. S403 단계에서 송신된 신호는 감지 대상인 목표물, 지능형 반사 표면 및 통신 사용자에게 전달된다.

[0107] S403 단계에서 송신된 신호는 목표물에서 반사되어 다시 기지국에서 수신되고, 기지국은 목표물에서 반사되어 수신된 신호를 분석하여 감지 시스템의 SINR γ_r을 계산할 수 있다(S404-1). 감지 시스템의 SINR γ_r을 계산하는 방법은 앞서 [수학식 7] 내지 [수학식 8]을 통해 설명하였다.

[0108] S403 단계에서 송신된 신호는 직접 통신 사용자에게 도달하거나, 또는 지능형 반사 표면을 거쳐 통신 사용자에게 도달하며, 이 때 지능형 반사 표면을 거쳐 통신 사용자에게 도달하는 신호는 S402 단계에서 선택한 지능형 반사 표면의 반사 요소(Φ)의 초기 값이 적용되어 통신 사용자에게 반사된다. 기지국으로부터 직접 통신 사용자에게 도달하는 신호 및 지능형 반사 표면으로부터 반사되어 통신 사용자에게 도달하는 신호를 이용하여 통신 시

스템의 SINR γ_t 및 sum rate C를 계산할 수 있다(S404-2). 통신 시스템의 SINR γ_t 및 sum rate C를 계산하는 방법은 앞서 [수학식 2] 내지 [수학식 6]을 참조하여 설명하였다. 여기서 계산된 sum rate C는 심층 강화 학습의 보상(reward)에 해당한다.

[0109] 이전 단계에서 사용된 행동(통신을 위한 빔 형성 행렬, 감지를 위한 빔 형성 행렬 및 반사 요소), 상태(채널 정보, 송신 전력, 감지 시스템의 SINR), 보상(통신 시스템의 sum rate)는 메모리와 같은 저장 장치에 저장되며(S405), 다음 에피소드를 수행하기 위한 정보로서 활용될 수 있다.

[0110] 상기와 같이 기지국에서 신호를 송신하고, 송신한 신호에 대한 감지 시스템 및 통신 시스템의 성능을 계산하고, 사용된 파라미터들을 저장하는 S403 단계, S404-1 및 S404-2 단계, 그리고 S405 단계까지가 하나의 에피소드(episode)를 구성하며, 심층 강화 학습은 에피소드를 미리 설정된 최대 에피소드 수 만큼 반복함으로써 수행될 수 있다.

[0111] 따라서, 하나의 에피소드가 종료되면, 현재 진행된 에피소드의 수가 미리 설정된 최대 에피소드 수를 비교할 수 있다(S406). 만약 진행된 에피소드의 수가 미리 설정된 최대 에피소드 수 보다 작은 경우, 다음 에피소드를 반복 수행하기 위해 S407 단계로 진행할 수 있다. 반면, 진행된 에피소드의 수가 미리 설정된 최대 에피소드 수에 도달한 경우, 학습을 종료하기 위해 S408 단계로 진행할 수 있다.

[0112] 진행된 에피소드의 수가 미리 설정된 최대 에피소드 수 보다 작은 경우, 해당 최대 에피소드 수에 도달할 때 까지 에피소드를 반복 수행할 수 있다(S407). 이 때, S405 단계에서 저장된 행동, 상태, 보상 정보들은 다음 에피소드의 새로운 행동을 결정하기 위해 사용되며, 일 예시로 다음 에피소드의 새로운 행동은 잘 알려진 알고리즘인 DDPG(deep deterministic policy gradient) 알고리즘을 기반으로 결정될 수 있다.

[0113] 진행된 에피스도의 수가 미리 설정된 최대 에피소드 수에 도달한 경우, 학습을 종료하고 마지막으로 수행한 에피소드의 보상(reward) 및 마지막으로 수행한 에피소드에서 사용된 행동(action)를 출력할 수 있다(S408).

[0114] 전술한 심층 강화 학습은 예를 들어 기지국에 의해서 수행되거나, 또는 별도의 장치를 통해 수행된 후 학습 결과를 기지국 및/또는 지능형 반사 표면에 전달하는 방식으로 운용할 수도 있다.

[0115] 이하 도 5 및 도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른 통합된 감지 및 통신 시스템에서 심층 강화 학습을 시뮬레이션 한 결과를 도시한 도면이다.

[0116] 도 5 및 도6에 도시된 시뮬레이션에서, 5G 또는 차세대 이동 통신의 대표적인 주파수 대역인 28 GHz의 밀리미터파 대역을 고려하였다. 밀리미터파 대역에서 사용되는 대표적인 채널 모델인 Saleh-valenzuela 채널 모델을 사용하였으며, 채널 행렬 H는 아래 [수학식 13]과 같이 표현될 수 있다.

[0117] [수학식 13]

[0118] $$H = \sqrt{\frac{MN}{P}}\beta_p a_r(\phi_{r,p}, \theta_{r,p}) a_t^H(\phi_{t,p}, \theta_{t,p})$$

[0119] 여기서 a_r 및 a_t는 각각 수신기 및 송신기에서의 배열 응답 벡터를 나타내며, $\beta_p, \phi_{t,p}, \phi_{r,p}, \theta_{t,p}, \theta_{r,p}$는 각각 채널의 복소 이득, 송신기의 방위각, 수신기의 방위각, 송신기의 앙각, 그리고 수신기의 앙각을 나타낸다.

[0120] [표 1]은 본 발명의 실시 예에서 설정한 변수의 값들을 나타낸다.

표 1

[0121]

Parameter	Symbol	값 [단위]
통신 사용자 수	K	[2, 4, 6] [명]
기지국 안테나 수	M	8 [개]
지능형 반사 요소 수	N	16 [개]
감지 시스템의 목표물 수	T	2 [개]
감지 SINR 요구치	$\gamma_{r,th}$	-10 [dBm]
반송파 주파수	f	28 [GHz]

최대 송신 전력	P_t	30 [dBm]

[0122] 도 5는 서로 다른 통신 사용자의 숫자에 따른 학습 곡선을 나타낸 도면이다. 구체적으로, 도 5는 [표 1]에서 설정한 변수들을 기초로 통신 사용자의 수(K)를 2, 4, 6명으로 다르게 했을 때의 에피소드 수에 따른 통신 시스템의 성능 Sum rate 값의 학습 곡선을 나타낸 도면이다. 도 5에서 가로축은 심층 강화 학습의 진행도를 나타내는 에피소드의 숫자이고, 세로축은 통신 사용자의 sum rate를 나타낸다. 모든 곡선에서 에피소드가 진행될수록 학습이 잘 이루어져 특정 값으로 수렴함을 확인할 수 있으며, 통신 사용자가 2명인 경우(K=2)와 비교할 때 통신 사용자의 수가 4명(K=4), 6명(K=6)으로 증가할수록 통신 사용자의 성능인 sum rate가 증가함을 확인할 수 있다.

[0123] 도 6은 감지 시스템의 최저 SINR 요구치의 변화에 따른 통신 사용자의 sum rate를 나타낸 도면이다.

[0124] 도 6에서 가로축은 감지 시스템의 최저 SINR 요구치를 나타내고, 세로축은 통신 사용자의 sum rate를 나타낸다. 도 6에서 점선은 감지 시스템을 사용하지 않는 경우 통신 사용자의 sum rate로, 통신 성능에 대한 상한선에 해당한다. 도 6을 참조하면, 통신 사용자의 수가 2명(K=2)인 경우 및 4명(K=4)인 경우에 대하여, 감지 시스템의 최저 SINR 요구치에 따른 통신 시스템의 성능(sum rate)를 확인할 수 있다.

[0125] 따라서, 본 발명의 심층 강화 학습에 기반한 빔 형성 최적화 알고리즘을 통해 감지와 통신 시스템을 통합하여 운용할 수 있을 뿐만 아니라, 지능형 반사 표면을 사용하여 통신 사용자의 성능을 높일 수 있음을 확인할 수 있다.

[0126] 이상 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예들을 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시 예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

부호의 설명

[0127] 100: 통합된 감지 및 통신 시스템

101: 기지국

102-1,쪋,102-K: 통신 사용자

103-1,쪋,103-T: 감지 목표물

104: 지능형 반사 표면

201: 프로세서

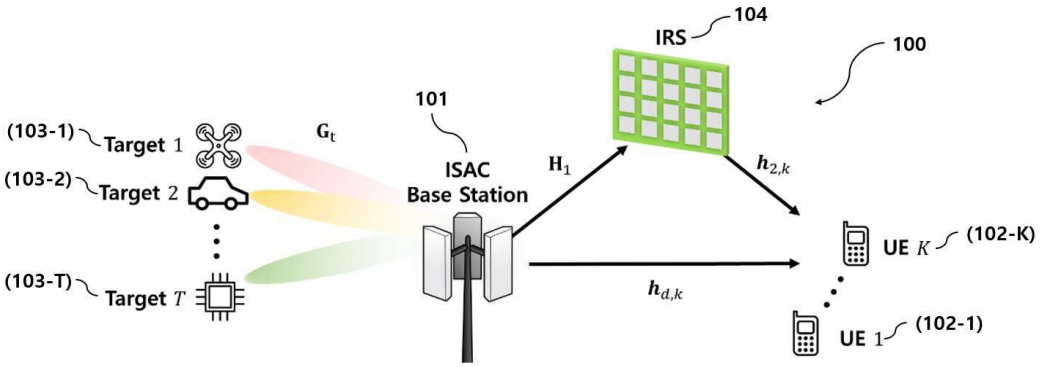
202: 송수신부

203: 메모리

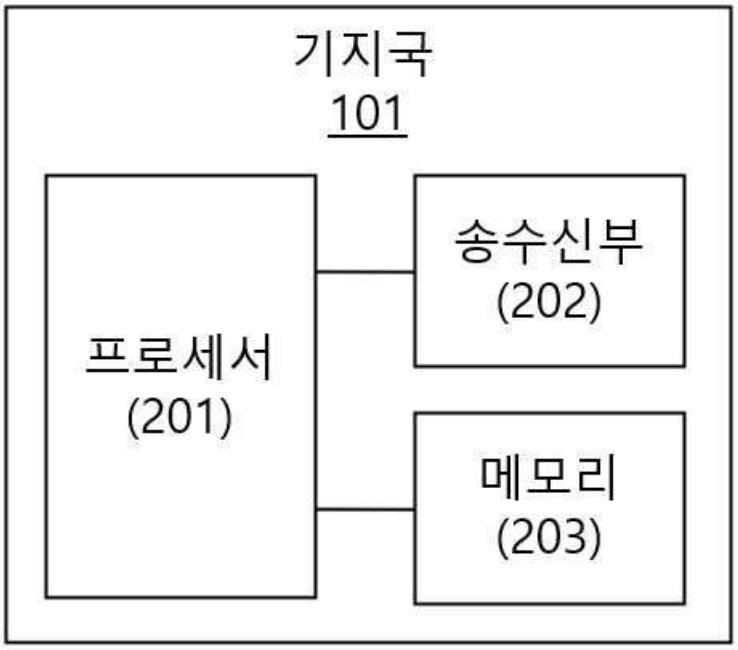
301: 반사 요소

도면

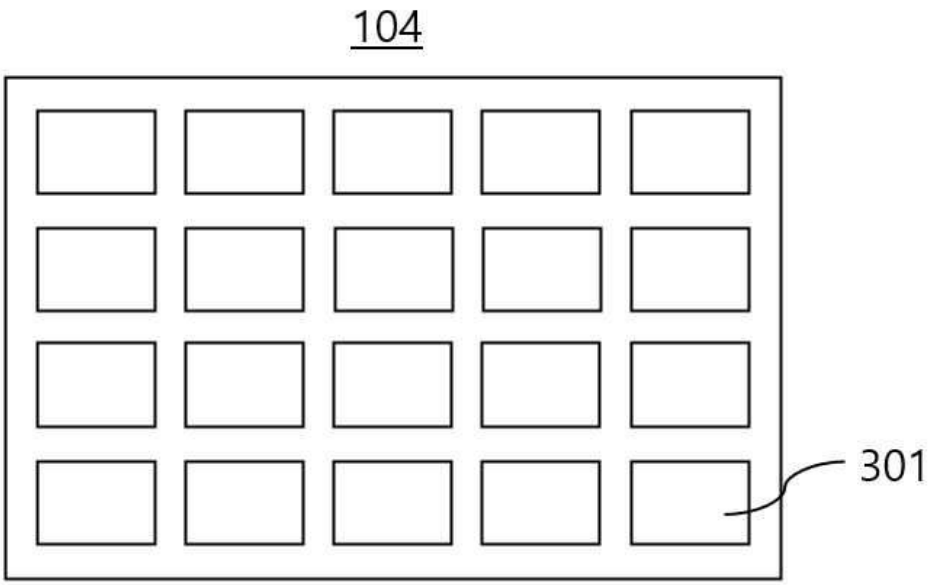
도면1


IRS
104
100
101
(103-1)
Target 1
(103-2)
Target 2
(103-T)
Target T
G_t
ISAC
Base Station
H_1
$h_{2,k}$
$h_{d,k}$
UE K
(102-K)
UE 1
(102-1)

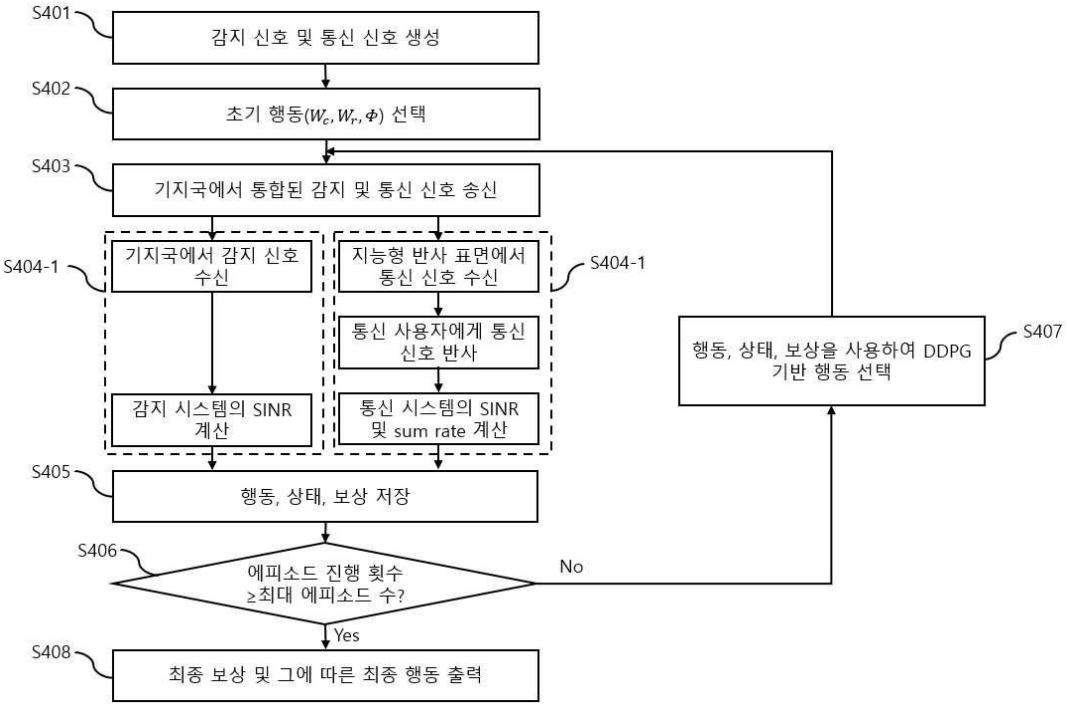
도면2


기지국
101
프로세서
(201)
송수신부
(202)
메모리
(203)

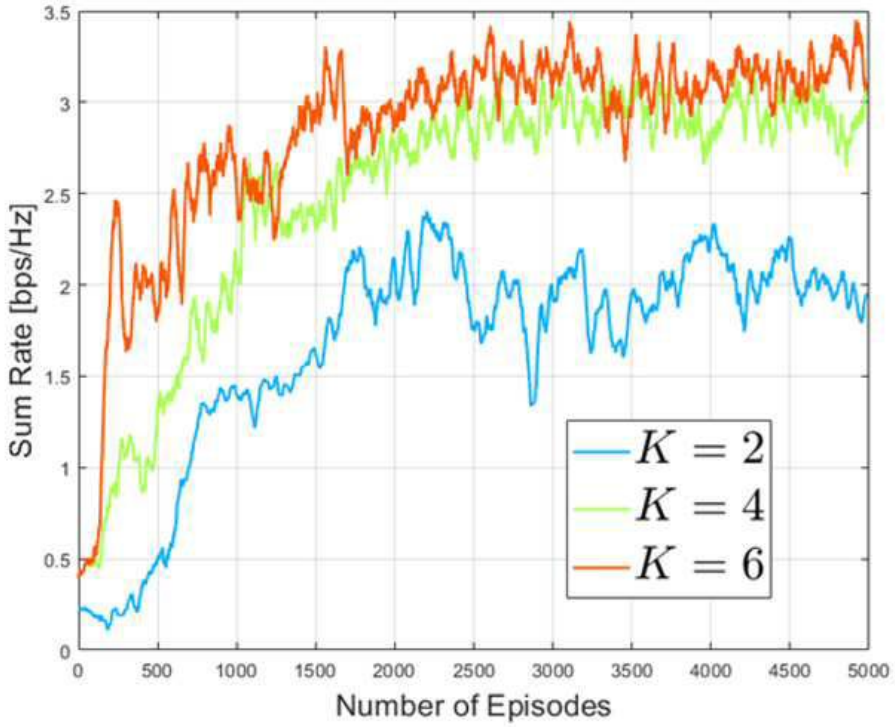
도면3


104
301

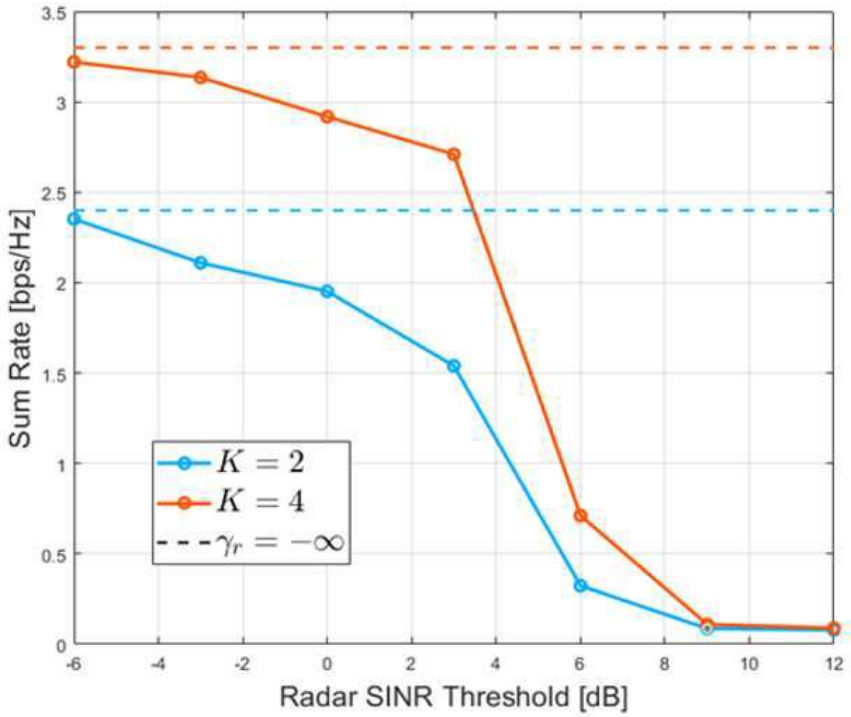
도면4


S401
감지 신호 및 통신 신호 생성
S402
초기 행동(W_c, W_r, Φ) 선택
S403
기지국에서 통합된 감지 및 통신 신호 송신
S404-1
기지국에서 감지 신호 수신
감지 시스템의 SINR 계산
S404-1
지능형 반사 표면에서 통신 신호 수신
통신 사용자에게 통신 신호 반사
통신 시스템의 SINR 및 sum rate 계산
S405
행동, 상태, 보상 저장
S406
에피소드 진행 회수 ≥최대 에피소드 수?
No
Yes
S407
행동, 상태, 보상을 사용하여 DDPG 기반 행동 선택
S408
최종 보상 및 그에 따른 최종 행동 출력

도면5


Sum Rate [bps/Hz]
Number of Episodes
$K = 2$
$K = 4$
$K = 6$

도면6


Sum Rate [bps/Hz]
Radar SINR Threshold [dB]
$K = 2$
$K = 4$
$\gamma_r = -\infty$