



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년02월08일

(11) 등록번호 10-2359907

(24) 등록일자 2022년02월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01H 9/00 (2006.01) G02B 27/48 (2022.01)(52) CPC특허분류
G01H 9/00 (2013.01)
G02B 27/48 (2022.01)

(21) 출원번호 10-2017-7020699

(22) 출원일자(국제) 2015년12월27일

심사청구일자 2020년02월04일

(85) 번역문제출일자 2017년07월24일

(65) 공개번호 10-2017-0097201

(43) 공개일자 2017년08월25일

(86) 국제출원번호 PCT/IL2015/051255

(87) 국제공개번호 WO 2016/103271

국제공개일자 2016년06월30일

(30) 우선권주장

62/097,061 2014년12월27일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

JP07055573 A*

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 19 항

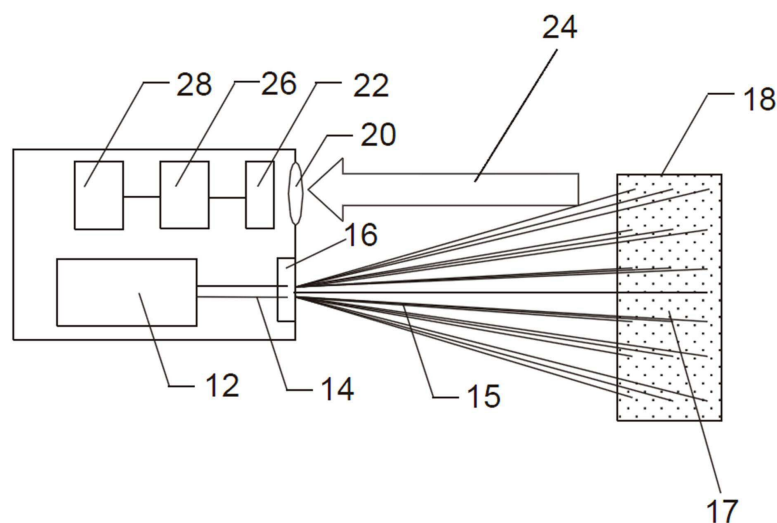
심사관 : 김기환

(54) 발명의 명칭 표면 진동 감지 시스템 및 방법

(57) 요약

표면으로부터 진동을 감지하는 시스템이 제공된다. 상기 시스템은 멀티 빔 패턴을 표면 상으로 투영하기 위한 간섭성 광원, 상기 멀티 빔 패턴에 의해 상기 표면 상에 형성된 각각의 지점(spot)에 의해 생성된 스펙클 영역(speckle field)을 이미지 센서의 소정의 영역에 매핑하기 위한 이미지 장치를 포함한다. 상기 시스템은 더 나아가 상기 이미지 센서에 의해 수신된 스펙클 영역(speckle field) 정보를 처리하고 표면 진동 정보를 추출하는 프로세서를 포함하고, 표면 진동 정보를 유도한다.

대표도 - 도8



(56) 선행기술조사문헌

KR101297187 B1*

KR101386823 B1*

KR1020100076944 A*

JP2002172999 A*

JP2003294857 A*

US20060262317 A1*

KR1020080056721 A*

US20080007715 A1*

KR1020080111474 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

적외선을 감지하는 이미지 센서;

상기 이미지 센서와 유선 또는 무선으로 연결되어 상기 이미지 센서의 출력을 수신하는 프로세서;

광시야각을 갖고 상기 이미지 센서의 전방에 위치한 광각 렌즈; 및

상기 프로세서가 상기 이미지 센서의 출력의 분석에 기초하여 복수의 좌석들 각각에서의 적어도 하나의 움직임 을 감지하게 하기 위해 차량 내의 복수의 좌석들 각각의 적어도 일부를 상기 광시야각이 커버하도록 상기 차량 에 상기 광각 렌즈 및 상기 이미지 센서를 연결하는 마운트;를 포함하고,

상기 광각 렌즈의 개구부는 생리학적 진동의 진동 진폭 범위 및 복수 빔 적외선을 투사하기 위해 선택된 직경에 따라 스펙클 역학을 기반으로 진동 감지를 최적화하도록 조정되고,

상기 투사된 복수 빔의 반사가 상기 이미지 센서에 의해 검출되는 차량 내의 승객을 모니터링하는 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 광각 렌즈의 개구부는 큰 진폭에서 신호 대 잡음 비(SNR)를 최대화하는 큰 개구부와 작은 진폭에 대한 작 은 개구부 사이의 트레이드 오프에 따라 선택되며,

신호 대 잡음 비는 아래의 각 수학적식을 사용하여 계산되는 차량 내의 승객을 모니터링하는 시스템.

[수학적식]

$$SNR = \frac{Std(I_s)}{I_N} = \frac{\beta(s/2)\dot{D}^2}{I_t + \alpha\sqrt{\beta s/2\dot{D}}} \quad (\text{여기서, } l > a; 1 > \dot{D})$$

$$SNR = \frac{\beta(s/2)\dot{D}}{I_t + \alpha\sqrt{\beta s/2\dot{D}}} \quad (\text{여기서, } l > D; \dot{D} > 1)$$

$$SNR = \frac{\beta(s/2)\sqrt{l/a}\dot{D}^2}{I_t + \alpha\sqrt{\beta s/2\dot{D}}} \quad (\text{여기서, } l < a; 1 > \dot{D})$$

$$SNR = \frac{\beta(s/2)\sqrt{(l/a)\dot{D}}}{I_t + \alpha\sqrt{\beta s/2\dot{D}}} \quad (\text{여기서, } l > D; \dot{D} > 1)$$

$$SNR = \frac{\beta s/2\sqrt{1-C}\dot{D}}{I_t + \alpha\sqrt{\beta s/2\dot{D}}} \quad (\text{여기서, } 1 > C > 0), \text{ 그리고}$$

$$SNR = \frac{s/2\beta\sqrt{(n\dot{D}+f(n))^2-f^2(n)}}{I_t + \alpha\sqrt{\beta s/2\dot{D}}} \quad (\text{여기서, } l = D \text{ or } n = 1)$$

(각 방정식에서 α 는 평균 스펙클 크기이고, I_t 는 열 노이즈이고, l 은 패턴의 패턴 변환 길이이고, $Std(I_s)$ 는 이 미지 센서에 도달하는 광 세기의 표준 편차이고, D 는 이미지 센서의 렌즈 개구부의 크기이고, \dot{D} 는 정규화된 구경의 직경이고, s 는 스펙클의 세기이고, n 은 패턴에서 셀의 수이고, β 는 사전 요인(pre-factor)이고, C 는 세기가 무작위로 변경된 N개의 셀 간의 상관 계수이고, $f = \frac{l}{2an}(1-n)$ 이다)

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 프로세서는 상기 이미지 센서의 출력의 분석을 기초로 상기 복수의 좌석 각각에서 사람의 존재 또는 부재를 감지하는 차량 내의 승객을 모니터링하는 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 분석은 상기 복수의 좌석을 커버하는 영역에서 감지된 진동의 분석을 포함하는 차량 내의 승객을 모니터링하는 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 마운트는 상기 차량의 반사 거울과 연결되는 차량 내의 승객을 모니터링하는 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 움직임은 점유, 무게, 연령, 신장, 자세 및 시선 방향으로 구성된 그룹의 구성을 포함하는 차량 내의 승객을 모니터링하는 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 마운트는 루프 라이너와 연결되는 차량 내의 승객을 모니터링하는 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 프로세서는 상기 출력으로부터 깊이 맵을 추출하도록 더 구성되고,

상기 적어도 하나의 움직임은 상기 깊이 맵을 사용하여 검출되는 차량 내의 승객을 모니터링하는 시스템.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 광시야각이 대각선의 적어도 140도 이상인 차량 내의 승객을 모니터링하는 시스템.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 복수의 좌석들은 상기 차량의 모든 좌석인 모니터링하는 시스템.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 복수의 좌석 각각에 광 패턴을 투사하기 위한 간섭성 광원을 더 포함하고,

상기 프로세서는 상기 이미지 센서의 출력 내의 상기 광 패턴의 분석에 기초한 파라미터를 추출하는 차량 내의 승객을 모니터링하는 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 간섭성 광원은 650nm보다 큰 광 파장에서 복수의 빔을 투사하는 차량 내의 승객을 모니터링하는 시스템.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 프로세서는 상기 복수의 좌석 내의 좌석한 적어도 하나의 승객의 심장 박동 및/또는 호흡을 감지하는 이미지 센서의 출력으로부터의 스펙클 영역 정보의 분석에 기초한 파라미터를 추출하는 차량 내의 승객을 모니터링하는 시스템.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 스펙클 영역 정보는 간섭성 광원에 의해 형성된 지점에 의해 생성된 스펙클 영역을 맵핑함으로써 유도된 차량 내의 승객을 모니터링하는 시스템.

청구항 15

제1항에 있어서,

상기 광각 렌즈는 어안 렌즈인 차량 내의 승객을 모니터링하는 시스템.

청구항 16

차량 내의 복수의 좌석들로부터 반사된 적외선을 상기 차량 내의 복수의 좌석의 각각의 적어도 일부를 광각 렌즈의 광시야각이 커버하도록 상기 차량에 물리적으로 장착되고 광각 렌즈를 갖는 이미지 센서를 사용하여 포획하도록 이미지 센서를 사용하는 단계;

상기 이미지 센서에 유선 또는 무선으로 연결되어 상기 이미지 센서의 출력을 수신하는 프로세서를 사용하는 단계; 및

상기 이미지 센서의 출력의 분석에 의해 상기 복수의 좌석의 각각 내의 적어도 하나의 움직임을 감지하는 프로세서를 사용하는 단계;를 포함하고,

상기 광각 렌즈의 개구부는 생리학적 진동의 진동 진폭 범위 및 복수 빔 적외선을 투사하기 위해 선택된 직경에 따라 스펙클 역학을 기반으로 진동 감지를 최적화하도록 조정되고,

상기 투사된 복수 빔의 반사가 상기 이미지 센서에 의해 검출되는 차량 내의 승객을 모니터링하는 방법.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 적외선은 상기 복수의 좌석 각각 상에 투사된 복수의 다른 지점으로부터 반사되는 차량 내의 승객을 모니터링하는 방법.

청구항 18

제16항에 있어서,

상기 복수의 좌석 각각 상에 광 패턴을 투사하는 단계를 더 포함하고,

상기 프로세서의 감지는 상기 이미지 센서의 출력 내의 광 패턴의 분석으로부터 추출된 파라미터에 기초하는 차량 내의 승객을 모니터링하는 방법.

청구항 19

프로그램 명령을 저장하는 비일시적 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체;

상기 프로그램 명령은,

차량 내의 복수의 좌석들로부터 반사된 적외선을 상기 차량 내의 복수의 좌석의 각각의 적어도 일부를 광각 렌즈의 광시야각이 커버하도록 상기 차량에 물리적으로 장착되고 광각 렌즈를 갖는 이미지 센서를 사용하여 포획하도록 이미지 센서를 사용하는 것;

상기 이미지 센서에 유선 또는 무선으로 연결되어 상기 이미지 센서의 출력을 수신하는 프로세서를 사용하는 것; 및

상기 이미지 센서의 출력의 분석에 의해 상기 복수의 좌석의 각각 내의 적어도 하나의 움직임을 감지하는 프로세서를 사용하는 것으로 이루어지고,

상기 광각 렌즈의 개구부는 생리학적인 진동의 진동 진폭 범위 및 복수 빔 적외선을 투사하기 위해 선택된 직경에 따라 스펙클 역학을 기반으로 진동 감지를 최적화하도록 조정되고,

상기 투사된 복수 빔의 반사가 상기 이미지 센서에 의해 검출되는 차량 내의 승객을 모니터링하는 컴퓨터 장치.

청구항 20

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 원격 표면으로부터 진동을 감지하는 시스템 및 이를 이용하는 방법에 관한 것이다. 본 발명의 실시예는 원거리 피사체 또는 객체로부터의 진동을 감지하기 위해 포커스된 스펙클 이미징(speckle imaging)을 이용하는 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 원격 객체의 표면 진동을 측정하는 장치는 당해 기술분야에 공지되어 있다. 예를 들어, 레이저 도플러 진동미터(Laser Doppler Vibrometers, LDV)는 표면에서 반사된 레이저 빔의 도플러 이동을 측정하여 표면 속도를 추출하고 표면 진동을 결정한다.

[0003] 표면에 생성된 스펙클 패턴들(speckle patterns)을 측정하는 장치는 또한 원격 객체의 표면 진동을 식별하는데 사용된다. 스펙클은 한 세트의 웨이브 프론트(wave front)의 상호간섭에 의해 강도 패턴이 특정되어 지기 때문에, 일반적인 스펙클 분석은 시간이 지남에 따라 패턴으로부터 얻을 수 있는 정보의 양을 최대화하기 위해 초점이 이탈된(out-of-focus) 스펙클 이미지들을 이용한다. 초점이 흐려진 스펙클 이미징은 스펙클의 상세한 이미지를 제공하여, 시간에 따른 그들의 변화를 추적하여 회전, 변환(translation), 변형(deformation)과 같은 같은 표면 모션을 추출한다.

[0004] LDV와 스펙클 분석은 모두 고유의 한계점을 가지고 있다. LDV의 경우, 거친 표면은 측정 시 랜덤 노이즈(random noise)를 발생시키는 반사된 광 영역에 스펙클을 발생시킨다. 결과적으로, LDV에 의해 측정된 표면은 가능한 경우 일반적으로 정반사(specular reflectance)를 제공하도록 처리된다. 또한, LDV는 복잡한 장치로 적절한 작동을 위해 전문가가 요구되고 눈 안전 제한을 초과하는 레이저 출력을 이용한다.

[0005] 스펙클 분석을 이용하면, 카메라 프레임 비율(rate)은 추출된 정보의 주파수 대역을 제한한다. 스펙클 분석 접근 방법은 고속의 카메라(수십 KHz)를 사용할 수 있지만, 많은 수의 프레임이 캡처(capture)되고, 메모리에 저장되며, 그리고 실시간 성능과 측정 시간 범위의 크기를 제한하여 분석되어야 한다. 또한, 의미있는 정보를 포착하기 위해서는 초점이 흐려진 스펙클 이미징이 비교적 많은 수의 픽셀을 커버해야한다. 강한 디포커싱(defocusing)이 복수의 픽셀에 걸쳐 레이저 지점 이미지를 퍼뜨리는 반면, 종종 눈의 안전 범위를 넘어서는 레이저 원(source)의 출력을 증가시킴으로써 보상된 광 세기의 상당한 감소를 초래한다.

[0006] 위의 해결방법(solutions)은 표면과 관련하여 정량적인 정보를 제공할 수 있지만, 일부 응용(applications)은 정량적인 정보를 요구하지 않는다. 예를 들어, 현대 생활에서 다양한 응용은 관심 영역 내의 피사체의 존재를 자동으로 감지할 것을 요구한다. 이러한 응용에서 주요한 요구사항은 잠재적으로 안전하지 않은 방사선과 표면에 관한 정량적인 정보를 사용하지 않고도 대상 또는 대상들을 정확하게 식별하는 것이다.

US20060262319는 2개의 빔 레이저 간섭계(interferometer)가 내부 기준 빔과 테스트 빔(대상체의 표면으로부터 반사된 빔) 사이에서 주파수(또는 위상) 차이를 측정하는 레이저 도플러 진동 감지기(laser Doppler vibrometer, LDV)를 개시한다.

LDV는 고가이고 높은 정확도의 하드웨어를 사용하여 2v면의 미세 동작을 감지하고 정량화한다. LDV는고주파, 고출력 레이저 및 kHz 범위에서 샘플링율을 가진 검출기를 사용한다.(주파수 이동에서 진동 감지를 가능하게 하기 위해) 헤테로 다인(heterodyne) LDV는 빔 중 하나에 알려진 주파수 이동(일반적으로 30-40MHz)를 추가한다. 대조적으로, 본 시스템은 Hz 범위(~30 Hz)에 있는 주파수에서 샘플링하여, 집적(integration) 시간이 매우 길고 요구되는 레이저 출력이 매우 낮습니다.(안구 안전 수준에서)

US 20130155195는 스펙클 패턴을 표면 상에 투영하고 대상체의 3D 형상을 재구성하기 위해 투영된 패턴을 검출하는 시스템을 개시한다.

Xiang et al(j. Acoust. Soc. Am. 113,2003)은 2개 이상의 빔에 의해 격자(grid)가 형성될 수 있다고 개시하고, US20080154524는 포토 다이오드 어레이로부터 센서가 제조될 수 있다고 개시하며, US20010029416은 점유(occupancy)를 식별하고 차량의 제어 회로(control circuitry)와 통신할 수 있는 차량 시스템을 개시한다.

[0007] 따라서, 잠재적으로 해로운 방사(radiation)에 피사체를 적용하지 않고 환경에 피사체의 수와 존재를 감지하는데 사용될 수 있는 시스템은 매우 유리할 것이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 일측면에 따른 표면으로부터 진동을 감지하는 시스템은 (a) 멀티 빔 패턴을 표면 상으로 투영하기 위한 간섭성 광원; (b) 상기 멀티 빔 패턴에 의해 상기 표면 상에 형성된 각각의 지점(spot)에 의해 생성된 스펙클 영역(speckle field)을 이미지 센서의 소정의 영역에 매핑하기 위한 이미지 장치; 및 (c) 상기 이미지 센서에 의해 수신된 스펙클 영역(speckle field) 정보를 처리하고 표면 진동 정보를 추출하는 프로세서;를 포함한다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 일측면에 따른 표면으로부터 진동을 감지하는 시스템은 (a) 멀티 빔 패턴을 표면 상으로 투영하기 위

한 간섭성 광원; (b) 상기 멀티 빔 패턴에 의해 상기 표면 상에 형성된 각각의 지점(spot)에 의해 생성된 스펙클 영역(speckle field)을 이미지 센서의 소정의 영역에 매핑하기 위한 이미지 장치; 및 (c) 상기 이미지 센서에 의해 수신된 스펙클 영역(speckle field) 정보를 처리하고 표면 진동 정보를 추출하는 프로세서;를 포함한다.

- [0010] 이하의 본 발명의 바람직한 실시예들에 있어서 다른 특징에 따르면, 상기 이미지 장치는 상기 멀티 빔 패턴에 의해 상기 표면에 형성된 각각의 스펙클 영역(speckle field)의 인 포커스(in-focus) 매핑을 위해 구성된다
- [0011] 설명된 바람직한 실시예들에서 또 다른 특징들에 따르면, 시스템은 빔 스플리터를 더 포함하고, 상기 광원은 단일 빔을 투영하도록 구성된다.
- [0012] 설명된 바람직한 실시예들에서 또 다른 특징들에 따르면, 상기 멀티 빔 패턴은 상기 표면 상에 초점이 맞춰지는 복수의 비 중첩(non overlapping) 비평행(non-collimated)빔으로부터 형성된다.
- [0013] 설명된 바람직한 실시예들에서 또 다른 특징에 따르면, 상기 광원은 650nm 보다 긴 광 파장에서 복수의 빔을 투영하도록 구성된다.
- [0014] 설명된 바람직한 실시예들에서의 또 다른 특징들에 따르면, 상기 멀티 빔 패턴은 상기 표면 상에 그리드를 형성한다.
- [0015] 설명된 바람직한 실시예들에서의 또 다른 특징들에 따르면, 상기 그리드는 2개 이상의 빔에 의해 형성된다.
- [0016] 설명된 바람직한 실시예들에서 또 다른 특징들에 따르면, 상기 그리드는 180도까지의 시야를 커버한다.
- [0017] 설명된 바람직한 실시예들에서 또 다른 특징에 따르면, 상기 프로세서는 상기 이미지 센서의 각각의 소정의 영역에서 광 세기를 분석하여 스펙클 다이내믹스(speckle dynamics)를 감지한다.
- [0018] 설명된 바람직한 실시예들에서 또 다른 특징에 따르면, 상기 이미지 장치는 주위 광을 필터링하기 위한 광학 필터를 포함한다.
- [0019] 설명된 바람직한 실시예들에서 또 다른 특징에 따르면, 상기 이미지 센서는 포토 다이오드 또는 포토 다이오드 어레이를 포함하고, 각각의 스펙클 영역은 상기 이미지 센서의 1 내지 100픽셀에 매핑된다.
- [0020] 설명된 바람직한 실시예들에서 또 다른 특징에 따르면, 상기 광원은 빔 당 1밀리와트보다 작은 광 출력을 사용하여 상기 멀티 빔 패턴을 투영하도록 구성된다.
- [0021] 설명된 바람직한 실시예들에서 또 다른 특징에 따르면, 상기 광원의 렌즈에 구경(aperture)는 수식 17 내지 18, 21 내지 22, 27 및 30에 근거하여 선택된다.
- [0022] 설명된 바람직한 실시예들에서 또 다른 특징에 따르면, 상기 광원은 0.1m 내지 15m 이격된 표면에 상기 멀티 빔 패턴이 투영하도록 구성된다.
- [0023] 설명된 바람직한 실시예들에서 또 다른 특징에 따르면, 상기 프로세서는 상기 표면 진동 정보에 근거하여 상기 표면을 정격화(qualifying) 하도록 더 구성된다.
- [0024] 설명된 바람직한 실시예들에서 또 다른 특징에 따르면, 상기 표면 진동 정보에 근거하여 사람을 식별할 수 있다.
- [0025] 설명된 바람직한 실시예들에서 또 다른 특징에 따르면, 차량 내부에 실장되도록 구성된다.
- [0026] 설명된 바람직한 실시예들에서 또 다른 특징에 따르면, 상기 상기 차량의 온보드(onboard) 시스템에 차량 탑승자 수(vehicle occupant count)를 전달할 수 있다.
- [0027] 본 발명의 다른 측면에 따른 표면으로부터 진동을 감지하는 시스템은 (a) 비 평행 빔(non-collimated beam)을 표면 상으로 투영하기 위한 간섭성 광원; (b) 상기 비 평행 빔에 의해 상기 표면 상에 형성된 지점(spot)에 의해 생성된 스펙클 영역(speckle field)을 이미지 센서의 소정의 영역에 매핑하기 위한 이미지 장치; 및 (c) 상기 이미지 센서에 의해 수신된 스펙클 영역(speckle field) 정보를 처리하고 표면 진동 정보를 추출하는 프로세서;를 포함한다.
- [0028] 본 발명의 또 다른 측면에 따른 표면으로부터 진동을 감지하는 시스템은 (a) 하나의 평행 빔(single collimated beam)을 표면 상으로 투영하기 위한 간섭성 광원; (b) 상기 하나의 평행 빔에 의해 상기 표면 상에 형성된 지점(spot)에 의해 생성된 스펙클 영역(speckle field)을 포착하는(capturing) 포토 다이오드; 및 (c) 상기 포토

다이오드에 의해 수신된 스펙클 영역 정보를 처리하고, 1 μ m 내지 50cm의 진폭 및 1Hz 내지 100kHz의 주파수에서 스펙클 진동으로부터 표면 진동 정보를 추출하는 프로세서;를 포함한다.

[0029] 본 발명은 눈 보호 가이드라인(eye safety guidelines)을 초과하는 광 조사를 사용하지 않고 환경 내의 피사체 및 물체를 검출하는데 사용될 수 있는 시스템을 제공함으로써 현재 알려진 구성의 단점을 성공적으로 해결한다.

[0030] 달리 정의되지 않는 한, 본 발명에서 사용되는 모든 기술 및 과학 용어는 본 발명이 속하는 기술 분야의 당업자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가질 수 있다. 본 발명에 기술된 것과 유사한 또는 동등한 방법 및 물질이 본 발명의 실시 또는 시험에 사용될 수 있지만, 적합한 방법 및 물질은 이하 설명한다. 다름이 존재하는 경우, 본 명세서가 포함하는 정의들로 컨트롤할 수 있다. 게다가, 재료, 방법 및 예들은 단지 예시적인 것이며 한정하려는 것이 아니다.

[0031] 본 발명의 방법 및 시스템의 실현은 선택된 작업 또는 단계를 수동, 자동 또는 이들의 조합으로 수행하거나 완료하는 것을 포함한다. 게다가, 본 발명의 방법 및 시스템의 바람직한 실시예의 실제 장치 및 장비에 따라 몇몇 선택된 단계는 하드웨어 또는 어떤 운영 체제의 임의의 펌웨어 또는 임의의 조합 상의 소프트웨어에 의해 구현될 수 있다. 예를 들어, 하드웨어로서, 본 발명의 선택된 단계들은 칩 또는 회로로서 구현될 수 있다. 소프트웨어로서, 본 발명의 선택된 단계들은 어떤 적합한 운영 체제를 사용하여 컴퓨터에 의해 실행되는 복수의 소프트웨어 명령으로서 구현될 수 있다. 어떠한 경우에, 본 발명의 방법 및 시스템의 선택된 단계는 복수의 명령을 실행하기 위한 컴퓨팅 플랫폼으로서 데이터 프로세서에 의해 수행되는 것으로 설명될 수 있다.

발명의 효과

[0032] 본 발명은 눈 보호 가이드라인(eye safety guidelines)을 초과하는 광 조사를 사용하지 않고 환경 내의 피사체 및 물체를 검출하는데 사용될 수 있는 시스템을 제공함으로써 현재 알려진 구성의 단점을 성공적으로 해결한다.

도면의 간단한 설명

[0033] 본 발명은 첨부된 도면을 참조하여 단지 예로서 설명된다. 도면을 상세하게 구체적으로 참조하면, 도시된 세부 사항은 단지 예일 뿐이고, 본 발명의 바람직한 실시예에 대한 설명을 목적으로 하기 때문에 본 발명의 원리 및 개념적인 측면에서 가장 유용하고 용이하게 이해될 것이다. 이와 관련하여, 본 발명의 근본적인 이해의 필요성보다 본 발명의 구조적 세부 사항들을 더욱 세세하게 나타내려는 시도는 없으며, 도면에 나타난 설명은 본 발명의 몇몇 형태가 어떻게 실제로 구현될 수 있는 지에 대해 당업자에게 명백하다. 도면에서:

도 1은 본 발명의 교시에 따라 구성된 원거리 표면의 진동을 모니터링하는 광학 장치의 일 실시예를 도시한다.

도 2는 스펙클(speckle) 영역의 신호를 분석하기 위한 통계 모델이다. 화살표는 렌즈 구경을 따라 패턴의 해석 과정(translation)을 나타낸다.

도 3은 시스템의 SNR 대 정규화된 구경 지름(D' , $1 < D'$)의 도표(plot)이다. 그리고 [식(22, 23)]에서 $I_{\tau=1}$; $\alpha=(1/a)^{(1/4)}$; $\beta=(\sqrt{(a/1)})^{2/s}$ 이다.

도 4는 수치 해석에서 사용된 레이저 지점(spot)에 의해 덮힌 영역에서의 위상 분포(phase distribution)를 나타낸다(x 및 y 축은 μ m 단위)

도 5는 렌즈 구경(lens aperture)을 통해 변환된 계산된 스펙클 영역을 도시한다. 이 영역은 SNR을 계산하는데 사용된다.

도 6a 내지 6b는 $l=a=2\text{mm}$ 에 대한 $\text{Std}(\Delta I)$ 대 D' 의 도표(plot)를 도시한다. 여기서, 전체 범위에서 $1 < D'$ 이다

(도 6a). 검은색 점(black dots)-시뮬레이션 결과, 실선-통계 모델 결과: $y=1.79 \cdot [10]^{(-17)D'}$. 도 6b는 도 6a의 도표의 로그 표현이다.

도 7은 $l=50\text{mm} > D'$ 에 대한 $\text{Std}(\Delta I)$ 대 D' 의 도표(plot)을 도시한다. 검은색 점-수치 시뮬레이션 결과, 실선-통

계 모델 결과: $y=1.9 \cdot [10]^{(-17)D'}$.

도 8은 차량 내부의 피사체를 감지하도록 구성된 본 시스템의 실시예이다.

도 9a 내지 도 9b는 차량의 측면(도 9a) 및 상면(도 9b)에서 시스템의 적용 범위를 도시하는 차량에 장착된 도 8의 시스템의 실시예를 도시한다.

도 10은 본 시스템의 움직임 감지 수행을 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0034] 본 발명은 환경에서 피사체의 존재를 검출하거나 잠재적으로 위험한 상황과 관련된 환경의 변화를 검출하는데 사용될 수 있는 시스템에 관한 것이다. 구체적으로, 본 발명은 차량 관리 시스템(vehicle management system)에 예를 들어, 사고 시, 유용한 정보를 제공하기 위해 차량 내 피사체의 존재를 검출하기 위해 사용될 수 있다. 본 발명은 개인의 안전 및 웰빙과 관련된 환경의 변화인 예컨대 예를 들어 가정에서 화재로 인한 연기를 감지하기 위해 사용될 수 있다.
- [0035] 본 발명의 원리 및 동작은 도면 및 첨부된 설명을 참조하여 더 잘 이해될 수 있다.
- [0036] 본 발명은 적어도 하나의 실시예를 상세하게 설명하기 전에, 본 발명은 그 응용(applications)에 있어서 이하의 설명에서 설명되거나 실시예에 의해 예시된 세부사항으로 제한되지 않는다. 본 발명은 다른 실시예가 가능하거나 다양한 방법으로 실시되거나 수행될 수 있다. 또한, 본 명세서에서 사용된 표현 및 용어는 설명의 목적을 위한 것이며, 제한적으로 간주되어서는 안되는 것을 이해해야 한다.
- [0037] 물체의 표면으로부터 정성 또는 정량 정보를 추출하기 위한 목적으로 레이저 스펙클(speckle)을 분석하는 접근법이 당업계에 알려져 있다. 스펙클(speckle) 분석은 물체의 식별과 관련하여 기술되었다(US20080154524); 생리학적 파라미터 추출(US20130204112), 생체 확인(US20110026783) 및 표면 진동의 원거리 감지(bianchi, Applied Optics, Vol53, No 5, 2014)
- [0038] 전형적인 스펙클 분석 접근법들은 시간이 지남에 따라 이 패턴으로부터 얻을 수 있는 정보의 양을 최대화하기 위해 초점을 벗어난(out of focus) 스펙클 이미지를 활용한다. 이는 특히 스펙클 패턴의 분석이 물체의 표면으로부터 정량적인 정보를 검색하는데 사용되는 경우에 해당된다. 인 포커스(in-focus) 스펙클 분석 또한 알려져 있으며, Bianchi(Ibid)는 원거리 표면 진동을 검출하기 위한 목적의 단일 픽셀 검출기(포토 다이오드) 상에 스펙클 패턴이 집중되는 시스템을 설명한다.
- [0039] 본 발명을 실시를 감소하는 동안, 본 발명자들은 눈 안전(eye-safe), 저전력 광 조사(예, 클래스1 레이저) 및 고유의 스펙클 분석 알고리즘을 사용하여 현실로 그리고 어떤 환경에서도 물체 또는 대상체의 표면으로부터 진동을 검출하는 스펙클 분석 시스템을 고안해왔다. 후술되는 바와 같이, 본 시스템은 특히 자동차 또는 가정과 같은 제한된 공간에서 개인의 존재를 검출하고, 연기 또는 지진과 같은 환경적 위험을 검출하는데 유용하다.
- [0040] 긍정 오류들(false positives)을 최소화하고 움직이지 않는 또는 이동가능한(mobile) 대상체의 신뢰성있는 검출을 제공하기 위해, 본 시스템은 대상체의 심장 박동 및/또는 호흡으로 인한 표면 진동을 검출하도록 구성된다. 따라서, 본 발명의 일 측면에 따르면, 표면으로부터의 진동을 검출하는 시스템이 제공된다. 본 시스템은 무생물이나 사람과 같이 움직이지 않거나 이동가능한 대상체로부터의 진동을 포함하여 일정 거리로 멀리 떨어진 표면으로부터 진동을 감지할 수 있다. 후술하는 바와 같이, 본 시스템은 특히 인간으로부터 '생리학적 진동'(심박수 또는 호흡으로 인한 피부 또는 의류/커버 진동)을 검출하는데 특히 유용하다.
- [0041] 현재 시스템은 다음의 파라미터를 근거로 구성된다.
- [0042] (i) 눈에 안전한(eye safe) 비 평행 또는 평행한 간섭 광 빔 또는 빔들을 투영하는 저 전력 광원의 사용;(예를 들어, 830nm에서 좁은 평행 빔은 700uw의 에너지 수준으로 제한됨)
- [0043] (ii) 각각의 스펙클 영역을 이미지 센서의 소정의 영역으로 매핑; 및/또는
- [0044] (iii) 요구된 진폭 범위에서 스펙클 다이내믹스 검출을 최적화하기 위해 콜렉팅 렌즈(collecting lens)의 구성과 빔 직경을 조정
- [0045] 본 시스템은 상기 기능을 제공하고 표면 진동을 정확하게 검출하기 위하여 여러 가지 방법 중 하나로 구성될 수 있다. 제1 구성에서 본 시스템은 표면 상에 멀티 빔 패턴을 투영하는 간섭성 광원을 포함한다. 이러한 간섭성 광원은 수십 밀리와트(milliwatt)로 방출되는 클래스 I 레이저일 수 있으며, 확산기(diffuser)로 향할 수 있다. 확산기를 나가는 복수의 빔 각각은 방출된 파장에 대한 눈 안전 한계(eye safety limit)이하로 유지되어야 한다. 예를 들어, 830nm에서 0차 빔의 세기는 700μW에 도달하지 않아야 한다. 시스템은 또한 멀티 빔 패턴에 의

해 표면 상에 형성된 각각의 지점(spot)에 의해 생성된 스펙클 영역을 이미지 센서의 소정의 영역에 매핑하기 위해 포토 다이오드 어레이(예, CCD)와 같은 이미지 장치를 포함한다. 이미지 센서에 의해 캡처된 정보(예, 광 세기 변화)는 표면 진동 정보를 추출하기 위해 전용(dedicated) 알고리즘(이후에 추가로 설명됨)을 실행하는 프로세서를 통해 처리된다. 본 시스템의 제2 구성은 비평행 빔을 표면에 투영하기 위한 간섭성 광원과 비평행 빔에 의해 표면 상에 형성된 지점(spot)에 의해 생성된 스펙클 영역을 이미지 센서의 소정의 영역에 맵핑하는 이미지 장치를 포함한다. 전용 알고리즘을 실행하는 프로세서는 센서-캡처된 정보로부터 표면 진동 정보를 추출한다.

[0046] 본 시스템의 제3 구성은 단일 평행 빔을 표면 상에 투영하기 위한 간섭성 광원과 평행한 빔에 의해 표면 상에 형성된 지점(spot)에 의해 생성된 스펙클 영역을 포획하기 위한 포토 다이오드를 포함한다. 이러한 구성에서, 프로세서는 1um 내지 50cm의 진폭 및 1Hz 내지 100kHz의 주파수에서 스펙클 진동으로부터 표면 진동 정보를 추출하기 위해 포토 다이오드에 의해 얻어진 스펙클 영역의 정보를 처리한다.

[0047] 전술한 바와 같이, 본 시스템은 이미지 센서 상에 광 세기의 변화/이동으로부터 표면 진동 정보를 추출하기 위한 알고리즘을 사용한다. 알고리즘은 시간에 따른 각 지점의 세기를 따르고 그것의 분산을 분석한다. 단일 지점의 경우, 해당 지점으로부터 수집된 전체 세기를 분석하고, 복수의 조사된 지점들(probed spots)의 경우 각 지점의 전체 세기가 각각 분석된다. 센서의 통계적 잡음으로부터 유래하는 신호의 분산과 표면 이동(surface motion)을 의미하는 스펙클 패턴에서 이동(shift)으로부터 유래하는 분산을 구별하는 것이 필요하다. 이러한 목적을 위해, 분산의 임계값은 항상 노이즈 레벨 이상으로 유지되는 방식으로 미리 결정된다. 임계값은 시간에서 반드시 일정할 필요가 없고, 상이한 외부 상태에서 다른 값들을 가질 수 있다. 알고리즘은 임계값 이상으로 분산의 증가를 검출하면, 검사중인 지점에서 표면 이동(surface motion)을 나타낸다. 설명된 절차는 각 지점에서 필터링되지 않은 이동 감지 지시(motion detection indication)를 생성한다. 오 감지(false detections) 하에서 시스템의 강인성(robustness)을 더욱 향상시키기 위해 복수 개의 필터들이 이동 데이터(motion data)에 적용된다.

[0048] 템포럴 필터(temporal filter)는 전기적 노이즈 또는 시스템이나 환경의 순간적인 음향 충격(momentary acoustical shock)으로부터 야기하는 단기 변동(fluctuations)을 제거하는데 사용된다. 둘째로, 복수의 지점들을 포함하는 구성에서 멀티 공간 필터(spatial filters)들 또한 적용된다. 이동 지시들(motion indications)의 매트릭스를 분석함으로써, 오 검출들은 물체 크기에 근거하여 필터링될 수 있다(매트릭스의 주어진 블랍(BLOB)에서 긍정적 지시의 수를 셈으로써) 움직이는 물체가 사람이나 애완동물보다 훨씬 작으면, 비행 벌레 또는 진동하는 휴대 전화로 인해 생성되어, 긍정적인 검출을 활성화해서는 안된다. 고해상도 매트릭스의 경우, 검출된 움직이는 물체의 모양은 오 검출들(false detections)의 추가 필터링을 위해 분석된다. 예를 들어, 투명의 승객이 뒷자석의 반대편에 앉았을 때, 그들의 움직임은 비어있는 중간 좌석으로 전파되는 좌석의 움직임을 생성한다. 결과적으로, 마이크로 이동 매트릭스는 중앙 시트의 영역을 따라 무작위로 배치된 점들(dots)을 가질것으로 예상된다. 예를 들어, 이산 코사인 변환의 공간 주파수 성분 또는 무작위 패턴의 평균 반경(메스(mass)의 중심으로부터의 거리)과 같은 모양 특성(shape characteristics)을 인간 형상의 것과 의 비교는 이러한 두 요소 간의 차이점을 위한 효율적인 도구를 제공한다. 본 방법은 중간 좌석을 위한 신뢰성 있는 점유 상태를 제공하기 위해 단독으로 또는 다른 알고리즘에 추가로 사용될 수 있다.

[0049] 공간 필터는 또한 외부 노이즈 소스로부터 유발하는 오 검출들을 방지하기 위해 사용된다. 예를 들어, 주차된 차량이 바람이나 비에 의해 강하게 진동하는 경우, 매트릭스의 모든 지점들은 긍정적인 이동 지시를 제공할 것으로 기대된다. 공간 필터는 전체 지점들에 근접한 복수의 긍정적 지시의 수를 셀 때, 시스템이 긍정 오류 검출을 제공하는 것을 방지한다.

[0050] 이하 도면을 참조하면, 도 1은 본 명세서에서 시스템(10)으로 지칭된 본 시스템의 일 실시예를 도시한다. 시스템(10)은 파장 λ 에서 빔(14)을 방출하는 레이저 소스(12)를 포함한다. 파장은 응용 및 센서 유형에 따라 400nm 내지 2000nm 사이로 가시광선에서 짧은 적외선 영역까지 다양할 수 있다.

[0051] 빔(14)은 콜리메이팅 렌즈(collimating lens, 16)를 통해 타겟 표면(18)을 향한다. 렌즈(16)들은 방출된 광을 평행하게 하고, 평행 빔을 투영한다. 타겟 표면에서의 빔 직경은 렌즈(16)의 초점 길이에 의해 결정된다.

[0052] 빔(14)은 표면(18)에 충돌하여 확산 산란(diffusive scattering)을 겪는다. 이미지 센서(22)의 전방에 위치한 콜렉팅 렌즈(20)는 렌즈(20)에 도달하는 후방 산란광(24)을 수집한다. 렌즈(20)는 주변 광의 포획을 감소하기 위해서 레이저 파장(예로, 830nm)을 중심으로 하는 대역 통과 필터로 덮인다. 이미지 센서(22)는 렌즈(20)에 의해 수집된 광 에너지가 이미지 센서(22) 상에 집중되도록 이미지 평면에 인접하게 위치한다. 도 1에 도시된 장

치(setup)에서, 광전류는 바람직하게 렌즈(20)의 구경에 도달하는 전체 세기에 비례하고, 이에 따라 수집된 스펙클 전체 세기에 대한 양호 지시를 제공한다.

[0053] 이미지 센서(22)는 정확하게 이미지 영역(plane)에 있을 필요는 없다. 초점 평면으로부터 멀어지면서, 이미지 센서(22)의 포토 다이오드 상에 투영된 지점의 크기가 증가한다. 이미지 센서(22)는 지점의 이미지가 하나 또는 그 이상의 포토다이오드를 덮을때까지(자동 또는 수동으로) 이동될 수 있다. 이는 시스템(10)과 타겟 사이의 거리가 크게 변할 수 있는 응용 분야에서 중요한 특징이다. 그러한 경우, 지점 이미지가 포토 다이오드보다 작은 한, 렌즈(20)를 통해 재포커싱할 필요가 없다.

[0054] 이미지 센서(22)에 의해 캡처된 광 신호는 프로세서(26) (예를 들어, Amdel ATSAMV71Q21A와 같은 마이크로 프로세서)에 의해 처리된다.

[0055] 상기 상술한 바와 같이, 프로세서(26)는 광 세기의 변화를 분석하고 표면 이동을 검출하도록 구성된 알고리즘을 실행한다.

[0056] 처리된 정보에 근거하여, 프로세서(26)는 표면 진동이 존재하는지를 결정하고 이러한 진동의 주파수와 세기가 추정되었는지(estimated)를 결정한다. 진동 파라미터들이 임계값들에 도달하고, 적용된 필터들을 통과하면, 시스템(10)은 디스플레이, 오디오 장치(예, 스피커) 등일 수 있는 인터페이스(28)를 통해 사용자에게 대상체의 존재를 나타낸다. 시스템(10)의 일부 구성에서, 인터페이스(28)는 차량/주택 관리 시스템의 일부일 수 있다. 인터페이스(28)는 프로세서(26)에 배선되거나 무선 연결을 통해 통신할 수 있다(예, 와이파이, 블루투스 등).

[0057] 다음은 시스템(10)을 통한 산란된 광 포획을 보다 상세하게 설명한다.:

[0058] 산란된 광 영역은 렌즈(20)의 구경에서 평균 스펙클 크기를 갖는 임의의 스펙클 패턴을 나타낸다:

[0059]
$$(1) \quad a = \frac{\lambda z}{w}$$

[0060] 여기서, w는 타겟(20)에서 빔의 둘레길이(waist)이고, z는 타겟으로부터 시스템까지의 거리이다.

[0061] 구경을 덮는 스펙클 영역은 이미지 센서(22) 상에 초점이 이루어진 지점(spot) 상에 렌즈(20)에 의해 집적된다. 표면 진동의 결과로서, 렌즈(20) 상에 투영된 스펙클 패턴은 변화하고, 따라서 이미지 센서(22)에 도달하는 광 세기(I)가 변동한다. 패턴 변화는 조사중인 표면의 이동에 의해 결정되며, 이는 3가지 유형의 이동으로 나뉜다. (변환(translations), 회전(rotations), 변형(deformations)) 수평 방향 변환(lateral translations)은 표면의 이동과 동일한 스케일(scale)로 패턴의 이동을 발생시킨다. 축 방향 변환(axial translations)은 패턴의 스케일을 변화시킨다. 식 (1)에 따르면, 수 미터 거리에서 수 마이크로미터의 진동 진폭은 스케일링(scaling)에 매우 약한 영향을 가진다. 게다가, 평행 빔의 레이저 지점 직경(w)은 또한 z와 선형적으로 스케일되고, 축 방향 진동(axial vibrations)이 스케일링에 미치는 영향이 더욱 감소된다. 표면 회전은 표면이 반사 거울인 것처럼 $I = 2\theta z$ 로 패턴을 변환한다. 표면 회전에 의한 패턴 변환은 거리에 의해 증폭되기 때문에, 수평 방향 및 축 방향 변환 보다 스펙클 다이내믹스에 더 큰 기여를 한다.

[0062] 표면 이동의 마지막 유형은 변형이다. 변형은 산란된 광의 위상 분포를 변화시키고, 스펙클 패턴은 끓는 물과 유사한 임의의 변화를 겪는다. 이동의 세가지 유형이 동시에 발생하는 표면 이동의 일반적인 경우에 스펙클 다이내믹스는 변형, 끓음(boiling) 및 스케일링의 조합으로 형성된다.

[0063] 만약 산란 표면이 투명한 탁한 액체(transparent cloudy liquid)로 교체되면, 액체에서 산란 입자가 지속적으로 이동상태에 있고, 그러므로 산란된 광들의 광학 경로는 시간에 따라 변화한다. 관찰된 스펙클 패턴은 그러므로 '강한 끓음(strong boiling)'일 수 있다. 상기 현상에 비추어볼 때, 시스템에서 광전류의 변동의 진폭은 표면 진동에 대한 좋은 지시를 나타낸다.

[0064] 시스템의 상이한 파라미터를 고려하여, 검출기에 도달하는 광 세기의 표준 편차(std(I))의 의존성을 정량적으로 결정하기 위해 통계 모델이 구현되었다. 표면 회전에 의한 패턴 변환이 연구되었고(도 2), 각 셀이 강도 s 또는 0을 전달할 동일한 확률을 갖는 이산 격자(discrete lattice)로 스펙클 패턴을 모델링했다. 셀 길이는 평균 스펙클 크기를 나타낸다. 이러한 설명은 작은 스펙클의 범위(예, 스펙클 크기가 렌즈 구경보다 작음)에서만 유효하기 때문에, 큰 스펙클 범위에서 개별적으로 분석되었다. 길이 l의 패턴 변환은 격자에서 값을 $1/a$ 단계로 이산 이동(discrete shift)하여 모델링되었다. 단순화를 위해, 렌즈 구경은 크기 D인 정사각형으로 가정된다. 표면 각속도w에 의한 스펙클 패턴의 속도v는 $v = 2\omega z$ 로 주어진다. 연속적인 데이터 포인트들(successive data

points)^τ 사이의 주어진 시 구간 동안 패턴 변환은 $l = 2\omega z\tau$ 이다.

첫째, $l \geq D$ 의 경우(예로, 연속적인 프레임들(frames)의 셀은 상관관계가 없음)를 시험했다. 단일 노출의 세기 I 는 이하로 나타난다:

$$(2) \quad I = \sum_{i=1}^{N_s} I_i = \sum_{i=1}^{N_s} s \left(p_i + \frac{1}{2} \right) = \frac{sN_s}{2} + s \sum_{i=1}^{N_s} p_i$$

(여기서, I_i 은 셀 번호 i 의 파워 레벨(power level)이고, 세기 레벨 s 를 갖는 셀에 대해서 는 $p_i = 1/2$ 이고, 빈 셀에 대해서는 $p_i = -1/2$ 임, 동일한 확률을 갖는다. 노출에 관한 세기를 평균화하는 방법은 아래로 유도된다:

$$(3) \quad \langle I \rangle = \frac{sN_s}{2}$$

그리고 평균 세기 제곱은 아래로 유도된다:

$$(4) \quad \langle I^2 \rangle = \langle \sum_{i=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{N_s} I_i I_j \rangle = \langle \sum_{i=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{N_s} s^2 \left(p_i + \frac{1}{2} \right) \left(p_j + \frac{1}{2} \right) \rangle = \frac{s^2 N_s^2}{4} + \frac{s^2 N_s}{4}$$

아래와 같이 다음을 사용하여 표준 편차를 찾을 수 있다:

$$(5) \quad \text{Std}(I) = \frac{s}{2} \sqrt{N_s}$$

스펙클의 수 $N_s = (D/a)^2$ 를 대입한 결과는:

$$(6) \quad \text{Std}(I) = \frac{s}{2} \left(\frac{D}{a} \right) = \frac{s}{2} \tilde{D} \quad \text{for } l > D; \tilde{D} > 1$$

여기서, 정규화된 구경의 직경 \tilde{D} 이 도입되었다.

보다 느린 패턴변환의 경우 $l < D$ 로 검사된다. 이러한 경우, 셀들의 일부(fraction)는 연속적인 프레임 쌍에 공통적이고, 단지 lD/a^2 셀들이 대체된다. (도 2에 도시된 바와 같이, l/a 행들은 오른쪽으로부터 렌즈 표면에 들어가고, 다른 모든 셀들은 양방향 프레임(both frames)에서 발견된다) 연속적인 프레임들 사이에서 상관관계를 강조하기 위해, $\Delta I^i = I^i - I^{i-1}$ 의 표준 편차가 조사되었다(위 첨자 i 는 프레임 번호 i 를 나타낸다)

프레임들에 관한 ΔI^i 의 평균을 계산하면, 아래로 하나 얻어진다:

$$(7) \quad \langle \Delta I \rangle = \sum_{j=1}^{N_s} \langle I_j^i - I_j^{i-1} \rangle = \sum_{j=1}^{lD/a^2} \langle I_j^{i-1} - I_j^i \rangle = 0$$

$(\Delta I)^2$ 의 평균은 다음과 같이 주어진다.

$$(8) \quad \langle (\Delta I)^2 \rangle = \langle \sum_{j=1}^{lD/a^2} \sum_{k=1}^{lD/a^2} (I_j^i - I_j^{i-1})(I_k^i - I_k^{i-1}) \rangle = \frac{s^2 lD}{2 a^2}$$

따라서

$$(9) \quad \text{Std}(\Delta I) = \frac{s}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{l}{a}} \tilde{D} \quad \text{for } D > l$$

식(8)에서 합계(summations)의 상한값을 대체하면, 하나 얻는다:

$$(10) \quad \text{Std}(\Delta I) = \frac{s}{\sqrt{2}} \tilde{D} \quad \text{for } l > D$$

$\text{Std}(\Delta I) = \sqrt{2} \text{Std}(I)$ 관계를 사용하면 아래를 유도한다:

$$(11) \quad \text{Std}(I) = \frac{s}{2} \sqrt{(l/a)} \tilde{D} \quad \text{for } \tilde{D} > 1$$

[0087] 다음으로, $\hat{D} < 1$ 의 범위가 고려된다. 이 조건에서 시스템을 모델링하기 위해, 구경의 크기는 단일 격자 셀로 설정되었다. $a > D$ 크기인 스펙클은 동일한 세기를 포함하는 n^2 셀들의 크기의 패턴에서 정사각형으로 나타난다. 각 스펙클들의 일부만이 렌즈에 의해 캡처되기 때문에, 유효 세기 진폭 $s_{\text{eff}} = s\hat{D}^2$ 는 스펙클 진폭 s 를 대체한다. $l < a$ 인 경우 전체 세기는 a/l 프레임들을 따라 일정하다. 그러므로 $N \gg a/l$ 프레임에 관한 평균은 아래로 나온다:

[0088] (12) $\langle (\Delta I)^2 \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (I^i - I^{i-1})^2 = \frac{1}{2a} s_{\text{eff}}^2$.

[0089] (13) $\text{Std}(I) = \sqrt{l/a} \frac{s_{\text{eff}}}{2} = \frac{s}{2} \sqrt{l/a} \hat{D}^2$ for $a > l; 1 > \hat{D}$.

[0090] $l > a$ 의 경우, 렌즈 구경에 투영되는 스펙클은 매 프레임마다 변하므로 다음과 같다:

[0091] (14) $\text{Std}(I) = \frac{s}{2} \hat{D}^2$ for $l > a; 1 > \hat{D}$.

[0092] 평균값으로부터 광 세기의 편차는 표면 진동을 의미하므로, 신호로 간주된다. 검출기(이미지 센서)에 도달하는 전체 광 세기와 신호 레벨 I_s 사이의 관계는 선형이다.:

[0093] (15) $I_s = \beta I$

[0094] 전인자(pre-factor) β 는 또한 본 시스템의 영상 부에서 다양한 광학 표면에 의해 야기된 세기 손실을 포함한다. 시스템의 민감도를 평하기 위해, 다양한 노이즈 소스들로부터 얻은 신호의 변동과 이 신호를 비교하였다. 따라서 신호 대 잡음비(SNR)를 최대화하는 방식으로 시스템 파라미터를 설정하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 증폭되지 않은 포토 다이오드의 경우 노이즈는 아래와 같이 모델링된다:

[0095] (16) $I_N = I_t + \alpha \sqrt{I_s}$

[0096] I_t 는 열 노이즈 그리고 $\alpha \sqrt{I_s}$ 은 발사 노이즈(shot noise)이다.

[0097] $l > D$ 인 큰 패턴 진폭들의 경우 아래를 얻는다:

[0098] (17) $\text{SNR} = \frac{\text{Std}(I_s)}{I_N} = \frac{\beta(s/2)\hat{D}^2}{I_t + \alpha\sqrt{\beta s/2}\hat{D}}$ for $l > a; 1 > \hat{D}$

[0099] (18) $\text{SNR} = \frac{\beta(s/2)\hat{D}}{I_t + \alpha\sqrt{\beta s/2}\hat{D}}$ for $l > D; \hat{D} > 1$.

[0100] 이 경우, SNR은 렌즈에 의해 수집된 스펙클들이 커지면 SNR도 높아지므로, \hat{D} 의 함수를 단조롭게 증가시킨다. 그러나, SNR은 $\sqrt{\beta s/2}/\alpha$ 점근선 제한(asymptotic limit)을 가진다. 이러한 이유로, 소정 레벨을 넘는 구경은 SNR에 대해 무시할 수 없는 기여도를 가질 수 있다. $\hat{D} \gg I_t/\alpha\sqrt{s}$ 에 대한 1차수에 점근선 제한으로부터 SNR의 편차는 아래와 같다:

[0101] (19) $\text{SNR} \simeq \frac{\sqrt{\beta s/2}}{\alpha} - \frac{I_t}{\alpha^2 \hat{D}}$

[0102] 만약, 예를 들어, SNR 한계의 80%에 도달하는 경우, 식 (19)는 \hat{D} 이 다음을 만족함을 나타낸다:

[0103] (20) $\hat{D}_{80} = 5 \frac{I_t}{\alpha\sqrt{\beta s/2}}$

[0104] 다음으로, 작은 진폭 진동의 경우 $l < D$ 으로 분석된다. 이러한 경우 SNR은 아래와 같다:

[0105] (21)
$$\text{SNR} = \frac{\beta(s/2)\sqrt{1/a}\hat{D}^2}{I_t + \alpha\sqrt{\beta s/2}\hat{D}} \quad \text{for } 1 < a; 1 > \hat{D}$$

[0106] (22)
$$\text{SNR} = \frac{\beta(s/2)\sqrt{(1/a)\hat{D}}}{I_t + \alpha\sqrt{\beta s/2}\hat{D}} \quad \text{for } 1 < \hat{D}; \hat{D} > 1$$

[0107] 여기서 SNR은 $\hat{D}_T = \frac{I_t}{\alpha\sqrt{\beta s/2}}$ 에서 전체 최대값(global maxima)를 가진다. SNR은 1의 값에 의존하지만, 최적의 구경 직경은 그렇지 않다. 이러한 속성(property)은 진동 세기 또는 주파수가 변하고 이에 1이 시간에 대해 변하는 실제 응용(applications)에서 중요하다. \hat{D}_T 는 1과 무관하므로, 최적의 직경으로 구경을 교정하는 것은 $\hat{D} > 1 > 0$ 의 전체 범위에서 신호가 최적의 상태로 유지하도록 보장한다.

[0108] 도 3은 $\hat{D} > 1$ 에서 SNR 대 \hat{D} 의 도표(plot)이고, 이러한 예에서 선택된 파라미터 세트들에 의해 최적의 SNR이 $\hat{D} = a$ 에 도달한다는 점을 유의해야 한다. 타겟 진동이 $\hat{D} > 1$ 과 $1 > \hat{D}$ 체제(regimes) 모두에서 진폭을 발생시킬 것으로 예상되는 경우, 최적의 구경은 큰 진폭에서 SNR을 최대화 하는 큰 구경과 작은 진폭의 작은 개구 체제 사이에서 절충(tradeoff)에 따라 선택되어야 한다.

[0109] 진동 표면이 변형을 겪는 경우, 시간에 따라 스펙클 패턴이 변한다. 패턴에서 변화 양을 정량화하는 하나의 방법은 연속적인 프레임 사이에서 상관 계수(correlation coefficient)를 계산하는 것이다. 평균적으로, 정규화된 계수는 패턴에서 변화가 발생하지 않는 경우인 1에서 패턴이 완전히 변경된 경우인 0으로 변한다. 끓음 효과(boiling effect)에 대한 통계 모델을 적용하기 위해, 격자의 N개의 임의의 셀에서 세기의 임의의 변화가 수행된다. N개의 셀 각각의 새로운 세기 레벨은 이전의 셀의 강도와 무관하게 임의로 0 또는 s로 설정된다. 파라미터 N은 패턴의 변화 수준을 제어하므로, 상관 계수가 감소한다. 프레임 i와 i-1의 상관 계수는 아래로 정의된다:

[0110] (23)
$$C^i = \frac{\sum_{j=1}^{N_s} (I_j^i - \langle I^i \rangle) (I_j^{i-1} - \langle I^{i-1} \rangle)}{\sqrt{\sum_{j=1}^{N_s} (I_j^i - \langle I^i \rangle)^2} \sqrt{\sum_{j=1}^{N_s} (I_j^{i-1} - \langle I^{i-1} \rangle)^2}}$$

[0111] 상관 계수와 N 사이의 관계를 찾기 위해, N에 교체된 셀들의 경우에 대해 $C = \langle C^i \rangle$ 가 계산된다. 세기의 평균 표준 편차는 확률 분포가 동일하게 유지되는 한 셀의 교체에 독립적이다. 그러므로, 상관 계수의 평균화는 다음을 제공한다.

[0112] (24)
$$C = \frac{\langle \sum_{j=1}^{N_s} (I_j^i - \langle I^i \rangle) (I_j^{i-1} - \langle I^{i-1} \rangle) \rangle}{\sqrt{\sum_{j=1}^{N_s} (I_j^i - \langle I^i \rangle)^2} \sqrt{\sum_{j=1}^{N_s} (I_j^{i-1} - \langle I^{i-1} \rangle)^2}} = \frac{N_s - N}{N_s} = 1 - n$$

[0113] 여기서 정규화된 매개변수 $n = N/N_s$ 이 대입된다. 식(24)는 모델 파라미터 n에서 측정 가능한 양 C까지 유용한 변환을 제공한다.

[0114] 다음으로, ΔI 의 표준 편차가 N개의 교체 셀의 경우에 계산된다.

[0115] (25)
$$\langle (\Delta I)^2 \rangle = \langle \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N (I_j^i - I_j^{i-1}) (I_k^i - I_k^{i-1}) \rangle = \frac{s^2}{2} N$$

[0116] 따라서

[0117] (26)
$$\text{Std}(\Delta I) = \frac{s}{\sqrt{2}} \sqrt{n\hat{D}} = \frac{s}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - C\hat{D}}$$

[0118] 끓음 패턴에 대한 시스템의 응답은 변환에 대한 그것의 응답과 유사하다. 강한 끓음의 경우, $C \rightarrow 0$ 인 경우 $\text{Std}(\Delta I)$ 과 SNR은 정확하게 $1 > \hat{D}$ (식 10)의 변환의 경우와 동일하다. 변환이 D보다 큰 경우, 연속적 프레임은 상관 관계가 없다. 중요한 결과는 변환과 끓음에서 신호까지에 대한 기여(contributions)의 합에 대한 상위 경계가 존재한다는 것이다. 부분적으로, 상관된 프레임들이 $1 > C > 0$ 인 경우 끓음 스펙클에 대한 SNR은 식(18)

의 분자에 식(26)로부터 전인자(pre-factor)를 대입함으로써 얻어진다:

$$\text{SNR} = \frac{\beta_s/2\sqrt{1-C}\dot{D}}{I_t + \alpha\sqrt{\beta_s/2}\dot{D}} \quad (27)$$

마지막으로, 변환과 끓음의 결합에 대한 일반적인 경우가 분석된다. 이 경우, 대체된 셀들의 수는 두 효과의 기여도 합계로 주어진다:

$$N = \frac{1D}{a^2} + \frac{D(D-1)}{a^2} n \quad (28)$$

식(9)에서 표준 편차에 대한 식에 N을 대입하면 다음을 얻는다:

$$\text{Std}(\Delta I) = \frac{s}{\sqrt{2}} \sqrt{(1/a)\dot{D} + n\dot{D} \left(\dot{D} - (1/a) \right)} = \frac{s}{\sqrt{2}} \sqrt{(n\dot{D} + f)^2 - f^2} \quad (29)$$

$$f = \frac{1}{2an} (1 - n)$$

신호의 최대값은 변환과 끓음에 대한 분석으로부터 예상한 바와 같이 $l = D$ 또는 $n = 1$ 일 때 얻어진다. 표준 편차를 잡음으로 나눈 값은 아래와 같다:

$$\text{SNR} = \frac{s/2\beta_s\sqrt{(n\dot{D}+f(n))^2-f^2(n)}}{I_t + \alpha\sqrt{\beta_s/2}\dot{D}} \quad (30)$$

이 경우, $\dot{D}_{T,B} = \frac{I_t}{\alpha\sqrt{\beta_s/2-nI_t}f^{-1}}$ 에서 전체 최대값(global maxima)가 발견된다. $\dot{D}_{T,B}$ 와 \dot{D}_T 의 비교는 끓음을 추가가 최적의 구경을 증가시킨다는 것을 드러낸다.: 약한 끓음(weak boiling)의 범위에서 $n^2 \ll 1/a$ 는 아래를 적용한다:

$$\dot{D}_{T,B} \simeq \dot{D}_T + nf^{-1} \simeq \dot{D}_T + (2a/l)n^2 = \dot{D}_T + (2a/l)(1-C)^2 \quad (31)$$

식(31), $(2a/l)(1-C)^2$ 의 오른쪽 측면의 두번째 항은 변환으로부터 기여와 끓음으로부터 기여를 혼합한다. 이는 끓음에서 최적의 구경 크기가 변환 l 에 의존하는 것을 지시한다.

통계 모델로부터 얻어진 결과의 유효성을 테스트하기 위해 시스템의 수치 시뮬레이션이 구성되었다. 스펙클 영역은 레일리-쑤머펠트 회절 공식(Rayleigh-Sommerfeld diffraction)을 사용함으로써 계산된다.

$$U(x,y) = \frac{z}{i\lambda} \iint_{\Sigma} e^{i\Phi(\xi,\eta)} \frac{e^{ikr_{01}}}{r_{01}^2} d\xi d\eta \quad (32)$$

여기서, here $r_{01} = \sqrt{z^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}$ 와 $\Phi(\xi,\eta)$ 는 표면 구조에 의해 결정된 반사된 영역(reflected field)의 위상 변환 분포이다.

적분의 수치적 평가에서, 파라미터는 $\lambda = 830\text{nm}$, $z = 1\text{m}$, and $w = 0.5\text{mm}$ 로 선택된다. 위상 분포(The phase distribution)는 적분 영역(domain) Σ 에 $1\mu\text{m}$ 의 둘레길이(waist)가 임의로 분포된 다수의 가우시안에 의해 모델링 되었다(도 4.) 0.5mm 의 해상도에서 $1\text{m} \times 30\text{mm}$ 의 영역에 걸친 스펙클 영역은 평균화를 위한 큰 데이터베이스를 제공하기 위해 계산된다. 렌즈 구경의 평면상 평균 스펙클 크기는 $a = 2\text{mm}$ 이다. 렌즈(20)는 생성된 패턴을 따라 이동된 원형 영역에 의해 시뮬레이션되어(simulated) 스펙클 변환을 처리한다. 각 단계에서, 원형 영역 내 세기는 특정 데이터 포인트에서 이미지 센서(22)에 도달하는 광 세기를 나타내기 위해 적분된다.

렌즈(20)의 구경은 0.5mm 와 30mm 사이에서 변화되었고, 각 구경에 대한 패턴은 연속적인 프레임들 사이에서 $l = a = 2\text{mm}$ 단계로 이미지된다. 결과는 도 6에서 나타난다. 시뮬레이션 결과를 수학적 모델과 비교하기 위해

파라미터 s 는 식 $\langle I \rangle = \frac{s}{2} \bar{D}^2$ 에 의해 평가된다. 여기서, $\langle I \rangle$ 는 계산된 스펙클 영역의 경계(region)에 대한 평균 세기에 의해 추정된다. $s = 2.65 \cdot 10^{-17}$ 로 발견된다. 식(9)에 $l = a$ 를 대입하면, \sqrt{D} 의 전인자는 $s/\sqrt{2} = 1.87 \cdot 10^{-17}$ 임을 보여준다. 이것은 $1.79 \cdot 10^{-17}$ 의 전인자를 갖는 도 6의 곡선과 비교할만하다.

[0135] 동일한 절차가 $l > D$ 체제(regime)에 있는 $l = 50\text{mm}$ 에 대해 반복된다. 도 7에서 보는 바와 같이, $\text{Std}(\Delta I)$ 는 $1.9 \cdot 10^{-17}$ 의 전인자로 식 6의 선형적 관계와 일치한다. 식 10에 따르면, 전인자는 $s/\sqrt{2} = 1.87 \cdot 10^{-17}$ 와 비교된다. 통계 모델과 수치 해석(numerical analysis) 사이의 탁월한 일치는 여기에 작성된 모델로부터 얻어진 결과의 유효성을 뒷받침한다.

[0136] 여기에 작성된 시스템(10)과 진동 감지 알고리즘은 다양한 응용(applications)에 사용되도록 구성될 수 있다.

[0137] 예를 들어, 시스템(10)은 차량 내 피사체의 존재를 감지하도록 구성될 수 있다. 이러한 시스템은 승용차 및 대중 교통 차량에 이용되어 탑승자가 존재하는 경우 운전자가 차량을 잠그지 못하게 할 수 있다.

[0138] 세단 차량의 천장 중심에 위치하여, 다른 좌석과의 거리는 일반적으로 0.5m 내지 1.5m이다. 이것은 z 값의 예상 범위 밖이다. 신호가 z 로 떨어지기에, z 의 더 높은 값(예로, $z=1.5\text{m}$)에 대해 시스템을 최적화하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 830nm로 방출하는 근적외선 레이저 다이오드는 인간의 눈에 보이지 않고, 표준 CMOS 또는 CCD 센서에 의해 감지되기에, 이러한 용도로 바람직하다. 초점거리가 1mm인 평형 렌즈는 1mm에 가까운 빔 둘레길이(waist)와 1mrad 정도의 수렴 각도를 생성한다. 이 경우, 발생된 지점은 1.5m에서 2.5mm의 직경(w)을 가진다. 패턴이 앞 좌석과 뒷좌석을 모두 커버하기 위해서, 투영된 패턴으로부터 120도 이상의 큰 발산각도가 요구된다. 일반적인 DOE는 약 40도의 발산에 도달할 수 있기에, 요구된 DOE에 도달하기 전에 2개 또는 4개의 빔으로 빔을 분할해야 한다. 다른 확산기(diffuser)는 각 빔 앞에 배치되어, 다른 시트 상에 패턴을 투영한다. 표준 CMOS 검출기는 감지에 사용될 수 있다. 센서 해상도는 패턴의 해상도에 약 4배 이상 도달할 필요는 없다. 그러므로, 640X480 픽셀의 저해상도 센서로 대부분의 응용(applications)에 충분하다. 광각의 콜렉팅 렌즈는 두 축에서 약 140도의 시야를 커버하도록 요구된다. 대역 통과(band-pass) 광학 필터는 카메라의 앞에 배치되어, 주위 광을 차단하고 시스템이 다른 조명 조건(lighting conditions)에서 우수한 성능을 제공할 수 있게 한다. 어떤 시스템에 대한 SNR을 최적화하기 위해, 17-18, 21-22, 27, 30 중 관련 방정식은 렌즈 구경D를 결정하는데 사용된다. 파라미터 α , β , I_s 는 설정 시 특정 센서 및 광학 구성(elements)에 대해 측정될 필요가 있다. 식 1()로부터 스펙클의 크기는 찾아질 수 있다. 현재 예는 $S=0.5\text{mm}$ 이다. 논의된 사용 케이스에서 하나는 다양한 스펙클 동적 모드를 가질것으로 예상해야 한다. 움직이는 승객으로부터 큰 진폭 변환과 정적 승객(예로, 수면)의 심장 박동과 호흡에 의해 생성된 작은 진폭의 변환. 게다가, 근적외선 광장을 사용할 때 얼굴 또는 팔 상에 노출된 피부를 비추는 지점에서 끓음(boiling)이 발생할 것으로 기대된다. 시스템을 최적화하기 위한 관련 방정식을 선택할 때 다른 모드를 고려해야 한다. 이 경우, 끓음 스펙클을 설명하는 식 (27, 30)과 이동하는 스펙클을 나타내는 식 (17-18, 21-22)은 트레이드 오프(tradeoff)이다. 시스템의 다른 자유도(degree of freedom)는 평행 렌즈와 레이저 다이오드에 의해 결정되는 지점 직경이다. 초점 거리를 변화시키는 것은 렌즈 구경에 관해 제어 대신에 또는 추가로 시스템을 최적에 더 가깝게 가져올 수 있다.

[0139] 차량 특정 시스템은 각 좌석(seat) 상의 차량 천장(예를 들어, 여객 등(passengers lights)과 에어컨 개구부 근처 또는 통로 위)에 설치하고, 좌석 중앙을 향하게 할 수 있고 (도 9a 내지 도 9 참조), 센서는 그의 옷의 진동에 근거하여 승객의 존재를 감지한다. IR 레이저가 벗겨진 피부에 부딪치면, 혈액속으로 침투하여 흩어져 스펙클 패턴은 강하게 "끓음"이 된다. 따라서 센서 파라미터를 조정하는 것은 옷과 피부로부터 강한 신호를 측정할 수 있다.

[0140] 본 발명에 의해 교시된 바와 같이 인간 존재를 감지하기 위한 미소 진동을 측정하는 접근법은 매우 정확하고 신뢰성 있으며, 차량의 진동(바람, 비, 지나가는 차량과 같은 운전 또는 외부 유인에 의해 야기된)을 자동으로 필터링할 수 있다. 후자는 시스템(10)이 차량에 고정으로 부착되고, 이로 인해 함께 진동하기에, 그것은 센서에 대해 상대적으로 움직임만 측정하고 승객에 의해 차지되지 않은 표면의 어떤 움직임도 측정하기 않는다는 사실에서 비롯된다.

[0141] 대조적으로, 음향 마이크로폰을 통해 인간 존재를 감지하는 종래 기술의 접근법은 대상체에 의해 발생된 것보다 더 높은 크기의 차수(order)일 수 있는 주변의 소리에 의해 부정적인 영향을 받는다. 또한, 주변 소리는 다양하고 완벽히 예측할 수 없다. 그러므로, 차량에서 인간의 음향 감지 접근법은 수면을 취하는 승객에게 실용적이

지 않다.

- [0142] 현재 시스템의 또 독특한 특징은 덮여져 있을 때 조차 대상체의 존재를 감지할 수 있다는 능력이다.(담요 또는 얼굴을 덮는 모자) 미소 진동이 몸체에서 덮개로 전달되기 때문에, 생리학적 범위에서 커버 진동의 감지는 대상체의 존재를 나타냅니다. 이러한 특징은 신체 또는 얼굴의 모양이 이미지에서 검색되는 컴퓨터 비전 센서를 사용하는 감지 시스템에 의해 제공될 수 없으며, 덮인(covers)사람이 완전히 감지될 수 없다.
- [0143] 도 8은 차량 내부의 운전자/승객을 감지하기 위해 사용된 시스템(10)의 일실시예를 도시한다. 시스템(10)은 회절 격자(diffraction grating)(26)가 장착된 레이저 광원(12)을 포함한다. 본 명세서에서 DOE(회절 광학 소자)로서 지칭되는 격자(26)는 빔(14)을 격자(26)의 푸리에 변환에 의해 대략 결정되는 회절 패턴(15)으로 분할한다. 예를 들어, 선을 따라 배치된 점 패턴은 빛 모양의 격자에 의해 생성된다.
- [0144] 적절한 DOE를 사용하면, 타겟(18)(예로, 승객의 피부 또는 옷) 상에 투영된 패턴(15)은 레이저 지점(17)의 2차원 매트릭스이다. 투영된 매트릭스(17)는 셀 길이가 모니터링 가장 작은 물체보다 작게 유지하면서, 렌즈(20)에 의해 수집될 때, 이미지 센서(CCD 또는 CMOS)의 전체 시야를 커버하도록 선택된다. 셀 길이는 타겟까지의 거리와 DOE 구조에 의해 결정된 매트릭스에서 인접한 점들의 각도 간격(angular separation)의 곱이다.
- [0145] 렌즈(20)는 장면(scene)의 포커싱된 이미지를 수집하고, 그것을 센서(22)에 투영한다. 이미지 평면 상 지점 크기는 Mw 에 의해 주어지며, 여기서 w 는 물체 상의 지점 크기이고 M 은 이미지 렌즈의 배율이다. 각 매트릭스 지점의 크기는 하나 또는 복수의 픽셀을 커버해야 하고 $Mw \cong p$ 일 수 있으며, 여기서 p 는 픽셀 크기이다. 각 지점의 이미지는 렌즈(20)에 의해 수집되고 타겟 상의 대응하는 영역으로부터 산란된 전체 세기를 나타낸다. 그러므로, 이미지에서 각 지점의 전체 세기는 도 1과 관련하여 위에서 서술된 바와 같이 이미지 센서(22)로부터 얻은 광전류로 대체될 수 있다.
- [0146] 도 8의 실시예에서, 센서(22)에 의해 캡처된 프레임들은 타겟(18) 상에 투영된 복수의 지점(multiple spots)들로부터 데이터를 포함한다. 매트릭스 지점을 포함하는 각 픽셀에서 세기의 표준 편차는 이 지점의 진동을 나타낸다. 프레임들의 스택(stack)의 표준 편차를 계산하고 기 정의된 임계값과 결과를 비교하는 단순 알고리즘은 진동 감지를 제공할 수 있다. 예를 들어, 임계값은 노이즈 레벨의 3배와 같도록 설정될 수 있다. 정적 타겟에 대한 시스템을 보정하는 것(calibrating)은 센서 노이즈에 의해 유래된 평균 표준 편차를 측정하게 할 수 있다. 이 값은 노이즈 레벨의 추정을 위해 사용될 수 있고, 그러므로 임계값을 위해 사용될 수 있다.
- [0147] 렌즈(20)의 구경 및 렌즈(16)의 초점 길이와 센서 상의 픽셀 크기와 같은 다른 시스템 파라미터는 상기 예에서 설명된 바와 같이 승객의 차량 감지에 적합하게 선택된다.
- [0148] 이미지 센서(22)에 의해 캡처된 광 신호는 프로세서(26)(예를 들어, Amtel ATSAMV71Q21A와 같은 마이크로 프로세서)에 의해 처리된다.
- [0149] 프로세서(26)는 전술한 원리를 사용하여 승객의 차량 감지를 위해 구성된 알고리즘을 실행한다.
- [0150] 처리된 정보에 근거하여, 프로세서(26)는 승객이 존재하는지, 승객의 수 및 그들의 상태(깨어 있는 상태, 수면 상태)를 결정한다. 이 정보는 에어백 억제(suppression), 에어백 전개(deployment) 최적화, 미착용(unbuckled) 안전 벨트 경고 등과 같은 다양한 안전 응용을 위한 정보를 이용하는 차량 관리 시스템(28)에 전달(유선 또는 무선)된다.
- [0151] 시스템(10)은 어떤 내부 볼륨(volume)을 가지며 승용차, 기차와 버스 같은 대중 교통 수단을 포함하는 어떠한 차량 내에 설치될 수 있다.
- [0152] 도 9a 내지 도9b는 차량의 루프 라이너(roof liner)에 맞서 설치된 시스템(10)의 2개의 유닛이 장착된 차량(벤)을 도시한다. 개인 차량(세단)은 루프 라이너에 맞서 실장된 시스템(10)의 단일 유닛을 통해 커버될 수 있다.
- [0153] 시스템(10)의 이러한 유닛은 ~15cm만큼 분리된 레이저 점들의 매트릭스로 차량 내 모든 승객들의 좌석들(34)을 커버하고, 적절한 시야(예로, 특정 차량에 의존하는 약 140도 대각선)로 렌즈(20)를 사용하여 좌석(34) 일부 또는 전부를 점유하는 승객으로부터 투영된 스펙클 영역의 수집을 가능하게 한다.
- [0154] 이러한 시스템(10)의 설치의 자동차의 전체 부피 내에서 커버되거나 노출된 수면 또는 깨어 있는 승객의 신뢰성 있는 감지를 보장한다.
- [0155] 시스템(10)은 특히 차량 내 아기를 감지하는데 유용하다. 더운 날씨에, 베이비 시트는 햇빛 노출을 방지하는

캐노피(canopy)로 커버될 수 있다. 아기의 호흡과 심장 박동에 의하여 발생된 진동은 베이비 시트를 통해 캐노피로 전달되고, 시스템(10)에 의해 감지될 수 있다.

[0156] 시스템(10)은 또한 가정, 사무실, 옥외 장소 등을 포함하는 비-차량 환경에서 사용될 수 있다. 이러한 감지는 다양한 응용(applications)을 가질 수 있다.

[0157] 자동 전원 스위치들은 사람들이 떠난 비어 있는 사무실에서 조명 및 에어컨을 끄는데 사용된다. 시스템(10)은 이와 같은 스위치에 대한 지시를 제공하고 방을 스캔하는데 사용될 수 있다.

[0158] 시스템(10)은 또한 접근하는 사람이 감지될 때 또는 엘리베이터 도어를 작동시킬 때, 자동적으로 도어를 작동시키기 위해 사용될 수 있다.

[0159] 시스템(10)은 또한 인간과 사물을 구별하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, 자동차 내의 다양한 좌석에 승객의 존재를 감지하고, 각 좌석 벨트의 상태를 모니터링하는 시스템(10)은 승객들에게 그들의 좌석 벨트를 착용(buckle)하는 것을 상기시키도록 사용될 수 있다.

[0160] 본 시스템은 또한 환경 내의 위험을 감지하도록 사용될 수 있다. 예를 들어, 화재와 같이 인간 또는 동물에게 잠재적으로 유해할 수 있는 위험. 광각 렌즈와 함께 표준 방($16m^2$)의 천장에 위치한 시스템(10) 구성(setup)은 전체 방을 덮을 수 있다. 1개 또는 2개의 유리 빔 스플리터(splitter)로 방출된 빔의 분할하고 각 빔 앞에 DOE를 배치하는 것은 전체 방을 충분히 덮는 넓은 패턴이 생성한다. 연기 입자에 의해 투사 광(projected light)의 산란은 스펙클 패턴에서 끓음 효과를 발생시킨다. 끓음 세기, 즉 스펙클의 임의의 변화의 비율은 연기 입자들의 유형과 밀도에 의해 결정된다. 식 27 및 30은 끓음 세기(boiling intensity)의 전체 범위에 대한 신호 레벨을 제공하고, 연기 감지를 위한 최적의 시스템 파라미터가 발견될 수 있다. 연기 감지 알고리즘의 제1 층은 인간 감지 알고리즘과 유사하다. 각 지점의 표준 편차는 미리 결정된 임계값과 비교되어 연기에 의해 지점이 분산되고 그렇지 않은지를 나타내는 마이크로 이동 층(micro-motion layer)을 제공한다. 두번째 알고리즘 층은 마이크로 이동 층 상에 적용되며, 주요하게 연기와 표면 이동(mobbing surfaced)이 구별되도록 하는데 목적이 있다. 시간(temporal) 및 공간 필터는 모두 상기 목적에 적용된다. 템포럴 필터(temporal filter)는 각 지점에 개별적으로 적용되며, 연기 역학(dynamics)은 특별한 패턴을 나타내기 위한 것이다. 공간 필터(spatial filter)는 많은 연기의 특성을 이용한다. 첫째, 연기를 포함하는 부피(volume)는 연기가 발생하면서 시간에 따라 움직이고 팽창한다. 둘째, 연기는 닫힌 룸(closed room)에서 위를 향해 올라가거나, 열린 방(open room)에서 개구부를 향해 빨리 들어간다. 그러므로, 마이크로 이동 층은 탐사된 룸에서 연기가 존재하면 유사한 역학(dynamics)을 보여줄 것으로 기대된다. 연기 역학(dynamics)의 두 가지 예는 연기에 대해 고유한 것과 사람의 존재에 의해 발생하지 않을 것으로 기대된다. 룸 내에 설치한 후 시스템 보정은 또 다른 보호 층(layer of protection)을 추가한다. 구체적인 룸에 따라, 일반적으로 화재가 발생할 수 있는(예로, 전기 소켓) 유한 개의 장소가 있다. 프레임 내 위험도가 높은 위치를 표시하는 것은 방의 상황을 분석할 때 각 위치 주변의 볼륨 중 하나에서 감지에 더 높은 가중치(weight)를 부여하여 알고리즘을 향상시킨다.

[0161] 여기서 사용된 용어 "약"은 $\pm 10\%$ 를 의미한다.

[0162] 본 발명의 추가적인 목적, 장점 및 신규한 특징은 아래 예를 검토함으로써 당업자에게 명백해질 것이며, 이는 제한하려는 것은 아니다.

[0163] 예

[0164] 상기 설명과 함께 하기 실시예의 참조는 비 제한적인 방식(fashion)으로 발명을 설명한다.

[0165] 이동 감지 성능

[0166] 프로토타입 시스템은 Aptina MT9V034 모노크롬 CMOS 센서를 기반으로 조립된다. 초점 길이가 6mm이고, F# 1.8인 렌즈가 이미징에 사용된다. 센서로부터의 비디오 피드(feed)는 60Hz의 USB 케이블을 통해 개인 컴퓨터에 캡처된다. 투영된 패턴은 532nm에서 방출하는 레이저 다이오드와 초점길이가 2mm인 콜리메이팅 렌즈(collimating lens)로 생성된다. 이미징 렌즈가 고정된 구경을 가지기 때문에, D'를 제어하기 위해 콜리메이팅 렌즈(collimating lens)는 광축을 따라 이동되어 빔 수렴각(beam convergence angle)변경되고, 그럼에 따라 타겟 상 지점 크기가 변경된다. 3 축 스테이지(stage)는 1미터 떨어진 시스템 앞에 위치한다. 정확도(accuracy)가 300nm인 스텝 모터를 스테이지에 부착하고 컴퓨터를 통해 제어된다. 모터 스텝들은 축 이동을 발생한다. 축 이동은 스펙클 패턴이 이러한 이동에 민감하지 않기 때문에, 시스템에 의해 전혀 감지되지 않는다. 표면 경사

(tilt)를 발생시키기 위해, 용지 테이프(paper tape)는 스테이지(stage)와 베이스(basis) 사이에서 퍼지고(stretched), 용지(paper)는 용지의 무시 가능한 변형(<0.1%)으로 스테이지의 이동과 함께 약간 기울어진다. 1 μm 의 모터 스텝에 의해 생성된 경사 각(tilt angle)(α)은 $\alpha < 50 \mu\text{Rad}$ 이다. 모터는 1 μm 와 0.5mm사이의 세기로 일 방향으로 스텝들을 수행하도록 프로그래밍된다. 기록된 프레임들은 설명된 알고리즘으로 분석되고, 이동 감지 신호를 발생한다.

[0167] 2Hz의 주파수에서 1 μm 의 스텝 크기에 대한 결과가 도 10에 나타난다. 마이크로 이동의 명확한(clear) 감지는 모든 범위의 스텝들에서 관찰된다. SNR은 모든 측정에서 5와 10 사이이다. 다음 시스템은 정적인 인간에 대해 테스트된다. 레이저 지점은 타겟 몸체(body)의 다른 부분을 목표로 한다. 표적은 가능한 정적인 상태로 유지되는 동안, 각 지점에 대해 비디오 피드가 기록된다. 손, 다리, 발을 포함하여 모든 다른 신체 부분으로부터 감지된 강한 마이크로 이동 신호가 발견된다. 게다가 강한 신호는 타겟 자체가 앉아 있는 좌석으로부터 얻어진다. 타겟이 그의 앞에 위치한 테이블 상에 그의 손을 놓았을 때, 강한 신호는 테이블 표면의 전체 영역으로부터 감지된다. 다음으로, DOE는 방출된 빔 앞에 위치되어, 양 측에서 8도의 분리각도(separation angle)을 갖는 5X5 지점들의 정사각형 격자의 패턴을 제공한다. 강성(rigid)의 표면과 밴드 패스 광학 필터(band pass optical filter)에 조립된 다른 시스템 구성 요소는 주변 광을 차단하기 위해 시스템의 앞에 위치한다. 시스템은 세단 차량의 바닥과 천장 사이에 위치한 금속 바(bar) 상에 부착된다. 전체 선실(cabin)을 이미지화하기 위해 어안 렌즈(fish-eye lens)(대각선 약 160도)를 사용하는 것은 시스템을 덮는다. 승객은 다른 좌석에 앉아 있고, 투영된(projected) 패턴은 데이터를 수집하기 위해 5개의 좌석들 모두를 향해 조준 된다. 빈 좌석과 점유된 좌석들로부터 미세 이동 신호들은 시스템 평가를 위해 비교한다. 결과는 승객이 정적인 한 점유된 좌석들과 빈 좌석들의 신호 레벨 사이에서 큰 차이가 있음을 보여준다. 승객이 뒷 좌석에서 움직일 때, 이동 신호(motion signal)는 전체 좌석으로부터 수신된다. 긍정 오류들(false positives)을 방지하기 위해 추가적인 알고리즘 층이 요구된다. 예를 들어, 비디오 피드(feed)에 알고리즘을 적용하여 전체 좌석을 움직이는 한명의 승객과 투영된 승객을 포함하는 좌석을 구별할 수 있다. 다른 시험은 베이비 시트(baby seat) 내 좌석된 아기가 있는 차량 내에서 수행된다. 2개의 다른 베이비 시트는 조수석(passenger seat)과 뒷자리 좌석에 정면 및 후면을 향한 위치에 위치된다. 5개월된 아기는 아기와 시선을 막기 위해 풀다운된(pulled down) 베이비 시트의 햇빛 가리기와 다른 위치에 좌석된다. 시트 내 아기가 움직이는 동안 베이비 시트 자체와 차량의 뒷좌석으로부터 감지된 강한 마이크로 이동 신호가 감지된다. 잠자는 아기가 관찰될 때, 존재를 감지하는 강한 신호는 베이비 시트 상의 다른 지점으로부터 수신된다. 바람, 비, 통과 차량 등과 같은 외부 소스들(sources)로부터 차량의 진동에 대한 시스템의 견고성을 검증하기 위해 추가적인 테스트가 수행된다. 그 목적을 위해 센서는 차량이 외부로부터 강하게 흔들리는 동안 객실(cabin)을 모니터한다. 센서가 강하게 차체(body of the car)에 부착되므로, 센서는 차량과 함께 움직여 좌석과 함께 상대적인 움직임은 거의 감지되지 않았다. 흔들리는 차량의 빈 좌석으로부터 도착한 신호는 점유된 좌석으로부터 발생된 신호들보다 낮아, 시스템이 두 시나리오를 구별하고 각 좌석 별로 신뢰할 수 있는 점유 표시를 제공할 수 있다.

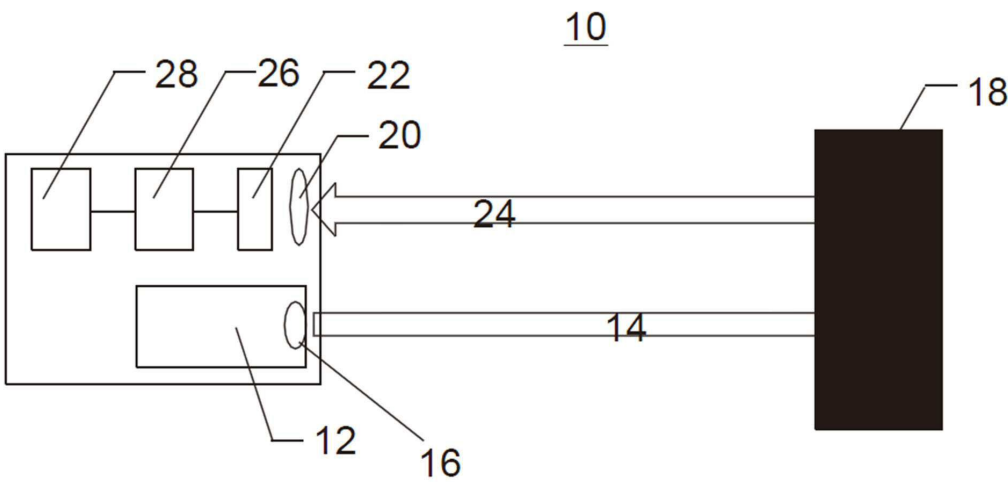
[0168] 담배 연기를 감지하는 시스템의 성능을 평가하기 위해 다른 테스트가 수행된다. 시스템은 불타는 담배로부터 1m 떨어진 거리에 있는 닫힌 공간(room)에 배치된다. 스펙클 크기가 변화시키기 위해 콜리메이팅 렌즈(collimating lens)가 광축을 따라 스캐닝되는 동안 비디오 피드가 기록된다. 스펙클 패턴 상에 연기의 효과는 본 시스템에 의해 검출될 수 있음이 발견된다.

[0169] 명확함을 위해 개별 실시예들의 내용에서 기술된 본 발명의 특정 특징들은 또한 단일 실시예에서 조합하여 제공될 수 있다. 반대로, 간략화를 위해 단일 실시예의 내용에 설명된 본 발명의 다양한 특징들은 또한 개별적으로 또는 임의의 적절한 서브컴비네이션(subcombination)으로 제공된다.

[0170] 본 발명이 특정 실시예와 관련하여 설명되었지만, 많은 대안들, 수정들 및 변형이 당업자에게 명백한 것은 확실하다. 따라서 첨부된 청구 범위의 사상 및 넓은 범위 내에 있는 그러한 모든 대안들, 수정들 및 변형들을 포함하는 것으로 의도된다. 본 명세서에서 언급된 모든 간행물, 특허 및 특허 출원은 각각의 개별 간행물, 특허 또는 특허 출원이 구체적으로 및 개별적으로 본원에 참고로 인용된 것과 동일한 정도로 본 명세서에서 참조로 전체적으로 통합된다. 또한, 본 출원의 임의의 참조 문헌의 인용 또는 식별은 그러한 참조가 본 발명의 선행 기술로 이용 가능하다는 인정으로 해석되어서는 안된다.

도면

도면1

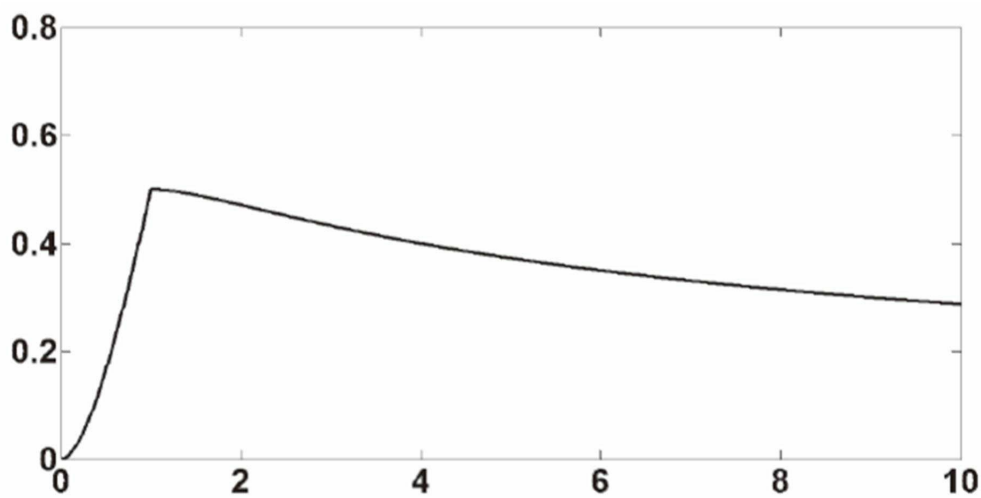


도면2

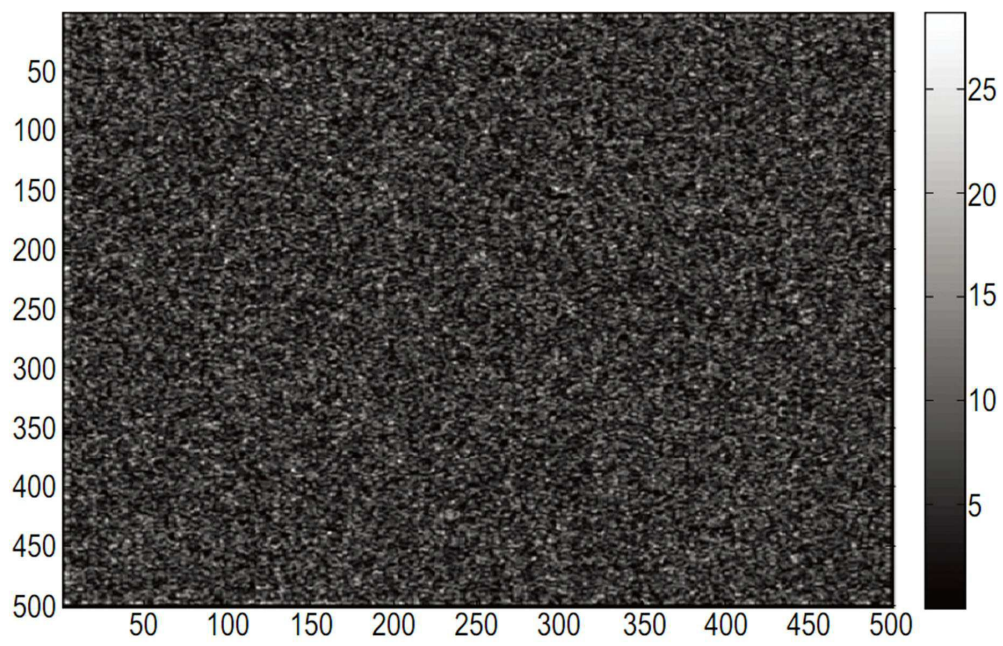
A 6x16 grid of characters, each being either '0' or 's'. A central 6x8 sub-grid is highlighted with a thick black border. Two large black arrows point horizontally towards the center of the grid from the left and right sides. The label 17 points to the top-right corner of the highlighted sub-grid.

0	s	0	s	s	0	s	0	s	0	s	0	s	0	0	s	0	0	s
s	s	0	s	0	0	s	0	s	0	s	s	0	s	0	s	s	s	0
s	0	0	s	s	s	0	s	0	0	0	s	0	s	0	s	s	s	0
0	s	0	s	0	s	s	0	s	0	s	0	s	s	0	s	0	s	s
s	0	s	s	0	s	s	0	0	s	0	s	s	0	s	0	s	0	0
0	s	0	s	0	s	0	0	s	0	s	0	0	s	s	0	s	0	0

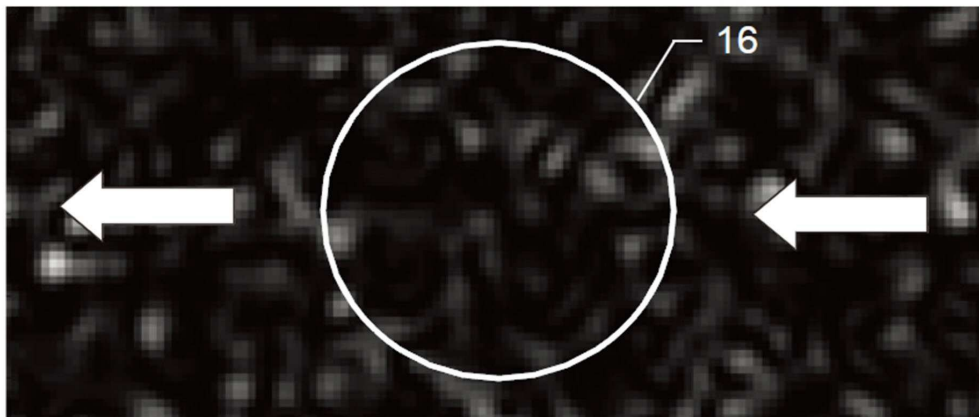
도면3



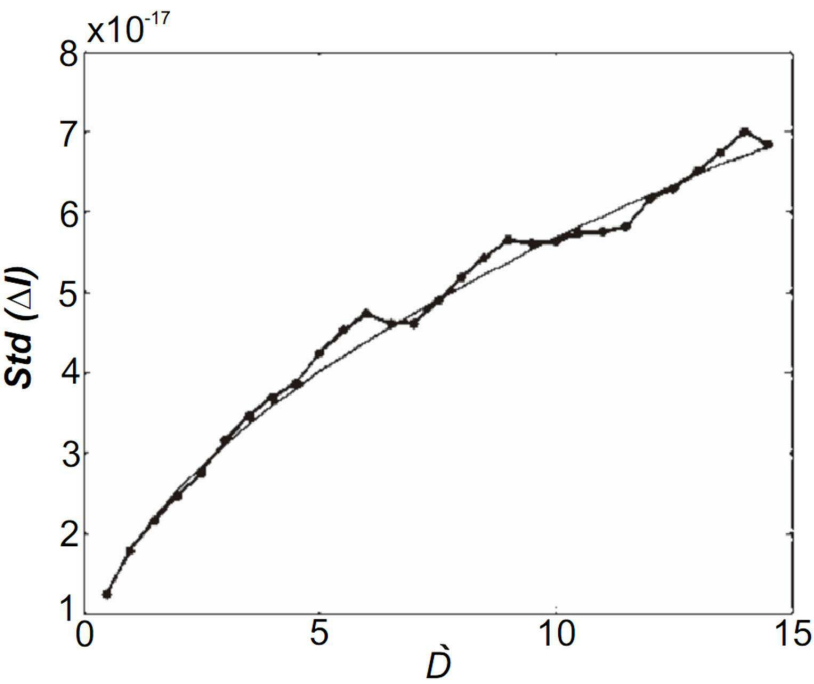
도면4



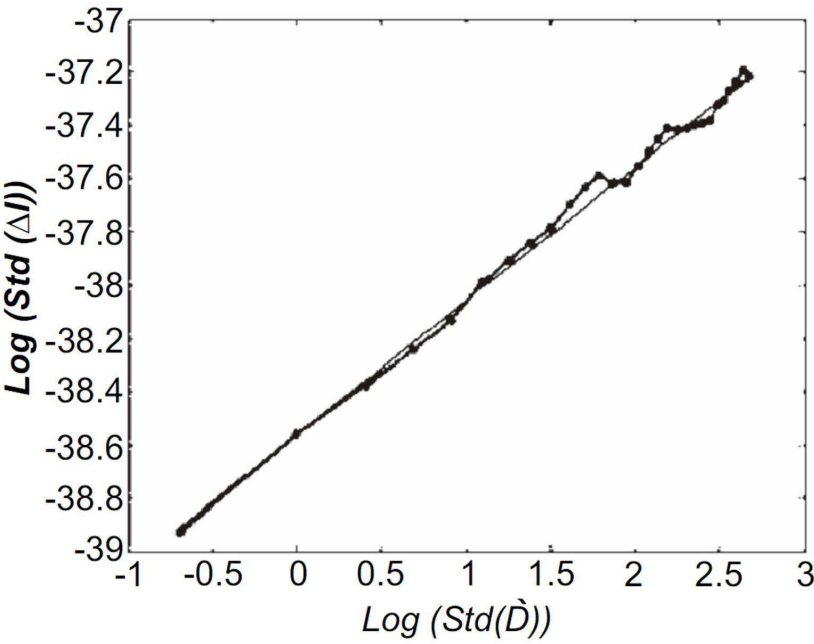
도면5



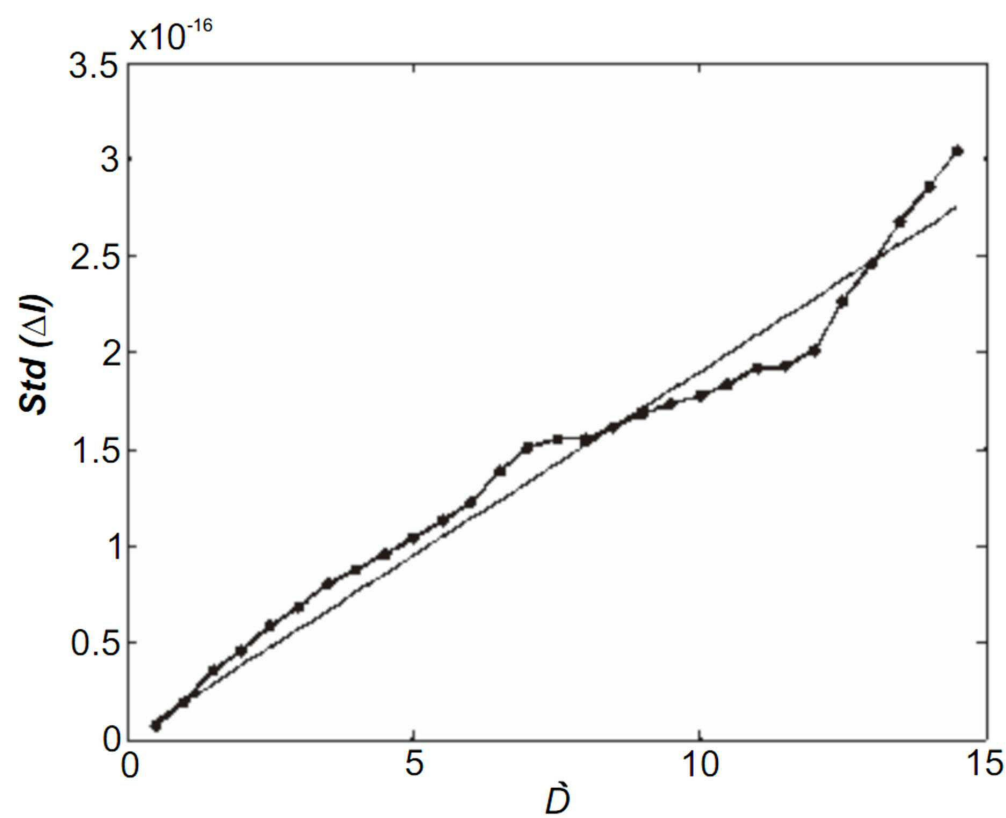
도면6a



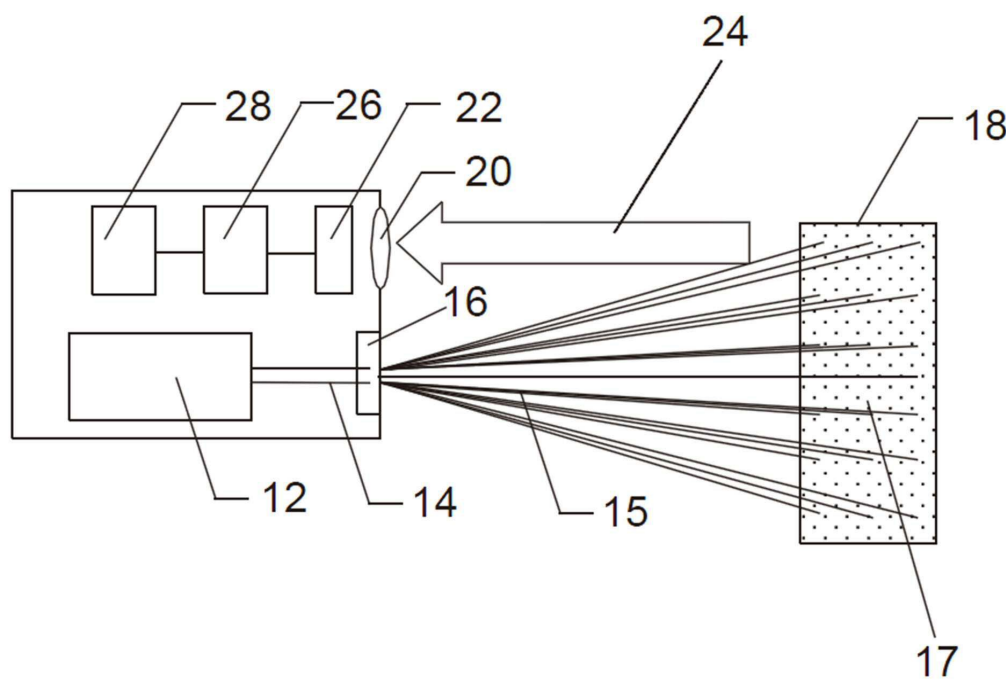
도면6b



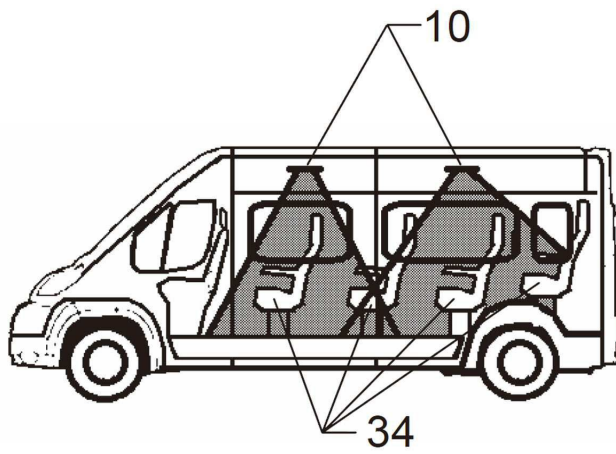
도면7



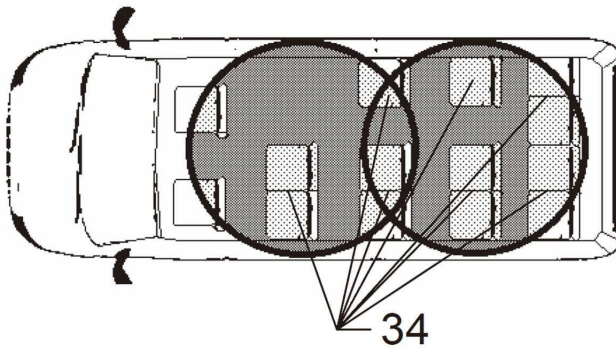
도면8



도면9a



도면9b



도면10

