



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년01월23일
(11) 등록번호 10-2627925
(24) 등록일자 2024년01월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01S 13/90 (2006.01) B64C 39/02 (2023.01)
B64D 47/00 (2006.01) G01S 13/00 (2006.01)
G01S 7/282 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01S 13/9058 (2019.05)
B64C 39/024 (2023.01)

(21) 출원번호 10-2021-0178698

(22) 출원일자 2021년12월14일

심사청구일자 2021년12월14일

(65) 공개번호 10-2023-0089921

(43) 공개일자 2023년06월21일

(56) 선행기술조사문헌

JP11125674 A*

(뒷면에 계속)

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

국방과학연구소

대전광역시 유성구 북유성대로488번길 160 (수남동)

(72) 발명자

가민호

서울특별시 서대문구 연세로 50(신촌동)

김정배

서울특별시 서대문구 연세로 50(신촌동)

김수민

서울특별시 서대문구 연세로 50(신촌동)

(74) 대리인

리엔목특허법인

전체 청구항 수 : 총 9 항

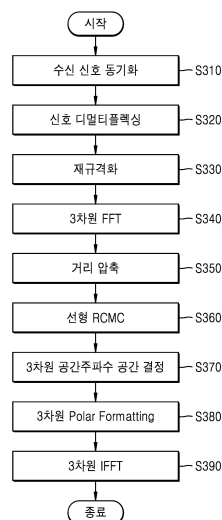
심사관 : 노영철

(54) 발명의 명칭 멀티스태틱 합성개구레이다 시스템 및 이를 이용하여 3차원 합성개구레이다 영상을 생성하는 방법

(57) 요약

본 발명에 따른 멀티스태틱 합성개구레이다 시스템은 레이다 관측신호를 송신하는 송신기를 포함하고, 서로 높이 방향으로 미리 설정된 제1 기선 간격(Ht)을 유지하는 복수의 송신 전담 무인기, 및 레이다 반사신호를 수신하는 수신기를 포함하고, 서로 높이 방향으로 미리 설정된 제2 기선 간격(Hr)을 유지하는 복수의 수신 전담 무인기를 포함한다. 상기 복수의 수신 전담 무인기 각각은 직접 채널을 통해서 상기 복수의 송신 전담 무인기 각각으로부터 상기 레이다 관측신호를 수신하여 레이다 펄스 데이터를 생성하고, 수신 채널을 통해 상기 레이다 관측신호가 관심 영역에서 반사된 상기 레이다 반사신호를 수신하여 레이다 반사신호 데이터를 생성하도록 구성된다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

B64D 47/00 (2013.01)

G01S 13/003 (2013.01)

G01S 7/282 (2013.01)

B64U 2101/30 (2023.01)

B64U 2201/10 (2023.01)

(56) 선행기술조사문헌

KR102156253 B1*

KR102211580 B1

KR101925490 B1

KR102327134 B1

KR102327134 B1

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

레이다 관측신호를 송신하는 송신기를 포함하고, 서로 높이 방향으로 미리 설정된 제1 기선 간격(H_t)을 유지하는 복수의 송신 전담 무인기; 및

레이다 반사신호를 수신하는 수신기를 포함하고, 서로 높이 방향으로 미리 설정된 제2 기선 간격(H_r)을 유지하는 복수의 수신 전담 무인기를 포함하고,

상기 복수의 수신 전담 무인기 각각은 직접 채널을 통해서 상기 복수의 송신 전담 무인기 각각으로부터 상기 레이다 관측신호를 수신하여 레이다 펄스 데이터를 생성하고, 수신 채널을 통해 상기 레이다 관측신호가 관심 영역에서 반사된 상기 레이다 반사신호를 수신하여 레이다 반사신호 데이터를 생성하도록 구성되고,

상기 복수의 송신 전담 무인기 각각과 상기 복수의 수신 전담 무인기 각각 사이의 중심에 위치하는 복수의 가상 위상 중심들(VPC)은 높이 방향으로 미리 설정된 VPC 간격(H_v)으로 균일하게 이격하여 배치되는 멀티스테틱 합성개구레이다 시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 복수의 송신 전담 무인기 각각은 위치 및 자세 정보를 획득하고, 상기 위치 및 자세 정보에 기초하여 상기 제1 기선 간격을 유지하도록 항행 및 자세를 실시간으로 제어하고, 상기 위치 정보를 신호처리기에 제공하도록 구성되고,

상기 복수의 수신 전담 무인기 각각은 위치 및 자세 정보를 획득하고, 상기 위치 및 자세 정보에 기초하여 상기 제2 기선 간격을 유지하도록 항행 및 자세를 실시간으로 제어하고, 상기 레이다 펄스 데이터와 상기 레이다 반사신호 데이터, 및 상기 위치 정보를 상기 신호처리기에 제공하도록 구성되는 멀티스테틱 합성개구레이다 시스템.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 복수의 송신 전담 무인기는 미리 설정된 멀티플렉싱 방식에 따라 동일 시점에 다른 주파수 대역으로 상기 레이다 관측신호를 각각 송신하는 멀티스테틱 합성개구레이다 시스템.

청구항 4

삭제

청구항 5

컴퓨팅 장치에 의해 수행되는 방법으로서,

관심 영역의 관측 기간 동안 복수의 송신 전담 무인기로부터 각각 송신된 레이다 관측신호가 상기 관심 영역에서 반사된 레이다 반사신호를 각각 수신하는 복수의 수신 전담 무인기로부터 레이다 펄스 데이터, 및 레이다 반사신호 데이터를 각각 제공받는 단계;

복수의 레이다 펄스 데이터를 기초로 복수의 레이다 반사신호 데이터를 동기화하여 복수의 동기화된 레이다 반사신호 데이터를 생성하는 단계;

상기 복수의 동기화된 레이다 반사신호 데이터를 디멀티플렉싱하여 복수의 2차원 SAR 원시데이터를 생성하는 단계;

상기 복수의 2차원 SAR 원시데이터를 재규격화하여 3차원 SAR 원시데이터를 생성하는 단계;

상기 3차원 SAR 원시데이터에 대하여 3차원 고속푸리에변환 연산을 수행하여 3차원 주파수 원시데이터를 생성하는 단계;

상기 3차원 주파수 원시데이터를 거리 방향으로 압축하고 선형 RCMC(Range Cell Migration Correction)를 수행하여 3차원 주파수 보정데이터를 생성하는 단계;

상기 복수의 송신 전담 무인기와 상기 복수의 수신 전담 무인기의 상기 관심 영역에 대한 관측 기하를 기초로 3차원 공간주파수 공간을 결정하는 단계;

상기 3차원 주파수 보정데이터를 상기 3차원 공간주파수 공간으로 보간하여 3차원 주파수 보간데이터를 생성하는 단계; 및

상기 3차원 주파수 보간데이터에 대하여 3차원 역고속푸리에변환 연산을 수행하여 3차원 SAR 영상을 생성하는 단계를 포함하는 3차원 합성개구레이다 영상을 생성하는 방법.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 복수의 송신 전담 무인기로부터 상기 관측 기간 동안의 제1 위치 정보를 각각 제공받는 단계; 및

상기 복수의 수신 전담 무인기로부터 상기 관측 기간 동안의 제2 위치 정보를 각각 제공받는 단계를 더 포함하고,

상기 3차원 공간주파수 공간은 상기 복수의 송신 전담 무인기 각각의 상기 제1 위치 정보, 상기 복수의 수신 전담 무인기 각각의 상기 제2 위치 정보, 및 상기 관심 영역의 기준점을 기초로 결정되는 3차원 합성개구레이다 영상을 생성하는 방법.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 관심 영역에서 반사된 상기 레이더 반사신호를 나타내는 평면파 벡터의 크기($K_r(l)$)를 $k_r(l) = (2\pi/c) \times (f(t, l) + f_c)$ 에 따라 결정하는 단계를 더 포함하고,

여기서, c 는 광속이고, f 는 레이더 펄스가 점유하는 시간 주파수이고, f_c 는 레이더 파형의 중심 주파수이고, t 는 레이더 펄스의 비행 시간(flight time)이 형성하는 패스트 타임(fast time)이고, l 은 채널 번호인 3차원 합성개구레이다 영상을 생성하는 방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 3차원 공간주파수 공간은 상기 평면파 벡터의 크기($K_r(l)$), 상기 복수의 송신 전담 무인기 각각의 상기 제1 위치 정보, 상기 복수의 수신 전담 무인기 각각의 상기 제2 위치 정보, 및 상기 관심 영역의 기준점에 기초하여 결정되는 3차원 합성개구레이다 영상을 생성하는 방법.

청구항 9

청구항 6에 있어서,

상기 복수의 송신 전담 무인기 각각은 상기 관측 기간 동안 상기 제1 위치 정보에 기초하여 서로 높이 방향으로 미리 설정된 제1 기선 간격(H_t)을 유지하도록 항행 및 자세를 실시간으로 제어하고,

상기 복수의 수신 전담 무인기 각각은 상기 관측 기간 동안 상기 제2 위치 정보에 기초하여 서로 높이 방향으로 미리 설정된 제2 기선 간격(H_r)을 유지하도록 항행 및 자세를 실시간으로 제어하는 3차원 합성개구레이다 영상을 생성하는 방법.

청구항 10

컴퓨팅 장치를 이용하여 제5항 내지 제9항 중 어느 한 항의 3차원 합성개구레이다 영상을 생성하는 방법을 실행

시키기 위하여 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 단일 패스의 기동으로 3차원 SAR 영상을 획득하기 위한 무인기 플랫폼 기반 멀티스태틱 합성개구레이다 시스템, 및 이를 이용하여 3차원 SAR 영상을 생성하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 합성개구레이다(Synthetic Aperture Radar, SAR)는 이동하는 플랫폼에 탑재된 레이더 센서로부터 취득된 전자기와 신호를 바탕으로 다목적의 고해상도 전파 영상, 특히 SAR 영상을 형성하는 기술이다. 표적의 외견에 따른 분류, 탐지, 사진측량술(Telegrammetry) 정도의 제한적인 응용처를 가지는 광학 영상 센서와는 다르게, SAR는 특정한 편파의 코히어런트(Coherent) 레이더 신호를 송수신하여 영상을 형성하므로, 수집된 데이터에는 표적의 물성과 신호의 위상에 대한 정보가 포함된다. 따라서 SAR의 잠재적인 활용처는 무궁무진하며, 현재에도 새로운 응용 기법들이 개발되고 있다.
- [0003] SAR의 다양한 응용 분야에서 가장 중점적으로 연구되고 있는 기술 중 하나는 관심 지역의 3차원 표적 정보를 획득하는 기술이다. 이 기술은 정확한 지형 지도의 작성이나 지진/화산 등과 같은 자연재해의 예보 및 이로 인한 피해 추산 등과 같이, 과거에는 막대한 인력과 자산을 요구하던 측량 임무를 3차원 영상을 통해 훨씬 효율적으로 수행할 수 있게 한다는 막대한 이점을 갖는다.
- [0004] SAR 영상으로부터 표적 환경에 대한 3차원 위치 및 지형 정보를 획득하는 방법으로서 대표적으로 합성개구레이다 간섭(Interferometric SAR, InSAR) 기법과 합성개구레이다 단층영상(Tomographic SAR, TomoSAR) 기법의 두 가지 기술이 주로 사용된다.
- [0005] InSAR 기법은 광학 영상의 사진측량술과 유사한 아날로지를 갖는다. InSAR 기법에서는 서로 다른 관측 기하에서 획득된 2장의 잘 정렬된 복소싱글룩(Single-Look Complex, SLC) SAR 영상으로부터 영상의 위상 정보만을 추출하고, 두 영상을 복소곱하여 인터페로그램(Interferogram)을 형성한다. 지표면 위상 성분(Flat Earth Component) 등 산란체의 변위 정보와 무관한 불요 위상 성분을 적절한 보상 절차를 통해 제거하면, 인터페로그램 상에는 산란체 사이의 상대적인 시선 거리(Line of Sight, LoS) 차에만 의존하는 위상 성분이 남아 공간상 변위를 추정할 수 있다.
- [0006] InSAR 기법은 전 지구적 수치표고모델(Digital Elevation Model, DEM) 데이터베이스의 구축의 성공 등과 같은 기술적 성취가 뛰어나지만 동시에 한계도 명확하다. InSAR 기법에서는 상대적인 위상 차를 통해 SAR 영상이 획득된 표면의 고저차만을 알 수 있고, 산란체의 직접적인 3차원 응답은 구할 수 없기 때문에, 체적 산란 특성 등에 관한 정보의 추출이 불가능하며, 정확한 높이의 추산에 있어서 관측영역에 대한 일정 수준의 사전적인 정보가 필요하다.
- [0007] TomoSAR 기법은 InSAR 기법에서 한층 발전한 3차원 표적 정보 획득 기법으로서, 다양한 기선을 가지는 간섭계 쌍으로부터 반복적으로 획득한 위상 정보에 기반하여 SLC 진폭 영상 위의 특정 픽셀에 해당하는 단위 산란체의 3차원 변위를 통계적 추정을 통해 결정한다. TomoSAR 기법의 적용은 SAR 영상에 기반하여 3차원의 산란체 분포를 정확하게 생성하는 것을 가능케 하여, 도시 환경에서 획득된 영상으로부터 특정 건축물의 3차원 모델을 추출하거나, 삼림의 차양 높이(Canopy Level) 정보를 획득하는 등과 같은, InSAR에서는 불가능했던 훨씬 진보한 종류의 임무를 수행하는 것이 가능하다.
- [0008] 그러나 TomoSAR 기법 역시 InSAR와 마찬가지로 영상형성 단계 이후의 복잡한 후처리 과정을 통해 3차원 매핑을 형성한다는 구조적인 특성을 그대로 간직하는 한편, 표적의 높이 정보를 추출하는 통계적 추정 프로세스의 복잡성이 매우 심각하다.
- [0009] 따라서, 종래의 3차원 표적 정보 획득 기술은 직접 3차원 영상을 생성하지 않기 때문에 그 절차가 필요 이상으로 복잡하며 기술적 요구 수준 또한 극심하게 높고, 산란체가 실제로 보이는 3차원의 레이더 응답을 온전히 묘사하는 것이 불가능하다는 단점을 갖는다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 산란체로부터 획득된 레이더 응답을 3차원 공간 상에 국소화하여 영상 생성 단계에서 직접적으로 표적 환경의 3차원 프로파일을 형성할 수 있는 멀티스테틱 SAR 시스템 및 이를 이용하여 3차원 SAR 영상을 생성하는 방법을 제공하는 것이다.
- [0011] 본 발명은 종래의 방법과 근본적으로 다른 원리의 간단한 전파영상 기반 3차원 표적 정보 획득 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

- [0012] 상술한 기술적 과제들을 달성하기 위한 기술적 수단으로서, 본 발명의 일 측면에 따른 멀티스테틱 합성개구레이더 시스템은 레이더 관측신호를 송신하는 송신기를 포함하고, 서로 높이 방향으로 미리 설정된 제1 기선 간격(Ht)을 유지하는 복수의 송신 전담 무인기, 및 레이더 반사신호를 수신하는 수신기를 포함하고, 서로 높이 방향으로 미리 설정된 제2 기선 간격(Hr)을 유지하는 복수의 수신 전담 무인기를 포함한다. 상기 복수의 수신 전담 무인기 각각은 직접 채널을 통해서 상기 복수의 송신 전담 무인기 각각으로부터 상기 레이더 관측신호를 수신하여 레이더 펄스 데이터를 생성하고, 수신 채널을 통해 상기 레이더 관측신호가 관심 영역에서 반사된 상기 레이더 반사신호를 수신하여 레이더 반사신호 데이터를 생성하도록 구성된다.
- [0013] 일 예에 따르면, 상기 복수의 송신 전담 무인기 각각은 위치 및 자세 정보를 획득하고, 상기 위치 및 자세 정보에 기초하여 상기 제1 기선 간격을 유지하도록 항행 및 자세를 실시간으로 제어하고, 상기 위치 정보를 신호처리기에 제공하도록 구성될 수 있다. 상기 복수의 수신 전담 무인기 각각은 위치 및 자세 정보를 획득하고, 상기 위치 및 자세 정보에 기초하여 상기 제2 기선 간격을 유지하도록 항행 및 자세를 실시간으로 제어하고, 상기 레이더 펄스 데이터와 상기 레이더 반사신호 데이터, 및 상기 위치 정보를 상기 신호처리기에 제공하도록 구성될 수 있다.
- [0014] 다른 예에 따르면, 상기 복수의 송신 전담 무인기는 미리 설정된 멀티플렉싱 방식에 따라 동일 시점에 다른 주파수 대역으로 상기 레이더 관측신호를 각각 송신할 수 있다.
- [0015] 또 다른 예에 따르면, 상기 복수의 송신 전담 무인기 각각과 상기 복수의 수신 전담 무인기 각각 사이의 중심에 위치하는 복수의 가상 위상 중심들(VPC)은 높이 방향으로 미리 설정된 VPC 간격(Hv)으로 균일하게 이격하여 배치될 수 있다.
- [0016] 본 발명의 일 측면에 따른 3차원 합성개구레이더 영상을 생성하는 방법은 컴퓨팅 장치에 의해 수행되며, 관심 영역의 관측 기간 동안 복수의 송신 전담 무인기로부터 각각 송신된 레이더 관측신호가 상기 관심 영역에서 반사된 레이더 반사신호를 각각 수신하는 복수의 수신 전담 무인기로부터 레이더 펄스 데이터, 및 레이더 반사신호 데이터를 각각 제공받는 단계, 복수의 레이더 펄스 데이터를 기초로 복수의 레이더 반사신호 데이터를 동기화하여 복수의 동기화된 레이더 반사신호 데이터를 생성하는 단계, 상기 복수의 동기화된 레이더 반사신호 데이터를 디멀티플렉싱하여 복수의 2차원 SAR 원시데이터를 생성하는 단계, 상기 복수의 2차원 SAR 원시데이터를 재규격화하여 3차원 SAR 원시데이터를 생성하는 단계, 상기 3차원 SAR 원시데이터에 대하여 3차원 고속푸리에변환 연산을 수행하여 3차원 주파수 원시데이터를 생성하는 단계, 상기 3차원 주파수 원시데이터를 거리 방향으로 압축하고 선형 RCMC(Range Cell Migration Correction)를 수행하여 3차원 주파수 보정데이터를 생성하는 단계, 상기 복수의 송신 전담 무인기와 상기 복수의 수신 전담 무인기의 상기 관심 영역에 대한 관측 기하를 기초로 3차원 공간주파수 공간을 결정하는 단계, 상기 3차원 주파수 보정데이터를 상기 3차원 공간주파수 공간으로 보간하여 3차원 주파수 보간데이터를 생성하는 단계, 및 상기 3차원 주파수 보간데이터에 대하여 3차원 역고속푸리에변환 연산을 수행하여 3차원 SAR 영상을 생성하는 단계를 포함한다.
- [0017] 일 예에 따르면, 상기 방법은 상기 복수의 송신 전담 무인기로부터 상기 관측 기간 동안의 제1 위치 정보를 각각 제공받는 단계, 및 상기 복수의 수신 전담 무인기로부터 상기 관측 기간 동안의 제2 위치 정보를 각각 제공받는 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 3차원 공간주파수 공간은 상기 복수의 송신 전담 무인기 각각의 상기 제1 위치 정보, 상기 복수의 수신 전담 무인기 각각의 상기 제2 위치 정보, 및 상기 관심 영역의 기준점을 기초로 결정될 수 있다.
- [0018] 다른 예에 따르면, 상기 방법은 상기 관심 영역에서 반사된 상기 레이더 반사신호를 나타내는 평면파 벡터의 크기($K_r(1)$)를 $k_r(1) = (2\pi/c) \times (f(t, 1) + f_c)$ 에 따라 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다. 여기서, c 는 광속

이고, f 는 레이더 펄스가 점유하는 시간 주파수이고, f_c 는 레이더 파형의 중심 주파수이고, t 는 레이더 펄스의 비행 시간(flight time)이 형성하는 패스트 타임(fast time)이고, l 은 채널 번호이다.

[0019] 또 다른 예에 따르면, 상기 3차원 공간주파수 공간은 상기 평면파 벡터의 크기($K_r(l)$), 상기 복수의 송신 전담 무인기 각각의 상기 제1 위치 정보, 상기 복수의 수신 전담 무인기 각각의 상기 제2 위치 정보, 및 상기 관심 영역의 기준점에 기초하여 결정될 수 있다.

[0020] 일 예에 따르면, 상기 복수의 송신 전담 무인기 각각은 상기 관측 기간 동안 상기 제1 위치 정보에 기초하여 서로 높이 방향으로 미리 설정된 제1 기선 간격(H_t)을 유지하도록 항행 및 자세를 실시간으로 제어할 수 있다. 상기 복수의 수신 전담 무인기 각각은 상기 관측 기간 동안 상기 제2 위치 정보에 기초하여 서로 높이 방향으로 미리 설정된 제2 기선 간격(H_r)을 유지하도록 항행 및 자세를 실시간으로 제어할 수 있다.

[0021] 본 발명은 일 측면에 따른 컴퓨터 프로그램은 컴퓨팅 장치를 이용하여 3차원 합성개구레이더 영상을 생성하는 방법을 실행시키기 위하여 매체에 저장된다.

발명의 효과

[0022] 본 발명에 따르면, 후처리 프로세싱 없이 무인기 플랫폼 기반의 멀티스테틱 SAR 시스템을 이용하여 영상 생성 절차에서 직접 3차원 영상을 생성할 수 있다. 종래의 방법과 비교하여 훨씬 간단한 절차로 표적의 정확한 3차원 레이더 응답을 묘사하는 3차원 SAR 영상을 생성할 수 있으며, 실제적인 구현에 필요한 난이도를 크게 낮출 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1a는 본 발명에 따른 멀티스테틱 SAR 시스템의 예시적인 구성도를 도시한다.

도 1b는 본 발명에 따른 멀티스테틱 SAR 시스템의 단위 편대의 예시적인 구성도를 도시한다.

도 2a 및 2b는 본 발명의 멀티스테틱 SAR 시스템을 이용한 관측 프로세스를 설명하기 위한 순서도로서, 도 2a는 송신 전담 무인기들의 관측 프로세스의 순서도이고, 도 2b는 수신 전담 무인기들의 관측 프로세스의 순서도이다.

도 3은 본 발명의 멀티스테틱 SAR 시스템을 이용하여 획득된 레이더 반사신호 데이터를 기초로 3차원 SAR 영상을 생성하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명에 따라서 직교 스펙트럼 공간의 3차원 주파수 보정데이터는 연산 커널을 통해 3차원 공간주파수 공간으로 보간하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 5a 내지 도 5c는 본 발명에 따른 멀티스테틱 SAR 시스템의 무인기 편대 구성을 이용하여 3차원 SAR 영상을 생성하는 원리를 설명하기 위한 도면이다.

도 6a 내지 도 6e는 본 발명에 따른 멀티스테틱 SAR 시스템의 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 개시가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 다양한 실시예들을 상세히 설명한다. 그러나 본 개시의 기술적 사상은 다양한 형태로 변형되어 구현될 수 있으므로 본 명세서에서 설명하는 실시예들로 제한되지 않는다. 본 명세서에 개시된 실시예들을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술을 구체적으로 설명하는 것이 본 개시의 기술적 사상의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 공지 기술에 대한 구체적인 설명을 생략한다. 동일하거나 유사한 구성요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.

[0025] 본 명세서에서 어떤 요소가 다른 요소와 "연결"되어 있다고 기술될 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우 뿐만 아니라 그 중간에 다른 요소를 사이에 두고 "간접적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 어떤 요소가 다른 요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 요소 외에 또 다른 요소를 배제하는 것이 아니라 또 다른 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0026] 일부 실시예들은 기능적인 블록 구성들 및 다양한 처리 단계들로 설명될 수 있다. 이러한 기능 블록들의 일부 또는 전부는 특정 기능을 실행하는 다양한 개수의 하드웨어 및/또는 소프트웨어 구성들로 구현될 수 있다. 예

를 들어, 본 개시의 기능 블록들은 하나 이상의 마이크로프로세서들에 의해 구현되거나, 소정의 기능을 위한 회로 구성들에 의해 구현될 수 있다. 본 개시의 기능 블록들은 다양한 프로그래밍 또는 스크립팅 언어로 구현될 수 있다. 본 개시의 기능 블록들은 하나 이상의 프로세서들에서 실행되는 알고리즘으로 구현될 수 있다. 본 개시의 기능 블록이 수행하는 기능은 복수의 기능 블록에 의해 수행되거나, 본 개시에서 복수의 기능 블록이 수행하는 기능들은 하나의 기능 블록에 의해 수행될 수도 있다. 또한, 본 개시는 전자적인 환경 설정, 신호 처리, 및/또는 데이터 처리 등을 위하여 종래 기술을 채용할 수 있다.

[0027] 본 발명은 무인기 플랫폼에 탑재되는 거대 다중입출력(Massive MIMO) 설계 기반 멀티스태틱 SAR 시스템에 관한 것이다. 본 발명의 주된 특징들은 특수한 멀티스태틱 편대를 구성하고 3차원 레이더 영상을 생성하는 절차에 있으므로, 발명의 구성을 설명하는 데에 있어 하드웨어 설계 등과 같은 일정 수준 이하의 요소와 관련한 설명은 생략한다.

[0029] 도 1a는 본 발명에 따른 멀티스태틱 SAR 시스템의 예시적인 구성도를 도시한다.

[0030] 도 1a를 참조하면, 멀티스태틱 SAR 시스템(100)은 단위 편대(130)를 구성하는 복수의 SAR 원격탐사 무인기들(110, 120)을 포함한다. 단위 편대(130)는 송신 기능을 보유한 복수의 송신 전담 무인기(110)와 수신 기능을 보유한 복수의 수신 전담 무인기(120)를 포함한다. 일 예에 따르면, 송신 전담 무인기(110)는 송신 기능만을 보유하고, 수신 전담 무인기(120)는 수신 기능만을 보유할 수 있다. 도 1에서는 단위 편대(130)가 2대의 송신 전담 무인기(110)와 3대의 수신 전담 무인기(120)로 구성되는 것으로 도시되어 있지만, 이는 오로지 예시적이다. 송신 전담 무인기(110)는 레이더 신호를 송신하는 송신기를 포함하고, 수신 전담 무인기(120)는 레이더 신호를 수신하는 수신기를 포함한다. 송신 전담 무인기(110)로부터 송신되는 레이더 신호는 레이더 관측신호로 지칭하고, 수신 전담 무인기(120)에서 수신되는 레이더 신호는 레이더 반사신호로 지칭한다. 레이더 반사신호는 송신 전담 무인기(110)로부터 송신된 레이더 펄스, 즉, 레이더 관측신호가 관심 영역 내의 표적에서 반사된 신호이다.

[0031] 복수의 송신 전담 무인기(110)와 복수의 수신 전담 무인기(120)는 3차원 영상화가 이루어질 관심 영역의 기준점(10)과 대비하여 높이 방향으로 반복 배치되어 하나의 단위 편대(130)를 형성할 수 있다. 단위 편대(130)를 구성하는 송신 전담 무인기들(110)과 수신 전담 무인기들(120)은 하나의 군집을 이루며, 군집 이동을 할 수 있다. 예를 들면, 송신 전담 무인기들(110)과 수신 전담 무인기들(120)은 본 발명에 따른 특정 배치를 유지하면서 평행하게 이동할 수 있다.

[0032] 다른 실시예에 따르면, 멀티스태틱 SAR 시스템(100)은 복수의 단위 편대(130)를 포함할 수 있다. 각각의 단위 편대(130)를 구성하는 송신 전담 무인기들과 수신 전담 무인기들은 높이 방향으로 반복 배치되고 서로 군집 이동할 수 있다.

[0033] 도 1b는 본 발명에 따른 멀티스태틱 SAR 시스템의 단위 편대의 예시적인 구성도를 도시한다.

[0034] 도 1b를 참조하면, 일 예에 따라서, 2대의 송신 전담 무인기(110)와 4대의 수신 전담 무인기(120)로 구성되는 단위 편대(130)가 도시된다.

[0035] 2대의 송신 전담 무인기(110)는 높이 방향(z)으로 배치되고, 높이 방향(z)의 제1 기선 간격(Ht)을 유지할 수 있다. 4대의 수신 전담 무인기(120)는 높이 방향(z)으로 배치되고, 서로 높이 방향(z)의 제2 기선 간격(Hr)을 유지할 수 있다. 단위 편대(130)가 x 방향으로 이동하더라도, 2대의 송신 전담 무인기(110) 사이의 제1 기선 간격(Ht)은 관측 기간 동안 계속 유지되고, 4대의 수신 전담 무인기(120) 사이의 제2 기선 간격(Hr) 역시 관측 기간 동안 계속 유지될 수 있다.

[0036] 단위 편대(130)는 그 자체로 하나의 완전 활성(Fully Active) 멀티스태틱 SAR 시스템이다. 단위 편대(130) 내에 예컨대 M개의 송신 전담 무인기(110)와 N개의 수신 전담 무인기(120)가 존재할 경우, (M×N)개의 가상 위상 중심(Virtual Phase Center, VPC)(140)이 형성된다. 도 1b에 도시된 바와 같이, 단위 편대(130)는 2개의 송신 전담 무인기(110)와 4개의 수신 전담 무인기(120)로 구성되므로, 2개의 송신 전담 무인기(110) 각각과 4개의 수신 전담 무인기(120) 각각의 중심에 8개의 VPC(140)가 형성된다.

[0037] VPC(140)는 단위 편대(130)를 구성하는 단위 바이스태틱 채널의 관측 기하 특징을 특정할 수 있는 주요한 척도로서, VPC들(140) 사이의 VPC 간격(Hv)은 3차원 영상의 해상도와 영상화 가능 범위를 설정하는 설계 파라미터로 기능한다. 따라서 요구되는 조건에 부합하는 3차원 영상 생성 능력의 확보를 위해 적절한 VPC 간격(Hv)이 구현될 수 있다. VPC들(140) 각각의 위치는 송신 전담 무인기들(110) 각각의 위치와 수신 전담 무인기들(120) 각각의 위치의 산술 평균에 의해 결정된다. 따라서, 송신 전담 무인기들(110) 간의 제1 기선 간격(Ht)과 수신 전담

무인기들(120) 간의 제2 기선 간격(Hr)을 기초로 VPC 간격(Hv)을 결정 또는 설계할 수 있다.

- [0038] 멀티스테틱 SAR 시스템을 이용하여 3차원 영상을 생성하기 위하여, 각각의 VPC(140) 역시 균일 간격의 격자 형태로 배치될 수 있다. 이러한 조건을 만족하도록 송신 전담 무인기들(110)과 수신 전담 무인기들(120)은 개구면진행방향(Dr)으로 안전거리(W)만큼 이격될 수 있다. 안전거리(W)에 의해 송신 전담 무인기들(110)과 수신 전담 무인기들(120)은 서로 충돌하지 않을 수 있다.
- [0040] 도 2a 및 2b는 본 발명의 멀티스테틱 SAR 시스템을 이용한 관측 프로세스를 설명하기 위한 순서도로서, 도 2a는 송신 전담 무인기들의 관측 프로세스의 순서도이고, 도 2b는 수신 전담 무인기들의 관측 프로세스의 순서도이다.
- [0041] 멀티스테틱 SAR 시스템(100)이 단위 편대(130)를 구성하여 3차원 영상을 생성하기 위해서는 개구면시간 동안, 또는 적어도 관측 기간 동안, VPC(140) 사이의 VPC 간격(Hv)이 균일하게 유지되어야 한다. 이는 멀티스테틱 SAR 시스템(100)이 관측 계획에 따라 단위 편대(130)를 유지할 수 있는지와 직접 관련된다.
- [0042] 단위 편대(130)를 유지하기 위하여, 송신 전담 무인기들(110)은 예컨대 실시간 측위(Real-Time Kinematics, RTK), 관성 센서, 자기장 센서 등을 이용하여 위치 및 자세 정보를 획득한다(S301). 송신 전담 무인기들(110)은 단계(S301)에서 수집된 위치 및 자세 정보를 이용하여 항행 및 자세의 실시간 제어를 수행한다(S302). 이와 같은 송신 전담 무인기들(110)의 위치 및 자세 정보를 획득하는 단계(S301)와 이를 기초로 송신 전담 무인기들(110)의 항행 및 자세를 실시간 제어하는 단계(S302)는 3차원 영상을 생성하기 위한 관측이 종료될 때까지 유지된다. 항행 및 자세 제어의 안정화로 멀티스테틱 SAR 시스템(100)의 관측 기하가 안정되고, 멀티스테틱 SAR 시스템(100)이 관심 영역을 관측할 수 있는 위치에 진입하면 송신 전담 무인기들(110)은 관측 종료 시점까지 관심 영역으로 레이더 관측신호를 송신한다(S303).
- [0043] 멀티스테틱 SAR 시스템(100)은 완전 활성 시스템이므로, 각 송신 전담 무인기(110)는 미리 설정된 다중채널 멀티플렉싱 방식에 따라 레이더 관측신호를 송신할 수 있다. 각 송신 전담 무인기(110)가 송신하는 레이더 관측신호는 서로 간섭되지 않도록 동일 시간에 다른 주파수 대역으로 송신될 수 있다. 이때, 멀티스테틱 SAR 시스템(100)의 멀티플렉싱 방식은 어떤 것을 사용하여도 무방하나, VPC(140)의 정렬 문제 등을 고려하여 동시 송수신이 가능한 주파수 대역 멀티플렉싱, 또는 다중채널 파형을 사용할 수 있다.
- [0044] 단위 편대(130)를 유지하기 위하여, 수신 전담 무인기들(120)은 예컨대 RTK, 관성 센서, 자기장 센서 등을 이용하여 위치 및 자세 정보를 획득한다(S311). 수신 전담 무인기들(120)은 단계(S311)에서 수집된 위치 및 자세 정보를 바탕으로 항행 및 자세의 실시간 제어를 수행한다(S312). 이와 같은 수신 전담 무인기들(120)의 위치 및 자세 정보를 획득하는 단계(S311)와 이를 기초로 수신 전담 무인기들(120)의 항행 및 자세를 실시간 제어하는 단계(S312)는 3차원 영상을 생성하기 위한 관측이 종료될 때까지 유지된다. 항행 및 자세 제어의 안정화로 멀티스테틱 SAR 시스템(100)의 관측 기하가 안정되고, 송신 전담 무인기들(110)이 레이더 관측신호를 송신하면, 수신 전담 무인기들(120)은 관심 영역의 기준점(10) 방향으로 조향된 수신 채널을 통해 레이더 반사신호를 수신한다. 이와 동시에, 수신 전담 무인기들(120)은 각 송신 전담 무인기(110)의 안테나 방향으로 조향된 직접 채널을 통해 각 송신 전담 무인기(110)로부터 송신되는 레이더 펄스, 예컨대, 레이더 관측신호를 직접 수신한다. 레이더 펄스는 수신 전담 무인기들(120) 각각의 수신 채널에서 수신되는 레이더 반사신호들을 동기화하는데 사용될 수 있다.
- [0045] 관측 종료 시점에 각각의 수신 전담 무인기(120)는 직접 채널을 통해 수신되는 레이더 펄스 데이터 1개와 수신 채널을 통해 수신되는 레이더 반사신호 데이터 1개, 총 2개 세트의 데이터를 획득하게 된다. 수신 전담 무인기(120)는 레이더 펄스 데이터와 레이더 반사신호 데이터를 지상국으로 송신한다. 예컨대, 단위 편대(130) 내에 예컨대 M개의 송신 전담 무인기(110)와 N개의 수신 전담 무인기(120)가 존재할 경우, 지상국은 각각 레이더 펄스 데이터와 레이더 반사신호 데이터로 이루어진 N개 세트의 데이터를 수신한다. 지상국은 N개의 수신 전담 무인기들(120)로부터 수신된 N개의 레이더 펄스 데이터와 N개의 레이더 반사신호 데이터를 이용하여 3차원 SAR 영상을 생성할 수 있다.
- [0046] 한편, 일 예에 따르면, 송신 전담 무인기들(110)은 단계(S301)에서 획득한 위치 정보를 지상국에 송신할 수 있다. 또한, 수신 전담 무인기들(120)은 단계(S311)에서 획득한 위치 정보를 지상국에 송신할 수 있다.
- [0047] 다른 예에 따르면, 송신 전담 무인기들(110)과 수신 전담 무인기들(120)은 각각의 위치 정보를 저장하고, 무인기들(110, 120)에 저장된 위치 정보 데이터는 지상국의 신호처리기에 전달될 수 있다.
- [0049] 도 3은 본 발명의 멀티스테틱 SAR 시스템을 이용하여 획득된 레이더 반사신호 데이터를 기초로 3차원 SAR 영상

을 생성하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

- [0050] 본 발명에 따른 3차원 SAR 영상 생성 방법은 저궤도 SAR 시스템용 영상 생성 알고리즘인 폴라 포맷 알고리즘(Polar Format Algorithm, PFA)에 기반한 방법이다. 본 발명에 따른 3차원 SAR 영상 생성 방법은 다중채널 멀티스테틱 신호처리에 적합하도록 새로운 데이터 전처리 프로세스를 추가하고, 알고리즘의 자유도를 3차원으로 확장한 것이다. 본 발명에 따른 3차원 SAR 영상 생성 방법은 지상국에서, 예컨대, 지상국 내의 신호처리기에 의해 수행될 수 있다. 아래에서, 단위 편대(130) 내에 예컨대 M개의 송신 전담 무인기(110)와 N개의 수신 전담 무인기(120)가 존재한다고 가정한다.
- [0051] N개의 수신 전담 무인기(120)에서 각각 생성되는 N개의 레이더 반사신호 데이터들이 서로 동기화된다(S310). 본 발명의 멀티스테틱 SAR 시스템을 구성하는 송신 전담 무인기들(110)과 수신 전담 무인기들(120)은 멀티스테틱 구조의 특성 상 동일한 안정국부발진기(STALO)를 통해 동기화될 수 없기 때문에, SAR에서 요구되는 높은 수준의 위상 안정성을 확보하기 위하여 신호처리 기반 동기화 프로세스가 수행될 수 있다. 수신 전담 무인기들(120) 각각의 수신 채널을 통해 수신된 N개의 레이더 반사신호 데이터들은 수신 전담 무인기들(120) 각각의 직접 채널을 통해 수신된 N개의 레이더 펄스 데이터에 기초하여 동기화될 수 있다. 신호 동기화 단계(S310)에서 N개의 동기화된 레이더 반사신호 데이터들이 생성된다.
- [0052] 신호 동기화 단계(S310) 이후, N개의 동기화된 레이더 반사신호 데이터들에 대하여 디멀티플렉싱이 수행된다(S320). 하나의 레이더 반사신호 데이터에는 M개의 송신 전담 무인기(110)로부터 송신된 M개의 레이더 관측신호가 관심 영역의 표적들로부터 반사된 반사신호들이 포함되어 있다. 디멀티플렉싱에 의해 하나의 레이더 반사신호 데이터는 M개의 레이더 관측신호에 각각 대응하는 M개의 반사신호들로 분리될 수 있다. 즉, 하나의 수신 채널을 통해 수신된 레이더 반사신호 데이터에 대하여 디멀티플렉싱이 수행되면, M개의 2차원 SAR 원시데이터가 생성된다.
- [0053] 전술한 바와 같이, M개의 송신 전담 무인기(110)가 다중채널 멀티플렉싱 방식에 따라 M개의 레이더 관측신호를 송신한다. 디멀티플렉싱 단계(S320)는 M개의 레이더 관측신호를 송신한 멀티플렉싱 방식에 상응하는 디멀티플렉싱 방식으로 수행된다. 디멀티플렉싱 단계(S320)는 앞서 신호 획득 단계에서 적용된 멀티플렉싱 방식의 역과정이므로, 멀티스테틱 SAR 시스템의 실제 구현에 있어 어떤 멀티플렉싱 방식을 채택하였는지에 따라 디멀티플렉싱 구현의 상세가 달라진다. 단계(S320)에서 N개의 동기화된 레이더 반사신호 데이터들에 대하여 디멀티플렉싱이 수행됨에 따라, VPC(140)의 개수와 동일한 개수, 즉, $(M \times N)$ 개의 2차원 SAR 원시데이터가 생성된다.
- [0054] $(M \times N)$ 개의 2차원 SAR 원시데이터는 3차원 SAR 원시데이터로 재구성화 된다(S330). $(M \times N)$ 개의 2차원 SAR 원시데이터는 동일 표적좌표공간을 참조하도록 재구성된다. $(M \times N)$ 개의 재구성된 2차원 SAR 원시데이터 각각에 대하여 SAR 영상 처리를 수행하면 $(M \times N)$ 개의 SAR 영상이 생성되며, 이러한 $(M \times N)$ 개의 SAR 영상 내의 특정 픽셀은 모두 동일한 표적좌표공간을 참조한다. $(M \times N)$ 개의 재구성된 2차원 SAR 원시데이터를 대응하는 VPC(140)의 높이 방향의 순서에 따라 적층하여 3차원 SAR 원시데이터를 생성할 수 있다. 3차원 SAR 원시데이터는 3차원의 단일 데이터 큐브의 형태일 수 있다.
- [0055] 3차원 SAR 원시데이터에 대하여 3차원 고속푸리에변환 연산을 수행할 수 있다(S340). 3차원 SAR 원시데이터가 3차원 고속푸리에변환되면, 주파수 영역의 3차원 주파수 원시데이터가 생성된다. 3차원 주파수 원시데이터는 3차원 스펙트럼 공간 상의 데이터일 수 있다.
- [0056] 3차원 주파수 원시데이터는 거리 방향으로 압축될 수 있다(S350). 송신 전담 무인기들(110)로부터 획득된 레이더 관측신호를 복제하여 기준 송신 펄스를 생성하고, 3차원 주파수 원시데이터를 기준 송신 펄스와 정합 필터링을 수행함으로써 거리 압축이 수행될 수 있다. 거리 압축은 산란체 레이더 응답을 국소화함에 있어서, 3차원 주파수 원시데이터가 가지는 거리 방향, 방위 방향, 높이의 3차원 자유도 중에서 거리 방향의 국소화를 수행하는 것이다.
- [0057] 거리 방향으로 압축된 3차원 주파수 원시데이터에 대하여 선형 RCMC(Range Cell Migration Correction)가 수행될 수 있다(S360). 영상 기준점(10)과의 거리 정보 기록을 토대로 계산된 위상 필터를 이용하여 거리 방향으로 압축된 3차원 주파수 원시데이터에 대하여 선형 RCMC가 수행될 수 있다. 선형 RCMC는 방위 방향 압축에 앞서 거리-방위 방향의 커핑을 제거함으로써, 동일 거리에서 기인한 방위 방향의 응답을 단일 방위 방향 셀 내로 정렬하는 역할을 수행한다. 선형 RCMC 단계(S360)에 의해 3차원 주파수 보정데이터가 생성된다.
- [0058] 일 예에 따르면, 주파수 영역의 2차원 정합 필터를 사용하는 특성 상, 거리압축 프로세싱과 선형 RCMC 프로세싱은 단일 2차원 정합필터와의 대량 처리(Bulk Processing) 통해 하나의 절차로 구현될 수도 있다.

- [0059] 무인기 플랫폼은 통상적으로 높은 중심주파수의 레이더를 운용하며, 속도와 운용 고도가 낮아서 푸리에변환을 통해 방위/높이 방향으로의 압축이 가능하다. 그러나 3차원 주파수 보정데이터가 존재하는 직교 그리드의 스펙트럼 공간과 실제 신호가 점유하는 공간주파수 공간의 그리드가 같지 않기 때문에, 직교 공간의 3차원 주파수 보정데이터를 3차원 공간주파수 공간으로 보간하는 과정이 필요하다.
- [0060] 프로세서 상 주파수 데이터가 놓인 그리드와, 실제 신호의 주파수 데이터가 위치한 그리드 간의 불일치는 디지털 고속푸리에연산의 특성으로 인해 발생한다. SAR 데이터가 처리되는 디지털 프로세서 상에서, 거리 압축 및 선형 RCMC 이후의 SAR 데이터가 점유하는 이산 주파수 영역은 큐브의 형상을 띄는 한편, SAR 데이터가 실제로 점유하는 공간주파수의 영역은 공간주파수 영역 상 형성되는 입체각(solid angle)의 애널러스(annulus)의 형상을 띤다. 주파수 영역 데이터의 보간은 큐브에서 입체각 애널러스로의 변환에 해당하는 연산으로 간주할 수 있다.
- [0061] 이를 위하여, 송신 전담 무인기들(110)의 위치 정보 및 수신 전담 무인기들(120)의 위치 정보에 기초하여 3차원 주파수 보정데이터가 보간될 3차원 공간주파수 공간이 결정된다(S370). 3차원 공간주파수 공간은 센서-데이터의 관측 기하에 따라 결정되며, 3차원 주파수 보정데이터의 직교 그리드 내의 특정 지점과 일대일의 대응 관계를 갖는다.
- [0062] 레이더 반사신호가 점유하는 공간주파수 영역이 입체각 애널러스의 형상을 띄므로, 구면좌표계 상 두께와 고각, 방위각을 특정함으로써 공간주파수의 영역을 결정할 수 있다. 일 실시예에 따르면, 공간주파수 영역의 두께는 파수 벡터($k_r(1)$)에 의존하며, 이는 레이더 하드웨어 및 송신 펄스의 특성에 따라 $k_r(1) = (2\pi/c) \times (f(t, 1) + f_c)$ 와 같이 결정된다. 여기서, c 는 광속이고, f 는 레이더 펄스가 점유하는 시간 주파수이고, f_c 는 레이더 파형의 중심 주파수이다. t 는 레이더 펄스의 비행 시간(flight time)이 형성하는 패스트 타임(fast time)이다. 1 은 채널 번호로서 1 이상 ($M \times N$) 이하의 자연수이다. 3차원 공간주파수 공간을 결정하는 요소인 송신 전담 무인기들(110)의 위치, 수신 전담 무인기들(120)의 위치의 차이로 동일 표적공간을 참조하는 패스트 타임이 달라, 파수 벡터의 크기($k_r(1)$)가 채널(1) 별로 상이하므로, 3차원 공간주파수 공간은 채널(1)을 변수로 갖는다.
- [0063] 전체 데이터가 형성하는 3차원 공간주파수 공간은 각 채널이 형성하는 제1 내지 제($M \times N$) 공간주파수 공간들을 부분집합으로 가지며, 제 1 공간주파수 공간은 3차원 공간주파수 영역의 슬라이스와 같은 형상을 가진다. 각 공간주파수 공간이 점유하는 고각 및 방위각 방향으로의 크기 정보는 실제 송신 전담 무인기들(110)의 위치 및 수신 전담 무인기들(120)의 위치가 영상 기준점과 형성하는 고각 및 방위각과 직접적으로 관련되므로, 데이터 수집 시간 동안의 플랫폼 변위 정보를 활용하여 공간주파수 공간을 최종적으로 결정할 수 있다. 일 예를 따르면, 제 1 공간주파수 공간은 다음의 수식에 의해 산출되는 k_x , k_y , 및 k_z 에 의해 결정된다.
- [0064]
$$k_x = (4\pi/c) \times k_r(1) \times (\sin\theta_{tx}(\eta, 1) \cos\phi_{tx}(\eta, 1) + \sin\theta_{rx}(\eta, 1) \cos\phi_{rx}(\eta, 1))$$
- [0065]
$$k_y = (4\pi/c) \times k_r(1) \times (\sin\theta_{tx}(\eta, 1) \sin\phi_{tx}(\eta, 1) + \sin\theta_{rx}(\eta, 1) \sin\phi_{rx}(\eta, 1))$$
- [0066]
$$k_z = (4\pi/c) \times k_r(1) \times (\cos\theta_{tx}(\eta, 1) + \cos\phi_{tx}(\eta, 1))$$
- [0067] 여기서, η 는 레이더 펄스를 송신한 시점, 즉, 슬로우 타임(slow-time)이다. ϕ_{tx} 는 관심 영역의 기준점(10)을 중심으로 하는 구면좌표계 상의 송신 전담 무인기(110)의 고각 각도이고, ϕ_{rx} 는 관심 영역의 기준점(10)을 중심으로 하는 구면좌표계 상의 수신 전담 무인기(120)의 고각 각도이다. θ_{tx} 는 관심 영역의 기준점(10)을 중심으로 하는 구면좌표계 상의 송신 전담 무인기(110)의 방위각 각도이고, θ_{rx} 는 관심 영역의 기준점(10)을 중심으로 하는 구면좌표계 상의 수신 전담 무인기(120)의 방위각 각도이다.
- [0068] 3차원 공간주파수 공간의 정의되면, 직교 스펙트럼 공간의 3차원 주파수 보정데이터는 연산 커널을 통해 3차원 공간주파수 공간으로 보간된다(S380).
- [0069] 도 4는 본 발명에 따라서 직교 스펙트럼 공간의 3차원 주파수 보정데이터는 연산 커널을 통해 3차원 공간주파수 공간으로 보간하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- [0070] 도 4를 참조하면, 직교 스펙트럼 공간의 데이터 $d(t, \eta, 1)$ 와 공간주파수 공간 $s(k_x, k_y, k_z)$ 는 전술한 수식과 같이 상호 일대일로 대응하므로, 보간은 각 공간의 인덱스 정보를 참조하여 진행될 수 있다. 일 예에 따르면,

직교 스펙트럼 공간 상 1번 채널, 4번째 펄스의 4번째 샘플($S_d(4,4,1)$)은 제1 공간주파수 공간의 4번째 k_x , 4번째 k_y 에 해당하는 샘플($S_s(4,4,1)$)로 보간될 수 있다.

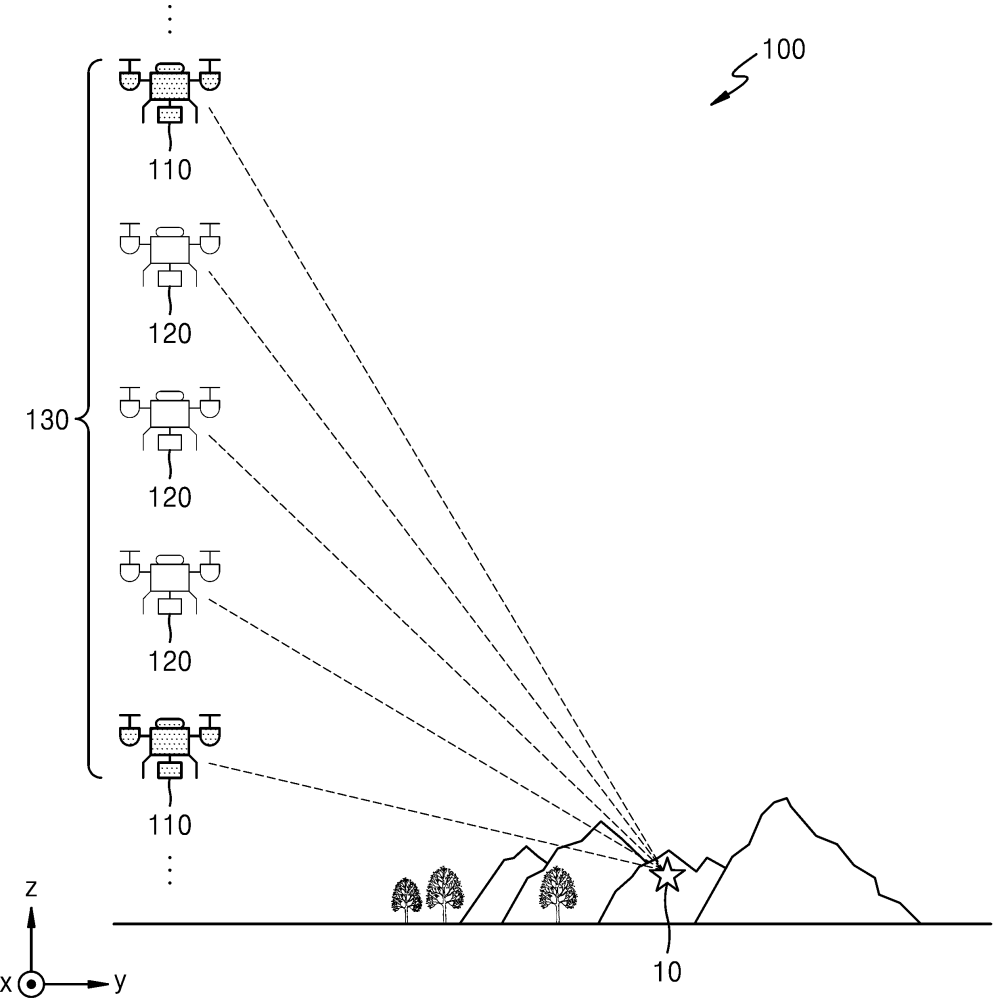
- [0071] 이 과정에서 사용되는 연산 커널의 특성에 따라 최종 영상에 보간에 의한 불요 아티팩트가 생성될 수 있다. 일 예에 따르면, 이러한 불요 아티팩트가 생성되지 않도록 충분한 정확도를 가지는 대역 제한 싱크 보간 커널이 연산 커널로 사용될 수 있다. 3차원 공간주파수 공간으로 보간되는 과정은 3차원 폴라 포매팅(polar formatting)으로 지칭될 수 있다. 3차원 주파수 보정데이터가 3차원 공간주파수 공간으로 보간되면, 3차원 주파수 보간 데이터가 생성된다.
- [0072] 3차원 주파수 보간데이터는 3차원 역고속푸리에변환을 통해 3차원 공간주파수 공간에서 표적좌표공간으로 변환된다(S390). 3차원 주파수 보간데이터에 대하여 3차원 역고속푸리에변환은 표적좌표공간의 특정 픽셀에 대한 적분으로써 작용하므로, 최종적인 3차원 SAR 영상이 생성된다.
- [0073] 본 발명에 따르면 멀티스테틱 SAR 시스템을 이용하여 3차원 SAR 영상을 직접 생성할 수 있으므로, 종래의 SAR 기반 3차원 표적 정보 획득 기술과 비교할 때 절차적, 기술적 복잡성이 감소한다. 송신기 전담 무인기들과 수신기 전담 무인기들을 본 발명에 따라서 배치하여 멀티스테틱 편대를 구성함에 따라, 멀티스테틱 SAR 시스템에 3차원 SAR 영상 생성 능력이 부여되며, 본 발명의 3차원 SAR 영상 생성 알고리즘이 3차원 SAR 영상 정보를 처리할 수 있는 역량을 갖는다.
- [0075] 도 5a 내지 도 5c는 본 발명에 따른 멀티스테틱 SAR 시스템의 무인기 편대 구성을 이용하여 3차원 SAR 영상을 생성하는 원리를 설명하기 위한 도면이다.
- [0076] 영상은 최소 2차원 이상의 해상도를 가지는 정보이다. SAR의 원리 상, 해상도를 확보하기 위해서는 일정한 공간주파수의 대역을 점유해야 한다. 특정 시점에서 수신 전담 무인기(R)와 표적(예컨대, 도 1의 기준점(10))의 관측 기하가 구성하는 직거리(Slant Range) 벡터의 단위 벡터는 공간주파수 공간의 한 점을 점유하므로, 3차원 공간주파수 대역을 확보하기 위해서는 수신 전담 무인기(R)가 거리 방향, 방위 방향, 그리고 높이 방향의 3개 축에 대한 자유도를 가져야 한다. 이러한 3개 축에서, 거리 방향 자유도는 일정 대역폭을 가진 신호를 시간 영역에서 샘플링하는 수신 전담 무인기(R)의 특성에 따라 자연스럽게 확보된다.
- [0077] 도 5a를 참조하면, 멀티스테틱 SAR 시스템을 구성하는 최소 단위인 송신 전담 무인기(T)와 수신 전담 무인기(R)는 관측의 시작(START)과 끝(END) 동안 주기적으로 이동하며 펄스를 송수신한다. 이는 무인기 플랫폼의 이동 방향(x)으로 동일 간격의 공간상 샘플링 포인트(SP)를 생성하여 방위 방향 자유도를 제공한다. 각각의 샘플링 포인트(SP)에서 수신 전담 무인기(R)와 표적이 구성하는 시선 거리 각도가 다르므로 방위 방향의 대역폭이 확보될 수 있다.
- [0078] 도 5b에 도시된 바와 같이, 특정 높이를 점유하는 한 개의 바이스테틱 채널은 (x, y) 공간 상에서 일정한 대역폭을 갖는 공간주파수 대역(SFB)을 확보할 수 있다. 그러나, 관측의 시작(START)과 끝(END) 동안 수신기 전담 무인기(R)가 높이 방향(z)으로 이동하지 않기 때문에, 공간주파수 대역(SFB)은 높이 방향 공간주파수 축에 대해서는 하나의 점으로 나타난다.
- [0079] 도 5c에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따르면, 높이 방향(z)으로 편대(400)를 구성하여, VPC를 통해 높이 방향(z)으로 등간격 공간상 샘플링 포인트를 형성할 수 있다. 각각의 VPC는 동일한 (x, y) 방향에 대해서는 동일한 대역을 확보하지만, 위치한 높이가 달라 3차원 공간주파수의 관점에서는 3차원 공간주파수 영역(410)을 높이 방향으로 등간격 샘플링(420a, 420b, 420c, 420d)한 것과 같다. 따라서, 높이 방향(z) 자유도가 확보될 수 있으며, 최종적으로 3차원 SAR 영상을 확보하는 것이 가능하다.
- [0080] 도 6a 내지 도 6e는 본 발명에 따른 멀티스테틱 SAR 시스템의 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 도시한다.
- [0081] 도 6a를 참조하면, 본 시뮬레이션에서는 16개의 VPC가 높이 방향으로 배열되도록 송신 전담 무인기(T) 4대와 수신 전담 무인기(R) 4대로 편대(500)를 구성하였다. 이러한 편대(500)는 W-band의 멀티스테틱 SAR 시스템을 구성한다.
- [0082] 도 6b를 참조하면, 본 시뮬레이션은 편대(500)로부터 100m 떨어진 직경 5m의 반구 형상의 표적(510)에 대한 관측을 수행하는 시나리오를 모사한다.
- [0083] 도 6c를 참조하면, 본 시뮬레이션에 따른 공간주파수 도표(520)가 도시된다. 도 6c의 공간주파수 도표(520)를 참조하면, 16개의 VPC는 공간주파수 각 축에 대하여 3차원의 대역폭을 가지고, 대역폭 내의 주파수 성분은 균일

한 간격을 두고 나타난다는 것을 알 수 있었다.

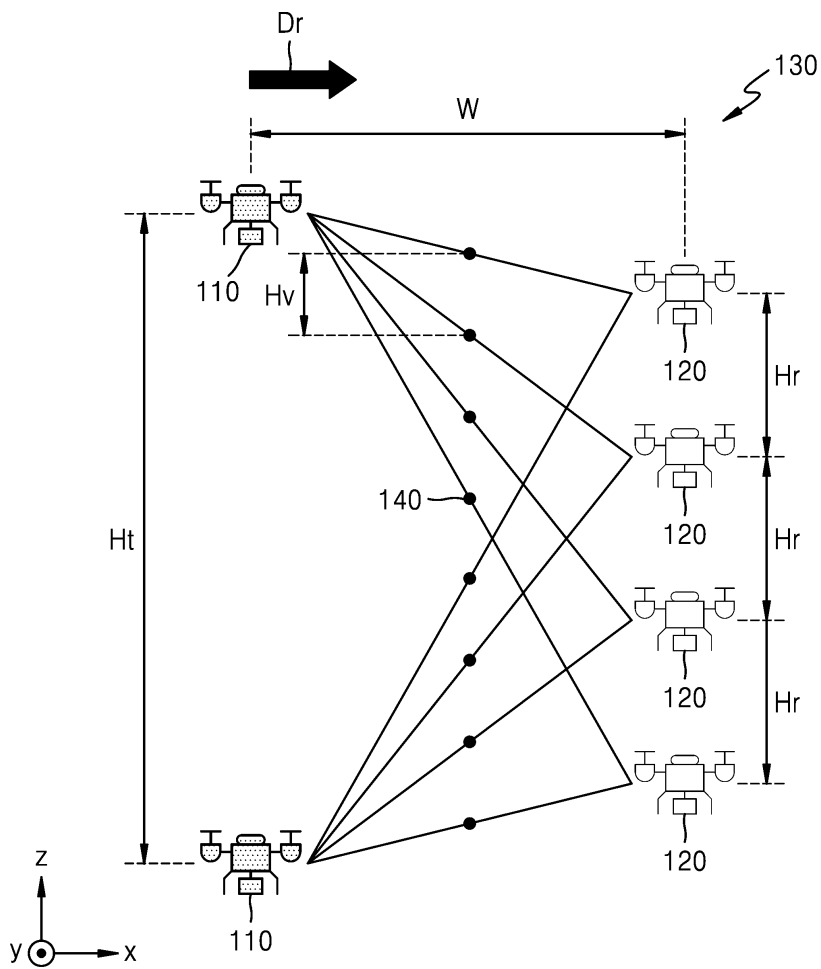
- [0084] 도 6d를 참조하면, 본 시뮬레이션을 기초로 본 발명의 3차원 SAR 영상 생성 방법에 따라 생성된 3차원 SAR 영상(530)이 도시된다. 3차원 SAR 영상(530)은 반구 형상의 표적(510)을 나타내고 있다.
- [0085] 도 6e를 참조하면, 3차원 SAR 영상(530)을 기초로 생성된 x-z 단면도들(531a 내지 531e)과 x-y 단면도들(532a 내지 532e)이 도시된다. x-z 단면도들(531a 내지 531e)과 x-y 단면도들(532a 내지 532e)은 표적(510)의 반구 형상이 온전히 3차원으로 나타내고 있다.
- [0086] 본 발명은 다양한 플랫폼 중에서 무인기 플랫폼을 이용하여 멀티스테틱 SAR 시스템을 구성함으로써 상술한 본 시스템 특유의 이점을 극대화하고 그 성능을 더욱이 증진시킬 수 있다.
- [0087] 높이 방향으로 뛰어난 해상도 성능을 확보하기 위해서는 대역폭이, 즉, 사용하는 파장과 대비하여 높이 방향으로 형성되는 개구면의 크기가 넓어야 한다. 전력 및 역학적 안정성 등의 이유로 위성, 항공기 등 비교적으로 고고도에서 운용되는 플랫폼에서는 그 구현이 어렵지만, 무인기 플랫폼에서는 극단적으로 짧은 파장을 가지는 고주파 SAR 탑재체를 운용할 수 있어, 파장-대역폭 비율을 극대화할 수 있다.
- [0088] 한편, 대역폭이 증가함에 따라 개구면 내의 공간 샘플링 포인트의 간격 역시 줄어들어야 하는데, 이를 위해서는 많은 센서로 구성된 대량 다중입출력 멀티스테틱 시스템의 구현이 필요하다. 개별 센서의 생산 비용이 막대한 고고도 플랫폼에서 이는 불가능에 가깝지만, 무인기 플랫폼은 이와 비교하여 생산 비용을 극적으로 절감할 수 있어 이러한 접근법을 실체화하는 것이 가능하다.
- [0089] 결론적으로 본 발명의 효과는 후처리 프로세싱 없이 영상형성 절차에서 직접 3차원 영상을 생성할 수 있다는 것이다. 종래의 방법과 비교하여 훨씬 간단한 절차로 표적의 정확한 3차원 레이다 응답을 묘사하는 3차원 SAR 영상을 생성할 수 있으며, 실제적인 구현에 필요한 난이도를 크게 낮출 수 있다.
- [0091] 이상 설명된 다양한 실시예들은 예시적이며, 서로 구별되어 독립적으로 실시되어야 하는 것은 아니다. 본 명세서에서 설명된 실시예들은 서로 조합된 형태로 실시될 수 있다.
- [0092] 이상 설명된 다양한 실시예들은 컴퓨터 상에서 다양한 구성요소를 통하여 실행될 수 있는 컴퓨터 프로그램의 형태로 구현될 수 있으며, 이와 같은 컴퓨터 프로그램은 컴퓨터로 판독 가능한 매체에 기록될 수 있다. 이때, 매체는 컴퓨터로 실행 가능한 프로그램을 계속 저장하거나, 실행 또는 다운로드를 위해 임시 저장하는 것일 수도 있다. 또한, 매체는 단일 또는 수개 하드웨어가 결합된 형태의 다양한 기록수단 또는 저장수단일 수 있는데, 어떤 컴퓨터 시스템에 직접 접속되는 매체에 한정되지 않고, 네트워크 상에 분산 존재하는 것일 수도 있다. 매체의 예시로는, 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM 및 DVD와 같은 광기록 매체, 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical medium), 및 ROM, RAM, 플래시 메모리 등을 포함하여 프로그램 명령어가 저장되도록 구성된 것이 있을 수 있다. 또한, 다른 매체의 예시로, 애플리케이션을 유통하는 앱 스토어나 기타 다양한 소프트웨어를 공급 내지 유통하는 사이트, 서버 등에서 관리하는 기록매체 내지 저장매체도 들 수 있다.
- [0093] 본 명세서에서, "부", "모듈" 등은 프로세서 또는 회로와 같은 하드웨어 구성(hardware component), 및/또는 프로세서와 같은 하드웨어 구성에 의해 실행되는 소프트웨어 구성(software component)일 수 있다. 예를 들면, "부", "모듈" 등은 소프트웨어 구성 요소들, 객체 지향 소프트웨어 구성 요소들, 클래스 구성 요소들 및 태스크 구성 요소들과 같은 구성 요소들과, 프로세스들, 함수들, 속성들, 프로시저들, 서브루틴들, 프로그램 코드의 세그먼트들, 드라이버들, 펌웨어, 마이크로 코드, 회로, 데이터, 데이터베이스, 데이터 구조들, 테이블들, 어레이들 및 변수들에 의해 구현될 수 있다.
- [0094] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.
- [0095] 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

도면

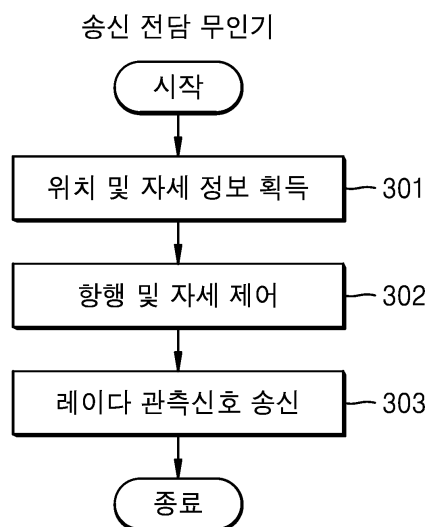
도면1a



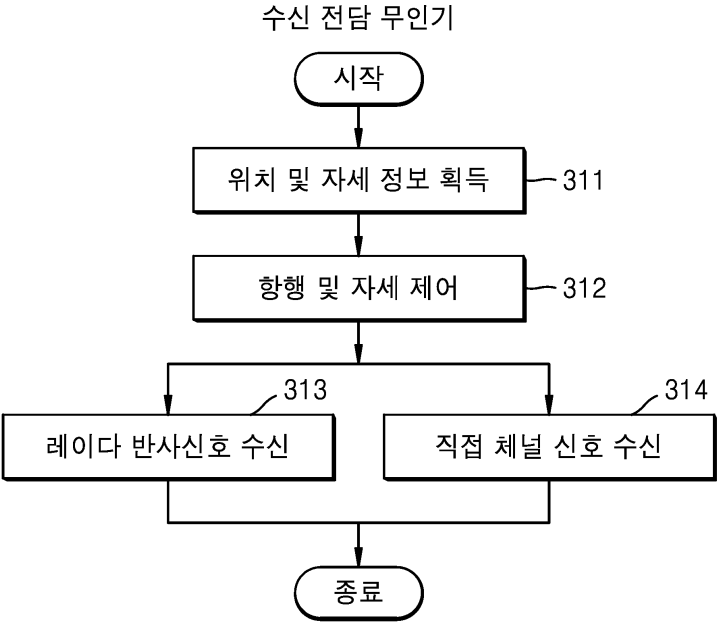
도면 1b



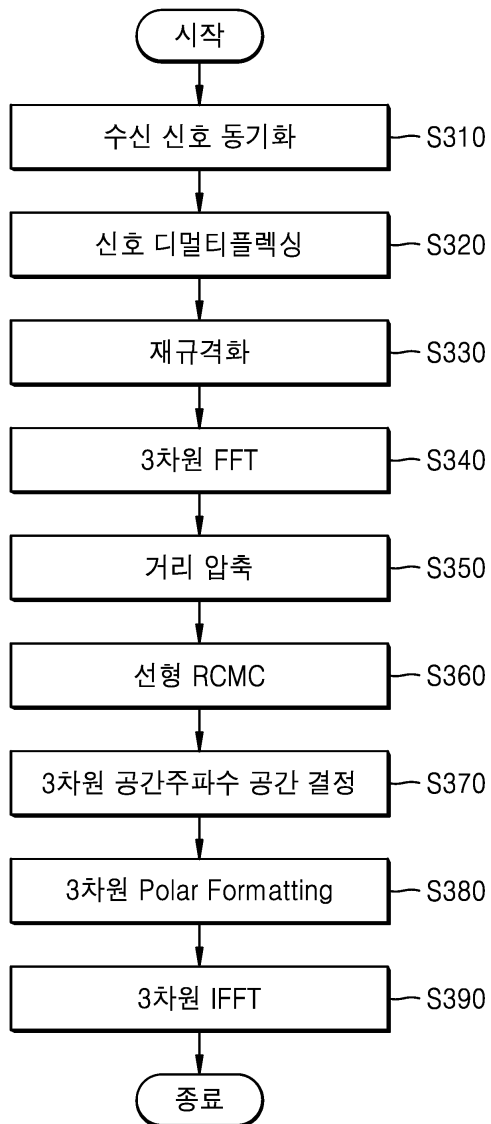
도면2a



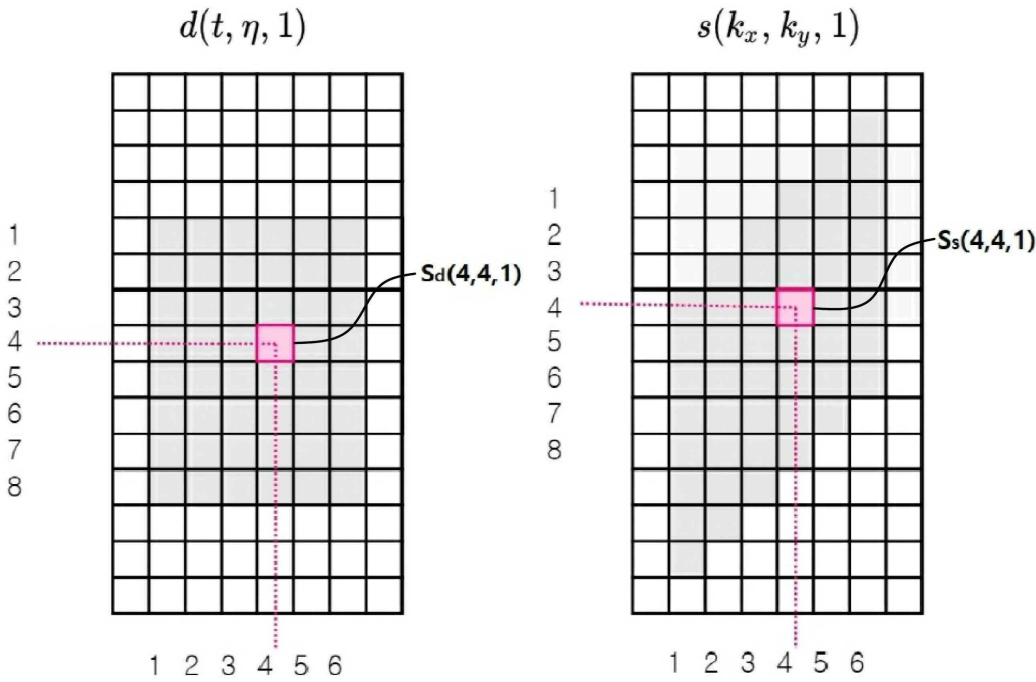
도면2b



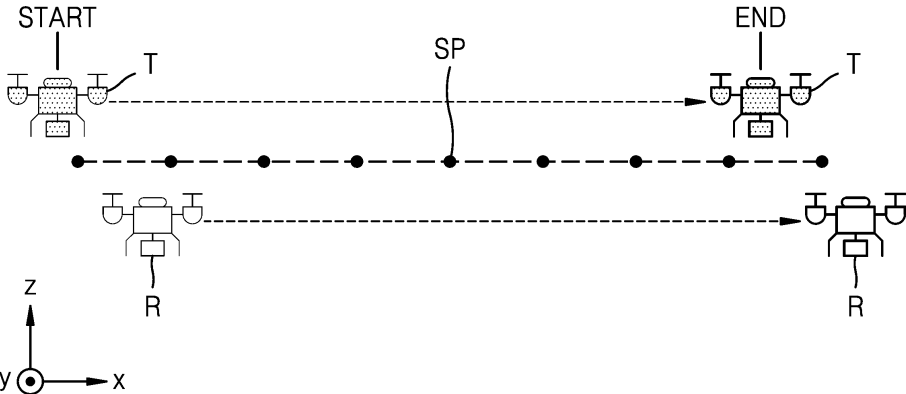
도면3



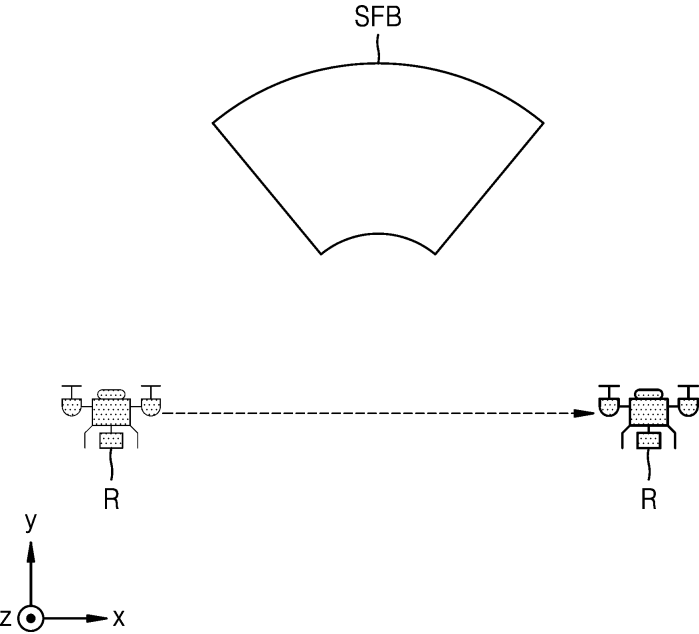
도면4



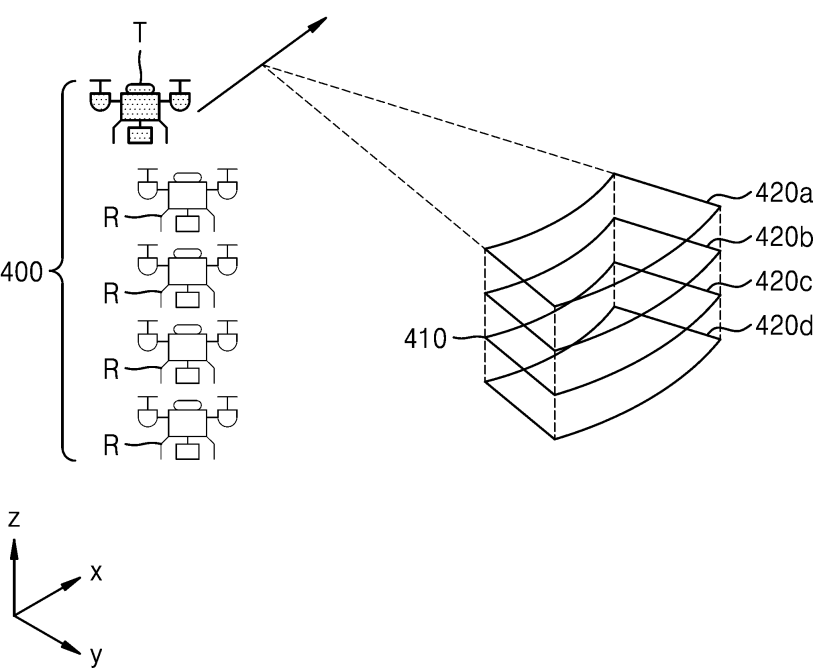
도면5a



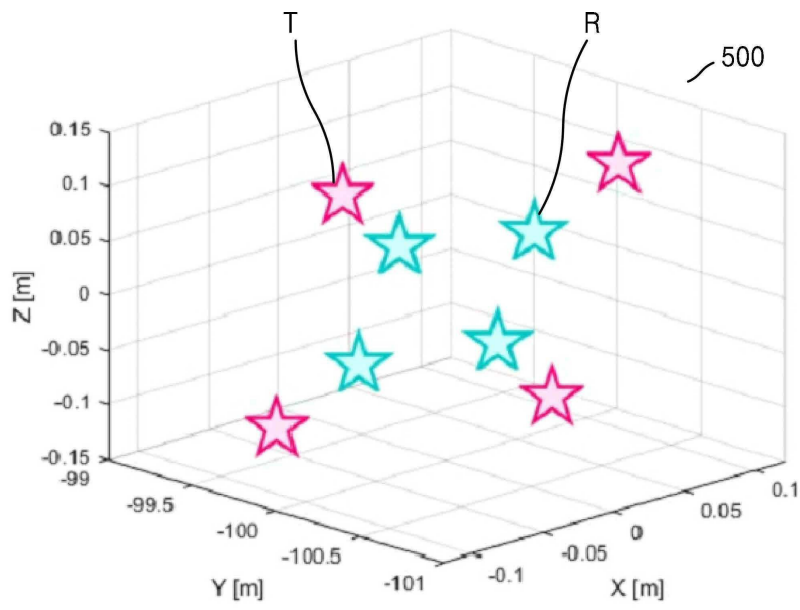
도면5b



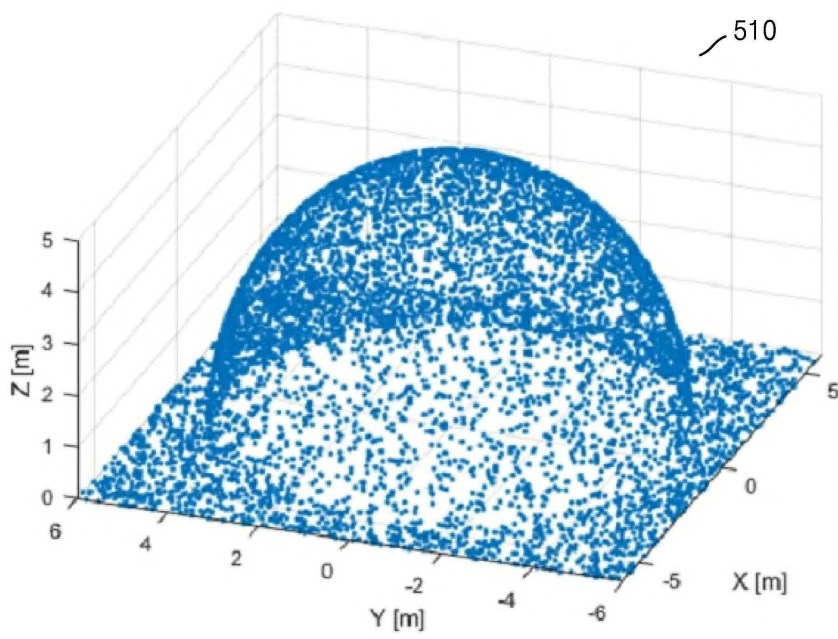
도면5c



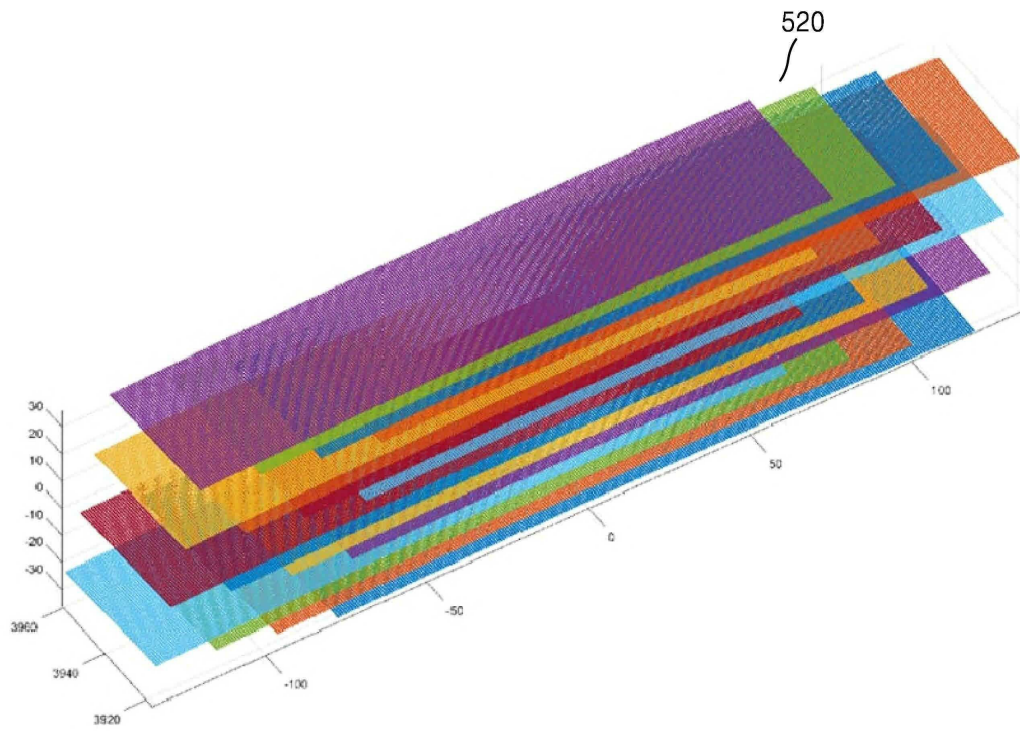
도면6a



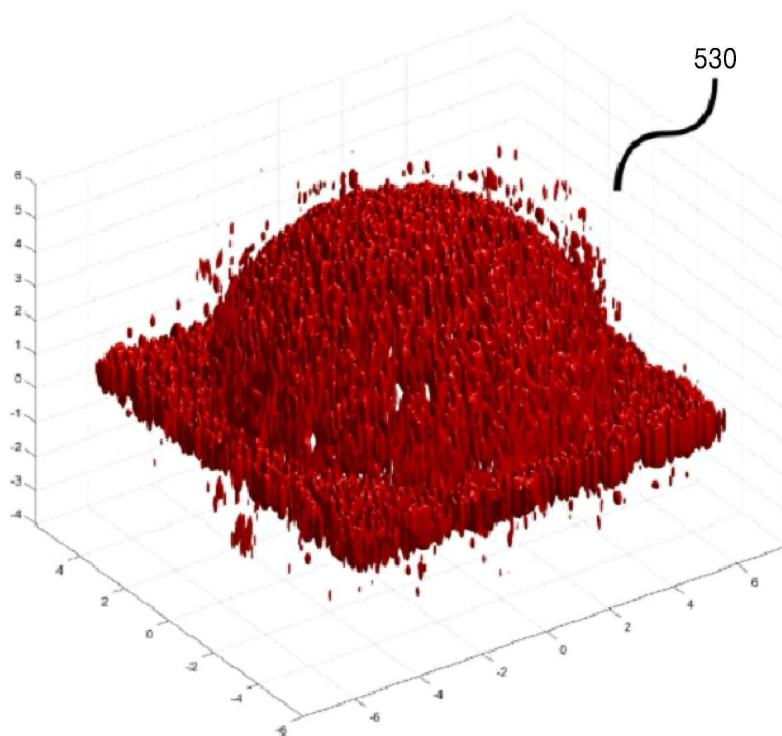
도면6b



도면6c



도면6d



도면6e

