



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년02월13일
(11) 등록번호 10-2634870
(24) 등록일자 2024년02월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 7/4863 (2020.01) B60W 40/02 (2006.01)
G01S 17/42 (2006.01) G01S 17/89 (2020.01)
G01S 17/931 (2020.01) G01S 7/481 (2006.01)
G01S 7/486 (2020.01) G01S 7/4865 (2020.01)
G01S 7/487 (2006.01) G01S 7/4911 (2020.01)
G05D 1/20 (2024.01)
(52) CPC특허분류
G01S 7/4863 (2013.01)
B60W 40/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-7034623(분할)
(22) 출원일자(국제) 2018년10월23일
심사청구일자 2023년10월10일
(85) 번역문제출일자 2023년10월10일
(65) 공개번호 10-2023-0147212
(43) 공개일자 2023년10월20일
(62) 원출원 특허 10-2022-7004969
원출원일자(국제) 2018년10월23일
심사청구일자 2022년03월15일
(86) 국제출원번호 PCT/US2018/057026
(87) 국제공개번호 WO 2019/221776
국제공개일자 2019년11월21일
(30) 우선권주장
62/586,557 2017년11월15일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US20170307736 A1
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
옵시스 테크 엘티디
이스라엘, 5885832 홀론, 하록뎀 스트리트 2, 캄
퍼스 아모트 빌딩
(72) 발명자
도노반, 마크 제이.
미국, 캘리포니아 94040, 마운틴 뷰, 포드햄 웨이
1517
(74) 대리인
오중한, 문용호

전체 청구항 수 : 총 13 항

심사관 : 이세경

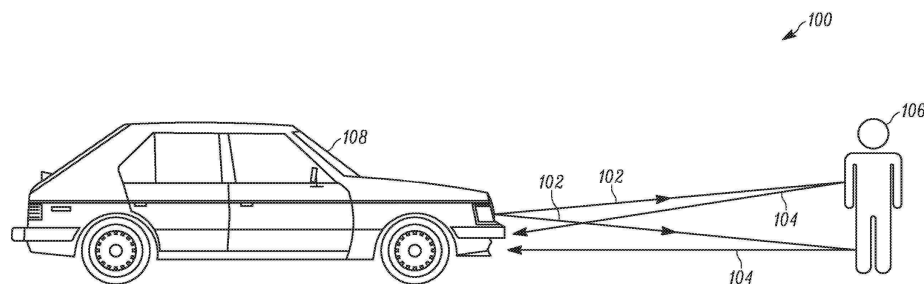
(54) 발명의 명칭 **잡음 적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템**

(57) 요약

광 검출 및 거리 측정(LIDAR: light detection and ranging) 시스템은 복수의 레이저를 포함하는 광 송신기를 포함하며, 여기서 복수의 레이저 각각은 시야(field-of-view)를 조명한다. 송신기 제어기는 복수의 레이저가 원하는 조명 영역에서 광을 생성하도록 복수의 레이저 중 원하는 레이저를 펄싱하도록 구성된다. 광 수신기는 원하는

(뒷면에 계속)

대표도



는 조명 영역에 걸쳐 광을 검출하도록 위치된 복수의 검출기를 포함한다. 복수의 검출기는 전기 검출 신호를 생성한다. 비행-시간 측정 회로는 복수의 레이저로부터 복수의 검출기로의 광의 비행-시간을 측정한다. 광 수신기는 비행-시간 측정치들로부터 거리 정보를 계산한다. 수신기 제어기는 송신기 제어기에 전기적으로 접속되고 원하는 검출 신호 잡음 레벨을 달성하는 바이어스 포인트에서 복수의 검출기의 적어도 일부를 바이어싱하도록 구성된다.

(52) CPC특허분류

G01S 17/42 (2013.01)
G01S 17/89 (2022.01)
G01S 17/931 (2020.01)
G01S 7/4815 (2013.01)
G01S 7/4816 (2013.01)
G01S 7/4865 (2013.01)
G01S 7/4868 (2013.01)
G01S 7/4876 (2013.01)
G01S 7/4911 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

US20160266242 A1
 US20060231771 A1
 KR1020160101140 A
 JP2017009339 A

명세서

청구범위

청구항 1

광 검출 및 거리 측정(LIDAR: light detection and ranging) 시스템으로서,

- a) 복수의 레이저를 포함하는 광 송신기로서, 상기 복수의 레이저 각각은 시야(field-of-view)를 조명하는, 광 송신기;
- b) 복수의 전기 출력을 갖는 송신기 제어기로서, 상기 복수의 전기 출력 각각은 상기 복수의 레이저 각각의 전기 입력 각각에 접속되고, 상기 복수의 레이저가 원하는 조명 영역에서 광을 생성하도록 상기 송신기 제어기가 상기 복수의 레이저 중 원하는 레이저를 펄싱하도록 구성되는, 송신기 제어기;
- c) 상기 원하는 조명 영역에 걸쳐 광을 검출하도록 위치되는 복수의 검출기-상기 복수의 검출기의 적어도 일부는 전기 검출 신호를 생성하는 공통 출력을 갖는 서브-어레이로 구성되고, 상기 서브-어레이로서 구성된 복수의 검출기 중 적어도 일부는 단일 소자처럼 동작하도록, 상기 서브-어레이로서 구성된 복수의 검출기 중 적어도 일부의 애노드는 단일 입력에 연결되고 상기 서브-어레이로서 구성된 복수의 검출기 중 적어도 일부의 캐소드는 단일 출력에 연결됨 -, 및 상기 복수의 레이저로부터 상기 복수의 검출기로의 광의 비행-시간을 측정하는 비행-시간 측정 회로를 포함하고, 비행-시간 측정치들로부터 거리 정보를 계산하는 광 수신기; 및
- d) 상기 송신기 제어기에 전기적으로 접속되고 복수의 전기 출력을 갖는 광 수신기 제어기로서, 상기 복수의 전기 출력의 적어도 하나는 상기 서브-어레이로 구성된 상기 복수의 검출기의 적어도 일부의 적어도 하나의 입력에 접속되는, 광 수신기 제어기를 포함하는, LIDAR 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 복수의 레이저 중 적어도 2개는 상이한 파장을 방출하는, LIDAR 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 송신기 제어기는 원하는 신호-대-잡음비를 갖는 검출된 광 신호를 달성하는 듀티 사이클 당 펄스의 개수로 상기 복수의 레이저 중 원하는 레이저를 펄싱하도록 구성되는, LIDAR 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 송신기 제어기는 듀티 사이클 당 4개 이상의 펄스로 상기 복수의 레이저 중 원하는 레이저를 펄싱하도록 구성되는, LIDAR 시스템.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 송신기 제어기는 듀티 사이클 당 10개 이상의 펄스로 상기 복수의 레이저 중 원하는 레이저를 펄싱하도록 구성되는, LIDAR 시스템.

청구항 6

제3항에 있어서,

상기 송신기 제어기는 듀티 사이클 당 25개 이상의 펄스로 상기 복수의 레이저 중 원하는 레이저를 펄싱하도록 구성되는, LIDAR 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 전기 검출 신호의 원하는 잡음 레벨을 달성하기 위해, 상기 광 수신기 제어기는 상기 서브-어레이로서 구성된 복수의 검출기 중 상기 적어도 일부 중 적어도 하나의 연결된 것을 위한 전압 바이어스를 낮추도록 구성되는, LIDAR 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 복수의 검출기 중 적어도 2개는 상기 복수의 레이저 중 적어도 2개에 의해 조명되는 중첩 시야에서 광을 검출하도록 위치되는, LIDAR 시스템.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 광 수신기의 상기 복수의 검출기 중 적어도 하나는 PIN 검출기, 선행 애벌랜치 광 검출기(APD: avalanche photodetector), 가이저-모드(Geiger-Mode) APD, 실리콘 포토멀티플라이어(SiPM) 및 다중-픽셀 광자 카운터(MPPC: multi-pixel photon counter)로 이루어진 그룹으로부터 선택되는, LIDAR 시스템.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 복수의 검출기 중 적어도 하나는 상기 검출기의 입력으로의 태양 배경 광의 강도를 감소시키는 입력 필터를 포함하는, LIDAR 시스템.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 복수의 검출기 중 적어도 하나는 제한된 검출 영역 시야를 갖도록 구성되는, LIDAR 시스템.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 비행-시간 측정 회로는 시간-대-디지털 회로를 포함하는, LIDAR 시스템.

청구항 13

제1항에 있어서, 상기 비행-시간 측정 회로는 아날로그-대-디지털 변환 회로를 포함하는, LIDAR 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 광을 반사 및/또는 산란시키는 다양한 객체 또는 타겟까지의 거리를 측정하는 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 자율, 자체-주행 및 반-자율 자동차는 주변 객체의 검출 및 위치에 대해 레이더, 이미지-인식 카메라 및 소나(sonar)와 같은 상이한 센서 및 기술의 조합을 사용한다. 이러한 센서는 충돌 경고, 자동-비상 제동, 차선-이탈 경고, 차선-유지 지원, 적응형 크루즈 제어 및 파일럿 주행(piloted driving)을 포함하여 운전자 안전에 큰 개선을 가능하게 한다. 이러한 센서 기술 중 광 검출 및 거리 측정(LIDAR: light detection and ranging) 시스템은 중요한 역할을 차지하며, 주변 환경의 실시간, 고해상도 3D 매핑을 가능하게 한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0003] 자동차 어플리케이션의 점점 더 복잡해지는 어레이의 요건을 해결하기 위해, 빠르게 움직이는 객체에 반응할 수 있을 만큼 충분히 빠른 응답 시간을 갖는 LIDAR 시스템이 필요하다. LIDAR 시스템은 또한 수신된 신호가 멀리 있는 객체를 검출하기에 충분한 신호-대-잡음비를 가져야 한다. 또한, LIDAR 시스템은 최소한의 가동 부품으로 높은 신뢰성을 갖는 것이 바람직하다.

과제의 해결 수단

- [0004] 본 발명의 실시예에 따른, 광 검출 및 거리 측정(LIDAR: light detection and ranging) 시스템은 복수의 레이저를 포함하는 광 송신기를 포함하며, 여기서 복수의 레이저 각각은 시야(field-of-view)를 조명한다. 송신기 제어기는 복수의 레이저가 원하는 조명 영역에서 광을 생성하도록 복수의 레이저 중 원하는 레이저를 펄싱하도록 구성된다. 광 수신기는 원하는 조명 영역에 걸쳐 광을 검출하도록 위치된 복수의 검출기를 포함한다. 복수의 검출기는 전기 검출 신호를 생성한다. 비행-시간 측정 회로는 복수의 레이저로부터 복수의 검출기로의 광의 비행-시간을 측정한다. 광 수신기는 비행-시간 측정치들로부터 거리 정보를 계산한다. 수신기 제어기는 송신기 제어기에 전기적으로 접속되고 원하는 검출 신호 잡음 레벨을 달성하는 바이어스 포인트에서 복수의 검출기의 적어도 일부를 바이어싱하도록 구성된다.

발명의 효과

- [0005] 본 발명은 검출된 전기 신호에서 잡음을 감소시킴으로써 수신된 측정 신호에서 잡음을 감소시킬 수 있는 잡음-적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템을 설명한다. 이는 개선된 SNR 및 그에 따른 더 길어진 측정 범위로 귀결된다.

도면의 간단한 설명

- [0006] 도 1은 차량에 구현되는 본 교시에 따른 LIDAR 시스템의 실시예를 나타낸다.
- 도 2는 본 교시에 따른 자동차의 주위에 대한 LIDAR 감지 시스템의 실시예의 2차원 시야 및 범위 요건을 나타내는 개략도를 나타낸다.
- 도 3은 본 교시의 다중-모듈 LIDAR 센서 시스템의 실시예를 나타낸다.
- 도 4a는 알려진 3D 플래시 LIDAR 시스템의 개략도를 나타낸다.
- 도 4b는 도 4a의 알려진 3D 플래시 LIDAR 시스템의 시스템 시야의 2차원 투사를 나타낸다.
- 도 5a는 기계적 스캐닝 접근법을 사용하는 알려진 LIDAR 시스템을 나타낸다.
- 도 5b는 도 5a의 LIDAR 시스템의 시스템 시야의 2차원 투사를 나타낸다.
- 도 6a는 본 교시에 따른 잡음-적응형 솔리드 스테이트 LIDAR 시스템의 실시예를 나타낸다.
- 도 6b는 도 6a의 잡음-적응형 솔리드 스테이트 LIDAR 시스템의 시스템 시야의 2차원 투사를 나타낸다.
- 도 6c는 개별 레이저 및 개별 검출기를 강조하는 도 6a의 잡음-적응형 솔리드 스테이트 LIDAR 시스템 시야의 2차원 투사를 나타낸다.
- 도 7a는 본 교시에 따른 잡음-적응형 솔리드 스테이트 LIDAR 시스템의 실시예에 대한 블록도를 나타낸다.
- 도 7b는 도 7a의 잡음-적응형 솔리드 스테이트 LIDAR 시스템의 실시예의 수신 및 TOF 계산 전자 기기의 상세 블록도를 나타낸다.
- 도 8은 알려진 초점 평면 어레이(FPA: Focal Plane Array)의 블록도를 나타낸다.
- 도 9는 알려진 실리콘 포토-멀티플라이어(photo-multiplier), 다중-픽셀 광자 카운터(MPPC: multi-pixel photon counter) 검출기의 개략도를 나타낸다.
- 도 10a는 본 교시에 따른 잡음 적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템에 대한 가이거-모드(Geiger-Mode) APD 및

퀸칭(quenching) 저항을 사용하는 제어되는 검출기 어레이의 실시예의 개략도를 나타낸다.

도 10b는 본 교시에 따른 잡음 적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템에 대해 선형 APD를 사용하는 제어되는 검출기 어레이의 실시예의 개략도를 나타낸다.

도 10c는 본 교시에 따른 잡음 적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템에 대한 가이저-모드 APD 및 퀸칭 저항을 갖는 4-요소 검출기 서브-어레이를 사용하는 제어되는 검출기 어레이의 실시예의 개략도를 나타낸다.

도 11a는 본 교시의 잡음 적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템의 가이저-모드 APD 및 퀸칭 저항을 갖는 제어되는 검출기 어레이의 실시예에 대한 개략도를 나타낸다.

도 11b는 본 교시의 잡음 적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템에 대해 선형 APD를 사용하는 제어되는 검출기 어레이의 실시예에 대한 개략도를 나타낸다.

도 11c는 본 교시의 잡음 적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템의 가이저-모드 APD 및 퀸칭 저항을 갖는 4-요소 검출기 서브-어레이를 포함하는 제어되는 검출기 어레이의 실시예에 대한 개략도를 나타낸다.

도 12는 본 교시의 LIDAR 시스템의 전단(front-end) 스위치를 갖는 증폭기를 갖는 제어되는 검출기 어레이의 실시예를 나타낸다.

도 13은 본 교시의 잡음-적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템의 알고리즘을 구현하는 방법의 실시예의 흐름도를 나타낸다.

도 14는 스마트 객체 검출을 통합하는 본 교시의 잡음-적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템의 알고리즘을 구현하는 방법의 실시예의 흐름도를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0007] 본원에서 사용된 섹션 제목은 단지 편집적인 목적을 위한 것이며 본 출원에 설명된 주제를 어떤 방식으로든 제한하는 것으로 해석되어서는 안된다.
- [0008] 관련 출원에 대한 상호 참조
- [0009] 본 출원은 2017년 11월 15일자로 출원되고 발명의 명칭이 "잡음 적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템"인 미국 가특허 출원 번호 62/586,557호의 정규 출원이다. 미국 가특허 출원 번호 62/586,557호의 전체 내용은 본원에 참조로 통합된다.
- [0010] 바람직한 그리고 예시적인 실시예에 따라, 그 추가적인 이점과 함께, 본 교시는 첨부 도면과 관련하여 이해되는 후술하는 상세한 설명에서 더욱 구체적으로 설명된다. 본 기술 분야의 통상의 기술자는 후술되는 도면이 단지 예시를 위한 것임을 이해할 것이다. 도면은 반드시 스케일대로는 아니며, 대신 일반적으로 교시의 원리를 설명하는 데 중점을 둔다. 도면은 어떠한 방식으로든 출원인의 교시의 범위를 한정하려는 것으로 의도되지 않는다.
- [0011] 본 교시는 이제 첨부 도면에 나타내어진 바와 같은 그 예시적인 실시예를 참조하여 더욱 상세하게 설명될 것이다. 본 교시는 다양한 실시예 및 예와 관련하여 설명되지만, 본 교시가 이러한 실시예로 한정되는 것으로 의도되지 않는다. 반대로, 본 교시는 본 기술 분야의 통상의 기술자에 의해 이해되는 바와 같이, 다양한 대안, 수정 및 등가물을 포함한다. 본원의 교시에 접근하는 본 기술 분야의 통상의 기술자는 본원에 설명되는 바와 같이 본 개시의 범위 내에 있는 추가의 구현, 수정 및 실시예뿐만 아니라 다른 사용 분야를 인식할 것이다.
- [0012] 본 명세서에서 "일 실시예" 또는 "실시예"에 대한 언급은 실시예와 관련하여 설명되는 특성의 특정, 구조 또는 특성이 본 교시의 적어도 하나의 실시예에 포함됨을 의미한다. 명세서의 여러 곳에서의 "일 실시예에서"라는 문구의 출현이 반드시 모두 동일한 실시예를 언급하는 것은 아니다.
- [0013] 본 교시의 방법의 개별 단계는 본 교시가 동작 가능한 한 임의의 순서로 및/또는 동시에 수행될 수 있음을 이해해야 한다. 또한, 본 교시의 장치 및 방법은 본 교시가 동작 가능한 한 설명되는 실시예 중 임의의 수 또는 전부를 포함할 수 있음을 이해해야 한다.
- [0014] 본 교시는 광을 반사 및/또는 산란시키는 다양한 객체 또는 타겟까지의 거리를 측정하는 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템에 관한 것이다. 특히, 본 교시는 검출된 전기 신호에서 잡음을 감소시킴으로써 수신된 측정 신호에서 잡음을 감소시킬 수 있는 잡음-적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템을 설명한다. 이는 개선된 SNR 및 그에 따른 더 길어진 측정 범위로 귀결된다.

- [0015] 자동차 어플리케이션은 빠르게 움직이는 객체에 응답하기에 충분한 시간을 제공하기 위해 100 미터를 초과하는 측정 범위를 갖는 LIDAR 시스템을 필요로 한다. 예를 들어, 분할되지 않은 고속도로 상에서 반대 차선에 있는 2대의 차량은 250 km/h(150mph) 이상의 다가오는 상대 속도를 가질 수 있다. 250 km/h에서는, 두 차량 사이에 100 미터 간격을 좁히는 데 1.44 초 밖에 걸리지 않을 것이다.
- [0016] LIDAR 시스템에서 수신된 신호의 신호-대-잡음비(SNR: Signal-to-Noise Ratio)는 객체가 검출될 수 있는지 여부, 거리 및 에러율을 결정한다. 신호 강도는 송신되는 광 전력에 따르며, 더 높은 송신 전력은 더 강한 반사된 복귀 신호를 제공하여 범위를 증가시킨다. 그러나, 자동차 LIDAR 시스템은 통상적으로 송신될 수 있는 최대 허용 광 전력을 제한하는 클래스 1 레이저 눈 안전 표준(Class 1 laser eye safety standard)을 갖도록 제한된다. 클래스 1 눈-안전 표준 내에서 동작함으로써, 레이저 광을 방출하는 제품은 모든 합리적으로 예상되는 사용 조건 하에서 눈이 안전한 것으로 간주된다. 클래스 1 눈 안전 송신 광 전력 한계에 도달되면, 광 수신기 설계 및/또는 신호 프로세싱 이득을 통해 SNR에서의 추가 개선이 달성되어야 한다. 또한 LIDAR 시스템은 신뢰성을 최대화하기 위해 움직이는 부품을 갖지 않는 완전한 솔리드-스테이트인 것이 자동차 어플리케이션에 있어서 매우 바람직하다.
- [0017] 도 1은 차량에 구현된 본 교시의 LIDAR 시스템(100)의 동작을 나타낸다. LIDAR 시스템(100)은 광원에 의해 생성된 광 빔(102)을 타겟 장면을 향해 투사하는 조명기로도 칭해지는 레이저 투사기, 및 그 타겟 장면에서 사람(106)으로 나타내어진 객체를 반사하는 광(104)을 수신하는 수신기를 포함한다. LIDAR 시스템은 통상적으로 반사된 광으로부터 객체(106)에 대한 거리 정보를 계산하는 제어기 및/또는 시스템 프로세서, 및 원하는 범위 및 시야(FOV: field-of-view)에 걸쳐 정적 패턴일 수 있는 특정 광 패턴을 스캐닝하거나 제공할 수 있는 요소를 포함한다. 수신기, 제어기 및 시스템 프로세서는 LIDAR 시스템 범위 및 FOV 내에 있는 주위 환경의 포인트별 3D 맵을 나타내는 측정치로 수신된 신호 광을 변환시키는 데 사용된다. 다양한 실시예에서, 제어기는 특정 어플리케이션에 따라 간단한 전기 회로 또는 보다 복잡한 프로세서일 수 있다.
- [0018] 조명기 및 수신기를 형성하는 레이저 소스 및 광학 빔 투사 시스템은 차량(108)의 전방측 상에 위치될 수 있다. 레이저 소스 및 광 빔 투사 시스템은 또한 송신기로 지칭될 수 있다. 사람(106) 및/또는 자동차 또는 전등과 같은 다른 객체는 소스로부터 반사된 광을 수신기로 다시 제공할 것이다. 그 후, 제어기는 해당 객체까지의 범위 또는 거리를 결정한다. 본 기술 분야에 알려진 바와 같이, LIDAR 수신기는 광원으로부터 방출된 광 펄스의 비행-시간 측정치에 기초하여 범위 정보를 계산한다. 또한, 특정 범위와 연관되고 소스 및 투사기 시스템의 특정 설계에 기초하여 타겟 평면에서 장면을 조명하는 광 빔 프로파일에 대해 알려진 정보는 장면의 완전한 x, y, z 또는 3차원 픽처를 생성하기 위해 반사 표면에 대한 위치 정보를 결정하는 데 사용된다. 즉, 주위 환경의 포인트별 3D 맵은 LIDAR 시스템의 시야 내에서 소스로부터 수신기로의 조명을 반사하는 모든 표면으로부터의 위치 정보를 나타내는 측정 데이터의 모음을 나타낸다. 이러한 방식으로, LIDAR 시스템의 시야에서 객체의 3D 표현이 획득된다. 포인트별 3D 데이터 맵은 또한 측정 포인트 클라우드로 칭해질 수 있다.
- [0019] 도 2는 자동차(202)에 대한 통상적인 주위 감지 LIDAR 시스템(200)의 2차원 시야 및 범위 요건을 나타내는 개략도를 나타낸다. 예를 들어, 적응형 크루즈 제어 기능은 좁은 시야를 갖는 시야 및 범위(204)를 요구할 수 있지만, "서라운드 뷰" 시야 및 범위(206)를 바라보는 측면과 비교하여 더 긴 거리 범위 요건을 갖는다. 일반적으로, 자동차의 센서 기능은 LIDAR, 레이더, 카메라 및 초음파 센서의 조합에 의해 가능할 수 있다. 주위 환경에 대한 정보를 생성하기 위한 이러한 센서 데이터의 결합은 종종 "센서 퓨전(sensor fusion)"이라 칭해진다.
- [0020] 본 교시는 LIDAR가 자율, 자체-주행 또는 운전자-보조 차량에 널리 사용되는 자동차 차량과 관련하여 LIDAR 시스템을 설명하지만, 실시예는 임의의 차량에 적용 가능할 수 있음을 이해해야 한다. 다른 유형의 차량은 로봇, 트랙터, 트럭, 항공기, 드론, 보트, 선박 등을 포함할 수 있다. 본 교시는 또한 다양한 정적인 어플리케이션에 적용 가능하다. 예를 들어, 밀도가 높은 대도시 지역에서, LIDAR가 차량 및 보행자 모두의 트래픽을 모니터링하기 위해 채용될 수 있다. LIDAR 시스템의 비용이 시간이 지나면서 낮아짐에 따라 많은 상이한 어플리케이션에 배치된 LIDAR를 볼 것으로 예상할 수 있다. 본 기술 분야의 통상의 기술자는 본 발명이 검출되고 범위가 측정되고 있는 객체의 유형을 한정하지 않음을 이해할 것이다.
- [0021] 도 3은 본 교시의 자동차(302)에 대한 센서 시스템(300)을 나타낸다. 도면에서 2D 웨지로 나타내어진 다양한 범위 및 시야로 동작하는 6개의 개별 LIDAR 모듈(304)이 있다. LIDAR 모듈(304) 중 4개는 주로 측면-뷰이고, 각각은 대략 120 도의 범위 및 시야(306)를 갖는다. 전방 모듈은 가장 좁은 시야 및 가장 긴 거리 범위를 갖는 범위 및 시야(308)를 갖는 것으로 나타내어진다.

- [0022] 도 4a는 알려진 3D 플래시 LIDAR 시스템(400)의 개략도를 나타낸다. 플래시 LIDAR 시스템(400)에서, 고전력 레이저(402)는 타겟 범위(406)에서 객체를 조명하는 단일 송신된 펄스에서 전체 송신기 시야(404)를 조명하는 데 사용된다. 타겟 범위에서 객체로부터의 반사된 광은 초점 평면 어레이(FPA: focal plane array)(408)에 의해 수신되고, 여기서 어레이(408)의 각각의 개별 검출기는 3D 측정 포인트에 대응한다. 어레이(408)가 도 4a에 측면도로 나타내어진다. 도 4a에 나타난 바와 같이, 송신기는 빔을 확장시키고 타겟 범위(406)에서 원하는 시야(404)를 조명하도록 작용하는 광학계(410)와 결합된 고전력 레이저(402)로 구성된다. 도 4b는 도 4a의 알려진 초점 평면 어레이(408)의 시스템 시야(420)의 2차원 투사를 나타낸다. 조명된 영역은 어레이(408) 위의 원형 투사(422)로 나타내어진다. 도 4a 및 도 4b 모두를 참조하면, 수신기는 검출기 어레이(408) 상에 이미지를 형성하는 수신기 광학계(412)로 구성되며, 여기서 각각의 개별 검출기는 정사각형(424)으로 나타내어지고 개별 3D 측정 포인트에 대응하는 검출기 시야를 갖는다. 전체 검출기 어레이의 시야는 도 6에 나타내어진 도면(620)에서 정사각형(424)의 전체 매트릭스에 의해 표현된다. 도면(620)은 조명 영역에서 원형 투사(422)인 검출기 어레이(408)의 시야와 송신기의 시야가 반드시 동일한 형상 및/또는 크기일 필요는 없음을 나타낸다.
- [0023] 플래시 LIDAR는 통상적으로 움직이는 부품이 없는 솔리드-스테이트라는 이점을 갖는다. 플래시 LIDAR는 또한 송신기와 수신기 광학계가 별도로 최적화될 수 있다는 이점을 갖는다. 그러나 플래시 LIDAR의 하나의 주요 단점은 고전력 레이저(402)가 필요하다는 점이다. 플래시 LIDAR의 경우, 특히 800-nm 내지 1,000-nm 파장 범위의 파장에서 100 플러스 미터 타겟 범위까지 측정할 수 있는 시스템을 여전히 달성하면서, 클래스 1 눈 안전을 유지하기 어렵다. 눈의 안전을 위해, 플래시 LIDAR 시스템은 통상적으로 사람의 눈이 비교적 낮은 감도를 갖는 1,550-nm 파장으로 동작한다. 그러나 1,550-nm 파장 송신기 및 수신기 구성 요소는 상대적으로 비용이 높다.
- [0024] 플래시 LIDAR 시스템의 두 번째 단점은 3D 포인트 클라우드의 해상도가 검출기 어레이(408)에 의해서만 결정된다는 것이다. 검출기(때로는 픽셀로 지칭됨)의 개수 및 어레이 크기는 측정 해상도를 결정한다. 자동차 LIDAR에 대한 각 해상도 요건을 충족하려면 매우 높은 밀도의 검출기 어레이(수천 개의 요소)가 필요할 것이다.
- [0025] 플래시 LIDAR의 세 번째 단점은 어레이(408)의 모든 개별 검출기가 카메라와 유사하게 병렬로 동작한다는 점이다. 단일 고전력 송신기 펄스의 경우, 측정은 모든 검출기로 동시에 수행된다. 결과적으로, 각각의 검출기는 TOF 및 진폭 데이터와 같은 신호 정보를 캡처하기 위한 그 자체 회로를 가져야 한다. 모든 픽셀이 병렬로 작동해야 하는 요건은 픽셀 밀도가 높아짐에 따라 매우 급격하게 증가하는 시스템의 비용을 초래한다. 리프레이시 레이트는 더 늦은 리프레이시 레이트로 이어지는 더 많은 픽셀 카운트로 또한 통상적으로 영향을 받는다.
- [0026] 도 5a는 기계적 스캐닝 접근법을 사용하는 알려진 LIDAR 시스템(500)을 나타낸다. 기계적 스캐닝 LIDAR 시스템에서, 레이저(502)에 의해 방출된 레이저 빔은 송신기 광학계(504)의 세트에 의해 고도로 시준되어 실용적으로 작은 빔 발산을 획득한다. 고도로 시준된 송신기 빔은 송신기 빔을 반사하고 원하는 시야에 걸쳐 레이저 빔을 스캐닝하도록 동작하는 회전 미러(506)로 지향된다.
- [0027] 나타내어진 기계적 스캐닝 LIDAR 시스템(500)에서, 수신기 시스템은 미러(506)로부터 반사된 광을 수신하도록 구성된 수신 광학계(508) 및 검출기(510)를 포함하여, 검출기(510)는 또한 좁은 시야를 갖는다. 도 5a의 개략도에서, 빔 결합기(512)는 송신 및 반사된 광을 공간적으로 결합하기 위해 사용된다. 도 5b는 도 5a의 LIDAR 시스템의 시스템 시야(520)의 2차원 투사를 나타낸다. 이상적으로, 도면에서 작은 정사각형(522)으로 표현되는 검출기 시야는 작은 원(524)으로 표현된 시준된 레이저 빔에 의해 조명된 영역보다 단지 약간 더 크다.
- [0028] 시스템 시야(520)의 2D 투사에서, 스캐닝 경로(526)의 일례가 나타내어져 있다. MEMS 디바이스로서 통상적으로 구현되는 미러(506)를 사용하는 것과 연관된 기계적 제약이 주어지면, 스캐닝 경로(526)는 먼저 한 행을 가로지른 후 다음 행을 가로질러 스위핑(sweeping)하는 연속적인 곡선이다. 미러(506)의 물리적 모션이 필요하기 때문에, 측정 포인트 사이를 이동할 때 항상 약간의 대기 시간이 존재한다.
- [0029] 기계적 스캐닝 LIDAR 시스템(500)은 회전 미러(506)에 의해 부과된 특정 제한을 갖는다. 스캐닝 속도는 미러 크기의 강한 함수일 것이고, 높은 리프레이시 레이트를 갖기 위해, 그 미러의 크기는 종종 직경 5 mm 미만이다. 5 mm까지의 직경 외측의 임의의 전력은 손실되어 타겟으로 송신되지 않을 것이기 때문에, 레이저 빔의 크기는 임의로 확장될 수 없으므로 미러 크기는 송신기의 시준/발산을 제한한다. 수신 측에서, 수신기 광학계는 "미러를 통해 보기" 때문에, 수신기의 최대 클리어 개구는 다시 미러(506)의 크기와 등가이다. 5-mm 직경의 클리어 개구 내에서 수신된 반사된 광의 양은 타겟이 낮은 반사율을 갖고 및/또는 비, 안개 및/또는 눈과 같은 악천후 조건이 있는 경우와 같은 일부 조건에서, 단일-광자 검출로도 필요한 100 플러스 미터 범위에 도달하기에 충분하지 않을 수 있다. 또한, 문제가 되는 자동차 환경에서 사용되고 있는 기계 기반 스캐닝 LIDAR 시스템(500)에 대한

장기적인 신뢰성 문제가 있다.

- [0030] 도 6a는 움직이는 부품이 없는 잠음 적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템(600)의 일 실시예의 개략도를 나타낸다. 도 6a에서, 송신기는 전체 시스템 시야를 한 번에 조명하는 플래시 광원이 아니다. 대신, 송신기는 레이저 어레이(602)를 포함하며, 여기서 어레이(602)의 각각의 레이저는 독립적으로 발사될 수 있으며, 어레이(602)의 각각의 레이저에 의해 방출된 광 빔은 단일 3D 측정 포인트에 대응한다. 도 6a의 송신기에서 각각의 레이저 빔은 고도로 시준되고 도 5a 및 도 5b와 관련하여 설명된 스캐닝 시스템과 유사하게 단일 측정 포인트에 대응하도록 포커싱된다. 일부 실시예에서, 레이저 어레이(602)의 레이저로부터의 모든 광 빔은 송신기 광학계(606)를 공유하고, 타겟 범위로부터의 반사된 광은 또한 수신기 광학계(608)를 공유한다. 이러한 송신기의 일례가 본 양수인에게 양도된 미국 특허 공개 제2017/0307736 A1호에 상세히 설명된다. 미국 특허 공개 제2017/0307736 A1호의 전체 내용은 본원에 참고로 통합된다.
- [0031] 본 교시의 하나의 특징은, 송신기의 레이저 어레이가 개별의 구분된 파장을 갖는 광 빔을 방출하는 레이저를 포함할 수 있다는 것이다. 예를 들어, 특정 행, 열 또는 다른 레이저 그룹핑이 다른 행, 열 또는 다른 레이저 그룹핑과 상이한 파장으로 동작할 수 있다. 이러한 다중-파장 LIDAR 시스템은 단일 파장 LIDAR 시스템보다 낮은 비용의 컴팩트한 광학 설계로 더 미세한 각도 해상도와 성능을 제공한다. 또한, 본 교시의 다중-파장 LIDAR 시스템은 개선된 보안 및 병렬화에 대한 간단한 경로를 제공할 수 있다. 예를 들어, 2017년 3월 13일자로 출원되고 발명의 명칭이 "다중-파장 LIDAR 시스템"인 미국 특허 출원 제15/456,789호 및 2016년 9월 19일자로 출원되고 발명의 명칭이 "WDM Lidar 시스템"인 미국 가특허 출원 제62/396,295호를 참조하며, 이들 모두는 본원에 참고로 통합된다.
- [0032] 본 교시의 방법 및 장치는 상이한 주파수에서 광을 방출하는 레이저 또는 레이저의 어레이를 사용하는 다중-파장 잠음-적응형 LIDAR 시스템과 함께 사용될 수 있다. 이러한 시스템은 통합되거나 별개의 시준 광학계를 포함하여 LIDAR 시스템의 시야 및 범위에 걸쳐 다양한 타겟 평면에서의 원하는 빔 프로파일, 및 검출기 어레이에서의 파장의 함수인 연관된 원하는 조명 영역을 형성할 수 있다. 다양한 시스템에서, 수신기는 파장에 민감하거나 그렇지 않을 수 있다. 수신기가 상이한 파장을 방출하는 레이저 소스에 의해 방출된 2개의 파장으로부터의 광을 구분할 수 있는 실시예에서, 각각의 파장으로부터 반사된 조명은 개별적으로 프로세싱된다. 이러한 실시예에서, 시간의 함수로서의 조명 영역 형상 및 크기에 추가하여, 제어기는 레이저가 펄싱 온(on) 및 오프(off)되는 것에 기초하여 조명 영역의 파장을 결정할 수 있다. 이러한 방식으로, 조명 영역의 파장은 원하는 조명 패턴의 일부가 된다.
- [0033] 도 6a에 나타난 수신기는 움직이는 부품이 없는 솔리드-스테이트일 수 있다. 수신기는 통상적으로 송신기 어레이(602)가 개별 레이저를 갖는 것보다 적은 개수의 개별 검출기 요소를 갖는 검출기 어레이(604)를 사용한다. 도 6b는 도 6a의 LIDAR 시스템의 시스템 시야(620)의 2차원 투사를 나타낸다. 검출기 어레이(604)의 개별 검출기 시야는 작은 정사각형(622)으로 나타내어져 있다. 송신기 어레이(602)에서 개별 레이저와 연관된 조명된 측정 포인트는 원(624)으로 나타내어져 있다. 도 6b는 각각의 어레이에서 레이저의 개수에 대한 검출기의 개수의 비율이 각각 1 대 9임을 나타낸다. 이 예에서, 검출기 어레이는 5X5 어레이이다. 등가의 각도 해상도를 갖는 플래시 시스템과 비교하여, 도 6a에 나타난 LIDAR 시스템의 검출기 어레이(604) 비용은, 검출기의 개수가 더 적을 수 있기 때문에 더 낮을 수 있다. 도 6a의 시스템의 측정 해상도는 검출기 요소의 크기에 의해 결정되지 않고, 대신 송신기 내의 레이저의 개수 및 개별 레이저 빔의 시준에 의해 결정된다.
- [0034] 검출기 어레이(604) 및 각각의 검출기 요소의 필요한 크기는 전체 수신기 시야, 수신 광학계(608)의 초점 길이, 및 각각의 검출기 상의 잡음을 포함하는 몇몇 요인에 의해 영향을 받는다. 실외에서 동작하는 자동차 시스템의 경우, 고성능 수신기를 설계할 때 태양에 의해 생성되는 배경 잡음이 고려되어야 한다. 태양 방사 잡음은 파장 차단 필터의 적절한 선택뿐만 아니라 개별 검출기 시야를 제한함으로써 제한되어야 한다. LIDAR 시스템이 어떠한 태양 방사 잡음도 없이 실내에서만 동작되는 경우, 검출기의 크기는 훨씬 더 크게 될 수 있으며, 검출기에 대한 RF 요건(O/E 대역폭, 상승 시간, 하강 시간 등)에 의해서만 제한된다.
- [0035] 도 6c는 개별 레이저 및 개별 검출기에 대해 도 6a와 관련하여 설명된 LIDAR 시스템의 시스템 시야(650)의 2차원 투사를 나타낸다. 도 6c는 도 6a의 실시예의 중요한 양태를 나타낸다. 도 6c에서, 도 6a의 LIDAR 시스템의 전체 FOV에서의 단일 3D 측정 포인트가 강조되고, 측정 포인트는 어두운 원(652)으로 나타내어진다. 이 포인트는 레이저 어레이(602)에서 특정 개별 레이저와 일-대-일로 대응한다. 도 6c에서, 이 측정 포인트는 개별 검출기 내에 속함을 추가로 알 수 있으며, 여기서 해당 개별 검출기의 FOV는 이를 식별하기 위한 크로스-해치(cross-hatch) 패턴을 갖는 정사각형(654)으로 나타내어져 있다. 일부 실시예에서, LIDAR 시스템에서 각각의 개

별 레이저는 개별적으로 펄싱되며, 본 교시의 LIDAR 시스템은 각각의 레이저의 각 투사 각도와 각각의 개별 검출기의 대응하는 시야 간의 관계에 대한 지식을 갖는다. 이와 같이, 시스템은 특정 레이저 발사 패턴과 연관된 조명 영역 및 조명 영역에 의해 조명되는 특정 검출기 요소 사이의 대응 관계를 확립할 수 있다. 본 교시의 LIDAR 시스템은 이 대응 정보를 사용하여 TOF 측정 회로로 진입하는 잡음을 적응적으로 낮춘다. 측정 잡음이 최소화될 수 있는 방식에 대한 추가 설명은 후술된다.

[0036] 본 교시의 일부 실시예에서, 개별 레이저 측정 포인트는 복수의 검출기와 중첩될 수 있으며, 여기서 검출기의 개수는 검출기의 전체 개수의 서브세트이다. 단일 레이저와 단일 검출기 간에 일-대-일 대응을 가질 필요는 없다. 필요한 모든 것은 LIDAR 시스템이 특정 레이저로부터 반사된 빛을 수신할 검출기를 식별할 수 있도록 개별 레이저와 개별 검출기 시야 간의 대응 관계를 이해하는 것이다.

[0037] 검출기의 그룹 또는 어레이를 사용하는 실시예에서, 어레이 또는 서브어레이 내의 애노드는 단일 입력에 접속될 수 있고, 어레이 또는 서브어레이 내의 캐소드는 단일 출력에 접속될 수 있어, 외부 회로에 대해 어레이 또는 서브 어레이 디바이스는 단일 요소처럼 작동한다. 검출기의 어레이 또는 서브어레이는 인접하거나 인접하지 않을 수 있고, 단일 출력을 생성하기 위해 병렬로 접속되거나 접속되지 않을 수 있다. 일부 실시예에서, 개별 검출기, 어레이 또는 서브어레이의 시야는 태양 배경 잡음의 영향을 감소시키도록 제한된다.

[0038] 개별 레이저 또는 레이저의 어레이는 펄싱되어 검출기에서 조명 영역을 생성한다. 이 조명 영역은 특정 측정을 위해 발사되는 레이저의 패턴에 기초하여 다양한 형상과 크기를 가질 수 있다. 예를 들어, 단일 레이저가 발사되어 검출기에서 단일 레이저 시야 조명 형상을 생성할 수 있다. 상술한 바와 같이, 이 조명 영역은 LIDAR 시스템의 설계에 따라 다양한 크기를 가질 수 있다. 복수의 레이저가 발사될 때, 조명 영역의 형상 및 크기는 발사된 레이저의 위치 및 각각의 개별 레이저 시야에 따라 다를 것이다.

[0039] 검출기 어레이는 다양한 검출 영역 크기 및 형상 및 어레이 간격을 포함하여 다양한 구성을 가질 수 있다. 이와 같이, 조명 영역은 어레이 또는 단일 검출기에서 복수의 검출기를 커버할 수 있다. 심지어 더 복잡한 조명 영역 및 관련 검출 영역을 갖는 조명 영역 및 검출기 구성이 알려져 있기 때문에, 레이저 발사 패턴과 조명 영역 내에 속하는 검출기 또는 검출기 그룹 사이에는 일-대-일 대응 관계가 존재한다. 이러한 대응 정보는 제어기에 의해 사용되어 검출기 어레이로부터 TOF 측정 회로의 입력에 의해 보이는 잡음을 적응적으로 낮춘다.

[0040] 도 7a는 본 교시에 따른 실시예에 대한 LIDAR 시스템 블록도(700)를 나타낸다. LIDAR 시스템은: 제어기 및 인터페이스 전자 기기(702), 레이저 드라이버를 포함하는 송신 전자 기기(704), 레이저 어레이(706), 수신 및 TOF 계산 전자 기기(708) 및 검출기 어레이(710)의 5개의 주요 구성 요소를 갖는다. 제어기 및 인터페이스 전자 기기(702)는 LIDAR 시스템의 전체 기능을 제어하고 호스트 시스템 프로세서(712)에 디지털 통신을 제공한다. 송신 전자 기기(704)는 동작 및 레이저 어레이(706)를 제어하고 레이저 발사의 패턴을 설정한다. 수신 및 TOF 계산 전자 기기(708)는 검출기 어레이(710)로부터 전기 검출 신호를 수신하고, 이들 전기 검출 신호를 프로세싱하여 비행-시간 계산을 통한 범위 거리를 계산한다.

[0041] 도 7b는 도 7a와 관련하여 설명된 수신기 및 TOF 계산 전자 기기(708)의 상세한 블록도(750)를 나타낸다. 검출기 어레이로부터 수신된 전기 검출 신호(752)는 추가 프로세싱 전에 검출기로부터 수신된 전기 검출 신호(752)를 부스팅하는 입력 증폭기(756)를 통합하는 수신기 전단(754)에 입력된다. 이 증폭기로부터 출력된 신호는 몇몇 다른 회로로 분할될 수 있다. 함께 또는 임의의 조합으로 사용될 수 있는 3개의 가능한 회로(758, 760, 762)가 나타내어져 있다. 시간-대-디지털 변환기(TDC: Time-to-Digital Converter)(758)는 입력 신호가 일부 진폭 임계값을 교차할 때를 인식하고 해당 이벤트의 시간의 디지털 표현을 제공하는 특수화된 회로이다. TOF 측정 시스템의 경우, 이벤트는 통상적으로 반사된 송신 펄스의 도달에 대응하고, 이러한 도달 시간은 객체의 거리에 대응한다. 진폭 신호 블록(760)은 TDC(758)와 동일한 이벤트에 의해 트리거링되는 회로이지만, 시간을 기록하는 대신 진폭을 기록한다. 아날로그-대-디지털 회로(762)는 아날로그 수신된 전기 검출 신호를 일부 샘플링 레이트에 대응하는 디지털 신호로 변환한다. 수신기 전단(754)으로부터 수신된 프로세싱된 신호는 트리거 및 동기 잠금 회로(766)와 인터페이스하는 데이터 프로세싱 회로(764)에 입력된다. 데이터 모니터링 및 디지털 통신 인터페이스(768)는 그 후 신호를 제어기 및 인터페이스 전자 기기(702)(도 7a)로 전송한다.

[0042] 본 기술 분야의 통상의 기술자는 LIDAR 시스템의 기능을 나타내는 도 7a 및 도 7b에 나타내어진 블록도가 본 교시를 임의의 특정 하드웨어 구성으로 한정하지 않음을 이해할 것이다. 이들 회로 각각은 개별 회로이거나 통합될 수 있다. 예를 들어, 송신 및 수신 블록은 개별 인쇄 회로 보드 어셈블리(PCBA: printed circuit board assembly) 및/또는 개별 모듈 상에 있을 수 있다. 수신 전자 기기 블록의 경우, 전단의 전부 또는 일부는 검출기 어레이에 직접 부착된 집적 회로의 일부일 수 있거나, 이들 회로는 다른 회로와 함께 PCBA 상에 있을 수 있

다. 일부 실시예에서, 제어기 기능은 필드 프로그래머블 게이트 어레이(FPGA: field programming gate array) 또는 어플리케이션-특정 집적 회로(ASIC: application-specific integrated circuit) 내부의 송신 및 수신 전자 기기의 일부 또는 전부와 결합될 수 있다.

[0043] 도 8은 알려진 초점 평면 어레이(FPA: Focal Plane Array)에 대한 블록도(800)를 나타낸다. FPA는 통상적으로 함께 부착되어 하이브리드 어셈블리를 형성하는 검출기 어레이 칩과 판독 집적 회로(ROIC: readout integrated circuit)를 모두 갖는 어셈블리로 칭해진다. 어레이의 각각의 개별 검출기(802, 802', 802'', 802''')가 나타내어지고 그 대응하는 개별 ROIC(804, 804', 804'', 804''')는 블록도에서 "단위 셀 전자 기기"로 표기된다. 검출기(802, 802', 802'', 802''') 및 각각의 검출기(802, 802', 802'', 802''')에 대한 개별 ROIC(804, 804', 804'', 804''')는 독립 디바이스로서 함께 작동하며, 때로는 "스마트 픽셀"로 칭해진다. ROIC(804, 804', 804'', 804''')는 각각의 검출기(802, 802', 802'', 802''')로부터 수신된 전기 검출 신호에 대한 TOF의 병렬 측정을 가능하게 하는 회로를 포함하고, 각각의 검출기(802, 802', 802'', 802''')는 그 자체의 TOF 회로를 갖는다. ROIC(804, 804', 804'', 804''')는 입력 증폭기(806), TDC(808), 진폭 신호 블록(810), 아날로그 대 디지털 회로(812), 동기화(814), 샘플러 및/또는 메모리(816) 및 출력 버퍼(818)를 포함한다. ROIC(804, 804', 804'', 804''')는 카메라와 같이 TOF 정보가 외부 회로로 판독/전달될 수 있도록 버퍼(818)에 각각의 단위 셀에 대한 TOF 정보를 저장한다. ROIC(804, 804', 804'', 804''')는 또한 복귀 펄스의 타이밍뿐만 아니라 진폭 정보도 캡처하는 추가 회로를 포함할 수 있다. 그러나, 통상적인 FPA는 어레이의 모든 검출기(802, 802', 802'', 802''')에 의해 공유되는 단일 전압 바이어스(820)를 갖는다.

[0044] 각각의 검출기(802, 802', 802'', 802''')는 그 자신의 전용 단위 셀 전자 기기(804, 804', 804'', 804''')를 갖기 때문에, ROIC 칩 상의 회로는 검출기 요소와 선형으로 스케일링된다는 것이 이해될 수 있다. 다수의 검출기의 경우, 이 구성은 시스템 비용을 상당히 증가시킨다. 또한, 다수의 검출기를 사용하는 것은 전체 프레임 리프레시 레이트에 상당히 추가시킨다. 각각의 송신기 펄스 사이에서, 시스템은 광이 해당 최대 범위로부터 반사되는 데 필요한 시간을 기다려야 하며, 각각의 스마트 픽셀로부터의 모든 데이터는 ROIC 출력 버퍼를 통해 전달되어야 한다. 픽셀 개수, 데이터의 양 및 유형, 출력 버퍼의 속도 및 다른 요인과 같은 다양한 요인에 따라, 전체 측정 사이클에 필요한 시간이 상당히 변할 수 있다. FPA는 통상적으로 카메라와 유사한 60Hz 정도의 폴 프레임 리프레시 레이트로 동작한다. 이러한 비교적 느린 리프레시 레이트로, LIDAR 시스템은 복수의 펄스를 평균화하는 데 부적절한 시간이 있으므로, 단일 펄스 측정치에만 기초하여 거리를 계산해야 한다.

[0045] 도 9는 실리콘 포토멀티플라이어(SiPM: silicon photomultiplier) 또는 다중-픽셀 광자 카운터(MPPC: multi-pixel photon counter)(900)로도 칭해지는 알려진 가이거-모드(Geiger-mode) 애플랜치 광 다이오드(APD) 어레이의 개략도를 나타낸다. 도 9에 나타난 바와 같이, MPPC(900)는 가이거-모드에서 동작되는 몇몇 APD(902, 902', 902'', 902''')로 구성되며, 각각 그 자체의 켈칭 저항(904, 904', 904'', 904''')을 갖는다. 가이거-모드 APD(902, 902', 902'', 902''')는 모두 병렬로 접속된다. MPPC(900)의 출력은 각각의 개별 가이거-모드 APD(902, 902', 902'', 902''')의 응답의 합일 것이다. 이러한 방식으로, MPPC(900)는 복수의 가이거-모드 APD 요소(902, 902', 902'', 902''')에 광이 입사될 때, 복수의 광자 이벤트에 대한 의사-선형(pseudo-linear) 응답을 생성할 수 있다.

[0046] 도 10a는 본 교시에 따른 잡음 적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템에 대한 가이거-모드 APD 및 켈칭 저항을 갖는 제어되는 검출기 어레이(1000)의 실시예의 개략도를 나타낸다. 도 10b는 본 교시에 따른 잡음 적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템에 대한 선형 APD를 갖는 제어되는 검출기 어레이(1020)의 실시예의 개략도를 나타낸다. 도 10c는 본 교시에 따른 잡음 적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템의 가이거-모드 APD 및 켈칭 저항을 갖는 4-요소 검출기 서브-어레이를 사용하는 제어되는 검출기 어레이(1050)의 실시예의 개략도를 나타낸다. 도 10a 내지 도 10c를 참조하면, 이들 각각의 실시예에서, 개별 검출기 또는 검출기의 서브-어레이에 대한 전압 바이어스는 LIDAR 시스템에 의해 독립적으로 제어될 수 있다. 도 10a에서, 도 9의 MPPC(900)의 것과 유사한 검출기 요소의 어레이, 가이거-모드 APD(1002, 1002', 1002'', 1002''')가 나타내어진다. 도 9에 나타난 바와 같이 모든 요소에 대한 단일 전압 바이어스 대신, 각각의 가이거-모드 APD(1002, 1002', 1002'', 1002''')는 그 자체 전압 공급기(1004, 1004', 1004'', 1004''')를 갖는다. LIDAR 시스템은 제어 입력(1006)에 의해 제어되는 개별 전압 공급기(1004, 1004', 1004'', 1004''')를 사용하여 APD 바이어스의 개별 제어를 사용함으로써, 도 6b와 관련하여 설명된 바와 같이, 그 시야가 현재 필싱되고 있는 특정 레이저의 시야 외측에 있는 검출기에 대한 전압을 적응적으로 낮출 수 있다. 즉, 제어기는 그 시야가 제어기에 의해 필싱되거나 활성화되는 레이저 요소의 특정 그룹에 의해 생성된 조명 영역 외측에 있는 검출기에 대한 전압을 낮춘다. 현재 단일 펄스 송신기 시야 외측의 검출기의 경우, 이들 검출기에 대한 전압 바이어스는 전압 브레이크다운 포인트 아래로 떨어지거나

심지어 실질적으로 또는 완전히 꺼질 수 있다.

- [0047] 본 교시에 따른 LIDAR 시스템이 최소화하도록 작용하는 전기 검출 신호에는 2개 카테고리의 잡음이 존재한다. 제1 카테고리는 다이오드 상에 입사되는 임의의 광과 독립적인 검출기에 의해 발생하는 전기 잡음이다. 이 잡음을 종종 암전류라고 칭한다. 선형 APD, 게이저 모드 APD, SPAD 및 MPPC와 같은 LIDAR 시스템에 사용되는 검출기의 경우, 이러한 검출기 다이오드에 의해 발생하는 전기 잡음은 광이 존재하지 않는 때에도 상당하다. 전기 잡음은 인가된 전압 바이어스의 상당한 함수이므로, 인가된 전압 바이어스를 낮춤으로써, 검출기에 대한 전기 잡음이 상당히 감소된다.
- [0048] 본 교시의 LIDAR 시스템이 최소화하도록 작용하는 전기 검출 신호에서 제2 잡음 카테고리는 태양 방사로부터의 시스템에 대한 잡음 기여이다. 태양은 해당 파장에서 강한 방사를 생성하며, 태양 방사로 인해 수신기 상에 지속적으로 광자가 입사할 것이다. 송신된 레이저 펄스로부터가 아닌 이러한 광자는 암전류 잡음에 대한 추가 랜덤 잡음 소스로서 간주할 수 있는 신호 응답을 생성할 것이다. 수신기 설계에서 주의를 기울이지 않으면, 태양 방사로부터 입사된 광자로부터의 잡음 신호 레벨은 LIDAR 시스템의 범위를 제한하기에 충분히 높을 수 있다.
- [0049] 본 교시의 LIDAR 시스템에서, 검출기 암전류 및 태양 잡음이 모두 억제된다. 도 10a에 나타난 제어되는 검출기 어레이(1000)의 실시예에서, 전압(1004, 1004', 1004'', 1004''')은 현재 송신 펄스로부터 반사된 광을 수신하고 있지 않는 모든 검출기(1002, 1002', 1002'', 1002''')에 대한 제어 입력(1006)에 기초하여 감소된다. 이러한 방식으로, 전압 바이어스가 낮아진 검출기에 대한 출력 신호(잡음)가 상당히 감소될 것이며, 이는 공통 합 출력에 대한 전체 잡음을 감소시킬 것이다. 따라서, 전압(1004, 1004', 1004'', 1004''')을 감소시키는 제어 입력(1006)은 다운스트림 수신 회로에 접속된 특정 검출기 출력을 효과적으로 선택한다. 도 7b를 또한 참조하면, 일부 실시예에서, 전압(1004, 1004', 1004'', 1004''')을 감소시키는 제어 입력(1006)은 도 7b의 입력 증폭기(756)에 접속된 특정 검출기(1002, 1002', 1002'', 1002''') 출력을 효과적으로 선택한다.
- [0050] 도 10b는 게이저-모드 APD 대신 도 10a에 나타난 제어되는 검출기 어레이의 유사한 실시예를 나타내며, 본 실시예는 선형 APD(1022, 1022', 1022'', 1022''')를 포함하는 제어되는 검출기 어레이(1020)를 사용한다. 도 10a에 나타난 제어되는 검출기 어레이(1000)와 유사하게, 공통 합 출력에 대한 전체 잡음을 감소시키기 위해, 바이어스 전압이 또한 선형 APD(1022, 1022', 1022'', 1022''')에 대해 감소될 수 있어, 낮아진 전압 바이어스로 이러한 검출기에 대한 출력 신호(잡음)를 감소시킨다.
- [0051] 도 10c는 게이저-모드 APD의 서브-어레이(1052, 1052', 1052'', 1052''')가 사용되는 제어되는 검출기 어레이(1050)의 실시예를 나타낸다. 도 10a에 나타난 실시예와 관련하여 설명된 동작 원리가 도 10c에 나타난 시스템에 유사하게 적용될 수 있으며, 각각의 서브-어레이는 단일 요소로서 작용한다. 제어되는 검출기 어레이(1050)는 제어 입력(1056)에 의해 제어되는 제어 가능한 전압 바이어스(1054, 1054', 1054'', 1054''')를 사용한다. 이 구성에서, 바이어스 전압(1054, 1054', 1054'', 1054''')는 서브-어레이(1052, 1052', 1052'' 및 1052''')에서 검출기(1056, 1056', 1056'', 1056''')를 제어한다.
- [0052] 도 11a는 본 교시에 따른 잡음 적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템에 대한 게이저-모드 APD 및 퀀칭 저항을 갖는 제어되는 검출기 어레이(1100)의 실시예의 개략도를 나타낸다. 도 11b는 본 교시에 따른 잡음 적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템에 대한 선형 APD를 갖는 제어되는 검출기 어레이(1120)의 실시예의 개략도를 나타낸다. 도 11c는 본 교시에 따른 잡음 적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템에 대한 게이저-모드 APD 및 퀀칭 저항(1050)을 갖는 4-요소 검출기 서브-어레이를 포함하는 제어되는 검출기 어레이(1150)의 실시예의 개략도를 나타낸다.
- [0053] 도 11a에서, 공통 전압 바이어스(1102)가 MPPC 어레이에서 모든 검출기(1104, 1104', 1104'', 1104''')를 바이어싱하는 데 사용된다. 그러나, 각각의 게이저-모드 APD(1104, 1104', 1104'', 1104''')로부터의 출력은 더 이상 도 9와 관련하여 설명된 바와 같이 공통 출력에 직접 접속되지 않는다. 대신, 각각의 APD(1104, 1104', 1104'', 1104''')로부터의 출력은 입력 증폭기(1106, 1106', 1106'', 1106''')에 접속된 후, RF 스위치(1108)에 접속된다. RF 스위치(1108)는 단일 수신 신호 출력에 이용되고 있는 검출기(1104, 1104', 1104'', 1104''')로부터의 출력만을 지향시키기 위해 사용된다. 이러한 구성에서, 검출기 중 하나를 제외한 모든 검출기로부터의 잡음 기여가 실질적으로 제거되어, 주요한 잠재적 잡음 감소를 제공한다. 다시, 태양 잡음이 지속적으로 전체 시야를 조명하고 모든 검출기에서 잡음을 생성하는 자동차 어플리케이션에서 이는 특히 중요하다. 일부 실시예에서, 단일 레이저 및 검출기를 제어하는 대신 그 시야가 제어기에 의해 펄싱 또는 활성화되는 레이저 요소의 특정 그룹에 의해 생성된 조명 영역 내측에 있는 검출기의 서브세트로부터의 출력을 지향시키도록 제어기로부터의 입력(1110)은 RF 스위치(1108)를 설정한다.

- [0054] 도 11b는 도 11a와 관련하여 설명된 제어되는 검출기 어레이의 유사한 실시예를 나타내지만, 가이거-모드 APD 대신, 본 실시예는 선형 APD(1122, 1122', 1122'', 1122''')를 사용하는 제어되는 검출기 어레이(1120)를 포함한다. 선형 APD(1122, 1122', 1122'', 1122''')는 입력 증폭기(1124, 1124', 1124'', 1124''')에 접속된 다음 제어 입력(1128)을 통해 제어되는 RF 스위치(1126)에 접속된다. 동작에서, RF 스위치(1126)는 제어되는 송신기 어레이에 의해 생성된 조명 영역 내에 속하는 이러한 검출기(1122, 1122', 1122'', 1122''')로부터의 출력만을 제어 입력(1128)의 제어 하에 다운스트림 전자 기기로 보낸다.
- [0055] 도 11c는 가이거-모드 APD의 서브-어레이(1152, 1152', 1152'', 1152''')가 사용되는 제어되는 검출기 어레이(1150)의 실시예를 나타낸다. 도 11c에 나타난 실시예는 도 11a와 관련하여 설명된 실시예와 유사하며, 여기서 각각의 서브-어레이(1152, 1152', 1152'', 1152''')는 단일 요소로서 작용한다. 제어되는 검출기 어레이(1150)는 제어 입력(1158)에 의해 제어되는 RF 스위치(1156)에 접속된 입력 증폭기(1154, 1154', 1154'', 1154''')를 포함한다. RF 스위치(1156)는 제어 입력(1158)을 통해 구성된다. 동작에서, RF 스위치(1156)는 제어되는 송신기 어레이에 의해 생성된 조명 영역 내에 속하는 이러한 검출기 서브-어레이(1152, 1152', 1152'', 1152''')만을 제어 입력(1158)의 제어 하에 다운스트림 전자 기기 또는 수신 회로로 보낸다.
- [0056] 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에게는 도 10a 내지 도 10c 및 도 11a 내지 도 11c는 PIN, APD, 가이거-모드 APD, MPPC, 또는 개별 검출기 또는 검출기의 어레이 또는 서브-어레이를 갖는 다른 유형의 검출기를 사용할 수 있는 많은 가능한 실시예의 단지 6개의 예일 뿐이라는 것이 명백할 것이다. 본 기술 분야의 통상의 기술자는, 측정 출력에 대한 잡음을 추가로 최적화하기 위하여 본 교시가 전압 제어(도 10a 및 도 10b)와 RF 스위칭(도 11a 및 도 11b) 모두가 함께 사용되는 도 10a 및 도 10b 그리고 도 11a 및 도 11b와 관련하여 설명된 실시예의 혼합을 포함한다는 것을 또한 이해할 것이다.
- [0057] 예를 들어, 도 10a 및 도 10b 그리고 도 11a 및 도 11b와 관련하여 설명된 실시예와 같은 일부 실시예에서, 수신 신호 출력은 단일 접속을 통해 후속 TOF 계산 회로로 보내어진다. 후속 수신 회로 기능은 도 7a 및 도 7b로부터의 블록도에 설명된 바와 같다. 본 교시의 LIDAR 시스템은 각각의 검출기가 그 자체의 TOF 계산 회로를 가져야 하는 FPA를 사용하지 않는다는 점에 유의하는 것이 중요하다. 본 교시의 LIDAR 시스템에서, TOF 계산 회로는 많은 검출기들 사이에서 공유된다. 이러한 구성은 FPA를 사용하는 LIDAR 시스템에 비해 시스템 아키텍처에 따라 상당히 덜 복잡하고 상당히 더 낮은 비용을 갖는다. 또한, 본 교시에 따른 LIDAR 시스템은 필요한 고속 A/D의 개수를 최소화함으로써 상당한 비용 및 전력 절감을 제공할 수 있다.
- [0058] 도 12는 본 교시에 따른 LIDAR 시스템의 실시예의 증폭기 전단 스위치(1202, 1202', 1202'', 1202''')를 갖는 제어되는 검출기 어레이(1200)를 나타낸다. 후속 프로세싱 전에 신호를 증가시키기 위해 광 다이오드에 바로 인접하게 제1 증폭기를 배치하는 것이 광 수신기에서 매우 통상적이다. 종종 이러한 증폭기는 검출기에 의해 생성된 전류를 단일 종단 또는 차동으로 전압 신호로 변환하는 트랜스-임피던스 증폭기이다. 도 12와 관련하여 설명된 실시예에서, 각각의 검출기(1204, 1204', 1204'', 1204''')는 증폭기(1206, 1206', 1206'', 1206''') 및 스위치(1208, 1208', 1208'', 1208''')를 통합하는 전용 증폭기 전단 스위치(1202, 1202', 1202'', 1202''')를 갖는다. 각각의 증폭기 전단 스위치(1202, 1202', 1202'', 1202''')의 스위치(1208, 1208', 1208'', 1208''')는 제어되는 송신기 어레이에 의해 생성된 조명 영역 내에 속하는 이러한 검출기(1204, 1204', 1204'', 1204''')만을 다운스트림 전자 기기 또는 수신 회로로 지향시키도록 제어 입력(1210)에 의해 제어된다. 심지어 단일 트랜지스터도 스위치로서 사용될 수 있다는 것이 공지되어 있으므로, 이러한 기능을 이러한 증폭기 구조에 통합시키는 비용 및 복잡성은 매우 작을 수 있다. 본 기술 분야의 통상의 기술자에게, 도 12의 실시예가 도 10b 및 도 10c 그리고 도 11b 및 도 11c에 의해 설명된 다른 검출기 구조로 확장될 수 있음이 명백할 것이다.
- [0059] 도 13은 본 교시의 잡음-적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템의 알고리즘을 구현하는 방법(1300)의 흐름도를 나타낸다. 방법(1300)의 제1 단계(1302)에서, 제어기가 초기화된다. 제어기는 예를 들어, 도 7a에 나타난 제어기(702)일 수 있지만, 제어기는 잡음-적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템의 송신 어레이 및 검출기 어레이 모두에 접속된 임의의 제어기일 수 있다.
- [0060] 방법(1300)의 제2 단계(1304)에서, 3D 포인트 클라우드를 생성하기 위한 원하는 조명 패턴이 제어기에 의해 선택된다. 조명 패턴은 또한 시간의 함수로서 변할 수 있는 특정 조명 공간 형상을 포함한다. 제어기는 검출기 어레이 상의 타겟 범위 및 관련된 조명 영역에서 원하는 조명 패턴을 제공하기 위해 개별 레이저 또는 레이저 그룹 온(on) 및 오프(off)를 펄싱할 수 있다. 일부 실시예에서, 패턴은 균일한 리프레이즈 레이트를 제공하기 위해 연속적으로 반복되는 행의 각각의 레이저 요소의 간단한 행별(row-by-row) 스캔이다. 다른 실시예에서, 패턴은 시스템이 시간에 걸쳐 전체 송신기 어레이의 전체 시야를 균일하게 커버하도록 여전히 작용하는 비연속적인 방

식으로 측정 포인트로부터 측정 포인트로 이동하는 의사-랜덤(pseudo-random)이다.

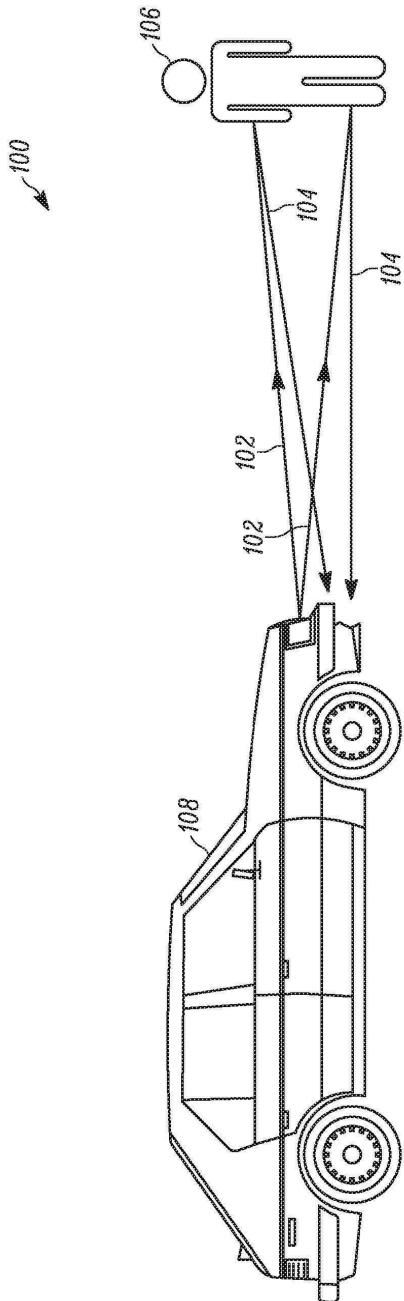
- [0061] 방법(1300)의 제3 단계(1306)에서, 제어기는 원하는 패턴에 기초하여 발사할 개별 레이저 또는 레이저의 그룹을 선택한다. 그 후, 제어기는 방법(1300)의 제4 단계(1308)에서 측정 잡음을 최소화하도록 제어 가능한 검출기 어레이 및 수신기를 구성한다. 도 10 내지 도 12의 설명과 관련하여 상술한 바와 같이, 다수의 잡음 최소화 방법이 사용될 수 있다.
- [0062] 방법(1300)의 제5 단계(1310)에서, LIDAR 시스템은 제3 단계(1306)에서 선택된 레이저 또는 레이저들을 발사한다. 방법(1300)의 제6 단계(1312)에서, LIDAR 시스템은 발사된 레이저로부터의 광 펄스를 제어되는 검출기 어레이에서 수신하고 TOF를 계산하고 원하는 진폭/시간을 샘플링한다. 시스템은 펄스 평균화가 제7 단계(1314)에서 구현되는지 여부를 결정한다. 펄스 평균화가 구현되면, 본 방법은 방법(1300)의 제5 단계(1310) 및 제6 단계(1312)를 통해 순환하여, 동일한 레이저 또는 레이저 그룹을 발사하고, 원하는 양의 평균화에 필요한만큼의 횟수로 레이저 또는 레이저들로부터 수신된 신호에 대해 측정한다. 예를 들어, 하나의 특정 방법에서, 평균화는 SNR을 개선하기 위해 4개까지의 펄스를 발사한다. 다른 특정 방법에서, 평균화는 25개까지의 펄스를 발사할 수 있으며, 이는 더 긴 시간이 걸리지만 4개의 펄스 평균화보다 SNR에서 더 큰 개선을 제공한다.
- [0063] 따라서, 일부 실시예에서, 특정 시야에서 복수의 레이저 펄스를 사용하는 복수의 측정 포인트의 조합이 평균화되어 SNR을 개선하기 위해 객체 거리를 결정한다. 동일한 레이저로부터의 복수의 펄스가 검출기에서 평균화되어 신호를 증가시킨다. 다양한 실시예는 상이한 개수의 펄스를 사용한다. 더 많은 펄스는 더 나은 SNR로 이어지지만, 시스템 리프레시 레이트에 의해 허용되는 시간에 기초하여 얼마나 많은 펄스가 평균화될 수 있는지에 대해 시스템은 제한된다. 일부 실시예에서, 4개 이상의 펄스가 사용된다. 다른 실시예에서, 10개 이상의 펄스가 사용되고, 또 다른 실시예에서 25개 초과 펄스가 사용된다.
- [0064] 방법(1300)의 제8 단계(1316)에서, 개별 레이저 또는 레이저들에 대한 원하는 개수의 펄스를 획득한 후, 시스템은 디지털 신호 프로세싱을 적용하여 소정의 방식으로 데이터를 조작할 수 있다. 프로세싱 후, 제어기는 제9 단계(1318)에서 데이터를 저장 및/또는 통신한다. 방법(1300)의 제10 단계(1320)에서, 중지 또는 계속에 대한 결정이 이루어진다. 그 후, 제어기는 방법의 제3 단계에서의 패턴에서 다음 레이저 상으로 이동한다. 시스템은 방법(1300)의 제11 단계(1322)에서 중단될 때까지 원하는 패턴을 통해 스위핑(sweeping)하도록 계속 동작한다.
- [0065] 도 14는 스마트 객체 검출을 통합하는 본 교시의 잡음-적응형 솔리드-스테이트 LIDAR 시스템의 알고리즘을 구현하기 위한 방법(1400)의 흐름도(1400)를 나타낸다. 방법(1400)의 몇몇 단계는 도 13과 관련하여 설명된 방법(1300)과 유사하거나 동일하다. 유사한 단계의 일부 설명은 반복되지 않는다. 방법(1400)의 제1 단계(1402)에서, 시스템은 초기화된다. 제2 단계(1404)에서, 3D 포인트 클라우드를 생성하기 위한 원하는 조명 패턴이 제어기에 의해 선택된다. 방법(1400)의 제3 단계(1406)에서, 제어기는 원하는 패턴에 기초하여 발사할 개별 레이저 또는 레이저 그룹을 선택한다. 제어기는 그 후 방법(1400)의 제4 단계(1408)에서 측정 잡음을 최소화하도록 제어 가능한 검출기 어레이 및 수신기를 구성한다.
- [0066] 방법(1400)의 제5 단계(1410)에서, LIDAR 시스템은 제3 단계(1406)에서 선택된 레이저 또는 레이저 그룹을 발사한다. 방법(1400)의 제6 단계(1412)에서, LIDAR 시스템은 발사된 레이저 펄스를 제어되는 검출기 어레이에서 수신하고 TOF를 계산하고 원하는 진폭/시간을 샘플링한다. 시스템은 펄스 평균화가 방법(1400)의 제7 단계(1414)에서 구현되는지 여부를 결정하고 원하는 개수의 펄스가 발사되었으면 제5 단계(1410)로 루프백한다. 방법(1400)의 제8 단계(1416)에서, 개별 레이저 또는 레이저 그룹에 대해 원하는 개수의 펄스를 획득한 후, 시스템은 소정의 방식으로 데이터를 조작하기 위해 디지털 신호 프로세싱을 적용할 수 있다. 프로세싱 후, 제어기는 방법(1400)의 제9 단계(1418)에서 데이터를 저장 및/또는 통신한다.
- [0067] 방법(1400)의 제10 단계(1420)에서, 중단 또는 계속에 대한 결정이 이루어진다. 계속하기로 결정되면, 시스템은 스마트 객체 검출 및 패턴 조정이 수행되는 방법의 제11 단계(1422)로 이동한다. 본 방법의 제11 단계(1422)에서, 제어기는 3D 포인트 클라우드를 분석하고, 특정 규칙을 다루고 및/또는 전체 성능을 최적화하기 위해 레이저 발사의 패턴뿐만 아니라 펄스 평균화를 조정하는 결정을 내릴 수 있는 능력을 갖는다. 예를 들어, 자동차 LIDAR 시스템은 제어기가 객체가 차량과 잠재적으로 충돌할 수 있는 것으로 결정한 경우, LIDAR 시스템이 해당 객체의 리프레시 레이트 및/또는 측정의 정확도를 증가시키기 위하여 해당 객체를 "고정"하여 발사 패턴 및/또는 시야를 변경할 수 있는 규칙을 가질 수 있다. 다른 실시예에서, 제어기는 계산된 검출 확률, 에러율, 각각의 레이저에 대해 측정된 객체까지의 거리, 및/또는 환경 조건과 같은 다양한 기준에 기초하여 각각의 개별 레이저에 대한 펄스 평균화의 양 또는 발사 패턴을 조정할 수 있다. 시스템은 중단하라는 결정이 내려지면 방법(1400)의 제12 단계(1424)로 이동하여 방법을 종료한다.

[0068] 등가물

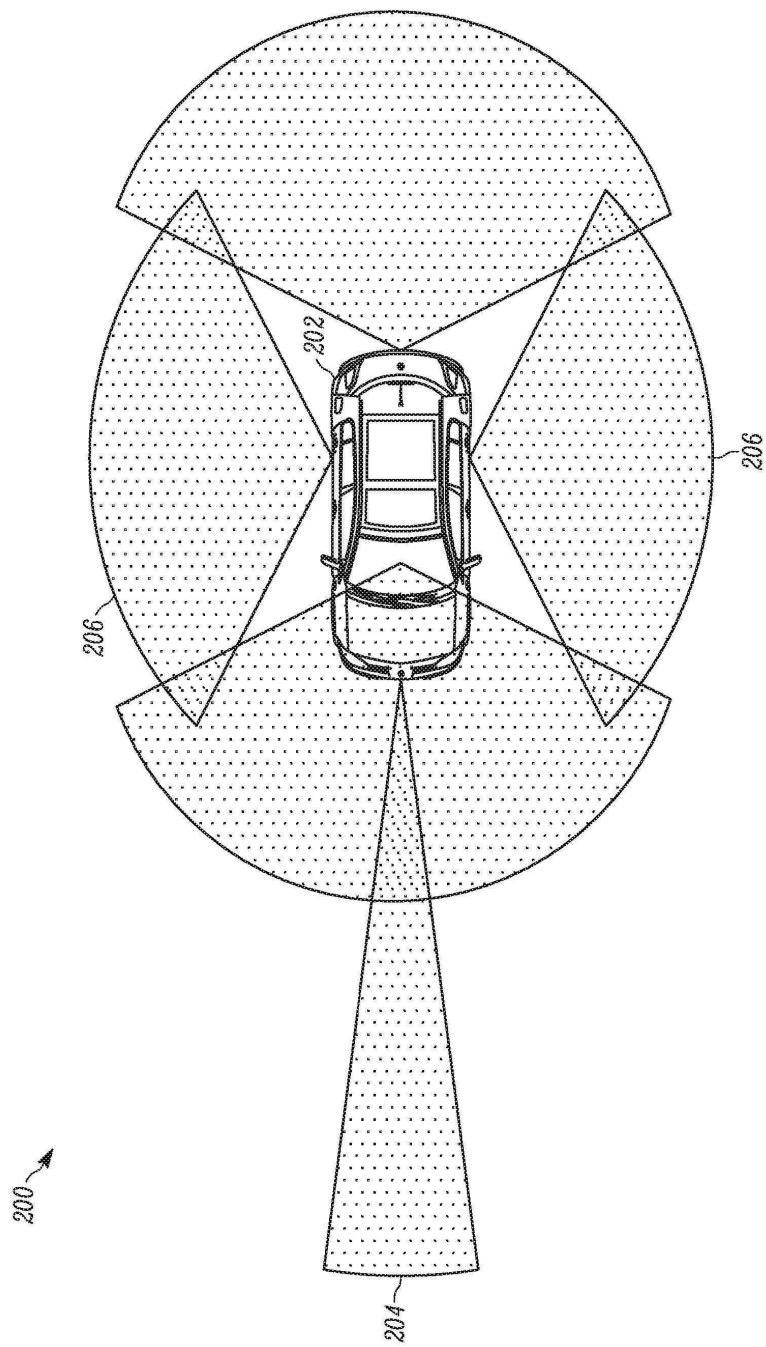
[0069] 본 출원인의 교시가 다양한 실시예와 관련하여 설명되었지만, 본 출원인의 교시는 이러한 실시예로 제한되는 것으로 의도되지 않는다. 반대로, 본 출원인의 교시는 본 기술 분야의 통상의 기술자에 의해 이해되는 바와 같이 다양한 대안, 수정 및 등가물을 포함하며, 이는 본 교시의 사상 및 범위를 벗어나지 않고 그 내부에서 이루어질 수 있다.

도면

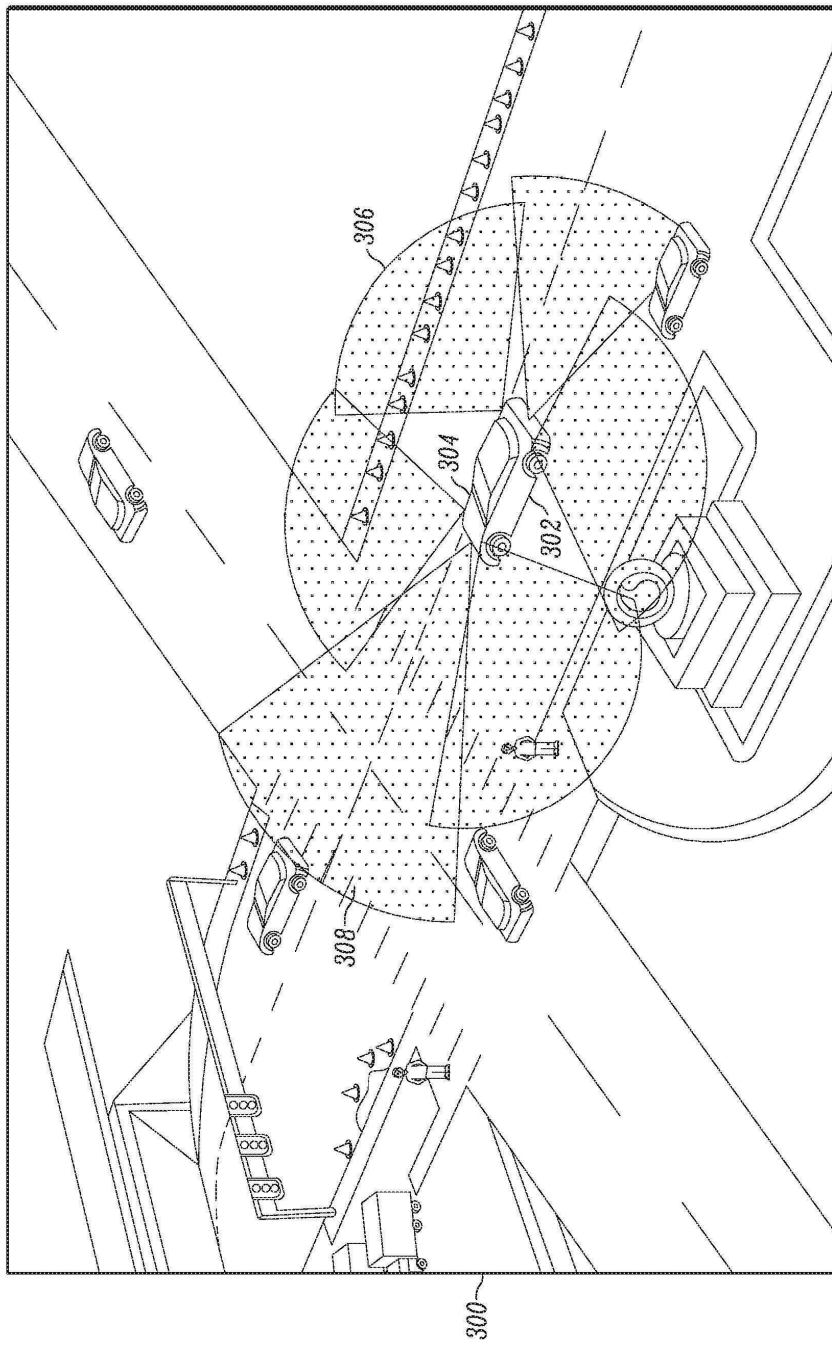
도면1



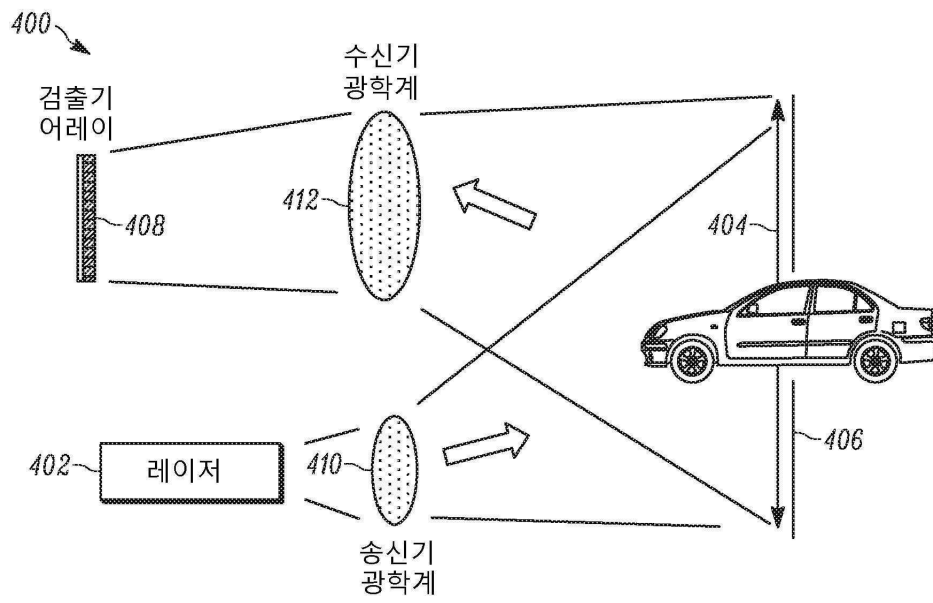
도면2



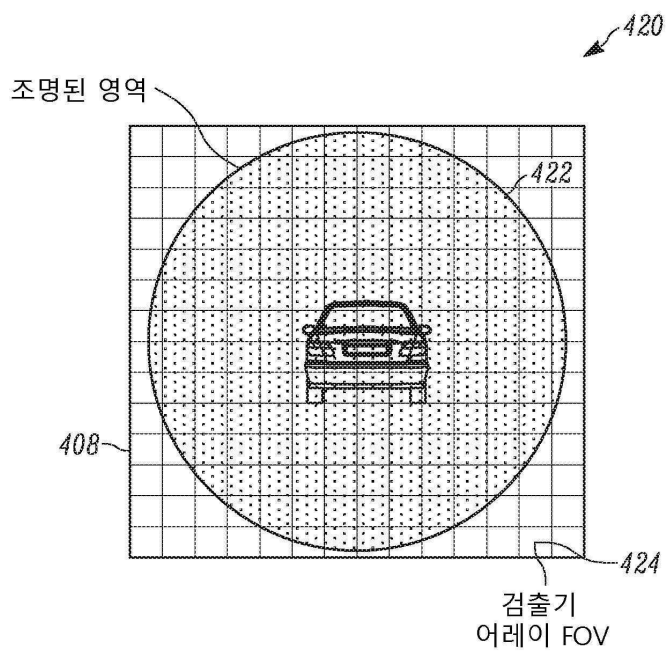
도면3



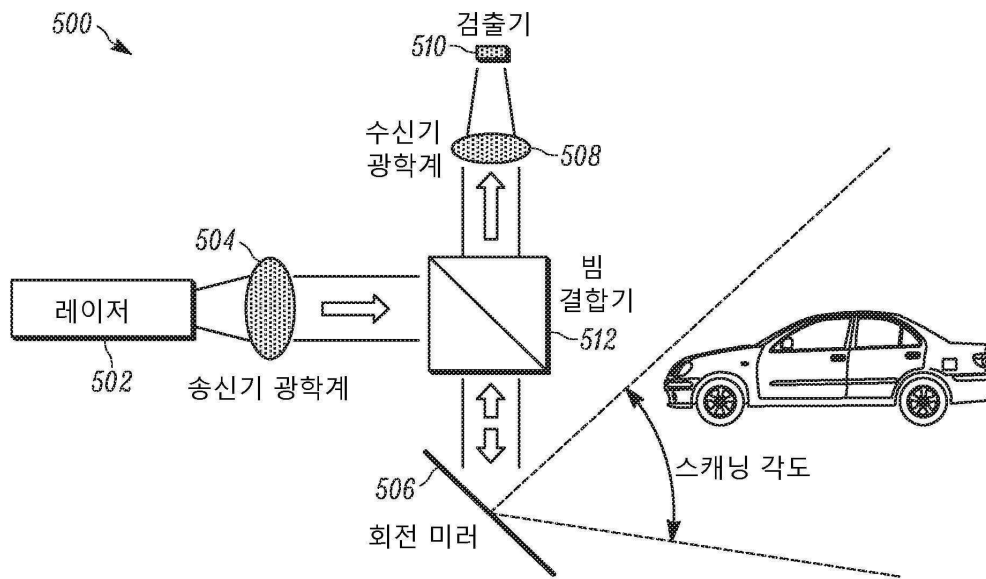
도면4a



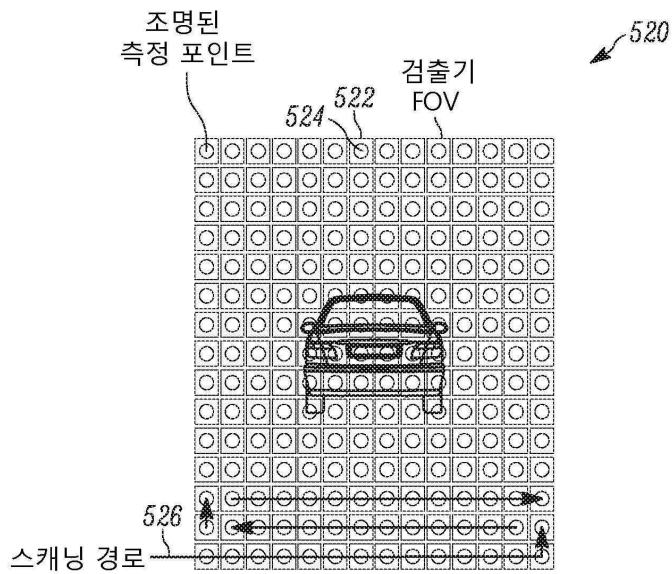
도면4b



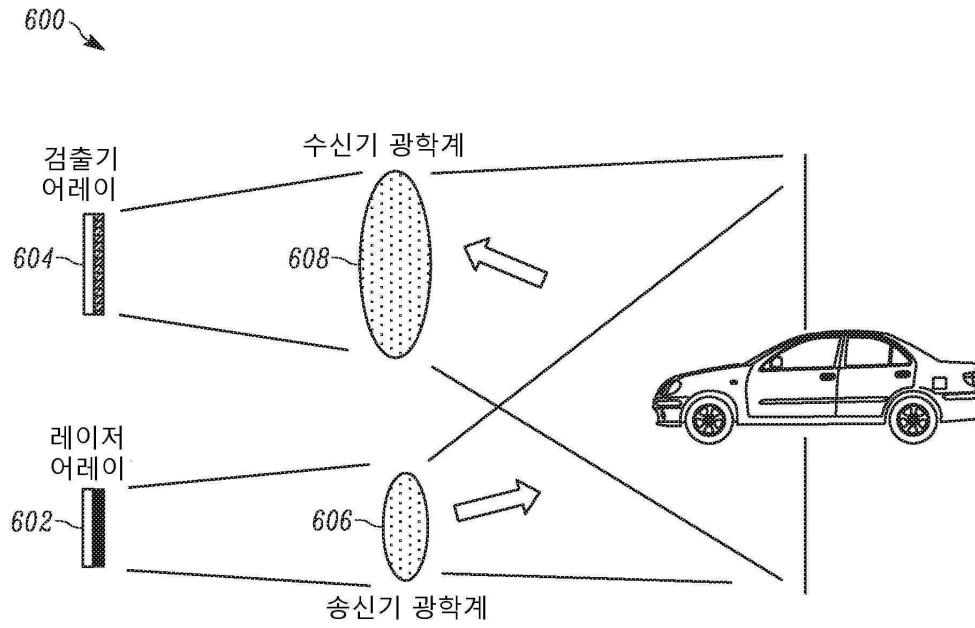
도면5a



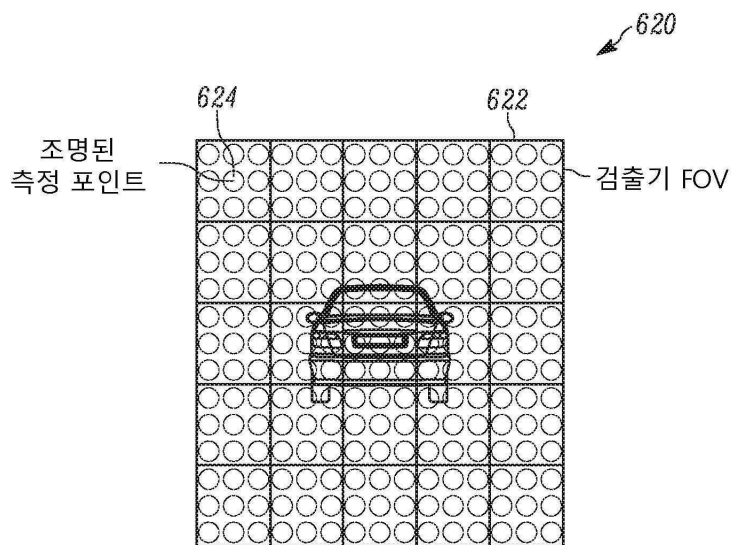
도면5b



도면6a

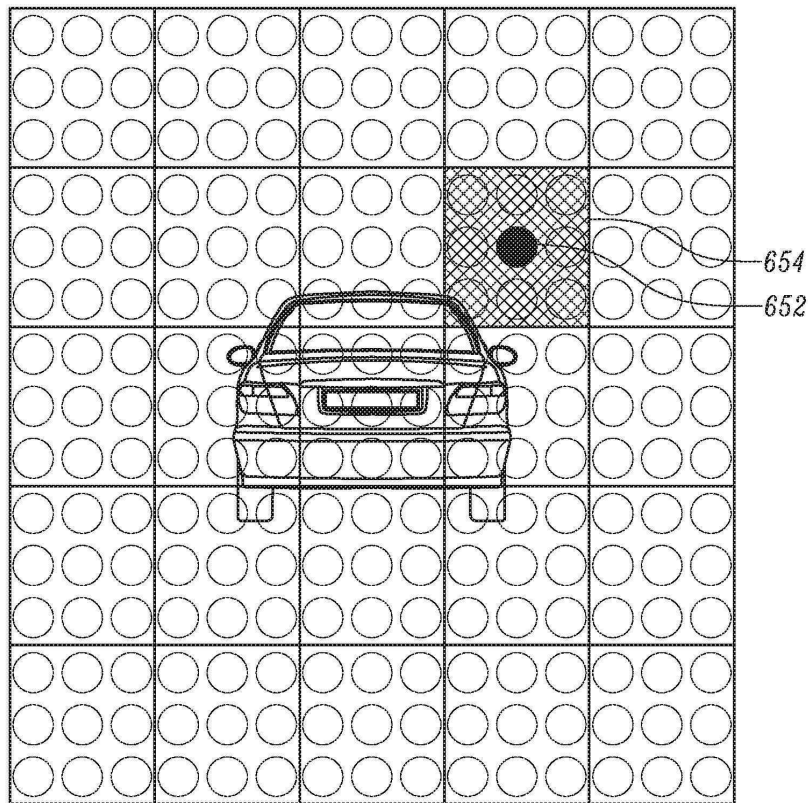


도면6b

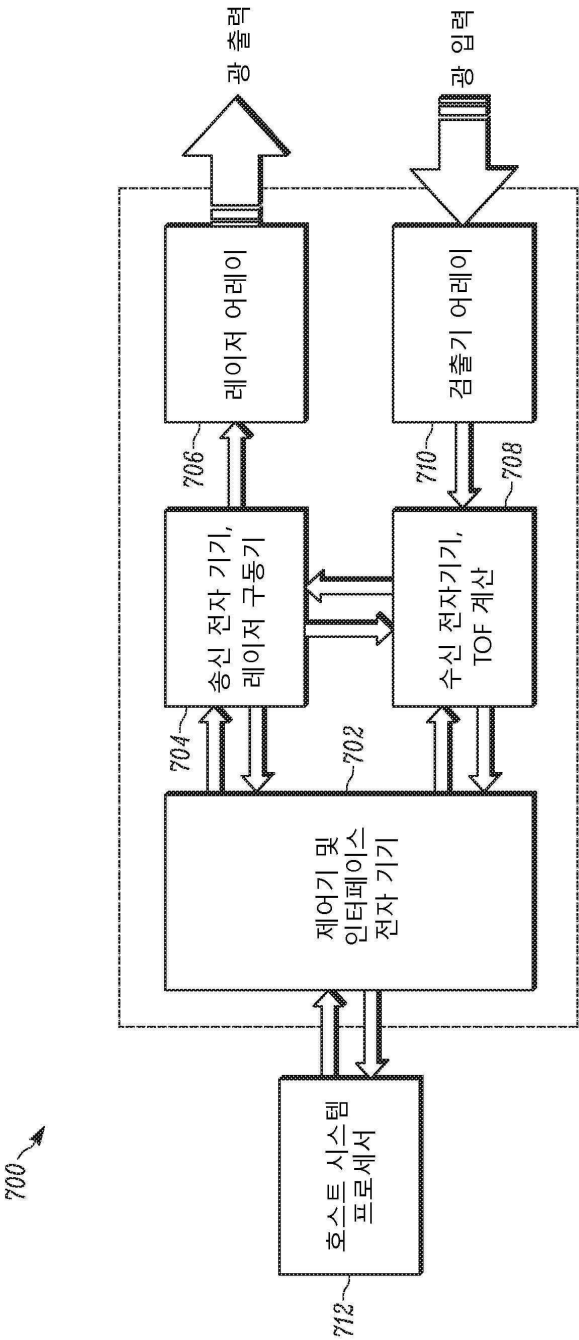


도면6c

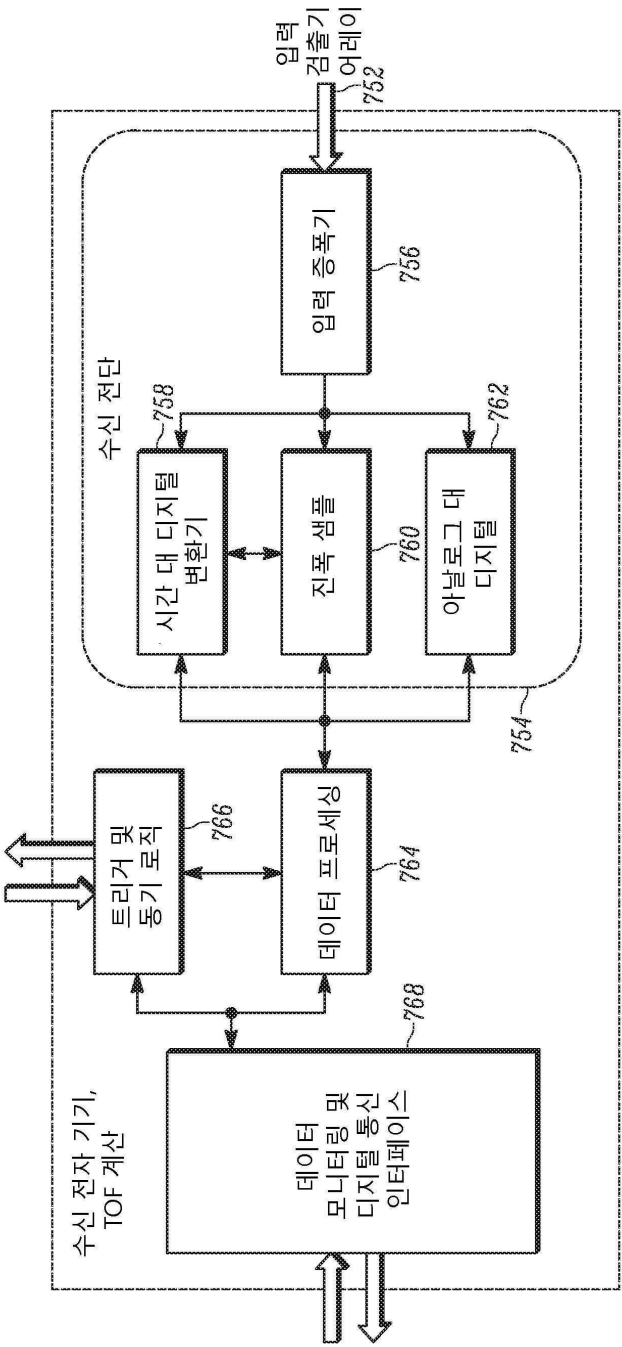
650



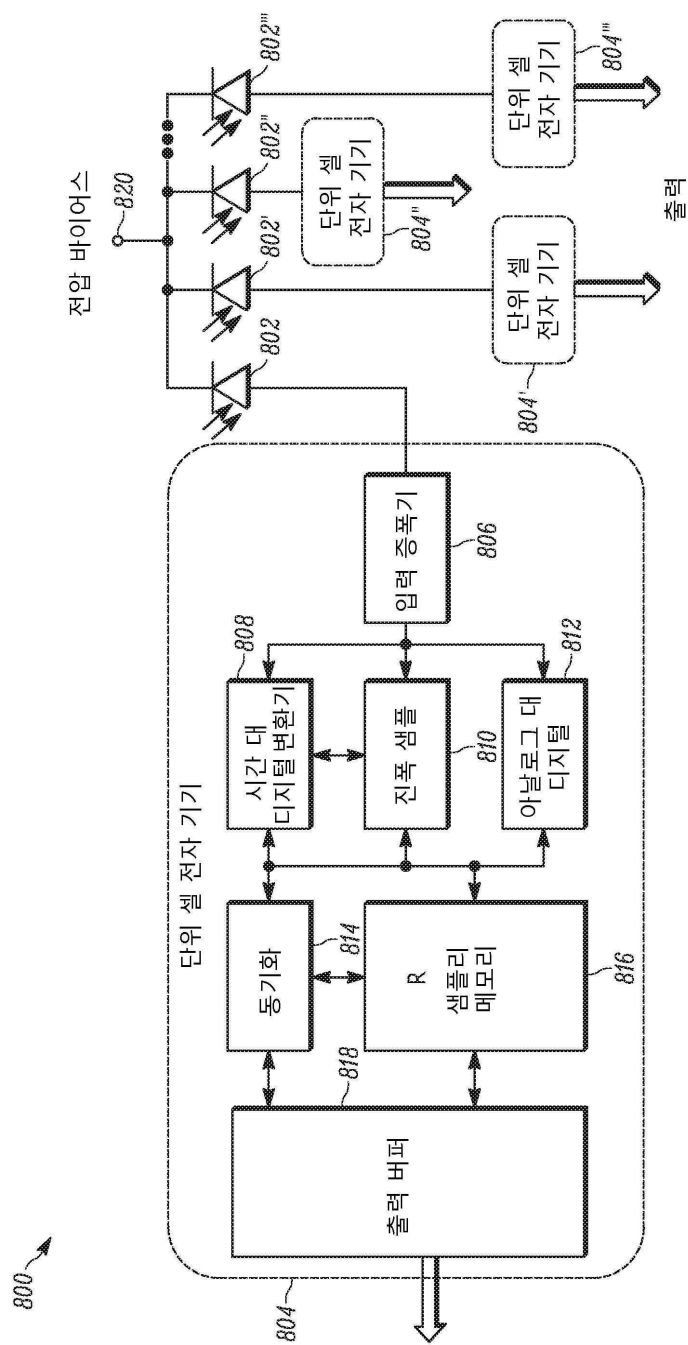
도면7a



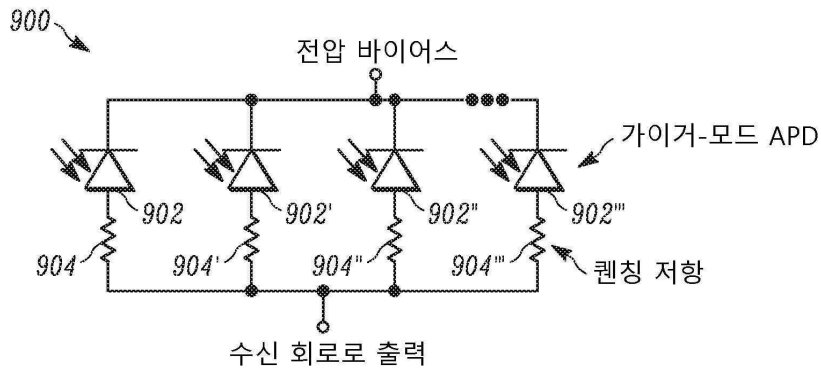
도면7b



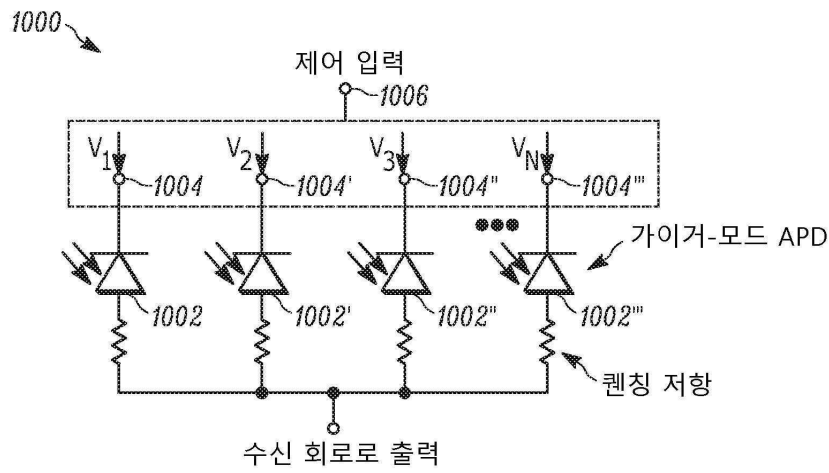
도면8



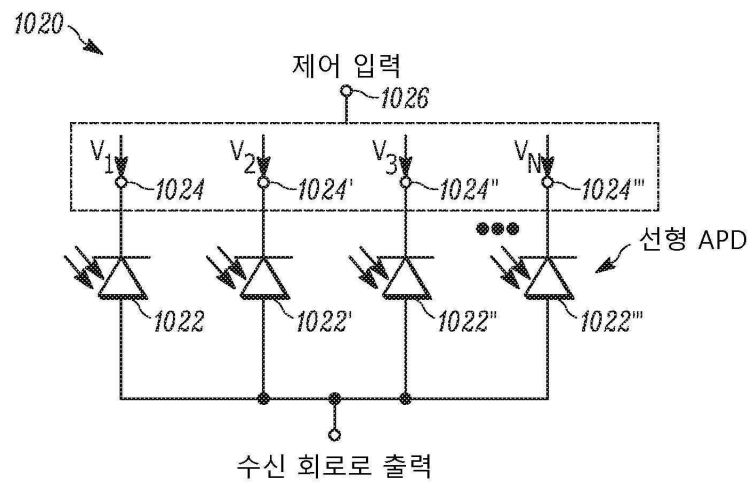
도면9



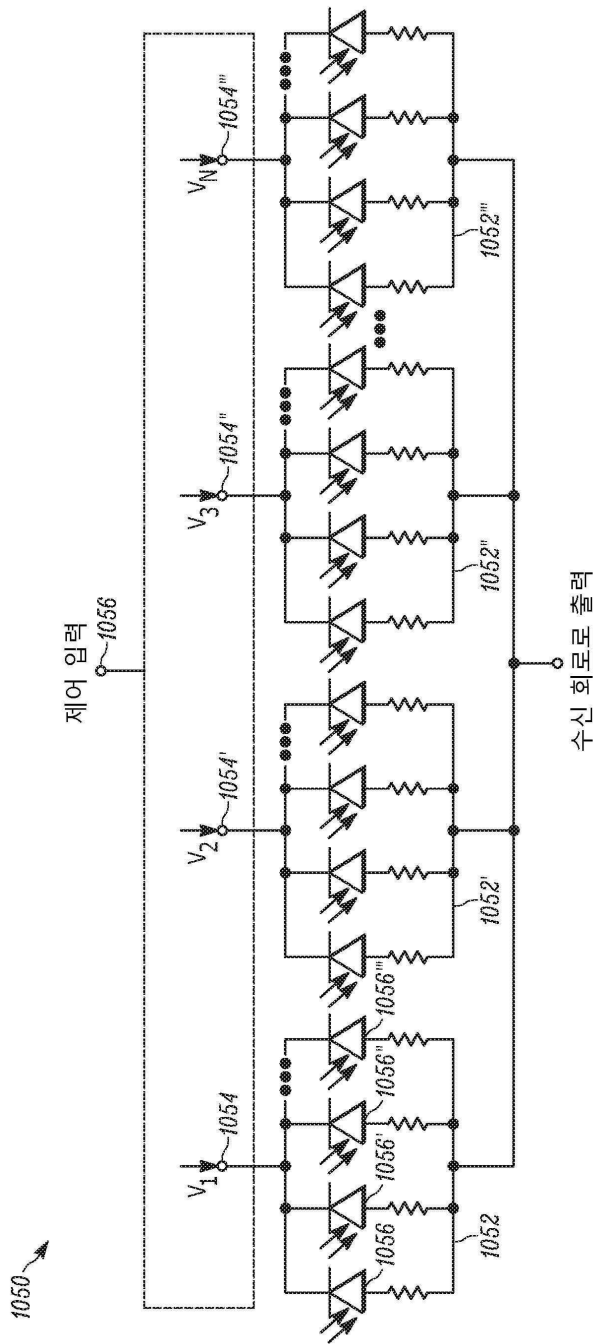
도면10a



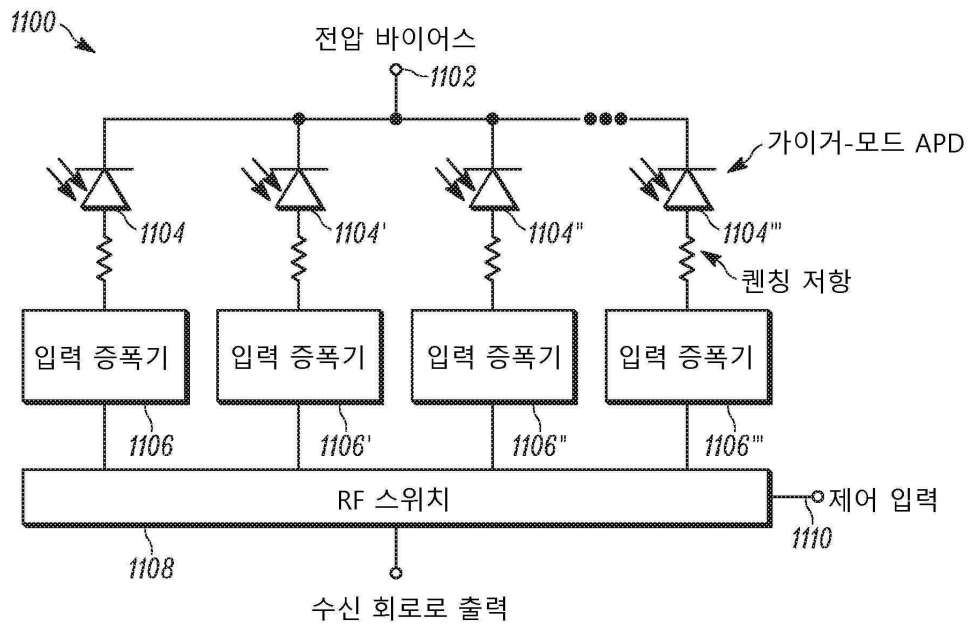
도면10b



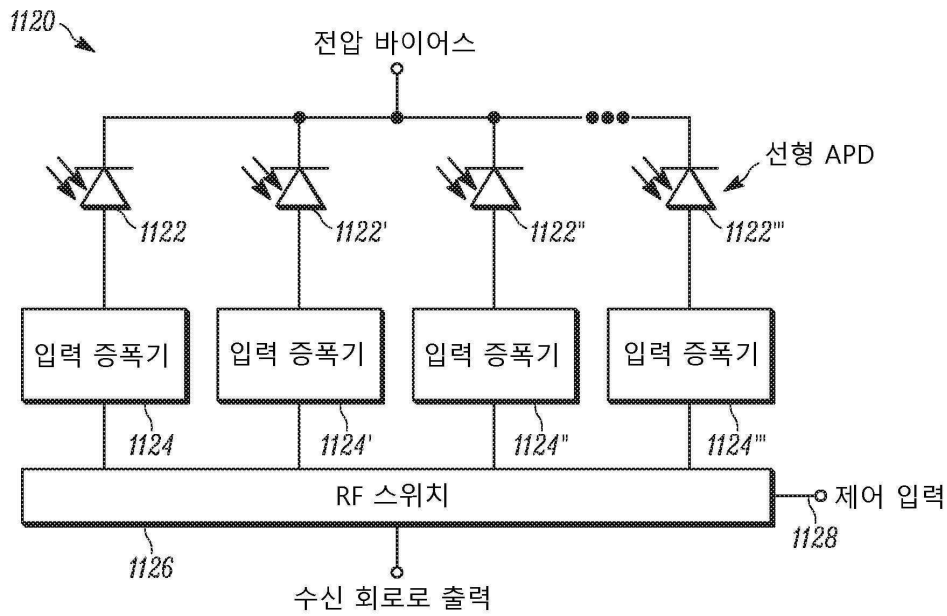
도면10c



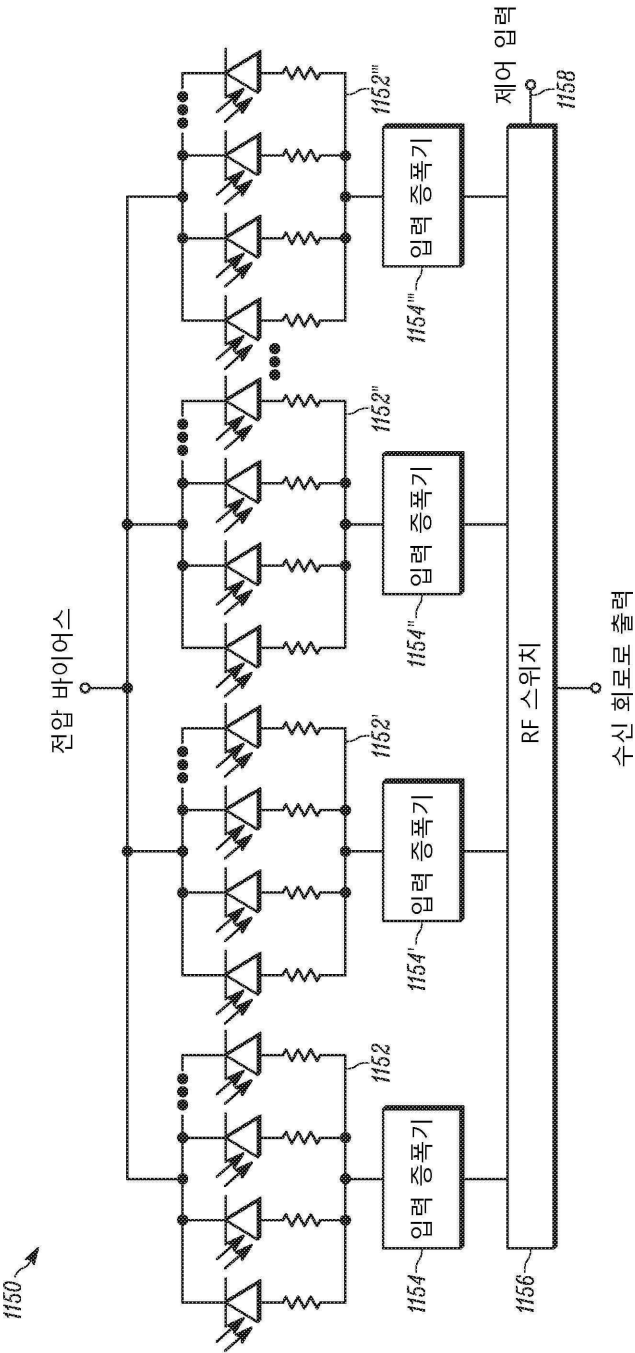
도면11a



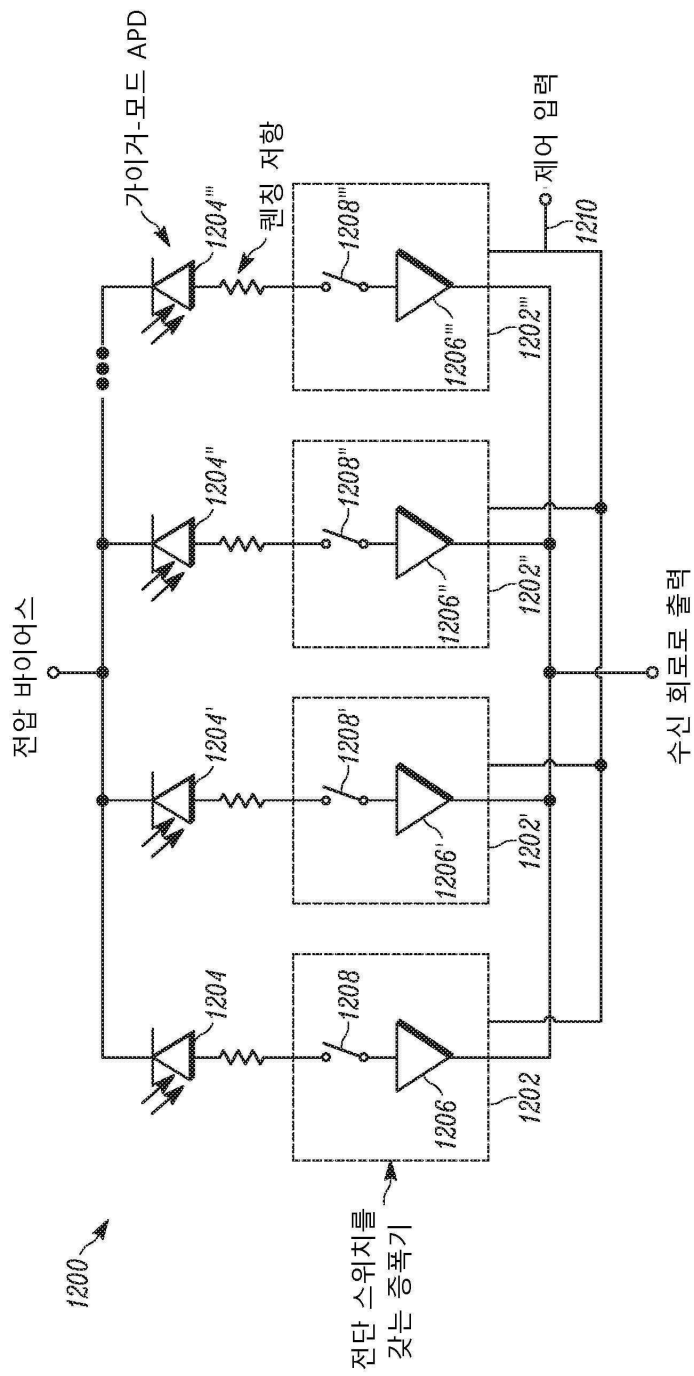
도면11b



도면11c

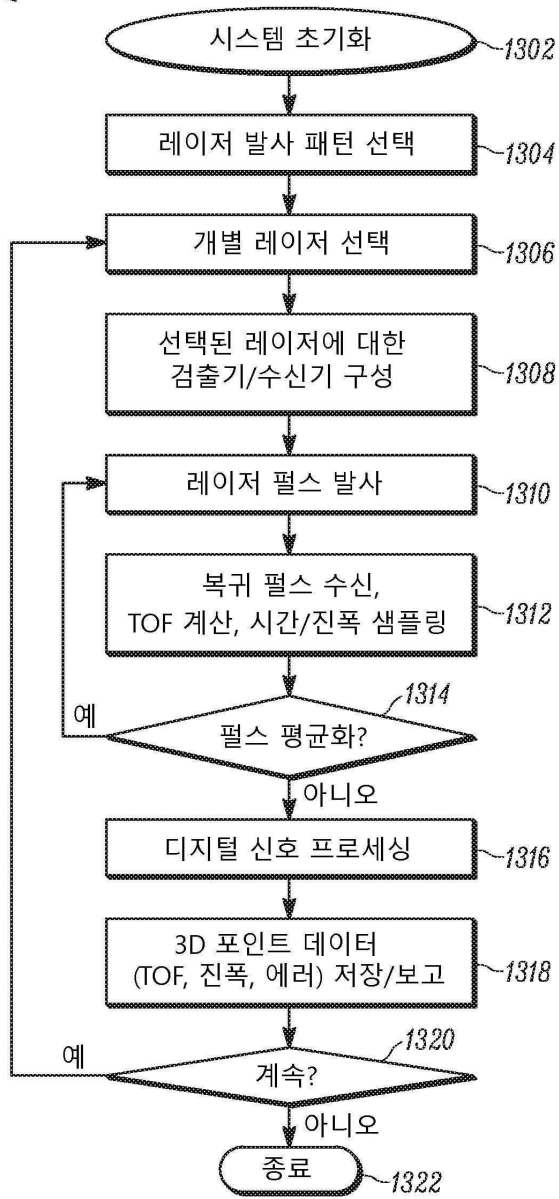


도면12



도면13

1300



도면14

