



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년09월24일
(11) 등록번호 10-2707805
(24) 등록일자 2024년09월12일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 7/484 (2006.01) G01S 17/10 (2020.01)
G01S 17/42 (2006.01) G01S 17/86 (2020.01)
G01S 17/87 (2020.01) G01S 17/89 (2020.01)
G01S 17/931 (2020.01) G01S 7/481 (2006.01)
G01S 7/4861 (2020.01) G01S 7/499 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G01S 7/484 (2013.01)
G01S 17/10 (2021.01)
- (21) 출원번호 10-2023-7008437(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2015년08월14일
심사청구일자 2023년03월10일
- (85) 번역문제출일자 2023년03월10일
- (65) 공개번호 10-2023-0042386
- (43) 공개일자 2023년03월28일
- (62) 원출원 특허 10-2017-7006967
원출원일자(국제) 2015년08월14일
심사청구일자 2020년08월05일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2015/045399
- (87) 국제공개번호 WO 2016/025908
국제공개일자 2016년02월18일
- (30) 우선권주장
62/038,065 2014년08월15일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
JP2000509150 A*
JP2010508497 A
US05638164 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
에이아이, 아이엔씨.
미국, 94568 캘리포니아, 더블린, 파크 플레이스 1, 스위트 200
- (72) 발명자
두싼 루이스 카를로스
미국, 캘리포니아 94568, 더블린, 헤이젤 타인 레인 5339
- (74) 대리인
강명구, 최정윤

전체 청구항 수 : 총 22 항

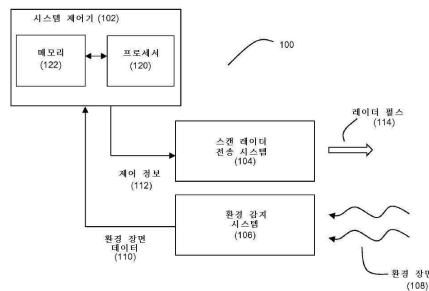
심사관 : 노영철

(54) 발명의 명칭 레이저 레이더 전송을 위한 방법 및 시스템

(57) 요약

페루프 피드백 제어를 사용하여 미러 스캔 위치를 정밀 제어하는 예시적인 실시예, 레인지 포인트를 다운 선택하여 스캔을 개선하는 예시적인 실시예 및 다른 실시예를 포함하지만 이들로 국한되지 않은 향상된 레이저 레이더 전송을 위한 여러 실시예가 개시된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

- G01S 17/42* (2013.01)
 - G01S 17/86* (2020.01)
 - G01S 17/87* (2013.01)
 - G01S 17/89* (2022.01)
 - G01S 17/931* (2020.01)
 - G01S 7/4814* (2013.01)
 - G01S 7/4817* (2013.01)
 - G01S 7/4861* (2013.01)
 - G01S 7/499* (2013.01)
-

명세서

청구범위

청구항 1

레이저 포인트 다운 선택(range point down selection) 알고리즘을 사용하여 환경 장면을 대표하는 데이터를 처리하여, 레이저 레이더 펄스로 타깃화(targeting)할 장면의 레이저 포인트 서브셋을 선택하고;

복수의 미리 스캔 위치에 대하여 미러를 스캔함으로써 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 대한 스캔 패턴을 제어하는 단계 - 상기 미리 스캔 위치는 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 타깃으로 하는 위치를 한정함 -;

스캔 레이저 레이더 전송 시스템 내의 광 소스에 대한 발사 명령을 생성하는 단계 - 상기 발사 명령은 제어된 스캔 패턴에 따라 타이밍이 지정되어, 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 스캐닝 미러를 통해 레이저 레이더 펄스로 선택된 서브셋 내의 레이저 포인트를 타깃으로 삼도록 함 -; 그리고

상기 스캐닝 미러를 통해, 광 소스에 의해 그리고 상기 생성된 발사 명령에 대한 응답으로, 상기 선택된 서브셋 내 타깃화된 레이저 포인트를 향해 복수의 변조된 레이저 레이더 펄스를 전송하는 단계를 포함하는, 레이저 레이더 전송 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 전송하는 단계는 복수의 상기 변조된 레이저 레이더 펄스가 동시에 복수의 상기 타깃화된 레이저 포인트로 이동하거나 및/또는 복수의 상기 타깃화된 레이저 포인트로부터 이동하도록 상기 변조된 레이저 레이더 펄스를 전송하는 단계를 더 포함하는, 레이저 레이더 전송 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 광 소스는 제1 광 소스와 제2 광 소스를 포함하고, 각 광 소스는 상기 변조된 레이저 레이더 펄스를 생성하도록 구성되고, 상기 방법은 상기 전송을 수행하기 위해 복수의 발사 명령을 상기 제1 및 제2 광 소스에 제공하는 단계를 더 포함하는, 레이저 레이더 전송 방법.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 전송하는 단계는 상기 레이저 레이더 펄스의 펄스 위치 변조를 사용하는, 레이저 레이더 전송 방법.

청구항 5

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 전송하는 단계는 상기 레이저 레이더 펄스의 강도 변조를 사용하는, 레이저 레이더 전송 방법.

청구항 6

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 전송하는 단계는 짧은 비대칭 진폭 변조(amplitude modulation: AM) 레이저 레이더 펄스 버스트(burst)를 사용하는, 레이저 레이더 전송 방법.

청구항 7

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 전송하는 단계는 상기 레이저 레이더 펄스의 편광 변조를 사용하는, 레이저 레이더 전송 방법.

청구항 8

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 전송하는 단계는 코히어런트 결합(coherent combination)을 이용한 상기 레이저 레이더 펄스의 위상 변조를 사용하는, 레이저 레이더 전송 방법.

청구항 9

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제어하는 단계는, (1) 복수의 제1 미러 스캔 위치로 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템의 제1 미러를 스캔함에 의해, 제1 제어 신호에 기초하여 제1 축을 따라 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템을 타깃화하고, (2) 복수의 제2 미러 스캔 위치로 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템의 제2 미러를 스캔함에 의해 제2 제어 신호에 기초하여 제2 축을 따라 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템을 타깃화 하는 단계를 포함하고, 상기 제1 축과 상기 제2 축은 서로 직교하고, 상기 제1 미러와 제2 미러 스캔 위치들의 조합은 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 타깃으로 하는 곳을 한정하고,

상기 전송하는 단계는, (1) 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템의 광 소스를 발사하여 상기 스캔하는 제1 미러를 향해 변조된 레이저 레이더 펄스를 전송하도록 하는 단계 - 상기 변조된 레이저 레이더 펄스는 상기 스캔하는 제2 미러를 향해 반사되고, 상기 변조된 레이저 레이더 펄스는 상기 타깃화된 레인지 포인트를 향해 반사됨 -, 및 (2) 상기 제1 미러와 제2 미러가 계속 스캔할 때 복수의 상기 타깃화된 레인지 포인트에 대해 상기 발사하는 단계를 반복하는 단계를 포함하는, 레이저 레이더 전송 방법.

청구항 10

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 스캔 패턴은 레인지 포인트들의 순서화된 세트에 기초하여 동적 스캔 패턴을 포함하고, 상기 레인지 포인트들의 순서화된 세트가 타겟팅된 레인지 포인트를 포함하는, 레이저 레이더 전송 방법.

청구항 11

미러, 프로세서 및 광 소스를 포함하는 스캔 레이저 레이더 전송 시스템을 포함하고;

상기 프로세서는 레인지 포인트 다운 선택 알고리즘을 사용하여 환경 장면을 대표하는 데이터를 처리하여, 레이저 레이더 펄스로 타깃화(targeting)할 장면의 레인지 포인트 서브셋을 선택하도록 구성되며; 그리고

(1) 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 대한 스캔 패턴을 제어하기 위해 상기 미러를 복수의 미러 스캔 위치로 스캔하고, 상기 미러 스캔 위치는 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 타깃으로 하는 위치를 한정하도록 하며,

(2) 광 소스에 대한 발사 명령을 생성하고 - 상기 발사 명령은 제어된 스캔 패턴에 따라 타이밍이 지정되어, 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 상기 미러를 통해 레이저 레이더 펄스로 선택된 서브셋 내의 레인지 포인트를 타깃으로 삼도록 함 -, 그리고

(3) 상기 미러를 통해, 광 소스에 의해 그리고 상기 생성된 발사 명령에 대한 응답으로, 상기 선택된 서브셋 내 타깃화된 레인지 포인트를 향해 복수의 변조된 레이저 레이더 펄스를 전송하도록, 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 구성되는, 레이저 레이더 전송 장치.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은 복수의 상기 변조된 레이저 레이더 펄스가 동시에 복수의 상기 타깃화된 레인지 포인트로 이동하거나 및/또는 복수의 상기 타깃화된 레인지 포인트로부터 이동하도록 상기 변조된 레이저 레이더 펄스를 전송하도록 더 구성된, 레이저 레이더 전송 장치.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 광 소스는 제1 광 소스와 제2 광 소스를 더 포함하고, 각 광 소스는 상기 변조된 레이저 레이더 펄스를 생성하도록 구성되고, 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은 상기 변조된 레이저 레이더 펄스를 전송하기 위해 발사 명령을 상기 제1 및 제2 광 소스에 제공하도록 더 구성된, 레이저 레이더 전송 장치.

청구항 14

제11항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은 펄스 위치 변조를 상기 레이저 레이더 펄스에 적용하도록 더 구성된, 레이저 레이더 전송 장치.

청구항 15

제11항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은 강도 변조를 상기 레이저

레이더 펄스에 적용하도록 더 구성된, 레이저 레이더 전송 장치.

청구항 16

제11항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은 짧은 비대칭 진폭 변조 (AM) 버스트를 상기 레이저 레이더 펄스에 적용하도록 더 구성된, 레이저 레이더 전송 장치.

청구항 17

제11항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은 편광 변조를 상기 레이저 레이더 펄스에 적용하도록 더 구성된, 레이저 레이더 전송 장치.

청구항 18

제11항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은 코히어런트 결합을 이용한 위상 변조를 상기 레이저 레이더 펄스에 적용하도록 더 구성된, 레이저 레이더 전송 장치.

청구항 19

제11항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 미러는 제1 미러 및 제2 미러를 포함하며,

(1) 복수의 제1 미러 스캔 위치로 상기 제1 미러를 스캔함에 의해, 제1 제어 신호에 기초하여 제1 축을 따라 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템을 타깃화하고, (2) 복수의 제2 미러 스캔 위치로 상기 제2 미러를 스캔함에 의해 제2 제어 신호에 기초하여 제2 축을 따라 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템을 타깃화 하며 - 상기 제1 축과 상기 제2 축은 서로 직교함 -, 상기 제1 미러와 제2 미러 스캔 위치들의 조합은 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 타깃으로 하는 곳을 한정하고,

(3) 상기 광 소스를 발사하여 상기 스캔하는 제1 미러를 향해 변조된 레이저 레이더 펄스를 전송하도록 하며 - 상기 변조된 레이저 레이더 펄스는 상기 스캔하는 제2 미러를 향해 반사되고, 상기 변조된 레이저 레이더 펄스는 상기 타깃화된 레인지 포인트를 향해 반사됨 -, 및 (4) 상기 제1 미러와 제2 미러가 계속 스캔할 때 복수의 상기 타깃화된 레인지 포인트에 대해 상기 발사를 반복하도록, 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 더욱 구성되는, 레이저 레이더 전송 장치.

청구항 20

제11항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 스캔 패턴은 레인지 포인트의 순서화된 세트에 기초하여 동적 스캔 패턴을 포함하는, 레이저 레이더 전송 장치.

청구항 21

제9항에 있어서, 제1 제어 신호는 사인 곡선(sinusoidal)으로 변하여, 상기 제1 미러가 공진 모드로 스캔하도록 하고, 상기 방법은 타깃화된 레인지 포인트를 샷 목록 내에 정렬하는 단계 - 상기 샷 목록은 하나 이상의 라인 반복, 라인간 스킵 및/또는 라인간 우회를 포함함 - 를 더욱 포함하고, 그리고 제2 제어 신호는 샷 목록의 함수로서 변하는, 레이저 레이더 전송 방법.

청구항 22

제19항에 있어서, 제1 제어 신호는 사인 곡선(sinusoidal)으로 변하여, 상기 제1 미러가 공진 모드로 스캔하도록 하고, 상기 프로세서는 타깃화된 레인지 포인트를 샷 목록 내에 정렬하도록 더욱 구성되며 - 상기 샷 목록은 하나 이상의 라인 반복, 라인간 스킵 및/또는 라인간 우회를 포함함 -, 그리고 제2 제어 신호는 샷 목록의 함수로서 변하는, 레이저 레이더 전송 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 특허 출원에 대한 상호 참조 및 우선권 주장:

[0002] 본 특허 출원은 미국 가특허 출원 번호 62/038,065(2014년 8월 15일 출원)의 우선권을 주장하며, 이 문헌의 전체 내용은 본 명세서에 참고로 포함된다.

배경 기술

[0003] 특히 자동차 컴퓨터 비전과 같은 분야에서, 개선된 컴퓨터 비전 기술에 대한 기술 분야에 큰 요구가 있다고 믿어진다. 그러나, 개선된 컴퓨터 비전 기술에 대한 요구는 자율 플랫폼 비전(예를 들어, 공중, 지상(지하를 포함), 수상(수중을 포함) 및 우주 항공을 위한 자율 차량, 예를 들어, 자율 지상 차량, 자율 공중 차량 등), 감시(예를 들어, 국경 보안, 공중 드론 모니터링 등), 지도 작성(mapping)(예를 들어, 지하 터널의 지도 작성, 공중 드론을 통한 지도 작성 등), 타깃 인식 애플리케이션, 원격 감지, 안전 경고(예를 들어, 운전자를 위한 안전 경고(alerting)) 등을 포함하지만 이에 국한되지 않는 여러 폭넓은 분야에 걸쳐 폭넓게 존재하기 때문에 이런 요구는 자동차 컴퓨터 비전 시장으로 국한되지 않는다.

[0004] 본 명세서에 사용된 바와 같이, "레이더(ladar)"라는 용어는 레이저 레이더, 레이저 검출 및 거리 측정, 광 검출 및 거리 측정("라이더(lidar)") 중 임의의 것을 지칭하고 포함한다. 레이저 레이더는 컴퓨터 비전과 관련하여 널리 사용되는 기술이다. 예시적인 레이저 레이더 시스템에서, 레이저 소스를 포함하는 전송기는 레이저 레이더 펄스와 같은 레이저 출력을 인근 환경으로 전송한다. 이후 레이저 레이더 수신기는 이 레이저 출력이 인근 환경에 있는 물체로부터 반사된 파를 수신할 수 있고, 레이저 레이더 수신기는 수신된 반사파를 처리하여 이 물체까지의 거리(레인지 정보(range information))를 결정할 수 있다. 이러한 레인지 정보에 기초하여, 장애물 회피 시나리오에서 경로 계획, 웨이포인트(waypoint) 결정 등과 같은 것들을 계산하고자 하는 호스트 프로세서에 의해 환경의 기하학적 형상을 보다 명확히 이해할 수 있다. 그러나, 컴퓨터 비전 문제에 대한 종래의 레이저 레이더 솔루션은 높은 비용, 큰 크기, 큰 무게 및 큰 전력 요구 사항뿐만 아니라 큰 데이터 대역폭 사용을 나타낸다. 이것의 가장 좋은 예는 차량 자율이다. 이러한 복잡한 요인은 값비싼 애플리케이션에 효과적인 사용을 크게 제한하여 단지 짧은 레인지의 비전, 좁은 시야(field-of-view) 범위 및/또는 느린 재 방문율을 요구하였다.

[0005] 예를 들어, 레이저 레이더 전송기가 많은 수의 레인지 포인트(range point)를 동시에 조명하는 레이저 레이더 시스템이 이 기술 분야에 알려져 있다. 플래시 레이더(Flash Ladar)는 이러한 시스템의 한 예이다. 그러나, 이러한 종래의 시스템은 다수의 단점을 나타낸다고 믿어진다. 예를 들어, 플래시 레이더 시스템은 펄스 레이저당 매우 높은 에너지를 요구하는데, 이는 고비용일 뿐만 아니라 눈에 위험할 수 있다. 또한, 플래시 레이더 시스템용 판독 집적 회로는 일반적으로 상당히 시끄럽다. 또한, 플래시 레이더 시스템에 대한 넓은 시야의 신호 대 잡음비(SNR)는 일반적으로 매우 낮아서, 그 결과 좁은 레인지를 초래하여 그 유용성을 저하시킨다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 개선된 레이저 레이더 기반 컴퓨터 비전 기술에 대한 기술 분야의 요구를 만족시키기 위한 노력으로, 새롭고 혁신적인 방식으로 스캔 레이저 레이더 전송(scanning ladar transmission) 개념을 적용하는 방법 및 시스템에 대한 다수의 실시예가 본 명세서에 개시된다. 스캔 레이저 레이더는 주로 비-타깃화된 플래시 조명을 사용하는 것과 대조적으로 타깃화된 레인지 포인트로 레이저 레이더 펄스를 순차적으로 전송한다는 점에서 스캔 레이저 레이더는 플래시 레이더와 상이하다. 종래의 스캔 레이저 레이더는 플래시 레이더와 관련하여 나타나는 많은 문제점을 해결하지만, 종래의 스캔 레이저 레이더 시스템은 일반적으로 부피가 크고 프레임 속도(frame rate) 제한을 나타낸다. 이 기술 분야에 추가적인 진보를 제공하기 위한 노력으로, 개선된 스캔 레이저 레이더 전송 기술이 본 명세서에 개시된다.

과제의 해결 수단

[0007] 예를 들어, 본 명세서에는, 방법으로서, (1) 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해 타깃화(targeting)하기 위한 복수의 레인지 포인트(range point)를 포함하는 샷 목록(shot list)을 처리하는 단계; (2) 상기 처리된 샷 목록의 상기 레인지 포인트를 타깃화하기 위해 상기 미리 스캔 위치의 페루프 피드백 제어를 사용하여 상기 처리된 샷 목록에 기초하여 복수의 미리 스캔 위치로 미러를 스캔함으로써 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 대한 동적 스캔 패턴을 제어하는 단계로서, 상기 미리 스캔 위치는 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 타깃으로 하는 곳을 한정하는, 상기 제어하는 단계; 및 (3) 상기 제어된 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의

해, 상기 동적 스캔 패턴에 따라 상기 처리된 샷 목록의 상기 레인지 포인트를 향해 복수의 레이저 레이더 펄스를 전송하는 단계를 포함하는 방법이 개시된다.

[0008] 예시적인 실시예에서, 상기 스캔 위치는 이동 가능한 미러의 스캔 각도이며, 여기서 상기 이동 가능한 미러는 축 주위로 회전하며 그 스캔 각도를 변화시킬 수 있다. 그러나, 상기 스캔 위치는 스캔 각도로만 국한될 필요는 없으며, 다른 실시예에서는 시스템이 타깃화로 하는 곳을 한정하기 위해 축 방향 및/또는 높이 방향으로 상기 이동 가능한 미러를 스캔할 수 있는 것으로 이해되어야 한다.

[0009] 다른 예시적인 실시예로서, 본 명세서에는, 방법으로서, (1) (i) 제1 전압 파형에 기초하여 제1 축 상에서 제1 미러를 스캔하고, (ii) 제2 전압 파형에 기초하여 제2 축 상에서 제2 미러를 스캔하는 것에 의해 동적 스캔 패턴에 따라 스캔 레이저 레이더 전송 시스템을 복수의 레인지 포인트로 타깃화하는 단계로서, 상기 제2 전압 파형은 상기 타깃화된 레인지 포인트의 함수인, 상기 타깃화하는 단계; (2) 상기 스캔 미러를 통해 상기 동적 스캔 패턴에 따라 상기 타깃화된 레인지 포인트로 복수의 레이저 레이더 펄스를 전송하는 단계; 및 (3) 상기 스캔 미러들 중 적어도 하나의 스캔 미러에 대한 페루프 피드백 제어에 기초하여 상기 제1 및 제2 전압 파형들 중 적어도 하나의 전압 파형을 조정하는 단계를 포함하는 방법이 개시된다.

[0010] 더 나아가, 다른 예시적인 실시예로서, 본 명세서에는, 장치로서, 스캔 레이저 레이더 전송 시스템을 포함하고, 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은, (1) 미러를 포함하는 빔 스캐너로서, 상기 빔 스캐너는, (i) 제어 신호에 응답하여 상기 미러를 복수의 미러 스캔 위치로 스캔하고, (ii) 상기 레이저 레이더 펄스를 복수의 레인지 포인트를 향해 전송하기 위해 복수의 입력 레이저 레이더 펄스를 상기 스캔 미러 상으로 지향시키도록 구성된, 상기 빔 스캐너; (2) 빔 스캐너 제어기로서, 상기 빔 스캐너 제어기는 상기 빔 스캐너에 대한 제어 신호를 생성하도록 구성되고, 상기 제어 신호는 상기 레인지 포인트에 대한 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템의 동적 스캔 패턴을 한정하는, 상기 빔 스캐너 제어기; 및 (3) 상기 빔 스캐너 및 상기 빔 스캐너 제어기와 동작가능하게 통신하는 페루프 피드백 시스템으로서, 상기 페루프 피드백 제어 시스템은, (i) 상기 미러에 대한 복수의 실제 미러 스캔 위치를 감지하고, (ii) 상기 미러에 대한 상기 실제 미러 스캔 위치를 나타내는 상기 피드백 신호를 상기 빔 스캐너 제어기에 제공하도록 구성되고, 상기 피드백 신호는 상기 전송된 레이저 레이더 펄스를 상기 레인지 포인트를 향해 타깃 상으로 유지하기 위해 상기 제어 신호를 조정하기 위해 상기 빔 스캐너 제어기에 의해 사용되는, 상기 페루프 피드백 시스템을 포함하는, 장치가 개시된다.

[0011] 또 다른 예시적인 실시예에 따라, 본 명세서에는, 장치로서, (1) 제1 스캔 가능한 미러와 제2 스캔 가능한 미러를 포함하는 빔 스캐너로서, 상기 빔 스캐너는, (i) 제1 전압 파형에 응답하여 제1 축 상의 상기 제1 스캔 가능한 미러를 복수의 미러 스캔 위치로 스캔하고, (ii) 제2 전압 파형에 응답하여 제2 축 상의 상기 제2 스캔 가능한 미러를 복수의 미러 스캔 위치로 스캔하고, (iii) 상기 제1 스캔 가능한 미러로부터 상기 제2 스캔 가능한 미러로 상기 레인지 포인트를 향해 전방으로 상기 레이저 레이더 펄스를 반사시키는 것을 통해 복수의 입사 레이저 레이더 펄스를 복수의 레인지 포인트를 향해 지향시키도록 구성된, 상기 빔 스캐너; 및 (2) 빔 스캐너 제어기로서, 상기 빔 스캐너 제어기는, (i) 상기 제1 및 제2 전압 파형들의 조합이 상기 레인지 포인트에 대한 상기 빔 스캐너의 동적 스캔 패턴을 한정하도록 상기 빔 스캐너에 대한 상기 제1 및 제2 전압 파형을 생성하고, (ii) 상기 제1 및 제2 스캔 가능한 미러들 중 적어도 하나의 미러에 대한 페루프 피드백 제어에 기초하여 상기 제1 및 제2 파형들 중 적어도 하나의 파형을 조정하도록 구성된, 상기 빔 스캐너 제어기를 포함하는 장치가 개시된다.

[0012] 다른 예시적인 실시예와 관련하여, 본 명세서에는, 방법으로서, (1) 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 대한 스캔 영역으로 기능하는 환경 장면을 나타내는 프레임 데이터를 수신하는 단계로서, 상기 프레임 데이터는 상기 스캔 영역을 한정하는 복수의 포인트를 포함하는, 상기 수신하는 단계; (2) 상기 환경 장면 내의 코너 특징부 (corner feature)를 식별하기 위해 상기 프레임 데이터에서 코너 검출을 수행하는 단계; 및 (3) 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해 전송된 레이저 레이더 펄스에 의해 타깃화하기 위한 레인지 포인트로 사용하기 위한 상기 포인트의 서브셋을 선택하는 단계로서, 상기 서브셋은 상기 환경 장면 내의 상기 식별된 코너 특징부에 대응하는 복수의 포인트를 포함하는, 상기 선택하는 단계를 포함하고, 상기 방법 단계들은 프로세서에 의해 수행되는, 방법이 개시된다.

[0013] 또한 예시적인 실시예로서 본 명세서에는, 장치로서, 프로세서를 포함하고, 상기 프로세서는, (1) 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 대한 스캔 영역으로 기능하는 환경 장면을 나타내는 프레임 데이터를 수신하고 - 상기 프레임 데이터는 상기 스캔 영역을 한정하는 복수의 포인트를 포함함 -, (2) 상기 프레임 데이터에 코너 검출을 수행하여 상기 환경 장면 내에서 코너 특징부를 식별하고, (3) 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해 전

송된 레이저 레이더 펄스에 의해 타깃화하기 위한 레인지 포인트로 사용하기 위한 상기 포인트의 서브셋을 선택하도록 구성되고, 상기 서브셋은 상기 환경 장면 내에서 상기 식별된 코너 특징부에 대응하는 복수의 포인트를 포함하는, 장치가 개시된다.

[0014] 또 다른 예시적인 실시예로서, 본 명세서에는, 방법으로서, (1) 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 대한 스캔 영역으로 기능하는 환경 장면을 나타내는 프레임 데이터를 수신하는 단계로서, 상기 프레임 데이터는 상기 스캔 영역을 한정하는 복수의 포인트를 포함하는, 상기 수신하는 단계; (2) 상기 환경 장면의 상이한 세그먼트들에 대응하는 복수의 프레임 데이터 세그먼트를 식별하는 단계; (3) 상기 프레임 데이터 세그먼트들 내의 고 콘트라스트 영역들을 식별하기 위해 복수의 상기 식별된 프레임 데이터 세그먼트들 각각을 개별적으로 분석하는 단계; 및 (4) 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해 전송된 레이저 레이더 펄스에 의해 타깃화하기 위한 레인지 포인트로 사용하기 위한 상기 포인트의 서브셋을 선택하는 단계로서, 상기 서브셋은, 상기 환경 장면의 또 다른 영역에서보다 식별된 고 콘트라스트 영역에 대응하는 상기 환경 장면의 영역에서 상대적으로 더 높은 농도의 레인지 포인트를 포함하는, 상기 선택하는 단계를 포함하고, 상기 방법 단계들은 프로세서에 의해 수행되는, 방법이 개시된다.

[0015] 더 나아가, 또 다른 예시적인 실시예로서, 본 명세서에는, 장치로서, 프로세서를 포함하고, 상기 프로세서는, (1) 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 대한 스캔 영역으로 기능하는 환경 장면을 나타내는 프레임 데이터를 수신하고 - 상기 프레임 데이터는 상기 스캔 영역을 한정하는 복수의 포인트를 포함함 -, (2) 상기 환경 장면의 상이한 세그먼트들에 대응하는 복수의 프레임 데이터 세그먼트를 식별하고, (3) 복수의 상기 식별된 프레임 데이터 세그먼트 각각을 개별적으로 분석하여 상기 프레임 데이터 세그먼트 내에서 고 콘트라스트 영역을 식별하고, (4) 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해 전송된 레이저 레이더 펄스에 의해 타깃화하기 위한 레인지 포인트로 사용하기 위한 상기 포인트의 서브셋을 선택하도록 구성되고, 상기 서브셋은 상기 환경 장면의 또 다른 영역에서보다 식별된 고 콘트라스트 영역에 대응하는 상기 환경 장면의 영역에서 상대적으로 더 높은 농도의 레인지 포인트를 포함하는, 장치가 개시된다.

[0016] 또 다른 예시적인 실시예와 관련하여, 본 명세서에는, 방법으로서, (1) 레이저 레이더를 통해 포인트 클라우드를 생성하는 단계로서, 상기 포인트 클라우드는 환경 장면을 나타내고 복수의 레인지 포인트를 포함하는, 상기 생성하는 단계; 및 (2) (i) 상기 환경 장면을 나타내는 데이터를 처리하고, (ii) 상기 처리에 기초하여, 압축된 포인트 클라우드에 유지하기 위해, 상기 포인트 클라우드에서 복수의 상기 레인지 포인트를 선택하는 것에 의해 상기 포인트 클라우드를 압축하는 단계를 포함하고, 상기 압축된 포인트 클라우드는 상기 생성된 포인트 클라우드보다 더 적은 레인지 포인트들을 포함하고, 상기 압축하는 단계는 프로세서에 의해 수행되는, 방법이 개시된다. 예시적인 실시예에서, 상기 포인트 클라우드는 스캔 레이저 레이더 또는 플래시 레이더(flash lidar)를 통해 생성될 수 있다.

[0017] 또한 예시적인 실시예로서, 장치로서, (1) 레이저 레이더 시스템으로서, 상기 레이더 시스템은 레이저 레이더를 통해 포인트 클라우드를 생성하도록 구성되고, 상기 포인트 클라우드는 환경 장면을 나타내고 복수의 레인지 포인트를 포함하는, 상기 레이저 레이더 시스템; 및 (2) 프로세서로서, 상기 프로세서는, (i) 상기 환경 장면을 나타내는 데이터를 처리하는 동작, 및 (ii) 상기 처리에 기초하여, 압축된 포인트 클라우드에 유지하기 위해 상기 포인트 클라우드에서 복수의 상기 레인지 포인트를 선택하는 동작을 수행하는 것에 의해, 상기 포인트 클라우드를 압축하도록 구성되고, 상기 압축된 포인트 클라우드는 상기 생성된 포인트 클라우드보다 더 적은 레인지 포인트들을 포함하는, 상기 프로세서를 포함하는 장치가 개시된다.

[0018] 또 다른 예로서, 본 명세서에는, 본 명세서에는, 방법으로서, (1) 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해 타깃화하기 위한 복수의 레인지 포인트를 포함하는 샷 목록을 처리하는 단계로서, 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은, (i) 제1 축에 대해 스캔 가능한 제1 미러, 및 (ii) 상기 제1 축에 직각인 제2 축에 대해 스캔 가능한 제2 미러를 포함하고, 상기 제1 미러는 회전 다각형 미러를 포함하는, 상기 처리하는 단계; (2) 상기 처리된 샷 목록의 상기 레인지 포인트들을 타깃화하기 위해 상기 처리된 샷 목록에 기초하여 상기 회전 다각형 미러와 제1 미러를 복수의 미러 스캔 위치로 스캔함으로써 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 대한 동적 스캔 패턴을 제어하는 단계로서, 상기 회전 다각형 미러와 상기 제1 미러에 대한 상기 미러 스캔 위치들의 조합은 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 타깃으로 하는 상기 레인지 포인트를 한정하는, 상기 제어하는 단계; 및 (3) 상기 제어된 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해, 상기 동적 스캔 패턴에 따라 상기 처리된 샷 목록의 상기 레인지 포인트를 향해 복수의 레이저 레이더 펄스를 전송하는 단계를 포함하는 방법이 개시된다.

[0019] 다른 예시적인 실시예에 따라, 본 명세서에는, 장치로서, 복수의 레이저 레이더 펄스를 복수의 스캔 가능한 미

러를 통해 복수의 레인지 포인트를 향해 지향시키도록 구성된 스캔 레이저 레이더 전송 시스템을 포함하고, 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은, (1) 제1 미러와 제2 미러를 포함하는 빔 스캐너로서, 상기 제1 미러는 회전 다각형 미러를 포함하고, 상기 빔 스캐너는, (i) 제1 축을 따라 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템을 타깃화하기 위해 제1 제어 신호에 응답하여 상기 제1 미러를 복수의 미러 스캔 위치로 스캔하고, 및 (ii) 제2 축을 따라 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템을 타깃화하기 위해 제2 제어 신호에 응답하여 상기 제2 미러를 복수의 미러 스캔 위치로 스캔하도록 구성되고, 상기 제1 미러와 제2 미러에 대한 상기 미러 스캔 위치들의 조합은 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 타깃으로 되는 상기 레인지 포인트를 한정하는, 상기 빔 스캐너; 및 (2) 빔 스캐너 제어기로서, 상기 빔 스캐너 제어기는 상기 빔 스캐너에 의해 사용되기 위한 상기 제1 및 제2 제어 신호를 생성하도록 구성되고, 상기 제1 및 제2 제어 신호는 상기 레인지 포인트에 대한 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템의 동적 스캔 패턴을 한정하는, 상기 빔 스캐너 제어기를 포함하는, 장치가 개시된다.

[0020] 다른 예로서, 본 명세서에는, 방법으로서, (1) 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해 타깃화하기 위한 복수의 레인지 포인트를 포함하는 샷 목록을 처리하는 단계; (2) 상기 처리된 샷 목록의 상기 레인지 포인트를 타깃화하기 위해 상기 처리된 샷 목록에 기초하여 복수의 미러 스캔 위치로 미러를 스캔함으로써 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 대한 동적 스캔 패턴을 제어하는 단계로서, 상기 미러 스캔 위치는 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 타깃으로 하는 곳을 한정하고, 상기 동적 스캔 패턴은 라인간 스킵과 라인간 우회로 구성된 그룹 중 적어도 하나의 요소를 포함하는, 상기 제어하는 단계; 및 (3) 상기 제어된 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해, 상기 동적 스캔 패턴에 따라 상기 처리된 샷 목록의 상기 레인지 포인트를 향해 복수의 레이저 레이더 펄스를 전송하는 단계를 포함하는 방법이 개시된다.

[0021] 또한 예시적인 실시예로서, 방법으로서, 상기 샷 목록이 라인간 스킵과 라인간 우회로 구성된 그룹 중 적어도 하나의 요소를 포함하는 동적 스캔 패턴을 지원하는 방식으로, 레이저 레이더 스캐너 타깃화를 위한 레인지 포인트 목록을, 레이저 레이더 스캐너 타깃화를 위한 샷 목록으로, 프로세서에 의해 변환하는 단계를 포함하고, 상기 레인지 포인트 목록은 복수의 레인지 포인트를 포함하고, 상기 샷 목록은 상기 레인지 포인트 목록으로부터 복수의 순서화된 레인지 포인트를 포함하는, 방법.

[0022] 더 나아가, 또 다른 예시적인 실시예로서, 본 명세서에는, 장치로서, 라인간 스킵과 라인간 우회로 구성된 그룹 중 적어도 하나의 요소를 포함하는 동적 스캔 패턴에 따라 복수의 레이저 레이더 펄스를 복수의 레인지 포인트를 향해 전송하도록 구성된 스캔 레이저 레이더 전송 시스템을 포함하는 장치가 개시된다.

[0023] 예시적인 실시예에서, 이러한 장치는, (1) 프로세서로서, 상기 프로세서는, 복수의 레인지 포인트를 처리하여 레인지 포인트들의 순서화된 세트(ordered set)를 생성하도록 구성되고, 각 레인지 포인트는 미러 스캔 위치를 함께 한정하는 연관된 행 식별자 및 연관된 열 식별자를 가지며, 상기 순서화된 세트는 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 대한 샷 목록으로 기능하고, 상기 프로세서는, 상기 처리 동작의 일부로서, (i) 현재 행으로부터 다른 행을 스캔하는데 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해 요구되는 시간의 양을 나타내는 파라미터에 기초하여, 상기 레인지 포인트들을 타깃화하기 위해 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해 임의의 라인간 스킵이 사용되어야 하는지 여부를 결정하고, (ii) 상기 라인간 스킵 결정에 기초하여 상기 레인지 포인트들을 상기 순서화된 세트로 분류하고, (iii) 라인간 스킵이 사용되어야 한다는 결정에 응답하여, 상기 라인간 스킵이 수행되어야 하는 위치에서 상기 순서화된 세트 내에서 라인간 스킵 식별자로 상기 샷 목록에 태그를 붙이도록 더 구성된, 상기 프로세서; 및 (2) 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템의 빔 스캐너로서, 상기 빔 스캐너는 미러를 포함하고, 상기 빔 스캐너는 상기 동적 스캔 패턴을 통해 상기 레인지 포인트를 타깃화하기 위해 내부에 존재하는 임의의 라인간 스킵 식별자를 포함하는 상기 샷 목록에 따라 복수의 미러 스캔 위치로 상기 미러를 스캔하도록 구성되고, 상기 미러는 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 타깃으로 하는 곳을 한정하는, 상기 빔 스캐너를 더 포함할 수 있고, 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은 상기 동적 스캔 패턴에 따라 상기 스캔 미러의 상기 레인지 포인트를 향해 복수의 레이저 레이더 펄스를 상기 스캔 미러를 통해 전송하도록 더 구성된다.

[0024] 다른 예시적인 실시예에서, 이러한 장치는, (1) 복수의 레인지 포인트를 처리하여 레인지 포인트들의 순서화된 세트를 생성하도록 구성된 프로세서로서, 각 레인지 포인트는 미러 스캔 위치를 함께 한정하는 연관된 행 식별자 및 연관된 열 식별자를 가지며, 상기 순서화된 세트는 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템을 위한 샷 리스트로 기능하고, 상기 프로세서는, 상기 처리 동작의 일부로서, (i) (a) 현재 행으로부터 다른 행으로 스캔하고, (b) 상기 다른 행의 레인지 포인트로 스캔하고, (c) 상기 현재 행으로 복귀하는데 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해 요구되는 시간의 양을 나타내는 파라미터에 기초하여, 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 상기 레인지 포인트들을 타깃화하기 위해 임의의 라인간 우회가 사용되어야 하는지 여부를 결정하고, (ii)

상기 라인간 우회 결정에 기초하여 상기 레이저 포인트들을 상기 순서화된 세트로 분류하고, (iii) 라인간 우회 로가 사용되어야 한다는 결정에 응답하여, 상기 라인간 우회가 수행되어야 하는 위치에서 상기 순서화된 세트 내에서 라인간 우회 식별자로 상기 샷 목록에 태그를 붙이도록 더 구성된, 상기 프로세서; 및 (2) 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템의 빔 스캐너로서, 상기 빔 스캐너는 미러를 포함하고, 상기 빔 스캐너는 상기 동적 스캔 패턴을 통해 상기 레이저 포인트를 타겟화하기 위해 내부에 존재하는 임의의 라인간 우회 식별자를 포함하는 상기 샷 목록에 따라 복수의 미러 스캔 위치로 상기 미러를 스캔하도록 구성되고, 상기 미러 스캔 위치는 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 타겟으로 하는 곳을 한정하는, 상기 빔 스캐너를 더 포함할 수 있고, 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은 상기 동적 스캔 패턴에 따라 상기 샷 리스트의 상기 레이저 포인트를 향해 복수의 레이저 레이더 펄스를 상기 스캔 미러를 통해 전송하도록 더 구성된다.

[0025] 또 다른 예로서, 본 명세서에는, 방법으로서, (1) 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해 타겟화하기 위한 복수의 레이저 포인트를 포함하는 샷 목록을 처리하는 단계; (2) 상기 나선형 동적 스캔 패턴에 따라 상기 처리된 샷 목록의 상기 레이저 포인트를 타겟화하기 위해 상기 처리된 샷 목록에 기초하여 복수의 미러 스캔 위치로 미러를 스캔함으로써 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 대한 나선형 동적 스캔 패턴을 제어하는 단계로서, 상기 미러 스캔 위치는 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 타겟으로 하는 곳을 한정하는, 상기 제어하는 단계; 및 (3) 상기 제어된 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해, 상기 나선형 동적 스캔 패턴에 따라 상기 처리된 샷 목록의 상기 레이저 포인트를 향해 복수의 레이저 레이더 펄스를 전송하는 단계를 포함하는 방법이 개시된다.

[0026] 예시적인 실시예에서, 상기 스캔 위치는 이동 가능한 미러의 스캔 각도이며, 여기서 상기 이동 가능한 미러는 축 주위로 회전하며 그 스캔 각도를 변화시킬 수 있다. 그러나, 상기 스캔 위치는 스캔 각도로만 국한될 필요는 없으며, 다른 실시예에서는 시스템이 타겟으로 하는 곳을 한정하기 위해 축 방향 및/또는 높이 방향으로 상기 이동 가능한 미러를 스캔할 수 있다.

[0027] 또한 예시적인 실시예로서, 방법으로서, 샷 목록이 나선형 동적 스캔 패턴을 지원하는 방식으로, 레이저 레이더 스캐너가 타겟화하기 위한 레이저 포인트들을, 상기 레이저 레이더 스캐너가 타겟화하기 위한 샷 목록으로, 상기 프로세서에 의해 변환하는 단계를 포함하고, 상기 레이저 포인트 목록은 복수의 레이저 포인트를 포함하고, 상기 샷 목록은 상기 레이저 포인트 목록으로부터 복수의 순서화된 레이저 포인트를 포함하는, 방법이 개시된다.

[0028] 또 다른 예시적인 실시예와 관련하여, 본 명세서에는, 장치로서, 복수의 레이저 레이더 펄스를 복수의 스캔 가능한 미러를 통해 복수의 레이저 포인트를 향해 지향시키도록 구성된 스캔 레이저 레이더 전송 시스템을 포함하고, 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은, (1) 제1 미러와 제2 미러를 포함하는 빔 스캐너로서, 상기 빔 스캐너는, (i) 제1 축을 따라 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템을 타겟화하기 위해 제1 구동 전압에 응답하여 상기 제1 미러를 복수의 미러 스캔 위치로 스캔하고, (ii) 제2 축을 따라 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템을 타겟화하기 위해 제2 구동 전압에 응답하여 상기 제2 미러를 복수의 미러 스캔 위치로 스캔하도록 구성되고, 상기 제1 미러와 제2 미러에 대한 상기 미러 스캔 위치들의 조합은 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 타겟으로 하는 상기 레이저 포인트를 한정하는, 상기 빔 스캐너; 및 (2) 빔 스캐너 제어기로서, 상기 빔 스캐너 제어기는 상기 빔 스캐너에 의해 사용되기 위한 상기 제1 및 제2 구동 전압을 생성하도록 구성되고, 상기 제1 및 제2 구동 전압은 상기 레이저 포인트에 대한 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템의 나선형 동적 스캔 패턴을 한정하는, 상기 빔 스캐너 제어기를 포함하는 장치가 개시된다.

[0029] 또 다른 예로서, 본 명세서에는, 방법으로서, (1) 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해 타겟화하기 위한 복수의 레이저 포인트를 포함하는 샷 목록을 처리하는 단계; (2) 상기 처리된 샷 목록의 상기 레이저 포인트를 타겟화하기 위해 상기 처리된 샷 목록에 기초하여 복수의 미러 스캔 위치로 미러를 스캔함으로써 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 대한 동적 스캔 패턴을 제어하는 단계로서, 상기 미러 스캔 위치는 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 타겟으로 하는 곳을 한정하고, 상기 동적 스캔 패턴은 매크로 스캔 패턴, 및 상기 매크로 스캔 패턴 내에 매립된 기본 동적 스캔 패턴을 포함하는, 상기 제어하는 단계; 및 (3) 상기 제어된 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해, 상기 동적 스캔 패턴에 따라 상기 처리된 샷 목록의 상기 레이저 포인트를 향해 복수의 레이저 레이더 펄스를 전송하는 단계를 포함하는 방법이 개시된다.

[0030] 다른 예시적인 실시예에 따라, 본 명세서에는, 장치로서, 복수의 레이저 레이더 펄스를 복수의 스캔 가능한 미러를 통해 복수의 레이저 포인트를 향해 지향시키도록 구성된 스캔 레이저 레이더 전송 시스템을 포함하고, 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은, (1) 제1 미러와 제2 미러를 포함하는 빔 스캐너로서, 상기 빔 스캐너는,

(i) 제1 축을 따라 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템을 타깃화하기 위해 제1 제어 신호에 응답하여 복수의 미러 스캔 위치로 상기 제1 미러를 스캔하고, (ii) 제2 축을 따라 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템을 타깃화하기 위해 제2 제어 신호에 응답하여 복수의 미러 스캔 위치로 상기 제2 미러를 스캔하도록 구성되고, 상기 제1 미러와 제2 미러에 대한 상기 미러 스캔 위치들의 조합은 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 타깃으로 하는 상기 레인지 포인트를 한정하는, 상기 빔 스캐너; 및 (2) 빔 스캐너 제어기로서, 상기 빔 스캐너 제어기는 상기 빔 스캐너에 의해 사용되기 위한 상기 제1 및 제2 제어 신호를 생성하도록 구성되고, 상기 제1 및 제2 제어 신호는 상기 레인지 포인트에 대한 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템의 동적 스캔 패턴을 한정하고, 상기 동적 스캔 패턴은 매크로 스캔 패턴, 및 상기 매크로 스캔 패턴 내에 매립된 기본 동적 스캔 패턴을 포함하는, 상기 빔 스캐너 제어기를 포함하는, 장치가 개시된다.

[0031] 또 다른 예로서, 본 명세서에는, 방법으로서, (1) 스캔 패턴에 따라 복수의 레인지 포인트를 타깃화하기 위해 복수의 미러 스캔 위치로 미러를 스캔함으로써 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 대한 상기 스캔 패턴을 제어하는 단계로서, 상기 미러 스캔 위치는 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 타깃으로 하는 곳을 한정하는, 상기 제어하는 단계; 및 (2) 상기 제어된 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해, 상기 스캔 패턴에 따라 상기 레인지 포인트를 향해 복수의 변조된 레이저 레이더 펄스를 전송하는 단계를 포함하는 방법이 개시된다.

[0032] 또한 예시적인 실시예로서, 장치로서, 미러를 포함하는 스캔 레이저 레이더 전송 시스템을 포함하고, 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은, (1) 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 대한 스캔 패턴을 제어하고 상기 스캔 패턴에 따라 복수의 레인지 포인트를 타깃화하도록 상기 미러를 복수의 미러 스캔 위치로 스캔하는 동작으로서, 상기 미러 스캔 위치는 상기 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 타깃으로 하는 곳을 한정하는, 상기 스캔하는 동작, 및 (2) 상기 스캔 패턴에 따라 복수의 변조된 레이저 레이더 펄스를 상기 레인지 포인트를 향해 상기 스캔된 미러를 통해 전송하는 동작을 수행하도록 구성된, 장치가 개시된다.

[0033] 본 발명의 이점 및 다른 특징 및 장점은 이하에서 이 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 설명될 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0034] 도 1은 예시적인 시스템 실시예를 도시한다.
- 도 2a는 도 1의 시스템 제어기에 의해 구현되는 예시적인 공정 흐름을 도시한다.
- 도 2b는 레이저 레이더 타깃화(ladar targeting)를 위해 선택된 레인지 포인트를 포함하는 예시적인 환경 장면 이미지를 도시한다.
- 도 2c는 동적 레인지 포인트 선택 알고리즘에 대한 예시적인 실시예를 도시한다.
- 도 2d는 예시적인 동적 레인지 포인트 선택 알고리즘의 충전 포인트(fill point) 선택 알고리즘의 예시적인 실시예를 도시한다.
- 도 3은 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 대한 예시적인 실시예를 도시한다.
- 도 4a 내지 도 4c는 빔 스캐너의 스캔 미러에 대한 위치지정 에러가 레이저 레이더 타깃화를 위해 사용 가능한 스캔 영역에 어떻게 영향을 줄 수 있는지를 도시한다.
- 도 5는 미러 스캔 위치의 페루프 피드백 제어와 결합된 빔 스캐너의 예시적인 실시예를 도시한다.
- 도 6a 내지 도 6c는 미러 스캔 위치를 정밀 제어하는데 사용하기 위한 페루프 광학 피드백 시스템에 대한 예시적인 실시예를 도시한다.
- 도 7a는 페루프 피드백 시스템에서 에러를 보정하기 위한 예시적인 실시예를 도시한다.
- 도 7b 및 도 7c는 미러 스캔 위치를 제어하는 것과 관련된 예시적인 전압 파형을 도시한다.
- 도 8a 내지 도 8f는 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해 사용될 수 있는 동적 스캔 패턴의 예를 도시한다.
- 도 9a는 레인지 포인트의 목록을 레이저 레이더 타깃화를 위한 샷 목록으로 변환하기 위한 예시적인 실시예를 도시한다.
- 도 9b는 레인지 포인트의 목록을 레이저 레이더 타깃화를 위한 샷 목록으로 변환하기 위한 다른 예시적인 실시예를 도시한다.

도 9c 내지 도 9f는 레인지 포인트 목록-샷 목록 변환의 예를 보여준다.

도 10은 빔 스캐너 제어기에 대한 예시적인 실시예를 도시한다.

도 11a 내지 도 11g는 회전 다각형 미러(spinning polygon mirror)와 결합하여 적어도 하나의 스캔 미러를 사용하는 빔 스캐너에 대한 예시적인 실시예를 도시한다.

도 12a 및 도 12b는 레이저 레이더 전송기에 의해 사용될 수 있는 레이저 펄스 인코딩 패턴의 예를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 도 1은 예시적인 실시예에 따른 동적 스캔 레이저 레이더 전송을 위한 시스템(100)을 도시한다. 시스템(100)은 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104) 및 환경 감지 시스템(106)과 통신하는 시스템 제어기(102)를 포함한다. 환경 감지 시스템(106)은, 환경 장면(108)을 감지하고 환경 장면 데이터(110)를 시스템 제어기(102)에 제공하도록 구성될 수 있다. 환경 장면 데이터(110)를 분석한 것에 기초하여, 시스템 제어기(102)는 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)에 전달하기 위한 제어 정보(112)를 생성할 수 있다. 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은 이어서 시스템 제어기(102)로부터 수신된 제어 정보(112)에 따라 레이저 레이더 펄스(114)를 전송할 수 있다. 아래에서 보다 상세히 설명된 바와 같이, 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)은 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)의 스캔 위치를 페루프 피드백으로 제어할 수 있다.

[0036] 도시되지는 않았지만, 레이저 레이더 수신기는 레이저 레이더 전송 시스템과 결합하여 사용될 수 있으며, 이 레이저 레이더 수신기는 레이저 레이더 펄스의 반사파를 수신하여 전송된 레이저 레이더 펄스에 기초하여 레인지 정보를 결정하는 것을 지원하는 것으로 이해되어야 한다.

[0037] 환경 감지 시스템(106)은, 인근 환경 장면(108)에 관한 데이터를 감지하여 시스템 제어기(102)에 전달하기 위한 환경 장면 데이터(110)를 생성하는 센서를 포함할 수 있다. 적절한 센서의 예는 CCD 카메라, 열 카메라 등과 같은 카메라를 포함한다. 적합한 센서의 다른 예는 다른 레이저 레이더 시스템을 포함할 수 있다. 환경 장면 데이터(110)는 카메라에 의해 생성된 환경 장면에 대한 이미지 데이터의 프레임일 수 있고, 환경 감지 시스템(106)은 시스템 제어기(102)에 전달하기 위한 환경 장면의 프레임을 롤링(rolling) 방식으로 생성하도록 구성될 수 있다. 다른 예로서, 센서는 환경 감지 시스템(106)의 지리적 위치와 방향을 결정할 수 있는 지구 위치 지정 시스템(global positioning system: GPS) 수신기 및/또는 관성 측정 유닛(Inertial Measurement Unit: IMU) 동일 수 있다. 결정된 지리적 위치에 기초하여, 스트리트 지도(street map) 및/또는 지형 지도와 같은 지도 정보를 포함하는 데이터베이스에 액세스하여 환경 장면 데이터(110)를 획득할 수 있다. 그리하여, 환경 장면 데이터(110)는 질문(queried)될 환경 장면 데이터 내에서 고가(high value)의 위치에 대응하는 임의의 수반되는 "고가 타깃 데이터"와 같은, 정지 이미지, 비디오 이미지, 지도, 레이저 레이더 데이터, 및 다른 데이터를 포함하는 다수의 형태 중 임의의 형태를 취할 수 있다.

[0038] 예시적인 실시예에서, 초기 스캔을 위해, 환경 감지 시스템은 카메라와 같은 센서를 사용하여 환경 장면 데이터를 생성할 수 있지만, 추가적인 스캔은, 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해 송신된 레이저 레이더 펄스에 응답하여 레이저 레인지 수신기에 의해 수신된 데이터로부터 생성된 3D 이미지 데이터를 환경 장면 데이터(110)로 사용할 수 있다.

[0039] 시스템 제어기(102)는 프로세서(120)와 메모리(122)를 포함할 수 있다. 프로세서(120)와 메모리(122)는 서로 상호 작용하며 프로세서(120)가 메모리(122)에 저장된 명령을 실행하도록 구성될 수 있다. 프로세서(120)는 본 명세서에 개시된 처리 동작을 구현하기에 충분한 계산 능력을 갖는 임의의 유형의 프로세서일 수 있다. 프로세서(120)는 네트워크를 통해 선택적으로 분산된 다수의 프로세서를 포함할 수 있다는 것을 이해해야 한다. 프로세서(120)에 의해 실행되는 처리 로직을 구현하는 프로그래밍 명령은 프로세서(120)에 의해 액세스되고 실행되기 위해 비-일시적인 컴퓨터-판독가능한 저장 매체(예를 들어, 메모리(122))에 상주할 수 있다. 또한, 메모리(122)는, 하나 이상의 하드 드라이브, 랜덤 액세스 메모리(RAM), 이동식 저장 매체, 예를 들어, 플래시 드라이브, 광학 매체 등을 포함하지만 이에 국한되지 않는, 다수의 분산된 메모리 장치 및/또는 다른 유형의 메모리 장치일 수 있는, 다수의 메모리 장치를 포함할 수 있다. 메모리(122)는 또한 아래에 설명된 바와 같이 선택된 레인지 포인트의 목록, 샷 목록 등과 같은, 프로세서에 의해 계산된 임의의 정보를 반영하는 복수의 데이터 구조를 저장할 수 있다. 데이터 구조는 컴퓨팅 시스템 내에서 조직된 정보의 물리적 표현일 수 있다. 데이터 구조의 예는 데이터 객체, 파일, 레코드, 테이블, 어레이, 트리 등을 포함할 수 있다.

[0040] 동작시, 프로세서(120)는 환경 감지 시스템(106)으로부터 수신된 환경 장면 데이터(110)를 처리하여 스캔 레이

저 레이더 전송 시스템(104)의 동작을 제어하는 제어 정보(112)를 생성할 수 있다. 이 제어 정보(112)는 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)이 레이저 레이더 펄스(114)를 송신하는 곳을 한정하는 타깃 정보를 포함할 수 있으며, 그 예는 아래의 설명에 제공된다.

[0041] 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)은 시스템 제어기(102)로부터 수신된 제어 정보(112)에 기초하여 레이저 레이더 펄스(114)를 원하는 타깃으로 제어 가능하게 전송하도록 구성된다. 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)은 레이저 레이더 펄스를 원하는 타깃으로 지향시킬 수 있는 하나 이상의 이동 가능한 미러를 통해 원하는 타깃을 스캔하도록 구성될 수 있다. 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)의 예는 이후 설명에 포함된다.

[0042] 시스템 제어기(102)-구성 및 동작:

[0043] 도 2a는 프로세서(120)에 의해 실행되어 입력 환경 장면 데이터(110)로부터 제어 명령(112)(이 예에서는 샷 목록)을 생성하는 일반적인 공정 흐름을 도시한다. 데이터(110)는 단계(200)에서 프로세서(120)에 의해 처리될 환경 장면(108)에 관한 선행적 데이터(a priori data)로 기능한다. 이 처리에 기초하여, 프로세서는 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)으로 타깃화하기 위한 레인지 포인트의 목록을 생성한다(단계 202). 이 목록은 가능한 레인지 포인트의 서브셋을 선택함으로써 생성될 수 있으며, 여기서 선택된 레인지 포인트는 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)에 의해 타깃화될 환경 장면의 현저한 특징을 나타내는 스파스 어레이(sparse array) 또는 포인트 클라우드(point cloud)로 기능한다. 예를 들어 선행적 데이터(110)가 이미지인 경우, 선택된 레인지 포인트의 목록으로 기능하는 스파스 어레이는 선행적 이미지 데이터(110) 내 픽셀의 서브셋일 수 있다.

[0044] 다음으로, 단계(204)에서, 프로세서(120)는 단계(202)에 의해 생성된 레인지 포인트의 목록을 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)에 대한 샷 목록으로 변환한다. 이 샷 목록은 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)에 대한 제어 정보(112)로 기능할 수 있다. 단계(202)에서 생성된 레인지 포인트의 목록은 단지 타깃화를 위해 선택된 레인지 포인트의 목록일 수 있으나, 이 샷 목록은 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해 타깃화하기 위해 선택된 레인지 포인트의 순서화된 목록(ordered list)으로 기능하며, 여기서 순서화(ordering)는 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)의 기능과 제한뿐만 아니라 시스템 동작에 대한 원하는 스캔 패턴을 고려한다. 도 2a의 예는 프로세서(120)에 의해 수행되는 단계(204)를 보여주지만, 단계(204)는 시스템의 다른 구성 요소에 의해 수행될 수 있음을 이해해야 한다. 예를 들어, 단계(204)는 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104) 내 빔 스캐너 제어기(308)에 의해 수행될 수 있다. 다른 예로서, 프로세서(120)는 단계(204)의 일부를 수행하도록 구성될 수 있는 반면, 빔 스캐너 제어기(308)는 단계(204)의 나머지 부분을 수행하도록 구성될 수 있다. 단계(204)가 프로세서(120)에 의해 수행되는 예시적인 실시예에서, 제어 정보(112)는 샷 목록을 포함할 수 있다. 그러나, 단계(204)가 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104) 내 빔 스캐너 제어기(308)에 의해 수행되는 예시적인 실시예의 경우, 제어 정보(112)는 단계(202)로부터 레인지 포인트 목록을 포함할 수 있다.

[0045] 도 2b는 환경 장면의 샘플 이미지에 대해 단계(202)를 수행한 결과를 도시하는 일 예를 도시한다. 이 예에서, 환경 장면 데이터(110)는 도로와 인근 지형 경관을 나타낸다. 단계(202)에서 프로세서는 레인지 포인트 목록에 포함될 복수의 지능형(intelligent) 레인지 포인트(210)와 복수의 충전(fill) 레인지 포인트(212)를 선택할 수 있다. 아래에 설명된 바와 같이, 지능형 레인지 포인트는 장면을 정밀 샘플링하기 위해 높은 효율을 나타내는 것으로 시스템에 의해 발견되는 레인지 포인트인 반면, 충전 레인지 포인트는 이 지능형 레인지 포인트의 상seite에 스캐폴딩(scaffolding)을 제공하는 레인지 포인트이다. 함께, 이들 포인트(210 및 212)는 레인지 포인트의 스파스 어레이를 한정할 수 있다. 환경 장면을 나타내는데 사용되는 포인트 어레이의 크기를 줄임으로써, 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 대한 포인트 부하가 감소된 것으로 인해 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 환경 장면을 보다 신속히 스캔할 수 있기 때문에 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은 더 높은 프레임 속도를 지원할 수 있다고 믿어진다. 또한 기본적으로 레이저가 더 낮은 반복 속도에서 동작할 수 있고 이 경우 레이저는 펄스당 더 많은 양의 에너지를 나타낼 수 있기 때문에 (이어서 이 에너지는 시스템에 의해 지원되는 더 긴 레인지로 변환될 수 있기 때문에) 스파스 어레이는 레이저 레이더 시스템에 개선된 레인지를 지원할 수 있다고 믿어진다. 예시적인 실시예는 약 2km 또는 이보다 훨씬 더 먼 거리(예를 들어, 약 10km)에까지 이를 수 있을 것으로 예상된다.

[0046] 지능형 레인지 포인트(210)는 다수의 기준 중 임의의 기준에 기초하여 선택될 수 있다. 예를 들어, 고 콘트라스트(high contrast) 영역은 시스템의 관심 영역인 것으로 간주될 수 있고 이는 상대적으로 더 높은 농도의 레인지 레인지를 포함해야 한다. 따라서, 단계(202)는 이미지 데이터(110)를 분석한 것에 기초하여 고 콘트라스트를 갖는 영역에서 더 높은 농도의 레인지 포인트를 지능적으로 선택하도록 동작할 수 있다. 이것은 도 2b의 예에 도시되고, 여기서 도로의 슬더 경계(shoulder boundary), 도로와 비-도로 지형 간의 끊김(break), 및 먼 산과

하늘 사이의 수평 경계와 같은, 이미지에서 상대적으로 고 콘트라스트 영역에 지능형 레인지 포인트(210)가 집중된다. 현저한 레인지 포인트를 식별하는 데 사용될 수 있는 추가적인 기준은 라인 또는 코너를 나타내는 이미지 영역이다. 이미지(110)의 다른 부분을 더 구체화(flesh out)하기 위해, 프로세서(202)는 충전 패턴(fill pattern)을 한정하고 한정된 충전 패턴에 기초하여 충전 레인지 포인트(212)를 선택할 수 있다. 또한, 실무자(practitioner)는 움직임 알고리즘으로부터 추가적인 입체 3D 정보 또는 구조를 사용하여 스페스 어레이에 추가적인 레인지 포인트를 보완하도록 선택할 수 있다.

[0047] 지능형 레인지 포인트와 충전 레인지 포인트를 동적으로 선택하기 위한 예시적인 공정 흐름은 도 2c 및 도 2d에서 볼 수 있다. 도 2c 및 도 2d는 일반적으로 도 2a의 단계(200 및 202)에 대응하는 것으로 이해해야 한다. 도 2c를 참조하면, 단계(220)에서, 프로세서는 환경 장면 데이터(110)에 사전-필터링 공정(pre-filtering process)을 적용한다. 이 예에서, 환경 장면 데이터는 이미지일 수 있다. 사전-필터링 공정은 이미지에서 높은 주파수 노이즈 또는 기타 원하지 않는 결함을 억제하도록 설계될 수 있다. 사전-필터링 공정은 또한 이미지(110)에서 고 콘트라스트 영역을 식별하는 예지 검출 동작을 포함할 수 있다. 프로세서는 단계(220)를 수행하기 위해 복수의 선택 가능한 필터 동작 중 임의의 필터 동작을 적용할 수 있다. 적절한 필터를 선택하는 것은 필터 선택 파라미터에 의해 제어될 수 있고, 여기서, 필터 선택 파라미터는 레인지 포인트의 선택을 제어하는데 사용되는 파라미터 세트(250)로 포함될 수 있다. 파라미터(250)는 환경 감지 시스템, 다른 센서(예를 들어, GPS, IMU) 및/또는 사용자에게 의해 설정된 매크로 동작 모드로부터 오는 데이터에 기초하여 파라미터를 최적화하는 사용자 입력 또는 피드백 알고리즘에 기초하여 한정될 수 있다.

[0048] 단계(222)에서, 프로세서는 이미지(110)에서 슈퍼 픽셀(super pixel)을 식별할 수 있다. 그렇게 함으로써, 프로세서는 이미지(110)를 자연 또는 더 작은 세그먼트(segment)들로 분할할 수 있다. 슈퍼 픽셀의 식별을 제어하기 위해 단계(222)에서 사용될 수 있는 파라미터(250)는 크기 파라미터와 임계값 파라미터를 포함할 수 있다. 단순한 선형 반복 클러스터링(simple linear iterative clustering: SLIC) 세그멘테이션(segmentation), 퀵시프트(QuickShift) 세그멘테이션, 터보픽셀(TurboPixel) 세그멘테이션, 정규화된 컷(normalized cuts) 세그멘테이션 및/또는 그래프 기반 세그멘테이션을 포함하지만 이들로 국한되지 않는 다수의 이미지 세그멘테이션 알고리즘들 중 임의의 이미지 세그멘테이션 알고리즘이 단계(222)를 수행하는데 사용될 수 있다. 크기 파라미터와 임계값 파라미터(250)는 단계(222)에서 세그멘테이션의 특성을 제어하는데 사용될 수 있다. 슈퍼 픽셀 세그멘테이션 기술을 사용하여 이미지(110)를 자연 또는 더 작은 세그먼트들로 분할함으로써, 지능형 레인지 포인트들이 각 자연/더 작은 세그먼트를 처리한 결과 식별될 수 있고, 이에 레인지 포인트 선택을 향상시키고 개선하여 궁극적으로 3D 장면 해석 및 재구성을 향상시키고 개선할 수 있는 것으로 예상된다.

[0049] 다음으로, 단계(224)에서, 프로세서는 레인지 포인트의 목록에 포함될 지능형 레인지 포인트에 대한 후보를 선택한다. 따라서, 단계(226)의 출력은 레이저 레이더 스캔을 위해 선택된 지능형 레인지 포인트의 목록을 나타낸다. 단계(224)는 단계(222)의 결과로서 발견된 슈퍼 픽셀 세그먼트에 대해 세그먼트마다 수행될 수 있다. 다수의 기술 중 임의의 기술이 단계(224)를 수행하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, 이미지에서 예지와 코너에 대응하는 포인트를 식별하는 데 효과적인 기술이 사용될 수 있다. 이 점에서 사용될 수 있는 오픈 소스 방법의 예로는 OpenCV 라이브러리에 포함된 하리스 코너 디텍터(Harris Corner Detector) 오픈 소스 알고리즘을 사용하는 것이다. 그러나, 샤이 토마시(Shi Tomasi) 알고리즘, FAST(Features from Accelerated Segment Test) 알고리즘, SUSAN(Smallest Univalued Segment Assimilating Nucleus) 알고리즘 및 다른 코너 검출 알고리즘과 같은 다른 기술 및 도구가 단계(224)를 구현하기 위해 이용 가능하다는 것을 이해해야 한다. 지능형 레인지 포인트의 초기 선택을 제어하기 위해 단계(224)에서 사용될 수 있는 파라미터(250)는 거리 파라미터, 각도 파라미터 및 밀도 파라미터를 포함할 수 있다. 거리 파라미터는 코너 포인트와 같은 포인트의 유형들 간에 서로 다른 간격 파라미터를 한정한다. 거리 파라미터는 픽셀 단위로 표현할 수 있다. 거리 파라미터에 대한 간격은 레인지의 함수일 수도 있으며, 이 경우 거리 파라미터는 이전의 이미지 프레임과 이전의 레인지 정보의 함수로 변할 수 있다. 각도 파라미터는 간격을 방위각 및/또는 고도의 함수로 만드는데 사용된다. 예를 들어, 더 큰 각도에서는 포인트들 사이의 간격을 줄이는 것이 더 좋을 수 있다. 밀도 파라미터는 일부 거리 값의 상한 또는 하한으로 주로 사용될 수 있는 다른 유형의 간격 파라미터이다.

[0050] 단계(226)에서, 프로세서는 단계(224)로부터 선택된 지능형 레인지 포인트의 목록을 정제(refine)하여 지능형 레인지 포인트를 최종적으로 선택한다. 이 동작의 일부로서, 단계(226)는 레인지 포인트의 목록을 위한 포인트 예산(point budget)을 한정하는 파라미터(250)를 사용할 수 있다. 이 포인트 예산은 레인지 포인트의 목록을 위한 레인지 포인트의 최대 수를 식별할 수 있다. 포인트 예산 파라미터의 값은 실무자의 요구에 따라 다수의 값 중 임의의 값일 수 있다. 일 예로서, 포인트 예산은 이미지 데이터(110)의 픽셀의 수의 약 0.3 % 내지 약 3.0 %

일 수 있다. 그러나, 포인트 예산을 표현하기 위한 다른 값 또는 메트릭이 사용될 수 있다는 것을 이해해야 한다.

- [0051] 간단한 예시적인 실시예에서, 단계(226)는 포인트 예산 파라미터(250)를 고려하고, (1) 지능형 레인지 포인트 후보의 수가 포인트 예산 또는 그 한정된 부분보다 더 적은 경우(이 경우 포인트 예산 또는 포인트 예산 부분에 대한 나머지는 충전 레인지 포인트에 할당된다) 최종 레인지 포인트 목록에 포함될 모든 지능형 레인지 포인트 후보를 선택하고, (2) 포인트 예산 또는 그 한정된 부분에 순응하기 위해 단계(224)에서 선택된 지능형 레인지 포인트의 수를 줄이도록 동작하도록 구성될 수 있다.
- [0052] 다른 예시적인 실시예에서, 단계(226)는 이 목록에 포함될 지능형 레인지 포인트를 선택할 때 지능형 레인지 포인트 후보를 조정하거나 및/또는 증대시킬 수 있다. 예를 들어, 일부 지능형 레인지 포인트 후보는 정제하는 동안 사용될 수 있는 예측 알고리즘에 따라 약간의 거리만큼 위, 아래, 왼쪽 또는 오른쪽으로 시프트될 수 있다. 다른 예로서, 예지 포인트의 경우, 예지를 더 잘 한정하기 위해 하나 이상의 추가적인 지능형 레인지 포인트가 예지에 대응하는 지능형 레인지 포인트 후보의 양측에 추가될 수 있다. 코너 포인트의 경우 하나 이상의 추가적인 포인트가 코너 포인트를 둘러쌀 수 있다. 그리고 더 다른 예로서 차량 애플리케이션의 경우 추가적인 레인지 포인트들이 보행자와 같은 움직이는 물체에 대응하는 포인트를 둘러쌀 수 있다.
- [0053] 더 나아가, 단계(226)는 또한 동적 스캔 패턴에 대한 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)의 구성을 고려하도록 구성될 수 있다. 아래에 설명된 바와 같이, 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)은 다수의 동적 스캔 패턴 중 임의의 동적 스캔 패턴을 사용하여 레인지 포인트의 스캔을 수행하도록 구성될 수 있으며, 여기서 각 동적 스캔 패턴은 지능형 레인지 포인트의 선택을 변경함으로써 성능이 개선될 수 있는 상이한 특성을 나타낼 수 있다. 예를 들어 주어진 유형의 스캐너의 경우, 지능형 레인지 포인트를 그 다음 행으로 단계적으로 내려가는 (step down) 것이 라인 스킵을 회피할 수 있고 또 지능형 레인지 포인트를 단계적으로 내려가는 것이 지능형 레인지 포인트의 선택에 영향을 미치지 않고 포인트가 시프트될 수 있는 픽셀의 수에 상한을 제어할 수 있는 밀도 파라미터들 중 하나의 파라미터에 순응(compliant)할 수 있는 경우(즉, 최초 선택된 픽셀 후보보다 약간 아래에 있는 픽셀이 다행히 수행될 수 있는 경우 스캔 성능을 향상시키기 위해 조정이 이루어질 수 있는 경우), 지능형 레인지 포인트를 그 다음 행으로 단계적으로 내려가는 것이 더 좋을 수 있다.
- [0054] 단계(228)에서, 프로세서는 레이저 레이더 스캔을 위한 레인지 포인트의 목록을 충전(fill out)하는 충전 레인지 포인트의 세트를 생성한다. 도 2d는 단계(228)를 수행하기 위한 예시적인 공정 흐름을 도시한다. 도 2c에 도시된 바와 같이, 포인트 예산 파라미터는 단계(228)의 동작을 제어하는데 도움을 줄 수 있다.
- [0055] 단계(230)에서, 프로세서는 단계(226)로부터의 지능형 레인지 포인트의 목록과 단계(228)로부터의 그리드 레인지 포인트(grid range point)의 목록을 결합하여 레이저 레이더 스캔에 사용될 레인지 포인트(240)의 목록을 생성한다. 이 목록(240)은 일반적으로 도 2a의 단계(202)의 출력에 대응한다. 목록(240) 상의 각 레인지 포인트는 이미지(110) 내 이 포인트의 위치에 대한 행 및 열 번호와 같은 위치 정보로 표현될 수 있다.
- [0056] 도 2d는 단계(228)의 동작을 보다 상세히 설명한다. 단계(260)에서, 프로세서는 충전 레인지 포인트들 사이의 원하는 간격을 결정한다. 이 결정은 한정된 포인트 예산에 의해 영향을 받는다. 예를 들어, 포인트 예산이 X이고, 단계(226)의 동작이 Y개의 지능형 레인지 포인트(여기서, $Y < X$)를 선택하면, 도 2d의 공정 흐름은 충전 레인지 포인트를 선택할 때 $X-Y$ 의 예산을 적용할 수 있다. $X-Y$ 의 값은 단계(260)에서 충전 레인지 포인트들 사이에 결정된 간격에 영향을 미칠 수 있다. 단계(260)의 동작에 영향을 미칠 수 있는 추가적인 요인들은 스캔 패턴 동역학(예를 들어, 연속적인 샷들 사이에 허용되는 최소 간격)을 포함한다.
- [0057] 단계(262)에서, 프로세서는 충전 레인지 포인트에 대한 충전 패턴을 선택한다. 단계(262)에서 선택될 수 있는 충전 패턴의 예는 정사각형 그리드 패턴, 다이아몬드 그리드 패턴, 및 엇갈린 그리드 패턴을 포함한다(이 경우, 다수의 정사각형 그리드가 존재하지만, 각 연속적인 그리드 행은 고속 축에 대응하는 것이 어느 것인지에 따라 이전의 그리드 열 또는 행으로부터 오프셋을 갖는다). 충전 패턴 선택은 단계(260)에서 결정된 포인트 간격에 대한 최적의 충전 패턴을 선택할 수 있다. 충전 패턴 선택은 또한 이미지(110)로부터 결정된 환경적 요인을 고려할 수 있다. 예를 들어, 이미지가 지면(ground)의 오버헤드 뷰(overhead view)라면 이것은 특정 충전 패턴의 선택에 영향을 줄 수 있는 반면, 이미지가 지면과 하늘을 모두 포함하는 수평 뷰라면 이것은 상이한 충전 패턴을 선택하는 데 영향을 줄 수 있다. 또한 충전 패턴은, N개의 프레임 이후에 가능한 충전 포인트의 공간 내에서 모든 어드레싱가능한(addressable) 픽셀이 선택될 수 있도록, 프레임마다 수평으로 및/또는 수직으로 병진이동하고 랩핑(wrapped)(2D에서 효과적으로 3D 회전)될 수 있다. 일단 충전 패턴이 선택되면, 단계(262)는 선택된 충전 패턴과 결정된 포인트 간격에 기초하여 후보 충전 포인트의 목록을 생성할 수 있다.

- [0058] 또한, 이미지(110)의 상이한 세그먼트에 대해 상이한 충전 패턴이 선택될 수 있음을 알아야 한다. 전술한 바와 같이, 단계(222)에서, 프로세서는 이미지(110)가 분해될 수 있는 상이한 이미지 세그먼트를 식별한다. 따라서, 단계(262)에서, 상이한 충전 패턴이 이미지(110)의 상이한 세그먼트에 적용될 수 있다. 예를 들어, 수평선 위의 이미지 세그먼트에 대한 충전 패턴은 수평선 아래의 이미지 세그먼트보다 더 낮은 충전 밀도를 가질 수 있다.
- [0059] 단계(264)에서, 프로세서는 후보 충전 포인트를 루프 수행한다. 단계(266)에서, 단계(226)로부터 각 후보 충전 포인트와 선택된 지능형 레인지 포인트 사이에 비교가 이루어진다. 선택된 지능형 레인지 포인트가 후보 충전 포인트의 한정된 임계 거리 내에 있다면, 이 후보 충전 포인트는 제거될 수 있다(단계 268). 그렇지 않은 경우 후보 충전 포인트가 유지된다. 이 비교 동작을 위해 한정된 임계 거리는 사용자 입력 또는 AI 알고리즘에 응답하여 한정된 파라미터일 수 있다. 단계(264)에서 시작된 루프는, 각 후보 충전 포인트가 단계(266)에서 유지되는 것으로 고려된 후에, 단계(268)에서 종료된다. 따라서, 도 2d의 공정 흐름이 완료되면, 프로세서는 레이저 레이더 스캔을 위한 충전 레인지 포인트의 목록을 한정하였다.
- [0060] 도 9f는 도 2c 및 도 2d의 동작을 수행한 결과 생성될 수 있는 예시적인 레인지 포인트 목록(240)을 도시한다. 도 9f의 예에서, 선택된 각 레인지 포인트는 행 번호(좌측)와 열 번호(우측)에 의해 한정된다. 이 목록은 레인지 포인트의 간단한 원시 목록(raw list)일 수 있음을 이해해야 한다. 원하는 경우, 실무자는 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)에 의해 사용될 동적 스캔 패턴에 대하여 레인지 포인트에 순서(order)를 부여하기 위해 레인지 포인트 목록을 더 처리할 수 있다. 즉, 레인지 포인트 목록 상의 각 레인지 포인트는 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)에 대한 레인지 포인트의 샷 순서를 한정할 수 있는 목록 상의 다른 레인지 포인트와 시퀀스로 배치될 수 있다. 설명된 바와 같이, 레인지 포인트 목록을 샷 목록으로 이렇게 변환하는 것은 단계(204)에서 프로세서에 의해 처리될 수 있다. 전술한 바와 같이, 샷 목록은 스캔 레이저 레이더 전송기 시스템(104)에 의해 샷(shot)될 레인지 포인트에 대한 순서를 한정한다. 아래에서 더 상세히 설명되는 도 9a 내지 도 9f는 레인지 포인트 목록(240)을 샷 목록으로 변환하는데 사용될 수 있는 공정 흐름의 예를 도시한다.
- [0061] 도 9f는 또한 레인지 포인트 목록(240)으로부터 생성된 예시적인 샷 목록(950)을 도시한다. 이 예에서, 이 순서는 샷 목록에서 더 높은 레인지 포인트들이 샷 목록에서 더 낮은 레인지 포인트보다 앞서 샷될 수 있는 탑 다운 순서로 한정된다(예를 들어, 행("S행")(104), 열("S열")(19)의 레인지 포인트는 행("S행")(104), 열("S열")(26), 등의 레인지 포인트 이전에 샷될 수 있다). 가장 왼쪽 열과 중간 열은 샷 목록에서 주어진 레인지 포인트에 대한 행 번호와 열 번호를 각각 한정한다. 샷 목록 테이블에서 다른 열은 도 9a 내지 도 9f와 관련하여 아래에서 설명된 바와 같이 스캔 레이저 레이더 전송기 시스템(104)에 추가적인 제어 정보를 제공한다. 도 9f의 예시적인 샷 목록은 또한 전송 레이저에 대한 최소 간격 파라미터와 같은 요인들로 인해 단계(204)에서 추가된 충전 샷을 포함한다.
- [0062] 도 9f의 예시적인 샷 목록은 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)에 제공되어 그 동작을 제어하는 제어 정보(112)로 기능할 수 있다. 도 2c 및 도 9f의 예시적인 실시예는 샷 목록 상의 레인지 포인트가 배취(batch)로서 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)에 전달되는 배열을 기술하고 있지만, 일단 샷 목록이 식별되면 각 샷은 스캔 레이저 레이더 전송 시스템으로 전달하는 롤링 방식에 기초하여 샷 목록 내의 샷이 대안적으로 스캔 레이저 레이더 전송 시스템으로 전달될 수 있는 것으로 이해되어야 한다. 따라서, 샷 목록은 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)에 전달되고, 이에 의해 배취 모드와 롤링 모드에서 처리될 수 있다.
- [0063] 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104):
- [0064] 도 3은 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)에 대한 예시적인 실시예를 도시한다. 시스템(104)은 레이저 광학 기기(302), 빔 스캐너(304), 및 전송 광학기기(306)와 광학적으로 정렬된 레이저 소스(300)를 포함할 수 있다. 이들 구성 요소들은 원하는 응용 분야에 사용하기에 적합한 형상 풋프린트(footprint)를 제공하는 패키징 내에 수용될 수 있다. 예를 들어, 레이저 소스(300)가 섬유 레이저 또는 섬유 결합 레이저인 실시예에서, 레이저 광학기기(302), 빔 스캐너(304) 및 임의의 수신기 구성 요소는 레이저 소스(300)를 포함하지 않는 제1 패키징 내에 함께 수용될 수 있다. 레이저 소스(300)는 제2 패키징 내에 수용될 수 있고, 섬유는 제1 패키징과 제2 패키징을 연결하는데 사용될 수 있다. 이러한 배열에 의해 레이저 소스(300)가 없는 것으로 인해 제1 패키징은 더 작고 더 콤팩트하게 될 수 있다. 더욱이, 레이저 소스(300)가 섬유 연결을 통해 제1 패키징으로부터 멀리 위치될 수 있기 때문에, 이러한 배열은 시스템의 풋프린트에 대해 더 큰 유연성을 실무자에게 제공한다.
- [0065] 도 2a의 단계(204)에서 생성된 샷 목록과 같은 제어 정보(112)에 기초하여, 빔 스캐너 제어기(308)는 빔 스캐너(304)에 의해 수행되는 스캔의 특성을 제어할 뿐만 아니라 레이저 소스(300)의 발사(firing)를 제어하도록 구성될 수 있다. 빔 스캐너(304)와 빔 스캐너 제어기(308)에 대해 페루프 피드백 시스템(310)이 사용되어, 빔 스캐너

(304)의 스캔 위치가 아래에 설명된 바와 같이 정밀하게 제어될 수 있다.

- [0066] 레이저 소스(300)는 본 명세서에 기술된 레이저 레이더 펄스 전송에 적합한 다수의 레이저 유형 중 임의의 유형일 수 있다.
- [0067] 예를 들어, 레이저 소스(300)는 펄스화된 섬유 레이저일 수 있다. 펄스화된 섬유 레이저는 약 1 내지 4 ns의 펄스 지속 시간 및 약 0.1 내지 100 μ J/펄스의 에너지 함량을 사용할 수 있다. 펄스화된 레이저 섬유에 대한 반복 속도는 kHz 범위(예를 들어, 약 1 내지 500 kHz)에 있을 수 있다. 나아가, 펄스화된 섬유 레이저는 단일 펄스 방식 및/또는 다중 펄스 방식을 사용할 수 있다(도 12a 및 도 12b 참조). 그러나, 이들 레이저 특성에 대해 다른 값들이 사용될 수 있음을 이해해야 한다. 예를 들어, 더 낮거나 또는 더 높은 에너지 펄스가 사용될 수 있다. 다른 예로서, 반복 속도는 수 10 MHz 범위와 같이 더 높을 수 있다(단, 높은 반복 속도는 현재 시장 가격 하에서 상대적으로 고가의 레이저 소스를 사용할 것을 요구하는 것으로 예상된다).
- [0068] 또 다른 예로서, 레이저 소스(300)는 펄스형 IR 다이오드 레이저(섬유 결합이 있거나 없는 것)일 수 있다. 펄스형 IR 다이오드 레이저는 약 1 내지 4 ns의 펄스 지속 시간 및 약 0.01 내지 10 μ J/펄스의 에너지 함량을 사용할 수 있다. 펄스형 IR 다이오드 섬유에 대한 반복 속도는 kHz 또는 MHz 범위(예를 들어, 약 1 kHz 내지 5 MHz)에 있을 수 있다. 나아가, 펄스형 IR 다이오드 레이저는 단일 펄스 방식 및/또는 다중 펄스 방식을 사용할 수 있다(도 12a 및 도 12b 참조).
- [0069] 레이저 광학기기(302)는 레이저 소스(300)에 의해 생성된 레이저 빔을 시준하는 기능을 하는 망원경(telescope)을 포함할 수 있다. 레이저 광학 기기는 원하는 빔 발산 및 빔 품질을 제공하도록 구성될 수 있다. 예로서, 다이오드-미러 커플링 광학 기기, 다이오드-섬유 커플링 광학기기, 및 섬유-미러 커플링 광학 기기는 실무자가 원하는 바에 따라 사용될 수 있다.
- [0070] 빔 스캐너(304)는 시스템(104)에 스캔 능력을 제공하여 원하는 레인지 포인트에 레이저 레이더 펄스가 타깃화될 수 있도록 하는 구성 요소이다. 빔 스캐너는 레이저 소스(300)로부터 들어오는 레이저 레이더 펄스를 (레이저 광학기기(302)에 의해) 수신하고, 이 레이저 레이더 펄스를 이동 가능한 미러로부터 반사시키는 것에 의해 (샷 목록 상의 레인지 포인트와 같은) 원하는 다운레인지 위치로 지향시킨다. 미러의 움직임은 빔 스캐너 제어기(308)로부터 수신된 구동 전압 파형(314)에 의해 제어될 수 있다. 빔 스캐너(304)에 의해 다수의 구성 중 임의의 구성이 사용될 수 있다. 예를 들어, 빔 스캐너는 이중 마이크로 전자 기계 시스템(dual dual microelectromechanical system)(MEMS) 미러, 회전 다각형 미러와 결합된 MEMS 미러, 또는 다른 장치를 포함할 수 있다. 적합한 MEMS 미러의 예는 단일 표면 팁(tip)/틸트(tilt)/피스톤 MEMS 미러이다. 추가적인 예로서, 예시적인 이중 MEMS 미러 실시예에서, 단일 표면 팁 MEMS 미러 및 단일 표면 틸트 MEMS 미러가 사용될 수 있다. 그러나, 이러한 MEMS 미러들의 어레이들이 또한 사용될 수 있음을 이해해야 한다. 또한, 이중 MEMS 미러는 다수의 주파수 중 임의의 주파수에서 동작될 수 있다. 예를 들어, 제1 MEMS 미러가 고속 축 미러로서 작용하고 제2 MEMS 미러가 저속 축 미러로서 작용하는 경우, 제2 MEMS 미러와 제1 MEMS 미러 사이의 공진 주파수의 비는 약 1:5 내지 약 1:9의 범위에 있을 수 있다. 그러나, 실무자는 상이한 비율을 사용하도록 선택할 수 있다. 다른 장치의 또 다른 예로서, 소형 갈바노미터 미러가 고속 축 스캔 미러로 사용될 수 있다. 다른 예로서, 음향-광학 편향기 미러가 저속 축 스캔 미러로 사용될 수 있다. 나아가, 아래에 설명된 나선형 동적 스캔 패턴을 사용하는 예시적인 실시예에서, 미러는 공진형 갈바노미터 미러일 수 있다. 이러한 대안적인 미러는 뉴욕에 소재하는 일렉트로 옵티컬 프러덕츠 코포레이션(Electro-Optical Products Corporation)사와 같은 다수의 소스 중 임의의 소스로부터 얻을 수 있다. 또 다른 예로서, 콜로라도에 소재하는 베센트 포토닉스(Vescent Photonics)사로부터 입수할 수 있는 것과 같은 광 빔 조향 장치가 저속 축 스캔 미러로 사용될 수 있다. 또 다른 예로서, 다르파 스 위퍼(DARPA SWEEPER) 프로그램에 의해 개발된 것과 같은 위상 어레이 장치가 고속 축 및/또는 저속 축 미러 대신에 사용될 수 있다.
- [0071] 또한, 빔 스캐너(304)가 이중 미러(dual mirror)를 포함하는 예시적인 실시예에서, 빔 스캐너(304)는 제1 미러와 제2 미러 사이에 중계 이미징 광학기기(relay imaging optics)를 포함할 수 있으며, 이는 2개의 고속 축 미러(예를 들어, 하나의 소형 고속 미러와 하나의 긴 저속 미러와 달리 2개의 소형 고속 미러)가 사용될 것을 허용할 수 있다.
- [0072] 전송 광학기기(306)는 빔 스캐너(304)에 의해 타깃화된 레이저 레이더 펄스를 개구를 통해 원하는 위치로 전송하도록 구성된다. 전송 광학기기는 실무자의 요구에 따라 다수의 구성 중 임의의 구성을 가질 수 있다. 예를 들어, 환경 감지 시스템(106)과 전송기(104)는 전송 광학기기(306)의 일부로서 다이크로익 빔 스플리터(dichroic beam splitter)를 사용하여 광학적으로 하나의 경로로 결합될 수 있다. 다른 예로서, 전송 광학기기는 배울 광

학기기(일례가 도 5에 도시됨)를 포함할 수 있다. 더 나아가, 정렬 픽오프(pickoff) 빔 스플리터가 전송 광학기기(306)의 일부로 포함될 수 있다.

[0073] 빔 스캔 구성 및 제어:

[0074] 빔 스캐너 제어기(308)는 빔 스캐너의 미러를 원하는 스캔 위치(예를 들어, 스캔 각도)로 구동하는 빔 스캐너(304)에 하나 이상의 전압 파형(314)을 제공할 수 있다. 빔 스캐너(304)에서 이동가능한 미러의 진동 속도가 높은 경우, 빔 스캐너의 스캔 위치를 정밀 제어하는 것이 바람직하다. 빔 스캐너(304)의 제1 미러는 상대적으로 고속으로 제1 축("고속 축") 주위로 회전하는 역할을 하는 동안 빔 스캐너(304)의 제2 미러는 상대적으로 저속으로 제1 축에 직각인 제2 축("저속 축") 주위로 회전하는 역할을 하는 예시적인 실시예와 관련하여, 레이저 레이다 펄스가 미러에 입사할 때 미러의 위치지정에 약간의 에러도 시스템 성능에서 현저한 저하를 야기할 수 있다.

[0075] 도 4a 내지 도 4c는 이러한 현상을 도시한다. 도 4a는 빔 스캐너(304)에 대한 원하는 스캔 영역(400)을 도시한다. 그러나, 도 4b에 도시된 바와 같이, 정밀한 저속-축 제어(이 예에서 Y-축 제어)가 없다면, Y-축 미러가 회전 동안 안정화(settle down)하는데 영역(404)이 필요하기 때문에 스캔 영역(400)에 비해 사용 가능한 스캔 영역(402)이 축소된다. 나아가, 이 안정화 시간(settling time)은 동적 스캔 패턴에서 스킵될 라인의 수의 함수로서 증가할 수 있지만, 라인 스킵이 없는 경우에도, 안정화 시간을 고려하는 것이 여전히 적용될 수 있다. 더 나아가, 도 4c에 도시된 바와 같이, 고속 축(이 예에서 X-축)에 대하여, 타깃화된 레인지 포인트(406)에서 위상 시프트가 발생할 수 있고, 이는 고속 축 미러의 스캔 위치를 정밀 제어할 수 없는 경우 스캔 영역에 물결 형상의 결함 및 기타 결함을 야기할 수 있다.

[0076] 이러한 문제에 대한 해결책으로서, 페루프 피드백 시스템(310)을 사용하여 빔 스캐너(304)에 의해 사용되는 적어도 하나의 미러의 스캔 위치를 정밀 제어할 수 있다. 빔 스캐너 제어기(308)는 페루프 피드백 시스템으로부터 피드백 정보를 사용하여 미러 구동 파형(314) 중 적어도 하나의 파형을 조절하여 이에 의해 미러의 위치지정을 보다 정밀하게 제어할 수 있다. 바람직한 실시예에서, 이러한 피드백 제어는 빔 스캐너(304)의 두 미러에 대해 사용된다.

[0077] 도 5는 페루프 피드백과 결합된 빔 스캐너(304)에 대한 예시적인 실시예를 도시한다. 이 예에서, 빔 스캐너(304)는 이중 MEMS 미러를 포함한다. Y-축 MEMS 미러(500)는 레이저 소스(300)로부터 입사하는 레이저 펄스를 레이저 광학기기(302)에 의해 수신하도록 위치된다. X-축 MEMS 미러(500)는 이 레이저 펄스를 Y-축 스캔 MEMS 미러(502)에 반사시킬 수 있다. 이 반사는 직접 반사이거나 또는 간접 반사일 수 있고 이에 의해 X-축 MEMS 미러로부터 반사된 빔이 Y-축 MEMS 미러(502)로 향하는 도중에 단일 배울 망원경과 같은 중계 이미징 광학기기를 통과할 수 있음을 알아야 한다. Y-축 MEMS 미러(502)는 미러(500)로부터 반사된 레이저 펄스를 수신하고 또한 이 레이저 펄스를, 빔 스캐너(304)에 의해 타깃화되고 있는 샷 목록 상의 레인지 포인트에 대응하는 스캔 영역(510) 내의 위치로 반사하도록 위치된다.

[0078] MEMS 미러(500 및 502)는 각 회전축 주위로 제어 가능하게 회전 가능하다. X-축 MEMS 미러(500)는 스캔 영역(510) 내 레이저 레이다 펄스의 위치를 스캔 영역의 X-축을 따라 제어하도록 회전가능한 반면, Y-축 MEMS 미러(502)는 레이저 레이다 펄스의 위치를 스캔 영역의 Y-축을 따라 스캔 영역(510) 내로 제어하도록 회전가능하다. 따라서, 레이저 펄스가 각 미러에 도달할 때, 각 회전축을 따라 미러(500 및 502)의 위치를 조합하면 레이저 펄스를 스캔 영역(510) 내 원하는 위치로 지향시키는데 효과적이다. 이 예시적인 실시예에서, X-축 MEMS 미러(500)는 Y-축 MEMS 미러(502)보다 상대적으로 더 고속으로 회전될 수 있는데, 그리하여 X-축 MEMS 미러는 고속 축 미러라고 언급되고 Y-축 MEMS 미러는 저속 축 미러라고 언급될 수 있다.

[0079] 시스템에서 위치가 90도 회전되면 X-축이 저속 축으로 되고 Y-축이 고속 축으로 될 수 있기 때문에 실무자라면 X-축을 고속 축으로 언급하고 Y-축을 저속 축으로 언급하는 것은 임의적인 것임을 이해할 수 있을 것이다. 나아가, 예시적인 실시예에서, 고속 축 미러는 미러 면적과 관련하여 저속 축 미러보다 작고, 또한 저속 축 미러로부터 상류에 위치된다(즉, 고속 축 미러는 레이저 레이다 펄스를 수신하고, 이 레이저 레이다 펄스를 타깃화된 레인지 포인트 쪽으로 전송하기 위해 저속 축 미러로 반사한다). 그러나, 이러한 구성은 다른 실시예에서는 변경될 수 있다. 예를 들어, 저속 축 미러를 고속 축 미러보다 더 크게 만드는 것은 더 큰 스캔 영역을 허용한다는 측면에서 장점을 제공하지만, 스캔 면적의 크기를 감소시키는 것이 허용되는 실시예에서는, 저속 축 미러는 고속 축 미러와 동일한 크기이거나 고속 축 미러보다 훨씬 더 작을 수 있다. 또 다른 예로서, 고속 축 미러가 저속 축 미러로부터 하류에 있는 경우, 중계 이미징 광학기기와 같은 재-이미징 광학기기를 두 미러 사이에 사용하여 이러한 배열을 지원할 수 있다.

- [0080] 나아가, 전송 광학기기(306)는 지향된 레이저 펄스의 시야 확대를 제공하도록 구성될 수 있다.
- [0081] X-축 페루프 피드백 시스템(504)은 X-축 MEMS 미러(500)의 위치를 정밀 제어하는데 사용될 수 있다. Y-축 페루프 피드백 시스템(506)은 Y-축 MEMS 미러(502)의 위치를 정밀 제어하는데 사용될 수 있다. 전술한 바와 같이, X-축 미러와 Y-축 미러(500 및 502)를 모두 피드백 제어하는 것이 바람직하지만, 개방 루프, 즉 피드백 설계 없음에 비해 성능을 개선하는 것은 이들 미러 중 단 하나의 미러에만 피드백 제어를 적용하여도 여전히 달성할 수 있는 것으로 생각된다. 예를 들어, 실무자는 Y-축 피드백 제어 시스템(506)만을 사용할 것을 선택할 수 있다. 다른 예로서, 실무자는 X-축 피드백 제어 시스템(504)만을 사용할 것을 선택할 수 있다.
- [0082] 도 6a는 Y-축 미러(502)에 대해 페루프 피드백 제어를 구현할 수 있는 방식에 대한 예시적인 실시예를 도시한다. 이 예에서, 페루프 피드백 제어는 페루프 광학 피드백 제어이다. 미러(502)는 회전축(622) 주위로 회전하며 입사하는 레이저 레이더 펄스(620)를 미러(502)의 전방 면에서 반사하는 것을 통해 원하는 방식으로 지향시킨다. 레이저(600)는 미러(502)의 후방 면(606)을 타깃으로 할 수 있다. 레이저(600)는 위치를 검출하는데 적합한 임의의 유형의 레이저일 수 있다. 예를 들어, 레이저(600)는 펄스화된 또는 연속파(continuous wave: CW) 가시광 다이오드 레이저일 수 있다. 레이저(600)는 가변 펄스 폭을 나타낼 수 있으며, uW 내지 mW 범위의 전력을 생성할 수 있다.
- [0083] 레이저(600)에 의해 생성된 레이저 빔(604)은 미러(502)의 후방 면(606)에서 반사될 것이며, Y-축 위치 감지 검출기(602)는 이 반사파를 수신하도록 위치될 수 있다. 검출기(602)는 단일 축 위치 감지 검출기일 수 있다. 회전축(622)에 대한 미러(502)의 각도 위치는 반사된 레이저 빔(604)이 검출기(602)에 의해 수신되는 곳에 영향을 줄 것이다. 따라서, 위치 검출기(602)는 미러(502)의 실제 위치를 나타내는 데이터를 감지할 수 있을 것이다. 이 감지된 데이터는 향상된 Y-축 미러 제어를 위해 (608)을 통해 다시 피드백될 수 있다.
- [0084] 도 6b는 X-축 미러(500)에 대해 도 6a의 예와 동일한 방식으로 동작하는 페루프 피드백 제어를 구현할 수 있는 방식에 대한 예시적인 실시예를 도시한다. 미러(500)는 회전축(632) 주위로 회전하며 입사하는 레이저 레이더 펄스(630)를 미러(500)의 전방 면에서 반사하는 것을 통해 원하는 방식으로 지향시킨다. 레이저(610)는 미러(500)의 후방 면(616)을 타깃으로 할 수 있다. 레이저(610)는 레이저(600)와 유사한 레이저일 수 있다.
- [0085] 레이저(610)에 의해 생성된 레이저 빔(614)은 미러(500)의 후방 면(616)에서 반사될 것이고, X-축 위치 감지 검출기(612)는 이 반사파를 수신하도록 위치될 수 있다. 회전 축(632)에 대한 미러(500)의 각도 위치는 반사된 레이저 빔(614)이 검출기(612)에 의해 수신되는 곳에 영향을 줄 것이다. 따라서, 위치 검출기(612)는 미러(500)의 실제 위치를 나타내는 데이터를 감지할 수 있다. 이 감지된 데이터는 향상된 X-축 미러 제어를 위해 (618)을 통해 다시 피드백될 수 있다.
- [0086] 도 6c는 미러의 위치를 페루프 피드백으로 제어하는 다른 예시적인 실시예를 도시한다. 도 6a 및 도 6b의 예들은, 함께 사용되는 경우, 미러의 위치를 검출하기 위해 2개의 레이저(600 및 610)와 2개의 위치 검출기(602 및 612)를 사용하지만, 도 6c의 예는 단일 레이저(650)와 단일 2-축 위치 감지 검출기(662)를 사용한다.
- [0087] 도 6c의 예에서, 레이저 펄스가 미러(500)에 도달하기 전에 레이저 광학기기(302)로부터 나오는 레이저 펄스를 인터셉트(intercept)하기 위해 다이크로익 빔 스플리터 또는 픽오프 미러와 같은 빔 스플리터(654)가 위치된다. 또한 정렬 레이저 빔(652)을 빔 스플리터(654)로 지향시키기 위해 정렬 레이저(650)가 위치된다. 다이크로익 빔 스플리터(빔 결합기로서 작용함)는 레이저 소스(300)로부터 오는 레이저 빔을 정렬 레이저 빔(652)과 공동 정렬시킨다. 그리하여, 정렬된 레이저 빔이 미러(500)에 입사하여, 레이저가 미러의 회전 평면, 즉 미러의 회전축에 수직인 평면 내에 완전히 놓이도록 한다. 다이크로익 빔 스플리터(654)는 이러한 공동 정렬을 달성하도록 위치될 수 있고, 레이저(300)와 정렬 레이저(650) 사이에 결합 각은 90도인 것이 일반적이다. 레이저(650)는 가시광 CW 또는 높은 반복 속도 펄스 다이오드 레이저일 수 있다.
- [0088] 또한, 픽오프 빔 스플리터와 같은 빔 스플리터(656)는 레이저 소스(300)에 의해 생성된 타깃 레이저 레이더 펄스(666)와 레이저(650)에 의해 생성된 정렬 레이저 빔(652)을 모두 포함하는, 미러(502)로부터 반사된 레이저 광을 인터셉트하도록 위치될 수 있다. 빔 스플리터(656)는 레이저 레이더 펄스(666)를 타깃화된 레인지 포인트를 향해 지향시키면서도, 광의 작은 부분을 재-이미징 렌즈(658) 상으로도 반사시킬 수 있다. 재-이미징 렌즈(658)는 궁극적으로 스캔 필드(510)를 2축 위치 감지 검출기(662) 상으로 재-이미징할 수 있다. 위치 검출기(662)는 2축을 따라 반사된 정렬 레이저 빔(652)의 위치를 검출할 수 있으며, 이 검출된 위치는 두 미러(500 및 502)에 대한 실제 위치를 나타내는 데이터로 기능할 수 있다. 이 감지된 데이터는 향상된 X-축 및 Y-축 미러 제어를 위해 (664)를 통해 피드백될 수 있다.

- [0089] 도 7a는 페루프 피드백 시스템(310)이 위치 검출기로부터 감지된 위치 데이터를 처리하여, 미러 스캔 위치를 위한 구동 파형에 대해 조정 보정을 수행하는데 사용될 수 있는 에러 신호를 생성할 수 있는 예시적인 배열을 도시한다. 이 실시예에서, 페루프 피드백 시스템(310)은 스캐너(304)에서 MEMS 미러(500/502)의 위치를 정밀 튜닝(tune)하는데 사용된다. 빔 스캐너 제어기(308)와 스캐너(304) 내 MEMS 구동기는 MEMS 구동 전압(700)을 MEMS 미러(500/502)에 인가할 수 있다. 이것은 미러를 원하는 미러 위치로 기계적인 움직임(702)을 초래한다. 그러나, 전술한 바와 같이, 이 위치지정에 약간의 에러가 있을 것으로 예상되고 이 에러는 페루프 피드백 시스템을 통해 완화되어야 한다. 도 6a 내지 도 6c의 예시적인 실시예와 관련하여 설명된 바와 같이, 광학 빔이 편향된 것(704)은 도 6a 내지 도 6c의 예시적인 실시예와 관련하여 설명된 위치 센서(602/612/662) 중 임의의 위치 센서에 의해 감지될 수 있다. 위치 센서는 신호 처리를 위하여 위치 센서에 의해 감지된 신호를 증폭시키는 역할을 하는 트랜스-임피던스 증폭기(trans-impedance amplifier: TIA)를 동반할 수 있다. 위치 센서는 MEMS 미러의 실제 위치를 나타내는 감지된 미러 위치 데이터(706)를 생성할 수 있다. 따라서 Y-축 미러가 스캔 영역의 행 3을 타깃으로 하는 것이 예상되었지만 Y-축 미러의 실제 감지 위치는 스캔 영역의 행 4를 타깃으로 하는 것으로 수행된 경우 피드백 시스템이 아래쪽으로 1 행의 에러를 검출할 수 있다. 이 에러 측정은 빔 스캐너 제어기(308)에 공급되어, Y-축 미러가 1 행의 상향 조정을 달성하도록 빔 스캐너 제어기가 구동 파형을 조정할 수 있다.
- [0090] 감지된 미러 위치 데이터(706)는 비교기(710)에서 입력으로 사용되는 원하는 미러 위치 데이터(708)와 결합되어 측정된 에러(712)가 계산될 수 있다. 측정된 에러(712)는 실제 미러 위치와 예상 미러 위치 사이의 차이를 나타내는 값일 수 있다.
- [0091] 빔 스캐너 제어기(308)는 이 측정된 에러(712)를 고려하여 원하는 미러 위치 데이터(708)를 처리하는 다수의 기술 중 임의의 기술을 사용하여 이 측정된 에러(712)를 고려하여 MEMS 구동 전압(700)을 조정할 수 있다. 예를 들어, 비례-적분-미분(proportional-integral-derivative: PID) 제어 기술이 이 피드백 제어를 수행하는데 사용될 수 있다. 다른 예로서, 디바이스 역 응답 파형이 사용될 수 있는데, 이 경우 저장된 응답 파형은 자연적인 디바이스 스텝 응답을 상쇄시키고 안정화 시간을 감소시키는데 사용된다.
- [0092] 도 7b는 X-축 미러(500)와 Y-축 미러(502)에 대한 미러 위치를 각각 구동하는데 사용될 수 있는 예시적인 구동 파형(720 및 722)을 도시한다. 이 예에서, 고속 축 X-축 미러(500)는 공진 모드에서 구동되는 반면, 저속 축 Y-축 미러(502)는 구동 파형(702)이 샷 목록의 함수로서 변하는 포인트-투-포인트 모드(point-to-point mode)에서 구동된다. 이들 예는 미러 위치를 정밀 튜닝하는 피드백을 사용하지 않은 미조정된 형태의 구동 파형을 보여준다.
- [0093] 도 7c는 예시적인 페루프 피드백 시스템(310)에 의해 미러 위치 에러를 보정할 수 있는 방식의 예를 도시한다.
- [0094] 도 7c의 좌측 프레임은 저역 통과 필터링 없이 예시적인 Y-축 개방 루프 구동 파형을 도시한다. 실제 미러 위치에 대응하는 미조정된 실제 위치 파형(730)과 명령된 미러 위치에 대한 파형(732) 사이의 차이로 도시된 바와 같이, 실제 미러 위치를 감지하는 페루프 피드백을 사용하지 않으면 측정된 에러(712)에 대응할 수 있는 매우 상당한 에러가 존재한다. 즉, 구동 파형(732)은 구형파(square wave)를 통해 원하는 위치로 미러를 구동하려고 시도하지만, 실제로 미러가 원하는 위치를 향해 이동할 때, 미러는 미러의 위치에서 안정화 시간에 대응하는(732)로 도시된 바와 같이 변동하는 방식으로 원하는 위치에서 오버슈트(overshoot)하고 언더슈트(undershoot)하게 된다. 구형파(732)가 하이 상태(high state)에 뒤이어 로우 상태(low state)로 전이(transition)할 때 이 안정화 시간은 그 자체가 반복된다.
- [0095] 도 7c의 우측 프레임은 예시적인 Y-축 페루프 구동 파형을 도시한다. 이 예에서, 도 7a와 관련하여 설명된 바와 같이 페루프 피드백은 사용되어 안정화 시간 에러가 감소된다. 명령된 위치에 대한 파형(736)과 실제 위치에 대한 파형(738)이 유사한 형상으로 도시된 바와 같이, 페루프 피드백은 도 7c의 좌측 프레임에 도시된 큰 안정화 시간 에러를 효과적으로 제거하는데 효과적이다. 도 7c에 도시된 일반적인 진폭 값은 중요하지 않으며, 중요한 특징은 각 파형의 비교 형상과 타이밍이라는 것을 이해해야 한다.
- [0096] 따라서, 구동 파형에 대한 페루프 조정에 기초하여, 미러 스캔 위치를 보다 정밀하게 제어하여 시간에 따라 검출된 에러 신호를 감소시킬 수 있는 것으로 믿어진다.
- [0097] 도 6a 내지 도 6c의 예는 페루프 광학 피드백 제어를 사용하는 것을 기술하고 있지만, 미러 스캔 위치의 페루프 피드백 제어의 다른 모드들이 사용될 수 있음을 이해해야 한다. 예를 들어, 페루프 용량성 피드백 제어가 사용될 수 있다. 용량성 피드백을 사용하여, 커패시터는 (제1 커패시터 판으로 작용하는) 미러의 에지와 (제2 커패

시터 판으로 작용하는) 기준 금속 판으로 형성될 수 있고, 여기서 미러의 에지와 기준 금속 판 사이의 공기/진공 갭은 용량성 유전체로 작용한다. 미러의 스캔 위치가 변경되면 갭 거리가 변경되어 이에 의해 커패시터의 커패시턴스가 변하게 된다. 따라서 실제 미러 위치를 결정하기 위해 미러가 스캔 위치를 변화시킬 때 페루프 용량성 피드백 시스템은 (전압 측정을 통해) 커패시턴스 변화를 추적할 수 있다. 결정된 실제 미러 위치에 기초하여, 원하는 위치에 대한 에러가 계산될 수 있다. 추가적인 예로서, 광학 피드백 또는 용량성 피드백의 다른 형태들이 미러 위치를 페루프 피드백으로 제어하는데 사용될 수 있다.

[0098] 동적 스캔 패턴:

[0099] 스캔 레이저 레이더 전송 시스템(104)의 성능을 더 개선하기 위해, 동적 스캔 패턴이 사용되는 것이 바람직하다. 고정된 스캔 패턴을 사용하여, 빔 스캐너(304)는 전체 스캔 영역(510)을 통해 스캔하며, 스캔 미러가 원하는 레인지 포인트를 타깃화하는 것에 위치될 때 레이저 소스(300)가 발사된다. 따라서, 고정된 스캔 패턴을 사용하면, 미러 스캔 위치를 한정하는데 사용되는 구동 파형은 샷 목록(112) 상의 레인지 포인트의 함수로서 변하지 않을 것으로 예상된다.

[0100] 이와 달리, 동적 스캔 패턴의 경우, 빔 스캐너는 전체 스캔 영역(510)을 스캔하지 않으며, 그 대신 미러는 샷 목록(112) 상에 순서화된 레인지 포인트의 함수로 변하는 스캔 패턴에 따라 샷 목록(112) 상의 레인지 포인트를 타깃화할 수 있다. 샷 목록(112)은 환경 감지 시스템(106)에 의해 캡처된 프레임마다 변하기 때문에, 스캔 패턴도 또한 프레임마다 변하기 때문에 스캔 패턴은 동적이다.

[0101] 도 8a 내지 도 8f는 시스템에 의해 사용될 수 있는 상이한 동적 스캔 패턴의 예를 도시한다.

[0102] 도 8a는 동적 스캔 패턴에 대한 예시적인 기본 어드레싱 방식을 설명한다. 일반적으로, 미러는 일반적으로 스캔 방향이 맨 위 행에서 좌측으로부터 우측으로 진행한 다음, 그 다음 행으로 내려가서 여기서 스캔 방향이 우측으로부터 좌측으로 가는 등으로 수행되고, 여기서 스캔 방향이 아래쪽으로 가면서 각 행마다 교대하는 스캔 패턴을 생성하도록 스캔된다. 그러나, 바닥 행(bottom row)으로부터 시작해서 위쪽으로 동작하거나, 및/또는 우측으로부터 시작해서 좌측으로 가면서 스캔 방향을 교대로 변경하는 것과 같은 대안적인 기본 패턴이 사용될 수 있음을 알아야 한다. 또한, 도 8a에 도시된 바와 같이, 동적 스캔 패턴은 아래에 설명된 바와 같이, 라인 반복, 라인 스킵, 및 라인간 스킵, 및 라인간 우회(detour)를 포함할 수 있다.

[0103] 라인 반복을 사용하면, 빔 스캐너는 X-축을 따라 연속적으로 좌측으로부터 우측으로 그리고 우측으로부터 좌측으로 스캔하는 동안 전송기의 Y-축 위치를 유지한다. 샷 목록 상의 두 픽셀이 동일한 행에 있지만 한 번 패스(pass)하는 동안 서로 너무 가까워서 타깃화될 수 없을 때 라인 반복이 요구될 수 있다. 그러한 경우, 라인은 반복될 수 있고, 샷 목록 상의 추가적인 픽셀이 리턴 스캔 패스 동안 타깃화될 수 있다. 동적 스캔 패턴에 대한 최소 픽셀 간격 제약은 라인 반복의 필요성을 제어할 수 있다. 최소 픽셀 간격은 레이저 소스(300)가 백-투-백 샷(back-to-back shot)으로 발사할 수 있는 가장 빠른 속도에 대응한다. 또한, 최소 픽셀 간격 파라미터는 공진 빔 조향(resonant beam steering)을 사용하는 실시예에서 스캔 영역(510) 내의 위치에 따라 변할 수 있음을 알아야 한다.

[0104] 동일한 행을 공유하는 4개의 픽셀 그룹을 포함하는 샘플 행 영역에 대한 샘플 라인 반복 시나리오가 도 8a에 도시된다. 이 예에서 최소 픽셀 간격은 5개의 픽셀이다. 레이저 소스(300)는 픽셀(1)에서 제일 먼저 발사한다. 그 다음 픽셀(2)은 5개를 초과하는 픽셀만큼 떨어져 있기 때문에 레이저는 동일한 패스에서 이 픽셀에서 발사할 수 있다. 그러나 픽셀(5)은 시간적으로 너무 가까워서 어드레싱될 수 없어서, 시스템은 라인 반복을 수행한 후 그 다음 패스에서 픽셀을 어드레싱한다. 따라서, 좌측으로부터 우측으로 스캔하는 동안, 레이저 소스(300)는 픽셀(5)을 통과하여 픽셀(3)에서 발사한다. 스캐너와 레이저는 픽셀(4)에서 발사하는 것에 의해 행을 스캔하는 것을 종료하고 나서 동일한 행을 반복하는데, 이번에는 우측으로부터 좌측으로 스캔한다. 이 다음 패스에서 픽셀(5)이 어드레싱되고 스캐너는 그 다음 행으로 이동할 수 있다. 라인 반복을 사용하면, 스캐너는 모든 요구되는 픽셀이 호출 응답(interrogated)될 때까지 행을 반복하도록 구성될 수 있다.

[0105] 라인 스킵을 사용하면, 빔 스캐너는 주어진 행의 스캔 패스를 완료한 후 전송기의 Y-축 위치를 두 개 이상의 행만큼 조정한다. 행 또는 연속적인 행 세트에 대한 픽셀이 샷 목록에 없는 경우 라인 스킵이 사용될 수 있다. 예시적인 라인 스킵은 도 8a의 스캔 타이밍도에 도시된다.

[0106] 라인간 스킵을 사용하면, 빔 스캐너는 주어진 행에서 전체 스캔을 완료하기 전에 전송기의 Y-축 위치를 조정한다. 행의 큰 인접한 부분이 비어 있을 때 라인간 스킵이 사용될 수 있다. 이러한 경우, 시스템은 이것이 샷 목록에 대해 스캔 영역을 더 빠르게 스캔할 수 있는 경우 다음 행 또는 행들을 어드레싱하도록 선택할 수 있다.

라인간 스킵의 예는 도 8a의 스캔 타이밍도에 도시되어 있다.

- [0107] 라인간 우회는 라인간 스킵의 일 유형이다. 라인간 우회를 사용하면, 빔 스캐너는 주어진 행에서 전체 스캔을 완료하기 전에 전송기의 Y-축 위치를 주어진 행으로부터 새로운 행으로 조정하지만, 새로운 행에서 스캔을 완료하기 전에 주어진 행으로 복귀한다. 아래에 설명된 바와 같이, 라인간 우회는 픽셀이 동일한 행에서 다른 픽셀에 너무 가깝기 때문에 정상적으로 스킵되어야 할 수 있어야 하는 픽셀 또는 행 내 픽셀을 어드레싱하기 위해 정상 래스터 궤적(normal raster trajectory)에서 현재 행으로부터 기회주의적이고 가치 있는 우회로 기능할 수 있다. 라인간 우회의 일 예는 도 8a의 스캔 타이밍도에 도시되어 있다.
- [0108] 도 8b는 도 8a와 관련하여 논의된, 라인 반복, 라인 스킵, 라인간 스킵 및 라인간 우회를 사용하는 예시적인 동적 스캔 패턴을 도시한다. 도 8b의 동적 스캔 패턴은, 이중 스캔 미러를 포함하는 빔 스캐너와 함께 사용될 수 있는데, 여기서 X-축 미러는 공진 주파수에서 고속 축 미러로 두 방향으로 스캔하고, Y-축 미러는 비-공진, 포인트-투-포인트 모드에서 저속 축 미러로 두 방향으로 스캔한다. 도 6a 내지 도 6c와 관련하여 설명된 페루프 광학 피드백 제어와 같은 페루프 피드백 제어는 Y-축 미러의 위상 드리프트 보정 및 X-축 미러에 대한 고속 안정화 시간을 제공하는데 사용될 수 있다. 따라서, 예시적인 실시예에서, 광학 피드백 제어는 Y-축 안정화 시간과 X-축 위상 시프트 문제를 완화시킬 수 있다. 진술한 바와 같이, 2-방향 Y-축 움직임과 라인간 우회를 사용하면, Y-축은 도 8b의 라인간 우회의 예에 의해 도시된 바와 같이 단일 수평 스캔 패스 동안 그 자체로 되돌아갈 수 있다. 라인간 스킵/우회는 스캐너 효율을 증가시키고 프레임 시간을 감소시킬 수 있다(즉, 프레임 속도를 증가시킬 수 있다).
- [0109] 도 8c는 또한 라인 반복, 라인 스킵, 라인간 스킵 및 라인간 우회를 사용하지만, 여기서는 도 8c의 동적 스캔 패턴이 스캔 Y-축 미러(예를 들어, Y-축 MEMS 미러)와 X-축 회전 다각형 미러를 포함하는 빔 스캐너와 함께 사용될 수 있는 예시적인 동적 스캔 패턴을 도시한다. X-축 회전 다각형 미러는 비-공진 모드에서 고속 축 미러로 일 방향으로 스캔하고, Y-축 MEMS 미러는 비-공진, 포인트-투-포인트 모드에서 저속 축 미러로 두 방향으로 스캔한다. 도 6a 내지 도 6c와 관련하여 설명된 페루프 광학 피드백 제어와 같은 페루프 피드백 제어는 X-축 미러의 위상 드리프트 보정 및 Y-축 미러에 대한 고속 안정화 시간을 제공하는데 사용될 수 있다. 선택적으로 회전 다각형 미러의 위치를 정밀 제어하기 위해 광학 피드백 대신 페루프 위치 엔코더를 사용할 수 있다. 도 8b 및 도 8c의 동적 스캔 패턴들 사이에 기본적인 기능 차이는 도 8c의 동적 스캔 패턴이 일 방향으로만 스캔할 수 있고 공진 방식으로는 스캔하지 않는다는 것이다.
- [0110] 도 8d는 타원형/달걀형 나선과 같은 나선형 패턴으로 스캔하는 예시적인 동적 스캔 패턴을 도시한다. 도 8d의 동적 스캔 패턴은 도 8a 내지 도 8c와 관련하여 각각 논의된, 라인 반복, 라인 스킵, 라인간 스킵 및 라인간 우회와 유사한 타원형인 타원형 반복(ellipse repeat), 타원형 스킵(ellipse skip), 타원간 스킵(interellipse skip) 및 타원간 우회(interellipse detour)를 지원할 수 있다. 빔 스캐너는 X-축 MEMS 미러와 Y-축 MEMS 미러와 같은 이중 스캔 미러를 사용할 수 있다. X-축 미러와 Y-축 미러는 모두 공진 모드에서 두 방향으로 스캔할 수 있다. 도 8d에 도시된 스캔 패턴을 사용하는 스캐너는 2개의 미러들 사이에 중계 이미징 광학기기를 포함할 것으로 예상된다. 두 미러는 제1 공진 주파수일 수 있는 공진 주파수 부근을 스캔할 수 있다. 도 8d는 2개의 단일 축 미러들이 공진 주파수들(둘 모두는 주파수와 위상이 동일하다) 중 하나의 공진 주파수에서 또는 이 공진 주파수 부근에서 동작하는 예시적인 타원형/달걀형 나선형 패턴을 도시한다. 나선의 진폭은 미러 상의 구동 전압의 진폭에 의해 제어된다. 동일한 개념이 도 8b의 동적 스캔 패턴에서와 같이 적용되지만, 동심원 타원은 "행" 또는 "고속 축"이고 픽셀은 링 내에 놓여있다. "열" 또는 "저속 축"은 두 미러의 진폭에 의해 어드레싱된다. 나선형 패턴은 동심 달걀형 링들 사이에 전이하는 것으로부터 발생한다. 링은 1회전 후에 (타원형 스킵) 또는 1회전들 사이에(타원간 스킵 또는 타원간 우회) 도 8b의 "래스터 형" 동적 스캔 패턴에서와 같이 반복되거나 스킵될 수 있다. 도 6a 내지 도 6c와 관련하여 설명된 페루프 광학 피드백 제어와 같은 페루프 피드백 제어는 미러 스캔 위치를 정밀 제어하는데 사용될 수 있다.
- [0111] 도 8a 내지 도 8c의 동적 스캔 패턴은 기본 스캔 패턴으로 특징지어질 수 있다. 이들 기본 스캔 패턴은 도 8e 및 도 8f와 관련하여 도시된 것과 같이 더 높은 레벨의 매크로 동적 스캔 패턴 내에 매립될 수 있다.
- [0112] 도 8e는 스캔 영역이 복수의 블록으로 분할되고, 스캐너가 블록마다 진행할 때 각 블록의 일부분 내에 기본 동적 스캔 패턴이 실행되는 예시적인 매크로 동적 스캔 패턴을 도시한다. 예로서, 도 8b 및 도 8c의 동적 스캔 패턴(또는 다른 동적 스캔 패턴)은 각 블록 부분 내에 매립될 수 있다.
- [0113] 리셋 지터(reset jitter)는 큰 픽셀 블록이 상대적으로 인접한 스캔을 위해 어드레싱되고 이 리셋 지터가 신호 대 잡음비(SNR)를 저하시킬 수 있을 때 발생할 수 있다. 이 가능한 SNR 저하를 줄이기 위해 동적 스캔 패턴은

샷 목록에 한정된 스캔 영역을 더 작은 블록들로 분해할 수 있다. 이 더 작은 블록들의 크기는 레이저 레이더 수신기에 요구되는 배경 광의 최대 양에 의해 영향을 받을 수 있다. 따라서, 블록 구조를 사용하는 레이저 레이더 수신기의 경우, 블록 크기는 이 블록에 대응할 수 있다. 각 블록은 도 8e에 도시된 바와 같이 스캐너에 의해 여러 번 재-방문될 수 있다. 하나의 프레임은 도시된 바와 같이 여러 인터레이스된 서브프레임들로 분해된다. 각 서브프레임은 매크로 패턴에서 Y-축/저속 축의 방향이 변하는 것에 대응한다. 도 8e의 예는 5개의 서브프레임을 갖는 3개의 블록 프레임을 도시하고, 각 블록에는 여러 행이 존재한다.

[0114] 이 매크로 패턴은 본질적으로 블록을, 하나의 패스에서 함께 그룹화될 수 있는 픽셀의 총 수로 분할한다. 전술한 바와 같이, 이 수는 SNR과 같은 파라미터에 의존할 수 있다. 도 8e는 동적 매크로 스캔 패턴의 일 예를 도시한다. 도 8e의 예에서, 제1 블록과 마지막 블록은 다른 블록들보다 각 서브-프레임에 일부 더 많은 픽셀을 어드레싱하여서, 이에 의해 타이밍이 규칙적이어서, 이에 의해 이들 픽셀의 SNR이 약간 낮아지게 한다. 그러나, 이것은 프레임의 중심 픽셀로부터 떨어져 있기 때문에, SNR의 이러한 저하는 많은 응용에서 수용가능할 수 있다.

[0115] 도 8f는 도 8e의 매크로 스캔 패턴과 유사한 예시적인 매크로 동적 스캔 패턴을 도시하지만, 여기서 매크로 스캔은 그 다음 두 개의 블록으로 진행하기 전에 이 두 개의 블록의 블록 부분들 사이를 전환한다. 다시 말해, 스캐너는 한 쌍의 블록들 내의 모든 레인지 포인트를 어드레싱할 때까지 이 한 쌍의 블록들 사이에 핑퐁(ping-pong)을 수행하고, 이후 스캐너가 다른 블록 쌍으로 이동하여 반복한다. 도 8e와 같이, 도 8b 및 도 8c의 동적 스캔 패턴(또는 다른 동적 스캔 패턴)은 도 8f의 매크로 스캔 패턴의 각 블록 부분 내에 매립될 수 있다.

[0116] 레인지 포인트 목록을 샷 목록으로 변환:

[0117] 다수의 처리 규칙 중 임의의 처리 규칙이 레인지 포인트 목록(240)을 샷 목록으로 변환하는데 사용될 수 있다. 전술한 바와 같이, 레인지 포인트 목록(240)을 샷 목록으로 변환하는 것(도 2a의 단계(204) 참조)은 프로세서(120)에 의해 또는 빔 스캐너 제어기(308)에 의해 수행될 수 있다. 이 규칙은 소프트웨어로 실행되거나, 하드웨어(예를 들어, FPGA(Field Programmable Gate Array) 또는 ASIC(Application-Specific Integrated Circuit))로 실행되거나 또는 이 둘의 조합으로 실행될 수 있다. 그리하여, 레인지 포인트 목록으로부터 샷 목록으로 변환을 수행하는 데 사용되는 프로세서는 마이크로프로세서, FPGA, ASIC 등을 포함하지만 이에 국한되지 않는 프로세서(120) 또는 빔 스캐너 제어기(308) 내에서 사용하기에 적합한 임의의 프로세서일 수 있다. 도 9a는 샷 목록이 라인간 스킵을 수용하는 (그러나 라인간 우회를 포함하지는 않는) 변환을 위한 예시적인 공정 흐름을 도시한다. 도 9b는 레인지 포인트 목록을 샷 목록으로 변환하는 예시적인 공정 흐름을 도시하고 여기서 샷 목록은 라인간 우회를 포함하는 라인간 스킵을 수용한다.

[0118] 도 9a에 도시된 바와 같이, 레인지 포인트 목록(240)은 공정 흐름에 입력으로 기능한다. 단계(900)에서, 레인지 포인트 목록의 처음 N개의 행이 버퍼(950)에 로딩된다. 이 예에서, 레인지 포인트 목록은 적어도 행 순서로 (예를 들어, 상부 행으로부터 시작해서 아래쪽으로 진행하는) 레인지 포인트를 이미 가지고 있는 것으로 추정된다. 그러나, 만약 그렇지 않은 경우, 공정 흐름은 또한 레인지 포인트를 행 순서로 분류(sort)하여 처음 N개의 행이 버퍼(950)에 로딩되게 할 수 있다. 이 예시적인 실시예에서, N의 값은 2이고 이 경우에 버퍼는 행(Y1)과 행(Y2)에 대한 레인지 포인트를 보유할 수 있으며, 여기서 각 행은 하나 이상의 레인지 포인트를 포함한다. 2-행 입력 버퍼를 사용하는 것은 단지 일례일 뿐, 실무자라면 N (여기서 $N > 2$)개의 행의 레인지 포인트를 고려하는 것을 지원하는 대형 버퍼를 사용할 것을 선택할 수 있는 것으로 이해되어야 한다. 주어진 시간에 평가되는 행과 픽셀의 수가 이렇게 증가하려면 추가적인 처리 단계와 추가적인 버퍼 공간을 필요로 하지만, 실무자라면 이러한 공정 흐름을 구현할 때 도 9a 및 도 9b에 의해 제공된 2-행의 예로부터 가이드를 얻을 수 있다. 또한, 공정 흐름이 샷 목록으로 스케줄링하기 위해 N 행 버퍼로부터 픽셀을 판독하도록 동작할 때, 단계(900)는 각 행이 완료될 때 그 다음 행으로 업데이트 버퍼(950)를 유지하도록 동작할 수 있는 것으로 이해되어야 한다.

[0119] 단계(902)에서, 프로세서는 픽셀을 버퍼 행으로 분류하고 스캔 방향으로 각 픽셀에 태그를 붙인다. 샷 목록에 대한 디폴트 스캔 패턴은 각 행마다 스캔 방향이 좌측으로부터-우측으로인 스캔 패턴일 수 있다. 또 다른 옵션은, 제1 행에서는 스캔 방향이 좌측으로부터-우측으로이고 제2 행에서는 스캔 방향이 우측으로부터-좌측으로 변하고 나서, 후속 행에서는 스캔 방향이 교대로 계속 변하는 디폴트 스캔 패턴이다. 도 9a의 예시적인 실시예에서, 디폴트 스캔 패턴은 각 행에서 스캔 방향이 좌측으로부터-우측으로일 수 있다.

[0120] 단계(902)에서, 각 행 내 픽셀들은 디폴트 스캔 패턴에 따라 순서화되도록 분류된다. 따라서, 좌측으로부터-우측으로의 스캔 패턴을 갖는 행에서, 픽셀들은 가장 좌측 픽셀이 첫 픽셀이고, 두 번째 가장 좌측 픽셀이 그 다음 픽셀이고, 가장 우측에 있는 픽셀이 마지막 픽셀이 될 때까지 이와 같은 방식으로 분류된다. 우측으로부터-좌측으로 스캔 패턴을 갖는 행에서 픽셀들은 반대 방식으로 분류된다. 각 픽셀은 또한 이 픽셀에 대한 스캔 방

향을 식별하는 제어 메타데이터(예를 들어, 좌측으로부터-우측으로의 스캔 또는 우측으로부터 좌측으로의 스캔이 픽셀에 도달할지를 나타내는 플래그)로 태그될 수 있다. 또한, 레인지 포인트 목록(240)은 이런 방식으로 이미 미리-분류된 도 9a의 공정 흐름에 도달할 수 있으며, 이 경우 단계(902)는 요구되지 않을 것으로 이해되어야 한다.

[0121] 단계(904)에서, 버퍼(950)로부터의 처음 2개의 픽셀이 평가를 위한 현재 픽셀과 그 다음 픽셀 후보를 식별하기 위해 판독된다. 이 한 쌍의 픽셀을 평가하여 샷 목록에서 픽셀이 순서화되어야 하는 방식을 결정할 수 있다.

[0122] 단계(906)에서, 공정 흐름은 현재 픽셀과 그 다음 픽셀 후보 사이에 ΔT 를 계산한다. 이 ΔT 값은 스캐너가 현재 픽셀로부터 그 다음 픽셀 후보까지 스캔하는데 요구되는 시간의 양을 나타낸다. ΔT 는 현재 픽셀과 그 다음 픽셀 후보의 x 좌표뿐만 아니라 고속 축의 사인 곡선 궤적(sinusoidal trajectory)과 주파수의 함수로 계산될 수 있다. 또한, 프로세서는 현재 픽셀과 그 다음 픽셀 후보에 대해서만 단계(906)를 수행할 수 있고, 또는 프로세서는 단계(908)로 진행하기 전에 다수의 픽셀 쌍에 대해 ΔT 를 계산하는 배취 모드에서 프로세서는 단계(906)를 수행할 수 있다. 예를 들어, 배취 모드에서, 프로세서는 2-행 버퍼(950)에서 이웃하는 픽셀들의 각 쌍에 대해 ΔT 값을 계산할 수 있다. 다른 배취 모드의 예로서, 프로세서는 2-행 버퍼(950) 내 픽셀에 대한 픽셀 쌍의 각 가능한 순열에 대해 ΔT 값을 계산할 수 있다.

[0123] 다음으로, 단계(908)에서, 프로세서는 현재 픽셀과 그 다음 픽셀 후보에 대해 계산된 ΔT 를, 연속적인 레이저 레이더 펄스들 사이에 요구되는 최소 시간 량("최소 펄스 대 펄스 시간(Min Pulse-to-Pulse Time)")에 대응하는 파라미터와 비교한다. 예시적인 실시예에서, 최소 펄스 대 펄스 시간은 상수이고 그 값은 레이저 소스(300)로부터 요구되는 최대 레인지 또는 최소 에너지의 함수로서 설정된다. 예를 들어, 섬유 레이저가 사용되는 실시예에서, 섬유 레이저는 이로부터 최소량의 에너지를 필요로 하며, 최소 펄스 대 펄스 시간은 이 최소량의 에너지가 축적될 수 있을 만큼 레이저 재충전 시간이 충분히 길도록 설정된다. 나아가, 레이저 소스의 펄스 속도(pulse rate)는 레인지와 SNR과 같은 특성에 영향을 미친다는 것을 이해해야 한다. 예를 들어, 펄스 속도를 줄이면 시스템의 레인지가 증가될 수 있다. 그리하여, 최소 펄스 대 펄스 시간이 예시적인 실시예에서 상수이지만, 이 상수는 시스템 레벨 설정으로 조정 가능할 수 있음을 이해해야 한다. 나아가, 최소 펄스 대 펄스 시간이 시야/스캔 영역 내 어디에서나 동일할 필요는 없다는 것을 이해해야 한다.

[0124] 단계(908)에서 계산된 ΔT 가 최소 펄스 대 펄스 시간보다 작다고 결정되면, 이것은 그 다음 픽셀 후보가 현재 픽셀에 너무 가까이 있다는 것을 의미하며, 이 경우 그 다음 픽셀 후보는 스캐너의 그 다음 패스에서 스케줄링된다. 따라서, 단계(910)에서, 그 다음 픽셀 후보는 나중에 스킵된 것이 먼저 히트되는 포맷(즉, LIFO 또는 후입 선출 방식)으로 이 행의 리턴 스캔에서 샷 목록 버퍼(952)로 스케줄링된다. 이것은, 그 다음 픽셀 후보를 레이징하는데 라인 반복이 요구되고, 그 다음 픽셀 후보가 리턴 스캔에서 레이징할 필요가 없는, 현재 행의 임의의 다른 픽셀 후 샷 목록에 놓일 수 있다는 것을 의미한다. 라인 반복을 플래그하기 위해, 그 다음 픽셀 후보는 반대 스캔 방향으로 재-태그될 수 있다. 분류된 행에서 디폴트 스캔 패턴이 교대하는 스캔 방향인 상황에서, 라인 반복은 또한 그 다음 행의 픽셀이 디폴트 스캔 패턴에 대해 반대 스캔 방향으로부터 히트된다는 것을 의미할 수도 있는 것으로 이해되어야 하는데, 이 경우, 단계(910)는 또한 그 이전의 스캔 방향에 대해 반대 스캔 방향으로 그 다음 행의 픽셀을 재-태그하고, 그 새로운 스캔 방향에 따라 이 재-태그된 픽셀을 재-분류한다.

[0125] 그 다음, 단계(912)에서, 프로세서는 그 다음 픽셀 후보를 증분하되, 새로운 다음 픽셀 후보가 현재 다음 픽셀 후보 직후인 레인지 포인트 목록 버퍼(950) 내 픽셀이 될 수 있도록 그 다음 픽셀 후보를 증분시킨다(한편, 새로운 다음 픽셀 후보가 그 다음 행에 있지 않는 한, 현재 픽셀은 새로운 다음 픽셀 후보에 대해 그 다음으로 평가될 수 있도록, 현재 픽셀은 현재 픽셀로 남아 있고, 이 경우 프로세서는 그 다음 행 내 제1 픽셀을 새로운 현재 픽셀로 사용하고, 그 다음 행의 제1 픽셀 이후의 픽셀을 새로운 다음 픽셀 후보로 사용한다). 그 다음 픽셀이 그 다음 행에 있는 상황에서 그 다음 행에 있는 픽셀들은 재-분류되고 반대 스캔 방향으로 재-태그되어야 할 수도 있는 것으로 이해된다. 프로세서는 단계(906)로 복귀하고 공정 흐름이 반복된다. 도 9e는 도 9a에 도시된 것과 같은 공정 흐름을 수행한 결과 라인간 스킵이 존재하는 샷 목록의 일 예를 도시한다.

[0126] 단계(908)에서 계산된 ΔT 가 최소 펄스 대 펄스 시간보다 작지 않은 것으로 결정되면, 이것은 스캐너가 현재 픽셀을 레이징하고, 그 다음 픽셀로 스캔하고, 그 다음 픽셀을 레이징하는데 충분한 양의 시간이 있다는 것을 의미한다. 그리하여, 그 다음 픽셀 후보는 샷 목록에서 현재 픽셀 후 그 다음 픽셀로 스케줄링될 수 있다. 그러나, 프로세서는 또한 이 그 다음 픽셀이 라인간 스킵을 위한 후보인지 여부를 평가하기 위해 그 다음 픽셀을 테스트한다(단계 914).

[0127] 가능한 라인간 스킵에 대해 단계(914)에서 그 다음 픽셀 후보를 테스트하기 위해, 프로세서는 (1) 현재 픽셀과

그 다음 픽셀 후보가 상이한 행에 있다는 조건, 및 (2) 리턴 스캔에서 현재 행에 있는 픽셀들을 히트하는데 라인 반복이 요구되지 않는다는 조건을 포함하는 2개의 조건을 충족하는지를 살펴본다. 이들 조건이 충족되지 않으면, 그 다음 픽셀 후보는 라인간 스킵 후보가 아니며, 그 다음 픽셀 후보는 단계(918)에서 샷 목록 버퍼(952)에서 그 다음 픽셀로 스케줄링된다(이 경우, 라인간 스킵은 사용되지 않는다). 이들 두 조건이 충족되면, 단계(916)에서, 프로세서는 스캐너가 현재 픽셀을 레이징하고, 새로운 행에 있는 그 다음 픽셀 후보를 스캔하고, 이 그 다음 픽셀 후보를 레이징하는 데 충분한 시간이 있는지 여부를 결정한다. 이 결정을 수행하기 위해 계산된 ΔT 는 스킵시간(SkipTime)(N) 파라미터와 비교된다. 스킵시간(N) 파라미터는 스캐너가 현재 행으로부터 그 다음 행으로 점프하는 데 요구되는 최소 양의 시간을 한정한다. N의 값은 버퍼에서 고려되는 행의 수에 대응할 수 있다.

[0128] ΔT 가 스킵시간(N)보다 더 작으면, 이것은 스캐너가 그 다음 행으로 점프하고 그 다음 픽셀 후보를 히트하는데 충분한 시간이 없다는 것을 의미한다. 이런 상황에서, 공정 흐름은 단계(918)로 진행하고 그 다음 픽셀 후보는 라인간 스킵없이 그 다음 픽셀로 스케줄링된다. 이것은 스캐너가 현재 행의 스캔을 이 행의 끝까지 계속하고 그 다음 행으로 점프하고, 그 다음 픽셀 후보까지 반대 방향으로 스캔하는 것을 의미한다. 그리하여, 그 다음 픽셀은 이 픽셀에 도달하는데 스캐너에 의해 사용되는 스캔 방향을 고려하여 스캔 방향을 변경하기 위해 재-태그될 필요가 있을 수 있다.

[0129] ΔT 가 스킵시간(N)보다 더 크면, 이것은 스캐너가 그 다음 행으로 점프하고 그 다음 픽셀을 히트하는데 충분한 양의 시간이 있다는 것을 의미한다. 이런 상황에서, 공정 흐름은 단계(922)로 진행한다. 단계(922)에서, (1) 그 다음 픽셀 후보는 샷 목록 버퍼(952)에서 그 다음 픽셀로 스케줄링되고, (2) 그 다음 픽셀이 라인간 스킵을 요구한다는 것을 스캐너에 알리기 위해 현재 픽셀에는 라인간 스킵 경보가 태그된다.

[0130] 단계(920)는 단계(918) 또는 단계(922)로부터 도달될 수 있다. 단계(920)에서, 프로세서는 현재 픽셀과 그 다음 픽셀 후보를 증분시킨다. 현재 다음 픽셀 후보는 새로운 현재 픽셀이 되고, 새로운 다음 픽셀 후보는 버퍼(950)로부터 추출된다. 버퍼(950)에서 그 다음 픽셀이 그 다음 행에 있다면, 프로세서는 그 다음 픽셀을 타깃으로 하는데 사용되는 스캔 방향을 수용하기 위해 새로운 그 다음 픽셀 후보를 판독하기 전에 그 다음 행의 픽셀들을 재-분류할 필요가 있다(스캔 방향을 변경할 필요가 있다). 예를 들어, 새로운 현재 픽셀이 (행 1에 있고 좌측으로부터 우측으로의 스캔 방향을 가지는) 픽셀(x5y1)이고 버퍼(950)에서 그 다음 픽셀이 (행 2에 있고 좌측으로부터 우측으로 스캔 방향을 가지는) 픽셀(x2y2)이지만, 픽셀(x2y2)은 행 2를 픽셀(x6y2 및 x9y2)(여기서 픽셀(x6y2 및 x9y2)은 버퍼(950)에서 행 2에 대한 나머지 픽셀이다)과 공유한다고 가정한다. 행 2에 대해 원하는 우측으로부터 좌측으로의 스캔 방향을 수용하기 위해, 프로세서는, 태그 스캔 방향을 우측으로부터 좌측으로 변경하면서도, 버퍼(950)에서 그 순서가 (x2y2, x6y2 및 x9y2가 아닌) x9y2, x6y2 및 x2y2가 되도록 행 2에 있는 픽셀들을 재-분류할 수 있다. 따라서, x9y2는 x2y2가 아닌 새로운 다음 픽셀 후보로 기능할 수 있다. 프로세서는 단계(906)로 복귀하고 공정 흐름이 반복된다.

[0131] 따라서, 도 9a의 공정 흐름은 라인간 스킵을 갖는 동적 스캔 패턴을 지원하는 샷 목록 버퍼(952)에서 샷 목록을 생성한다.

[0132] 전술한 바와 같이, 도 9b는 라인간 우회를 포함하는 라인간 스킵을 지원하는 예시적인 공정 흐름을 도시한다. 단계(900-922)들은 일반적으로 도 9a와 관련하여 설명된 바와 같이 동작하지만, 단계(914)는, 도 9a의 단계(914)에 대해 설명된 바와 같은 라인간 스킵 시나리오를 테스트할 뿐만 아니라 가능한 라인간 우회 시나리오도 테스트하는 단계(930)로 대체될 수 있다.

[0133] 라인간 우회를 수용하기 위해, 도 9b의 공정 흐름은 또한 스캐너가 현재 행으로부터 N개의 행만큼 떨어져 있는 다른 행으로 가고, 이 다른 행에서 하나 이상의 픽셀을 방문하고 나서, 현재 행에 있는 그 다음 픽셀로 되돌아가는데 요구되는 최소 시간("우회시간(DetourTime)(N)", 도 9b의 예에서 N=2)에 대응하는 파라미터를 고려한다. 우회시간(N) 파라미터는 상수일 수 있고, 그 값은 대부분 Y-축의 전기 기계적 특성의 함수로 설정된다.

[0134] 따라서, 도 9b의 공정 흐름에서, 단계(930)는 현재 픽셀-그 다음 픽셀 후보 쌍을 테스트하여 그 다음 픽셀 후보가 라인간 스킵 후보인지 여부를 평가할 뿐만 아니라(도 9a의 단계(914) 참조), 단계(930)는 또한 현재 픽셀-그 다음 픽셀 후보 쌍을 테스트하여 그 다음 픽셀 후보가 라인간 우회 후보인지 여부를 평가한다. 가능한 라인간 우회를 평가하기 위해, 프로세서는 현재 픽셀과 그 다음 픽셀 후보가 동일한 행을 공유하는지 여부를 체크한다. 이들이 동일한 행을 공유하는 경우, 라인간 우회 가능성이 있으며, 프로세서는 단계(934)로 진행한다.

[0135] 단계(934)에서, 프로세서는 라인간 우회를 위한 충분한 시간이 있는지 여부를 결정한다. 프로세서는 현재 픽셀

과 그 다음 픽셀 후보에 대해 계산된 ΔT 를 우회시간(N) 파라미터와 비교하는 것에 의해 이를 수행한다.

- [0136] 단계(934)에서 계산된 ΔT 가 우회시간(N)보다 더 크지 않은 것으로 결정되면, 프로세서는 도 9a와 관련하여 설명된 바와 같이 동작하는 단계(918)로 진행하며, 여기서부터 도 9a와 관련하여 설명된 바와 같이 공정 흐름이 계속된다.
- [0137] 단계(934)에서 계산된 ΔT 가 우회시간(N)보다 더 크다고 결정되면, 이것은 라인간 우회가 스케줄링될 수 있는 것을 의미하고 프로세서는 단계(936)로 진행한다. 단계(936)에서, 프로세서는 라인간 우회 동안 방문될 수 있는 레인지 포인트 목록에 레인지 포인트가 있는지 여부를 체크한다.
- [0138] 이 결정을 지원하기 위해, 프로세서는 단계(932)에서 2-행 버퍼에서 이웃하는 픽셀들의 각 쌍에 대해 계산된 ΔT 값으로 인해 2-행 버퍼에 있는 레인지 포인트들 중 스킵가능한 레인지 포인트를 식별한다. 즉, 단계(930)는 레인지 포인트가 이전의 레인지 포인트에 너무 가까운 것으로 인해 초기 패스시가 아니라 스캐너의 복귀 패스시에 타깃화될 가능성이 있는 레인지 포인트를 식별한다. 스캔 시간을 개선하기 위해 스캐너의 복귀 패스가 회피될 수 있도록 만약 가능하다면 라인간 우회를 통해 이러한 스킵가능한 레인지 포인트를 타깃화하는 것이 바람직하다. 단계(932)에서 스킵가능한 포인트를 식별할 때, 프로세서는 관심 있는 행의 레인지 포인트를 타깃으로 하기 위해 스캐너에 의해 사용될 스캔 방향을 고려할 수 있다는 것을 이해해야 한다. 단계(906)가 전술한 바와 같이 배치 모드(batch mode)에서 동작하는 경우, 단계(932)는 ΔT 값이 최소 펄스 대 펄스 시간 값보다 더 작은 주어진 스캔 방향에 대해 각 픽셀 쌍의 제2 픽셀을 간단히 식별하는 단계를 수반할 수 있다. 단계(906)가 배치 모드에서 동작하지 않으면, 단계(932)는 또한 스킵가능한 포인트가 식별될 수 있도록 2-행 입력 버퍼에서 추가적인 픽셀 쌍에 대해 ΔT 값을 계산하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0139] 예시적인 실시예에서, 프로세서는 단계(936)에 도달했는지 여부에 상관없이 단계(906)를 수행한 후에 단계(932)를 수행하여 공정이 단계(936)로 분기할 경우 시스템이 단계(936)를 수행할 준비가 이미 되어 있게 한다. 그러나, 이것은 반드시 그런 것은 아니다.
- [0140] 단계(936)에서, 프로세서는 2-행 버퍼에 있는 픽셀들을 평가하여 라인간 우회에서 그 다음 픽셀로 스케줄링될 수 있는 버퍼 내 픽셀이 있는지 여부를 결정한다(이러한 픽셀은 우회 픽셀로 언급될 수 있다). 라인간 우회를 위해 "방문 가능한" 것으로 간주되는 픽셀의 풀(pool)에는 (1) (스캐너의 스캔 방향을 고려하여) 현재 픽셀의 x 값 이후이지만, 스캐너가 그 다음 행으로 점프하는 데 필요한 시간이 주어지면 스캐너가 이 x-좌표에 도달할 만큼 충분한 시간을 여전히 제공하는 x 값 이후, 및 (2) (스캐너의 스캔 방향을 고려하여) 그 다음 픽셀 후보의 x 값 이전이지만, 스캐너가 그 다음 픽셀 후보의 x-좌표에 도달하는데 충분한 시간을 여전히 제공하는 x 값 이전에 속하는 x 값을 갖는 그 다음 행의 픽셀이 포함될 수 있다.
- [0141] 단계(936)에서 라인간 우회를 위해 단 하나의 이러한 방문 가능한 픽셀이 있는 것으로 결정되면, 이 방문 가능한 픽셀은 단계(938)에서 샷 목록 버퍼(952)에서 그 다음 픽셀로 스케줄링된다.
- [0142] 단계(936)에서 라인간 우회를 위해 다수의 방문 가능한 픽셀들이 존재하고, 이들 다수의 방문 가능한 픽셀들 사이의 간격이 ΔT 제약을 위반하지 않는다고 결정되면, 이 방문 가능한 픽셀들이 시퀀스로 단계(938)에서 샷 목록 버퍼(952)에서 그 다음 픽셀들로 스케줄링된다.
- [0143] 단계(936)에서, 라인간 우회를 위해 다수의 방문 가능한 픽셀이 있지만, ΔT 제약으로 인해 라인간 우회를 위해 모든 픽셀이 스케줄링될 수는 없는 것으로 결정되면, 단계(932)에서 스킵가능한 픽셀로 식별된 방문 가능한 픽셀에 우선권이 주어진다. 방문 가능한 스킵 가능한 픽셀은 단계(938)에서 스케줄링될 수 있고, 단계(938)는 또한 방문 가능한 스킵 가능한 픽셀의 스케줄링을 고려하여 ΔT 제약에 순응하는 경우 임의의 나머지 방문 가능한 픽셀들을 스케줄링할 수 있다.
- [0144] 단계(936)에서 라인간 우회를 위해 다수의 방문 가능한 픽셀이 있지만, ΔT 제약으로 인해 라인간 우회를 위해 모든 픽셀이 스케줄링될 수는 없고, 방문 가능한 픽셀 중 그 어느 픽셀도 단계(932)에서 스킵가능한 픽셀로 식별되지 않았다고 결정되면, 다른 우선권 부여 방식을 사용하여 방문가능한 픽셀 중에 라인간 우회를 위해 스케줄링될 픽셀을 선택할 수 있다(예를 들어, 라인간 우회로부터 방문 가능한 픽셀(들)을 제거함으로써 가장 많은 수의 방문 가능한 픽셀이 라인간 우회를 위해 스케줄링될 수 있고, 단순히 타이(tie)인 경우 현재 픽셀에 가장 가까운 x 값을 갖는 방문 가능한 픽셀을 스케줄링할 수 있다). 유사한 우선권 부여 방식을 사용하여 다수의 스킵가능한 방문 가능한 픽셀이 있는 상황에서 스케줄링을 해결할 수 있지만, 이 스킵가능한 방문가능한 픽셀은 ΔT 제약으로 인해 동일한 라인간 우회를 위해 스케줄링될 수는 없다.
- [0145] 단계(938)에서, 현재 픽셀은 라인간 우회 경보로 태그되어, 샷 목록에서 그 다음 픽셀로 스캔하는데 라인간 우

회가 요구된다는 것을 스캔에 알릴 수 있다. 나아가, 라인간 우회가 그 다음 행에 있는 모든 픽셀을 히트하도록 동작하는 경우, 새로운 스캔 방향이 새로운 그 다음 행의 픽셀을 히트하는데 요구될 수 있다. 만약 그러한 경우, 단계(938)는 또한 버퍼(950)에서 새로운 그 다음 행의 픽셀들을 재-태그하고 재-분류하는 것을 수반할 수 있다. 단계(938)로부터 프로세서는 단계(918)로 진행하고 그 다음 픽셀 후보는 단계(938)에서 스케줄링된 우회 픽셀(들)에 후속하여 샷 목록 버퍼(952)에서 그 다음 픽셀로 스케줄링된다.

- [0146] 단계(936)에서 라인간 우회를 위해 방문 가능한 픽셀이 없다고 결정되면, 프로세서는 전술한 바와 같이 단계(918)로 진행한다.
- [0147] 나아가, 픽셀이 라인간 우회의 일부로서 단계(938)에서 스케줄링될 때, 프로세서는 공정 흐름을 실행하는 동안 이 픽셀이 두 번 방문되는 것을 회피하기 위해 버퍼(950)로부터 이 픽셀을 제거할 수 있다는 것을 알아야 한다.
- [0148] 따라서, 도 9b의 공정 흐름은 라인간 스킵과 라인간 우회에 의해 동적 스캔 패턴을 지원하는 샷 목록을 샷 목록 버퍼(952)에서 생성한다.
- [0149] 도 9c는 도 9b의 공정 흐름에 따라 샷 목록을 통해 스케줄링되는 레인지 포인트들의 예시적인 시퀀스를 도시한다. 픽셀들은 x-축(라벨 xi)과 y-축(라벨 yi)으로 라벨링되며, 여기서 xi에 대한 i의 각 값은 각 행을 따라 픽셀의 순서를 나타내기 위해 증분되지만, 픽셀들 사이의 거리를 나타내는 것은 아니라는 것을 이해해야 한다. 그리하여, 픽셀(x1y1)과 픽셀(x2y1) 사이의 x-축 거리는 픽셀(x2y1)과 픽셀(x3y1) 사이의 x-축 거리와 동일하지 않다.
- [0150] 도 9c에서 볼 수 있는 바와 같이, 샷 목록 시퀀스는 픽셀(x1y3)과 픽셀(x2y3)을 슈팅(shoot)하기 위해 라인간 우회를 포함한다. 도 9c의 바닥 라인(bottom line)은 픽셀들이 샷되는 시퀀스를 식별하는 샷 목록을 도시하는 반면, 도 9c의 픽셀 그래프는 행과 열을 통과하는 스캔 진행을 도시한다. 단계(922)와 관련하여 방문 가능한 픽셀의 개념을 더 잘 이해하기 위해, 픽셀(x1y3)은 이 픽셀이 라인간 우회에 의해 방문된 것으로 주어지면 픽셀(x2y1)로부터 라인간 우회를 위해 방문가능한 픽셀이라는 것을 알 수 있다. 그러나, 픽셀(x2y1)로부터 라인간 우회가 고려되고 있을 때에는, 픽셀(x2y3)은 픽셀(x2y1)로부터 라인간 우회를 위해 방문 가능한 픽셀로서 자격을 갖지 못한다(그러나, 픽셀(x2y3)은 픽셀(x3y1)로부터는 방문 가능한 픽셀로서 자격을 가진다). 픽셀(x2y3)이 픽셀(x2y1)로부터 라인간 우회를 위해 방문 가능한 픽셀로서 자격을 갖지 못하는 이유는 픽셀(x2y1)로부터 라인간 우회가 고려되고 있을 때 그 다음 픽셀 후보는 x3y1이고 픽셀(x2y3)의 x-축 위치는 픽셀(x3y1)의 x-축 위치 후에 있기 때문이다. 그리하여, 픽셀(x2y3)은 픽셀(x2y1)과 픽셀(x3y1) 사이의 라인간 우회를 위해 방문 가능한 공간에 있지 않았다.
- [0151] 도 9d 및 도 9e는 도 9b의 공정 흐름에 따라 샷 목록을 통해 스케줄링되는 레인지 포인트들의 다른 예시적인 시퀀스를 도시한다. 이 예에서는 x3y1 이후에 샷되지만, x3y1과 x4y1 사이의 간격이 작은 것으로 인해 이 행의 초기 패스가 아니라 이 행에 대한 스캐너의 복귀 패스에 있는 픽셀(x4y1)이 있다. 도 9c에서와 같이, 도 9d의 바닥 라인은 픽셀이 샷되는 시퀀스를 식별하는 샷 목록 부분을 도시하고, 도 9d의 픽셀 그래프는 행과 열을 통과하는 스캔 진행을 도시한다. 도 9e는 슈팅 픽셀(x1y4)로부터 슈팅 픽셀(x1y5)로 진행하기 위해 라인간 스킵을 포함하는, 나머지 픽셀들에 대한 샷 진행을 도시한다. 따라서, 도 9d 및 도 9e의 레인지 포인트 목록 및 샷 목록에 대해, 픽셀을 슈팅하기 위해 3번의 스캔이 요구된다.
- [0152] 도 9f는 샘플 레인지 포인트 목록(240) 및 그 대응하는 샷 목록(950)을 도시하는데, 여기서 샷 목록(950)은 도 9b의 공정 흐름에 따라 생성되고, 여기서 최소 펄스 대 펄스 시간(도 9f에서 "샷간최소시간(Short2ShortMinTime)"라고 언급됨)은 10개의 픽셀에 대응하고, 우회시간(N)은 50개의 픽셀(여기서 N=1)에 대응한다. 다시 한번, 상이한 값들이 사용될 수 있고, 나아가 이들 값은 스캔 필드에 따라 변할 수 있다는 것을 이해해야 한다.
- [0153] 샷 목록(950)은 샷 목록 상의 각 픽셀에 수반되는 메타-정보를 포함한다. 예를 들어, 열(952)로 도시된 바와 같이, 샷 목록 상의 각 픽셀은, 좌측으로부터 우측으로의 스캔 동안(이 예에서는 "1"의 값) 또는 우측으로부터 좌측으로의 스캔 동안(이 예에서는 "0"의 값) 이 픽셀이 스캐너에 의해 샷되어야 하는지를 식별하는 플래그와 연관될 수 있다. 다른 예로서, 열(954)로 도시된 바와 같이, 샷 목록 상의 각 픽셀은 이 픽셀이 라이브 웨이포인트(live waypoint)에 대응하거나 또는 실제 발사 명령에 대응하는지 여부를 식별하는 플래그와 연관될 수 있다. 픽셀이 실제 발사 명령 픽셀로 플래그되면 이것은 레이저 소스가 이 픽셀에서 레이저 레이더 펄스를 발사한다는 것을 의미한다. 픽셀이 라이브 웨이포인트로 플래그되면 이것은 스캐너가 이 픽셀을 타겟으로 하기 위해 이 픽셀을 스캔하지만 레이저 소스는 이 픽셀을 향해 레이저 레이더 펄스를 발사하지는 않는다는 것을 의미한다. 라

이브 웨이포인트를 사용하면 일부 상황에서 (예를 들어, 일정한 섬유 레이저 펌프 소스가 사용될 때) 유리할 수 있다. 이 예에서, 열(954)에서 "1"의 값은 실제 발사 명령을 식별하는 역할을 한다. 다른 예로서, 열(956)로 도시된 바와 같이, 샷 목록 상의 각 픽셀은 레이저 레이더 펄스에 대한 특정 펄스 패턴에 대응하는 코드와 관련될 수 있다. 다른 펄스 패턴의 예는 아래에 설명되어 있다. 또 다른 예로서, 열(958)로 도시된 바와 같이, 샷 목록 상의 각 픽셀은 라인간 스킵(라인간 우회를 포함할 수도 있음)이 샷 목록 상의 그 다음 픽셀을 타깃으로 하는데 요구되었는지 여부를 식별하는 플래그로 식별될 수 있다. 이 예에서 "1"의 값은 샷 목록에서 그 다음 픽셀을 타깃으로 하는데 라인간 스킵이 요구되었다는 것을 식별할 수 있다.

[0154] 도 9f의 예에서, 레인지 포인트 목록으로부터 샷 목록으로 변환시에 라인간 스킵과 라인간 우회를 사용하면, 샷 목록 상의 픽셀을 슈팅하는데 스캐너에 의해 한번 더 적은 패스가 요구된다는 것을 알 수 있다. 스캔 패스가 이렇게 줄어들면 시스템에서 더 높은 프레임 속도를 지원할 수 있다.

[0155] 예시적인 빔 스캐너 제어기(308):

[0156] 도 10은 샷 목록이 라인간 스킵과 라인간 우회를 포함하는 경우에 이중 MEMS 미러(500/502)를 구동하는 것과 관련하여 사용될 수 있는 빔 스캐너 제어기(308)에 대한 예시적인 실시예를 나타낸다. 가속을 제공하기 위해, 빔 스캐너 제어기(308)는 도 10과 관련하여 도시된 바와 같이 로직이 배치된 FPGA(field programmable gate array)의 형태를 취할 수 있다. FPGA의 재구성 가능한 하드웨어 로직에 의해 지원되는 병렬 처리를 이용함으로써, 빔 스캐너 제어기(308)는 가속된 방식으로 동작할 수 있다. 그러나, 마이크로프로세서, ASIC 등을 포함하지 않으면 국한되지 않는, 빔 스캐너 제어기를 위한 다른 플랫폼이 사용될 수 있다.

[0157] 도 10의 예시적인 실시예에서, 빔 스캐너 제어기는 FIFO2를 통해 입력으로서 레인지 포인트 목록(240)을 수신한다. FIFO1은 발사 명령 및 각 발사 명령에 대해 관련된 펄스 패턴들을 저장하는 데 사용될 수 있다. 펄스 패턴들은 상이한 펄스 패턴들에 순환 기능을 제공하여 반사된 레이저 레이더 펄스를 수신할 수 있는 레이저 레이더 수신기 부분에서 간섭 또는 모호함의 위험을 줄이기 위해 FIFO1에서 순서화될 수 있다.

[0158] 도 10의 구성 요소(1000)는 도 2a의 단계(204)(예를 들어, 라인간 스킵과 라인간 우회를 모두 포함하는 도 9b의 공정 흐름)를 수행하도록 구성될 수 있다. 구성 요소(1000)는 도 9f에 도시된 바와 같이 제어 메타데이터와 쌍을 이루는 샷 목록, 및 각 픽셀에 사용될 펄스 패턴을 출력할 수 있다. 그러나, 다시 한번, 레인지 포인트 목록을 샷 목록으로 변환하는 것은 프로세서(120)에 의해 수행될 수 있고 이 경우 FIFO2에 대한 입력은 레인지 포인트 목록이 아니라 샷 목록일 수 있음을 이해해야 한다.

[0159] 제어기(308)는 스캐너에 의해 타깃화하고 레이저 소스에 의해 발사하기 위해 시퀀스로 샷 목록으로부터 각 픽셀 (현재 열, 행)을 판독할 수 있다. 룩업 테이블(Lookup Table: LUT)을 사용하여 샷 목록 상의 픽셀에 대한 각 x-축 값과 y-축 값을 이러한 픽셀을 타깃으로 하는데 필요한 미러 스캔 위치에 대응하는 디지털 값으로 변환할 수 있다.

[0160] 이 예에서 사인 곡선 궤적에 따라 공진 모드에서 고속 축으로서 동작하는 X-축에 대해, 열 LUT 값은 스캔 미러의 궤적 내의 픽셀에 대해 적절한 시간 슬롯을 식별하는데 사용될 수 있다.

[0161] 이 예에서 포인트-투-포인트 모드에서 저속 축으로서 동작하는 Y-축에 대해, 행 LUT 값은 Y-축 미러를 원하는 스캔 위치로 구동하는데 요구되는 전압을 식별하는데 사용될 수 있다. 설명된 바와 같이 페루프 피드백 제어를 사용하여 Y-축 위치를 정밀 제어할 수 있다. Y-축 구동 전압을 생성하는 것은 행 LUT 및 페루프 피드백에 기초할 수 있다. 이 전압 값을 디지털-아날로그 변환기(DAC)에 공급하여 Y-축 구동 전압 파형을 생성할 수 있다.

[0162] 사인 곡선의 X-축 파형의 소스로 클럭이 사용될 수 있다. 예로서, 클럭 주파수는 50 내지 100 MHz 범위에 있을 수 있다. 그러나, 다른 클럭 주파수들이 사용될 수 있음을 이해해야 한다. 공진 X-축 미러의 X-축 위치를 추적하려면 클럭 신호가 사인 곡선에 따라 변조될 때 카운팅 메커니즘을 사용하여 X-축 위치를 추적할 수 있다. 예를 들어 X-축 공간이 3226개의 위치로 분할되면 카운터는 사인파(sine wave)의 절반 주기 동안 0에서 3225의 값을 순환하며 X-축 위치를 추적할 수 있다. 각 카운터 값은 일반적으로 Y-축을 따라 주어진 위치에 대한 시간 슬롯에 대응한다. 또한, 신호의 사인 곡선의 성질을 고려하면, 이들 시간 슬롯은 균등하게 이격되지 않을 수 있는 것임을 이해해야 한다.

[0163] 이 카운터 값은 X-축 미러가 현재 픽셀의 열 위치에서 타깃에 있는지 여부를 판단하기 위해 현재 픽셀에 대한 열 LUT 값(및 좌측으로부터 우측으로의 (L2R) 플래그)과 비교될 수 있다. 미러의 X-축 위치가 타깃될 현재 픽셀의 X-축 위치에 대응하고 미러의 Y-축 위치가 현재 픽셀의 Y-축 위치에 대응하는 적절한 시간에 레이저 구동기에 레이저 트리거 신호가 제공될 수 있다. 예시적인 실시예에서, 레이저 트리거는 타깃화된 픽셀에 대한 사인

곡선의 X-축 시간 슬롯의 중간에서 발생하도록 타이밍될 수 있다.

- [0164] 레이저 구동기는 이 레이저 트리거 신호에 응답하여 이 픽셀과 관련된 펄스 패턴에 따라 타깃화된 픽셀을 향해 레이저 레이더 펄스를 발사하도록 레이저를 구동할 수 있다. 레이저 구동기는 또한 레이저에 원하는 펄프 변조를 제공할 수 있다.
- [0165] 또한 Hsync 신호를 빔 스캐너 제어기에서 사용하여 각 행의 영점이 어디에 있는지를 식별할 수 있으며 이에 의해 Y-축 전이를 용이하게 제공할 수 있다.
- [0166] *추가적인 빔 스캐너 실시예:*
- [0167] 전술한 바와 같이, 빔 스캐너(304)에 대한 추가적인 예시적인 실시예는 회전 다각형 미러(도 11a 내지 도 11g 참조)와 결합하여 MEMS 미러를 사용할 수 있다. 이러한 다각형 미러는 약 2kHz 내지 약 10kHz 범위의 속도로 회전할 수 있다. 그러나 다른 값도 사용될 수 있으므로 이것이 반드시 그런 것은 아니다. 예를 들어, 추가적인 예시적인 실시예에서, N-면 회전 다각형 미러는 그 회전 주파수에 N을 곱한 것이 MEMS 미러에 대한 공진 주파수보다 약 10 배 내지 18 배 더 빠른 속도로 회전할 수 있다. 따라서, MEMS 미러가 약 2kHz의 최대 대역폭에 가깝게 동작하고, 회전 다각형 미러가 4면을 갖는다면, 다각형 미러의 회전 속도(spin rate)는 약 2.5kHz 내지 약 4.5kHz의 범위일 수 있다. 다른 비율도 또한 사용될 수 있음을 이해해야 한다. 예시의 용이함을 위해, 회전 다각형의 일부는 도 11a 내지 도 11g에 원으로 도시되어 있다. 이러한 배열의 일례는 이러한 빔 스캐너(304)의 상면도와 사시도를 모두 포함하는 도 11a에 도시된다. 이 예에서, 단일 타깃용 레이저 소스(300)가 사용된다. MEMS 미러(1100)는 Y-축, 저속 축 미러인 반면, 회전 다각형 미러(1102)는 X-축, 고속 축 미러이다. 회전 다각형 미러(1102)는 레이저 소스(300)로부터 입사하는 레이저 펄스(뿐만 아니라 피드백 제어를 위해 정렬 레이저(650)로부터 오는 정렬 레이저 빔 - 도 6c 참조)를 수신하도록 위치된다. 회전 다각형 미러(1102)는 회전 방향(1104)으로 도시된 바와 같이 회전하고, 이 회전 다각형 미러는 수신된 레이저 펄스를 Y-축 MEMS 미러(1100)로 지향시키고, 이 Y-축 MEMS 미러는 레이저 펄스를 도 11b에 도시된 스캔 영역 내 원하는 위치로 반사시킨다.
- [0168] 나아가, 단일 스캐너에 대해 도 11a에 도시된 일반적인 배열은 또한 도 11b에 도시된 바와 같이 2중 스캐너로서 기능하기 위해 2개의 레이저(300)를 사용할 수 있다. 도 11b는 2개의 Y-축 MEMS 미러(1100)와 단일 공유된 회전 다각형 미러(1102)를 사용하는 2중 스캐너의 사시도와 상면도를 도시한다. 개별적으로 위치된 레이저(300)는 레이저 펄스(1110 및 1112)를 회전 다각형 미러(1102)로 지향시킬 수 있고 이에 의해 빔 스캐너는 2개의 타깃으로 향하는 레이저 레이더 펄스를 생성할 수 있다.
- [0169] 도 11c는 이러한 일반적인 배열이 3중 스캐너, 4중 스캐너 및 N중 스캐너를 포함하는 예시적인 실시예에서 추가적인 타깃용 레이저를 지원할 수 있는 방식을 도시하며, 여기서 N은 상이한 위치로부터 회전 다각형을 레이징하는 상이한 레이저(300)를 위치시키는 공간 이용가능성에 의해 효과적으로 제한된다. 예를 들어, N은 아래에 설명된 바와 같이 실무자의 요구에 따라 4 내지 16(또는 그 이상)의 값에 이를 수 있다.
- [0170] 도 11d는 도 11a에 도시된 육각형의 예에 더하여 정사각형과 팔각형을 포함하는 예에서, 회전 다각형 미러(1102)로 사용될 수 있는 상이한 다각형의 예를 도시한다. 나아가, N-면 다각형이 미러(1102)에 사용될 수 있는데, 여기서 N은 예를 들어 Y-축 또는 보조 미러의 크기, 시야각(view angle), 및 다각형의 직경과 같은 파라미터에 의해 제약을 받는다.
- [0171] 도 11e는 육각형 회전 다각형 미러와 4개의 MEMS 미러를 사용하는 빔 스캐너의 상면도이다. 이 예는 약 110도의 4개의 스캔 필드를 지원한다. 그러나, 약 20도 내지 180도의 최대 N개의 독립적인 스캔 필드가 지원될 수 있다. 5kHz에서 4-면 미러가 회전하는 것은 20kHz의 가능한 행 속도가 지원될 수 있다는 것을 의미하지만, Y-축이 행들 사이를 단계적으로 내려가는데 시간이 요구되므로 실제 행 속도는 더 낮은 값(예를 들어, 약 10kHz)일 수 있다는 것을 이해해야 한다. 일반적으로 회전 다각형 미러의 면의 수가 늘어나면 스캔 필드가 더 낮아지는 것을 의미하고, 여기서 스캔 필드의 수는 다각형 직경과 Y-축 크기에 의해 더 결정되지만 Y-축의 크기와 속도는 또한 다각형 면의 수와 스캔 필드의 수 및 스캔 필드 크기 간의 관계에도 영향을 미칠 수 있다. 더 나아가, 스캔 필드는 도 11f에 도시된 바와 같이 대칭 각도 또는 비대칭 각도를 나타낼 수 있고, 여기서 대칭 각도 또는 비대칭 각도 사이의 선택은 하나의 스캔 필드 대 다른 스캔 필드 중 더 높은 해상도를 요구하는 것에 의해 수행될 수 있다.
- [0172] 도 11g는 예를 들어 자동차가 지면과 수평선뿐만 아니라 하늘의 일부를 볼 수 있도록 수직 시야(field of view: FOV)를 틸팅(tilting)시키는 여러 가지 방법을 보여준다. 이것은 회전 다각형 미러마다 스캔 필드가 두 개 이상 있을 때 문제가 될 수 있다.

- [0173] 도 12a 및 도 12b는 레이저 레이더 펄스를 전송할 때 레이저 소스에 의해 사용될 수 있는 레이저 펄스 인코딩 패턴의 예를 도시한다. 이러한 인코딩 패턴은 개별 레인지 포인트를 타깃으로 하는 레이저 레이더 펄스에 적용될 수 있는 강도 변조 방식(intensity modulation scheme)의 유형이다. 이러한 인코딩 패턴을 사용하면 간섭을 감소시키고 및/또는 동적 레인지를 증가시켜 더 나은 정확도를 얻는 것을 도울 수 있다. 레이저 레이더 펄스는 간단한 코드 없는 단일 펄스 또는 펄스 버스트(pulse burst)로부터 복잡한 N-코드 펄스 버스트에 이르기까지, 비대칭 진폭 변조(amplitude modulation: AM) 버스트에 이르기까지 다양할 수 있다.
- [0174] 예를 들어, 도 12a는 펄스 위치 변조(pulse position modulation: PPM)의 예이다. PPM에 의한 레이저 레이더 펄스의 예는 약 0.1 내지 약 10 ns의 펄스 폭을 가질 수 있고, 펄스 위치 변조(PPM)는 펄스들 간에 사용될 수 있다. 예로서, 3개 내지 N개의 펄스가 사용될 수 있으며, 이 펄스는 약 1 내지 10 ns 떨어져 있다. 이 값은 단지 예시적인 것일 뿐이라는 것을 이해해야 한다. PPM을 사용하면 다수의 레인지 요청이 동시에 공중에 존재할 수 있다. 따라서, 스캔 레이저 레이더 전송 시스템에 의해 근 연속적으로 발사된 다수의 변조된 펄스들이 동시에 공중에 있을 수 있고, 수신기는 복조를 통해 변조된 펄스의 반사파를 의미 있게 해석할 수 있다. 예를 들어, 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은 레이저 레이더 펄스를 생성하기 위해 2개(또는 그 이상)의 레이저를 사용할 수 있으며, 여기서 이 레이저 레이더 펄스는 PPM을 통해 서로에 대해 펄스 변조된다. 레이저 2가 PPM 펄스를 발사하는 것과 근 연속적으로 서로 간섭함이 없이 레이저 1은 PPM 펄스를 발사할 수 있다. 레이저 2가 발사하는 동안 레이저 1이 재충전될 (또는 그 반대일) 수 있기 때문에, 이러한 배열에 의해 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은 보다 낮은 유효 최소 펄스 대 펄스 시간을 사용할 수 있다. 또한 PPM은 다수의 레이저 레이더 시스템과 공동 위치에 있는 것으로부터 간섭하는 것을 방지하는 버퍼를 제공한다. 따라서, 전송기 1(예를 들어, 차량 1에 배치됨)이 전송기 2(예를 들어, 차량 2에 배치됨)에 매우 근접한 경우 두 스캔 레이저 레이더 전송기는 이 둘 사이에 광학적 간섭이 거의 없거나 또는 전혀 없는 방식으로 레이저 레이더 펄스를 발사할 수 있다. PPM을 사용하면 신호 대 잡음비(SNR)를 줄일 수도 있다. 도 12a는 N개의 펄스가 사용되는 PPM의 예시적인 일반화를 도시한다. 제1 펄스는 항상 거기에 존재하므로 N-1개의 펄스의 임의의 조합이 제1 펄스 이후에 위치될 수 있다. 또한 도 12a는 PPM의 일부 예시적인 기본 패턴을 도시한다.
- [0175] 또한 PPM과 유사한 목적을 위해 강도 변조(intensity modulation)가 사용될 수 있다. 예를 들어, 다수의 호출 응답(interrogation)이 복조 기술을 통해 나중에 분리될 수 있기 때문에 강도 변조는 또한 다수의 호출 응답을 동시에 전송할 수 있게 한다. 강도 변조는 또한 서로 매우 가까이에 있는 다수의 레이저 레이더 전송기를 사용하는 것으로부터 발생할 수 있는 광학적 간섭을 줄이거나 제거할 수 있다. 나아가, 강도 변조는 스캔 레이저 레이더 전송 시스템의 동적 레인지를 증가시킬 수 있으며, 이로 인해 레인지 정밀도가 향상된다.
- [0176] 강도 변조의 예로서, 도 12b는 짧은 비대칭 진폭 변조(AM) 펄스 버스트에 대한 기본 패턴의 예를 도시한다. 레이저 레이더 펄스는 다른 비율로 다른 진폭을 가질 수 있다. 짧은 비대칭 AM 펄스 버스트는 동적 레인지의 증가를 제공한다(즉, 신호는 적절히 검출되도록 허용가능한 강도 범위 내에 유지되어, 레인지 정보가 더 정확히 검출될 수 있다). AM 펄스 버스트에 대한 예시적인 레이저 레이더 펄스는 약 0.1 내지 약 10 ns의 펄스폭을 가질 수 있으며, 여기서 버스트에는 약 2개 내지 약 10개의 펄스들이 포함되고, 이 펄스들은 약 1 ns 내지 약 10 ns 떨어져 있다. 언급된 바와 같이, AM은 개별 펄스들을 구별하는 데 사용될 수 있다. 이들 값은 단지 예시적인 것임을 이해해야 한다. 또한, AM에 더하여 PPM이 사용될 수 있음을 이해해야 한다.
- [0177] 나아가, 편광 변조, 코히어런트 결합(coherent combining)을 이용한 위상 변조, 또는 심지어 상이한 컬러를 갖는 추가적인 레이저의 사용을 포함하지만 이에 국한되지 않는 추가적인 또는 대안적인 기술이 간섭을 감소시키고 잠재적인 모호성을 해결하기 위해 사용될 수 있음을 이해해야 한다. 각각의 추가적인 또는 대안적인 기술은 시스템에 사용하는데 고유 트레이드오프를 제공할 수 있다. 예를 들어, 서로 다른 색상의 두 레이저를 사용하면 (하나의 레이저가 재-충전될 수 있는 동안 다른 레이저는 발사할 수 있고 또는 이에 의해 2개의 동시 수신된 펄스들이 수신기에 의해 복조될 수 있으므로) 샷 목록에 대해 더 낮은 최소 펄스 대 펄스 시간을 사용할 수 있는 장점을 제공할 수 있다.
- [0178] *레인지 포인트 다운 선택을 위한 추가적인 실시예*
- [0179] 본 명세서에 설명된 동적 레인지 포인트 선택 기술은 또한 레이저 레이더 기술의 개선을 다른 방식으로 수행하는데 사용될 수 있음을 이해해야 한다.
- [0180] 예를 들어, 동적 레인지 포인트 선택 기술은 사전-스캔 도구가 아닌 사후-스캔 압축 도구로 사용될 수 있다. 즉, 전송된 레이저 레이더 펄스에 의해 타깃으로 되는 레인지 포인트의 수를 제한하기 위해 본 명세서에 설명된 동적 레인지 포인트 선택 기술을 사용하기보다는, 동적 레인지 포인트 선택 기술은 고용량 레이저 레이더 포인

트 클라우드에서 압축 도구로 사용될 수 있다 .

[0181] 예를 들어, 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은 (전술한 실시예와 관련하여 설명된 스파스 어레이와는 달리) 레인지 포인트의 전체 어레이를 슈팅하는데 사용될 수 있다. 이에 의해 많은 양의 레인지 포인트를 갖는 포인트 클라우드가 생성된다. 그 후, 도 2c 및 도 2d와 관련하여 설명된 것과 같은 사후-스캔, 동적 레인지 포인트 선택 기술을 수행하여 압축된 포인트 클라우드를 위해 유지되어야 하는 레인지 포인트가 어느 것인지를 선택할 수 있다. 이러한 사후-스캔 압축은 레인지 포인트의 사전-스캔을 다운 선택하는 것에 의해 나타나는 프레임 속도 또는 펄스 에너지의 향상을 누리지는 못하지만 압축된 포인트 클라우드는 고유 장점을 제공할 수 있음을 이해해야 한다. 예를 들어 대역폭에 민감한 채널을 통해 포인트 클라우드를 전달해야 하는 상황에서는 지능형으로 압축된 포인트 클라우드가 유리하다.

[0182] 포인트 클라우드에 대한 압축 도구로서 동적 레인지 포인트 선택 기법을 사용하면 일반적으로 매우 많은 볼륨의 포인트를 갖는 3D 포인트 클라우드를 압축하는 데 특히 유용할 수 있다. 예로서, 3D 포인트 클라우드는 원하는 2D 투시(perspective)로 평면화(flatten)될 수 있고, 2D 포인트는 본 명세서에 설명된 기술을 사용하여 지능형 레인지 포인트로 그 서브셋을 선택하도록 분석될 수 있다. 포인트의 이 서브셋은 압축된 포인트 클라우드로 사용될 수 있다.

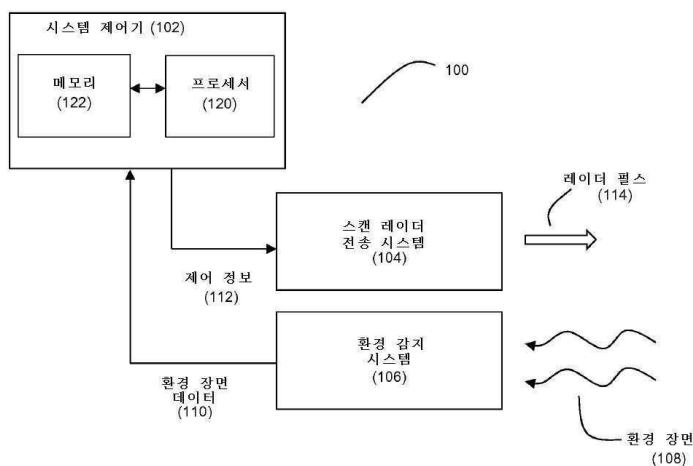
[0183] 유사하게, 도 2c 및 도 2d에 의해 설명된 것과 같은 동적 레인지 포인트 선택 기술은 플래시 레이더 전송 시스템으로부터 초래되는 포인트 클라우드를 압축하는데 사용될 수 있다.

[0184] 다른 예로서, 스캔 레이저 레이더 전송 시스템은 동적 스캔 패턴을 이용하는 것이 아니라 전통적인 그리드 스캔(classic grid scan)을 사용하여 레인지 포인트를 타깃화하는데 사용될 수 있으며, 이 동적 레인지 포인트 선택 기술은 전송기가 그리드를 통해 스캔할 때 레이저 소스가 실제로 레이저 레이더 펄스를 발사하는 레인지 포인트를 선택하는데 사용될 수 있다. 전통적인 그리드 스캔은 스캔 레이저 레이더 전송 시스템이 스캔 영역의 모든 포인트를 방문하는 고정된 스캔이다. 그러나, 레이저 소스가 타깃화된 모든 레인지 포인트에서 발사하는 것이 아니라, 도 2c 및 도 2d에 의해 설명된 것과 같은 동적 레인지 포인트 선택 기술이 레이저 레이더 전송기에 의해 선택될 수 있는 레인지 포인트를 선택하는데 사용될 수 있다. 이러한 고정된 스캔은 본 명세서에 설명된 동적 스캔 실시예에 비해 시스템의 프레임 속도 또는 펄스 에너지 면에서 거의 또는 전혀 개선을 제공하지 않지만, 전송기가 가능한 모든 레인지 포인트에서 레이저 레이더 펄스를 발사하는 것을 회피할 수 있기 때문에, 레인지 포인트를 다운-선택하면 여전히 일부 데이터 대역폭을 감소시키고 전력 관리에 혜택을 제공할 수 있다.

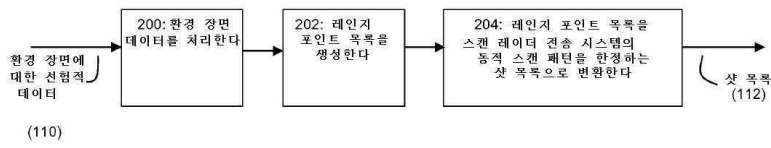
[0185] 본 발명은 예시적인 실시예와 관련하여 위에서 설명되었지만, 여전히 본 발명의 범위 내에서 본 실시예에 다양한 변형이 이루어질 수 있다. 본 발명에 대한 이러한 변형은 본 명세서의 개시 내용을 검토하면 이해될 수 있을 것이다.

도면

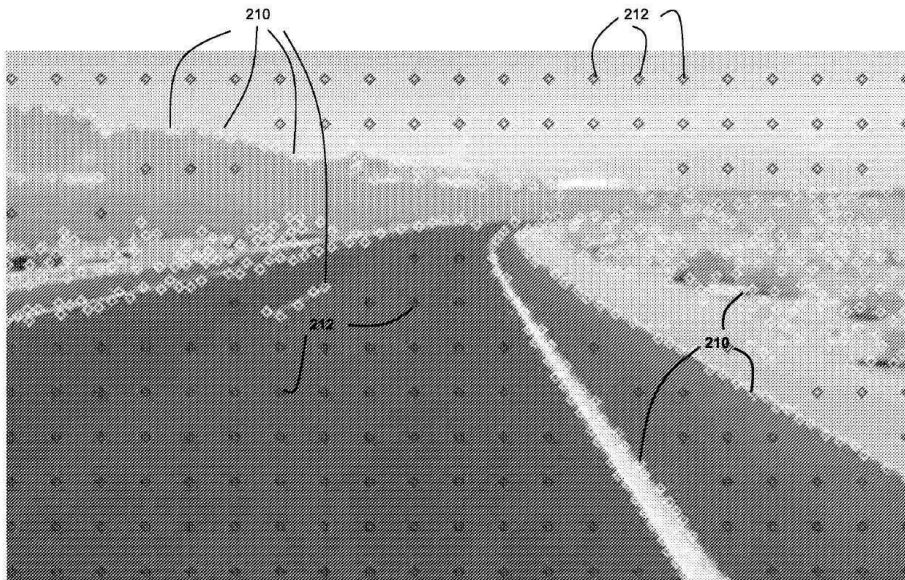
도면1



도면2a

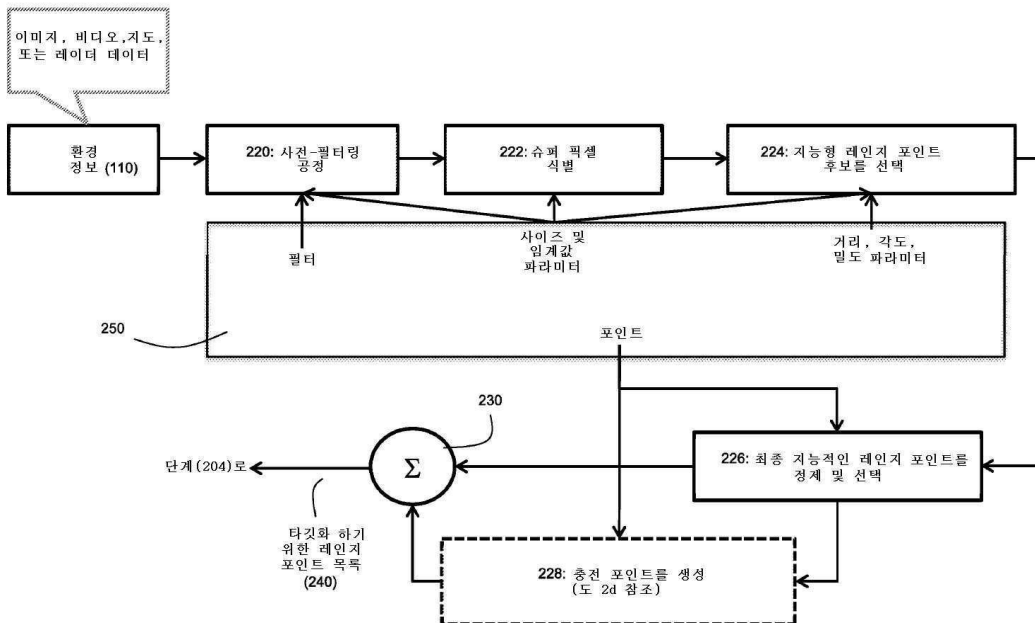


도면2b

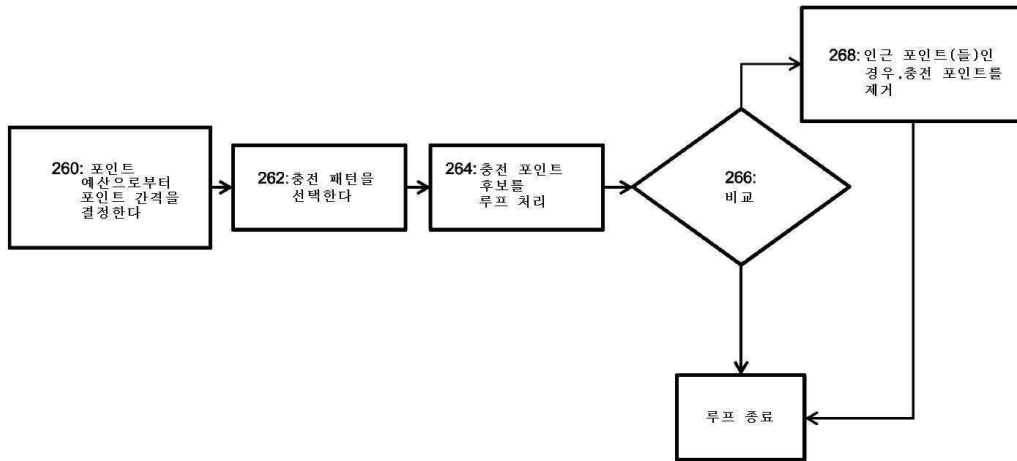


110

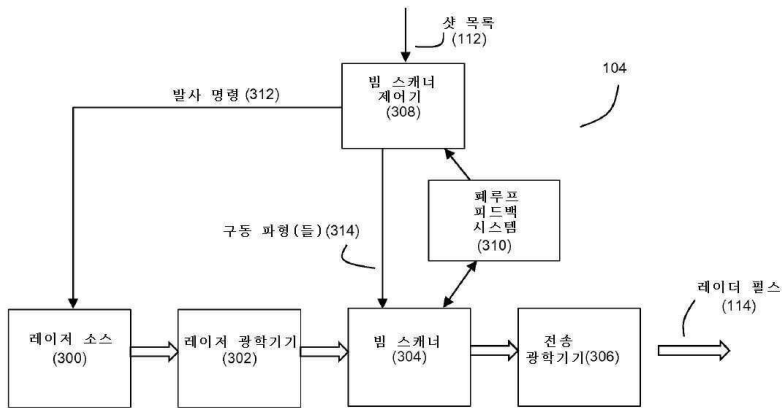
도면2c



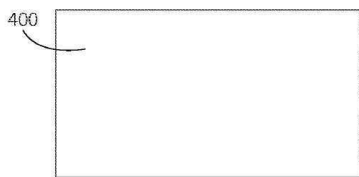
도면2d



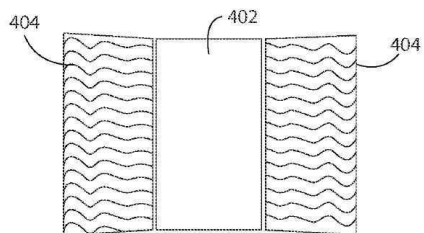
도면3



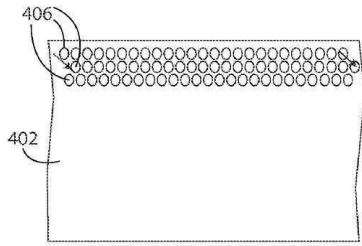
도면4a



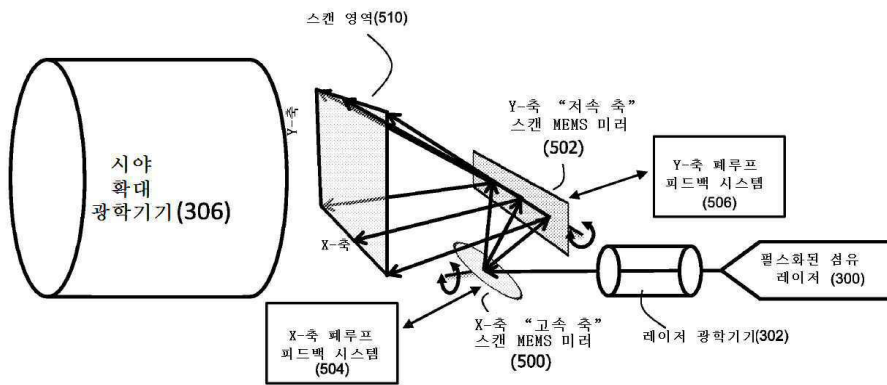
도면4b



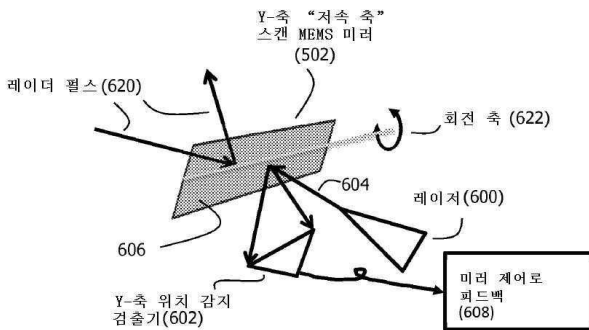
도면4c



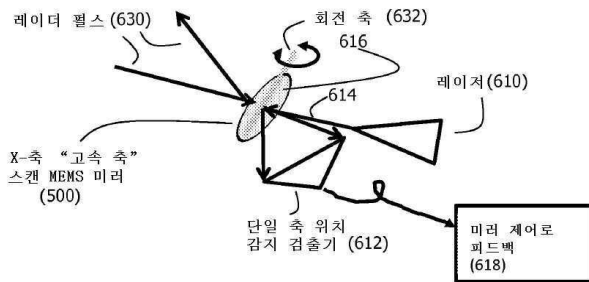
도면5



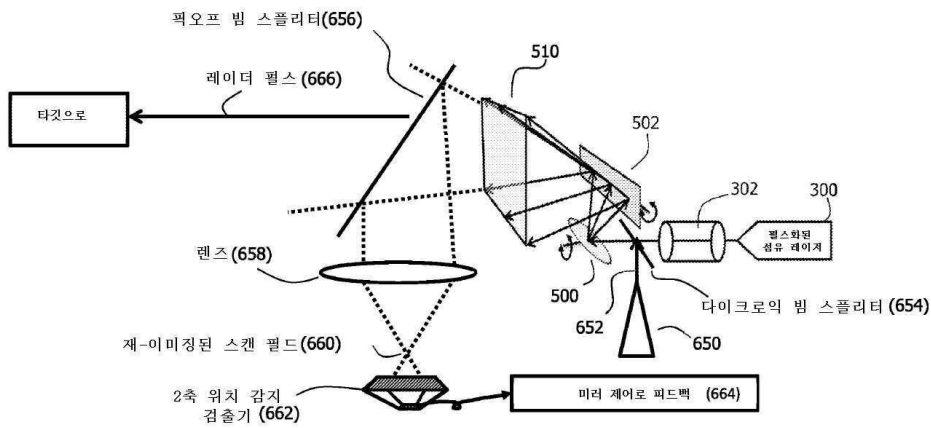
도면6a



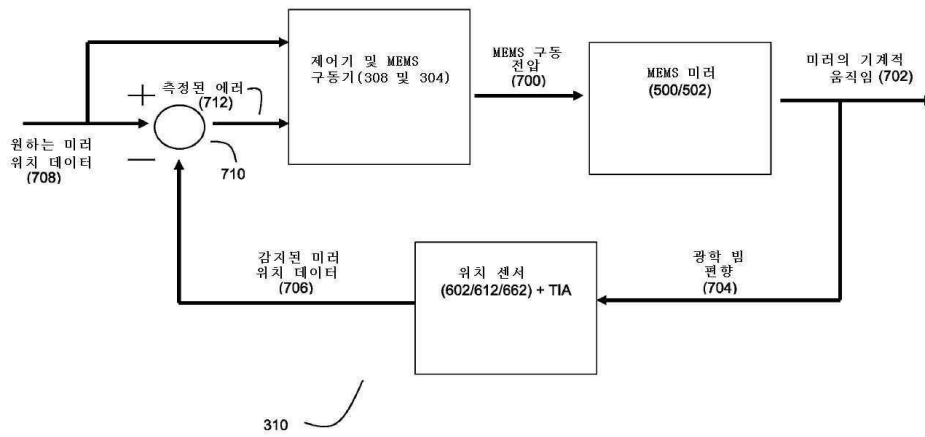
도면6b



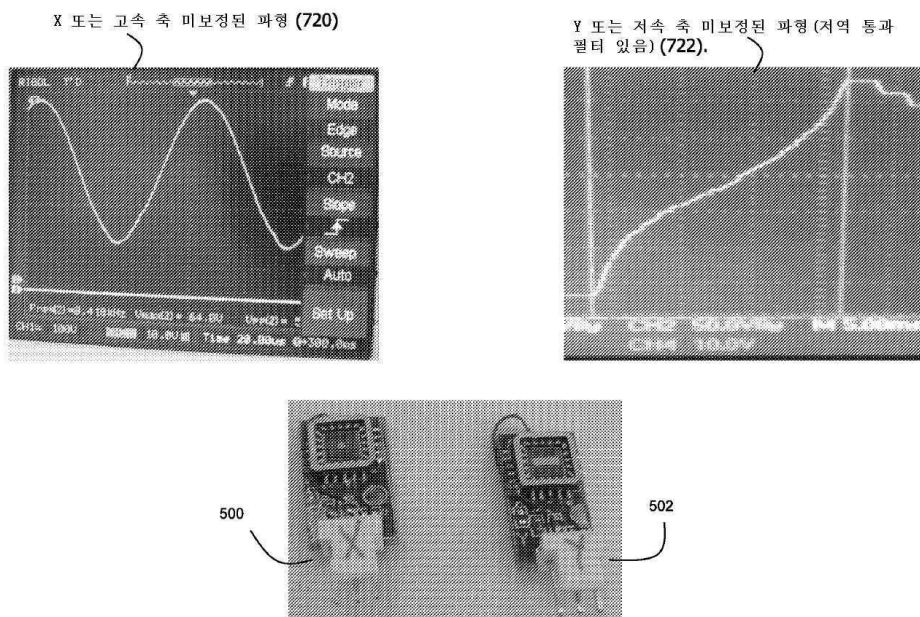
도면6c



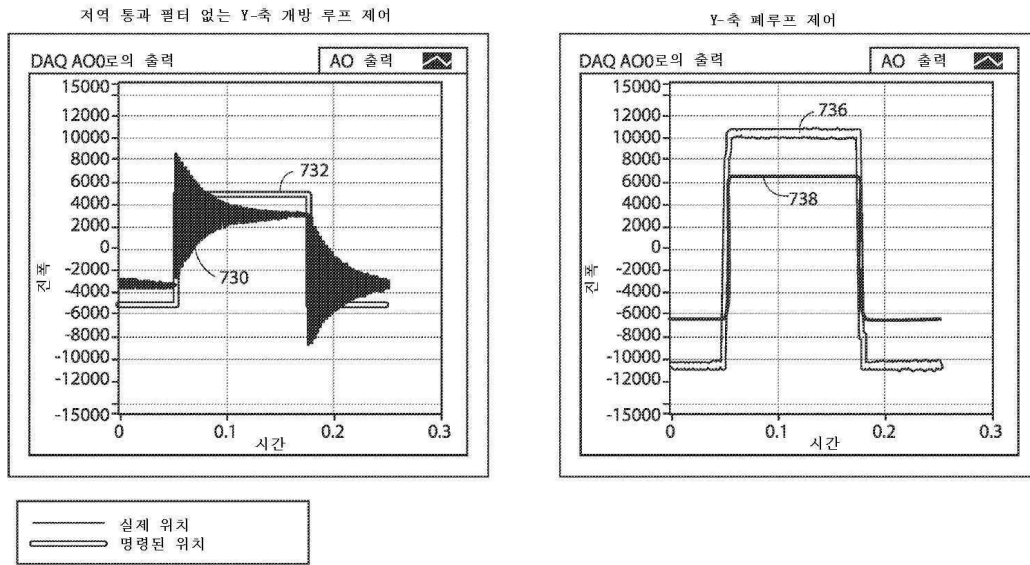
도면7a



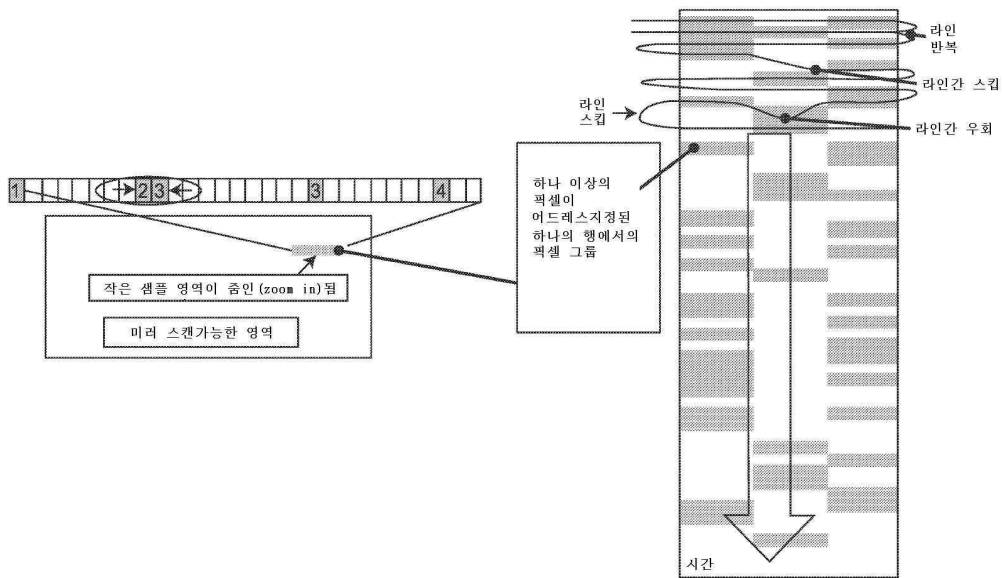
도면7b



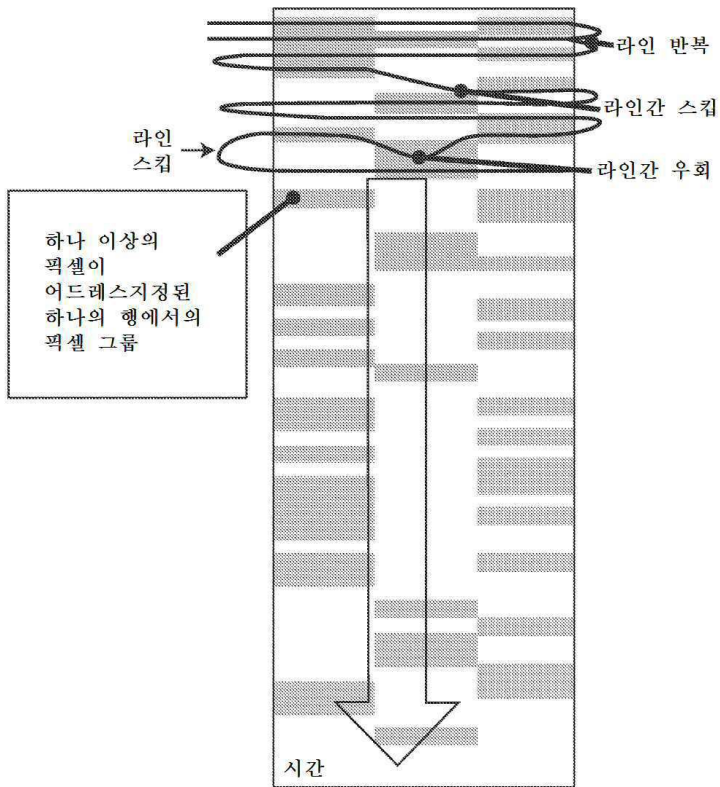
도면7c



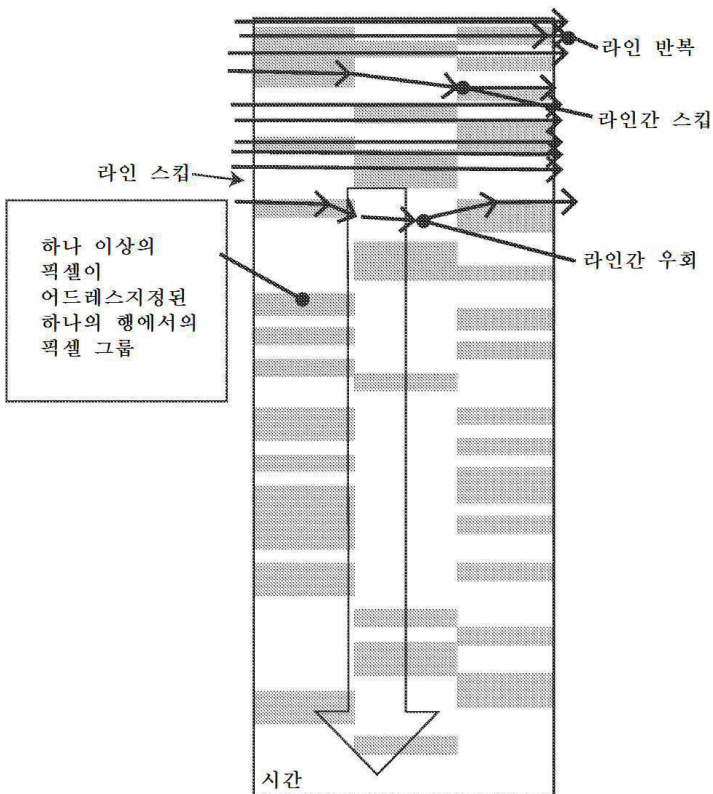
도면8a



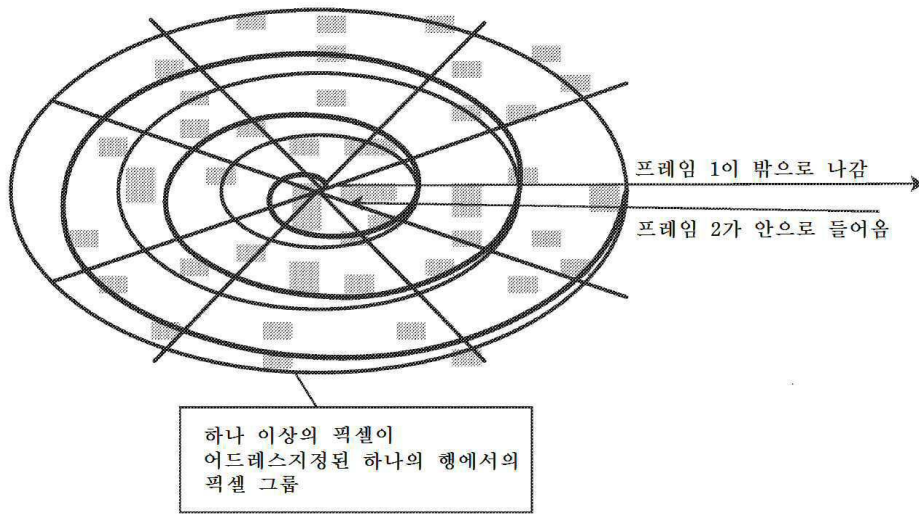
도면8b



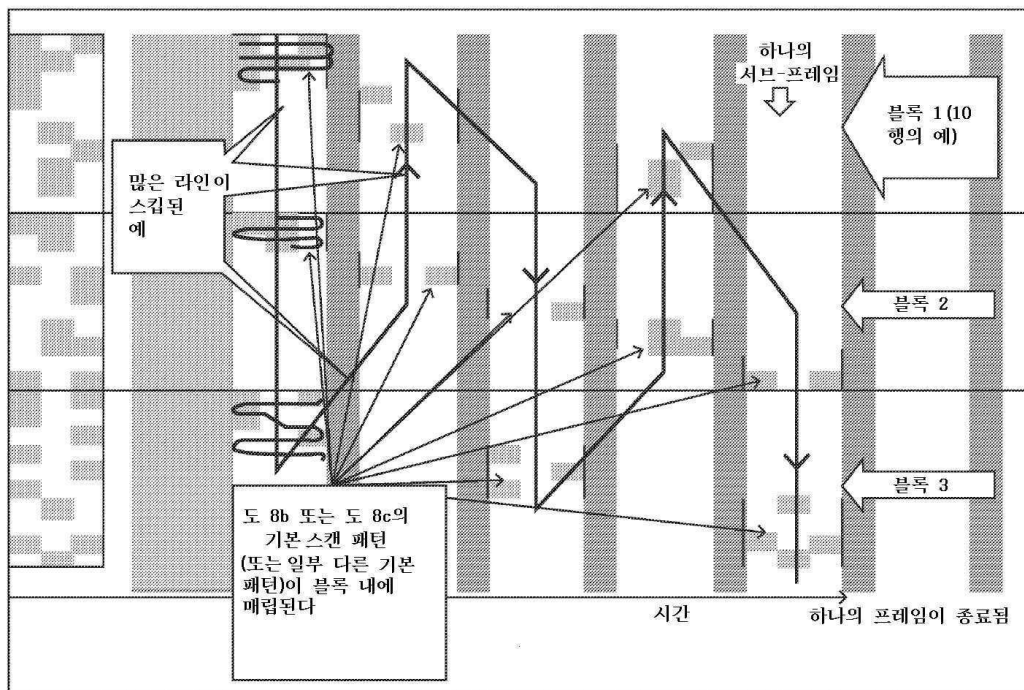
도면8c



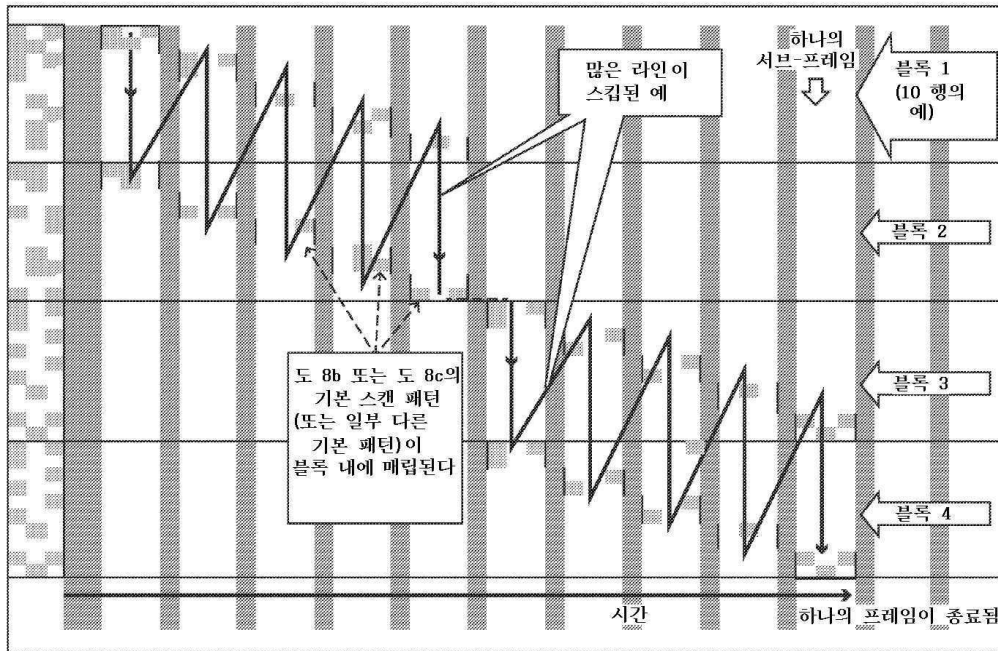
도면8d



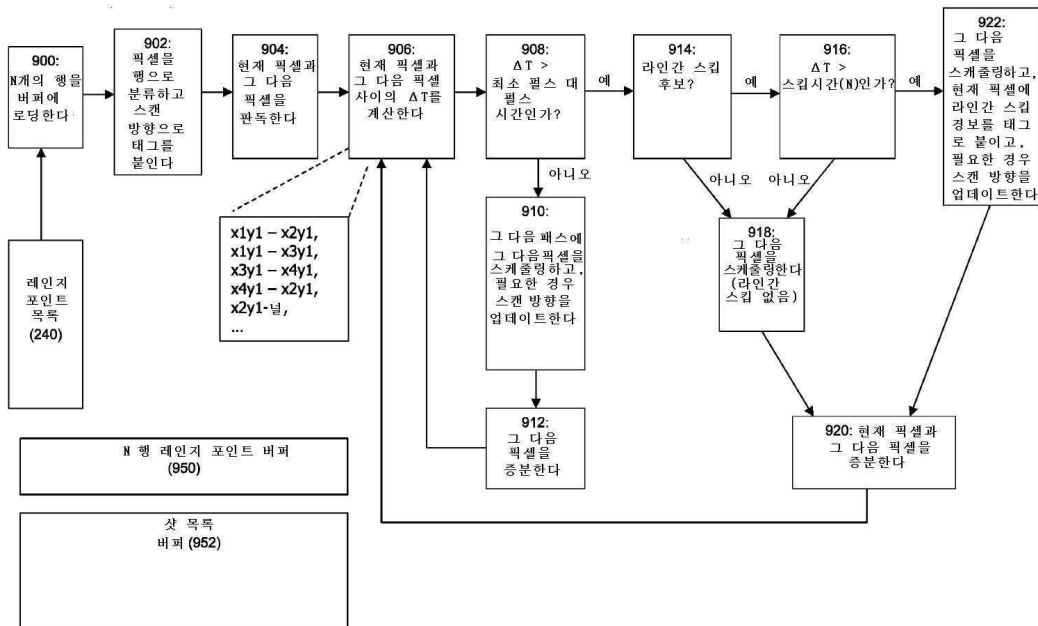
도면8e



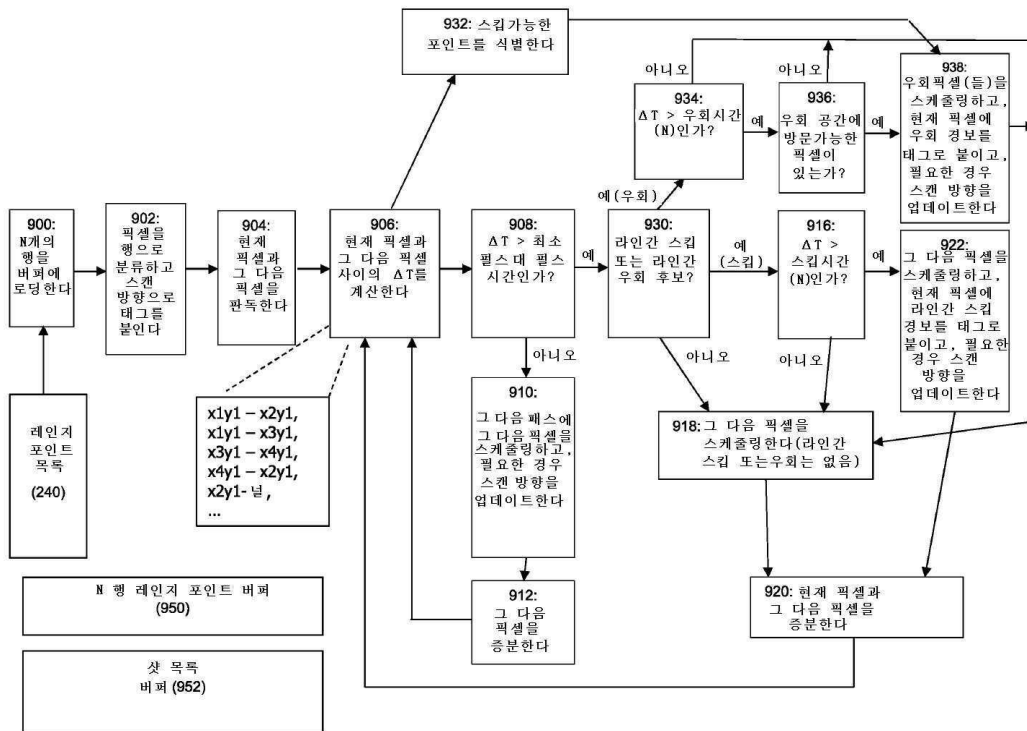
도면8f



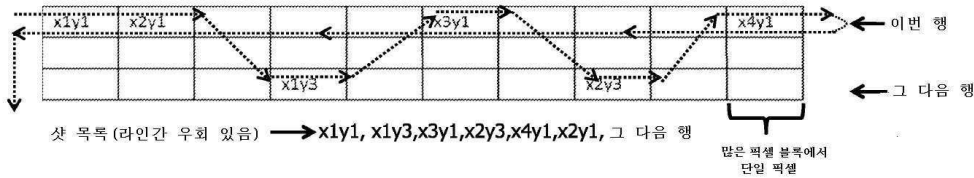
도면9a



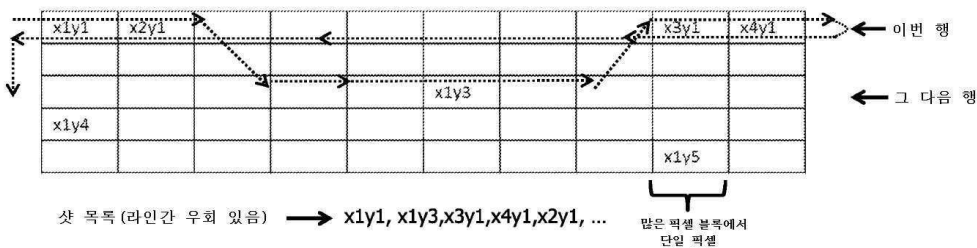
도면9b



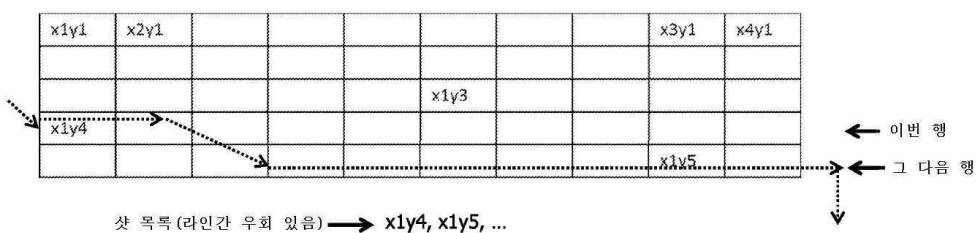
도면9c



도면9d



도면9e



도면9f

라인지포인트 목록		샷 목록		952	954	956	958
행	열	10 비트 S행	10 비트 S열	L2R	발사	펄스 패턴	스킵간
104	19	104	19	1	1	1	0
104	26	104	26	0	1	1	0
105	4	105	4	1	1	1	0
105	13	105	13	1	1	1	0
105	22	105	31	1	1	1	0
105	31	105	49	0	1	1	0
105	40	105	40	0	1	1	0
105	49	105	22	0	1	1	0
110	15	110	15	1	1	1	1
110	159	111	95	1	1	1	1
111	95	110	159	1	1	1	1
111	223	111	223	1	1	1	1

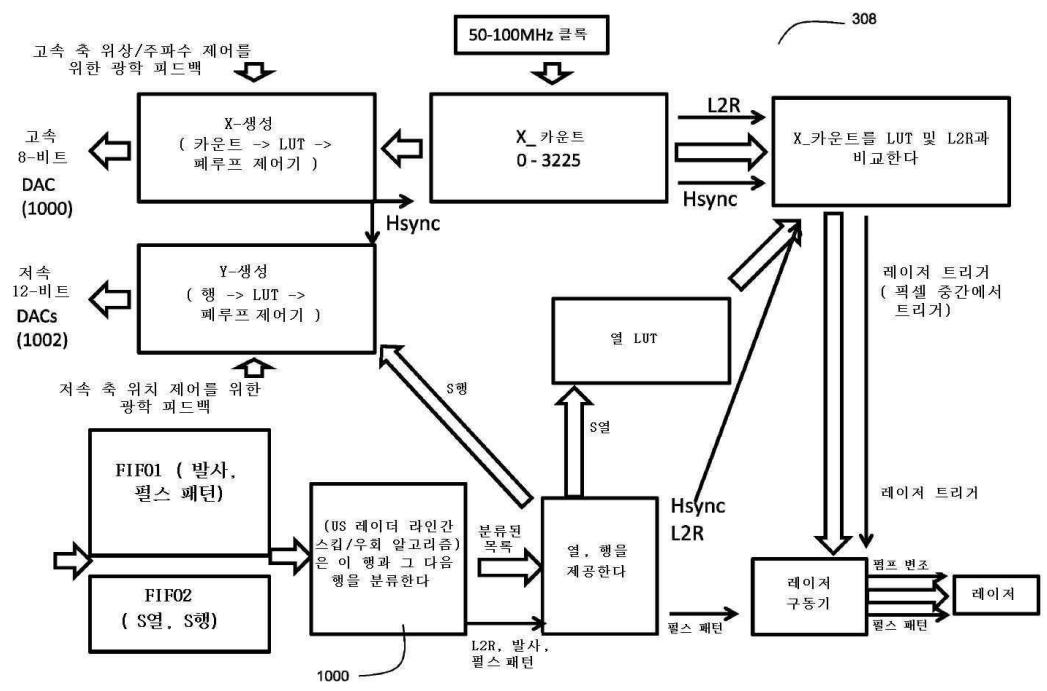
이것이 라이브 웨이포인트이거나 또는 실제 발사 명령인가?

여러 강도 변조된 코드들 중 하나의 코드

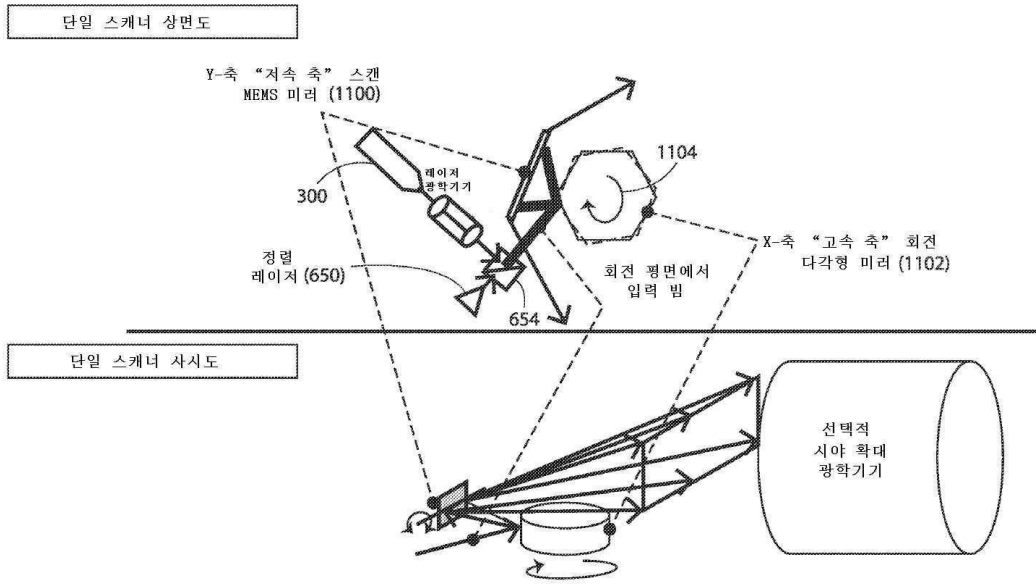
라인간 스킵이 방금 일어난 것을 시스템에 경보한다

여기서 라인간 스킵과 라인간 우회를 구현하면, 스케너에 의해 하나 더 적은 베스를 조제하고 더 빠른 프레임은 조제한다

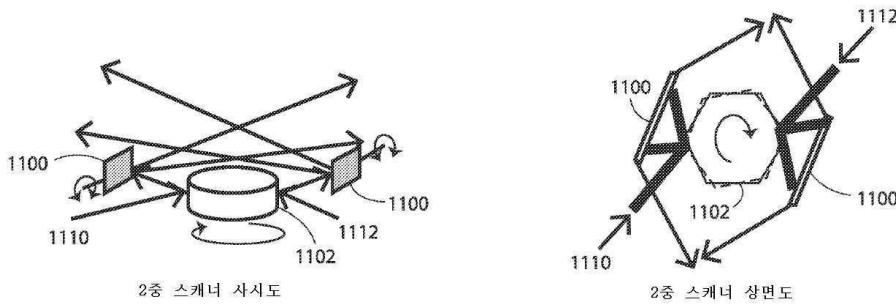
도면10



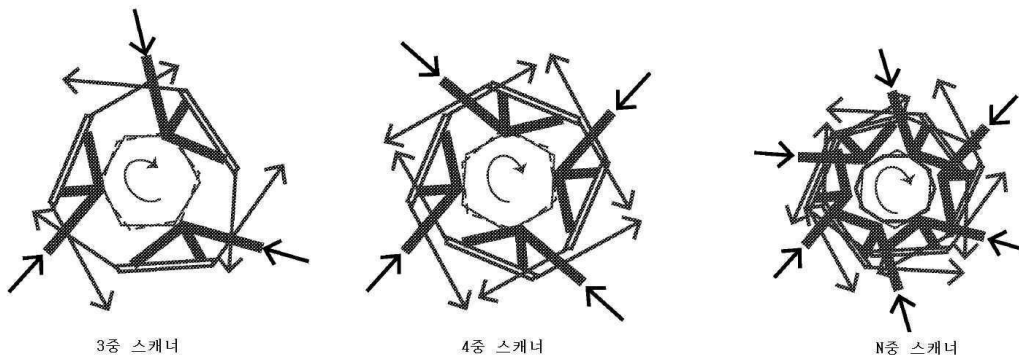
도면11a



도면11b



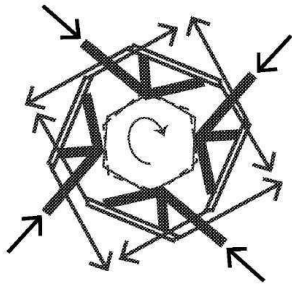
도면11c



도면11d

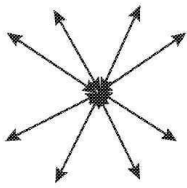


도면11e

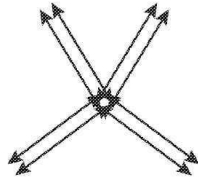


상면도:
20도 내지 180도의 N개의 독립적인 스캔 필드.
(이 예에서, 약 110도의 4개의 스캔 필드가 있다)

도면11f

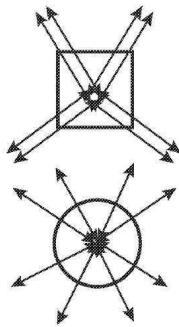
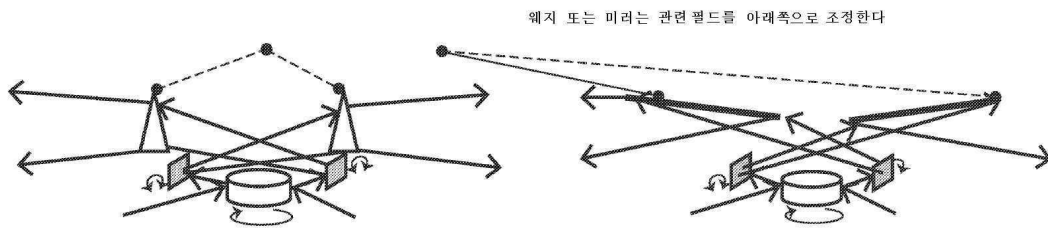


대칭 각도



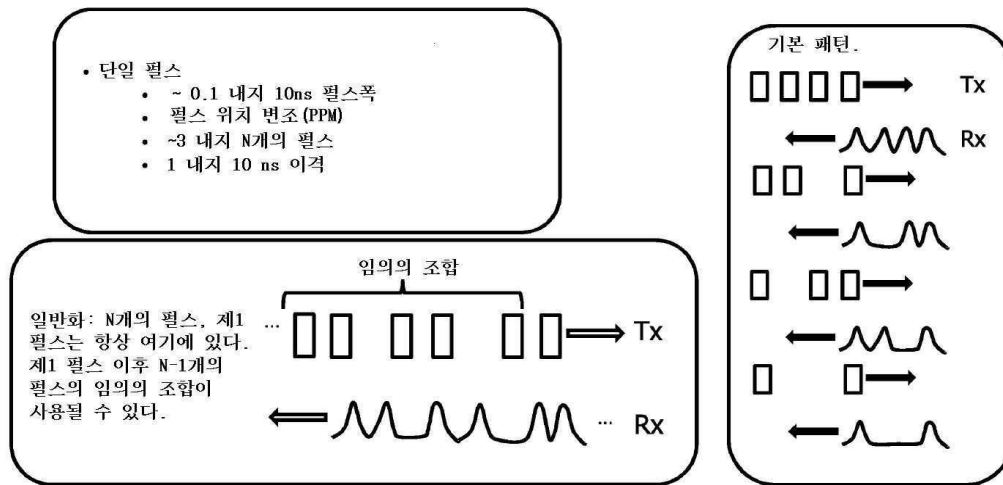
비대칭 각도 변동

도면11g



상이한 유형의 필드는
웨이 형태를 조정한다

도면12a



도면12b

