(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0090268
(43) 공개일자 2024년06월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01B 11/25 (2006.01) *G06T 5/20* (2024.01)
G06T 5/70 (2024.01) *G06T 7/521* (2017.01)
(52) CPC특허분류
G01B 11/2518 (2013.01)
G06T 5/20 (2024.01)
(21) 출원번호 10-2024-7014252
(22) 출원일자(국제) 2022년10월03일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2024년04월26일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2022/076182
(87) 국제공개번호 WO 2023/057208
국제공개일자 2023년04월13일
(30) 우선권주장
21200661.3 2021년10월04일
유럽특허청(EPO)(EP)

(71) 출원인
보셀센서스, 소시에떼 아 헤스퐁사빌리떼 리미떼
벨기에 1000 브뤼셀 칸테르스티엔 47
(72) 발명자
반 데어 템펠 바르트
벨기에 3140 케이르베르헌 피르벤스후크 19
페테르스 요하네스 빌렘
벨기에 2000 안트베어펜 부스 201 폴크스트라트 20
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
리앤목특허법인

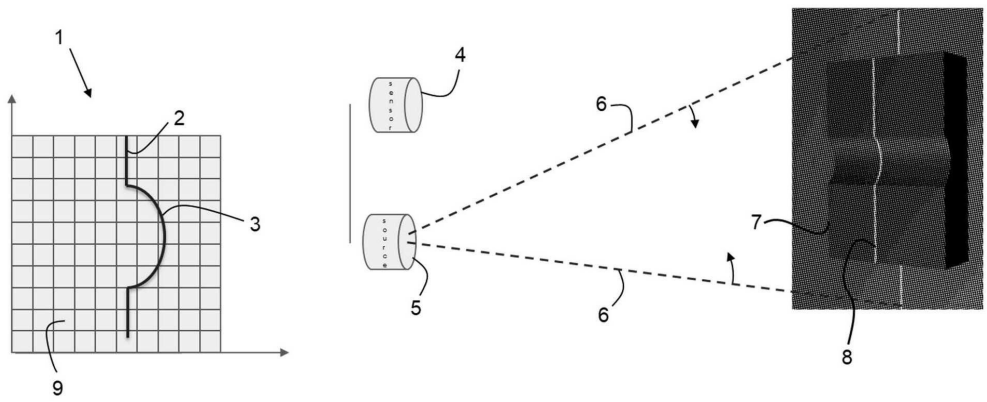
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 **3차원 이미징 시스템**

(57) 요 약

전기한 항 중 어느 한 항의 방법을 구현하는 심도 이미징 시스템으로서, 상기 심도 이미징 시스템은, a. 각각의 픽셀이 상부에서 충돌하는 단일의 광자들을 검출할 수 있는 광검출기(9)를 포함하는 픽셀들의 매트릭스(1)와 상기 픽셀들의 매트릭스(1) 상에 시야의 이미지를 생성할 수 있는 광학장치를 포함하는 이미징 장치(4) - 상기 단일의 광검출기는 광자가 시간 프레임에서 검출되면 참의 2진 논리 상태 및 광자가 시간 프레임에서 검출되지 않으면 거짓의 2진 논리 상태를 지님 -; b. 10μsec 미만, 바람직하게는 1μsec 미만의 시간 윈도우에서 패턴을 투사할 수 있는 프로젝터(5); c. 프로젝터(5) 시간 윈도우와 이미징 장치 시간 프레임을 동기화하는 컨트롤러; d. 사용 시, 상기 시간 프레임 동안 참 상태에 있는 인접한 픽셀들(11)의 존재를 결정하고, 상기 인접한 픽셀들(11)에 상응하는 심도 프로파일을 계산하는 로직을 포함하는, 심도 이미징 시스템.

대 표 도



(52) CPC특허분류
G06T 5/70 (2024.01)
G06T 7/521 (2017.01)
G06T 2207/20036 (2013.01)
G06T 2207/20164 (2013.01)
(72) 발명자
미오데즈키 안드레 베르나르
벨기에 1180 우클 보이테 1 뤼 에디스 카벨 96
모라드 크리스티앙
벨기에 1332 정발 애비뉴 드 라 파상드리 8

명 세 서

청구범위

청구항 1

시야(7)의 심도 프로파일을 결정하는 방법으로서,

상기 방법은,

a. 프로젝터(5)를 사용하여 상기 시야 상에 적어도 하나의 광 패턴을 투사하는 단계 - 상기 투사는 10㎲ec 미만, 바람직하게는 1㎲ec 미만의 시간 윈도우(time window)에서 이루어짐 -;

b. 상기 시간 윈도우 내 적어도 하나의 관측 윈도우 동안 상기 패턴의 투사와 동기화되는, 카메라 센서(4) 및 광학장치에 의해 투사된 패턴을 이미징하는 단계 - 상기 카메라 센서는 픽셀들의 매트릭스(1)를 포함하고, 각각의 픽셀은 광검출기를 포함하며, 상기 픽셀들(9)은 해당 광검출기에 의해 광이 검출되지 않으면 거짓(false) 상태에 있고, 해당 광검출기에 의해 광이 검출되면 참(true) 상태에 있으며 그럼으로써 상기 시야를 나타내는 픽셀들의 제1 2진 매트릭스를 획득함 -;

c. 상기 시간 윈도우 내 적어도 2개의 관측 중 하나의 관측 또는 이의 조합에서 획득되는 픽셀들의 매트릭스(1) 상에서 또한 참 상태에 있는 적어도 하나의 이웃 픽셀을 지니는 참 상태의 픽셀들만을 고려함으로써 픽셀들의 2진 매트릭스 상의 주변광 노이즈(10)로부터 투사된 패턴을 분리하고, 그럼으로써 상기 투사된 패턴을 나타내는 픽셀들의 제2 2진 매트릭스를 획득하는 단계;

d. 프로젝터(5) 위치, 카메라(4) 위치 및 픽셀들의 제2 2진 매트릭스 간 삼각측량(triangulation)을 기반으로, 상기 투사된 패턴에 상응하는 심도 프로파일을 계산하는 단계;

e. 전체 시야에 대한 심도 프로파일을 결정하기 위해 전체 시야에 대해 단계들 a 내지 d를 반복함으로써 상기 투사된 패턴을 스캔하는 단계

를 포함하며,

상기 패턴의 각각의 고립된 요소들은 적어도 2개의 인접한 픽셀 상에서 2진 표현으로 확장되는, 시야의 심도 프로파일을 결정하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 투사된 패턴은 적어도 하나의 연속 라인을 포함하고, 적어도 하나의 연속 라인을 형성하는 참 픽셀들만을 고려함으로써 상기 투사된 패턴을 주변 노이즈로부터 분리하는 단계를 포함하는, 시야의 심도 프로파일을 결정하는 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

2개 이상의 연속 라인들이 동시에 투사되는, 시야의 심도 프로파일을 결정하는 방법.

청구항 4

제2항 또는 제3항에 있어서,

상기 투사된 연속 라인은 관심 영역을 형성하는 전체 시야 또는 그 일부 상에서 순차적으로 스캔되는 직선 라인(8)인, 시야의 심도 프로파일을 결정하는 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 직선 라인은 사전에 결정된 방향으로 배향되어 있으며, 이웃 픽셀이 상기 투사된 직선 라인(8)의 일부일

확률을 분석하기 위해 상기 사전에 결정된 방향을 사용하여 주변 노이즈로부터 라인을 분리하는 단계를 포함하는, 시야의 심도 프로파일을 결정하는 방법.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

픽셀(9)이 상기 투사된 패턴의 일부인 확률은 훈련된 신경망에 의해 결정되는, 시야의 심도 프로파일을 결정하는 방법.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

2개의 연속 투사 간 상기 투사된 패턴의 변위는 1 픽셀 폭 미만에 상응하며, 심도 분해능은 연속 라인 스캔들 간에 결정된 심도의 보간에 의해 개선되는, 시야의 심도 프로파일을 결정하는 방법.

청구항 8

제2항 내지 제7항 주 어느 한 항에 있어서,

상기 투사된 라인은 상기 시야 상에서 적어도 하나의 레이저 비임을 이동시킴으로써 생성되는, 시야의 심도 프로파일을 결정하는 방법.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

각각의 광검출기는 단일의 광자 검출기(9)를 포함하는, 시야의 심도 프로파일을 결정하는 방법.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항의 방법을 구현하는 심도 이미징 시스템으로서, 상기 심도 이미징 시스템은,

a. 각각의 픽셀이 상부에서 충돌하는 단일의 광자들을 검출할 수 있는 광검출기(9)를 포함하는 픽셀들의 매트릭스(1)와 상기 픽셀들의 매트릭스(1) 상에 시야의 이미지를 생성할 수 있는 광학장치를 포함하는 이미징 장치(4) - 상기 단일의 광검출기는 광자가 시간 프레임에서 검출되면 참의 2진 논리 상태 및 광자가 시간 프레임에서 검출되지 않으면 거짓의 2진 논리 상태를 지님 -;

b. 10㎲sec 미만, 바람직하게는 1㎲sec 미만의 시간 윈도우에서 패턴을 투사할 수 있는 프로젝터(5);

c. 프로젝터(5) 시간 윈도우와 이미징 장치 시간 프레임을 동기화하는 컨트롤러;

d. 사용 시, 상기 시간 프레임 동안 참 상태에 있는 인접한 픽셀들(11)의 존재를 결정하고, 상기 인접한 픽셀들(11)에 상응하는 심도 프로파일을 계산하는 로직

을 포함하는, 심도 이미징 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 프로젝터(5)는 상기 로직에 의한 라인 검출을 개선하기 위해 사전에 결정된 방향으로 상기 라인들(8)을 투사하도록 구성되는, 심도 이미징 시스템.

청구항 12

제10항 또는 제11항에 있어서,

상기 픽셀들의 매트릭스(1)는 상기 단일의 광검출기를 포함하는 제1 층과 이웃 테스트 회로를 포함하는 제2 층을 포함하며, 상기 이웃 테스트 회로는 해당 단일의 광검출기와 적어도 하나의 인접한 단일 광검출기가 동시에 참 상태에 있는 경우에만 상기 제2 층 회로의 출력이 참이 되도록 구성되고, 그럼으로써 어떤 픽셀들이 참 논리 상태에서 적어도 하나의 인접한 픽셀을 지니는지를 결정하는, 심도 이미징 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 3차원 이미징 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 심도 이미징(depth imaging) 시스템의 최첨단 구현 예들 중 하나는 이미징 시스템에 의해 이미징되는, 장면 상에 투사된 구조들 또는 라인들을 기반으로 이루어진 것이다.

[0003] 산업상의 이용에서, 예를 들어 컨베이어 기반 시스템에서, 고정 라인은 컨베이어 벨트 상에 투사되고 스캔해야 할 물체들은 레이저 커튼(laser curtain)을 통과하게 된다. (1kps 프레임 속도 정도의) 고속 이미징 시스템은 상기 투사된 라인의 왜곡들을 모니터링하고 상기 라인이 투사된 물체의 심도 프로파일을 추론한다.

[0004] 컨베이어 시스템의 경우, 물체을 따른 스캔 속도는 이미징 시스템 프레임 속도에 비해 느린 것이 전형적인 컨베이어 속도에 의해 정의된다.

[0005] 동일 타입의 센서들은 예를 들어 1D MEMS 시스템이 가동(可動) 레이저 라인을 장면 상에 투사함으로써 레이저 라인이 상기 장면을 스캐닝할 때 적합하지 않다. 100Hz의 재생 속도(refresh rate), 및 800개의 레이저 라인의 횡방향 분해능(lateral resolution)을 가정하면, 센서 시스템은 12.5us에서 각각의 라인을 이미징해야 하며, 12.5us에서 각각의 라인을 이미징하는 것은 80kHz의 프레임 속도를 의미한다. 이는 오늘날 전형적인 시스템의 기술적 능력을 넘어서는 것이다.

[0006] 이에 대한 해결수법은 인텔(Intel)이 설계한 1세대 리얼센스(RealSense) 카메라로 구현되었다. 각각의 라인을 독립적으로 이미징하는 대신에, 각각의 이미징 프레임은 장면 상에 투사된 라인들의 모음을 보여주는 것이다. 예를 들어 10kHz의 레이저 라인으로 장면을 스윕(sweep)하는 MEMS 레이저 스캐닝 장치의 경우, 라인은 10ms마다 100회 시야(field of view)를 통과한다. 레이저 라인 전력은 조명 장치가 함께 이미징되는 한 세트의 라인들을 투사하는 방식으로 변조되거나 펄스화된다.

[0007] 불리한 측면은 감지 속도와 지연이 더 이상 조명에 의해 한정되지 않고 여전히 시스템에 프레임 속도를 부과하는 센서 시스템에 의해 한정된다는 것이다.

[0008] 또한 실외 환경과 같은 강한 주변광 조건에서 시스템을 작동하려면 충분한 조명 전력이 필요하다.

[0009] 본 발명은 주변광 조건에서도 광전력 요구사항을 최소화하면서 단 10나노초의 노출을 사용하여 라인을 이미징할 수 있음으로써 레이저 라인 스캐닝 시스템의 성능을 극대화하도록 최적화된 센서를 구현한다.

발명의 내용

[0010] 본 발명의 제1 실시형태는 시야의 심도 프로파일을 결정하는 방법에 관한 것이며, 상기 방법은,

[0011] o 프로젝터(5)를 사용하여 시야 상에 적어도 하나의 광 패턴을 투사하는 단계 - 상기 투사는 10㎲ec 미만, 바람직하게는 1㎲ec 미만의 시간 윈도우(time window)에서 이루어짐 -;

[0012] o 상기 시간 윈도우 내 적어도 하나의 관측 윈도우 동안 상기 패턴의 투사와 동기화되는, 카메라 센서(4) 및 광학장치에 의해 투사된 패턴을 이미징하는 단계 - 상기 카메라 센서는 픽셀들의 매트릭스(1)를 포함하고, 각각의 픽셀은 광검출기를 포함하며, 상기 픽셀들(9)은 해당 광검출기에 의해 광이 검출되지 않으면 거짓(false) 상태에 있고, 해당 광검출기에 의해 광이 검출되면 참(true) 상태에 있으며 그럼으로써 시야를 나타내는 픽셀의 제1 2진 매트릭스를 획득함 -;

[0013] o 상기 시간 윈도우 내 적어도 2개의 관측 중 하나의 관측 또는 이의 조합에서 획득되는 픽셀들의 매트릭스(1) 상에서 또한 참 상태에 있는 적어도 하나의 이웃 픽셀을 지니는 참 상태의 픽셀들만을 고려함으로써 픽셀들의 2진 매트릭스 상의 주변광 노이즈(10)로부터 투사된 패턴을 분리하고, 그럼으로써 상기 투사된 패턴을 나타내는 픽셀들의 제2 2진 매트릭스를 획득하는 단계;

[0014] o 프로젝터(5) 위치, 카메라(4) 위치 및 픽셀들의 제2 2진 매트릭스 간 삼각측량(triangulation)을 기반으로, 상기 투사된 패턴에 상응하는 심도 프로파일을 계산하는 단계;

[0015] o 전체 시야에 대한 심도 프로파일을 결정하기 위해 전체 시야에 대해 단계들 a 내지 d를 반복함으로써 상기 투

사된 패턴을 스캔하는 단계;

[0016] 를 포함하며, 여기서 상기 패턴의 각각의 고립된 요소들은 적어도 2개의 인접한 픽셀 상에서 2진 표현으로 확장된다.

[0017] 본 발명의 상기 방법의 바람직한 실시 예들은 이하의 특징들 중 하나 또는 그 이상의 적절한 조합을 포함한다:

[0018] - 상기 투사된 패턴은 적어도 하나의 연속 라인을 포함하고, 적어도 하나의 연속 라인을 형성하는 참 픽셀들만을 고려함으로써 상기 투사된 패턴을 주변 노이즈로부터 분리하는 단계;

[0019] - 2개 이상의 연속 라인들이 동시에 투사됨;

[0020] - 상기 투사된 연속 라인은 관심 영역을 형성하는 전체 시야 또는 그 일부 상에서 순차적으로 스캔되는 직선 라인임;

[0021] - 상기 직선 라인은 사전에 결정된 방향으로 배향되어 있으며, 이웃 픽셀이 상기 투사된 직선 라인의 일부일 확률을 분석하기 위해 상기 사전에 결정된 방향을 사용하여 주변 노이즈로부터 라인을 분리하는 단계;

[0022] - 픽셀이 상기 투사된 패턴의 일부인 확률은 훈련된 신경망에 의해 결정됨;

[0023] - 2개의 연속 투사 간 상기 투사된 패턴의 변위는 1 픽셀 폭 미만에 상응하며, 심도 분해능은 연속 라인 스캔들 간에 결정된 심도의 보간에 의해 개선됨;

[0024] - 상기 투사된 라인은 시야 상에서 적어도 하나의 레이저 비임을 이동시킴으로써 생성됨;

[0025] - 각각의 광검출기는 단일의 광자 검출기를 포함함.

[0026] 본 발명의 제2 실시형태는 본 발명의 상기 방법을 구현하는 심도 이미징 시스템에 관한 것이며, 상기 심도 이미징 시스템은,

[0027] - 각각의 픽셀이 상부에서 충돌하는 단일의 광자들을 검출할 수 있는 광검출기를 포함하는 픽셀들의 매트릭스와 상기 픽셀들의 매트릭스 상에 시야의 이미지를 생성할 수 있는 광학장치를 포함하는 이미징 장치 - 상기 단일의 광검출기는 광자가 시간 프레임에서 검출되면 참의 2진 논리 상태 및 광자가 시간 프레임에서 검출되지 않으면 거짓의 2진 논리 상태를 지님 -;

[0028] - 10㎲sec 미만, 바람직하게는 1㎲sec 미만의 시간 윈도우에서 패턴을 투사할 수 있는 프로젝터;

[0029] - 프로젝터 시간 윈도우와 이미징 장치 시간 프레임을 동기화하는 컨트롤러;

[0030] - 사용 시, 상기 시간 프레임 동안 참 상태에 있는 인접한 픽셀들의 존재를 결정하고, 상기 인접한 픽셀들에 상응하는 심도 프로파일을 계산하는 로직

[0031] 을 포함한다.

[0032] 바람직하게는, 상기 프로젝터가 상기 로직에 의한 라인 검출을 개선하기 위해 사전에 결정된 방향으로 상기 라인들을 투사하도록 구성된다.

[0033] 유리하게는, 상기 픽셀들의 매트릭스는 상기 단일의 광검출기를 포함하는 제1 층과 이웃 테스트 회로를 포함하는 제2 층을 포함하며, 상기 이웃 테스트 회로는 해당 단일의 광검출기와 적어도 하나의 인접한 단일 광검출기가 동시에 참 상태에 있는 경우에만 상기 제2 층 회로의 출력이 참이 되도록 구성되고, 그럼으로써 어떤 픽셀들이 참 논리 상태에서 적어도 하나의 인접한 픽셀을 지니는지를 결정한다.

도면의 간단한 설명

[0034] 도 1은 본 발명에 따른 초고속 라인 스캐너를 나타낸 도면이다.

도 2a 내지 도 2d는 라인 스캔 공간 디더링 조건에서 라인이 픽셀화될 수 있음을 나타내는 도면들이다.

도 3은 라인 AA를 따른 도 2의 라인 스캔 위치를 보간한 결과들을 나타낸 도면이다.

도 4는 서브픽셀 분해능을 추정하기 위한 무작위 공간 디더링 결과를 나타낸 도면이다.

도 5는 알려진 도트 이동을 의한 서브픽셀 분해능의 추정 결과를 나타낸 도면이다.

도 6은 라인 스캔 인터리브 모션을 나타낸 도면이다.

도 7 및 도 8은 단순한 라인이 아닌 다양한 패턴의 투사들을 나타낸 도면들이다.

도 9는 2층 이미징 센서를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 이하에서 설명되는 발명은 3차원 장면을 고속으로 이미징할 수 있는 시스템을 제안한다 . 이를 위해, 상기 시스템은 장면 상에 라인과 같은 광 패턴을 고주파수로 투사하고, 상기 패턴은 전체 장면을 개구성할 수 있도록 각각의 샷 간에 변위된다.

[0036] 일 예로, 레이저 라인을 투사하는 1-축 진동 MEMS가 1kHz 내지 10kHz에서 시야(field of view; FoV)에 걸쳐 이러한 레이저 라인을 스윕한다고 가정해 보기로 한다. 이것이 의미하는 것은 100us 내지 1ms 기간에서 전체 장면 또는 FoV가 감지된다는 것이다.

[0037] 일 예로 발진 기간당 1000개의 라인 펄스를 사용하면 각각의 라인은 이미징 시스템으로 이미징되어야 하며 이는 라인당 100ns 내지 1us(Tline)를 의미한다.

[0038] 주변광이 있는 상태에서 각각의 Tline의 장면 내 라인을 이미징할 수 있는 센서 또는 이미징 시스템을 달성하기 위해, 센서 시스템이 사용되었다.

[0039] 본 발명은 센서를 포함하는 심도 이미징 시스템에 관한 것이며, 상기 센서는 픽셀들의 어레이를 포함하고, 각각의 픽셀은 예를 들어 단일의 광자 애벌런치 다이오드(single-photon avalanche diode; SPAD)에 의해 단일 광자들을 검출할 수 있다.

[0040] 상기 센서는 펄싱 레이저 라인(또는 패턴)과 동기화되는 것이 바람직하고, 결과적으로 상기 센서는 각각의 투사된 레이저 라인으로부터 광자들을 예상할 시기를 알게 해준다. 상기 픽셀들은 바람직하게는 1나노초 내지 수백 나노초의 짧은 관측 윈도우 동안 활성화된다. 이러한 관측 윈도우 동안 상기 단일의 광자 검출기 픽셀들은 광자의 검출 시 상태를 트리거시키거나 변화시킨다. 검출된 광자들은 레이저 라인 에너지로부터 비롯된 것뿐만 아니라 장면 내 존재하는 주변광으로부터도 비롯된 것이다.

[0041] 상기 레이저 라인의 위치를 식별하기 위해 상기 관측 윈도우 동안 이웃 픽셀 또는 픽셀들도 트리거된 경우 픽셀의 트리거링만을 유효한 트리거로 간주하는 일치 이미징 방법(coincidence imaging method)이 제안된다. 주변광이 통계적인 방식으로 모든 픽셀들을 트리거하게 되기 때문에 주변광으로 인해 짧은 관측 윈도우 동안 이웃 픽셀들이 활성화(firing)할 가능성이 최소화될 수 있으며, 각각의 레이저 라인의 펄스 광학 에너지는 상기 라인을 따라 연결된 이웃 픽셀들이 함께 활성화할 확률이 높아지게 되는 방식으로 설계될 수 있다. 이러한 방식으로 상기 레이저 라인은 노이즈가 있는 2진 이미지에서 쉽게 격리될 수 있다.

[0042] 도 2에 도시된 제1 실시 예에서, 관심 영역(region of interest; ROI)은 열별로 또는 행별로 판독되며 픽셀 맵은 상기 라인의 위치와 형상을 식별하도록 구축된다. 라인이 연속적이고 구분적으로 연속적임을 알고 있으므로 이는 어떤 픽셀들이 라인의 일부인지를 식별하기 위한 제약조건으로서 사용될 수 있다. 예를 들어, 격리된 픽셀 이벤트는 구분적으로 연속적인 구조의 일부가 아닐 가능성이 높다. 또한, 또 다른 제약조건은 수직 라인을 투사된 구조로서 간주할 때 검출된 ROI 맵에서 동일한 행에 있는 2개의 별도 이벤트가 인접해야 한다는 것 - 이 경우 상기 라인은 인접한 픽셀들의 경계 상에서 검출되거나 인접한 픽셀들을 부분적으로 덮고 있는데, 이 경우 일부 초분해능을 적용할 수 있음 - 또는 검출된 이벤트들이 인접하지 않은 경우 상기 픽셀들 중 1개 픽셀만이 라인 연결 이벤트를 지니게 되며 다른 픽셀은 무작위 이벤트를 지니게 된다는 것일 수 있다. 다음 행이나 이전 행에서 상기 이벤트들을 살펴봄으로써, 1은 어떤 이벤트가 참 이벤트인지에 대한 추가 정보를 얻을 수 있는데, 그 이유는 수직 라인을 투사하고 있으므로 참 이벤트들이 수직 차원에서 구분적으로 선형인 방식으로 연결될 것이라고 기대하고 있기 때문이다.

[0043] 수평 라인을 투사하고 있는 다른 차원에 유사한 설명이 작성될 수 있다.

[0044] 상기 투사된 라인을 수직 또는 수평 형상으로 제한함으로써 판독해야 할 예상 관심 영역을 한정하는 것이 더 쉬워지고 각각의 라인-샷(line-shot)을 판독하고 분석해야 할 픽셀들의 개수가 줄어들게 된다. 이때 ROI는 시스템에서 허용하려는 최대 격차(maximum disparity)에 의해 한정된다.

[0045] 물론, 이러한 제한이 없다면 라인의 어떠한 배향이라도 적용될 수 있는데, 예를 들어 이는 이미지 센서들의 경우 일반적인 바와 같은 버스들에 의해가 아니라 픽셀 평면이 처리 층과의 병렬 방식으로 연결되는 적층 시스템의 경우 대량 병렬 연결 처리에 적용 가능하다.

[0046] 본 발명의 제2 실시형태는 스택 장치에 관한 것이며, 상기 스택 장치에 의하면 제1 층은 SPAD 어레이와 같은 광자 검출기뿐만 아니라 SPAD 어레이 및 픽셀들을 제어하기 위한 일부 선택적인 전자 장치, 가능하게는 퀀칭 저항기들 또는 회로들을 포함하고 그럼으로써 검출기 또는 검출기 그룹당 1개 이상의 전기 연결들을 통해 상기 제1 층에 제2 층이 병렬로 연결된다. 상기 제2 층은 제1 층으로 들어오는 정보를 처리한다. 제1 변형 예에서, 상기 일치 이미징과 아울러 상기 라인 검출은 상기 제2 층의 로직에 의해 수행된다.

[0047] 다른 한 변형 예에서, 대규모 병렬 연결을 통해 SPAD 어레이가 원시 데이터 이미지의 라인 선분들의 위치를 계산하는 신경망과 연결하게 되고 그럼으로써 상기 신경망이 노이즈와 라인 정보를 구별하도록 훈련된다.

[0048] 도면에서는 수평 분해능이 라인 스캐너의 진동 주기마다 10라인인 경우에 일련의 라인들을 보여준다. T0 내지 T4에서 레이저 라인은 왼쪽으로부터 오른쪽으로 이동하고 이는 우측 스윕 라인들이라고 지칭될 수 있으며, T5 내지 T9에서 레이저 라인은 우측으로부터 좌측으로 이동하고 이는 좌측 스윕 라인들이라 지칭될 수 있으며, 본 도면에서는 인터리브 방식으로 라인 스캐너의 주기마다 수평 방향으로 10의 분해능이 생성하게 된다.

[0049] 좌측 스윕 라인들과 우측 스윕 라인들의 위치들이 일치하는 다른 실시 예들이 생성될 수 있으며, 이는 심도 이미지의 수평 분해능을 감소시키지만 해당 라인 샘플들에 대한 시간 분해능을 증가시킨다.

[0050] 500개의 우측 스윕 라인들과 500개의 인터리브된 좌측 스윕 라인들 또는 그 반대의 경우 기간당 전체 라인 분해능은 1000이 된다.

[0051] 이는 100us마다, 1000개 라인들이 구성되어야 하며, 결과적으로는 대략 100나노초마다 ROI가 판독되어야 함을 의미한다. SPAD 픽셀 어레이 또는 비트 심도가 제한된 양자 이미지 센서와 조합되면, 이러한 요구사항이 실현 가능하다.

[0052] 대안으로, 픽셀 어레이 전체 또는 어레이의 관심 영역은 프로세스 평면에 평행하게 연결된다. 예를 들어, 적층 센서 장치들에서, 광 입력에 민감한 픽셀 어레이 또는 센서 어레이는 제1 평면 상에 위치할 수 있으며, 각각의 픽셀은 상호연결 방법을 통해 상기 센서의 제2 평면 상에 물리적으로 위치한 처리 층에 연결된다.

[0053] 이 경우에, 활성 ROI 또는 전체 픽셀 어레이에 연결되고 무작위 이벤트들 또는 픽셀 데이터 및 이벤트 또는 관심 라인에 연결된 이벤트들 또는 픽셀 데이터를 통해 노이즈 이미지에서 상기 라인 또는 구분적 라인들을 찾알 수 있는 처리 요소 또는 신경망을 설명할 수 있다.

[0054] 각각의 개별 픽셀을 판독한 후 ROI 상에나 또는 픽셀 영역 자체에 일치가 적용될 수 있다.

[0055] 라인은 도 2에 도시된 바와 같이 하위픽셀 분해능에서 시간 스텝마다 이동하게 된다. 이전에 검출된 라인들의 트리거된 픽셀 위치들을 분석함으로써, 하위 분해능에 의해 주어진 타임스탬프들에서 더 나은 추정치가 획득될 수 있다. 이는 물론 검출하고 있는 물체의 공간 주파수 상에 제약을 가한다.

[0056] 그러나, 이는 라인 이동의 시간적 거동(temporal behaviour)을 고려함으로써 초분해능 방법을 생성한다.

[0057] **<u>심도 정확도를 높이기 위한 특수(구조적) 디더링에 의한 초분해능</u>**

[0058] 기존의 도트-패턴 액티브 스테레오비전(dot-pattern active stereovision) 시스템에서 도트들은 공간에 고정되어 있다. 장면이 이동하게 되지 않으면 상기 도트들은 장면 상에 결과적으로는 이미지 내에 고정된 위치를 지닌다. 특정 공간 분해능으로 상기 장면을 샘플링함으로써 공간 양자화는 심도 추정에 제한을 둔다. A. Chatterjee와 그의 동료 명의의 논문 "구조형 광 스테레오 심도 카메라의 노이즈: 모델링 및 그의 적용(Noise in Structured-Light Stereo Depth Cameras: Modeling and its Applications)"(https://arxiv.org/pdf/1505.01936.pdf)에서 스테레오 시스템의 노이즈가

[0059] $$\frac{\partial D}{\partial Z} = -\frac{fB}{Z^2} \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial Z}{\partial D} = -\frac{Z^2}{fB}$$

[0060] 로 설명된다.

[0061] 델타 심도는 델타 격차에 대해 선형이다. 이것이 의미하는 것은 상기 격차의 양자화가 심도 추정의 정확성을 제한한다는 것이다.

[0062] 본 발명에서는, 픽셀 피치(pixel pitch)로 인한 격차 양자화의 제한이 공간 디더링(spatial dithering)을 통해

완화된다. 장면 내 약간 다른 위치들에서 이웃한 관련 측정치들의 모음으로부터 심도 추정을 구성하면 심도 추정이 개선될 수 있다. 이러한 아이디어는 1비트 AD 변환기 및 디더링을 통한 양자화 아이디어와 유사하다. 디더링 노이즈가 화이트(white)이고 양자화를 초과하는 경우 최종 결과들의 평균화를 통해 더 나은 추정치가 생성될 수 있다. 이러한 공간 디더링 개념에도 동일하게 적용되고, 그럼으로써 픽셀은 양자화기이고 이동하는 도트는 공간 디더(spatial dither)이다. 공간 디더가 진폭 측면에서 픽셀 양자화를 초과하고 디더의 분포가 알려진 경우(이는 시스템이 광을 제어하기 때문임), 더 정확한 하위 분해능 측정이 획득될 수 있다.

[0063] 본 발명은 감지가 라인이든, 도트이든, 도트 패턴이든 거의 연속적인 매우 빠른 감지의 가능성을 더 기반으로 한다.

[0064] 상기 아이디어는 알려진 공간 확률을 조명에 도입하는 것이다.

[0065] 단일의 포인트이나 도트 또는 점 패턴의 경우 - 다수의 포인트가 평행하게 투사된다. 명확성을 위해 단일의 포인트에 초점을 맞추겠지만 상기 방법은 투사된 임의의 구조에 이르기까지 확장된다.

[0066] 초고속으로 도트(또는 구조)의 위치를 추적할 수 있다면 공간 디더링에 의해 초분해능을 구축할 수 있다.

[0067] 예를 들어 수평 방향으로 도트의 위치 상에 알려진 공간 확률 분포를 도입한다. 이는 균일한 확률 분포, 가우스 또는 기타 함수일 수 있지만 매끄러운 분포인 것이 바람직할 수 있다.

[0068] 도 4는 위치 디더링 방법을 보여준다.

[0069] 도 4의 (a)에서 도트 위치는 시간 윈도우(300) 동안 특정 위치 범위(301)에 걸쳐 변경 - 디더링된다. 이러한 시간 윈도우(300) 동안 도트의 위치 x의 확률 분포를 누적하면 확률 밀도 함수(312)가 구해질 수 있다.

[0070] 상기 픽셀 어레이는 양자화를 생성하는 유한 크기의 픽셀(303)을 사용하여 이산적인 시간 순간에 이러한 함수를 샘플링하게 된다. 이러한 양자화는 히스토그램(314)을 생성한다. 기간(300) 동안 디더링된 x 위치를 모니터링함으로써, 평균 위치(315)는 히스토그램(314)으로부터 계산될 수 있으며, 이는 정적 위치를 지니는 도트가 양자화 픽셀들에 의해 관측되는 경우보다 더 정확하다. 이러한 방식으로, 평균 도트 위치의 정확도는 더 높은 분해능으로 획득될 수 있다.

[0071] 상기 원리는 예를 들어 도 5에서와 같은 매우 간단한 공간 디더링 또는 분포에 이르기까지 확장될 수 있다.

[0072] 본 발명의 제3 실시형태는 제1 실시형태에 따른 방법과 유사하게 시야의 심도 프로파일을 결정하는 방법에 관한 것이다. 그러나, 심도 프로파일을 결정하는 방법이 당업자가 이해하는 바와 같이 다른 필터링 단계로 수행될 수도 있으므로 단계 c(분리)는 선택적이다. 본 발명의 제4 실시형태는 제1 실시형태에 따른 방법과 유사하게 시야의 심도 프로파일을 결정하는 방법에 관한 것이다. 그러나 단계 b는 각각의 카메라가 픽셀들의 매트릭스를 지니는 2대의 카메라에 의한 이미징을 포함하고, 단계 d는 2대의 카메라의 위치들과 2개의 픽셀 매트릭스를 기반으로 하는 삼각 측량을 포함한다. 당업자는 2대의 카메라 또는 하나의 카메라와 하나의 광원의 데이터를 삼각측량하는 것이 개념적으로 유사함을 인식한다. 본 발명의 제5 실시형태는 심도 이미징 시스템, 바람직하게는 제3 및 제4 실시형태들의 방법을 구현하는 심도 이미징 시스템에 관한 것이다.

[0073] 바람직하게는, 상기 프로젝터가 타원체 또는 원형 도트와 같은 간단한 구조를 장면 상에 투사하고 상기 장면을 래스터, 리사쥬(Lissajous) 또는 다른 패턴으로 스캔한다.

[0074] 바람직하게는, 각각의 카메라가 이미지 평면들 각각에서 도트의 위치를 추적하고 (x, y, t) 데이터의 스트림을 출력하도록 구성되며, 여기서 x, y는 이미지 평면의 좌표들(픽셀 차원)이고 t는 검출의 타임스탬프이다. 이는 최대 10나노초의 시간 분해능으로 이러한 스트림을 출력할 수 있다는 점에서 유리하다. 예를 들어, 도 10은 레이저 기반 조명이 빠른 스트로크(fast stroke)으로 그 장소를 지속적으로 스윕함을 보여준다. 리사쥬(Lissajous) 패턴은 빠른 2D MEMS 미러를 기반으로 생성된다. 2개 이상의 센서는 매우 빠른 속도(최대 100MHz)로 레이저 도트의 위치를 스냅샷한다. 각각의 센서는 레이저 도트 위치를 전송한 후에 간단한 삼각측량 알고리즘을 통해 상기 매우 빠른 속도로 정확한 3D 형상, 위치, 윤곽 및 움직임을 계산할 수 있다.

[0075] 본 발명의 방법 및 시스템은 이하에 요약된 바와 같은 몇 가지 이유로 유리하다. 제1 이점은 전력과 관련이 있다. 여기에서는 단일의 도트(또는 한세트의 도트들)가 한 번에 투사되어 가능한 가장 짧은 시간에 장면 내 특정 위치를 샘플링하기 위해 모든 에너지를 번들링(bundling)하여 가장 낮은 광자 버짓(photon budget)으로 주변광에 대한 최고의 내성을 획득하게 된다. 그러나 도트를 감지하는 데 필요한 광자 버짓은 사용되는 감지 기술에 의존한다. 예를 들어, 2개의 픽셀 상에 분포된 12개의 광자(6개의 광자/픽셀)로 도트를 검출하는 것이

가능하다. 또한 픽셀당 6개의 광자를 반환하는 데 필요한 시간이 짧을수록 주변광에 대한 내성이 양호하게 된다. 그러므로, 이러한 시스템은 짧은 고전력 펄스들을 사용하는 것이 바람직하다.

[0076] 또한 스캔하는 동안 전력이 빠르게 변할 수 있으므로 레이저 전력이 동적으로 할당되는 프레임을 생성하는 것이 가능하다. 예를 들어, 멀리 있거나 어두운 물체들은 더 큰 레이저 강도로 조명될 수 있고, 가까이 있는 물체들은 낮은 레이저 출력으로 조명될 수 있다. 이는 스캔 내에서 변조될 수 있으며 시스템 범위, 전력 소비 및 스캔 밀도를 최적화하는 동시에 클래스-1 안구 안전 한계를 유지하도록 최적화될 수 있다.

[0077] 다른 일 예에서, 근거리 영역에서, 시스템은 펄스 밀도를 높이고 펄스 강도를 줄여 더 정확한 메시(mesh)를 획득할 수 있다. 더 먼 지역에서는 시스템이 펄스 밀도를 줄이고 펄스 강도를 높여 사용 가능한 신호를 획득할 수 있다. 펄스 밀도와 강도의 곱은 원하는 경우 클래스-1 안구 안전 제약조건 하에서 유지될 수 있으며, 전력 소비 문제가 스캔 밀도 요구사항보다 중요한 경우에는 더 줄어들 수 있다. 이러한 다양한 밀도 스캔들을 생성하기 위해 스캔 패턴이 변경될 필요가 없다.

[0078] 본 발명의 제2 이점은 대역폭에 관련된다. 스캐닝 심도 감지 시스템은 심도 데이터가 표현되고 전송되는 방식에 있어 고유한 이점을 제공한다. 심도 데이터는 임의의 포인트 클라우드 표현으로부터 예상된 바와 같이 일련의 x, y, z 포인트들로서 나타나게 될 수 있다. 그러나 시간순으로 포인트 클라우드 내 포인트들은 한정된 레이저 비임 궤적을 따라 생성된다. 이 때문에, 궤적을 따른 포인트들은 일반적으로 장면 자체에 의해 영향을 받아 특정 방식으로 '연결'된다. 포인트들이나 샘플들이 궤적을 따라 연결되어 있다는 사실은 데이터 표현에 활용될 수 있다. 각각의 샘플을 개별적으로 출력하는 대신에, 제한된 한 세트의 계수들 및 다항식 기술자(polynomial descriptor)의 시작 및 중지를 설명하는 2개의 포인트로 궤적이 설명될 수 있다. 이를 통해 '라이브(live)' 압축이 가능해져서, 센서에서부터 시스템에 이르기까지의 대역폭 요구사항은 물론 추가 처리를 위한 메모리 및 컴퓨팅 요구사항도 크게 줄어들게 된다.

[0079] 본 발명의 제3 이점은 내성에 관련된다. 본 발명의 센서들을 사용하는 레이저 비임 스캐닝 기반 시스템들은 동시적 액티브 시스템에 대해 동급 최고의 내성을 제공한다. 레이저 비임 스캐닝 수법을 사용하여, 도트를 추적하는 대응하는 이미지 공간들에서 단일의 포인트 쌍들을 삼각측량함으로써 심도 정보가 획득된다. 이 때문에, 환경에 추가 시스템들을 도입하면 장면을 스캔하는 추가의 도트들이 생성되게 된다. 도트를 추적하는 데 사용되는 센서들이 여러 도트를 추적할 수 있는 경우 추가의 스캐닝 도트에 의해 생성된 추가의 광학 정보는 삼각측량될 수 있는 다른 한 포인트 쌍으로서 획득되고 있는 심도 데이터에 기여하게 된다.

[0080] 레이저 비임 스캐닝 시스템들은 플러드(flood) 시스템들(액티브 스테레오, 플러드를 구비한 모노 NIR, iToF)에 대한 내성도 지니고 있다. 시스템은 상기 투사된 도트의 광자 통계 및 거동에 대한 요구사항을 부과함으로써 주변광으로부터의 영향을 억제할 수 있다. 플러드 조명은 주변 광에 대한 통계 및 거동과 유사하다: 이는 높은 피크 플럭스(에너지/픽셀/시간)를 생성하며 시공간적 구조를 지니지 않으면서, 상기 픽셀들에 일부 통합 신호를 가져오는 데 일반적으로 수백 마이크로초 내지 밀리초가 필요하다. 예를 들어, 시스템은 광자 통계, 비임 형상, 및 비임 시공간적 이동의 조합을 사용하여 주변/플러드 소스들로부터의 신호와 레이저 비임 스캐닝 시스템 자체로부터의 광학 신호 발생을 구별한다.

[0081] 레이저 비임 스캐닝 시스템들은 또한 도트 패턴 프로젝터들에 대한 내성을 지닌다. 2가지 요소는 도트 패턴을 사용하는 구조광 시스템(Structured Light system)을 동적 레이저 비임 스캐닝 구조광과 구별한다. 첫째, 상기 도트 패턴은 정적이며 어떠한 움직이는 거동이나 궤적도 지니지 않게 된다. 둘째, 사용 가능한 광 전력은 10k 정도의 도트 사이에 병렬로 분산되어 있는데, 이것이 의미하는 것은 도트당 할당된 피크 전력(peak power)이상기 레이저 비임 스캐닝 시스템에 할당된 피크 전력보다 상당히 적다는 것이다. 셋째, 상기 구조광 프로젝터들은 일반적인 노출 시간이 수백 마이크로초 정도인 글로벌 셔터 이미저(global shutter imager)들과 함께 작동하도록 설계되어 있다. 따라서 상기 도트들을 보는 데 필요한 에너지는 노출 윈도우에 분산된다.

[0082] 본 발명의 제4 이점은 대기시간에 관련된다. 시스템은 비임이 시야를 스캔할 때 데이터가 연속적으로 생성되는 완전히 직렬화된 감지 방법을 사용한다. 장면의 광학 샘플링(특정 표면 상에의 도트 투사)과 해당 샘플에 상응하는 심도 데이터의 생성 간에 필요한 시간은 매우 짧은데, 그 이유는 상기 방법이 전적으로 이하의 사항에 의존하기 때문이다. 첫째, 서로 다른 이미지 공간들에서 도트 위치를 감지하는 데 본 발명의 시스템을 사용하면 10나노초 정도가 걸릴 수 있다. 둘째, 감지 호스트로 좌표를 전송하는데 N 클록 주기는 일반적으로 100나노초이다. 셋째, 이력 데이터를 이용한 필터링 방법과 공간 내 포인트의 삼각측량을 통해 수백 나노초로 수학 연산들이 파이프라인화될 수 있다.

[0083] 따라서 광학 샘플에서부터 심도 측정에 이르기까지의 결과적인 대기시간이 매우 짧다. 물론 전체 장면의 샘플을 획득하려면 레이저 비임이 여전히 원하는 밀도로 원하는 시야를 스캔하여야 한다. 레이저 비임 스캐닝의 스캔 속도와 적용분야에 원하는 밀도에 의존하여 특정 데이터 집계 윈도우가 고려될 수 있다. 프레임 기반 센서들과는 대조적으로, 전체 감지 대기시간을 추가하는 것을 고려할 프레임 버퍼가 없다.

[0084] 레이저 비임 스캐닝 감지 기술의 흥미로운 특징은 최적의 밀도와 리프레시 레이트(refresh rate)를 사용하여 적용분야 맞춤형 트레이드-오프(application- customized trade-off)가 선택될 수 있다는 것이다. 이는 감지 데이터가 순차적으로 생성됨에 따라 전적으로 시스템의 순차적 특성에 기인한 것이다. 상기 데이터 집계 윈도우가 데이터 스트림 상에 적용됨에 의존하여, 스캐닝 도트는 해당 윈도우 동안 스캔 라인들의 희박하거나 조밀한 패턴이 생성되게 한다.

[0085] 희박한 데이터를 사용하여 빠른 업데이트 속도(500Hz)를 요구하는 알고리즘들은 입력과 동일한 데이터 스트림을 활용해 조밀한 데이터를 사용하여 일반 업데이트 속도(50Hz)를 요구하는 알고리즘들과 병행하여 실행될 수 있다. 도 11 내지 도 14는 동일한 데이터 스트림에 적용된 2밀리초, 5밀리초, 10밀리초, 20밀리초 집계 윈도우들을 사용하여 집계된 스캔 라인들을 보여준다. 시뮬레이션된 스캔 라인들을 획득하기 위해 사용된 2D 진동 MEMS 구조의 LBS 주파수 쌍은 (8174Hz, 5695Hz)이다.

[0086] 픽셀들에 SPAD들을 사용하는 것은 단일의 광자에 민감하기 때문에 유리한데, 이것이 의미하는 것은 검출기가 단일의 광자에 민감하기 때문에 액티브 투사 구조에 최소한의 에너지가 필요하게 된다는 것이다. 다른 한 이점은 ns 미만의 응답 시간인데, 이것이 의미하는 것은 광자가 나노초로 검출되어 디지털 신호로 인코딩된다는 것이다.

[0087] 시스템은 센서 영역 상에 영향을 미치는 열 노이즈와 주변광에 의해 생성된 긍정 오류(false positive)를 필터링하여 제거할 수 있다. 도 15는 (a) 실측 자료(ground truth), (b) 원시 검출들, (c) 필터링된 검출들을 보여준다. 제1 필터링 단계는 픽셀 평면 내측에서 이루어지는데, 이것이 의미하는 것은 이러한 필터가 픽셀들 각각 상에서 병렬로 작동한다는 것이다. 일반적으로 이러한 필터는 공간 필터링 방법, 시간 필터링 방법 또는 이들의 조합 중 어느 하나를 나타낸다. 이러한 필터는 트랜지스터 레벨, RTL, 더 복잡한 컴퓨팅 아키텍처, 신경망 등을 사용하여 구현할 수 있다.

[0088] 시스템은 픽셀 평면에서 필터링하기 위한 2가지 기본 원리에 의존한다. 제1 기본 원리는 공간적이다. 투사된 도트 상에 특정 형상을 도입함으로써 지정된 시간 내 도입 커널이 검출된 경우에만 유효한 검출을 플래그(flag)하도록 픽셀을 제한할 수 있다. 예를 들어, 2x1 커널이 도입될 수 있는데, 이것이 의미하는 것은 투사된 도트가 적어도 2x1 픽셀에 걸쳐 있어야 한다는 것이다. 길이 tp의 광 펄스들을 슈팅(shooting)할 때 픽셀들 상에 도입되는 제약은 검출된 광자들이 액티브 투사로부터 나옴을 고려하기 위해 2x1 픽셀들의 클러스터가 tp 내에서 활성화되어야 한다는 것이다. 이러한 원리는 일치(conincidence)로서 언급된다.

[0089] 제2 기본 원리는 시공간적이다. 펄스 반복 주파수가 도트 변위 속도보다 높으면 도트의 궤적이 연속적임이 도입될 수 있다. 예를 들어, 1ns 펄스가 40ns마다 반복되는 경우 41ns의 시간 윈도우는 2개의 펄스를 포착할 수 있게 된다. 픽셀(또는 픽셀 클러스터)이 41ns 윈도우에서 적어도 2개의 펄스를 보아야 함이 도입됨으로써, 주변광 광자 통계가 42ns 윈도우에서 2번의 연속 검출을 생성할 확률이 낮기 때문에 검출된 주변 광자의 상당 부분을 필터링하여 제거할 수 있다. 이러한 원리는 지속성(persistence)으로서 언급된다. 일치와 지속성의 조합을 적용함으로써, 하드웨어 구현 측면에서 매우 효율적인 강력한 필터링 전략이 생성된다.

[0090] 픽셀 내 플랜(in-pixel-plan) 필터링 후에, 어레이 데이터를 출력하는 가장 빠른 방법은 예를 들어 이미저(imager) 축 상으로의 투사를 통해 이를 압축하는 것이다. 다중-도트 스캐닝을 지원하고 투사 후 앨리어싱(aliasing)을 줄이기 위해 이미저는 먼저 예를 들어 64x64 픽셀들의 16x16 타일들로 분할되고 그럼으로써 상기 타일들 각각이 일반적으로 장치 주변 상의 디지털 로직으로 그의 투사들을 출력할 수 있게 된다. 투사 작업으로 1개의 벡터가 행 및 열 투사들에 대한 것인 경우 2개의 벡터(NxN 타일들의 곱)가 생성된다.

[0091] 여기서 유념하여야 할 점은 투사 데이터를 기반으로 벡터들을 생성하는 것이 픽셀 어레이 내측의 비동기 도메인으로부터 주변의 동기 도메인으로 데이터를 가져오는 단계이라는 것이다. 상기 픽셀내 계획 필터링은 동기적으로 구현될 수 있지만 필수는 아니다. 이 때문에, 투사들의 벡터화는 시간에 따라 데이터를 이산화(discretization)하는데, 예를 들어 10ns마다 해당 10ns 동안 들어오는 투사 이벤트들을 기반으로 새로운 벡터가 생성된다.

[0092] 도 16에 도시된 바와 같이, 시간 경과에 따라 이러한 벡터들을 플롯할 경우 새로운 이미지가 형성되며, 이는 투

사된 포인트 또는 구조(d, e)의 궤적을 보여주기 시작한다. 이러한 '이미지'는 다시 처리 및 필터링되어 투사들 각각에 대해 필터링된 투사 시간 데이터세트(d', e')를 생성할 수 있게 된다. 그 후에, 이들은 각각의 시간 스텝(x, y, t)에 대한 x, y 데이터를 직접 생성한다.

[0093] 추가 구현 예들 및 관련 개시내용은 특허 출원 제PCT/IB2021/054688호 "픽셀 센서 시스템(Pixel sensor system)", 제PCT/EP2021/087594호 "이웃 게이트 스위칭 픽셀 센서(Neighborhood-gated switching pixel sensor), 제PCT/IB2022/000323호 "동적 측면 및 시간적 분해능을 구비한 픽셀 어레이(Pixel array with dynamic lateral and temporal resoultion)" 및 제PCT/IB2022/058609호 "SPD 어레이의 지속 필터링(Persistence filtering in SPD array)"에서 찾아볼 수 있으며, 이들의 개시내용은 인용에 의해 보완된다.

[0094] 위에서 논의된 바와 같이, 2개의 연속적인 투사 간 투사된 패턴의 변위는 하나의 픽셀 폭보다 작은 것에 상응하고, 심도 분해능은 연속적인 라인 스캔들 간 결정된 심도의 보간에 의해 개선된다. 그러나 이는 라인 스캔들에 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 되는데, 그 이유는 상기 보간은 도트 스캔들을 사용할 때 동일하게 잘 작동할 수 있기 때문이다.

부호의 설명

[0095] 1. 이미지 센서(픽셀 매트릭스)

2. 레이저 라인

3. 변형된 레이저 라인

4. 카메라(센서 및 광학장치를 포함함)

5. 레이저 프로젝터

6. 레이저 비임(라인 스캔의 한계)

7. 스캔해야 할 물체

8. 투사된 라인

9. 개별 픽셀

10. 주변광으로부터의 노이즈 검출 픽셀

300. 공간 디더링을 위한 시간 윈도우

301. X방향 디더링 공간범위(프로젝터)

303. X방향 픽셀화

312. 실제 라인 위치

314. 적중 분포(시간 스캔에 따른 순간 측정 위치들의 합)

315. 측정된 위치의 평균 위치

322. 이동 도트의 공간적 분포

324. 적중 분산

325. 측정된 위치의 평균 위치

400. 시야

401. 도트 패턴

402. 도트 패턴

403. 크로스 패턴

404. 원형 패턴

411. 패턴 프로젝터

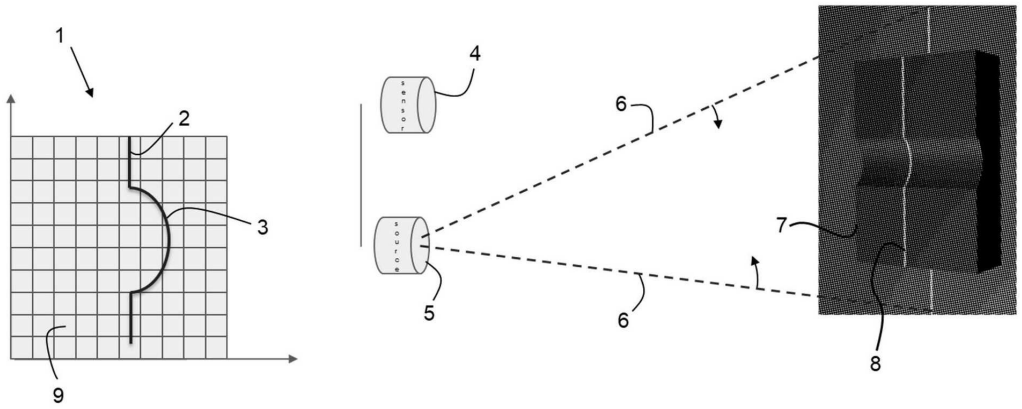
412. 광원

413: 회절 격자와 같은 이미징 평면

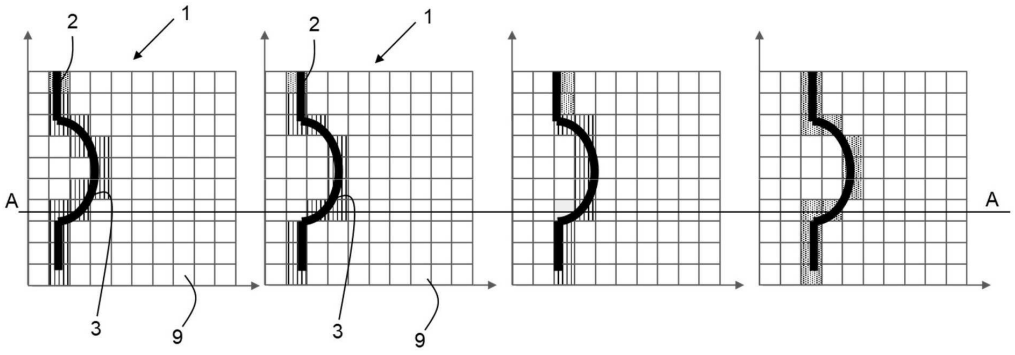
414. 미러

도면

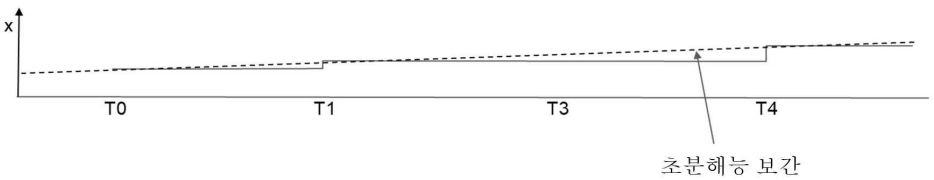
도면1



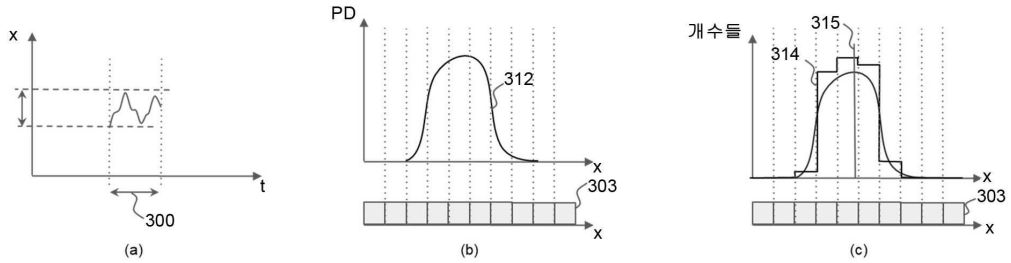
도면2



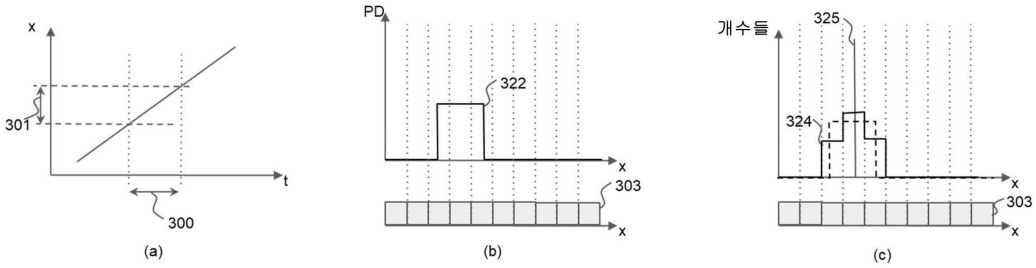
도면3



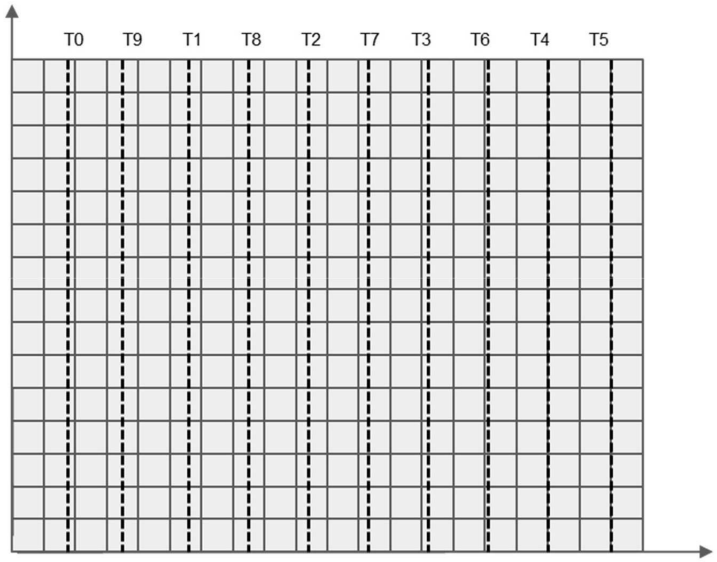
도면4


x
t
300
(a)
PD
312
x
303
x
(b)
개수들
315
314
x
303
x
(c)

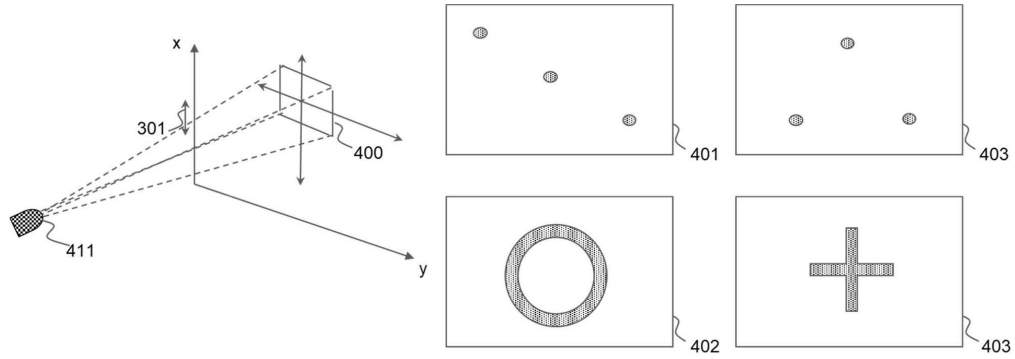
도면5


x
301
t
300
(a)
PD
322
x
303
x
(b)
개수들
325
324
x
303
x
(c)

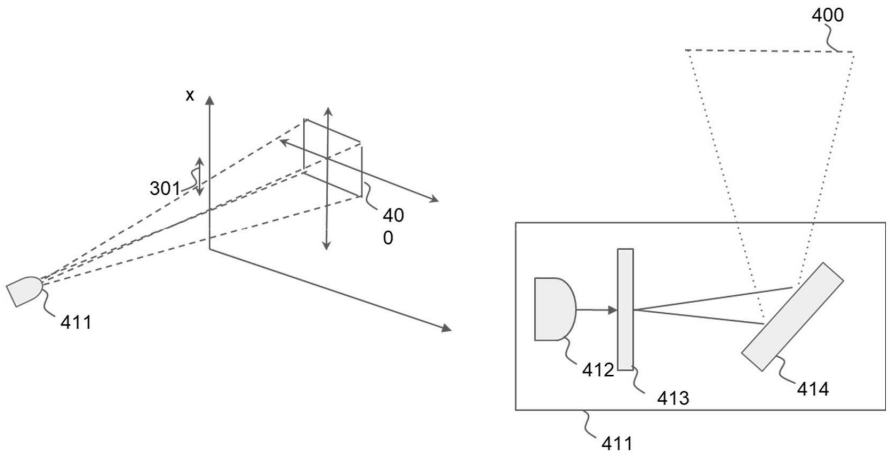
도면6


T0
T9
T1
T8
T2
T7
T3
T6
T4
T5

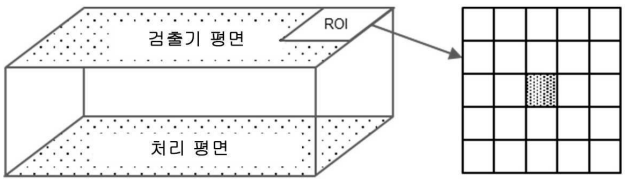
도면7



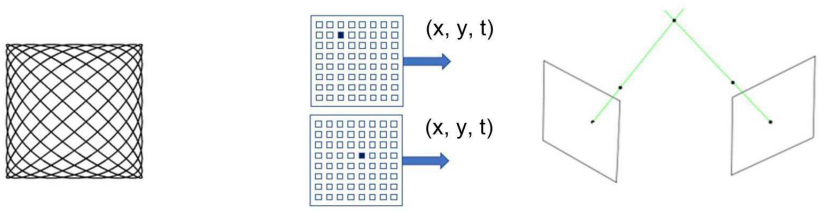
도면8



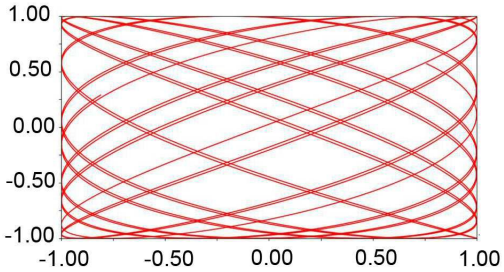
도면9



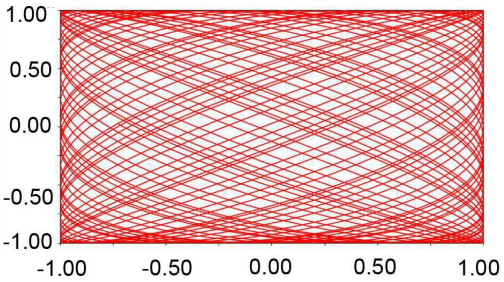
도면10



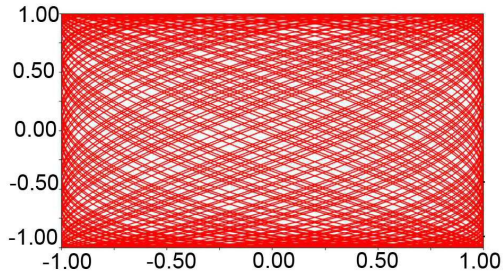
도면11



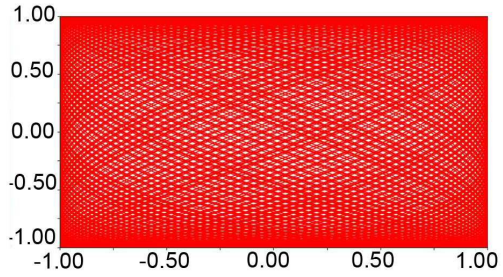
도면12



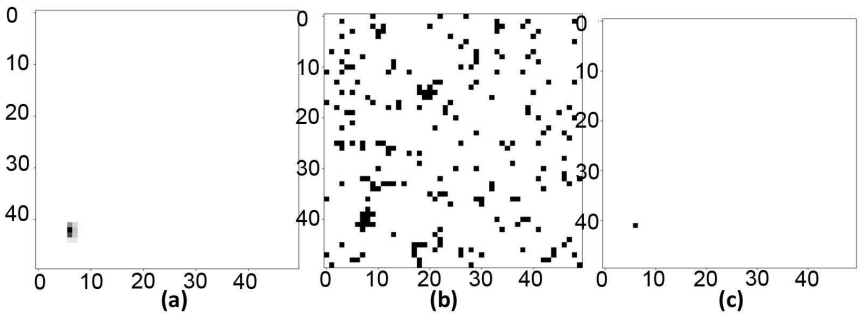
도면13



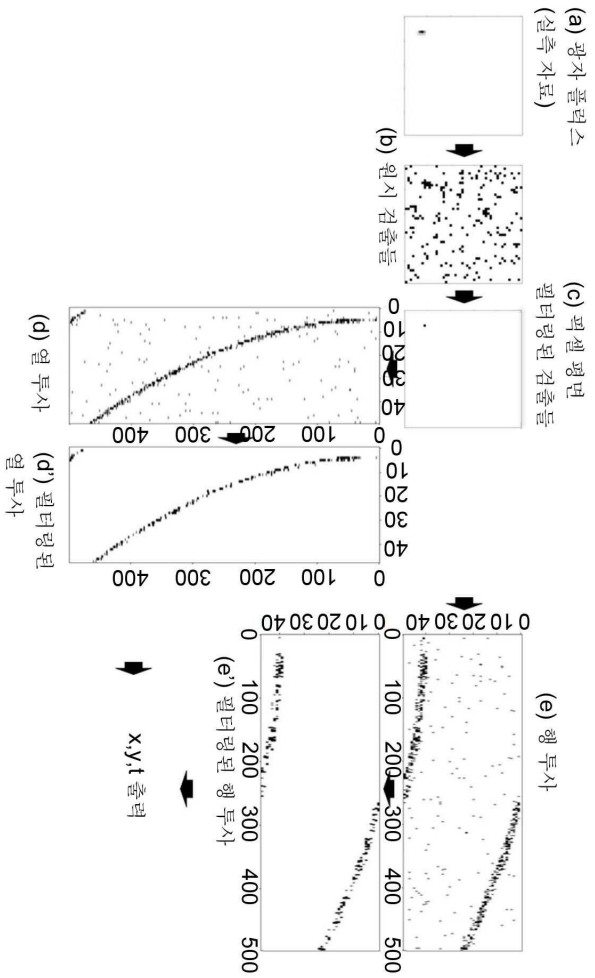
도면14



도면15


(a)
(b)
(c)

도면16


(a) 광자 플럭스 (실측 자료)
(b) 원시 검출들
(c) 픽셀 평면 필터링된 검출들
(d) 열 투사
(d') 필터링된 열 투사
(e) 행 투사
(e') 필터링된 행 투사
x,y,t 출력