



등록특허 10-2252219



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년05월13일
(11) 등록번호 10-2252219
(24) 등록일자 2021년05월10일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 7/481 (2006.01) *G01S 17/10* (2020.01)
G01S 17/42 (2006.01) *G01S 17/89* (2020.01)
G01S 7/497 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G01S 7/4817 (2013.01)
G01S 17/18 (2020.01)
- (21) 출원번호 10-2019-7019062
- (22) 출원일자(국제) 2017년11월21일
심사청구일자 2019년07월01일
- (85) 번역문제출일자 2019년07월01일
- (65) 공개번호 10-2019-0089970
- (43) 공개일자 2019년07월31일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2017/062714
- (87) 국제공개번호 WO 2018/125438
국제공개일자 2018년07월05일
- (30) 우선권주장
62/428,122 2016년11월30일 미국(US)

(56) 선행기술조사문현
US6753950 B2*

(뒷면에 계속)

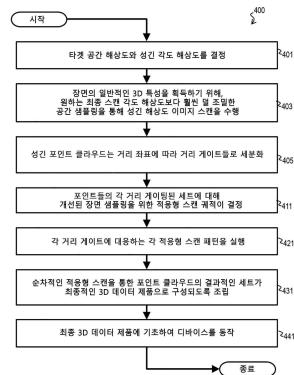
전체 청구항 수 : 총 15 항

심사관 : 안문환

(54) 발명의 명칭 광학 거리 측정 시스템을 이용한 적응형 스캐닝 방법과 시스템

(57) 요약

레이저 스캐너를 이용한 적응형 스캐닝 기술은 성긴(coarse) 각도 해상도에서 거리 측정값을 획득하는 단계 및 게이트 서브셋과 특성 거리를 결정하는 단계를 포함한다. 조밀한 각도 해상도는 상기 특성 거리와 타겟 공간 해상도에 기초한다. 상기 조밀한 각도 해상도가 상기 성긴 각도 해상도보다 더 조밀하면, 제 1 각도 해상도에 기초하여 각도 폭의 서브셋의 수평 슬라이스에 의해 최소 수직 각도와 최대 수직 각도가 결정된다. 그런 다음, 스캐닝 레이저 거리 측정 시스템은 상기 최소 수직 각도와 상기 최대 수직 각도 사이에 있는 슬라이스에서의 제 2 각도 해상도에서 제 2 거리 측정값을 획득하도록 작동한다. 일부 실시예에서, 상기 스캐닝은, 해당 슬라이스에 대한 최소 수직 각도와 최대 수직 각도를 사용하여, 거리 거이트 서브셋에 있는 각 수평 슬라이스에서 대해서 반복된다.

대 표 도 - 도4

(52) CPC특허분류

G01S 17/42 (2013.01)

G01S 17/89 (2013.01)

G01S 7/497 (2013.01)

(72) 발명자

커리, 제임스

미국 몬태나 59715 보즈먼 610 에스. 블랙 에비뉴

베르그, 트렌顿

미국 몬태나 59741 맨해튼 325 페이서 워킹 트레일

(56) 선행기술조사문현

US9383753 B1*

US8531650 B2*

JP2018204970 A*

US09383753 B1*

US20160245903 A1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문현

명세서

청구범위

청구항 1

LIDAR(light detection and ranging) 시스템에 있어서,
광 신호를 생성하도록 구성되는 레이저 소스;
광 신호의 주파수 또는 위상 중 적어도 하나를 변조하도록 구성되는 변조기;
상기 변조된 광 신호를 전송하도록 구성되는 하나 이상의 스캐닝 광학계; 및
프로세싱 회로를 포함하고,
상기 프로세싱 회로는,
제 1 각도 해상도를 이용하여, 상기 하나 이상의 스캐닝 광학계의 시야에서 복수의 제 1 거리 측정값들을 획득하도록 상기 하나 이상의 스캐닝 광학계를 작동하고;
복수의 거리 게이트의 특정 거리 게이트에 대응하는 하나 이상의 제 1 거리 측정값들을 사용하여, 상기 복수의 거리 게이트의 상기 특정 거리 게이트에 제 2 각도 해상도를 할당하고;
상기 복수의 거리 게이트 각각에 할당된 상기 제 2 각도 해상도를 사용하여 복수의 제 2 거리 측정값들을 획득하도록 상기 하나 이상의 스캐닝 광학계를 작동하고;
상기 복수의 제 2 거리 측정값들을 사용하여 자율 주행차를 제어하도록 구성된 LIDAR 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
상기 프로세싱 회로는,
상기 복수의 거리 게이트의 상기 특정 거리 게이트에 대한 타겟 공간 해상도를 사용하여, 상기 복수의 거리 게이트의 상기 특정 거리 게이트에 상기 제 2 각도 해상도를 할당하는 것을 특징으로 하는 LIDAR 시스템.

청구항 3

제 2 항에 있어서,
상기 제 1 각도 해상도는 상기 타겟 공간 해상도 보다 큰 것을 특징으로 하는 LIDAR 시스템.

청구항 4

제 1 항에 있어서,
상기 프로세싱 회로는,
상기 복수의 제 1 거리 측정값들 또는 상기 복수의 제 2 측정값들 중에서 적어도 하나를 획득하기 위하여, 톱니형(saw-tooth) 스캔 궤적을 사용하여 스캔하도록 상기 스캐닝 광학계를 작동하는 특징으로 하는 LIDAR 시스템.

청구항 5

제 1 항에 있어서,
상기 제 1 각도 해상도는,
상기 제 2 각도 해상도의 10 배 ~ 100 배의 범위인 것을 특징으로 하는 LIDAR 시스템.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 프로세싱 회로는,

상기 복수의 거리 게이트의 상기 특정 거리 게이트의 특성 거리를 이용하여 상기 복수의 제 2 거리 측정값들을 획득하기 위한 기준 경로 지연을 결정하고, 상기 복수의 제 2 거리 측정값들을 획득하는데 사용되는 기준 신호를 상기 기준 경로 지연에 따라 지연하는 것을 특징으로 하는 LIDAR 시스템.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 프로세싱 회로는,

리턴되지 않은 스캐닝 각도 공간이 발생하는 것을 방지하여 상기 복수의 제 2 거리 측정값들을 획득하도록 상기 하나 이상의 스캐닝 광학계를 작동하는 것을 특징으로 하는 LIDAR 시스템.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 하나 이상의 스캐닝 광학계에 의해서 전송된 상기 변조된 광 신호에 응답한 리턴 신호를 수신하도록 구성되는 검출기 어레이를 더 포함하고,

상기 프로세싱 회로는,

상기 리턴 신호를 이용하여 적어도 하나의 제 2 거리 측정값을 결정하는 것을 특징으로 하는 LIDAR 시스템.

청구항 9

제 1 항 내지 제 8 항 중 어느 한 항에 따른 LIDAR(light detection and ranging) 시스템을 작동시키는 방법에 있어서,

제 1 각도 해상도를 이용하여 하나 이상의 스캐닝 광학계의 시야에서 복수의 제 1 거리 측정값들을 획득하도록 상기 하나 이상의 스캐닝 광학계를 작동하는 단계;

복수의 거리 게이트의 특정 거리 게이트에 대응하는 하나 이상의 제 1 거리 측정값들을 사용하여, 상기 복수의 거리 게이트의 상기 특정 거리 게이트에 제 2 각도 해상도를 할당하는 단계;

상기 복수의 거리 게이트의 상기 특정 거리 게이트에 할당된 상기 제 2 각도 해상도를 사용하여, 복수의 제 2 거리 측정값들을 획득하도록 상기 하나 이상의 스캐닝 광학계를 작동하는 단계; 및

상기 복수의 제 2 거리 측정값들을 사용하여 자율 주행차를 제어하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 복수의 거리 게이트의 상기 특정 거리 게이트에 제 2 각도 해상도를 할당하는 단계는, 상기 특정 거리 게이트에 대한 타겟 공간 해상도를 사용하여, 상기 제 2 각도 해상도를 할당하고,

상기 제 1 각도 해상도는 상기 타겟 공간 해상도 보다 큰 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 시야에서 객체 크기에 대한 미리 결정된 값 또는 미리 결정된 비율 중 적어도 하나를 이용하여 상기 타겟 공간 해상도를 결정하는 단계를 더 포함하고,

상기 미리 결정된 값은 10 cm 이하인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 12

제 9 항에 있어서,

상기 복수의 제 1 거리 측정값들을 획득하도록 상기 하나 이상의 스캐닝 광학계를 작동하는 단계, 상기 복수의 제 2 거리 측정값들을 획득하도록 상기 하나 이상의 스캐닝 광학계를 작동하는 단계 중 적어도 하나는,

톱니형(saw-tooth) 스캔 웨이브를 사용하여 스캔하도록 상기 하나 이상의 스캐닝 광학계를 작동하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 13

제 9 항에 있어서,

상기 복수의 거리 게이트의 상기 특정 거리 게이트의 특성 거리를 이용하여, 상기 복수의 제 2 거리 측정값들을 획득하기 위한 기준 경로 지연을 결정하는 단계를 더 포함하고,

상기 하나 이상의 스캐닝 광학계를 작동하는 단계는,

상기 하나 이상의 스캐닝 광학계에서 상기 복수의 제 2 거리 측정값들을 획득하는데 사용되는 기준 신호를 상기 기준 경로 지연에 따라 지연시키는 단계를 포함하는 방법.

청구항 14

제 9 항에 있어서,

상기 복수의 제 2 거리 측정값들을 획득하도록 상기 하나 이상의 스캐닝 광학계를 작동하는 단계는, 리턴되지 않은 스캐닝 각도 공간이 발생하는 것이 방지되도록 상기 하나 이상의 스캐닝 광학계를 작동하는 단계를 포함하고,

상기 복수의 제 1 거리 측정값들을 획득하도록 상기 하나 이상의 스캐닝 광학계를 작동하는 단계는, 수직 각도 해상도로서 상기 제 1 각도 해상도를 이용하고, 수평 해상 각도로서 상기 제 1 각도 해상도와 상이한 제 3 각도 해상도를 이용하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 15

제 9 항에 있어서,

상기 복수의 거리 게이트의 상기 특정 거리 게이트는 상기 하나 이상의 스캐닝 광학계의 시야에서 각도 공간의 부분과 관련되고, 상기 하나 이상의 제 1 거리 측정값들은 상기 특정 거리 게이트에 할당된 최소 거리 보다 크고, 상기 특정 거리 게이트에 할당된 최대 거리 보다 작은 것을 특징으로 하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

관련 출원에 대한 상호 참조

[0001] 본 출원은 2016년 11월 30일에 출원된 가출원 번호 제62/428,122호의 이익을 주장하고, 이 가출원에 개시된 전체 내용은, 35 U.S.C § 119 (e)에 따라, 참조로서 본 명세서에 통합된다.

정부 관심사항의 진술

[0004] 본 발명은 육군에서 수여한 계약 W9132V-14-C-0002에 따른 정부의 지원으로 이루어진 것이다. 정부는 발명에 대해 특정 권리를 가지고 있다.

배경 기술

[0005] 니모닉(mnemonic)인 LIDAR(Light Detection And Ranging)로 종종 참조되는, 광 검출 및 거리 측정(ranging)을 위한 광 거리 검출은, 고도 측정부터, 이미징, 충돌 회피에 이르기까지 다양한 애플리케이션에 사용된다. LIDAR는 레이더(RADAR:radio-wave detection and ranging)과 같은 기존의 마이크로파 거리 측정 시스템(microwave ranging system)보다 작은 범위 크기로 조밀한 스케일 범위 해상도(resolution)를 제공한다. 광 거리 검출은 객체

에 대한 광 펄스의 왕복 이동 시간을 기반으로 한 직접 거리 측정(direct ranging)과, 송신된 처프(chirped) 광 신호와 객체로부터 산란된 리턴 신호 간의 주파수 차이에 기초한 처프 검출, 그리고 자연 신호들과 구별할 수 있는 단일 주파수 위상 변화의 시퀀스에 기반한 위상 인코딩 검출을 포함한 여러 다른 기술들로 달성될 수 있다.

[0006] 수용 가능한 거리 정확도 및 검출 감도를 달성하기 위해, 다이렉트 장거리 LIDAR 시스템은 낮은 펄스 반복률 및 매우 높은 펄스 피크 전력을 갖는 짧은 펄스 레이저를 사용한다. 상기 높은 펄스 전력은 광학 구성요소들의 급격한 성능 저하로 이어질 수 있다. 처프 및 위상 인코딩 LIDAR 시스템은 상대적으로 낮은 피크 광 전력을 가지는 긴 광 펄스를 사용한다. 이러한 구성에서, 상기 거리 정확도는 펄스 지속 기간이 아니라 위상 코드의 처프 대역폭 또는 길이에 따라 증가하므로 우수한 거리 정확도를 여전히 얻을 수 있다.

[0007] 광 반송파를 변조하기 위해 광대역 무선 주파수(RF) 전기 신호를 사용하여 유용한 광 처프 대역폭이 달성되었다. 처프 LIDAR의 최근 발전은, 광 검출기에 되돌아온 리턴 신호와 결합되는 기준 신호로서 동일한 변조된 광 반송파를 사용하여, 기준 신호들과 리턴 광 신호들 사이의 주파수 또는 위상에 비례하는 상대적으로 낮은 비트 주파수를 전기 신호에서 생성한다. 검출기에서의 이러한 종류의 주파수 차이의 비트 주파수 검출을 헤테로다인 검출(heterodyne detection)이라고 한다. 그것은 준비되고 저렴한 가용성의 RF 구성요소들을 사용하는 이점과 같은 해당 기술분야에 공지된 몇 가지 이점을 갖는다. 미국특허 제7,742,152호에 개시된 최근 연구는, 송신된 광 신호로부터 분리된 광 신호를 기준 광 신호로서 사용하는 광학 구성요소들의 새롭고 간단한 배열을 보여준다. 이러한 배열은 그 특허에서 호모다인 검출(homodyne detection)이라고 불린다.

[0008] 위상 인코딩된 마이크로파 신호가 광 반송파에 변조된 LIDAR 검출이 또한 사용되어왔다. 이 기술은 리턴 신호의 특정 주파수의 위상 시퀀스(또는 위상 변화)를 송신 신호의 그것과 상관시키는 것에 의존한다. 상관에서의 피크와 연관된 시간 지연은, 매체(medium)에서의 빛의 속도에 의한 거리와 관련이 있다. 이 기술의 장점에는 더 적은 수의 구성요소가 필요하고, 그리고 위상 인코딩된 마이크로파 및 광 통신을 위해 개발된 대량 생산 하드웨어 구성요소가 사용된다는 점이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 현재의 방법보다 짧은 시간 내에 타겟 공간 해상도를 갖는 객체를 스캔하기 위해 변화가 요구되는 것을 현재의 본 발명자들이 인식했고, 이러한 목적으로 진전은 적응형 스캐닝(adaptive scanning)이라 불리는 원하는 객체와 관련된 각도 거리 내의 광학 거리 측정 시스템을 이용하여 스캐닝을 집중시킴으로써 달성될 수 있다. 스캐닝 레이저 거리 측정 시스템을 통한 적응형 스캐닝을 위한 기술이 제공된다.

과제의 해결 수단

[0010] 제 1 세트의 실시예에 있어서, 스캐닝 레이저 거리 측정 시스템을 작동하는 방법은, 스캐닝 레이저 거리 측정 시스템의 뷰(view) 내의 타겟 최대 거리에 있는 객체에 대한 거리 측정들을 위한 타겟 공간 해상도와, 상기 시스템이 상기 타겟 최대 거리에서 상기 타겟 공간 해상도 보다 더 큰 성간(coarse) 공간 해상도를 생성하도록 하는 상기 시스템을 위한 성간(coarse) 각도 해상도를 결정하는 단계를 포함한다. 또한, 상기 방법은 제 1 차원 내의 제 1 차원 성간 시작 각도와 제 1 차원 성간 정지 각도 사이의 상기 성간 각도 해상도에 기초한 제 1 차원 성간 각도 해상도와, 제 2 차원 내의 제 2 차원 성간 시작 각도와 제 2 차원 성간 정지 각도 사이의 상기 성간 각도 해상도에 기초한 제 2 차원 성간 각도 해상도에서, 복수의 성간 거리 측정값을 획득하도록 상기 스캐닝 레이저 거리 측정 시스템을 작동하는 단계를 포함한다. 게다가, 상기 방법은 상기 복수의 성간 거리 측정값들의 거리 케이트 서브셋을 결정하는 단계를 포함한다. 상기 거리 케이트 서브셋 내의 각각의 거리 측정값이 서브셋 최소 거리보다 크거나 같고 서브셋 최대 거리보다 작다. 추가적으로, 상기 방법은 상기 거리 케이트 서브셋에 기초하여 상기 서브셋 최소 거리와 상기 서브셋 최대 거리 사이의 특성 거리(characteristic range)를 결정하는 단계를 포함한다. 또한, 상기 방법은 상기 특성 거리와 상기 타겟 공간 해상도에 기초하여 제 1 차원 조밀 각도 해상도 및 제 2 차원 조밀 각도 해상도를 결정하는 단계를 포함한다. 또한, 상기 제 1 차원 조밀 각도 해상도가 상기 제 1 차원 성간 각도 해상도 보다 조밀하거나 상기 제 2 차원 조밀 각도 해상도가 상기 제 2 차원 성간 각도 해상도 보다 조밀하면, 상기 방법은 아래의 단계를 포함한다. 상기 제 1 차원 성간 각도 해상도에 기초하여 서브셋 제 1 차원 각도 빙(bin) 크기가 결정된다. 상기 서브셋 제 1 차원 각도 빙 크기에 의해 분리된 제 1 차원 조밀 시작 각도 및 제 1 차원 조밀 정지 각도가 결정된다. 슬라이스 내의 각각의 거리 측정값이 상기 1차원

조밀 시작 각도로부터 상기 1차원 조밀 정지 각도까지 상기 서브셋 내에 있도록, 상기 복수의 성긴 거리 측정값들의 서브셋의 슬라이스가 결정된다. 또한, 상기 슬라이스 내의 제 2 차원 최소 각도와 상기 슬라이스 내의 제 2 차원 최대 각도가 결정된다. 이어서, 상기 슬라이스 내의 상기 제 1 차원 조밀 각도 해상도와, 상기 슬라이스에 대한 상기 제 2 차원 최소 각도와 상기 제 2 차원 최대 각도 사이의 상기 제 2 차원 조밀 각도 해상도에서, 복수의 조밀한 거리 측정값들을 얻도록 상기 스캐닝 레이저 거리 측정 시스템이 작동된다. 상기 제 1 세트의 일부 실시예에서, 상기 제 1 차원은 수평이고 제 2 차원은 수직이다.

[0011] 상기 제 1 세트의 일부 실시예에서, 상기 거리 게이트 서브셋 내의 복수의 연속적인 슬라이스에 대해 단계들이 반복된다.

[0012] 상기 제 1 세트의 일부 실시예에서, 상기 서브셋 제 1 차원 각도 빈(bin) 크기는, 제 2 차원 최소 각도에서 상기 성긴 제 1 차원 각도 해상도의 대략 절반이다.

[0013] 제 2 세트의 실시예에 있어서, 시스템은 레이저 소스, 스플리터, 전기 파형 발생기, 두 개의 변조기 및 프로세서를 포함한다. 상기 스플리터는 상기 레이저 소스로부터의 광 신호를 송신 경로 광 신호 및 기준 경로 광 신호로 분할하도록 구성된다. 상기 전기 파형 발생기는 프로세서로부터 수신된 데이터에 포함된 지정 시간에, 레이저 거리 측정을 위한 전기 파형을 생성하도록 구성된다. 제 1 광 변조기는 상기 전기 파형 발생기로부터의 제 1 출력에 기초하여, 상기 송신 경로 광 신호 상에 제 1 광 파형을 부과하도록 구성된다. 상이한 제 2 광 변조기는, 상기 전기 파형 발생기로부터의 제 2 출력에 기초하여 상기 기준 경로 광 신호 상에 제 2 광 파형을 부과하도록 구성된다. 상기 프로세서는 상기 전기 파형 발생기로부터의 상기 제 1 출력을 위한 제 1 시간 및 상기 전기 파형 발생기로부터의 상기 제 2 출력을 위한 제 2 시간을 나타내는 데이터를 전송하도록 구성된다.

[0014] 상기 제 2 세트의 일부 실시예에서, 상기 제 2 시간은 특성 거리를 측정하기 위해서, 상기 제 1 시간에 비해 유리한 지연 경로 지연 시간만큼 지연된다.

[0015] 다른 실시예에서, 시스템 또는 장치 또는 컴퓨터로 판독 가능한 매체는, 상술한 방법 중에서 하나 이상을 수행하도록 구성된다.

[0016] 또 다른 양태, 특징 및 이점은 본 발명을 수행하기 위해 고려된 최선의 모드를 포함하여, 다수의 특정 실시예 및 구현예를 설명하는 다음과 같은 상세한 설명으로부터 쉽게 알 수 있다. 또한, 다른 실시예는 또 다른 특징과 상이한 특징 및 이점을 가질 수 있으며, 실시예의 여러가지 세부 사항이 본 발명의 사상 및 범위를 벗어나지 않고 다양한 명백한 측면에서 변형될 수 있다. 따라서, 도면 및 설명은 본질적으로 예시적인 것으로 간주되어야 하며, 제한적이지는 않다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도면에서 유사한 참조 번호가 유사한 구성요소를 지칭하는 경우에, 실시예들은 첨부된 도면들에 한정되는 것이 아니라 예로서 도시된다.

도 1a는 일 실시예에 따른 예시적인 광 쳐프 거리 측정을 도시하는 그래프(110, 120, 130, 140)의 세트이다.

도 1b는 실시예에 따라, 거리를 나타내는, 디-처핑(de-chirping)으로 인한 비트 주파수의 예시적인 측정을 도시하는 그래프이다.

도 2a와 2b는 다양한 실시예들에 따른, 고해상도 LIDAR 시스템의 예시적인 구성요소를 나타내는 블록도이다.

도 3a는 일 실시예에 따른, 스캐닝 레이저 거리 측정 시스템을 이용하여 스캔한 예시적인 장면을 나타내는 이미지이다.

도 3b는 일 실시예에 따른, 도 3a의 장면의 수평 부분을 예시적으로 나타내는 이미지이다.

도 3c는 일 실시예에 따른, 도 3b에서 명백한 특징들(features)에 대한 거리들의 세트들을 예시적으로 나타낸 블록도이다.

도 3d는 일 실시예에 따른, 도 3c에서 도시된 특징들에 대한 성긴(coarse) 각도 스캔을 예시하는 블록도이다.

도 3e는 실시예에 따른, 도 3d에서 도시된 특징들에 대한 거리 게이트의 거리 블록 안에 있는 각도 스캔 공간에서 스캔된 거리의 연속적인 영역을 예시하는 블록도이다.

도 4는 일 실시예에 따른, 스캐닝 레이저 거리 측정 시스템을 이용하여 적응적으로 스캔한 예시적인 방법을 나

타내는 흐름도이다.

도 5는 일 실시예에 따른, 오버헤드 뷰(overhead view)와 각도가 있는 사시도(perspective view)에서의 후방산란된 리턴들에 대한 예시적인 거리를 나타내는 이미지이다.

도 6a는 일 실시예에 따른, 도 5의 각도가 있는 사시도에서 후방산란된 리턴들에 대한 거리별 거리 케이트를 예시하는 이미지이다.

도 6b 내지 도 6e는 일 실시예에 따른, 스캐닝 각도 공간에서의 마스크로서, 도 6a에서 예시된 네 개의 거리 케이트 각각에 대한 예시적인 리턴들의 위치를 도시한다.

도 7a와 7b는 일 실시예에 따른, 각각 상이한 특성 거리(또는 상이한 타겟 공간 해상도)별로, 도 6e에 도시된 거리 케이트의 일부분에서의 다수의 연속적인 수평 슬라이스들의 적응형 스캐닝 패턴 예를 나타내는 그래프이다.

도 8은 발명의 일 실시예를 구현할 수 있는 컴퓨터 시스템을 예시하는 블록도이다.

도 9는 발명의 실시예를 구현할 수 있는 칩셋을 예시하는 블록도이다.

도 10은 일 실시예에 따른, 장면의 성긴 각도 스캐닝에서 거리의 히스토그램을 예시하는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018]

레이저 거리 검출 시스템을 이용하여 적응형 스캐닝하는 방법과 장치와 시스템 및 컴퓨터 판독 가능한 매체가 기술된다. 이하의 설명에서, 설명의 목적으로, 본 발명의 완전한 이해를 제공하기 위해 다수의 특정한 세부 사항이 설명된다. 그러나, 당해 기술분야의 당업자에게는 본 발명이 이를 특정 세부 사항 없이 실시될 수 있음이 명백할 것이다. 다른 예들에서, 공지된 구조들 및 장치들은 본 발명을 불필요하게 모호하게 하는 것을 피하기 위해 블록도 형태로 도시된다.

[0019]

넓은 범위를 설명하는 수치 범위 및 파라미터는, 근사값임에도 불구하고, 특정 비제한적인 실시예에 기재된 수치는 가능한 한 정확하게 보고된다. 그러나 모든 수치는 본 명세서의 작성 당시의 각 테스트 측정에서 발견된 표준 편차에서 필연적으로 발생하는 특정 오류를 본질적으로 포함한다. 또한, 문맥으로부터 달리 명확한 경우가 아니라면, 본원에 제시된 수치는 최하위 숫자에 의해 주어진 암시적 정밀도를 갖는다. 따라서 값 1.1은 1.05에서 1.15까지의 값을 의미한다. 용어 "약"은 주어진 값을 중심으로보다 넓은 범위를 나타내기 위해 사용되며, 문맥에서 명확하지 않은 경우, "약 1.1"이 1.0 내지 1.2의 범위를 의미하는 바와 같이, 최하위 숫자 주위의 더 넓은 범위를 의미한다. 최하위 숫자가 명확하지 않은 경우 "약"이라는 용어는 2의 인수를 의미한다. 예를 들어 "약 X"는 0.5X에서 2X 범위의 값을 의미하고, 약 100은 50에서 200의 범위 내의 값을 의미한다. 또한, 본원에 개시된 모든 범위는 그 안에 포함되는 임의의 및 모든 하위 범위를 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 예를 들어, "10 미만"의 범위에는 최소값 0과 최대값 10 사이(및 이들을 포함한다)의 임의의 및 모든 하위 범위가 포함될 수 있다. 즉, 예를 들어 1에서 4와 같이, 0과 같거나 0보다 큰 최소값 그리고 10과 같거나 10보다 작은 최대값을 갖는 임의의 및 모든 하위 범위가 포함될 수 있다.

[0020]

본 발명의 몇몇 실시예는 선형 주파수 변조된 광 신호와 관련하여 후술하지만, 주파수 변조된 광 신호가 반드시 사용될 필요는 없다. 다른 실시예에서, 진폭 펄스 또는 위상 인코딩된 광 신호가 사용된다. 실시예들은 한정된 수평각 스위프(sweep)를 통한 정지된 스캐닝 레이저 스캐닝(stationary scanning laser scanning)과 관련하여 설명된다. 다른 실시예에서, 이동중인 레이저 거리 검출 시스템은 전체 360도 수평 각도 스위프를 포함하여 더 좁거나 더 넓은 수평 각도 스위프와 함께 사용된다. 많은 실시예에서, 수직 톱니형(vertical saw-tooth) 스캔 궤적에 관하여 설명된다. 그러나 다른 실시예에서, 수직적인 열-순서(vertical column-order) 스캔 궤적 또는 수평적인 행-순서(horizontal row-order) 스캔 궤적 또는 수평 톱니형 스캔 궤적, 또는 일부 조합이 사용된다. 예를 들어, 수직 톱니형 프로젝션(projection)은 수평 모션(저속)을 위한 회전 스테이지 및 수직 모션(고속)을 위한 검류계(galvanometer) 스캔 미러를 갖는 하드웨어 구성을 포함하는 실시예와 함께 사용된다. 다른 실시예는 2축 고속 스티어링 미러(2차원에서의 고속 스캐닝, 제한된 FOV) 또는 2축 팬 털트 유닛(2차원에서의 더욱 느린 모션, 거대한 FOV), 또는 일부 조합을 사용한다.

[0021]

1. 쳐프 탐지 개요(Chirped Detection Overview)

[0022]

도 1a는 일 실시예에 따른 예시적인 광 쳐프 거리 측정을 도시하는 그래프(110, 120, 130, 140)의 세트이다. 수평축(112)은 4개의 그래프 모두에 대해 동일하며 밀리 초(ms, $1\text{ms} = 10^{-3}\text{초}$)씩 임의의 단위로 시간을 나타낸다.

그래프(110)는 송신 광 신호로서 사용되는 광 빔의 전력을 나타낸다. 그래프(110)의 수직축(114)은 송신 신호의 전력을 임의의 단위로서 나타낸다. 트레이스(Trace)(116)는 시간 0에서 시작하여 제한된 펄스 지속 시간, τ 동안 전력이 공급되고 있음을 나타낸다. 그래프(120)는 송신 신호의 주파수를 나타낸다. 수직축(124)은 임의의 단위로 송신 주파수를 나타낸다. 트레이스(126)는 상기 펄스의 지속시간(τ)에 걸쳐 펄스의 주파수가 f_1 에서 f_2 로 증가함을 나타내고, 이에 따라 대역폭 $B = f_2 - f_1$ 을 갖는다. 주파수 변화율은 $(f_2 - f_1)/\tau$ 이다.

[0023] 리턴 신호는 그래프(130)로 도시되고, 그 그래프(130)는 시간을 나타내는 수평축(112) 및 그래프(120)에서와 같이 주파수를 나타내는 수직축(124)을 갖는다. 그래프(120)의 쳐프(126)가 또한 그래프(130) 상에 점선으로 도시되어 있다. 제 1 리턴 신호는 트레이스(136a)로 주어지고, 제 1 리턴 신호는 강도(도시되지 않음)가 감소되고 Δt 만큼 지연된 단지 송신 기준 신호이다. 리턴 신호가 2R의 거리를 커버한 후 외부 객체로부터 수신되면, 리턴 신호는 $2R/c$ 로 주어지는 지연된 시간 Δt 에서 시작한다. 여기서 R은 타겟까지의 거리(range)이고, c는 매체에서의 빛의 속도(약 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$)이다. 이 시간 동안 주파수는, 거리에 따른 양, 즉 주파수 변화율에 지연 시간을 곱하여 주어지면서 f_R 이라고 불려지는 양만큼 변경된다. 이것은 식 1a에 의해 주어진다.

$$f_R = (f_2 - f_1)/\tau * 2R/c = 2BR/c \tau \quad (1a)$$

[0025] f_R 의 값은 디-처핑(de-chirping)으로 지칭되는 시간 도메인이 혼합되는 동작에서, 송신된 신호(126)와 리턴된 신호(136a) 간의 주파수 차이에 의해 측정된다. 따라서, 거리 R은 수학식 1b로 표현된다.

$$R = f_R c \tau / 2B \quad (1b)$$

[0027] 물론, 리턴 신호가 펄스가 완전히 송신된 후 도착하면, 즉 $2R/c$ 가 τ 보다 큰 경우, 수학식 1a 및 1b는 유효하지 않다. 이 경우, 국부 발진기(local oscillator: LO)라고도 일컫는 상기 기준 신호는 알려진 또는 고정된 양만큼 지연되어, 리턴 신호가 기준 신호와 중첩되도록 한다. 기준 신호의 고정된 또는 알려진 지연 시간 Δt_{LO} 는 수학식 1b로부터 계산된 거리에 더해지는 추가 거리를 제공하기 위해 빛의 속도 c와 곱해진다. 매체(medium)에서 빛의 속도의 불확실성으로 인해 절대 거리가 벗어날 수는 있지만 이는 거의 일정한 오차이며 주파수 차이를 기반으로 한 상대적 거리는 여전히 매우 정확하다.

[0028] 어떤 상황에서는, 송신 광 빔에 의해 조명된 지점(spot)이, 반투명 객체의 전방 및 후방, 또는 LIDAR로부터 다양한 거리에 있는 객체의 더 가까운 부분과 더 면 부분, 또는 조명된 지점 내에서 두 개의 개별 객체와 같은 상이한 거리에서 2개 이상의 상이한 산란자를 만난다. 이러한 상황에서, 그래프(130)에 트레이스(136b)로 표시된 바와 같이, 제 2 감소된 강도 및 상이하게 지연된 신호가 또한 수신될 것이다. 이것은 수학식 1b를 사용하여 다른 거리를 제공하는 f_R 의 다른 측정 값을 갖게된다. 어떤 상황에서는, 여러 개의 리턴 신호가 수신된다.

[0029] 그래프(140)는 제 1 리턴 신호(136a)와 기준 쳐프(126) 사이의 차이 주파수 f_R 를 도시한다. 수평축(112)은 도 1a의 모든 다른 정렬된 그래프와 같이 시간을 나타낸다. 수직축(134)은 더 확대된 스케일로 주파수 차이를 나타낸다. 트레이스(Trace)(146)는 송신된 기준(reference) 또는 쳐프(chirp) 동안 측정된 일정한 주파수 f_R 를 나타내며, 수학식 1b에 의해 주어진 특정 거리를 나타낸다. 제 2 리턴 신호(136b)는, 존재한다면, 디-처핑 동안에 다른 더 큰 f_R (도시되지 않음) 값을 발생시킬 것이고, 결과적으로 수학식 1b를 사용하여 더 큰 거리를 산출하게 된다.

[0030] 디-처핑(de-chirping)을 위한 일반적인 방법은 기준 광 신호(reference optical signal)와 리턴 광 신호(returned optical signal)를 동일한 광 검출기로 향하게 하는 것이다. 검출기의 전기 출력은 검출기에서 수렴하는 두 신호의 주파수, 위상 및 진폭의 차이와 같거나 그것에 의존하는 비트 주파수에 의해 좌우된다. 이 전기적 출력 신호의 푸리에 변환은 비트 주파수에서 피크(peak)를 야기할 것이다. 이 비트 주파수는 테라헤르츠(THz, $1\text{THz} = 10^{12} \text{ 헤르츠}$)의 광 주파수 범위가 아닌 메가헤르츠(MHz, $1\text{MHz} = 10^6 \text{ Hz} = \text{초당 } 10^6 \text{ 사이클}$)의 무선 주파수(RF) 범위에 있다. 이러한 신호는 마이크로 프로세서 또는 특수 제작된 FFT(Fast Fourier Transform) 또는 기타 디지털 신호 처리(DSP) 집적 회로에서 실행되는 FFT 알고리즘과 같은 공통 및 저렴한 RF 구성요소로 쉽게 처리된다. 다른 실시예에서, 리턴 신호는 (국부 발진기로서 쳐프와 비교하여) 국부 발진기로서 동작하는 연속파(CW) 톤과 혼합된다. 이것은 그 자체가 쳐프인 검출 신호를 유발한다(또는 어떤 파형이 전송되었는지). 이 경우 탐지된 신호는 Kachelman 1990에 설명된 대로 디지털 영역에서 매칭 필터링(matched filtering)을 치르게 한다. 단점은 디지타이저(digitizer) 대역폭 요구 사항이 일반적으로 높다는 것이다. 코히런트(coherent) 검출

의 긍정적인 면은 다른 방식으로 유지된다.

[0031] 도 1b는 실시예에 따라, 거리를 나타내는, 디-처핑(de-chirping)으로 인한 비트 주파수의 예시적인 측정을 도시하는 그래프이다. 수평축(152)은 메가헤르츠 단위의 주파수를 나타낸다. 수직축은 송신 전력 밀도 I_T 에 대한 리턴 신호의 전력 밀도 I_R 을 데시벨(dB, 전력 dB = $20\log(I_R/I_T)$) 단위로 나타낸다. 트레이스(156)는 FFT 회로에 의해 생성되는 것과 같이 광 검출기에 의해 출력되는 전기 신호 출력의 푸리에 변환이며, Adany et al., 2009에 의해 공개된 데이터에 기초한다. 피크의 수평 위치는, 식 1b를 사용하여 거리를 나타내는 f_R 을 제공한다. 또한, 상기 피크의 다른 특성은 리턴 신호를 설명하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, 피크에서의 전력 값은, 트레이스(156)의 최대값에 의해 특징지어지거나, 또는 더 일반적으로, 피크 값(도 1b의 약 -31dB)과 피크의 솔더(Shoulders)에서의 잡음 플로어(도 1b에서 약 -50dB) 사이의 차이(157)(도 1b의 약 19dB)에 의해 특징지어진다; 그리고 피크의 폭은 반값 전폭(FWHM)에서 주파수 폭(158)(도 1b에서 약 0.08 MHz)에 의해 특징지어진다. 여러 개의 식별 가능한 리턴이 있는 경우, 광 검출기의 전기적 출력의 FFT에서 복수의 피크가 존재할 수 있고, 복수의 상이한 전력 레벨과 폭을 가질 수 있다. 일부 방법을 사용하여 트레이스에서 피크를 자동으로 식별하고 위치, 높이 및 폭에 의해 이러한 피크들을 특징지을 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예에서, 매사추세츠의 나틱(Natick)에서 제공되는 매스웍스(MATHWORKS™)의 매틀랩(MTLAB™)으로부터 이용 가능한 매틀랩-신호 처리 툴박스(MATLAB-Signal Processing Toolbox)에 의한 FFTW 또는 피크 검출이 사용된다. 또한, 캘리포니아주 산타 클라라의 엔비디아(NVIDIA™)로부터 이용 가능한 쿠다(CUDA™)에서의 FFTW 및 맞춤 피크 탐지(CUDA and custom peak detection)에 기반한 실행을 사용할 수도 있다. 맞춤형 구현은 FPGA(Field Programmable Gate Array)로 프로그래밍된다. 일반적으로 사용되는 알고리즘은, 피크의 위치를 정확하게 결정하기 위해, 임계 거리 프로파일을 지정하고, 질량 중심 알고리즘, 피크 피팅 알고리즘(3-포인트 가우시안 피팅), 또는 일부 기능(예, 가우시안)에 대한 피크의 비선형 피팅을 실행하는 것이다.

[0032] 도 1b는 실시예에 따라, 거리를 나타내는, 디-처핑(de-chirping)으로 인한 비트 주파수의 예시적인 측정을 도시하는 그래프이다. 수평축(152)은 메가헤르츠 단위의 주파수를 나타낸다. 수직축은 송신 전력 밀도 I_T 에 대한 리턴 신호의 전력 밀도 I_R 을 데시벨(dB, 전력 dB = $20\log(I_R/I_T)$) 단위로 나타낸다. 트레이스(156)는 FFT 회로에 의해 생성되는 것과 같이 광 검출기에 의해 출력되는 전기 신호 출력의 푸리에 변환이며, Adany et al., 2009에 의해 공개된 데이터에 기초한다. 피크의 수평 위치는, 식 1b를 사용하여 거리를 나타내는 f_R 을 제공한다. 또한, 상기 피크의 다른 특성은 리턴 신호를 설명하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, 피크에서의 전력 값은, 트레이스(156)의 최대값에 의해 특징지어지거나, 또는 더 일반적으로, 피크 값(도 1b의 약 -31dB)과 피크의 솔더(Shoulders)에서의 잡음 플로어(도 1b에서 약 -50dB) 사이의 차이(157)(도 1b의 약 19dB)에 의해 특징지어진다; 그리고 피크의 폭은 반값 전폭(FWHM)에서 주파수 폭(158)(도 1b에서 약 0.08 MHz)에 의해 특징지어진다. 여러 개의 식별 가능한 리턴이 있는 경우, 광 검출기의 전기적 출력의 FFT에서 복수의 피크가 존재할 수 있고, 복수의 상이한 전력 레벨과 폭을 가질 수 있다. 일부 방법을 사용하여 트레이스에서 피크를 자동으로 식별하고 위치, 높이 및 폭에 의해 이러한 피크들을 특징지을 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예에서, 매사추세츠의 나틱(Natick)에서 제공되는 매스웍스(MATHWORKS™)의 매틀랩(MTLAB™)으로부터 이용 가능한 매틀랩-신호 처리 툴박스(MATLAB-Signal Processing Toolbox)에 의한 FFTW 또는 피크 검출이 사용된다. 또한, 캘리포니아주 산타 클라라의 엔비디아(NVIDIA™)로부터 이용 가능한 쿠다(CUDA™)에서의 FFTW 및 맞춤 피크 탐지(CUDA and custom peak detection)에 기반한 실행을 사용할 수도 있다. 맞춤형 구현은 FPGA(Field Programmable Gate Array)로 프로그래밍된다. 일반적으로 사용되는 알고리즘은, 피크의 위치를 정확하게 결정하기 위해, 임계 거리 프로파일을 지정하고, 질량 중심 알고리즘, 피크 피팅 알고리즘(3-포인트 가우시안 피팅), 또는 일부 기능(예, 가우시안)에 대한 피크의 비선형 피팅을 실행하는 것이다.

[0033] 움직이는 LIDAR 시스템의 다른 각도, 또는 변환된 위치에서, 펄스 레이트(PR: Pulse rate)가 $1/(\tau+ti)$ 가 되도록, ti 의 중간 후에 다른 펄스를 사용하여, 새로운 독립적인 측정이 이루어진다. 프레임은 거리의 2차원 이미지이고 이미지의 각 픽셀은 송신된 빔에 의해 보여지는 객체의 다른 부분까지의 거리를 나타낸다. 1000 개의 수평 각에서 1000 개의 수직각으로 전송된 신호로부터 조립된 프레임의 경우, 상기 프레임은 10^6 픽셀을 포함하고 프레임 레이트(FR: Frame Rate)는 펄스 속도의 10^{-6} , 예를 들어, $10^{-6}/(\tau + ti)$ 이다.

2. 쳐프 검출 하드웨어 개요(Chirped Detection Hardware Overview)

[0035]

거리 검출 접근법이 어떻게 구현되는지 설명하기 위해, 몇 가지 일반적인 하드웨어 접근법이 개시된다. 도 2a와 2b는 다양한 실시예들에 따른, 고해상도 LIDAR 시스템의 예시적인 구성요소를 나타내는 블록도이다. 도 2a에서, 레이저 소스(laser source)(212)는 RF 파형 발생기(215)의 입력에 기반한 변조기(214)에, 진폭, 주파수, 위상 변조 또는 이들의 조합인 반송파(carrier wave)(201)를 방출하여, 대역폭 B와 지속시간 τ 인 펄스를 가지는 광 신호(203)를 생성한다. 일부 실시예에서, RF 파형 발생기(215)는 프로세싱 시스템(250)의 명령으로 제어되는 소프트웨어이다. 스플리터(216)는 변조된 광 파형을, 상기 광 신호(203)의 대부분의 에너지를 가지는 송신 신호(205)와, 타겟(도면에 도시되지 않음)으로부터 산란된 리턴 광(291)에 대한 양호한 혜테로다인(heterodyne) 또는 호모다인(homodyne)을 생성하기에 충분하지만 훨씬 적은 에너지량을 갖는 기준 신호(207)로 분리된다. 일부 실시예에서, 송신 빔은 스캐닝 광학계(218)를 사용하여 해당 경로 내의 임의의 객체를 프로파일링하기 위해 복수의 각도로 스캔된다. 기준 신호는 산란 광과 함께 검출기 어레이(230)에 도달할 수 있을 정도로, 기준 경로(220)에서 충분하게 지연된다. 일부 실시예에서, 스플리터(216)는 변조기(214)의 업스트림(upstream)이고, 기준 빔(207)은 변조되지 않는다. 일부 실시예에서, 상기 기준 신호는 새로운 레이저(도면에 도시되지 않음)를 사용하여 독립적으로 생성되며, 상기 기준 경로(220)에서 별도의 변조기(도면에 도시되지 않음)와 RF 파형 발생기(215)로부터 생성되는 RF 파형을 사용하여 별도로 변조된다. 도 2b를 참조하여 후술하는 바와 같이 일부 실시예에서, 단일 레이저 소스(212)의 출력이 기준 경로(220)에서 독립적으로 변조된다. 덜 유연한 접근에서부터 더 유연한 접근까지의 다양한 실시예에서, 기준(reference)은 다음과 같이 산란되거나 반사된 필드와 함께 도착하게 된다 : 1) 장면에 거울을 위치시켜 검출기 어레이에서 송신 빔의 일부를 반사시켜서 경로 길이가 잘 매칭되도록 한다; 2) 광섬유 지연을 사용하여 경로 길이와 가깝게 매칭시키고, 도 2a에 제안된 바와 같이, 특정 거리에 대해 관찰되거나 예상되는 위상차를 보상하기 위한 경로 길이 조정의 유무에 관계없이, 검출기 어레이 근처의 광학계로 기준 빔을 방송한다; 또는 3) 경로 길이 불일치를 보상하기 위해 별도의 변조를 생성하기 위해 주파수 쉬프트 장치(음향-광 변조기) 또는 국부 발진기 파형 변조의 시간 지연을 이용하는 것; 또는 도 2b를 참조하여 후술하여 상세하게 설명한 일부 조합. 일부 실시예에서, 타겟은 충분히 가깝고, 펄스 지속 시간은 리턴이 지연 없이 기준 신호와 충분히 겹치도록 충분히 길다. 일부 실시예에서, 상기 기준 신호(207b)는 하나 이상의 광 믹서(232)에서 광학적으로 상기 기준 신호(291)와 혼합된다. 다양한 실시예에서, 타겟의 다수의 부분은, 다수의 빔 및 다수의 리턴에 의해 조명된 타겟의 각각의 다수의 부분의 다수의 거리에 기초한 포인트 클라우드를 초래하는 각 스캔된 빔별로 검출기 어레이(230)로 각각의 리턴 광(291)을 산란한다.

[0036]

상기 검출기 어레이(230)는 타겟으로부터의 리턴 빔(291)에 대략 수직인 평면에 배치된 단일 또는 밸런스 페어 광 검출기(balanced pair optical detector) 또는 이러한 광 검출기의 1D 또는 2D 어레이이다. 인터페이스 패턴의 위상 또는 진폭, 또는 어떤 조합은, 펄스 지속 시간(τ) 동안 여러 번 각 검출기의 획득 시스템(240)에 의해 기록된다. 펄스 지속 시간당 시간 샘플(temporal samples)의 수는 다운-레인지(down-range)에 영향을 미친다. 이 수치는 종종 펄스 반복율과 사용 가능한 카메라 프레임 레이트를 기반으로 선택되는 실용적인 고려 사항이다. 프레임 레이트는 종종 "디지타이저 주파수(digitizer frequency)"라고 하는 샘플링 대역폭이다. 기본적으로 Y 거리 폭의 해상도 빙(bin)을 갖는 펄스 동안 X 개의 검출기 어레이 프레임이 수집되면, X*Y 거리 범위를 관찰할 수 있다. 획득된 데이터는 도 8을 참조하여 이하에서 설명되는 컴퓨터 시스템, 또는 도 9를 참조하여 이하에서 설명되는 칩셋과 같은 프로세싱 시스템(250)에 이용 가능하게 된다. 일부 실시예에서, 획득된 데이터는 타겟의 각각의 다수 부분의 다수의 거리에 기초한 포인트 클라우드이다.

[0037]

적응형 스캐닝 모듈(270)은 아래에서 보다 상세히 설명되는 바와 같이, 스캐닝 광학에 의한 비균일(non-uniform) 스캐닝이 스캔하는 특정 장면에 대해 바람직한지 여부를 판별한다. 예를 들어, 적응형 스캐닝 모듈(270)은 프레임을 구성하는데 가치가 있는 펄스들, 예를 들어, 수초 동안에 전송되는 수백만 개의 빔들이, 스캔되는 객체로부터 리턴들이 있는 방향들로 집중되고 관심이 없는 하늘 또는 가까운 지점이 있는 방향들은 피하도록, 장면의 다른 부분에 대해서 사용하는 스캔 각도와 해상도를 결정한다. 일부 실시예에서는 적응형 스캐닝 모듈(270)은 RF 파형 발생기(215)를 제어한다.

[0038]

도 2b는 소프트웨어 제어 지연을 기준 경로로 도입하여, 국부 발진기(L0) 신호라고도 불리는 기준 신호를 생성할 수 있는 대안적인 하드웨어 배치를 나타낸다. 레이저 소스(212), 스플리터(216), 송신 신호(205), 스캐닝 광학계(218), 광 믹서(232), 검출기 어레이(230), 획득 시스템(240) 및 프로세싱 시스템(250)은 도 2a를 참조하여 위에서 설명한 바와 같다. 도 2b에서 도시된 바와 같이, 발생기(generator)(215)의 RF 파형을 광 반송파로 부가하기 위하여, 송신 경로에 214a, 기준 경로에 214b의 참조부호를 가지는 두 개의 광학 변조기가 있다. 상기 스플리터(216)는 레이저 소스(212)와 변조기(214a, 214b) 사이에서 이동하고, 변조기(214a)로 영향을 주는 광 신호(283)와 수정된 기준 경로(282)의 변조기(214b)로 영향을 주는 저진폭 기준 경로 신호(287a)를 생성한다. 이

실시예에서, 빛(201)은 변조가 발생하기 전에 송신(TX) 경로 범(283)과 기준/국부 발진기(LO) 경로 범(287a)으로 분할되고, 각 경로에서 별도의 변조기가 사용된다. 듀얼 변조 방식을 사용하면, 두 경로 중 하나가 오프셋 시작 주파수 및/또는 오프셋 시작 시간에서 쳐프(chirps)로 프로그래밍될 수 있다. 이는 적응형 스캐닝 접근법이 다운-레인지(down-range) 차원에서 적응할 수 있게 하는데 사용될 수 있다. 각 거리 게이트에서 사용된 지연을 쉬프트함으로써, 상기 시스템은 다른 시스템 제한(검출기 및 디지타이저 대역폭, 측정 시간 등)에도 불구하고 모호하지 않게 고해상도를 측정할 수 있다. 따라서, 일부 실시예에서, 개정된 적응형 스캐닝 모듈(278)은 후술하는 적응형 스캐닝에 의해서 생성되는 각 거리 게이트에 대해서, 적절한 지연 시간을 부과하도록 RF 파형 생성기를 제어한다. 그런 다음, 소프트웨어로 제어된 지연 기준 신호(287b)는 전술한 바와 같이 리턴 신호(291)와 혼합된다. 다른 실시예들에서, LO 기준 경로(282)의 소프트웨어로 제어된 지연은, 상기 시스템(280)이 쳐프 도플러 보상에 대한 거리 지연 효과를 얻을 수 있게 한다.

[0039] 예를 들어, 일부 쳐프(chirp) 실시예에서, 사용된 레이저는 레이저를 구동하는 전류에 적용되는 변조로 능동적으로 선형화된다. 실험은 또한 변조를 제공하는 전기 광학 변조기를 통해 수행되었다. 시스템은 다양한 실시예에 대해 이하에서 보다 상세히 설명되는 바와 같이, 원하는 다운-레인지 해상도에 적합한 대역폭(B) 및 지속 시간(τ)의 쳐프를 생성하도록 구성된다. 이 기술은 10 MHz ~ 5 THz의 쳐프 대역폭에서 작동한다. 그러나, 3D 이미징 애플리케이션에서, 전형적인 범위는 약 300 MHz 내지 약 20 GHz의 쳐프 대역폭, 약 250 나노 초(ns, ns = 10^{-9} 초) 내지 약 1 밀리 초(ms, 1ms = 10^{-3} 초)의 쳐프 지속 시간, 약 0 미터 내지 약 20 킬로미터(km, 1 km = 10^3 미터)의 타겟까지의 거리, 약 3 밀리미터(mm, 1 mm = 10^{-3} 미터) 내지 약 1 미터(m)의 타겟에서의 지점 크기, 약 7.5 mm 내지 약 0.5m의 타겟에서의 깊이 해상도이다. 일부 실시예들에서, 타겟은 400 미터(m)와 같은 최소 거리를 갖는다. 이러한 조건 하에서 거리 윈도우를 수 킬로미터까지 확장할 수 있다. 프로세스, 장비 및 데이터 구조가 설명을 목적으로 특정한 배열로 도 2a와 도 2b에 필수 블록들로 도시되어 있지만, 다른 실시예들에서, 하나 또는 그 이상의 프로세스 또는 데이터 구조, 또는 그 일부분이 상이한 방식으로, 동일한 호스트 또는 다른 호스트 상에, 하나 또는 그 이상의 데이터베이스로 배열되거나, 생략되거나, 또는 하나 또는 그 이상의 다른 프로세스 또는 데이터 구조가 동일하거나 다른 호스트에 포함된다. 예를 들어, 스플리터(216) 및 기준 경로(220)는 0 개 또는 그 이상의 광 커플러를 포함한다.

3. 적응형 스캐닝 개요(Adaptive Scanning Overview)

[0041] 도 3a는 일 실시예에 따른, 스캐닝 레이저 거리 측정 시스템을 가지고 스캔한 예시적인 장면을 나타내는 이미지이다. 이 이미지는 약 10 센티미터 거리 해상도(예를 들어, 5 내지 20cm)로 약 1 킬로미터(예를 들어, 0.5 내지 2km)까지의 거리로 구성된 스캐닝 3D 레이저 거리 측정 시스템의 최대 수평 및 수직 각도 해상도(angular resolution)를 사용하여 생성되었다. 도 3b는 일 실시예에 따른, 적응적으로 스캔한 도 3a의 장면의 수평 부분을 예시적으로 나타내는 이미지이다. 정지한 LIDAR 시스템으로부터 보여지는 상대적인 단위에 있어서, 수평적 차원(horizontal dimension)은 수평 각도를 나타내고 수직적 차원(vertical dimension)은 수직 각도를 나타낸다. 적응형 스캐닝은 타겟 공간 해상도를 얻을 수 있는 더 먼 거리의 타겟에 대해서만 고각(high angular) 해상도 샘플링을 사용하고, 보다 낮은 각도 해상도로 상기 타겟 공간 해상도를 제공하기에 충분한 근접 객체에 대해서는 저각(lower angular) 해상도 샘플링을 사용함으로써, 리턴이 없는 각도에서의 측정을 방지하여 원하는 거리 측정(ranging)에 대한 정보 수집을 가속화하기 위해 수행된다.

[0042] 도 3c에서 적응형 스캐닝의 장점이 도시된다. 도 3c는 일 실시예에 따른, 도 3b에서 명백한 특징들(features)에 대한 거리들의 세트들을 예시적으로 나타낸 블록도이다. 도 3c는 샘플링 각도 공간을 나타낸다. 영역(310)에서, 리턴이 없고 각도 공간의 이 영역을 스캔하지 않는 것이 바람직하다. 영역(320)에는 관심이 거의 없는 시스템 바로 앞에 지반(ground)만이 존재한다(예를 들어, 그 영역은 잘 이해되거나 특별한 관심이 없는 작은 형상만을 포함한다). 각도 공간의 이 영역도 스캔하지 않는 것이 바람직하다. 떨어져 있는 돔형 구조는 각도 공간의 영역(332)을 점유하고, 상기 돔 전면의 구조물은 각도 공간의 영역(330)을 점유하며, 이를 전면의 벽 또는 펜스는 각도 공간의 영역(328)을 점유하고, 보다 가까운 구조와 기둥은 각도 공간의 영역(322)을 점유한다. 관심이 없는 영역(320)과 영역(330)의 구조물들 사이에서, 지형은 각도 공간에서 영역 321, 323, 325 및 327로 표시된 거리가 증가하는 것으로 명백하게 나타난다. 적어도 타겟 공간 해상도(s), 즉 10 센티미터를 갖는 장면 형상을 식별하기 위해, 사용되는 각도 해상도($\Delta\theta$)는, 객체에 대한 거리(R)의 함수로서, 수학식 2a와 같이 주어진다.

$$\Delta\theta = \arctan(s/R) \quad (2a)$$

[0044] 비율 s/R 의 작은 값인 경우, $\Delta\theta \approx s/R$ 이다. 대부분의 경우, s 는 R 보다 훨씬 작고, 많은 실시예에서 처리 속도를

높이기 위해 근사치인 $\Delta\Theta = s/R$ 이 사용된다. 근거리 Rnear에서 원거리 Rfar까지의 거리 간격에 있는 모든 객체에 대해 적어도 타겟 공간 해상도(s) 또는 그 이상을 달성하기 위해, 수학식 2a를 이용하여 상기 원거리 거리에 대한 수학식 2b를 얻을 수 있다.

$$\Delta\Theta = \arctan(s/Rfar) \quad (2b)$$

[0046] 작은 각도 근사치가 유효한 경우, 수학식 2b는 수학식 2c로 감소한다.

$$\Delta\Theta = s/Rfar \quad (2c)$$

[0048] 물론, 임의로 주어진 레이저 거리 측정 시스템은 개별 광학 빔의 최소 각도 폭을 가지고, 각도 빔 폭보다 훨씬 작은 각도 해상도가 실질적으로 정의될 수는 없다. 따라서 몇몇의 큰 거리에서 타겟 공간 해상도(s)가 달성되지 않을 수도 있다. 다음 설명의 단순화를 위해, 계산된 $\Delta\Theta$ 는 항상 빔 각도 폭보다 크다고 가정한다.

[0049] 수학식 2a 내지 2c는 장면에서 다양한 객체까지의 거리가 알려져 있음을 의미한다. 다양한 실시예에 따르면, 장면과 관련된 거리는 제 1 패스(pass), 성긴 정도(coarse), 각도 해상도에 의해 결정된다. 장면에서 거리가 다른 차원 보다 1 차원에서 더 확장하거나, 장치가 다른 차원과 비교하여 1 차원에서 더 큰 제어를 갖는 것은 일반적이다. 따라서, 일부 실시예에서, 성긴 수평적 각도 해상도는 성긴 수직적 각도 해상도와 상이하다. 도 3d는 일 실시예에 따른, 도 3c에서 도시된 특징들에 대한 성긴 각도 스캔ニング을 예시하는 블록도이다. 수평축(342)은 수평 각(방위각이라고도 함)을 나타내고, 수직축은 수직각(고도라고도 함)을 나타낸다. 수직 톱니형(saw-tooth) 스캔 궤적은 점선(346)으로 표시된다. 예시된 도면의 목적을 고려하면, 경로가 왼쪽 하단에서부터 오른쪽 상단까지 스캐닝 광학이 진행된 것으로 가정한다. 상기 스캔 궤적(346)은 A_{HR} 로 표시된 수평적 반복 분리 각도(347)를 갖는 수직 톱니 패턴이다. 상기 스캔 궤적(346)은 스캐닝 LIDAR 거리 측정 시스템에 의해 수행될 수 있는 가장 조밀한(finest) 수평 스캔ニング과 비교하여 수평으로 넓게 이격되어 있다. 또한, 거리 측정치는 성긴(corse) 수직 샘플링 해상도에서 경로(346)를 따라 획득된다. 따라서, 스캔 궤적(346)에 따른 측정치는 타겟 프레임 레이트(frame rate)와 비교하여 짧은 시간에 획득될 수 있다. 수평 해상도는 가변적이지만 수평 반복 분리(A_{HR})마다 두 개의 샘플로 특징지을 수 있다. 이에 따라, 평균 수평 해상도는 $A_{HR}/2$ 이다. 다른 실시예에서, 행-순서(row-order) 또는 열-순서(column-order)에 따른 스캔 궤적이, 수평 샘플 분리 및 수직 샘플 분리 모두에서 스캔 동안 고정되어 사용된다. 이러한 실시예들 중 일부에서, 상기 수평 및 수직 분리 모두가 $\Delta\Theta$ 로 설정된다.

[0050] 성긴 스캔ニング을 수행한 결과, a 가 수평(방위각) 스캔 각도이고 ε 는 수직(고도) 스캔 각도일 때의 다양한 거리 $R(a, \varepsilon)$ 는, 성긴 최소 수평 각도(a_{min})부터 성긴 최대 수평 각도(a_{max})까지의 모든 수평 각도 그리고 성긴 최소 수직 각도(ε_{min})부터 성긴 최대 수직 각도(ε_{max})에 대해 구해질 수 있으며, 포인트 클라이드를 형성할 수 있다. 영역(320)의 거리는 제외된다. 남아있는 거리는 거리 게이트라고 불리는 복수의 거리 구간으로 분할되고, 각 거리 게이트는 서로 다른 비중첩(non-overlapping) Rnear 및 Rfar에 의해 주어진 서로 다른 비중첩 간격에 의해 정의된다. 거리 $R(a, \varepsilon)$ 가 거리 게이트 번호 n 을 가지는 멤버인 경우, N 개의 거리 게이트 중 지정된 RGn 세트는 수학식 3을 만족한다.

$$R_{near_n} < RGn < R_{far_n} \quad (3)$$

[0052] R_{near_n} 값은 거리 $R(a, \varepsilon)$ 및 관련 각도 좌표(a, ε)를 하나의 거리 게이트 세트에 할당하기 위한 게이트로서 사용될 수 있으며, 다음과 같은 명령어를 사용할 수 있다.

[0053] For $a = a_{min}$ to a_{max} , $\varepsilon = \varepsilon_{min}$ to ε_{max}

[0054] n=0

[0055] for i =1 to N, if $R(a, \varepsilon) > R_{near_i}$, then n = i

[0056] add $R(a, \varepsilon)$ to set RGn

[0057] 거리 게이트 세트에서 모든 각도 좌표(a, ε)로 구성된 각도 공간의 각 부분은, 상기 거리 게이트 중 하나와 관련될 수 있다. 각 거리 게이트와 관련된 영역은 거리 게이트 영역이라고 불린다. 도 3e는 실시예에 따른, 도 3d에서 도시된 특징들에 대한 거리 게이트의 거리 블록 안에 있는 각도 스캔 공간에서 스캔된 거리의 연속적인 영역을 예시하는 블록도이다. 영역(356a)은 가까운 건물과 기둥 영역(322)를 포함하는 RG1으로 할당된다. 영역(356b)은 RG2로 할당되며, 영역(356c)은 벽 구조물 영역(328)을 포함하는 RG3으로 할당되고, 영역(356d)은 RG4로 할당되며, 영역(356e)은 건물 영역(330)을 포함하는 RG5로 할당되며, 영역(356f)는 둘 구조(332)를 포함하는

RG6으로 할당된다.

[0058] 다양한 실시예에서, 수평 또는 수직 해상도 또는 두 해상도가, 각 거리 게이트 n 과 연관된 각도 공간 영역에서 조정되어, 수학식 2b 또는 수학식 2c를 만족시킨다. 여기서, R_{far} 는 R_{far_n} 에 의해 주어진다. 일부 실시예에서, 각각의 거리 게이트 영역은, 성진 샘플링에 기초하여, 각 수평 각도에 대한 최소 수직 각도 및 각 수평 각도에 대한 최대 수직 각도에 따라 윤곽이 잡힌다. 상기 최소 수직 각도 및 상기 최대 수직 각도 각각은 타겟 수평 각도 간격 (R_{far} 이 R_{far_n} 에 의해 주어진 경우, 수학식 2b에 따른 간격)으로 보간된다. 그런 다음, 각 거리 게이트 영역은 R_{far} 가 R_{far_n} 에 의해 주어진 경우, 수학식 2b에 따라 확인되는 수평 및 수직 각도 해상도를 사용하여 텁니형 스캐닝 패턴 (또는 다른 스캐닝 패턴)으로 개별적으로 스캔된다. 스캐닝 패턴은 또한 스캔 궤적이라고도 한다.

[0059] 도 4는 일 실시예에 따른, 스캐닝 레이저 거리 측정 시스템을 이용하여 적응적으로 스캔한 예시적인 방법을 나타내는 흐름도이다. 실시예의 목적을 달성하기 위해 도 4에서 단계들이 특정 순서를 가지는 숫자 부호의 단계로서 도시되었지만, 다른 실시예에서는 하나 이상의 단계 또는 그 일부가, 상이한 순서로 수행되거나 시간적으로 중첩되거나 직렬 또는 병렬로 수행되거나 생략될 수 있으며, 또는 하나 이상의 추가 단계가 추가되거나 방법이 일부 조합으로 변경될 수 있다.

[0060] 401 단계에서, 타겟 공간 해상도(s)가 결정된다. 임의의 방법이 사용할 수 있다. 이것은 사용자에 의해 수동으로 입력되거나, 컴퓨터 판독 가능 매체의 저장 장치로부터 검색되거나, 요청되지 않거나 질의에 응답하여 로컬 또는 원격 데이터베이스 또는 서버로부터 수신될 수 있다. 일부 실시예에서, 관심 대상인 객체(Os)의 크기 범위가 입력되고, 타겟 공간 해상도(s)는 표시된 객체 크기(Os)의 $1/100$ 또는 $1/1000$ 과 같은 미리 결정되거나 지정된 비율에 기초하여 결정된다. 일부 실시예 따르면 401 단계에서, 이러한 객체를 검출하기 위하여, 최대 거리 (R_{max})가 또한 상기 방법 중 하나 이상을 사용하여 결정된다. 일부 실시예에서, 상기 방법들 중 임의의 것을 사용하여 성진 각도 해상도가 또한 제공된다. 일부 실시예에서, 상기 성진 각도 해상도는 하나 이상의 다른 입력에 기초하여 결정된다. 예를 들어, 원하는 타겟 공간 해상도가 s 이고 가장 큰 관심 거리가 R_{max} 인 경우, 가장 조밀한 각도 해상도($\Delta\Theta_{best}$)는 R 을 R_{max} 로 대체한 수학식 2a를 통해서 확인된다. 이 경우, 성진 각도 해상도는 이 가장 조밀한 해상도의 배수($\Delta\Theta_{best}$)이다. 이러한 성진 스캔을 프레임 레이트와 비교하여 짧은 시간 내에 완료하기 위해, 상기 배수는 큰값이 된다. 예를 들어, 가장 조밀한 해상도의 약 10 배에서 약 100 배까지의 범위이다(고 해상도 프레임의 100분의 1에서 1만분의 1 이내로 성진 프레임을 완성). 지정된 공간 해상도는 애플리케이션에 의존될 것이다(예를 들면, 측량에는 3D 형상 탐지를 위한 상이한 요구 사항이 있을 수 있다). 다양한 실험적인 실시예에서, 타겟상의 10cm가 실험적인 이미저(imager)에 대해서 다소 큰 최종 해상도를 되는 것으로 고려되면, 타겟상의 공간 해상도는 약 1cm 이상이다. 성진 스캔 해상도에서 사용되는 배수는 타겟의 조밀한 해상도의 약 10 배에서 약 25 배 사이이다. 상기 성진 스캔은 여전히 전체 스캔 시간의 일부일 수 있지만 적응형 스캔 패턴 생성에 유익한 정보를 제공한다.

[0061] 403 단계에서, 장면의 일반적인 3D 특성을 획득하기 위해, 원하는 최종 스캔 각도 해상도보다 훨씬 덜 조밀한 공간 샘플링을 통해 성진 해상도 이미지 스캔을 수행한다. 이러한 성진 스캔의 결과는 성진 3차원(3D) 포인트 클라우드이며, 상기 클라우드에서의 각 포인트는 레이저 후방산란 표면에서 조명된 지점의 3D 좌표의 위치를 나타낸다. 상기 3D 좌표는 거리 측정 시스템으로부터의 방위각(α), 고도(ϵ) 및 거리(R)과 같은 극 좌표계, 또는 x 수평 위치(예를 들어, 어떤 기준점 예를 들어, 측량 시스템의 위치로부터의 북쪽 거리), y 수평 위치(예를 들어, 상기 기준점에서 동쪽으로의 거리) 및 z(예를 들어, 수평면 위의 고도)와 같은 직교 좌표일 수 있다.

[0062] 405 단계에서, 성진 포인트 클라우드는 예를 들어 상기 수학식 3과 수학식 3 바로 뒤에 나타내는 의사 코드를 이용하여, 거리 좌표에 따라 거리 게이트들로 세분화된다. 세분화는 N 개의 R_{near_n} 고정값으로 또는 1 내지 N 개의 R_{near_n} 의 계산된 값에 기반하여 하드 코딩될 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예에서, 5번째 및 99번째 백분위 수 거리, R_5 및 R_{99} 각각은 성진 3D 포인트 클라우드에서 거리 분포로부터 결정된다. 그리고 거리 게이트의 개수 N 은 99번째 백분위수 거리와 5번째 백분위수 거리 간의 차이 및 관심 객체의 크기에 기초하여 결정된다(예를 들어, $N = \text{모듈러스} (.R_{99}-R_5, M * Os)$). 여기서, Os 는 관심 객체의 크기이고, M 은 $M=4$ 와 같이 1보다 큰 배수이다. 이러한 적응형 예로서, N 개의 거리 게이트는 R_5 와 R_{99} 사이에 고르게 분포된다. 일부 실시예에서, 405 단계는 거리 게이트를 결정하기 전에, 획득된 성진 포인트 클라우드 데이터의 테카르트 표현(Cartesian representation)을 LIDAR 거리 측정 시스템에 대한 구 좌표(spherical coordinates)로 변환하는 단계를 포함한다. 다른 실시예에서, N 개의 거리 게이트를 결정하는 단계는, 거리의 함수로서 포인트 밀도의 기본적인 데이터 분석을 통해서

이루어진다. 예를 들어, 적응형 데이터 분석은, 최소 포인트 개수가 존재하는 밀도 분포의 거리들에 거리 게이트들을 배치하였다. 이는 거리 게이트 "경계(seams)"가 시스템에 보이는 객체들의 밀도가 최소인 곳에 배치되도록 수행되었다.

[0063] 411 단계에서, 포인트들의 각 거리 게이팅된 세트(RGn)에 대해, 개선된 장면 샘플링을 위한 적응형 스캔 케적이 결정된다. 세트(RGn)에서의 모든 객체가 타겟 공간 해상도(s)로 분별되거나 타겟 공간 해상도(s)에 가깝게 분별되도록, Rfar 대신에 거리 게이트의 특성 거리(characteristic range)가 수학식 2b 또는 식 2c에 적용되어, 수직 및 수평 스캔 속성에 대한 각도 해상도를 결정한다. 예를 들어, 거리 게이트 내의 모든 객체가 최소한 타겟 공간 해상도(s)에서 샘플링되도록 하기 위해서는, 특성 거리가 $Rfar_n$ 으로 수학식 2b 또는 수학식 2c에 적용된다. 일부 실시예에서, 톱니형 패턴의 수평 반복 분리 각도(A_{HR})가 각도 해상도($\Delta\theta$)로 설정되어 최악의 수평 해상도는 $\Delta\theta$ 가 되며, 평균 수평 해상도는 $\Delta\theta/2$ 에서 훨씬 우수해진다. 일부 실시예들에서, 평균 공간 해상도(s)가 허용 가능한 경우, 평균 수평 해상도는 $\Delta\theta$ 이기 때문에, A_{HR} 은 $2\Delta\theta$ 로 설정된다. 그러나, 다른 실시예에서는, $Rnear_n$ 과 $Rfar_n$ 사이의 중간에 정의되는 중간 거리($Rmid_n$)와 같은 다른 특성 거리가 사용된다. 따라서, 적응형 스캔 케적은 각도 공간의 거리 게이트 영역에 있어서, 모든 수평 각도에서의 최소 수직 각도와 최대 수직 각도 사이에서 결정된다.

[0064] 일부 실시예에서, 국부 발진기에 대한 지연시간(Δt_{L0n})이, n번째 거리 게이트(RGn)의 거리 게이트 거리($RGRn$)를 사용하여 거리 게이트 n에 대한 각 거리 게이트 샘플링 케적에 대해 결정되며, 예를 들어 $RGRn$ 은 수학식 4에 따라 위에서 정의한 특성 거리 또는 $Rnear_n$ 함수와 동일하다.

$$\Delta t_{L0n} = RGRn / c \quad (4)$$

[0066] 421 단계에서, 각 거리 게이트에 대응하는 각 적응형 스캔 패턴에 기초한 스캐닝 광학계에 대한 명령이, 거리 측정 시스템 또는 상기 시스템 내에 있는 스캐닝 광학계로 전달되어, 상기 적응형 수평 각도 해상도와 적응형 수직 각도 해상도에서 상기 적응형 스캔 케적을 따라 거리 측정치를 획득하도록 상기 스캐닝 레이저 거리 측정 시스템을 작동시킨다. 일부 실시예에서, 421 단계는 현재 거리 게이트 또는 N 이상의 상이한 거리 게이트에 대해서 수학식 4로부터 계산한 지연시간(Δt_{L0n})을 나타내는 데이터를 송신하는 단계를 포함한다. 이러한 실시예들 중 일부에서, 거리 측정 시스템은 도 2b의 RF 과형 발생기(215a) 및 변조기(214b)를 사용하여 레이저 광을 변조하여 상기 계산된 지연시간(Δt_{L0n})을 부과한다.

[0067] 431 단계에서, 각도 공간의 모든 거리 게이트 영역에 대해 순차적인 적응형 스캔하여 획득한 포인트 클라이드의 결과적인 세트는, 모든 스캔 공간에서 타겟 공간 해상도(s)를 보전하는 최종적인 3D 데이터 제품으로 구성되도록 조립된다. 동시에, 적응형 스캔은 리턴이 없는 각도 공간 또는 거리 측정 시스템과 너무 가깝거나, 이들의 일부가 조합된 각도 공간을 스캔하는 것을 방지한다. 441 단계에서, 디바이스는 최종 3D 데이터 제품에 기초하여 작동된다. 일부 실시예에서는 디스플레이 디바이스에 상기 3D 데이터 제품을 나타내는 이미지를 표시하는 것을 포함한다. 일부 실시예에서는, 3D 데이터 제품의 포인트 클라우드에 기초하여 적어도 하나의 객체를 식별하는 데이터를 디바이스로 전달하는 것을 포함한다. 일부 실시예에서는, 식별된 객체로 접근하거나 충돌을 피하기 위해 차량을 이동하거나, 식별된 객체에 포(ordinance)를 겨냥하기 위해 무기 시스템을 작동하는 것을 포함한다.

4. 예시적인 실시예들(Example Embodiments)

[0068] 주파수 변조 연속파(FMCW: frequency modulated continuous wave) 쳐프 LIDAR 거리 측정 시스템에서, 거리 윈도우는 쳐프 대역폭, 디지타이저 대역폭 및 펄스 반복 주파수(PRF: pulse repetition frequency)의 조합에 의해 제어된다. 따라서, 기본적인 FMCW 시스템은 더 큰 PRF 및 대역폭에 대해서 거리가 제한될 것이다. 이것은 시스템이 거리 데이터를 신속하고 먼 거리로 수집하는 능력을 제한한다. 이러한 제한은 소프트웨어로 프로그래밍 가능한 거리 지연에 영향을 주는 국부 발진기(L0)상에서 분리된 변조기들과 쳐프 과형의 송신기/리턴 신호 경로를 고려함으로써(예를 들어, 도 2b에 도시된 바와 같이, 기준 경로(282)에서 분리된 변조기(214b)와 함께 RF 과형 생성기(215)를 사용함으로써) 극복되었다. 상기 L0 과형의 시간 지연은 주어진 거리 지연에 대한 거리 주파수 대역폭(B)를 감소시켜 검출기/디지타이저 시스템의 대역 안에 있게 할 수 있다. 이러한 개념은 0이 아닌 거리 지연에서 거리 윈도우 내의 신속한 거리 데이터 수집을 가능하게 한다. 이는 예컨대 상이한 거리 게이트의 스캔 케적에 대해 상이한 기준 경로 지연을 사용하여, 관심있는 볼륨의 데이터를 보다 신속하게 획득하기 위해 적응형 스캔 알고리즘과 짹을 이를 수 있다.

- [0070] 적응형 각도 스캔 절차는 질의(interrogation)중인 볼륨의 각도 경계를 따르는 스캔 패턴을 (빔 스캐닝 하드웨어의 능력 내에서) 생성하도록 설계된다. 이것은 시스템이 "하늘 스캐닝" 또는 "지반 스캐닝"을 하는 것을 방지한다. 스캔 패턴은 볼륨의 성긴 비-적응형 스캔을 고려하여 구성된다. 이는 해당 거리 윈도위 내에서 실제의 하드 타겟(hard target)의 경계를 정의하는 데 사용된다. 연구 소프트웨어(Research software)는 접근법의 속도와 유용성을 입증하기 위해 구현되었다.
- [0071] 도 5는 일 실시예에 따른, 오버헤드 뷰(overhead view)와 각도가 있는 사시도(perspective view)에서의 후방산란된 리턴들에 대한 예시적인 거리를 나타내는 이미지이다. 도 5A의 상부에서 회색 화소는, 실험적 실시예에서 스캐닝 레이저 거리 측정 시스템에 의해 리턴이 검출된 수평 각도와 거리의 오버헤드 뷰(501)를 도시한다. 이러한 실험에서, 스캐닝 레이저 거리 측정 시스템은 몬태나 주 보즈만(Bozeman, Montana)의 BLACKMORE SENSORS AND ANALYTICSTM Inc의 HRS-3D-AS 적응형 스캐너 모델을 포함하였다. 거리 윈도우는 3m ~ 96m 이었다. 수평 각도 범위는 회전 단계(rotation stage)와 함께 약 370도 범위이며 수직 각도 범위는 약 60도이다. 거리 해상도는 약 7.5cm이다. 도 5A의 하부의 회색 화소는 동일한 실험에서, 스캐닝 레이저 거리 측정 시스템에 의해 리턴이 검출된 거리와 고도 및 상대적인 수평 위치에 대한 각도가 있는 사시도(511)를 도시한다. 상기 두 도면에서, 스캐닝 레이저 거리 측정 시스템 위치(503)는 이미지의 좌측 가장자리에 있다. 상기 스캐닝 레이저 거리 측정 시스템의 위치(503) 근처에서, 리턴(505)은 일부 실시예에 대해 요구되는 것보다 훨씬 높은 공간 밀도를 제공하고, 이에 따라 관련된 타겟 공간 해상도(s)보다 더욱 조밀한 공간 해상도를 제공한다. 상기 스캐닝 레이저 거리 측정 시스템의 위치(503)에서 멀리 떨어진 경우, 상기 리턴(507)은 요구되는 공간 밀도보다 낮은 저 공간 밀도를 제공한다. 이에 따라 일부 실시예에서 이와 관련된 타겟 해상도(s)는 더욱 드성해진다.
- [0072] 도 6a는 일 실시예에 따른, 도 5의 각도가 있는 사시도에서 후방산란된 리턴들에 대한 거리별 거리 게이트를 예시하는 이미지이다. 상기 회색 화소는 도 5A의 하부에서와 동일한 실험에서 스캐닝 레이저 거리 측정 시스템에 의해 리턴이 감지된 거리와 고도 및 상대적인 수평 위치의 각도가 있는 사시도(511)를 도시한다. 상기 거리는 4개의 거리 게이트, 예를 들어, N = 4인 경우, 거리 게이트1(521), 거리 게이트2(522), 거리 게이트3(523) 및 거리 게이트4(524)로 분할된다.
- [0073] 도 6b 내지 도 6e는 일 실시예에 따른, 스캐닝 각도 공간에서의 마스크로서, 도 6a에서 예시된 네 개의 거리 게이트 각각에 대한 예시적인 리턴들의 위치를 도시한다. 각도 공간의 검정색 영역은, 방위 및 고도 각도(α 와 ε)를 나타내고, 여기 제1 거리 게이트에서 거리 리턴들이 있으며, 이에 따라 조밀한 해상도 스캐닝에 유용한 영역임을 나타낸다. 성긴 마스크는 수직 방향으로 10^{-4} 라디안(약 0.006도) 이하의 해상도와 수평 방향으로 10^{-3} 라디안(약 0.06도)의 해상도를 가진다. 수평축(632)은 약 $-11.5\text{도} \sim +11.5\text{도}$ 대응하는 약 $-0.2 \sim +0.2$ 라디안의 방위각(α)을 나타낸다. 세로축은 고도(ε)를 나타내고, 4개의 마스크 간에는 범위가 약간 상이하다. 도 6b는 제 1 거리 게이트($n=1$)로부터의 리턴들의 각도 공간에서의 위치를 나타내는 2진 이미지(630)이다. 수직 축(634)은 약 $-7\text{도} \sim 0\text{도}$ 의 레벨에 대응하는 약 -0.12 에서부터 약 0 라디안까지 연장된다. 여기서, -0.05 라디안(약 -3도) 이상의 리턴은 존재하지 않는다. 흑색 마스크 영역(635)의 특성 거리(characteristic range)는 타겟 공간 해상도(s) 및 수학식 2a 또는 2c와 함께 사용되어 각도 해상도($\Delta\theta$)를 결정한다. 열-순서(column-order) 또는 수직 톱니형 스캔 궤적의 경우, 커버 영역은 약 -0.12 라디안의 최소 수직 각도와 과선 트레이스(636)에 의해 표시되는 최대 수직 각도 사이에 있다. 행-순서(row-order) 또는 수평 톱니형 스캔 궤적의 경우, 최소 및 최대 방위각(도시되지 않음)은 고도 각도(ε)에서 각각 단일 값이 갖는다. 상기 최소 방위각은 가로등 기둥의 왼쪽을 추적하고, 상기 최대 방위각은 나무의 오른쪽을 추적한다.
- [0074] 유사하게, 도 6c는 제 2 거리 게이트($n=2$)로부터의 리턴을 나타내는 2진 이미지(630)이다. 수직축(644)은 약 -3.5도 에서 6.3도 에 대응하는, 약 -0.06 에서부터 약 0.11 라디안까지 연장된다. 여기서, 제 1 거리 게이트의 최대 고도 각도인 약 -0.05 라디안(약 -3도) 이하의 리턴은 존재하지 않는다. 제 2 거리 게이트에서의 리턴은 흑색 영역(645)으로 나타나고, 0 라디안 이하의 지반 레벨을 갖는 가로등 기둥 및 가로등 기둥의 오른쪽에 있는 나무를 시사한다. 흑색 마스크 영역(645)의 특성 거리는 타겟 공간 해상도(s) 및 수학식 2a 또는 2c와 함께 사용되어 각도 해상도($\Delta\theta$)를 결정한다. 열-순서(column-order) 또는 수직 톱니형 스캔 궤적의 경우, 커버 영역은 약 -0.5 라디안의 최소 수직 각도와 각 방위각(α)에서의 단일 값인 과선 트레이스(646)에 의해 표시되는 최대 수직 각도 사이에 있다. 행-순서(row-order) 또는 수평 톱니형 스캔 궤적의 경우, 최소 및 최대 방위각(도시되지 않음)은 고도 각도(ε)에서 각각 단일 값이 갖는다. 상기 최소 방위각은 가로등 기둥의 왼쪽을 추적하고, 상기 최대 방위각은 나무의 오른쪽을 추적한다.
- [0075] 도 6d는 제 3 거리 게이트($n=3$)로부터의 리턴을 나타내는 2진 이미지(650)이다. 수직축(654)은 약 -0.6도 에서 6.3도 에 대응하는, 약 -0.01 에서부터 약 0.11 라디안까지 연장된다. 여기서, 제 2 거리 게이트의 지반 레벨에

대한 최대 고도 각도인 약 -0.01 라디안(약 -0.6도) 이하의 리턴은 존재하지 않는다. 제 3 거리 게이트에서의 리턴은 흑색 영역(655)로 나타나고, 약 0 라디안을 벗어나는 지반 레벨을 갖는, 나무 무더기, 상기 나무들 오른쪽에 위치하는 몇몇의 가로등과 표지판 및 맨 오른쪽에 위치하는 덤불을 시사한다. 흑색 마스크 영역의 특성 거리는 타겟 공간 해상도(s) 및 수학식 2a 또는 2c와 함께 사용되어 각도 해상도($\Delta\theta$)를 결정한다. 열-순서(column-order) 또는 수직 톱니형 스캔 궤적의 경우, 커버 영역은 트레이스(658)에서 주어지는 최소 수직 각도와 각 방위각(a)에서의 단일 값인 파선 트레이스(656)에 의해 주어지는 최대 수직 각도 사이에 있다. 행-순서(row-order) 또는 수평 톱니형 스캔 궤적의 경우, 최소 및 최대 방위각(도시되지 않음)은 고도 각도(ε)에서 각각 단일 값을 갖는다. 상기 최소 방위각은 나무 무더기의 왼쪽을 추적하고, 상기 최대 방위각은 나무 무더기의 오른쪽 아래방향으로 기둥의 높이까지 추적하고, 기둥의 높이에서부터 기둥의 아래의 우측 방향으로 덤불의 높이까지 추적하고, 덤불의 높이에서부터 상기 덤불의 오른쪽까지 추적한다.

[0076] 도 6e는 마지막 거리 게이트(n=4)로부터의 리턴을 나타내는 2진 이미지(660)이다. 수직축(644)은 약 0도에서 4.5도에 대응하는, 약 0에서부터 약 0.08 라디안까지 연장된다(원근법로 인해, 멀리 있는 객체가 더 작게 나타나고 수직 각도에서 더 짧은 거리가 연장된다). 여기서, 제 3 거리 게이트의 지반 레벨에 대한 최대 고도 각도인 약 0 라디안 이하의 리턴은 존재하지 않는다. 제 4 거리 게이트에서의 리턴은 흑색 영역(665)로 나타나고, 약 0.01 라디안을 벗어나는 지반 레벨을 갖는, 나무 무더기, 빙터 그리고 나서 넓게 펼쳐진 나무들을 시사한다. 흑색 마스크 영역(665)의 특성 거리는 타겟 공간 해상도(s) 및 수학식 2a 또는 2c와 함께 사용되어 각도 해상도($\Delta\theta$)를 결정한다. 열-순서(column-order) 또는 수직 톱니형 스캔 궤적의 경우, 커버 영역은 트레이스(668)에서 주어지는 최소 수직 각도와 각 방위각(a)에서의 단일 값인 파선 트레이스(666)에 의해 주어지는 최대 수직 각도 사이에 있다. 행-순서(row-order) 또는 수평 톱니형 스캔 궤적의 경우, 최소 및 최대 방위각(도시되지 않음)은 고도 각도(ε)에서 각각 단일 값을 갖는다. 상기 최소 방위각은 나무 무더기의 왼쪽을 추적하고, 상기 최대 방위각은 나무 무더기의 오른쪽 아래방향으로 서 있는 나무의 높이까지 추적하고, 이 나무의 높이에서부터 0.20 라디안으로 오른쪽 가장자리까지 추적한다. 이러한 행 순서에 따른 스캔은 열 순서 또는 톱니형 스캔 궤적처럼 고정밀 스캔으로부터 많은 영역을 제거하지 않는다는 점을 주목해야 된다. 점선 박스(669)는 도 7a와 도 7b에서 고정밀 스캔 궤적으로 표시된 영역의 수평 부분을 나타낸다.

[0077] 도 7a와 7b는 일 실시예에 따른, 각각 상이한 특성 거리(또는 상이한 타겟 공간 해상도)별로, 도 6e에 도시된 거리 게이트의 일부분에서의 다수의 연속적인 수평 슬라이스들의 적응형 스캐닝 패턴 예를 나타내는 그래프이다. 수평축(712)은 약 -5도 내지 약 0.3도의 윈도우에 대응하는 약 -0.085 라디 내지 약 0.005 라디안의 방위각을 나타내고, 도 6e의 점선 사각형(669)에 대한 수평 범위로서 도시된다. 수직축(714)은 약 -0.6도 내지 약 3.5도의 윈도우에 대응하는 약 -0.01라디안 내지 약 0.06 라디안인 고도 각도를 나타낸다. 도 6e으로부터 트레이스(668)에 의해 주어진 최소 수직 각도 및 도 6e의 파선 트레이스(666)에 의해 주어진 최대 수직 각도가, 현재 윈도우에서 또한 표시된다. 두 추적 모두가 적응형 스캔 궤적의 조밀한 각도 해상도로 보간된다. 도 7a는 최소 및 최대 고도 각도 사이의 고해상도 스캔 궤적(716)에 대한 그래프(710)이다. 수평적인 반복 분리 각도(A_{HR})는 약 0.0005 라디안이고(0.01 라디안 간격의 눈금 사이에 20회 반복이 있음), 분리 각도는 약 0.03도에 해당한다. 이러한 반복 분리 각도가 $\Delta\theta$ 와 동일하다고 가정하면, $\Delta\theta$ 도 0.03도와 같다. 따라서 이러한 톱니바퀴형 스캔 궤적을 따라 수직에서 0.03도마다 거리가 측정된다.

[0078] 도 7b는 상이한 거리 또는 타겟 해상도 조건 하에서 최소 고도 각도와 최대 고도 각도 사이의 고해상도 스캔 궤적(726)을 나타내는 그래프(720)이다. 설명을 위해 도 7b에서, 특성 거리가 훨씬 작거나, 또는 타겟 공간 해상도(s)가 도 7a 생성을 위해서 사용된 값보다 훨씬 성진 것으로 가정된다. 결과적으로, 수학식 2a로부터 결정된 각도 해상도는 훨씬 덜 조밀하다. 도 7b에서 수평적인 반복 분리 각도(A_{HR})는 약 0.003 라디안이고(0.01 라디안 간격의 눈금 사이에 약 3.3회 반복이 있음), 분리 각도는 약 0.17도에 해당하고, 도 7a에서보다 약 6배 정도 덜 조밀하다. 이러한 반복 분리 각도가 $\Delta\theta$ 와 동일하다고 가정하면, $\Delta\theta$ 도 0.17도와 같다. 따라서, 이러한 톱니바퀴형 스캔 궤적을 따라 수직에서 0.17도마다 거리가 측정된다. 설명을 위해, 톱니형 스캔 궤적을 나타내는 점선 세그먼트의 도트에서 거리 측정이 이루어지는 것으로 가정할 수 있다.

[0079] 상술한 바와 같이, 일부 실시예에서는 거리 게이트가 사전에 설정되거나, 적응형 스캐닝 전에 수동으로 설정된다. 예를 들어 N의 값과 Rnear_n의 N개의 값이 사전에 설정되거나 수동으로 설정된다. 그러나 일부 실시예에서, N의 값 또는 Rnear_n의 N 개의 값 또는 둘 다, 성진 간격을 가지는 거리 측정에서 관측된 거리 R(a, ε)에 기초하여 자동적이고 적응적으로 결정된다. 예를 들어, 상술한 바와 같이, N과 Rnear_n은 관측된 거리의 낮은 백분위수 및 높은 백분위수(예컨대 5번째 및 99번째 백분위수)에 근거하여 결정된다.

- [0080] 또 다른 실시예에서, 숫자 N 과 R_{near_n} 값은 성긴 간격의 거리 측정에서의 $R(a, \varepsilon)$ 의 히스토그램을 기반으로 결정된다. 도 10은 일 실시예에 따른, 장면의 성긴 각도 스캐닝에서 거리의 히스토그램을 예시하는 그래프이다. 스캐닝 레이저 거리 측정 시스템은 최대 R_{max} 거리까지로 구성된 것으로 가정한다. 수평축(1012)은 R_{max} 와 비교하여 작은 빈(bin) 폭을 갖는 거리 빈(bin)을 나타낸다. 예를 들어, 수평축(1012)은 R_{max} 의 10분의 1에서 100분의 1 또는 심지어 1000분의 1의 빈 폭을 갖는다. 수직축(1014)은 임의의 거리 빈(bin) 내에 속하는 측정 거리들의 발생 횟수를 나타낸다. 트레이스(1016)는 예시적인 히스토그램을 보여준다. 상기 발생 횟수는 평평하지 않지만 여러 개의 피크(1017)과 골(valley)(1015)을 가지고 있다는 점에 주목하라. 큰 특징들은 히스토그램에서 피크를 생성하고, 열린 영역은 골을 생성할 가능성이 있다. 일부 실시예에서, 거리 히스토그램이 거리 함수로 재스케일링되어, 성긴 스캔이 일정한 각도 밀도로 수행된다는 사실을 설명한다. 이러한 불일치를 설명하기 위해, 상기 재스케일링은 히스토그램에서 보다 면 지점의 측정치에 더 많은 가중치를 부여한다.
- [0081] 일부 실시예에서, 하나 이상의 거리 게이트 값(R_{near_n})은 수직 점선으로 표시된 바와 같이 히스토그램(1016)에서 골(valley)이 발생한 지점으로 결정된다. 이러한 실시예들의 일부에서, 거리 게이트의 특성 거리는 거리 게이트에서의 최대 발생 거리(예를 들어, R_{peak_n})이다. 최소값 및 피크값 모두는, 사용 가능한 다양한 소프트웨어 루틴을 사용하여 빠르고 자동적으로 결정된다.
- [0082] 5. 연산 하드웨어 개요(Computational Hardware Overview)
- [0083] 도 8은 본 발명의 일 실시예가 구현될 수 있는 컴퓨터 시스템(800)을 나타내는 블록도이다. 컴퓨터 시스템(800)은 컴퓨터 시스템(800)의 다른 내부 및 외부 구성요소 간에 정보를 전달하기 위한 버스(810)와 같은 통신 메커니즘을 포함한다. 정보는 측정 가능한 현상, 전형적으로는 전압의 물리적 신호로 표현되지만, 다른 실시예에서는 자력, 전자기, 압력, 화학, 분자 원자 및 양자 상호 작용과 같은 현상을 포함한다. 예를 들어, 북 및 남자기장, 또는 0과 0이 아닌 전압은, 2 진수(비트)의 두 가지 상태(0, 1)를 나타낸다. 다른 현상은 더 높은 베이스의 숫자를 나타낼 수 있다. 측정 전에 여러 개의 동시 양자 상태의 중첩은 양자 비트(큐비트)를 나타낸다. 하나 이상의 숫자들 시퀀스는 숫자 또는 문자에 대한 코드를 나타내는데 사용되는 디지털 데이터를 구성한다. 일부 실시예에서, 아날로그 데이터라 불리는 정보는 특정 범위 내의 측정 가능한 값의 거의 연속으로 표시된다. 컴퓨터 시스템(800), 또는 그 일부는, 여기에 설명된 하나 이상의 방법 중 하나 이상의 단계를 수행하기 위한 수단을 구성한다.
- [0084] 이진 숫자 시퀀스는 숫자 또는 문자에 대한 코드를 나타내는데 사용되는 디지털 데이터를 구성한다. 버스(810)는 정보가 버스(810)에 연결된 장치들 사이에 빠르게 전송될 수 있도록 다수의 별별 정보 컨터터일 수 있다. 정보를 처리하기 위한 하나 이상의 프로세서들(802)이 버스(810)와 결합된다. 프로세서(802)는 정보에 대한 동작 집합을 수행한다. 동작 집합은 버스(810)로부터 정보를 가져와서 버스(810) 상에 정보를 배치하는 것을 포함한다. 동작 세트는 또한 통상적으로 두 개 이상의 정보 단위를 비교하는 것, 정보 단위의 위치를 이동하는 것 및 두 개 이상의 정보 단위의 결합, 예를 들어 가산 또는 곱셈을 포함한다. 프로세서(802)에 의해 실행되는 일련의 동작은 컴퓨터 명령을 구성한다.
- [0085] 컴퓨터 시스템(800)은 또한 버스(810)에 연결된 메모리(804)를 포함한다. 랜덤 액세스 메모리(RAM) 또는 다른 동적 저장 장치와 같은 메모리(804)는 컴퓨터 명령을 포함하는 정보를 저장한다. 동적 메모리는 그 안에 저장된 정보가 인접한 어드레스의 정보와 독립적으로 저장되고 검색될 수 있게 한다. 메모리(804)는 또한 프로세서(802)에 의해 사용되어 컴퓨터 명령의 실행 중에 임시 값을 저장한다. 컴퓨터 시스템(800)은 또한 컴퓨터 시스템(800)에 의해 변경되지 않는, 명령들을 포함하는, 정적 정보를 저장하기 위해 버스(810)에 결합된 관독 전용 메모리(ROM:Read Only Memory)(806) 또는 다른 정적 저장 장치를 포함한다. 버스(810)에 연결된, 컴퓨터 시스템(800)이 턴 오프되거나 그렇지 않으면 전력이 손실되는 경우에도 지속되는, 명령을 포함하는 정보를 저장하기 위한, 자기 디스크 또는 광 디스크와 같은 휴발성(영구) 저장 장치(808)를 포함할 수 있다.
- [0086] 명령들을 포함하는 정보는, 인간 사용자에 의해 조작되는 영숫자 키를 포함하는 키보드, 또는 센서와 같은, 외부 입력 장치(812)로부터 프로세서에 의해 사용하기 위해 버스(810)에 제공된다. 센서는 그 부근의 상태를 검출하고 이러한 검출들을 컴퓨터 시스템(800)에서 정보를 나타내는데 사용되는 신호와 호환 가능한 신호로 변환한다. 주로 인간과 상호 작용하기 위해 사용되는 버스(810)에 결합된 다른 외부 장치는, 이미지를 제공하기 위한 CRT(Cathode Ray Tube) 또는 액정 디스플레이(LCD)와 같은 디스플레이 장치(814)를 포함하고, 디스플레이(814)에 표시되는 작은 커서 이미지의 위치를 제어하고 디스플레이(814)에 표시되는 그래픽 요소들에 연관된 명령

을 발행하기 위한, 마우스 또는 트랙볼 또는 커서 방향 키와 같은 포인팅 장치(816)을 포함한다.

[0087] 도시된 실시예에서, 주문형 접적 회로(IC)(820)와 같은 특수 목적 하드웨어는 버스(810)에 결합된다. 특수 목적 하드웨어는 특별한 목적을 위해 프로세서(802)에 의해 신속하게 수행되지 않는 동작을 충분히 빠르게 수행하도록 구성된다. 애플리케이션 특정 IC의 예는, 디스플레이(814)를 위한 이미지를 생성하기 위한 그래픽 가속기 카드, 네트워크를 통해 전송된 메시지를 암호화 및 암호 해독하기 위한 암호화 보드, 음성 인식, 및 하드웨어에 더 효율적으로 구현된 일부 복잡한 일련의 동작을 반복적으로 수행하는 로봇 암 및 의료 스캐닝 장비와 같은 특별한 외부 장치들과의 인터페이스를 포함한다.

[0088] 컴퓨터 시스템(800)은 또한 버스(810)에 연결된 통신 인터페이스(870)의 하나 이상의 인스턴스를 포함한다. 통신 인터페이스(870)는 프린터, 스캐너 및 외부 디스크와 같은 자신의 프로세서로 동작하는 다양한 외부 장치에 양방향 통신 커플링을 제공한다. 일반적으로, 커플링은 자신의 프로세서를 갖는 다양한 외부 장치가 접속되는 로컬 네트워크(880)에 접속되는 네트워크 링크(878)와 관련된다. 예를 들어, 통신 인터페이스(870)는 개인용 컴퓨터상의 병렬 포트 또는 직렬 포트 또는 USB(universal serial bus) 포트일 수 있다. 일부 실시예에서, 통신 인터페이스(870)는 ISDN(Integrated Services Digital Network) 카드 또는 디지털가입자 회선(DSL) 카드 또는 대응하는 유형의 전화선에 정보 통신 접속을 제공하는 전화 모뎀이다. 일부 실시예에서, 통신 인터페이스(870)는 버스(810) 상의 신호를 동축 케이블을 통한 통신 연결을 위한 신호 또는 광섬유 케이블을 통한 통신 연결을 위한 광 신호로 변환하는 케이블 모뎀이다. 또 다른 예로서, 통신 인터페이스(870)는 이더넷과 같은 호환 가능한 LAN에 데이터 통신 접속을 제공하는 근거리 통신망(LAN) 카드일 수 있다. 무선 링크가 구현될 수도 있다. 라디오, 광 및 적외선 파를 포함하는, 음파 및 전자기파와 같은 반송파는, 와이어 또는 케이블 없이 공간을 통과한다. 신호에는 진폭, 주파수, 위상, 편광 또는 반송파의 다른 특성에서 사람이 만든 변동을 포함한다. 무선 링크의 경우, 통신 인터페이스(870)는 디지털 데이터와 같은 정보 스트림을 운반하는 적외선 및 광 신호를 포함하는, 전기, 음향 또는 전자기 신호를 송수신한다.

[0089] 컴퓨터 관독 가능 매체라는 용어는 본 명세서에서 실행을 위한 명령을 포함하여 프로세서(802)에 정보를 제공하는데 참여하는 임의의 매체를 지칭하는데 사용된다. 이러한 매체는 비휘발성 매체, 휘발성 매체 및 전송 매체를 포함하는 많은 형태를 취할 수 있지만, 이에 한정되는 것은 아니다. 비휘발성 매체는, 예를 들어 저장 장치(808)와 같은, 광 또는 마그네틱 디스크를 포함한다. 휘발성 매체는 예를 들어 동적 메모리(804)를 포함한다. 전송 매체는 예를 들어 동축 케이블, 구리선, 광섬유 케이블, 및 라디오, 광 및 적외선 파를 포함하는, 음파 및 전자기파와 같은, 유선 또는 케이블 없이 공간을 통과하는 파를 포함한다. 컴퓨터 관독 가능 저장 매체라는 용어는 전송 매체를 제외하고, 프로세서(802)에 정보를 제공하는데 참여하는 임의의 매체를 지칭하기 위해 여기에서 사용된다.

[0090] 컴퓨터 관독 가능 매체의 일반적인 형태는, 예를 들어 플로피 디스크, 플렉시블 디스크, 하드 디스크, 자기 테이프, 또는 임의의 다른 자기 매체, 콤팩트 디스크 ROM(CD-ROM), 디지털 비디오 디스크(DVD) 또는 다른 광 매체, 편치 카드, 종이 테이프, 또는 홀 패턴을 갖는 임의의 다른 물리적 매체, RAM, 프로그램 가능 ROM(PROM), 소거 가능 PROM(EPROM), FLASH-EPROM, 또는 다른 메모리 칩 또는 카트리지, 반송파, 또는 컴퓨터가 읽을 수 있는 임의의 다른 매체를 포함한다. 용어 "비일시적 컴퓨터 관독 가능 저장 매체"는 캐리어 웨이브 및 다른 신호를 제외하고, 프로세서(802)에 정보를 제공하는데 참여하는 임의의 매체를 지칭하기 위해 본 명세서에서 사용된다.

[0091] 하나 이상의 유형의 매체에서 인코딩된 로직은 컴퓨터 관독 가능 저장 매체상의 프로세서 명령들 및 ASIC(820)과 같은 특수 목적 하드웨어 중 하나 또는 둘 모두를 포함한다.

[0092] 네트워크 링크(878)는 일반적으로 하나 이상의 네트워크를 통해 정보를 사용하거나 처리하는 다른 장치로 정보 통신을 제공한다. 예를 들어, 네트워크 링크(878)는 로컬 네트워크(880)를 통해 호스트 컴퓨터(882) 또는 인터넷 서비스 제공자(ISP)에 의해 운영되는 장비(884)에 접속을 제공할 수 있다. ISP 장비(884)는 현재 일반적으로 인터넷(890)으로 지칭되는 네트워크의 공개적이고 전세계적인 패킷 교환 통신 네트워크를 통해 데이터 통신 서비스를 제공한다. 인터넷에 접속된 서버(892)로 불리는 컴퓨터는 인터넷을 통해 수신된 정보에 응답하여 서비스를 제공한다. 예를 들어, 서버(892)는 디스플레이(814)에서의 프리젠테이션을 위한 비디오 데이터를 나타내는 정보를 제공한다.

[0093] 본 발명은 여기에 설명된 기술을 구현하기 위한 컴퓨터 시스템(800)의 사용에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 이들 기술은 메모리(804)에 포함 된 하나 이상의 명령의 하나 이상의 시퀀스를 실행하는 프로세서(802)에 응답하여 컴퓨터 시스템(800)에 의해 수행된다. 소프트웨어 및 프로그램 코드라고도 하는 이러한 명령

은 저장 장치(808)와 같은 다른 컴퓨터 판독 가능 매체로부터 메모리(804)로 판독될 수 있다. 메모리(804)에 포함된 명령들의 시퀀스의 실행은 프로세서(802)로 하여금 여기에 설명된 방법 단계들을 수행하게 한다. 다른 실시예에서, 주문형 집적 회로(Application Specific IC)(820)와 같은 하드웨어는 본 발명을 구현하기 위해 소프트웨어 대신에 또는 소프트웨어와 함께 사용될 수 있다. 따라서, 본 발명의 실시예들은 하드웨어와 소프트웨어의 임의의 특정 조합으로 제한되지 않는다.

[0094] 통신 인터페이스(870)를 통해 네트워크 링크(878) 및 다른 네트워크를 통해 송신된 신호는 컴퓨터 시스템(800)으로 정보를 전달한다. 컴퓨터 시스템(800)은, 여러 네트워크 중에 네트워크(880, 890)를 통해, 네트워크 링크(878)를 통해 그리고 통신 인터페이스(870)를 통해, 프로그램 코드를 포함하는 정보를 송수신할 수 있다. 인터넷(890)을 이용한 예에서, 서버(892)는, 인터넷(890), ISP 장비(884), 로컬 네트워크(880) 및 통신 인터페이스(870)를 통해, 컴퓨터(800)로부터 전송된 메시지에 의해 요청된, 특정 애플리케이션을 위한 프로그램 코드를 전송한다. 수신된 코드는 수신될 때 프로세서(802)에 의해 실행되거나, 나중에 실행하기 위해 저장 장치(808) 또는 다른 비휘발성 저장 장치에 저장될 수 있다. 이러한 방식으로, 컴퓨터 시스템(800)은 반송파상의 신호의 형태로 애플리케이션 프로그램 코드를 얻을 수 있다.

[0095] 다양한 형태의 컴퓨터 판독 가능 매체는 실행을 위해 프로세서(802)에 명령 또는 데이터 또는 둘 모두의 하나 이상의 시퀀스를 전달하는데 관련될 수 있다. 예를 들어, 명령 및 데이터는 초기에 호스트(882)와 같은 원격 컴퓨터의 자기 디스크 상에 운반될 수 있다. 원격 컴퓨터는 명령 및 데이터를 그의 동적 메모리에 로딩하고 모뎀을 사용하여 전화선을 통해 명령 및 데이터를 전송한다. 컴퓨터 시스템(800)에 국부적인 모뎀은 전화선 상에서 명령 및 데이터를 수신하고 적외선 송신기를 사용하여 명령 및 데이터를 네트워크 링크(878)로서 작용하는 적외선상의 반송파상의 신호로 변환한다. 통신 인터페이스(870)로서 기능하는 적외선 검출기는 적외선 신호로 운반된 명령 및 데이터를 수신하고, 명령 및 데이터를 나타내는 정보를 버스(810) 상에 위치시킨다. 버스(810)는 정보를 메모리(804)로 운반하고, 프로세서(802)는 명령들과 함께 전송된 데이터의 일부를 이용하여 메모리(804)로부터 명령을 검색하고 실행한다. 메모리(804)에 수신된 명령들 및 데이터는 선택적으로 프로세서(802)에 의한 실행 전 또는 후에 저장 장치(808) 상에 저장될 수 있다.

[0096] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 구현 될 수 있는 칩셋(900)을 도시한다. 칩셋(900)은 본 명세서에 설명된 방법의 하나 이상의 단계를 수행하도록 프로그래밍되며, 예를 들어 하나 이상의 물리적 패키지(예, 칩)에 통합된 도 8과 관련하여 설명된 프로세서 및 메모리 컴포넌트를 포함한다. 예로서, 물리적 패키지는, 물리적 강도, 크기 보존, 및/또는 전기적 상호작용의 제한과 같은 하나 이상의 특성을 제공하기 위해 구조 어셈블리(예를 들어, 베이스 보드) 상의 하나 이상의 재료, 구성요소 및/또는 와이어의 배열을 포함한다. 특정 실시예에서 칩셋은 단일 칩으로 구현될 수 있다는 것이 고려된다. 칩셋(900), 또는 그 일부는, 여기에 설명된 방법의 하나 이상의 단계를 수행하기 위한 수단을 구성한다.

[0097] 일 실시예에서, 칩셋(900)은 칩셋(900)의 구성요소들 사이에서 정보를 전달하기 위한 버스(901)와 같은 통신 메커니즘을 포함한다. 프로세서(903)는 명령을 실행하고 예를 들어 메모리(905)에 저장된 정보를 처리하기 위해 버스(901)에 연결된다. 프로세서(903)는 독립적으로 수행하도록 구성된 각각의 코어를 갖는 하나 이상의 프로세싱 코어를 포함할 수 있다. 멀티 코어 프로세서는 단일 물리적 패키지 내에서 다중 처리를 가능하게 한다. 멀티 코어 프로세서의 예로는 2 개, 4 개, 8 개 또는 그 이상의 프로세서 코어를 포함한다. 대안으로 또는 부가적으로, 프로세서(903)는 명령, 파이프 라이닝 및 멀티 스레딩의 독립적인 실행을 가능하게 하기 위해 버스(901)를 통해 직렬로 구성된 하나 이상의 마이크로 프로세서를 포함할 수 있다. 프로세서(903)는 또한 하나 이상의 디지털 신호 프로세서(DSP)(907) 또는 하나 이상의 주문형 집적 회로(ASIC)(909)와 같은 특정 프로세싱 기능 및 태스크를 수행하기 위한 하나 이상의 특수 구성요소를 수반할 수 있다. DSP(907)는 전형적으로 프로세서(903)와 독립적으로 실시간으로 실세계 신호(예를 들어, 사운드)를 처리하도록 구성된다. 유사하게, ASIC(909)은 일반적인 목적 프로세서에 의해 쉽게 수행되지 않는 특수 기능을 수행하도록 구성될 수 있다. 본 명세서에 기술된 본 발명의 기능을 수행하는데 도움이 되는 다른 특수 구성요소들은 하나 이상의 필드 프로그래머블 게이트 어레이(FPGA)(도시되지 않음), 하나 이상의 컨트롤러(도시되지 않음), 또는 하나 이상의 다른 특수 목적 컴퓨터 칩을 포함한다.

[0098] 프로세서(903) 및 수반하는 구성요소들은 버스(901)를 통해 메모리(905)에 연결된다. 메모리(905)는 여기에 설명된 방법의 하나 이상의 단계를 수행하도록 실행될 때 실행 가능한 명령을 저장하기 위한 동적 메모리(예를 들어, RAM, 자기 디스크, 기록 가능한 광디스크 등) 및 정적 메모리(예를 들어, ROM, CD-ROM 등) 모두를 포함한다. 메모리(905)는 여기에 설명된 방법 중 하나 이상의 단계의 실행과 관련되거나 생성된 데이터를 저장

한다.

[0099] 6. 변경, 확장 및 수정

전술한 명세서에서, 본 발명은 특정 실시예를 참조하여 설명되었다. 그러나, 본 발명의 보다 넓은 사상 및 범위를 벗어나지 않으면서 다양한 수정 및 변화가 이루어질 수 있음이 명백할 것이다. 따라서, 명세서 및 도면은 제한적인 의미라기 보다는 예시적인 것으로 간주되어야 한다. 본 명세서 및 청구항 전체에서, 문맥상 달리 요구되지 않는 한, "포함하는" 및 "포함하고 있는"과 같은 "포함하는"이라는 단어 및 그 변형은, 임의의 다른 항목, 요소 또는 단계, 또는 항목들, 요소들 또는 단계들의 그룹을 배제하지 않고, 명시된 항목, 요소 또는 단계, 또는 항목들, 요소들 또는 단계들의 그룹의 포함을 의미하는 것으로 이해될 것이다. 또한, 부정확한 관사는, 관사에 의해 수정된 하나 또는 그 이상의 항목, 요소 또는 단계를 나타내는 것으로 이해된다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 문맥에서 달리 명확한 것을 제외하고는, 다른 값의 2 배(2 배 또는 절반) 내에 있으면 그 값은 "대략" 다른 값이다. 예시적인 범위가 주어지지만, 문맥으로부터 달리 명백하지 않는 한, 임의의 포함된 범위는 또한 다양한 실시예에서 의도된다. 따라서, 일부 실시예에서 0 내지 10 범위는 1 내지 4 범위를 포함한다.

[0101] 7. 참고

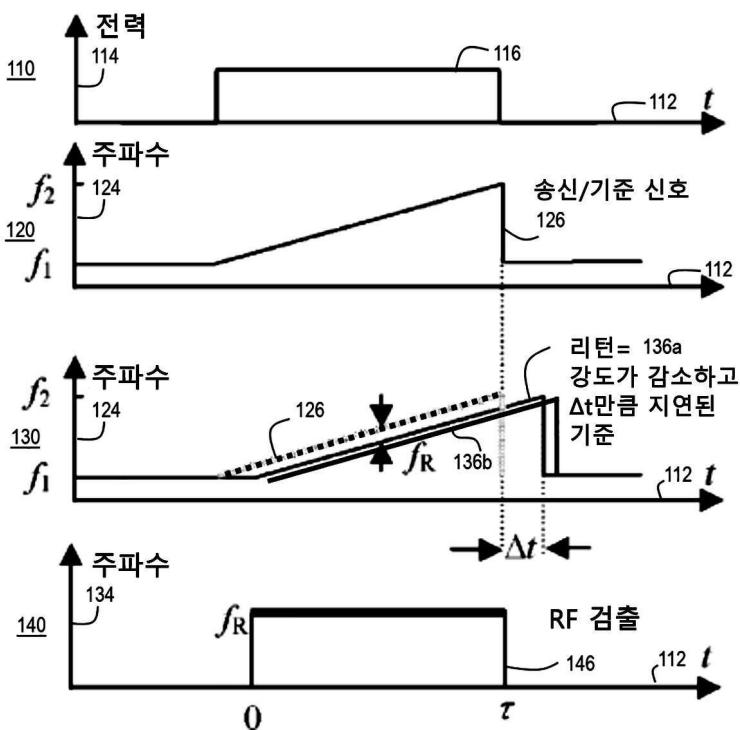
Adany, P., C. Allen, 및 R. Hui, “간소화된 호모다인 검출을 이용한 쳐프 라이더(Chirped Lidar Using Simplified Homodyne Detection),” Jour. Lightwave Tech., v. 27 (16), 2009년 8월 15일.

Haralick, R.M., S.R. Sternberg and X. Zhuang, “수리적 모폴로지를 이용한 이미지 분석(Image Analysis Using Mathematical Morphology), IEEE 패턴 분석과 기계 지능에 대한 트랜잭션(Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence), v. PAMI-9 (4), 1987년 7월

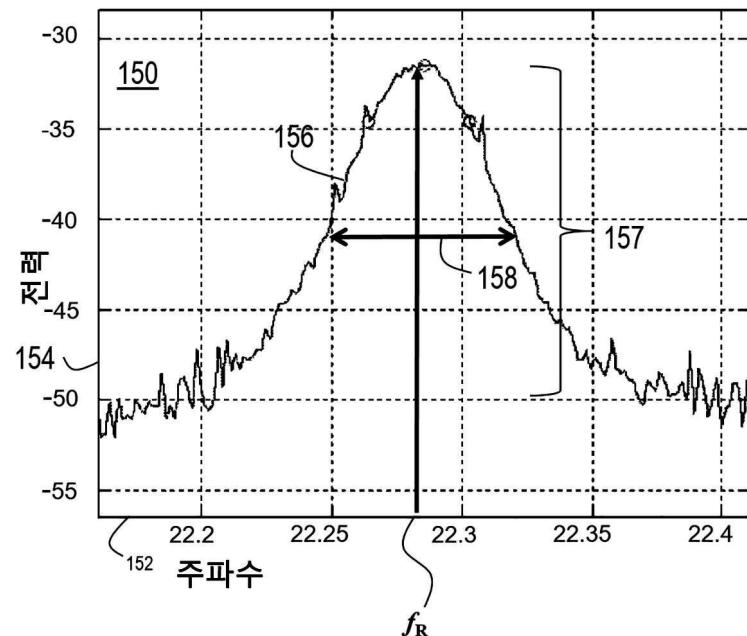
Hui, R., C. Allen, 및 P. Adany의 2010년 6월 22일자 미국 특허 7,742,152의, “FM 쳐프 레이저 레이더를 위한 코하런트 검출 스킴(Coherent detection scheme for FM Chirped laser RADAR)” .

도면

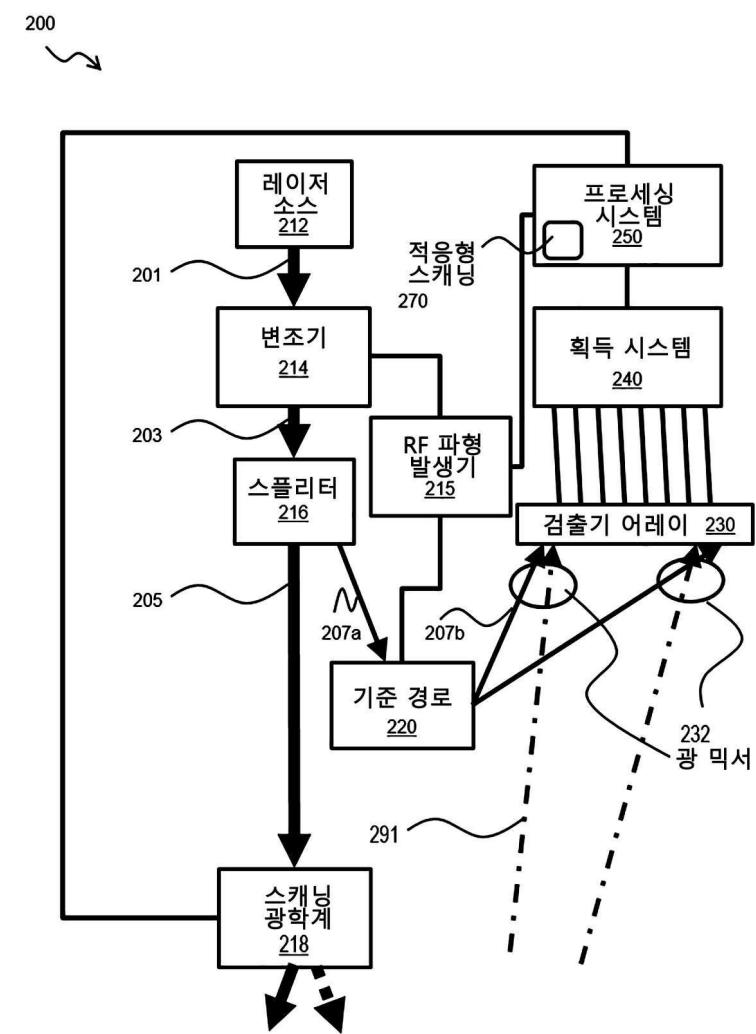
도면 1a



도면1b

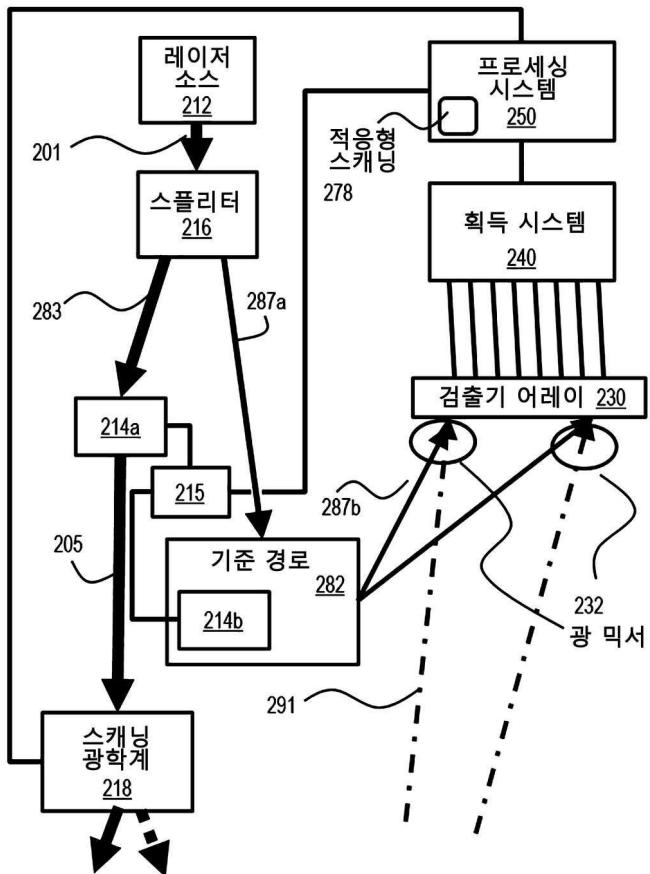


도면2a



도면2b

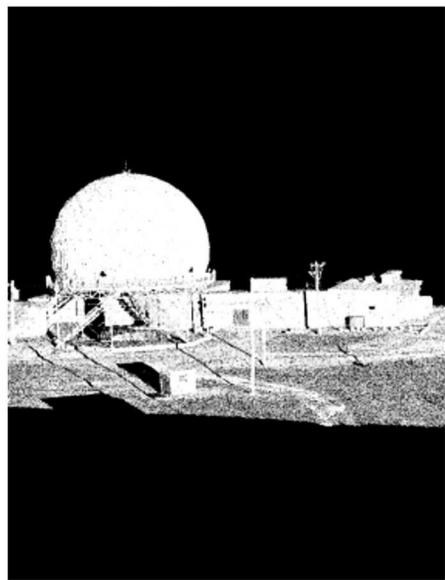
280



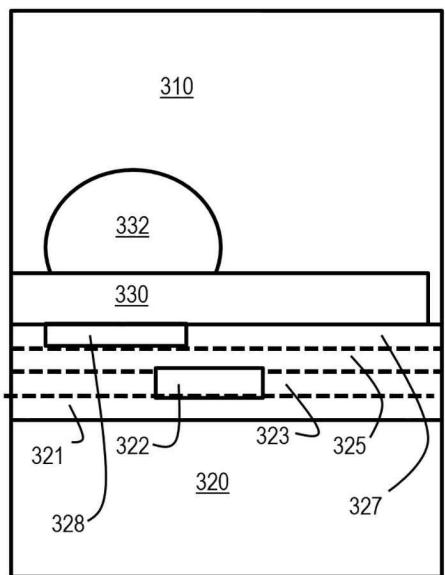
도면3a



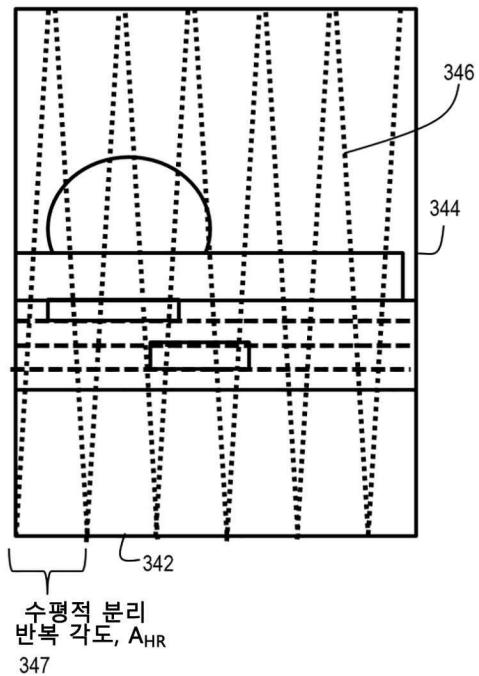
도면3b



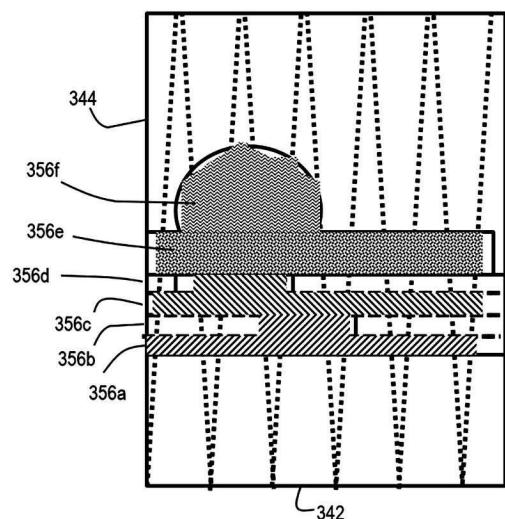
도면3c



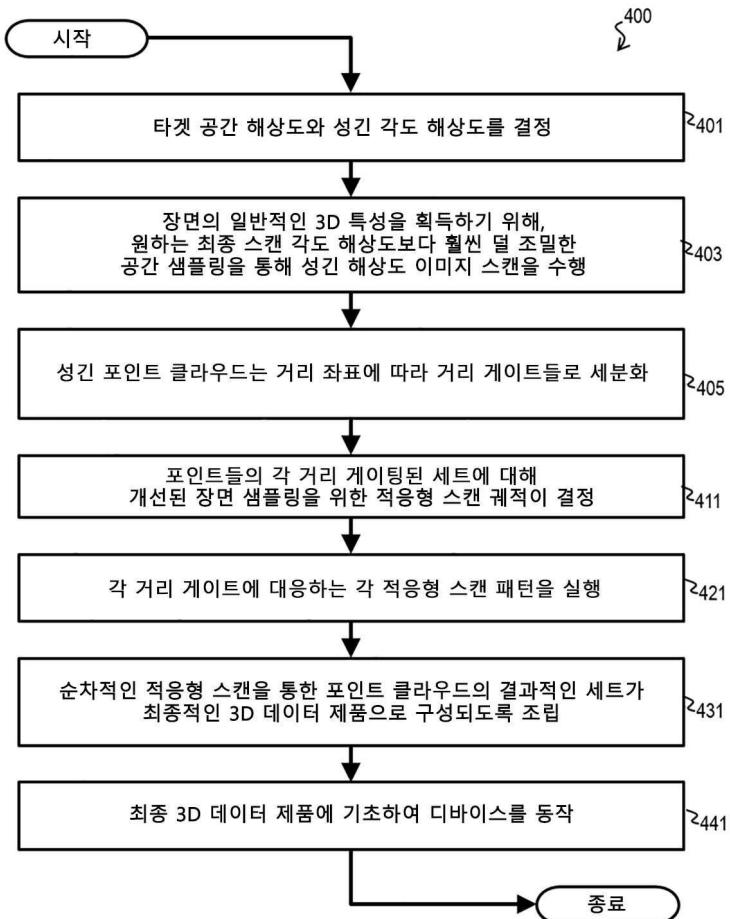
도면3d



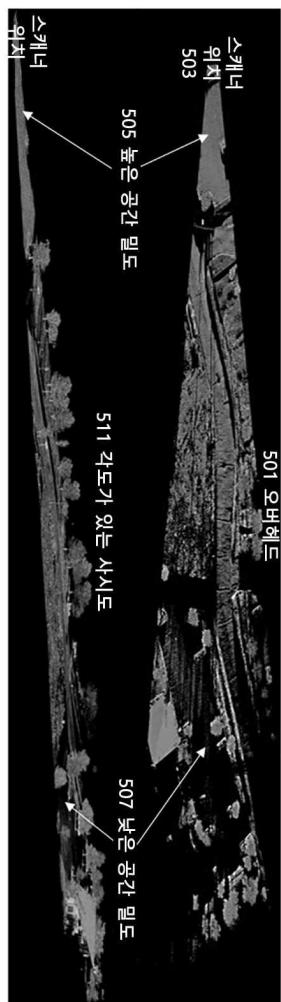
도면3e



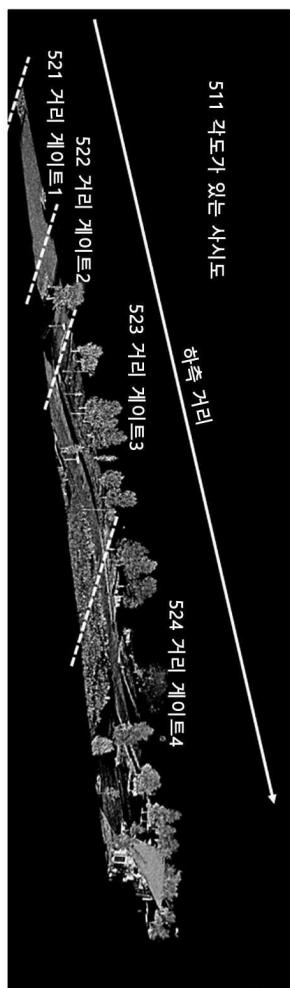
도면4



도면5

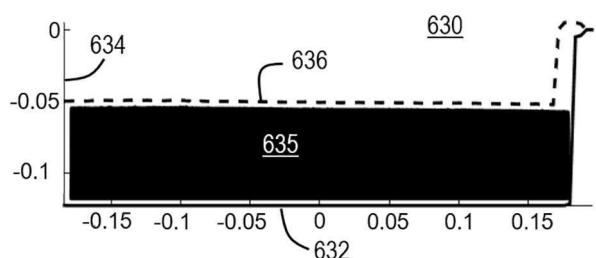


도면6a

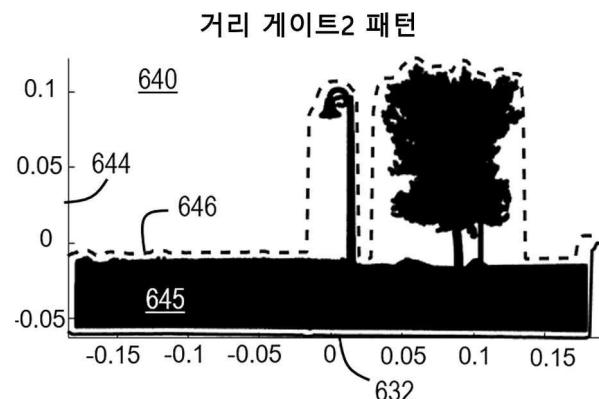


도면6b

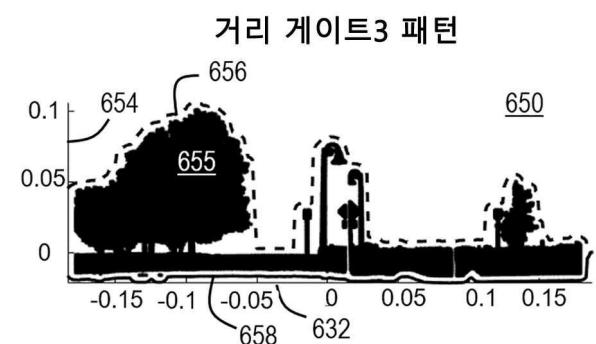
거리 케이트1 패턴



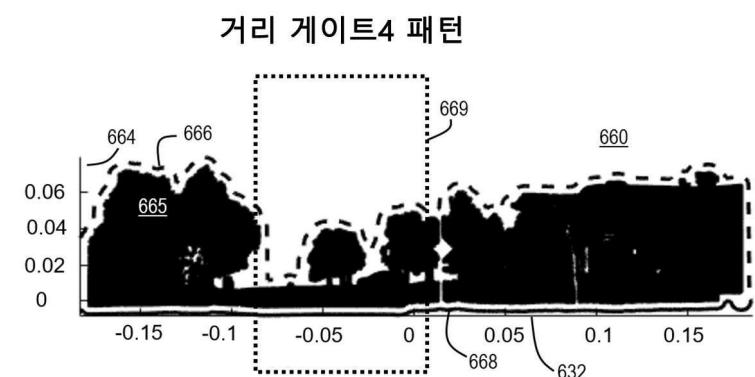
도면6c



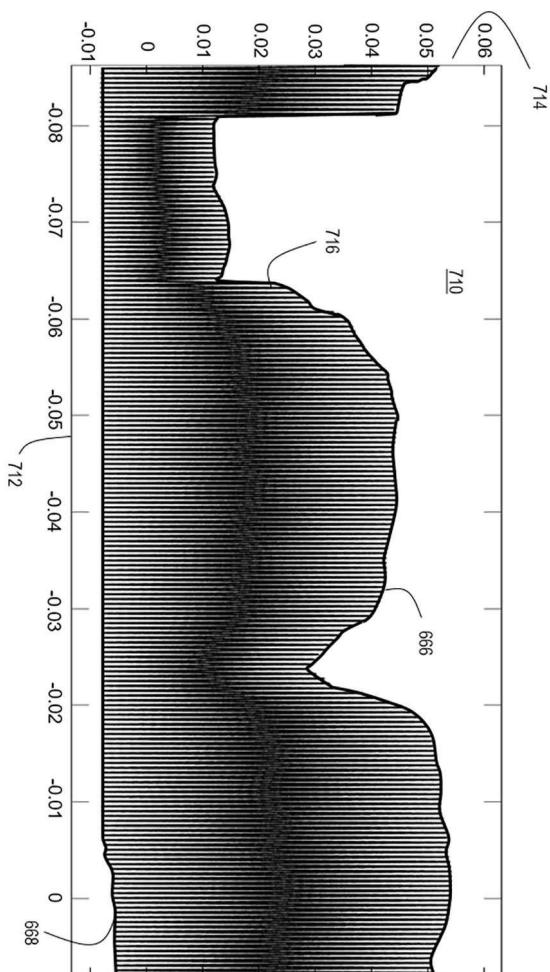
도면6d



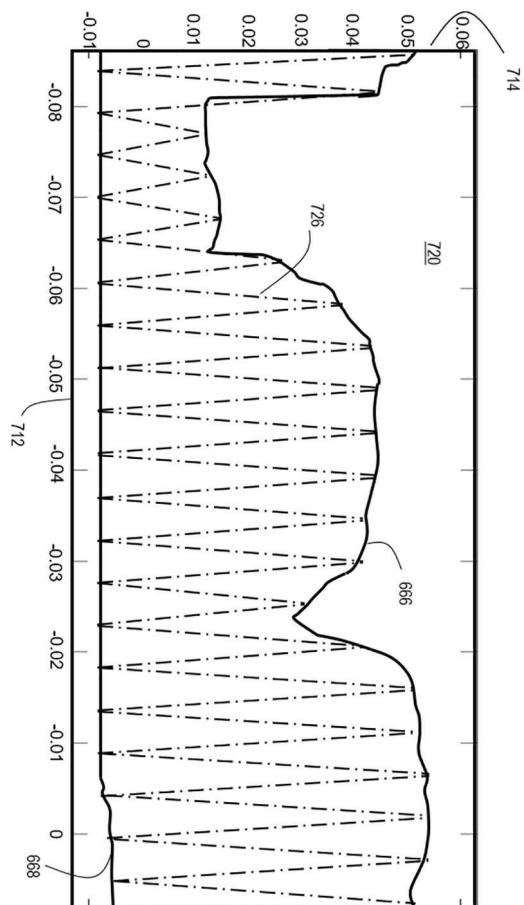
도면6e



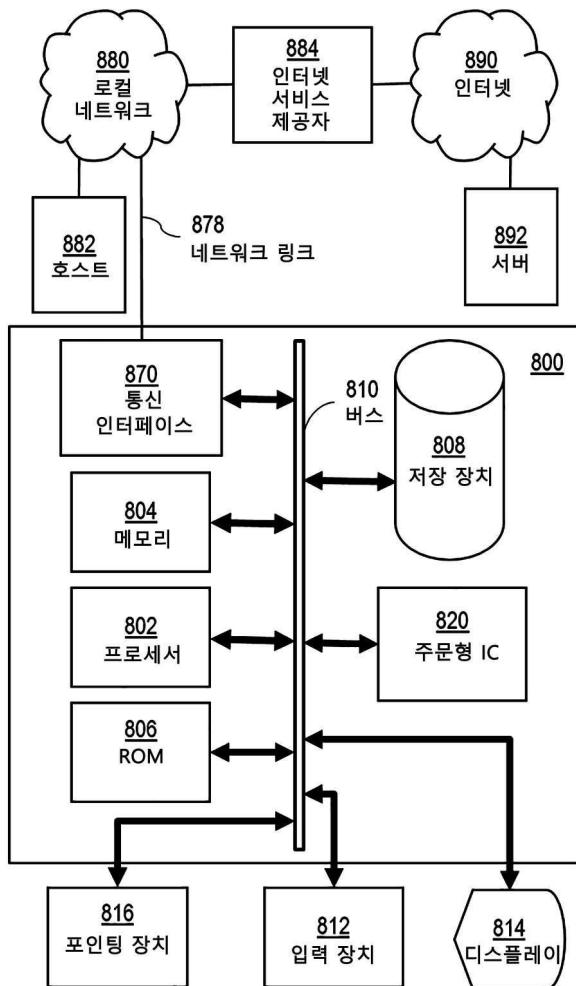
도면 7a



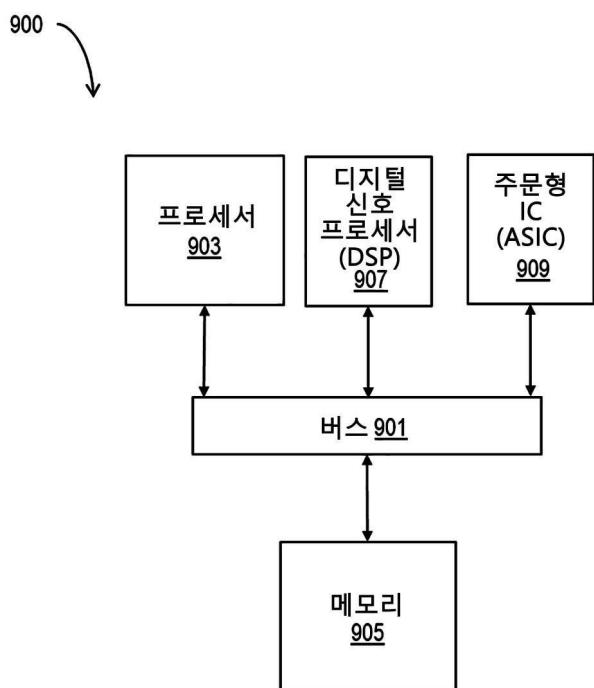
도면7b



도면8



도면9



도면10

