



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년08월05일
(11) 등록번호 10-2430193
(24) 등록일자 2022년08월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/185 (2006.01) G01S 13/66 (2006.01)
H04B 17/373 (2014.01) H04B 7/0456 (2017.01)
H04B 7/06 (2017.01) H04B 7/08 (2017.01)
H04L 25/02 (2006.01)

(52) CPC특허분류
H04B 7/18517 (2013.01)
G01S 13/66 (2021.01)

(21) 출원번호 10-2021-0002644

(22) 출원일자 2021년01월08일

심사청구일자 2021년01월08일

(65) 공개번호 10-2022-0100320

(43) 공개일자 2022년07월15일

(56) 선행기술조사문헌

Song, Ha-Lim and Young-Chai Ko, "Flight Sensor Data and Beamforming based Integrated UAV Tracking with Channel Estimation using Gaussian Process Regression," arXiv: Signal Processing (2020)*

T. Zhao et al., "DoA Prediction Based Beamforming with Low Training Overhead for Highly-Mobile UAV Communication with Cellular Networks," Appl. Sci., 10, p. 4420, (2020)*

J. Zhao et al., "Beam Tracking for UAV Mounted SatCom on-the-Move With Massive Antenna Array," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 36, no. 2, p. 363, (2018.02)*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

고영채

서울특별시 강남구 일원로 127, 107동 301호(일원동, 가람아파트)

송하림

경기도 광명시 철산로 57, 1320동 1507호(철산동, 철산13단지주공아파트)

(74) 대리인

최윤서, 손제관

전체 청구항 수 : 총 13 항

심사관 : 신상길

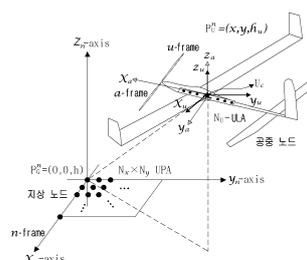
(54) 발명의 명칭 비행 센서 데이터 및 빔포밍 정보 기반 공중 노드 추적 방법 및 장치

(57) 요약

본 개시는 비행 센서 데이터 및 빔포밍 정보에 기초하여 공중 노드를 추적하는 방법 및 장치에 대한 것이다. 본 개시의 일 실시예에 따른 지상 노드가 공중 노드의 위치를 추적하는 방법은, 상기 공중 노드의 비행 센서 데이터에 기초하여 공간 각도의 후보들의 집합을 설정하는 단계; 상기 공간 각도의 후보들에 속하지 않은 업데이트된

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



공간 각도에 대해서, 수신 빔포밍이 적용된 수신 신호 크기의 예측값을 도출하는 단계; 상기 공간 각도의 업데이트 및 상기 수신 신호 크기의 예측값의 도출을 반복하여 최적의 공간 각도를 결정하는 단계; 및 상기 최적의 공간 각도에 기초하여 상기 공중 노드의 위치를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

(52) CPC특허분류

H04B 17/373 (2015.01)

H04B 7/0456 (2013.01)

H04B 7/0617 (2013.01)

H04B 7/086 (2013.01)

H04B 7/18513 (2013.01)

H04L 25/0202 (2013.01)

H04W 84/06 (2019.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711114967
과제번호	2018R1A2B200778913
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	(이공)중견연구자지원(3억초과~5억이하)
연구과제명	이동체를 위한 무선 광통신 시스템 설계 및 최적화
기여율	1/1
과제수행기관명	고려대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28
공지예외적용	: 있음

명세서

청구범위

청구항 1

지상 노드가 공중 노드의 위치를 추적하는 방법에 있어서,

상기 공중 노드의 비행 센서 데이터에 기초하여 공간 각도의 후보들의 집합을 설정하는 단계;

상기 공간 각도의 후보들에 속하지 않은 업데이트된 공간 각도에 대해서, 수신 빔포밍이 적용된 수신 신호 크기의 예측값을 도출하는 단계;

상기 공간 각도의 업데이트 및 상기 수신 신호 크기의 예측값의 도출을 반복하여 최적의 공간 각도를 결정하는 단계; 및

상기 최적의 공간 각도에 기초하여 상기 공중 노드의 위치를 결정하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 수신 신호 크기의 예측값을 도출하는 단계는,

상기 공간 각도의 후보들을 가우시안 프로세스 회귀(GPR)의 입력으로 설정하고, 상기 수신 빔포밍이 적용된 수신 신호 크기를 상기 GPR의 출력으로 설정하는 것을 포함하는, 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 GPR에 기초하여, 상기 업데이트된 공간 각도에 대한 상기 수신 빔포밍이 적용된 수신 신호 크기의 예측값이 도출되는, 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 공간 각도는 (u, v) 로 표현되고,

상기 공간 각도의 후보들의 집합은,

$$\mathcal{D}_S = \{(u_i, v_j), u_i \in [\tilde{u}_k - B : \Delta : \tilde{u}_k + B], v_j \in [\tilde{v}_k - B : \Delta : \tilde{v}_k + B]\}$$

로 정의되고,

k 는 시간 단위 인덱스이고, Δ 는 공간 각도 후보들의 간격인, 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 수신 신호 크기는

$$\mathbf{y}_t = f(\mathbf{X}_t) + \epsilon = |\mathbf{W}(\mathbf{X}_t)^H \mathbf{H} \mathbf{f} s + \mathbf{W}(\mathbf{X}_t)^H \mathbf{n}|$$

로 표현되고,

\mathbf{W} 는 수신 빔포밍 행렬이고, \mathbf{X}_t 는 집합 D_s 에 해당하고, \mathbf{H} 는 상기 공중 노드로부터 상기 지상 노드로의 채널에 해당하고, \mathbf{f} 는 송신 빔포밍 벡터이고, s 는 신호 성분이고, \mathbf{n} 은 잡음 성분인, 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 최적의 공간 각도를 결정하는 것은

상기 수신 신호 크기의 예측값의 평균에 대한 미분 값의 극 값을 도출하는 것을 포함하는, 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 수신 신호 크기의 예측값의 평균에 대한 미분은

$$g(\mathbf{x}_t^*) = \left. \frac{\partial \hat{f}^*}{\partial \mathbf{x}^*} \right|_{\mathbf{x}^*} = \frac{\partial \mathbf{k}^T(\mathbf{x}^*, \mathbf{X}_t)}{\partial \mathbf{x}^*} [K(\mathbf{X}_t, \mathbf{X}_t) + \sigma^2 \mathbf{I}]^{-1} \mathbf{y}_t$$

로 표현되고,

\mathbf{x}_t^* 는 상기 업데이트된 공간 각도에 해당하고, \hat{f}^* 는 상기 수신 신호의 예측값에 해당하고, K 는 커널 행렬에 해당하고, σ^2 는 분산에 해당하고, \mathbf{I} 는 단위 행렬인, 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 비행 센서 데이터는, 상기 공중 노드의 위치 정보 또는 자세 정보 중 하나 이상을 포함하는, 방법.

청구항 9

공중 노드가 신호를 전송하는 방법에 있어서,

상기 공중 노드의 비행 센서 데이터에 기초하여 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계; 및

상기 송신 빔포밍 벡터에 기초하여 지상 노드로 신호를 전송하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 송신 빔포밍 벡터는, 상기 공중 노드로부터 상기 지상 노드로의 채널 상태에 대한 정보를 상기 지상 노드

로부터 피드백 받지 않고 결정되는, 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서,
 상기 비행 센서 데이터는, 상기 공중 노드의 위치 정보 또는 자세 정보 중 하나 이상을 포함하는, 방법.

청구항 12

공중 노드의 위치를 추적하는 지상 노드 장치에 있어서,
 트랜시버;
 메모리; 및
 프로세서를 포함하고,
 상기 프로세서는
 상기 공중 노드의 비행 센서 데이터에 기초하여 공간 각도의 후보들의 집합을 설정하고;
 상기 공간 각도의 후보들에 속하지 않은 업데이트된 공간 각도에 대해서, 수신 빔포밍이 적용된 수신 신호 크기의 예측값을 도출하는 단계;
 상기 공간 각도의 업데이트 및 상기 수신 신호 크기의 예측값의 도출을 반복하여 최적의 공간 각도를 결정하고; 및
 상기 최적의 공간 각도에 기초하여 상기 공중 노드의 위치를 결정하도록 설정되는, 지상 노드 장치.

청구항 13

신호를 전송하는 공중 노드 장치에 있어서,
 트랜시버;
 메모리; 및
 프로세서를 포함하고,
 상기 프로세서는,
 상기 공중 노드의 비행 센서 데이터에 기초하여 송신 빔포밍 벡터를 결정하고; 및
 상기 송신 빔포밍 벡터에 기초하여 지상 노드로 신호를 전송하도록 설정되는, 공중 노드 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 이동체 추적에 대한 것이며, 구체적으로는 비행 센서 데이터 및 빔포밍 정보에 기초하여 공중 노드를 추적하는 방법 및 장치에 대한 것이다.

배경 기술

[0002] 무선 통신 시스템에서 네트워크 커버리지를 확장하거나 음영 지역을 해소하고 데이터 핫스팟 서비스를 제공하기 위한 목적으로 무인기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)와 같은 공중 노드를 활용하는 기술이 논의되고 있다. 공중 노드는 도입 비용이 낮고, 배치 자유도가 높아서 통신 서비스 제공 지역을 유연하게 조정하거나, 보다 유리

한 송수신 채널 환경을 인위적으로 또는 선택적으로 이용하는 것을 지원할 수 있다.

[0003] 효율적인 무선 통신을 위해서 공중 노드의 정확한 위치를 추적하는 것이 요구된다. 종래에는 무선 통신 시스템의 빔포밍 정보를 활용하거나 또는 항공 시스템의 GPS(Global Positioning System) 정보와 같은 비행 센서 데이터를 활용하여 공중 노드의 위치를 추적하는 시도가 있었으나, 항공 시스템 및 무선 통신 시스템 개별적으로는 위치 추적의 정확도 및 효율성이 높지 않은 문제가 있었다. 따라서, 비행 센서 데이터 및 빔포밍 정보를 상호 보완 및 통합하여 공중 노드를 추적하기 위한 새로운 방안이 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 개시의 기술적 과제는 무선 통신 시스템과 항공 시스템의 특성을 고려한 통합 빔 추적 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

[0005] 본 개시의 추가적인 기술적 과제는 공중 노드가 송신 빔포밍을 지상 노드로부터의 피드백 없이 효율적으로 결정하는 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

[0006] 본 개시의 추가적인 기술적 과제는 지상 노드가 채널 추정 과정에서의 수신 빔포밍의 오버헤드를 감소하면서도 동적으로 공중 노드의 위치를 추적하는 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

[0007] 본 개시에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 개시가 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 개시의 일 양상에 따른 지상 노드가 공중 노드의 위치를 추적하는 방법은, 상기 공중 노드의 비행 센서 데이터에 기초하여 공간 각도의 후보들의 집합을 설정하는 단계; 상기 공간 각도의 후보들에 속하지 않은 업데이트된 공간 각도에 대해서, 수신 빔포밍이 적용된 수신 신호 크기의 예측값을 도출하는 단계; 상기 공간 각도의 업데이트 및 상기 수신 신호 크기의 예측값의 도출을 반복하여 최적의 공간 각도를 결정하는 단계; 및 상기 최적의 공간 각도에 기초하여 상기 공중 노드의 위치를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0009] 본 개시의 추가적인 양상에 따른 공중 노드가 신호를 전송하는 방법은, 상기 공중 노드의 비행 센서 데이터에 기초하여 송신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계; 및 상기 송신 빔포밍 벡터에 기초하여 지상 노드로 신호를 전송하는 단계를 포함할 수 있다.

[0010] 본 개시에 대하여 위에서 간략하게 요약된 특징들은 후술하는 본 개시의 상세한 설명의 예시적인 양상일 뿐이며, 본 개시의 범위를 제한하는 것은 아니다.

발명의 효과

[0011] 본 개시에 따르면, 무선 통신 시스템과 항공 시스템의 특성을 고려한 통합 빔 추적 방법 및 장치가 제공될 수 있다.

[0012] 본 개시에 따르면, 공중 노드가 송신 빔포밍을 지상 노드로부터의 피드백 없이 효율적으로 결정하는 방법 및 장치가 제공될 수 있다.

[0013] 본 개시에 따르면, 지상 노드가 채널 추정 과정에서의 수신 빔포밍의 오버헤드를 감소하면서도 동적으로 공중 노드의 위치를 추적하는 방법 및 장치가 제공될 수 있다.

[0014] 본 개시에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 개시가 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 개시가 적용될 수 있는 시스템 모델 구조도이다.

도 2는 본 개시에 따른 공간 각도를 설명하기 위한 xy 평면 투영도이다.

도 3은 본 개시에 따른 비행 센서 데이터 및 통신 신호의 타이밍을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 개시가 적용될 수 있는 빔 공간 채널의 예시를 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 본 개시에 따른 공중 노드 추적 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 6은 본 개시에 따른 지상 노드 장치 및 공중 노드 장치의 구성을 나타내는 도면이다.

도 7 및 도 8은 본 개시에 따른 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0016] 이하에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 개시의 실시예에 대하여 본 개시가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나, 본 개시는 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.
- [0017] 본 개시의 실시예를 설명함에 있어서 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 개시의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그에 대한 상세한 설명은 생략한다. 그리고, 도면에서 본 개시에 대한 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙인다.
- [0018] 본 개시에 있어서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소와 "연결", "결합" 또는 "접속"되어 있다고 할 때, 이는 직접적인 연결관계 뿐만 아니라, 그 중간에 또 다른 구성요소가 존재하는 간접적인 연결관계도 포함할 수 있다. 또한 어떤 구성요소가 다른 구성요소를 "포함한다" 또는 "가진다"고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 배제하는 것이 아니라 또 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0019] 본 개시에 있어서, 제1, 제2 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용되며, 특별히 언급되지 않는 한 구성요소들 간의 순서 또는 중요도 등을 한정하지 않는다. 따라서, 본 개시의 범위 내에서 일 실시예에서의 제1 구성요소는 다른 실시예에서 제2 구성요소라고 칭할 수도 있고, 마찬가지로 일 실시예에서의 제2 구성요소를 다른 실시예에서 제1 구성요소라고 칭할 수도 있다.
- [0020] 본 개시에 있어서, 서로 구별되는 구성요소들은 각각의 특징을 명확하게 설명하기 위한 것이며, 구성요소들이 반드시 분리되는 것을 의미하지는 않는다. 즉, 복수의 구성요소가 통합되어 하나의 하드웨어 또는 소프트웨어 단위로 이루어질 수도 있고, 하나의 구성요소가 분산되어 복수의 하드웨어 또는 소프트웨어 단위로 이루어질 수도 있다. 따라서, 별도로 언급하지 않더라도 이와 같이 통합된 또는 분산된 실시예도 본 개시의 범위에 포함된다.
- [0021] 본 개시에 있어서, 다양한 실시예에서 설명하는 구성요소들이 반드시 필수적인 구성요소들은 의미하는 것은 아니며, 일부는 선택적인 구성요소일 수 있다. 따라서, 일 실시예에서 설명하는 구성요소들의 부분집합으로 구성되는 실시예도 본 개시의 범위에 포함된다. 또한, 다양한 실시예에서 설명하는 구성요소들에 추가적으로 다른 구성요소를 포함하는 실시예도 본 개시의 범위에 포함된다.
- [0022] 본 개시는 무선 통신 시스템에서 네트워크 노드들 간의 통신에 대한 것이다. 네트워크 노드는, 기지국, 단말 또는 릴레이(relay) 중의 하나 이상을 포함할 수 있다. 기지국(Base Station, BS)이라는 용어는, 고정국(fixed station), Node B, eNodeB(eNB), ng-eNB, gNodeB(gNB), 액세스 포인트(Access Point, AP) 등의 용어로 대체될 수 있다. 단말(terminal)은 UE(User Equipment), MS(Mobile Station), MSS(Mobile Subscriber Station), SS(Subscriber Station), 비-AP 스테이션(non-AP STA) 등의 용어로 대체될 수 있다.
- [0023] 무선 통신 시스템은 기지국과 단말 간의 통신을 지원할 수도 있고, 단말간 통신을 지원할 수도 있다. 기지국과 단말 간의 통신에 있어서, 하향링크(Downlink, DL)는 기지국으로부터 단말로의 통신을 의미한다. 상향링크(Uplink, UL)은 단말로부터 기지국으로의 통신을 의미한다. 단말간 통신은 D2D(Device-to-Device), V2X(Vehicle-to-everything), ProSe(Proximity Service), 사이드링크(sidelink) 통신 등의 다양한 통신 방식 또는 서비스를 포함할 수 있다. 단말간 통신에 있어서 단말은 센서 노드, 차량, 재난 경보기 등의 형태로 구현될 수도 있다.
- [0024] 또한, 본 개시의 예시들은 릴레이(relay) 또는 릴레이 노드(RN)을 포함하는 무선 통신 시스템에 대해서 적용될 수 있다. 기지국과 단말 간의 통신에 릴레이가 적용되는 경우, 릴레이는 단말에 대해서 기지국으로서 기능할 수 있고, 릴레이는 기지국에 대해서 단말로서 기능할 수 있다. 한편, 단말간 통신에 릴레이가 적용되는 경우, 릴레이는 각각의 단말에 대해서 기지국으로서 기능할 수 있다.

- [0025] 본 개시는 무선 통신 시스템의 다양한 다중 액세스 방식에 적용될 수 있다. 예를 들어, 다중 액세스 방식은 CDMA(Code Division Multiple Access), TDMA(Time Division Multiple Access), FDMA(Frequency Division Multiple Access), OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access), SC-FDMA(Single Carrier-FDMA), OFDM-FDMA, OFDM-TDMA, OFDM-CDMA, NOMA(Non-Orthogonal Multiple Access) 등을 포함할 수 있다. 또한, 본 개시가 적용될 수 있는 무선 통신 시스템은, 상향링크 및 하향링크 통신이 서로 구별되는 시간 자원을 이용하는 TDD(Time Division Duplex) 방식을 지원할 수도 있고, 서로 구별되는 주파수 자원을 이용하는 FDD(Frequency Division Duplex) 방식을 지원할 수도 있다.
- [0026] 본 개시에서, 채널을 전송 또는 수신한다는 것은 해당 채널을 통해서 정보 또는 신호를 전송 또는 수신한다는 의미를 포함한다. 예를 들어, 제어 채널을 전송한다는 것은, 제어 채널을 통해서 제어 정보 또는 신호를 전송한다는 것을 의미한다. 유사하게, 데이터 채널을 전송한다는 것은, 데이터 채널을 통해서 데이터 정보 또는 신호를 전송한다는 것을 의미한다.
- [0027] 이하에서는, 본 개시에 따른 공중 노드 추적 방법에 대해서 설명한다.
- [0028] 본 개시에서 공중 노드 추적이란, 공중 노드의 송신 빔의 방향(또는 송신 빔포밍)을 결정 또는 예측하는 것, 공중 노드의 송신 빔에 대응하는 지상 노드의 수신 빔의 방향(또는 수신 빔포밍)을 결정 또는 예측하는 것, 공간 상에서 공중 노드의 위치를 결정 또는 예측하는 것 등을 포함할 수 있다.
- [0029] 공중 노드 추적을 위해서 무선 통신 시스템의 빔포밍 기반 방법이 활용될 수 있다. 예를 들어, 셀룰러 통신 시스템 또는 무선 LAN(Local Area Network) 통신 시스템에서, 빔 관리 또는 DFT(Discrete Fourier Transform) 행렬 기반의 빔 트레이닝 방법 등이 이동체 추적을 위해서 활용될 수 있다.
- [0030] 본 개시에 따르면, 항공 시스템에서 사용되는 항공 센서 데이터(예를 들어, GPS 위치 데이터나 INS(Inertia Navigation System) 자세 데이터 등)를, 통신 시스템에서의 기존 빔포밍 기반 방법과 결합하여 활용함으로써, 공중 노드 추적의 정확성을 높일 수 있다.
- [0031] 또한, 실제로 빔포밍을 수행하여 신호를 측정함으로써 최적의 빔 방향을 결정하기 보다, 가우시안 프로세스 회귀 (Gaussian Process Regression, GPR) 기법을 활용함으로써, 빔포밍 신호를 측정하지 않고도 채널을 예측할 수 있다.
- [0032] 즉, 본 개시에 따르면 항공 센서 데이터와 빔포밍 정보를 통합 활용하고, GPR 기법을 적용함으로써, 보다 정확하고 신속하게 공중 노드 추적을 수행할 수 있다.
- [0033] 구체적으로, 본 개시의 실시예들에 따르면, 항공 센서 데이터 및 빔포밍 정보를 통합 활용하는 시스템 및 그 동작 방법을 새롭게 정의함으로써, 기존의 통신 단일 시스템 또는 기존의 항공 단일 시스템을 활용한 위치 추적의 단점을 상호 보완하며, 공중 노드를 효율적이며 정확하게 추적할 수 있다.
- [0034] 또한, 무선 통신 시스템에 항공 센서 데이터들을 활용하는 방법론을 제시하는 연구들은 있지만, 항공 시스템과 무선 통신 시스템의 신호들의 특성을 고려한 통합 시스템에 대한 빔 추적 방안은 구체적으로 마련되어 있지 않다.
- [0035] 기존 항공 시스템에서는 비행 센서 데이터들의 값을 활용하여 공중 노드를 추적하는데, 이를 위하여 주로 사용되는 GPS 및/또는 INS 정보는 제공되는 주기가 길고 비교적 큰 오차를 가지고 있다. 이를 보완하기 위해서, GPS 및 INS 정보가 없거나 또는 GPS 및 INS 정보가 있더라도, 공중 노드 기반 통신 시스템에서 빔포밍 정보를 활용함으로써, 동적이면서 지속적으로 공중 노드 또는 빔을 정확하게 추적할 수 있다.
- [0036] 구체적으로, 항공 시스템과 무선 통신 시스템을 결합하려면, 비행 제어 신호와 통신 신호의 주기를 고려해야 한다. GPS 신호 주기는 일반적으로 통신 신호보다 길기 때문에, GPS 신호 부재 시에 따른 대응이 요구된다. 비행 센서 데이터에 포함되는 GPS 및 IMU(Inertia Measurement Unit) 신호는 더 낮은 복잡성으로 위치 및 채널 추정을 지원할 수 있다. 그러나 GPS에는 약 5 내지 15m 정도의 큰 측정 오차가 있어 정확한 빔 정렬에 적합하지 않으므로 수정 방법이 필요하다. 공중 노드 기반 통신에서는 높은 안테나 개인을 확보할 수 있는 방향성 빔포밍이 전제 조건이기 때문에, 보정을 위해 빔포밍 신호를 활용하는 것을 고려할 수 있다.
- [0037] 이하에서는 본 개시의 다양한 실시예들에 대해서 설명한다.
- [0038] 실제 공중 노드 기반 통신 시스템을 구축하려면, 지상 노드가 타겟(즉, 공중 노드)에 대해 빔포밍을 하여 신호 송수신을 지속적으로 유지할 수 있게 해야 한다. 움직이는 공중 노드를 지원하기 위해서는 지상 노드에서 타겟

을 계속 추적하면서 빔을 정렬시켜야 한다. 빔 정렬은 공중 노드의 송신 빔포밍에 최적으로 대응하는 지상 노드의 수신 빔포밍을 결정하는 것을 의미한다.

- [0039] 도 1은 본 개시가 적용될 수 있는 시스템 모델 구조도이다.
- [0040] 지상 노드는 공중 노드의 위치 정보(예를 들어, GPS 정보 등)를 수신할 수 있다. 지상 노드는 공중 노드의 위치 정보를 공중 노드로부터 직접 수신할 수도 있고, 또는 비행 관제 시스템(예를 들어, GPS 중계기)을 통하여 수신할 수도 있다.
- [0041] 지상 노드는 수신 빔포밍을 통하여 공중 노드로부터 수신된 신호로부터 유효 채널을 추정할 수 있다. 공중 노드는 지상 노드로부터의 무선 통신 시스템 상의 피드백(예를 들어, 프리코딩 행렬 지시자(PMI)를 포함하는 채널 상태 정보(CSI) 등) 없이 비행 센서 데이터에 기초하여 송신 빔포밍을 결정할 수 있다. 예를 들어, 공중 노드는 비행 센서 데이터에 포함되는 자세 정보 및 위치 정보를 이용하여 프리코딩 벡터(또는 빔포밍 벡터)를 결정하고, 이에 기초하여 빔포밍된 신호를 지상 노드로 전송할 수 있다. 공중 노드가 활용하는 비행 센서 데이터는, 공중 노드가 자체적으로 보유한 장비(예를 들어, EGI(Embedded GPS/INS)로부터 획득될 수도 있고, 외부의 비행 관제 시스템으로부터 공중 노드가 획득할 수도 있다.
- [0042] 지상 노드는 $N_x \times N_y$ 개의 안테나 요소들을 포함하는 평면 어레이(array) 안테나(UPA)를 구비한 것으로 가정한다. 지상 노드는 반드시 특정 위치에 고정될 수도 있으나, 이에 제한되는 것은 아니며, 이동가능한 기지국 또는 중계기일 수도 있다. 이동가능한 지상 노드인 경우, 지상 노드의 위치에 대한 정보가 공중 노드에게 제공될 수도 있다. 공중 노드는 N_0 개의 안테나 요소들을 포함하는 선형 어레이 안테나(ULA)를 구비한 것으로 가정한다. 지상 노드가 공중 노드를 추적하는 상황을 가정한다.
- [0043] 도 1에서 n-프레임(frame)은 측지(geodetic) 좌표 기반으로 기준점이 지상 노드의 안테나 어레이인 프레임이고, u-프레임은 기준점이 무인기의 무게 중심이고 n-프레임과 평행한 프레임이며, a-프레임은 기준점이 무인기의 무게 중심이고 u-프레임을 무인기의 선형 안테나 축 방향으로 회전시킨 프레임으로 정의된다.
- [0044] 지상 노드는 n-프레임을 기준으로, 그 위치는 $p_G^n = [0, 0, h]$ 이고, 안테나간 간격 $d = \lambda/2$ 이다. 공중 노드의 중심 위치는 n-프레임을 기준으로 $p_U^n = [x, y, h_u]$ 이다.
- [0045] 도 2는 본 개시에 따른 공간 각도를 설명하기 위한 xy 평면 투영도이다.
- [0046] 지상 노드와 공중 노드의 안테나 어레이(a-프레임) 사이의 공간 각도는, 수학식 1과 같이 공중 노드의 방향 각도와 자세로 표현될 수 있다.

수학식 1

$$u_a = \frac{g_x^a}{\sqrt{(g_x^a)^2 + (g_y^a)^2}} = \cos \phi' = \cos(\phi + \phi_v + \alpha)$$

- [0047]
- [0048] 수학식 1에서 u_a 는 무인기의 안테나 어레이에서의 출발 공간 각도에 해당할 수 있다. 또한, g_x^a 및 g_y^a 는 각각 a-프레임에서의 지상 노드의 (0, 0) 좌표에서 변환된 x, y 좌표에 해당한다. ϕ 는 지상 노드와 공중 노드 중심 사이의 각도이고, ϕ_v 는 공중 노드의 방향(즉, 헤딩 방향 또는 속도 방향)에 대한 각도이고, α 는 공중 노드의 자세(즉, 요(yaw)) 정보이다.
- [0049] 지상 노드와 공중 노드 중심 사이의 공간 각도는 수학식 2와 같이 표현될 수 있다.

수학식 2

$$u = \frac{x}{\sqrt{x^2+y^2+(h_u-h)^2}} = \cos \phi \sin \theta$$

$$v = \frac{y}{\sqrt{x^2+y^2+(h_u-h)^2}} = \sin \phi \sin \theta$$

[0050]

[0051]

수학식 2에서 u 및 v 는 무인기의 위치로 표현되는 공간 각도로서, 이는 후술하는 채널 모델의 주 성분이 된다. 또한, u 및 v 는 방위각(ϕ) 및 고도각(θ)으로 표현될 수도 있다.

[0052]

지상 노드와 무인기 사이의 채널은 가시선(Line of Sight, LoS) 경로로 표현될 수 있다. 예를 들어, k 번째 통신 블록(즉, 시간 단위)에서의 채널(즉, $H(k)$)은 수학식 3과 같이 표현될 수 있다.

수학식 3

$$\mathbf{H}(k) = \mu(k) \mathbf{a}_g(u(k), v(k)) \mathbf{a}_u^H(u_a(k))$$

[0053]

[0054]

수학식 3에서 $\mu(k)$ 는 k 번째 블록에서의 정규화된 채널 게인에 해당한다.

[0055]

수학식 3에서 $\mathbf{a}_g(u(k), v(k))$ 는 지상 노드에서의 도착 각도에 따른 안테나 어레이 반응 벡터이다. 안테나 어레이 반응 벡터(response vector)는 해당 안테나 어레이의 특성을 나타내는 벡터를 의미한다.

[0056]

수학식 3에서 $\mathbf{a}_g(u(k), v(k))$ 는 수학식 4와 같이 x 축 방향으로의 안테나 어레이 반응 벡터인 $\mathbf{a}_x(u(k))$, 및 y 축 방향으로의 안테나 어레이 반응 벡터인 $\mathbf{a}_y(v(k))$ 로 표현될 수 있다. 수학식 4에서 \otimes 는 크로네커 곱을 의미한다.

수학식 4

$$\mathbf{a}_g(u(k), v(k)) = \mathbf{a}_x(u(k)) \otimes \mathbf{a}_y(v(k))$$

$$\mathbf{a}_x(u(k)) = [1 \quad e^{-j\pi u(k)} \quad \dots \quad e^{-j\pi(N_x-1)u(k)}]^T$$

$$\mathbf{a}_y(v(k)) = [1 \quad e^{-j\pi v(k)} \quad \dots \quad e^{-j\pi(N_y-1)v(k)}]^T$$

[0057]

[0058]

수학식 3에서 $\mathbf{a}_u(u_a(k))$ 는 공중 노드에서의 출발 각도에 따른 안테나 어레이 반응 벡터이며, 수학식 5와 같이 표현된다. 수학식 3에서 $\mathbf{a}_u^H(u_a(k))$ 는 $\mathbf{a}_u(u_a(k))$ 의 에르미트 행렬(Hermitian matrix)에 해당한다.

수학식 5

$$\mathbf{a}_u(u_a(k)) = [1 \quad e^{-j\pi u_a(k)} \quad \dots \quad e^{-j\pi(N_U-1)u_a(k)}]^T$$

[0059]

- [0060] 도 3은 본 개시에 따른 비행 센서 데이터 및 통신 신호의 타이밍을 설명하기 위한 도면이다.
- [0061] 도 3의 예시에서는 비행 센서 데이터, 및 통신 신호의 송수신 타이밍을 나타낸다.
- [0062] 비행 센서 데이터는 INS 신호 및 GPS 신호를 포함할 수 있다. INS 신호 및/또는 GPS 신호는 공중 노드 자체적으로 생성하여 지상 노드로 전송될 수도 있고, 공중 노드가 외부 비행 관제 시스템으로부터 획득하여 지상 노드로 전송될 수도 있고, 외부 비행 관제 시스템으로부터 지상 노드로 전송될 수도 있다. 또는, 공중 노드는 INS 정보는 기지국에게 제공하지 않고 송신 빔포밍을 결정하기 위해서 자체적으로 활용할 수도 있다.
- [0063] 통신 신호는 동기화 신호(synchronization signal, SS) 및 데이터 전송을 포함할 수 있다. 동기화 신호는 공중 노드로부터 지상 노드로 전송되는 파일럿 신호(또는 참조 신호(reference signal))를 포함할 수 있으며, 공중 노드에서 결정한 빔포밍 벡터가 적용된 빔포밍 신호로서 전송될 수 있다. 또한, 하나의 동기화 신호 버스트(SS burst) 내에 하나 이상의 동기화 신호 블록(SSB)이 포함될 수 있으며, SS 버스트는 소정의 주기(T_p)로 반복적으로 송신될 수 있다. 데이터 전송은 공중 노드와 지상 노드가 상향링크 및/또는 하향링크를 통하여 교환하는 페이로드 데이터를 포함할 수 있다.
- [0064] 일반적으로 비행 센서 데이터의 신호 주기는 통신 신호의 주기보다 길다. 예를 들어, GPS 신호의 주기(T_{GPS})는 약 50 내지 100ms 이고, INS 신호의 주기(T_{INS})는 약 20ms이다. SS 버스트의 주기(T_p)는 (예를 들어, 5G NR 시스템을 가정하면) 약 0.3 내지 40ms일 수 있으나, 본 예시에서는 약 10ms 정도의 주기를 가지는 것으로 가정한다.
- [0065] 지상 노드는 공중 노드의 위치 정보인 GPS 값을 (공중 노드로부터 또는 GPS 중계기로부터) T_{GPS} 마다 수신할 수 있다. 이 때, GPS 값은 독립적으로 활용되는 경우에 약 5 내지 15m의 오차를 가지고, 다른 센서 데이터들을 통해 보정 과정을 거치면 약 2 내지 5m의 오차를 가질 수 있다.
- [0066] 지상 노드는 수신된 GPS 신호를 기반으로 수신 빔포밍을 위한 빔 후보들을 T_p 마다 설정할 수 있다. 공중 노드는 탑재된 EGI를 T_{INS} 마다 자신의 위치 정보 및 위도 정보 등을 획득하여, 송신 빔포밍을 위한 프리코딩 벡터를 결정할 수 있다.
- [0067] 지상 노드는 GPS 정보를 참고하여 수신 빔포밍 행렬을 결정하고, T_p 마다 통신 신호(예를 들어, 동기화 신호)를 활용해서 공중 노드를 추적할 수 있다. 이에 따라, GPS 신호가 없는 구간에서도 지상 노드는 지속적으로 정확하게 공중 노드를 추적할 수 있다.
- [0068] 즉, 지상 노드는 비행 센서 데이터가 존재하지 않거나, 이전에 수신된 비행 센서 데이터가 유효하지 않은 경우에도, 공중 노드로부터의 통신 신호에 기초하여 수신 빔포밍 행렬을 결정하고 채널을 추정할 수 있다. 물론, 지상 노드가 비행 센서 데이터를 이용하여 수신 빔포밍 행렬의 후보를 설정함으로써, 보다 효율적으로 수신 빔포밍 행렬 결정 및 채널 추정을 수행할 수 있다.
- [0069] 또한, 공중 노드는 비행 센서 데이터에 기초하여, 지상 노드로부터의 피드백(예를 들어, CSI) 없이도 송신 빔포밍 벡터(또는 프리코딩 행렬)를 결정할 수 있다. 물론, 공중 노드가 지상 노드로부터의 피드백을 받는 경우 보다 효율적으로 송신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있으나, 본 실시예에서는 지상 노드로부터의 피드백 없이도 공중 노드가 비행 센서 데이터에 기초하여 송신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있으며, 이에 따라 지상 노드로부터의 피드백을 위한 시스템 오버헤드를 감소하고 자원 활용도를 높일 수 있다.
- [0070] 공중 노드가 한 통신 블록 동안 등속 운동을 한다고 가정하면, k 번째 통신 블록에서의 위치 및 속도에 기초한 $k+1$ 번째 통신 블록에서의 공중 노드의 위치 변이는 수학식 6과 같이 표현될 수 있다.

수학식 6

$$\mathbf{p}_U^n(k + 1) = \mathbf{p}_U^n(k) + T_p \mathbf{v}_u(k)$$

[0071]

- [0072] 수학식 6에서 T_p 는 통신 신호 블록의 주기에 해당하고, 공중 노드의 속도 \mathbf{v}_u 및 방향 각도 Φ_v 는 수학식 7과 같이 표현될 수 있다.

수학식 7

$$\mathbf{v}_u(k+1) = \rho \mathbf{v}_u(k) + \epsilon_v(k)$$

$$\phi_v(k+1) = \rho \phi_v(k) + \epsilon_d(k)$$

[0073]

[0074] 수학식 7에서 ρ 는 상관계수에 해당하고, ϵ_v 는 속도에 대한 가우시안 잡음에 해당하고, ϵ_d 는 방향에 대한 가우시안 잡음에 해당한다.

[0075] 지상 노드에서 공중 노드의 위치 예측은, 해당 시점에 GPS 신호가 있는 경우에 수학식 8과 같이 표현되고, 해당 시점에 GPS 신호가 없는 경우에 수학식 9와 같이 표현된다.

수학식 8

$$\hat{\mathbf{p}}_U^-(k) = \tilde{\mathbf{p}}_U(m), \quad k = m$$

[0076]

수학식 9

$$\hat{\mathbf{p}}_U^-(k) = \hat{\mathbf{p}}_U(k-1) + T_p \tilde{\mathbf{v}}_U(m), \quad k \neq m$$

[0077]

[0078] 본 개시에서 측정된 값은 $\tilde{(\cdot)}$ 로 표현되고, 이에 기초하여 산출된 값은 $\bar{(\cdot)}$ 로 표현되며, 산출값 중에서 최종 추정값이 아닌 그 이전의 예측값은 $\bar{(\cdot)}$ 로 표현된다. 예를 들어, $\hat{\mathbf{p}}_U^-(k)$ 는 k 번째 시간 블록에서의 공중 노드의 위치에 대한 예측값을 나타내며, 후술하는 바와 같이 특정 조건을 만족하는 예측값이 최종 추정값이 될 수 있다.

[0079] 수학식 8 및 9에서 k는 통신 블록의 인덱스(또는 동기화 신호의 시간 단위)이고, m은 GPS 신호의 시간 인덱스(또는 GPS 신호의 시간 단위)해당한다.

[0080] 즉, 지상 노드에서는 GPS 신호가 있을 때 GPS 측정값에 기초하여 공중 노드의 위치를 예측하고, GPS 신호 부재 시에는 이전 프레임에서 추정된 위치에 속도 측정값을 더해주는 방식으로 공중 노드의 위치를 예측할 수 있다.

[0081] 공중 노드의 자세 데이터에 따라 안테나 어레이의 공간 각도가 달라지기 때문에, 자세 데이터를 아는 것이 중요하다. 탑재된 EGI를 통해 공중 노드는 안테나 어레이의 공간 각도를 구할 수 있다. 공중 노드가 일정한 고도를 비행하고, 선형 어레이가 탑재되었다고 가정할 때, 공간 각도에 영향을 주는 것은 헤딩 각도와 요(yaw) 자세이다. 헤딩 각도(ϕ_v)와 yaw 자세를 이용해 얻은 a-프레임에서의 공간 각도는 수학식 10과 같이 표현된다.

수학식 10

$$\hat{u}_a = \cos \left(\tan \left(\frac{\tilde{y}_U(n)}{\tilde{x}_U(n)} \right) + \tilde{\phi}_v + \tilde{\alpha} \right)$$

[0082]

[0083] 수학식 10에서 $\tilde{\alpha}$ 는 INS로부터 획득된 yaw 값이고, INS/GPS 컨트롤러의 시간 단위는 (n)으로 표현된다. 선행 안테나 어레이를 가정하였으므로, 자세 데이터로서 yaw 값을 고려한다.

[0084] 공중 노드는 산출된 공간 각도의 방향으로 빔포밍을 할 수 있으며, 송신 빔포밍을 위한 프리코딩 벡터 \mathbf{f} 는 수학식 11과 같이 표현된다.

수학식 11

$$\mathbf{f} = \frac{1}{\sqrt{N_u}} [1 \quad e^{-j\pi\hat{u}_a(k)} \quad \dots \quad e^{-j\pi(N_u-1)\hat{u}_a(k)}]^T$$

[0085]

[0086] 이와 같이, 비행 컨트롤러(또는 비행 센서)에서 측정된 값에 기초하여, 공중 노드는 지상 노드로부터의 피드백 없이 빔 정렬을 할 수 있다. 즉, 공중 노드는 하향링크 빔포밍(또는 송신 빔포밍)에 대한 지상 노드로부터의 피드백 과정 없이 프리코딩 벡터를 결정할 수 있다.

[0087] 지상 노드는 공중 노드로부터의 프리코딩된 유효 채널을 추정해야 한다. 지상 노드가 GPS 센서로부터 얻은 공간 각도는, 수학식 2와 유사하게, 아래의 수학식 12와 같이 표현될 수 있다.

수학식 12

$$\tilde{u} = \frac{\tilde{x}}{\sqrt{\tilde{x}^2 + \tilde{y}^2 + (h_u - h)^2}}$$

$$\tilde{v} = \frac{\tilde{y}}{\sqrt{\tilde{x}^2 + \tilde{y}^2 + (h_u - h)^2}}$$

[0088]

[0089] 수학식 12와 같이 산출된 공간 각도를 중심으로, 지상 노드는 수학식 13과 같은 각도 후보 집합 \mathcal{D}_s 를 설정할 수 있다.

수학식 13

$$\mathcal{D}_s = \{(u_i, v_j), u_i \in [\tilde{u}_k - B : \Delta : \tilde{u}_k + B], v_j \in [\tilde{v}_k - B : \Delta : \tilde{v}_k + B]\}$$

[0090]

[0091] \mathcal{D}_s 는 공중 노드의 예측된 위치를 기반으로 설정된 훈련 데이터 집합에 해당한다. 즉, \mathcal{D}_s 는 GPS 측정값에 기초하여 산출된 공간 각도(즉, 수학식 12)의 주변 각도들의 집합이며, 그 범위는 2B로 설정될 수 있다. Δ 는 코드 북의 그리드 간격, 즉, 공간 각도 후보들의 간격에 해당하고, 2B는 안테나 어레이의 메인 로브 빔 폭에 해당할 수 있다. 이에 따라, 메인 로브의 빔 폭 부근의 각도들만 훈련 데이터에 포함될 수 있다.

[0092] 가우시안 프로세스 회귀(GPR) 방법은 비 모수의 베이지안 예측 기법으로서, 사전 분포와 관측 값을 이용해서 사후 분포를 예측하여, 그 평균과 분산으로 추정 값과 추정 분산 값을 얻을 수 있다.

[0093] 본 개시에서는 공간 각도 그리드인 D_s 를 GPR의 입력으로 하고, 해당 각도로 빔포밍된 신호의 크기(즉, 수신 신호 크기)를 GPR의 출력으로 설정할 수 있다. 이에 따라, 실제로 수신 빔포밍을 수행하고 신호 크기를 측정하지 않고도, 즉, 실제 빔포밍 절차 없이도 빔포밍된 신호 크기를 예측하여, 최적의 수신 빔 각도를 결정함으로써 공중 노드를 추적할 수 있다.

[0094] 예를 들어, 입력 $x = [u \ v]^T$ 로 이루어진 집합 D_s 를 X_t 라고 하고, 수신 빔포밍 행렬을 W 라 하면, 수신 신호 y_t 는 수학적 식 13과 같이 표현될 수 있다.

수학적 식 14

[0095]
$$y_t = f(\mathbf{X}_t) + \epsilon = |\mathbf{W}(\mathbf{X}_t)^H \mathbf{H} f s + \mathbf{W}(\mathbf{X}_t)^H \mathbf{n}|$$

[0096] 수학적 식 14에서 ϵ 는 오차에 해당하고, s 는 신호 성분에 해당하고, n 은 잡음 성분에 해당한다.

[0097] 가우시안 프로세스 회귀 기법을 사용하여, 입력 데이터의 공간 각도가 아닌 새로운 공간 각도에 대해 실제로 빔포밍을 하지 않고, 빔포밍된 신호 크기를 예측할 수 있다. 새 입력 x^* 에 대한 출력 y_t 는 가우시안 분포로, 즉, 평균과 분산으로 예측이 가능하다. 즉, 기존의 훈련 데이터인 X_t 의 상관 관계와 관측 값 y_t 를 이용하여, 새로운 입력인 $x^* = [u^* \ v^*]^T$ 에 대한 빔포밍된 수신 신호의 크기 f^* 를 예측할 수 있다. 예측된 수신 신호 크기 f^* 는 수학적 식 15와 같이 표현될 수 있다.

수학적 식 15

[0098]
$$f^* | \mathbf{X}_t, \mathbf{y}_t, \mathbf{x}^* \sim \mathcal{N}(\bar{f}^*, \text{cov}(\bar{f}^*))$$

[0099] 수학적 식 15에서 랜덤 변수 f^* 의 평균은 \bar{f}^* 로 표현된다.

[0100] 예측된 수신 신호 크기(f^*)의 평균(E)은, 기존의 훈련 데이터로 이루어진 커널 행렬 $K(X_t, X_t)$, 기존의 훈련 데이터와 새로운 입력 간의 커널 상관 행렬 $K(x^*, X_t)$, 및 측정값 y_t 에 기초하여 산출될 수 있다. 또한, 공분산(cov)은, 기존의 훈련 데이터로 이루어진 커널 행렬 $K(X_t, X_t)$, 기존의 훈련 데이터와 새로운 입력 간의 커널 상관 행렬 $K(x^*, X_t)$, 새로운 입력값들로 이루어진 커널 행렬 $K(x^*, x^*)$, 새로운 입력과 기존의 훈련 데이터 간의 커널 상관 행렬 $K(X_t, x^*)$, 및 측정값에 기초하여 산출될 수 있다. 이를 정리하면 수학적 식 16과 같이 표현될 수 있다.

수학적 식 16

$$f^* \triangleq \mathbb{E}[f^* | \mathbf{X}_t, \mathbf{y}_t, \mathbf{x}^*] = K(\mathbf{x}^*, \mathbf{X}_t) [K(\mathbf{X}_t, \mathbf{X}_t) + \sigma^2 \mathbf{I}]^{-1} \mathbf{y}_t$$

$$\text{cov}(\bar{f}^*) = K(\mathbf{x}^*, \mathbf{x}^*) - K(\mathbf{x}^*, \mathbf{X}_t) [K(\mathbf{X}_t, \mathbf{X}_t) + \sigma^2 \mathbf{I}]^{-1} K(\mathbf{X}_t, \mathbf{x}^*)$$

$$k(\mathbf{x}, \mathbf{x}') = \sigma_s^2 \exp\left(-\frac{1}{2} (\mathbf{x} - \mathbf{x}')^T \Sigma^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{x}')\right)$$

[0101]

- [0102] 수학식 16에서 σ_s^2 는 신호에 대한 분산이며 가우시안 함수의 폭에 해당할 수 있다. I는 단위행렬을 나타낸다. 또한, $k(x, x')$ 는 x와 x' 사이의 상관관계를 나타내는 스칼라 값에 해당한다.
- [0103] 도 4는 본 개시가 적용될 수 있는 빔 공간 채널의 예시를 설명하기 위한 도면이다.
- [0104] 도 4(a)는 u, v에 대한 실제 빔 공간 채널의 예시를 나타낸다. 빔 공간 채널 모델에서 공간 각도 파라미터 u, v의 위치에서 극 값을 가질 수 있다. 즉, 도시된 예시에서 극 값 부분에 해당하는 각도가 채널 파라미터 u, v에 해당할 수 있다.
- [0105] 도 4(b)에서는 훈련 데이터 집합인 D_s 및 새로운 입력값 x^* 에 기초하여 예측되는 공간 각도 파라미터를 예시적으로 나타낸다.
- [0106] 코드북 빔포밍으로 얻은 출력 값을 가지고 있는 경우, 가우시안 프로세스 회귀(GPR)을 통하여 코드북 외의 각도에 대한 출력을 예측할 수 있다. 예측 값을 통하여 채널 정보인 극 값의 위치를 찾을 수 있다. 이를 위해서, 경사 하강법(gradient descent) 등의 기법이 적용될 수 있다. 예를 들어, 새로운 입력값 x^* 에 대한 예측 평균 값의 미분 값을 이용하여 극 값에 도달할 수 있다.
- [0107] 이하에서는, 하이브리드 빔포밍 구조와 아날로그 빔포밍 구조에서 각각 공간 각도 파라미터 u, v를 가우시안 프로세스 회귀 기법을 사용해서 도출하는 방법에 대해서 설명한다.
- [0108] 하이브리드 빔포밍 구조에서의 채널 추정을 위해서, 가우시안 프로세스 회귀의 입력으로 초기 훈련 데이터 X_t 를 선택한다. 또한, 상기 수학식 13에서의 간격 Δ 는, 수학식 17과 같이, 위상 변화기의 양자화 비트인 l로 표현된다.

수학식 17

$$\Delta = \frac{2\pi}{2^l}$$

- [0109]
- [0110] 코드북 범위인 B는 메인 로브의 널-투-널(null-to-null) 빔 폭인 $2/N_x$ 또는 $2/N_y$ 값을 가질 수 있다 (또는, $N_x = N_y$ 일 수 있음). 즉, 빔 공간 채널의 극점 주변의 공간 각도들로 수신 빔포밍 행렬 \mathbb{W} 를 설정한다. 설정된 수신 빔포밍 행렬 \mathbb{W} 를 통해 얻은 빔포밍된 수신 신호의 크기는 상기 수학식 14와 같이 표현된다.
- [0111] 새로운 입력 값인 x^* 에 대해 예측된 수신 신호 크기의 평균에 대한 미분은 수학식 18과 같이 표현될 수 있다.

수학식 18

$$g(\mathbf{x}_t^*) = \left. \frac{\partial \hat{f}^*}{\partial \mathbf{x}^*} \right|_{\mathbf{x}^*} = \frac{\partial \mathbf{k}^T(\mathbf{x}^*, \mathbf{X}_t)}{\partial \mathbf{x}^*} [K(\mathbf{X}_t, \mathbf{X}_t) + \sigma^2 \mathbf{I}]^{-1} \mathbf{y}_t$$

- [0112]
- [0113] 수학식 18과 같은 미분 값에 기초하여 공간 각도의 극 값에 도달할 수 있다. 빔 공간 채널은 메인 로브 구간에서는 단봉형이기 때문에, 전역 최적값(global optimum) 근방의 공간 각도들에서 경사 하강(gradient descent) 기법을 적용한다면, 국부 최적값(local optima)을 최종적인 최적값으로 결정하는 오류에 빠질 위험은 없다.
- [0114] 빔포밍 행렬에 적용될 공간 각도는 수학식 19와 같이 업데이트 될 수 있다.

수학식 19

$$\mathbf{x}_{i+1}^* = \mathbf{x}_i^* - \eta g(\mathbf{x}_i^*)$$

[0115]

[0116] 수학식 19에서 η 는 업데이트 간격 크기이고, i 는 반복 차수의 인덱스이다. 공간 각도를 달리하며 업데이트하고, 업데이트된 공간 각도에 기초한 빔포밍을 수행하여 실제 측정된 값을 수학식 20과 같이 훈련 데이터에 포함시킬 수 있다. 이에 따라, 새로운 공간 각도에 대한 채널 함수 값을 예측할 수 있다.

수학식 20

$$\mathbf{X}_t \leftarrow \{\mathbf{X}_t \cup \mathbf{x}_i^*\}$$

[0117]

[0118] 이러한 과정은 출력 함수 값이 수렴할 때까지 진행된다.

[0119] 아날로그 빔포밍 구조에서의 채널 추정에 있어서, 아날로그 위상 변이기는 위상 해상도에 따라 양자화된 위상 값을 사용하기 때문에, 업데이트 된 공간 각도에 대해 빔포밍을 수행하고 실제 측정값을 획득하기는 어렵다. 따라서, 빔 코드북의 출력값들만 가지고 수학식 18 및 수학식 19와 같이 가우시안 프로세스 회귀 기법으로 빔 공간 채널의 극값을 구할 수 있다. 초기의 훈련 데이터 X_t 를 그대로 이용하며, 수학식 20과 같은 훈련 데이터의 추가 없이 출력 함수 값이 수렴할 때까지 진행한다.

[0120] 전술한 하이브리드 또는 아날로그 빔포밍을 가정한 채널 추정 방식들로부터 도출된 공간 각도를 이용하여 수학식 21과 같이 공중 노드의 x, y 좌표 위치를 추정할 수 있다.

수학식 21

$$\hat{x}_k = \frac{\hat{u}_k h_u}{\sqrt{1 - (\hat{u}_k^2 + \hat{v}_k^2)}}$$

$$\hat{y}_k = \frac{\hat{v}_k h_u}{\sqrt{1 - (\hat{u}_k^2 + \hat{v}_k^2)}}$$

[0121]

[0122] 도 5는 본 개시에 따른 공중 노드 추적 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0123] 먼저 지상 노드의 동작에 대해서 설명한다.

[0124] 단계 S510에서 지상 노드는 공중 노드에 관련된 비행 센서 데이터에 기초하여 공중 노드의 위치를 예측할 수 있다. 예를 들어, 지상 노드는 공중 노드에 대한 GPS 측정값을 이용하여, 수학식 8 및 수학식 9와 같이 공중 노드의 위치를 예측할 수 있다.

[0125] 단계 S520에서 지상 노드는 공중 노드의 예측된 위치에 기초하여 수신 빔포밍 행렬을 결정할 수 있다. 예를 들어, 수학식 13과 같이 공간 각도 u, v 의 후보들의 집합에 해당하는 D_s 에 속한 요소들 중에 적절한 수신 빔포밍 행렬 \mathbb{W} 를 결정할 수 있다.

[0126] 단계 S530에서 지상 노드는 결정된 수신 빔포밍 행렬에 기초하여 공중 노드로부터 파일럿 신호(또는 동기화 신호 또는 참조 신호)를 수신할 수 있다. 수신된 신호는 수학식 14와 같이 표현될 수 있다. 즉, 실제로 수신 빔포밍을 수행하여 수신한 신호에 대한 측정값 또는 관측값이 획득될 수 있다.

- [0127] 단계 S540에서 지상 노드는 GPR(가우시안 프로세스 회귀) 기법 적용을 위한 훈련 데이터를 설정할 수 있다. 예를 들어, 수학적 식 13과 같은 공간 각도 u , v 의 후보들의 집합 D_s 를 설정하거나 업데이트할 수 있다.
- [0128] 단계 S550에서 지상 노드는 채널 예측 및 공간 각도 업데이트를 수행할 수 있다. 예를 들어, 수학적 식 15와 같이 새로운 입력 값에 대한 수신 신호 크기의 예측값을 산출할 수 있다. 또한, 하이브리드 빔포밍 또는 아날로그 빔포밍 방식에 따라서, 초기 훈련 데이터에 훈련 데이터를 추가하거나 또는 초기 훈련 데이터만에 기초하여, 수학적 식 18과 같은 예측값의 미분 값을 이용하여 최적의 공간 각도를 도출할 수 있다.
- [0129] 단계 S560에서 지상 노드는 최적의 공간 각도를 최종 공간 각도로 추정하고, 최종 공간 각도에 기초하여 수학적 식 21과 같이 공중 노드의 위치를 추정할 수 있다.
- [0130] 이와 같이, 지상 노드는 공중 노드의 비행 센서 데이터를 참고할 수도 있고, 또한 수신 빔포밍 및 신호 수신을 실제로 수행하지 않고도 GPR 기법과 같은 머신 러닝 방식으로 공중 노드에 대한 공간 각도에 대한 최적값을 도출함으로써, 공중 노드의 위치를 동적이면서 지속적으로 추적할 수 있다.
- [0131] 한편, 공중 노드는 단계 S515에서 비행 센서 데이터에 기초하여 송신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다. 예를 들어, 공중 노드는 GPS 값 및 INS 측정값에 기초하여 최적의 송신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.
- [0132] 단계 S525에서 공중 노드는 결정된 송신 빔포밍 벡터에 기초하여 파일럿 신호(또는 동기화 신호 또는 참조 신호)에 대한 프리코딩을 수행하여 지상 노드로 전송할 수 있다.
- [0133] 이와 같이, 공중 노드는 지상 노드로부터의 피드백 없이도 비행 센서 데이터에 기초하여 송신 빔포밍을 수행할 수 있다.
- [0134] 도 6은 본 개시에 따른 지상 노드 장치 및 공중 노드 장치의 구성을 나타내는 도면이다.
- [0135] 지상 노드 장치(600)는 프로세서(610), 안테나부(620), 트랜시버(630), 메모리(640)를 포함할 수 있다.
- [0136] 프로세서(610)는 베이스밴드 관련 신호 처리를 수행하며, 상위계층 처리부(611) 및 물리계층 처리부(615)를 포함할 수 있다. 상위계층 처리부(611)는 MAC 계층, RRC 계층, 또는 그 이상의 상위계층의 동작을 처리할 수 있다. 물리계층 처리부(615)는 PHY 계층의 동작(예를 들어, 하향링크 송신 신호 처리, 상향링크 수신 신호 처리 등)을 처리할 수 있다. 프로세서(610)는 베이스밴드 관련 신호 처리를 수행하는 것 외에도, 지상 노드 장치(600) 전반의 동작을 제어할 수도 있다.
- [0137] 안테나부(620)는 하나 이상의 물리적 안테나를 포함할 수 있고, 복수개의 안테나를 포함하는 경우 MIMO 송수신을 지원할 수 있다. 트랜시버(630)는 RF 송신기와 RF 수신기를 포함할 수 있다. 메모리(640)는 프로세서(610)의 연산 처리된 정보, 지상 노드 장치(600)의 동작에 관련된 소프트웨어, 운영체제, 애플리케이션 등을 저장할 수 있으며, 버퍼 등의 구성요소를 포함할 수도 있다.
- [0138] 지상 노드 장치(600)의 프로세서(610)는 본 발명에서 설명하는 실시예들에서의 지상 노드의 동작을 구현하도록 설정될 수 있다.
- [0139] 예를 들어, 지상 노드 장치(600)의 프로세서(610)의 상위계층 처리부(611)는 비행 센서 데이터 획득부(612) 및 위치 결정부(613)를 포함할 수 있다.
- [0140] 비행 센서 데이터 획득부(612)는 공중 노드 장치(650)에 대한 GPS, INS 등의 비행 센서 데이터를 획득할 수 있다.
- [0141] 위치 결정부(613)는 비행 센서 데이터에 기초하여 공간 각도의 후보들의 집합을 설정할 수 있다. 또한, 위치 결정부(613)는 공간 각도 후보들에 속하지 않은 새로운 또는 업데이트된 공간 각도에 대해서 수신 빔포밍이 적용된 수신 신호 크기의 예측값을 도출할 수 있다. 또한, 위치 결정부(613)는 새로운 공간 각도의 업데이트 및 이에 해당하는 수신 신호 크기 예측값이 도출을 반복하여 최적의 공간 각도를 결정할 수 있다. 또한, 위치 결정부(613)는 최적의 공간 각도에 기초하여 공중 노드의 위치를 결정할 수 있다.
- [0142] 공중 노드 장치(650)는 프로세서(660), 안테나부(670), 트랜시버(680), 메모리(690)를 포함할 수 있다.
- [0143] 프로세서(660)는 베이스밴드 관련 신호 처리를 수행하며, 상위계층 처리부(661) 및 물리계층 처리부(665)를 포함할 수 있다. 상위계층 처리부(661)는 MAC 계층, RRC 계층, 또는 그 이상의 상위계층의 동작을 처리할 수 있다. 물리계층 처리부(665)는 PHY 계층의 동작(예를 들어, 하향링크 수신 신호 처리, 상향링크 송신 신호 처리 등)을 처리할 수 있다. 프로세서(660)는 베이스밴드 관련 신호 처리를 수행하는 것 외에도, 공중 노드 장치

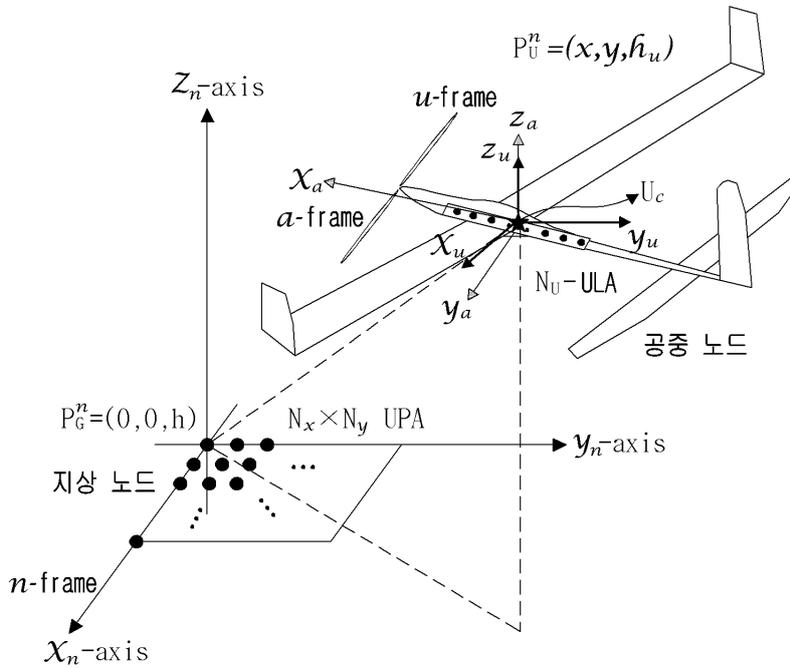
(660) 전반의 동작을 제어할 수도 있다.

- [0144] 안테나부(670)는 하나 이상의 물리적 안테나를 포함할 수 있고, 복수개의 안테나를 포함하는 경우 MIMO 송수신을 지원할 수 있다. 트랜시버(680)는 RF 송신기와 RF 수신기를 포함할 수 있다. 메모리(690)는 프로세서(660)의 연산 처리된 정보, 공중 노드 장치(650)의 동작에 관련된 소프트웨어, 운영체제, 애플리케이션 등을 저장할 수 있으며, 버퍼 등의 구성요소를 포함할 수도 있다.
- [0145] 공중 노드 장치(650)의 프로세서(660)는 본 발명에서 설명하는 실시예들에서의 공중 노드의 동작을 구현하도록 설정될 수 있다.
- [0146] 예를 들어, 공중 노드 장치(650)의 프로세서(660)의 상위계층 처리부(661)는 비행 센서 데이터 획득부(662) 및 송신 빔포밍 결정부(663)를 포함할 수 있다.
- [0147] 비행 센서 데이터 획득부(662)는 GPS, INS 등의 정보를 획득할 수 있다.
- [0148] 송신 빔포밍 결정부(623)는 획득된 비행 센서 데이터에 기초하여 송신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다. 여기서, 송신 빔포밍 벡터/행렬은 지상 노드로부터의 피드백 정보 없이도 결정될 수 있다.
- [0149] 하위계층 처리부(665)는 결정된 송신 빔포밍 벡터에 기초하여 지상 노드로 신호를 전송할 수 있다.
- [0150] 지상 노드 장치(600) 및 공중 노드 장치(650)의 동작에 있어서 본 발명의 예시들에서 지상 노드 및 공중 노드에 대해서 설명한 사항이 동일하게 적용될 수 있으며, 중복되는 설명은 생략한다.
- [0151] 도 7 및 도 8은 본 개시에 따른 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0152] 본 개시의 예시적인 방법(proposed)과 비교되는 방법들은, 섭동 기반 빔포밍(perturbation based beamforming), GPS-단독(GPS-only) 시스템, 코드북 기반 추적(codebook based tracking)을 가정하였다.
- [0153] 섭동 기반 빔포밍은 빔포밍을 통해 빔 공간 채널의 기울기를 추정하지만, 실제로 신호를 수신 받아서 수신 빔포밍을 결정하는 방식이며, 본 개시와 같이 예측값을 기반으로 GPR 방식으로 위치를 추적하는 방식은 적용되지 않은 것으로 가정한다. GPS-단독 시스템은 GPS 센서 값만을 가지고 위치를 추적하는 방식을 가정한다. 코드북 기반 추적은 비행 센서 데이터를 고려하지 않고 통신 신호만을 이용하여 위치를 추적하는 방식을 가정한다.
- [0154] 도 7의 예시는 도 8의 예시에 비하여 GPS, EGI, INS 센서의 정확도를 상대적으로 높게 가정하였다.
- [0155] 도 7의 예시에서는 GPS 단독 알고리즘이 본 개시의 방법을 제외한 나머지 통신 기반 알고리즘보다 성능이 우수함을 확인하였다. 시간 단위 간격은 T_p 로, GPS 단독 알고리즘은 5 T_p 마다 측정값을 얻는 것으로 가정하였다.
- [0156] 본 개시의 방법은 GPS 측정 값을 기반으로 GPR을 사용하여 채널 파라미터를 추정하고, T_p 마다 추정하기 때문에 GPS 단독 알고리즘과 통신 신호 단독 알고리즘들보다 성능이 높은 것을 확인하였다.
- [0157] 도 8의 예시는 도 7의 예시에 비하여 GPS, EGI, INS 센서의 정확도를 상대적으로 낮게 가정하였으므로, 섭동 기반 빔포밍 및 본 개시의 방법이 GPS 단독 알고리즘보다 성능이 우수한 것을 확인하였다.
- [0158] 본 개시의 예시적인 방법들은 설명의 명확성을 위해서 동작의 시리즈로 표현되어 있지만, 이는 단계가 수행되는 순서를 제한하기 위한 것은 아니며, 필요한 경우에는 각각의 단계가 동시에 또는 상이한 순서로 수행될 수도 있다. 본 개시에 따른 방법을 구현하기 위해서, 예시하는 단계에 추가적으로 다른 단계를 포함하거나, 일부의 단계를 제외하고 나머지 단계를 포함하거나, 또는 일부의 단계를 제외하고 추가적인 다른 단계를 포함할 수도 있다.
- [0159] 본 개시의 다양한 실시예는 모든 가능한 조합을 나열한 것이 아니고 본 개시의 대표적인 양상을 설명하기 위한 것이며, 다양한 실시예에서 설명하는 사항들은 독립적으로 적용되거나 또는 둘 이상의 조합으로 적용될 수도 있다.
- [0160] 또한, 본 개시의 다양한 실시예는 하드웨어, 펌웨어(firmware), 소프트웨어, 또는 그들의 결합 등에 의해 구현될 수 있다. 하드웨어에 의한 구현의 경우, 하나 또는 그 이상의 ASICs(Application Specific Integrated Circuits), DSPs(Digital Signal Processors), DSPDs(Digital Signal Processing Devices), PLDs(Programmable Logic Devices), FPGAs(Field Programmable Gate Arrays), 범용 프로세서(general processor), 컨트롤러, 마이크로 컨트롤러, 마이크로 프로세서 등에 의해 구현될 수 있다.
- [0161] 본 개시의 범위는 다양한 실시예의 방법에 따른 동작이 장치 또는 컴퓨터 상에서 실행되도록 하는 소프트웨어

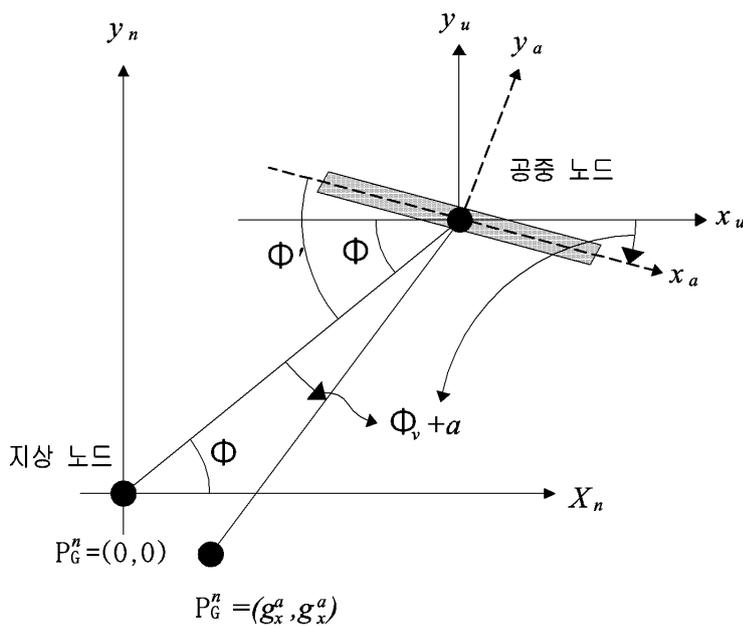
또는 머신-실행가능한 명령들(예를 들어, 운영체제, 애플리케이션, 펌웨어(firmware), 프로그램 등), 및 이러한 소프트웨어 또는 명령 등이 저장되어 장치 또는 컴퓨터 상에서 실행 가능한 비-일시적 컴퓨터-판독가능 매체(non-transitory computer-readable medium)를 포함한다.

도면

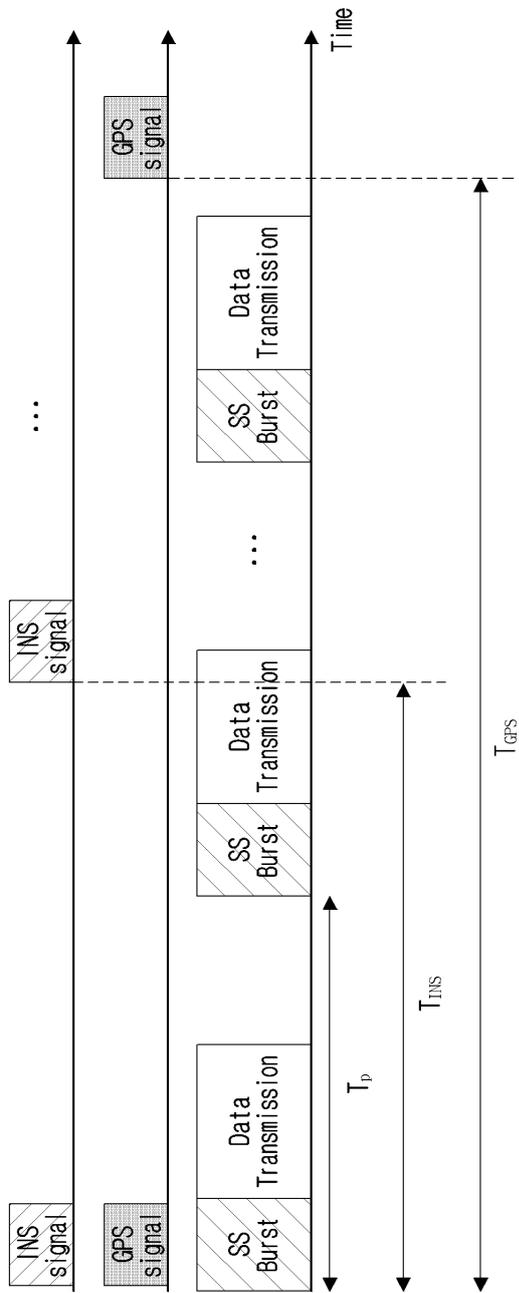
도면1



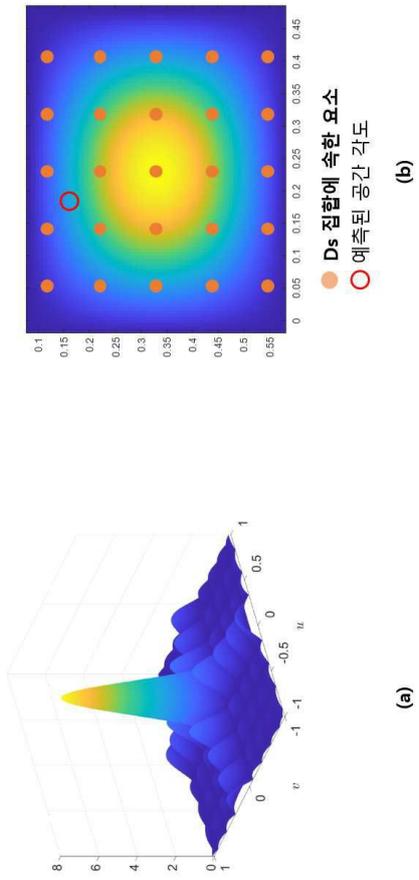
도면2



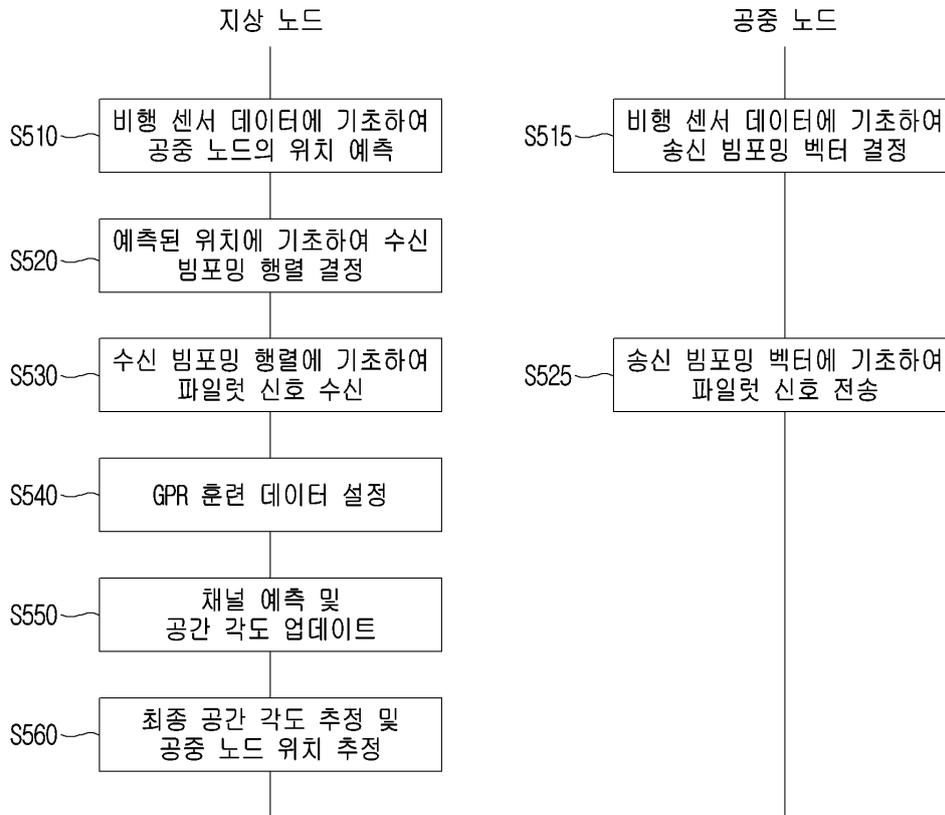
도면3



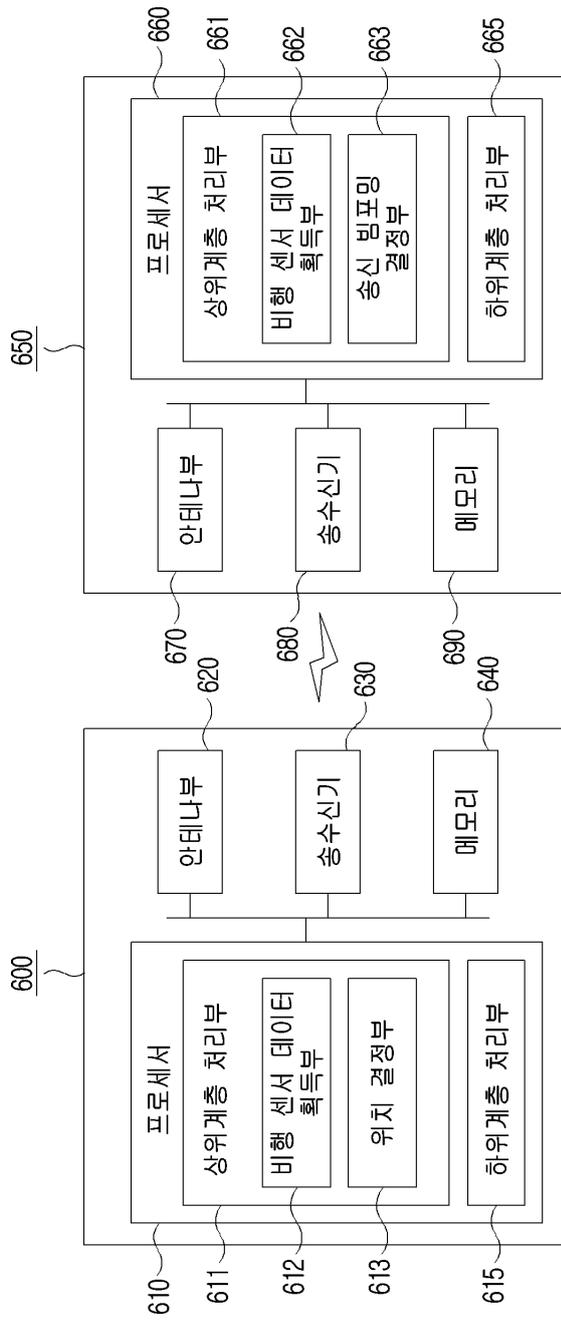
도면4



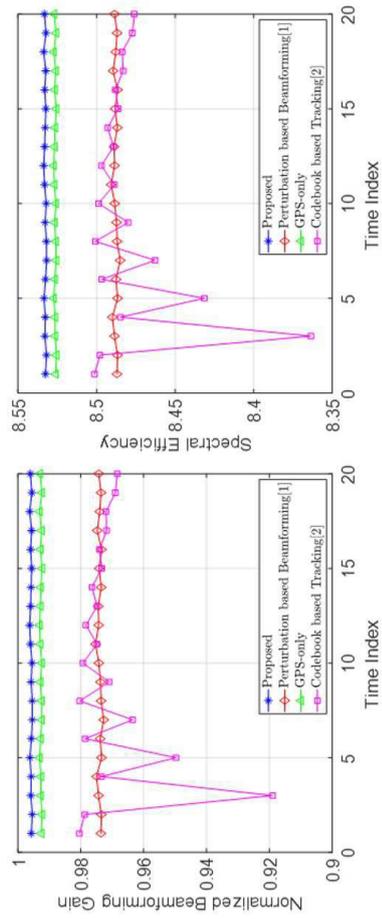
도면5



도면6

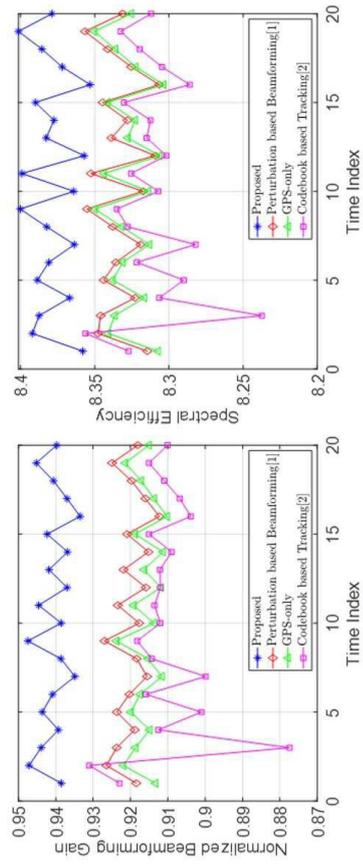


도면7



GPS 센서 측정 값의 표준 편차	$\sigma_c = 2$ [m]
EGI 센서의 위치 측정 값의 표준 편차	$\sigma_{c,ins} = 1$ [m]
INS 센서의 자세 측정 값의 표준 편차	$\sigma_l = 0.01^\circ$

도면8



GPS 센서 측정값의 표준 편차	$\sigma_c = 5$ [m]
EGI 센서의 위치 측정값의 표준 편차	$\sigma_{c,ins} = 5$ [m]
INS 센서의 자세 측정값의 표준 편차	$\sigma_l = 0.05^\circ$