(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0018905
(43) 공개일자 2024년02월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 15/02 (2024.01) *G01N 21/49* (2006.01)
G01S 17/08 (2006.01) *G01S 17/88* (2006.01)
G06T 7/521 (2017.01) *G06T 7/73* (2017.01)
(52) CPC특허분류
G01N 15/0227 (2024.01)
G01N 15/0211 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0096815
(22) 출원일자 2022년08월03일
심사청구일자 2022년08월03일

(71) 출원인
국립한밭대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
국립부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)
(72) 발명자
김덕현
대전광역시 유성구 배울1로 119, 1203동 1201호(용산동, 대덕테크노밸리12단지아파트)
노영민
부산광역시 남구 수영로 325번길 61, 103동 2101호(대연동, 대연 롯데캐슬)
(74) 대리인
특허법인도담

전체 청구항 수 : 총 10 항

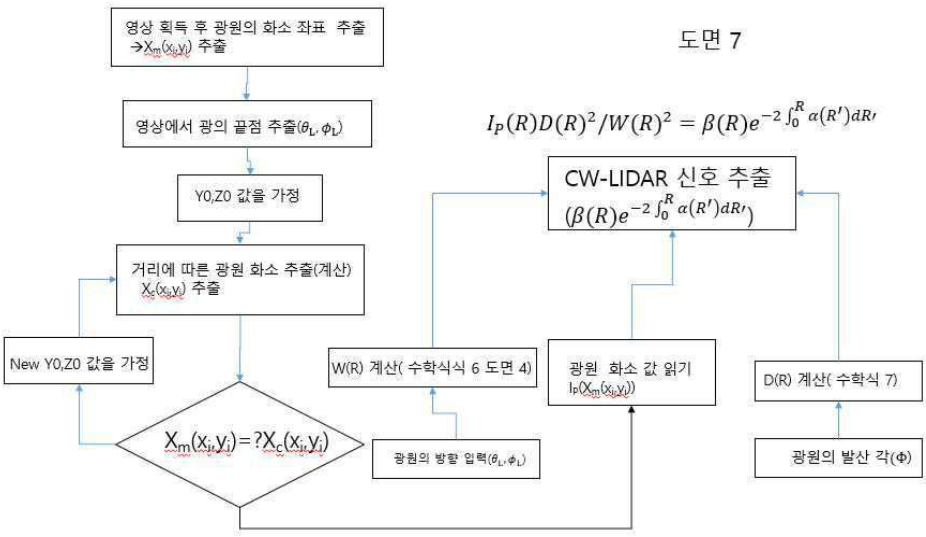
(54) 발명의 명칭 **연속광원과 상용 카메라 센서를 이용한 거리별 부유물질의 소산계수 추출 방법 및 시스템**

(57) 요 약

본 발명은 레이저 혹은 기타 광원을 통해 연속광원을 대기 중에 조사하고, 펄스형 라이다의 TOF신호처럼 거리 분해능을 얻는 방법으로 전통적인 라이다의 근거리 신호를 보정하는데도 사용할 수 있을 뿐만 아니라, 망원경과 광원의 거리를 수 m 이상 두게 되면 라이다 기존의 라이다와 같은 신호를 얻을 수 있으며, 각 거리에 다른 가중치(W)와 대기로 보낸 빛의 발산(D(R))을 보정하여, 기존의 TOF 라이다 신호와 같은 라이다 방정식을 적용하도록 하여 거리별로 소산계수를 얻는 연속광원과 상용 카메라 센서를 이용한 거리별 부유물질의 소산계수 추출 방법 및 시스템에 관한 것이다.

대 표 도 - 도7

도면 7



$$I_P(R)D(R)^2/W(R)^2 = \beta(R)e^{-2\int_0^R \alpha(R')dR'}$$

(52) CPC특허분류
G01N 21/49 (2013.01)
G01S 17/08 (2021.01)
G01S 17/88 (2013.01)
G06T 7/521 (2017.01)
G06T 7/73 (2017.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711161133
과제번호 2020R1F1A1048293
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)
연구과제명 카메라를 활용한 특정 (도시) 공간의 미세먼지 핵심 물리량 및 3 차원 공간 분포 산출 기술 개발
기 여 율 1/2
과제수행기관명 한밭대학교
연구기간 2022.03.01 ~ 2023.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1615012898
과제번호 151375
부처명 국토교통부
과제관리(전문)기관명 국토교통과학기술진흥원
연구사업명 혁신성장동력프로젝트(국토부)
연구과제명 지역수요기반의 스마트시티 비즈니스 모델 개발
기 여 율 1/2
과제수행기관명 (재단)차세대융합기술연구원
연구기간 2022.01.01 ~ 2022.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

설정된 방향으로 연속된 광원을 조사하는 광원조사부(110);

상기 광원이 조사되는 풍경을 촬영하여 영상을 취득하는 카메라(120);

상기 광원의 시작점 좌표와 조사방향을 포함하는 광원정보와 상기 카메라(120)에 대한 광원의 상대적인 벡터를 통해 상기 카메라(120)의 위치에 대한 상대적인 광원상의 위치를 구하는 위치산출부(130);

상기 광원의 발산각과 대기 중으로 진행함에 따른 단위면적당 빛의 강도가 줄어드는 것을 반영하여 광원의 경로에 있는 지점의 산란체의 화소에 해당하는 거리별 라이다신호를 얻는 신호획득부(140);

상기 라이다신호를 통해 거리별 부유물질의 소산계수를 산출하는 소산계수산출부(150); 를 구비하는 것을 특징으로 하는 거리별 부유물질의 소산계수 추출 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 위치산출부(130)는,

상기 광원의 방향을 영상으로부터 추출하여 연속광원의 위치를 상기 카메라의 좌표계에 대하여 구하되 상기 시작점으로부터 광원의 방향과 상기 카메라의 좌표계에서 광원의 방향 및 거리로부터 직선거리와 하나의 각을 얻고, 상기 영상의 광원상 특정 화소의 방위각 및 고도각을 얻어 카메라로부터의 방향을 정하여 카메라와 광원상 특정 화소를 연결하는 한변의 길이와, 상기 한변의 끝 두점으로부터 광원의 각도와 카메라 화소의 방위각 및 고도각으로부터 광원 또는 카메라로부터 상기 특정 화소에 대응하는 광원상 위치의 거리를 산출하도록 구성되는 것을 특징으로하는 거리별 부유물질의 소산계수 추출 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 신호획득부(140)는,

상기 영상의 각 화소의 시야각(FOV)를 반영하되 상기 광원의 시작점에서 주어진 방향으로 조사된 광원의 모든 점에 대하여 하나의 화소에 해당하는 산란물체 측 빛 광원의 크기인 단일화소-시각폭을 얻어 라이다신호에 반영하도록 구성되는 것을 특징으로하는 거리별 부유물질의 소산계수 추출 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 신호획득부(140)는,

산란체의 화소에서의 광원의 세기로부터, 단위화소-시각폭을 나누고, 단위 면적당 에너지인 거리에 따른 광원의 직경을 곱하여 화소값을 라이다 신호로 바꾸는 라이다방정식을 적용하는 것을 특징으로하는 거리별 부유물질의 소산계수 추출 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 소산계수산출부(150)는,

다음의 [수학식]의 1차 미분방적식을 통하여 각 거리별 소산계수를 얻도록 구성되는 것을 특징으로하는 거리별 부유물질의 소산계수 추출 시스템.

[수학식]

$$I_{pixel}(R)D(R)^2/W(R) = C\alpha(R)e^{-2\int_0^R \alpha(R')dR'}$$

(I_{pixel}(R): 화소 광원의 세기, D(R): 거리에 따른 광원의 직경, W(R): 단위화소-시각폭, C: 매질의 산란계수를 포함한 상수, α(R): 소산계수, R: 거리)

청구항 6

설정된 방향으로 연속된 광원을 조사하는 광원조사단계(S 110);

상기 광원이 조사되는 풍경을 촬영하여 영상을 취득하는 촬영단계(S 120);

상기 광원의 시작점 좌표와 조사방향을 포함하는 광원정보와 상기 카메라에 대한 광원의 상대적인 벡터를 통해 상기 카메라의 위치에 대한 상대적인 광원상의 위치를 구하는 위치산출단계(S 130);

상기 광원의 발산각과 대기 중으로 진행함에 따른 단위면적당 빛의 강도가 줄어드는 것을 반영하여 광원의 경로에 있는 지점의 산란체의 화소에 해당하는 거리별 라이다신호를 얻는 신호획득단계(S 140);

상기 라이다신호를 통해 거리별 부유물질의 소산계수를 산출하는 소산계수산출단계(S 150); 로 이루어지는 것을 특징으로 하는 거리별 부유물질의 소산계수 추출 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 위치산출단계(S 130); 는,

상기 광원의 방향을 영상으로부터 추출하여 연속광원의 위치를 상기 카메라의 좌표계에 대하여 구하되 상기 시작점으로부터 광원의 방향과 상기 카메라의 좌표계에서 광원의 방향 및 거리로부터 직선거리와 하나의 각을 얻는 단계(S 131)와,

상기 영상의 광원상 특정 화소의 방위각 및 고도각을 얻어 카메라로부터의 방향을 정하여 카메라와 광원상 특정 화소를 연결하는 한변의 길이를 얻는 단계(S 132)와,

상기 한변의 끝 두점으로부터 광원의 각도와 카메라 화소의 방위각 및 고도각으로부터 광원 또는 카메라로부터 상기 특정 화소에 대응하는 광원상 위치의 거리를 산출하는 단계(S 133)로 구성되는 것을 특징으로 하는 거리별 부유물질의 소산계수 추출 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 신호획득단계(S 140); 는,

상기 영상의 각 화소의 시야각(FOV)를 반영하되 상기 광원의 시작점에서 주어진 방향으로 조사된 광원의 모든 점에 대하여 하나의 화소에 해당하는 산란물체 측 빛 광원의 크기인 단일화소-시각폭을 얻어 라이다신호에 반영하도록 구성되는 것을 특징으로하는 거리별 부유물질의 소산계수 추출 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 신호획득단계(S 140);는,

산란체의 화소에서의 광원의 세기로부터, 단위화소-시각폭을 나누고, 단위 면적당 에너지인 거리에 따른 광원의 직경을 곱하여 화소값을 라이다 신호로 바꾸는 라이다방정식을 적용하는 것을 특징으로 하는 거리별 부유물질의 소산계수 추출 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 소산계수산출단계(S 150);는,

다음의 [수학식]의 1차 미분방적식을 통하여 각 거리별 소산계수를 얻도록 구성되는 것을 특징으로 하는 거리별 부유물질의 소산계수 추출 방법.

[수학식]

$$I_{pixel}(R)D(R)^2/W(R) = C\alpha(R)e^{-2\int_0^R \alpha(R')dR'}$$

(I_{pixel}(R): 화소 광원의 세기, D(R): 거리에 따른 광원의 직경, W(R): 단위화소-시각폭, C: 매질의 산란계수를 포함한 상수, α(R): 소산계수, R: 거리)

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 대기 중의 미세먼지의 소산계수를 측정하는 기술에 관한 것으로 레이저 혹은 기타 광원을 통해 연속광원을 대기 중에 조사하고, 펄스형 라이다의 TOF신호처럼 거리 분해능을 얻는 방법으로 전통적인 라이다의 근거리 신호를 보정하는데도 사용할 수 있을 뿐만 아니라, 망원경과 광원의 거리를 수 m 이상 두게 되면 라이다 기존의 라이다와 같은 신호를 얻을 수 있으며, 각 거리에 다른 가중치(W)와 대기로 보낸 빛의 발산(D(R))을 보정하여, 기존의 TOF 라이다 신호와 같은 라이다 방정식을 적용하도록 하여 거리별로 소산계수를 얻는 연속광원과 상용 카메라 센서를 이용한 거리별 부유물질의 소산계수 추출 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 종래 대기 중의 미세먼지의 소산계수를 측정하기 위한 종래기술로 고가의 고출력 펄스형 레이저를 사용하여 빛의 TOF를 측정하여 원하는 거리에서 얼마나 많은 빛이 후방산란되는지를 얻어서 분석하는 방법이 사용되었다.

[0003] 이러한 기존의 방법은 고출력 레이저를 이용함에 있어서, 원거리 측정을 위하여 대구경 망원경을 낮은 FOV상태에서 사용하고, 고가의 광센서를 사용한다. 이러한 이유 때문에 근거리에서의 산란 신호 정보가 좁은 FOV를 지닌 망원경을 통하여 100% 입사될 수 없어서 신호의 실시간 보정이 필요하다. 그러나 그러한 보정은 레이저의 정렬 상태에 따라서 변하기 때문에 일반적으로 근거리 신호는 무시하거나 포기하고 있다.

[0004] 즉 일반적인 라이다의 경우에는 망원경의 시야(FOV)의 한계로 근거리 신호를 얻을 수 없다. 근거리 신호를 얻기 위하여 망원경의 시야를 크게하면, 원거리 신호에 배경신호가 너무 많게된다. 그리고 망원경과 레이저의 간격을 아무리 당겨도 마운트 등의 방해로 근거리 신호를 완전히 볼 수 없다.

[0005] 또한, 카메라를 이용하여 시정이나 부유 물질의 소산계수를 측정하는 방법은 주로 낮 시간에만 측정이 가능하다. 인공적인 조명을 사용하여 소산계수를 측정하는 것이 가능하나, 임의의 주어진 물체에 대응되는 유한한 수의 거리만을 사용하기 때문에 다양한 거리 정보를 얻기 위하여 다양한 타겟 물체를 임으로 설치해하는 단

점이 있다. 또한 장치를 주사(scanning)할 미리 알고 있는 거리에 알고 있는 타겟을 위치해야 하기 때문에 3차원 정보를 얻는데 한계가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제10-2020-0087010호 (2020.07.20)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 상기와 같은 문제를 해결하기 위하여 창출된 것으로, 본 발명의 목적은 원하는 위치에 임으로 조명을 비추고 조명되는 모든 거리에서 산란된 신호를 얻고 이를 분석하되 기존 펄스형 라이다에 대응하여 연속광원을 사용하고 하나의 센서 대신에 CCD와 같은 2 차원 센서 어레이를 사용하여 영상(Image)를 얻고 이를 분석하여 각 거리에 있는 미세먼지나 기타 부유물 질(물방울, 공기분자)의 소산계수/ 라이다 신호를 얻을 수 있는 연속광원과 상용 카메라 센서를 이용한 거리별 부유물질의 소산계수 추출 방법 및 시스템을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기와 같은 목적을 위해 본 발명 거리별 부유물질의 소산계수 추출 시스템은, 설정된 방향으로 연속된 광원을 조사하는 광원조사부; 상기 광원이 조사되는 풍경을 촬영하여 영상을 취득하는 카메라; 상기 광원의 시작점 좌표와 조사방향을 포함하는 광원정보와 상기 카메라에 대한 광원의 상대적인 벡터를 통해 상기 카메라의 위치에 대한 상대적인 광원상의 위치를 구하는 위치산출부; 상기 광원의 발산각과 대기 중으로 진행함에 따른 단위면적당 빛의 강도가 줄어드는 것을 반영하여 광원의 경로에 있는 지점의 산란체의 화소에 해당하는 거리별 라이다신호를 얻는 신호획득부; 상기 라이다신호를 통해 거리별 부유물질의 소산계수를 산출하는 소산계수산출부; 를 구비하는 것을 특징으로 한다.

[0009] 이때 상기 위치산출부는, 상기 광원의 방향을 영상으로부터 추출하여 연속광원의 위치를 상기 카메라의 좌표계에 대하여 구하되 상기 시작점으로부터 광원의 방향과 상기 카메라의 좌표계에서 광원의 방향 및 거리로부터 직선거리와 하나의 각을 얻고, 상기 영상의 광원상 특정 화소의 방위각 및 고도각을 얻어 카메라로부터의 방향을 정하여 카메라와 광원상 특정 화소를 연결하는 한변의 길이와, 상기 한변의 끝 두점으로부터 광원의 각도와 카메라 화소의 방위각 및 고도각으로부터 광원 또는 카메라로부터 상기 특정 화소에 대응하는 광원상 위치의 거리를 산출하도록 구성될 수 있다.

[0010] 또한, 상기 신호획득부는, 상기 영상의 각 화소의 시야각(FOV)를 반영하되 상기 광원의 시작점에서 주어진 방향으로 조사된 광원의 모든 점에 대하여 하나의 화소에 해당하는 산란물체 측 빛 광원의 크기인 단일화소-시각폭을 얻어 라이다신호에 반영하도록 구성될 수 있다.

[0011] 또한, 상기 신호획득부는, 산란체의 화소에서의 광원의 세기로부터, 단위화소-시각폭을 나누고, 단위 면적당 에너지인 거리에 따른 광원의 직경을 곱하여 화소값을 라이다 신호로 바꾸는 라이다방정식을 적용하도록 구성될 수 있다.

[0012] 또한, 상기 소산계수산출부는, 다음의 [수학식]의 1차 미분방적식을 통하여 각 거리별 소산계수를 얻도록 구성될 수 있다.

[0013] [수학식]

[0014] $$I_{pixel}(R)D(R)^2/W(R) = C\alpha(R)e^{-2\int_0^R \alpha(R')dR'}$$

[0015] (I_{pixel}(R): 화소 광원의 세기, D(R): 거리에 따른 광원의 직경, W(R): 단위화소-시각폭, C: 매질의 산란계수를 포함한 상수, α(R): 소산계수, R: 거리)

[0016] 상기와 같은 목적을 위해 본 발명 거리별 부유물질의 소산계수 추출 방법은, 설정된 방향으로 연속된 광원을 조사하는 광원조사단계; 상기 광원이 조사되는 풍경을 촬영하여 영상을 취득하는 촬영단계; 상기 광원의 시작점 좌표와 조사방향을 포함하는 광원정보와 상기 카메라에 대한 광원의 상대적인 벡터를 통해 상기 카메라의 위치에 대한 상대적인 광원상의 위치를 구하는 위치산출단계; 상기 광원의 발산각과 대기 중으로 진행함에 따른 단위면적당 빛의 강도가 줄어드는 것을 반영하여 광원의 경로에 있는 지점의 산란체의 화소에 해당하는 거리별 라이다신호를 얻는 신호획득단계; 상기 라이다신호를 통해 거리별 부유물질의 소산계수를 산출하는 소산계수산출단계; 로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0017] 또한, 상기 위치산출단계; 는, 상기 광원의 방향을 영상으로부터 추출하여 연속광원의 위치를 상기 카메라의 좌표계에 대하여 구하되 상기 시작점으로부터 광원의 방향과 상기 카메라의 좌표계에서 광원의 방향 및 거리로부터 직선거리와 하나의 각을 얻는 단계와, 상기 영상의 광원상 특정 화소의 방위각 및 고도각을 얻어 카메라로부터의 방향을 정하여 카메라와 광원상 특정 화소를 연결하는 한변의 길이를 얻는 단계와, 상기 한변의 끝 두점으로부터 광원의 각도와 카메라 화소의 방위각 및 고도각으로부터 광원 또는 카메라로부터 상기 특정 화소에 대응하는 광원상 위치의 거리를 산출하는 단계로 구성될 수 있다.

[0018] 또한, 상기 신호획득단계; 는, 상기 영상의 각 화소의 시야각(FOV)를 반영하되 상기 광원의 시작점에서 주어진 방향으로 조사된 광원의 모든 점에 대하여 하나의 화소에 해당하는 산란물체 측 빛 광원의 크기인 단일화소-시각폭을 얻어 라이다신호에 반영하도록 구성될 수 있다.

[0019] 또한, 상기 신호획득단계는, 산란체의 화소에서의 광원의 세기로부터, 단위화소-시각폭을 나누고, 단위 면적당 에너지인 거리에 따른 광원의 직경을 곱하여 화소값을 라이다 신호로 바꾸는 라이다방정식을 적용하도록 구성될 수 있다.

[0020] 또한, 상기 소산계수산출단계;는, 다음의 [수학식]의 1차 미분방적식을 통하여 각 거리별 소산계수를 얻도록 구성될 수 있다.

[0021] [수학식]

[0022] $$I_{pixel}(R)D(R)^2/W(R) = C\alpha(R)e^{-2\int_0^R \alpha(R')dR'}$$

[0023] ($I_{pixel}(R)$: 화소 광원의 세기, D(R): 거리에 따른 광원의 직경, W(R): 단위화소-시각폭, C: 매질의 산란계수를 포함한 상수, α(R): 소산계수, R: 거리)

발명의 효과

[0024] 본 발명은 기존의 펄스형 라이다에서 문제점으로 지적되는, 짧은 거리의 라이다 산란 신호가 오차를 포함하고 있기 때문에 근거리 라이다 및 미세먼지 정보가 없다는 것을 보조하는데 사용 가능하다.

[0025] 또한, 본 발명은 연속 광원을 사용하기 때문에 짧은 펄스의 레이저를 사용하지 않아 전체 시스템의 가격을 대폭 낮출 수 있으며, 센서는 일반 카메라의 ccd나 기타 1차원 array를 사용할 수 있기 때문에 근거리 및 원거리의 신호를 동시에 얻을 수 있고, 다양한 장소에 설치가 가능하여 넓은 영역을 역시 측정할 수 있는 장점이 있다.

[0026] 또한, 연속 광원이기 때문에 거리 정보가 없는 단점을 보완하고 있으며, 연속광원을 사용함에도 불구하고 거리 분해능이 있어 기존의 펄스형 라이다와 달리 짧은 거리에서도 신호를 얻을 수 있기 때문에 근거리 미세먼지의 소산계수를 얻은데 유용하게 사용할 수 있다.

[0027] 또한, 본 발명은 기존의 라이다의 문제점을 보완하는데도 사용될 수 있지만, 자체적으로도 산업적, 환경적, 기상학적 정보를 얻는데도 사용이 가능하다.

[0028] 또한, 본 발명으로 얻은 라이다 신호 정보는 거리 분해능이 있기 때문에 기존의 라이다 방법으로 짧은 거리에서의 분해능과 망원경의 막힘(blind)현상을 보정할 수 있다. 또한 거리 분해능이 있기 때문에 실내 혹은 굴뚝, 기타 다른 오염원 주변에 설치하면 비교적 소규모에서 발생하는 가스나 미세먼지의 누출 정보도 알 수 있도록 해준다.

도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 카메라 좌표계(SC)와 광원 좌표계계(SL) 개념도,

도 2는 광원을 대기 중으로 조사하고 카메라로 얻은 전형적인 영상,

도 3은 카메라로 얻은 광원의 영상(image)과 이론적으로 계산한 광원으로부터의 거리에 따라 얻어진 화소점(삼각형),

도 4는 하나의 화소에 해당하는 광원의 단일화소-시각폭의 크기를 결정하는 변수들과 그 값을 표현한 개념도,

도 5는 각 화소에 기여하는 단일화소-시각폭의 크기($\triangle R_c(R)$)를 나타낸 그래프,

도 6은 하나의 화소에 기여하는 산란 물체에 산란부피와 산란 부피에서의 빛의 강도와 산란 빛의 각화소까지 도달하는데 잃는 광량 등을 나타낸 개념도,

도 7은 본 발명에 따른 라이다 방정식 도출 흐름도,

도 8은 본 발명에 따라 라이다 신호를 얻은 예시도,

도 9는 본 발명에 따른 구성 및 연결관계를 나타낸 시스템 블록도,

도 10은 본 발명에 따른 소산계수 추출 방법을 나타낸 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 이하 첨부된 도면을 참고하여 연속광원과 상용 카메라 센서를 이용한 거리별 부유물질의 소산계수 추출 방법 및 시스템을 구체적으로 설명한다.

[0031] 본 발명은 미세먼지를 측정하고자 하는 지역에 광원과 카메라를 설치하여 광원의 소산계수를 얻는 기술이다.

[0032] 카메라를 통해 얻어진 영상의 각 픽셀이 갖는 거리정보와 동시에 주어진 각 픽셀의 유효거리폭(effective range width)을 추출하여 그 픽셀(거리)의 유효 신호(effective signal)를 얻을 수 있다.

[0033] 본 발명은 이러한 각 픽셀이 가지는 거리 정보 추출 방법과 유효거리폭을 통하여 사진의 화소 값으로부터 라이다 신호를 얻는데 주요 특징이 있다.

[0034] 본 발명에서 얻어지는 영상의 하나의 픽셀은 하나의 거리 정보를 가지고 있음과 동시에 그 픽셀이 보는 거리범위도 달라진다. 그러므로 송출된 연속광원에서 산란되어 카메라 센서로 입사되는 빛의 각 화소가 어느 거리에 해당하는지를 아는 것은 매우 중요하다.

[0035] 본 발명은 연속 광원을 사용하고도 거리 정보가 있는 라이다 신호를 얻은 방법이 가장 중요한 기술이다. 본 발명은 CCD나 기타 array 형태의 다양한 광센서로부터 거리 정보를 얻고 동시에 라이다에 해당하는 정보를 얻기 위하여 각 화소 값으로부터 가중치를 얻은데 본 발명의 핵심 기술이 있다.

[0036] 이를 위하여, 거리 정보는 카메라에서 얻어진 연속광원의 방향과 위치를 얻고 각 영상의 이미지에 있는 광원의 산란 신호의 거리는 위에서 얻은 광원의 방향과 거리 정보를 이용하여 얻을 수 있다. 그리고 각 이미지에 기여하는 거리들은 그 화소의 거리 정보에 따라 다르며 먼 거리 일수록 다양한 거리들에서 산란된 신호가 하나의 화소의 밝기에 기여한다. 이러한 각 화소의 기여가중치는 카메라 화소의 FOV와 거리 정보를 이용하여 구할 수 있다. 광원이 공간을 진행하면서 퍼지게되면, 그 퍼짐 현상으로 화소의 값에 영향을 준다. 광원의 퍼짐(D(r))을 고려하게되면 마지막으로 각 화소의 거리와 라이다 신호를 얻을 수 있다.

[0037] 도 9는 본 발명에 따른 구성 및 연결관계를 나타낸 시스템 블록도, 도 10은 본 발명에 따른 소산계수 추출 방법을 나타낸 순서도로서, 본 발명은 광원조사부(110)와, 카메라(120)와, 위치산출부(130)와, 신호획득부(140)와, 소산계수산출부(150)의 구성을 통해 하기와 같은 절차를 통해 이루어진다.

[0038] 본 발명의 첫 번째 단계는 설정된 방향으로 연속된 광원을 조사하는 광원조사단계(S 110)로서, 설정된 방향으로 연속된 광원을 조사하는 광원조사부(110)를 통해 이루어진다. 기본적으로 광원은 점광원을 사용하여 렌즈나 기타의 방법으로 평행광을 만들어 송신하게 된다.

[0039] 본 발명의 기존의 펄스형 레이저와 고가의 센서를 사용하는 대신에 임의의 저가의 연속 광원을 사용하기 때문에 가격이 저렴하여 다양한 장소에 설치가 가능하다. 이때 사용되는 광원은 모든 색을 한꺼번에 포함한 white light와 같은 광원 도 가능하고, laser diode 와 같은 비교적 좁은 선폭의 광원, 그리고 기존의 라이다에 사용

되는 펄스형 레이저도 사용이 가능하다.

[0040] 두 번째 단계는 상기 광원이 조사되는 풍경을 촬영하여 영상을 취득하는 촬영단계(S 120로서, 상기 광원이 조사되는 풍경을 촬영하여 영상을 취득하는 카메라(120)를 통해 수행된다.

[0041] 세 번째 단계는 상기 광원의 시작점 좌표와 조사방향을 포함하는 광원정보와 상기 카메라에 대한 광원의 상대적인 벡터를 통해 상기 카메라의 위치에 대한 상대적인 광원상의 위치를 구하는 위치산출단계(S 130)로서, 상기 광원의 시작점 좌표와 조사방향을 포함하는 광원정보와 상기 카메라(120)에 대한 광원의 상대적인 벡터를 통해 상기 카메라(120)의 위치에 대한 상대적인 광원상의 위치를 구하는 위치산출부(130)를 통해 수행된다.

[0042] 네 번째 단계는 상기 광원의 발산각과 대기 중으로 진행함에 따른 단위면적당 빛의 강도가 줄어드는 것을 반영하여 광원의 경로에 있는 지점의 산란체의 화소에 해당하는 거리별 라이다신호를 얻는 신호획득단계(S 140)로서, 상기 광원의 발산각과 대기 중으로 진행함에 따른 단위면적당 빛의 강도가 줄어드는 것을 반영하여 광원의 경로에 있는 지점의 산란체의 화소에 해당하는 거리별 라이다신호를 얻는 신호획득부(140)를 통해 수행된다.

[0043] 다섯 번째 단계는 상기 라이다신호를 통해 거리별 부유물질의 소산계수를 산출하는 소산계수산출단계(S 150)로서, 상기 라이다신호를 통해 거리별 부유물질의 소산계수를 산출하는 소산계수산출부(150)를 통해 수행된다.

[0044] 이때 상기 위치산출단계(S 130)를 수행하는 상기 위치산출부(130)는 상기 광원의 방향을 영상으로부터 추출하여 연속광원의 위치를 상기 카메라의 좌표계에 대하여 구하되 상기 시작점으로부터 광원의 방향과 상기 카메라의 좌표계에서 광원의 방향 및 거리로부터 직선거리와 하나의 각을 얻는 단계(S 131)와, 상기 영상의 광원상 특정 화소의 방위각 및 고도각을 얻어 카메라로부터의 방향을 정하여 카메라와 광원상 특정 화소를 연결하는 한변의 길이를 얻는 단계(S 132)와, 상기 한변의 끝 두점으로부터 광원의 각도와 카메라 화소의 방위각 및 고도각으로부터 광원 또는 카메라로부터 상기 특정 화소에 대응하는 광원상 위치의 거리를 산출하는 단계(S 133)를 수행할 수 있다.

[0045] 또한, 상기 신호획득단계(S 140)를 수행하는 신호획득부(140)는 상기 영상의 각 화소의 시야각(FOV)를 반영하되 상기 광원의 시작점에서 주어진 방향으로 조사된 광원의 모든 점에 대하여 하나의 화소에 해당하는 산란물체 측 빛 광원의 크기인 단일화소-시각폭을 얻어 라이다신호에 반영하도록 구성될 수 있다.

[0046] 또한, 산란체의 화소에서의 광원의 세기로부터, 단위화소-시각폭을 나누고, 단위 면적당 에너지인 거리에 따른 광원의 직경을 곱하여 화소값을 라이다 신호로 바꾸는 라이다방정식을 적용할 수 있다.

[0047] 또한, 상기 소산계수산출단계(S 150)를 수행하는 상기 소산계수산출부(150)는 후술되는 수학식 12의 1차 미분방적식을 통하여 각 거리별 소산계수를 얻도록 구성될 수 있다.

[0048] 이러한 일련의 구성을 통해 수행되는 구체적인 절차는 다음과 같다.

[0049] 먼저, 화소에서 거리 정보와 그 화소가 가지는 유효거리폭을 추출하는 방법에 대하여 상세히 설명한다.

[0050] 도 1은 카메라 좌표계(SC)와 광원 좌표계계(SL) 개념도로서, 카메라와 광원이 다른 위치에 존재하고 광원이 빛이 대기로 조사될 경우 각 좌표(카메라 좌표와 광원의 좌표)와 빛이 진행하는 임의의 거리에서 산란된 빛의 관계를 보여 준다.

[0051] SC는 카메라 좌표계의 좌표계를 SL 은 광원의 좌표계를 나타내며, $\overrightarrow{X_o}$ 는 카메라와 광원좌표계의 변위차이를 나타낸다. 광원을 따라 존재하는 모든 임의의 T 점은 카메라 좌표계와 광원좌표계 사이에서 [수학식 1]과 같이 표현된다.

[0052] [수학식 1]

[0053] $$\overrightarrow{R_c} = \overrightarrow{R_L} + \overrightarrow{X_o}$$

[0054] 도 1과 [수학식 1]에서 $\overrightarrow{X_o}$ 는 처음 카메라와 광원을 어떻게 설치하는가에 의하여 결정되며, 두 물체를 하나의 마운트에 고정할 경우 상수로 고정된다. 그리고 빛이 무한히 먼거리로 진행할 경우 그 효과는 무시되어

$\overrightarrow{R_c} \approx \overrightarrow{R_L}$ 이 된다. 두 좌표계의 위치 벡터 $\overrightarrow{R_c}, \overrightarrow{R_L}$를 구면 좌표계로 나타내어 [수학식 1]을 다시 기술하면 다음 [수학식 2]와 같은 하나의 벡터방정식 혹은 3개의 스칼라 방정식을 얻을 수 있다.

[0055] [수학식 2]

$$R_c(\sin(\theta_c)\cos(\phi_c), \sin(\theta_c)\sin(\phi_c), \cos(\theta_c)) = R_L(\sin(\theta_L)\cos(\phi_L), \sin(\theta_L)\sin(\phi_L), \cos(\theta_L)) + (0, Y_0, Z_o)$$

$$R_c(\sin(\theta_c)\cos(\phi_c) = R_L(\sin(\theta_L)\cos(\phi_L)$$

$$R_c \sin(\theta_c)\sin(\phi_c) = R_L \sin(\theta_L)\sin(\phi_L) + Y_0$$

[0056] $$R_c\cos(\theta_c) = R_L\cos(\theta_L) + Z_o$$

[0057] [수학식 2]에서 (θ_c, ϕ_c)는 카메라 좌표계의 구면좌표계에서 사용되는 고도각과 방위각을 나타내고, (θ_L, ϕ_L)는 광원 좌표계에서 바라본 빛의 고도각과 방위각을 각각 나타낸다.

[0058] R_c, R_L은 각각 타메라 좌표계와 광원 좌표계에서 본 임의의 거리에 있는 빛까지의 거리이다. 광원 좌표계에서 바라본 광원의 (θ_L, ϕ_L)은 빛의 진행 거리와 관계없이 (즉 CCD의 화소와 관계없이) 처음설치된 광원의 방향에 의하여 결정되며 상수이다.

[0059] [수학식 2]에서 우변 R_L은 광원에서 임의의 지점까지의 거리를 나타낸 것으로 우변의 유일한 변수이다.

[0060] 도 2는 광원을 대기 중으로 조사하고 카메라로 얻은 전형적인 영상으로, 도 1과 같이 설치된 광원을 카메라로 얻은 전형적인 모습을 나타낸 것이다. 광원의 최종 방향은 카메라에서 하나의 픽셀로 수렴하며, 도면에서는 광원으로 표시하였다.

[0061] 도면과 같이 빛의 광원이 최종적으로 진행한 무한대의 거리에서는 [수학식 1]에서 알 수 있듯이 $\overrightarrow{X_o}$는 무시할 수 있으며, 카메라 영향으로부터 쉽게 (θ_L, ϕ_L)를 구할 수 있음을 보여 준다. 즉 도면에서 광원에 해당하는 화소값 (P_{LX}, P_{LY})는 카메라에서는 방향을 의미하며 그 방향은 카메라의 렌즈와 CCD크기에 의하여 결정되는 분해능 $(\Delta\Theta)$을 고려하여 광원의 화소 값을 구면 좌표의 방향으로 [수학식 3]과 같이 (θ_L, ϕ_L)를 얻을 수 있다.

[0062] [수학식 3]

[0063] $$(\theta_c, \phi_c) = \Delta\Theta(P_{LX}, P_{LY}) \cong (\theta_L, \phi_L)$$

[0064] [수학식 3]에서 광원의 방향에 해당하는 (θ_L, ϕ_L)는 화소 값으로 표현되며 그 화소 값은 단순히 카메라 영상의 광원 좌표를 읽음으로서 얻어 진다. 그러므로 [수학식 3]을 통하여 쉽게 레이저의 방향□ (θ_L, ϕ_L)을 얻을 수 있으며, 이 값은 한번 시스템을 구축하면 변하지 않은 상수이다.

[0065] 도 2에서 광원이 레이저의 최종 방향(광원((θ_L, ϕ_L)))이 구해지면, 광원과 카메라의 위치벡터 $\overrightarrow{X_o}$에 의하여 모든 거리의 화소 값이 정해지는데, 이를테면, 본 발명에서 해결해야하는 중요한 사항으로 화면을 통하여 얻은 광원의 영상에서 화소점을 정하고 그 화소점에서 RGB 밝기 값과 거리 정보를 얻은 것이 중요하다.

[0066] 아직 카메라에 대한 광원의 상대적인 벡터 $\overrightarrow{X_o}$은 알지 못하기 때문에 먼저 $\overrightarrow{X_o}$를 구해야 한다.

[0067] 이를 위하여 다음과 같은 두가지 방법을 생각할 수 있다.

[0068] 방법 1) [수학식 2]에서 미지수는 (R_c, R_L, Y_o, Z_o) 가 있으며, 만약 임의의 알고 있는 거리의 물체에 광원을 조사한다면, 그 물체에서 광원((R_L))과 카메라((R_C))까지 거리는 알 수 있으므로 수학식 2에서 제시한 3개의 스칼라 방정식에서 2개의 미지수 (Y_o, Z_o)를 구할 수 있다.

[0069] 방법 2) 3차원 공간에서□(Y_o, Z_o)와□주어진 하나의 방향□(θ_L, ϕ_L) 으로의 물체에 해당하는 영상은 카메라에서 직선 영상으로 나타나므로 (도 2에서 초록색 직선 이미지) 그 직선 영상에 가장 부합하는 점 (Y_o, Z_o)을 찾는 것은 우량조건문제(well posed problem) 이기 때문에 미지의 점□(Y_o, Z_o)를 얻을 수 있다. 좀 더 구체적으로는 [수학식 2]에서 3개의 스칼라 방정식과, 카메라 좌표계의 중심점(도 1의 Sc)과 광원 좌표계의 중심점(도 1의 SL) 그리고 광원이 지나가는 임의의 한 점(T)으로 만들어진 삼각형 $(\triangle S_c S_L T)$ 은 같은 평면에 있는 삼각형으로 삼각형의 형성 조건에서 한변의 거리와 그 변의 끝점에서의 각도가 정해지면 삼각형이 정의된다.

[0070] 본 발명은 도 1에서 카메라와 광원의 거리(X_o), 광원의 방향과 카메라와 광원이 만드는 각 (Θ_{oL}), 카메라에서의 전파된 광원이 산란된 광지점(T)이 광원과 만드는 각(Θ_{oC}) 역시 하나의 평면에서 삼각형을 형성하므로 [수학식 4]를 만족한다.

[0071] [수학식 4]에서 방정식을 두 개 더 얻을 수 있으므로, [수학식 2]와 더불어 총 5 개의 방정식을 얻을 수 있다. 이에 4 개의 미지수(R_c, R_L, Y_o, Z_o) 와 5 개의 방정식, 즉 [수학식 2]에서 3개, [수학식 4]에서 2개로 이루어진 우량조건 문제로 그 해□(Y_o, Z_o)를 구할 수 있다.

[0072] [수학식 4-0]

[0073] $$\frac{R_c}{\sin(\Theta_{oL})} = \frac{R_L}{\sin(\Theta_{oC})} = \frac{X_o}{\sin(\Theta_{oL}+\Theta_{oC})}$$

[0074] [수학식 4-0]의 구성요소 $(\Theta_{oL}, \Theta_{oC})$ 는 다음으로 정의할 수 있으며,

[0075] [수학식 4-1]

[0076] $$\Theta_{oC} = \cos^{-1}(\hat{X}_o \bullet \hat{L}) \Theta_{oL} = \cos^{-1}(\hat{X}_o \bullet \hat{T})$$

[0077] 위의 식에서 단위 벡터 $\hat{L}, \hat{T}, \hat{X}_o$는 다음과 같이 정의 된다.

[0078] [수학식 4-2]

$$\hat{L} = (\sin(\theta_L)\cos(\phi_L), \sin(\theta_L), \sin(\phi_L), \cos(\theta_L))$$

$$\hat{T} = (\sin(\theta_c)\cos(\phi_c), \sin(\theta_c), \sin(\phi_c), \cos(\theta_c))$$

[0079] $$\hat{X}_o = \frac{1}{\sqrt{Y_o^2 + Z_o^2}}(0, Y_o, Z_o)$$

[0080] 방법 1과 방법 2를 통하여 카메라의 위치에 대한 상대적인 광원의 위치□ (Y_o, Z_o)를 구하는 방법은 수학적으로 매우 자명하고 잘 알려져 있기 때문에 생략한다.

[0081] 도 3은 카메라로 얻은 광원의 영상(image)과 이론적으로 계산한 광원으로부터의 거리에 따라 얻어진 화소점(삼각형)으로, 대기로 조사된 직선 광원의 영상으로부터 (Y_o, Z_o)를 앞서 설명한 방법 1, 2로 구한 후 이 값을□ (Y_o, Z_o)를 이용하여 역으로 광원으로부터의 최종 광원 방향 (θ_L, ϕ_L)으로 진행하는 빛과(image), 광원에서 그 진행방향으로 각 거리에 해당하는 지점을 카메라에서의 image와 함께 점으로 표시한 것이다.

[0082] 도 3의 노랑과 청색 세모점은 (Y_o, Z_o)를 제대로 구하지 못한 경우이고, 빨강 세모 그림은 (Y_o, Z_o)을 정확히 구했을 때 얻은 광원으로부터의 거리에 따른 위치를(삼각형 도형) 나타낸 것이다. 각 삼각형의 간격은 같은 거리 간격을 나타내며 가까운 거리에는 점의 밀도가 희박하게 존재하며, 거리가 멀수록 광원에서 같은 거리에 있더라도 조밀하게 존재한다.

[0083] 방법 1 혹은 방법 2를 통하여 카메라의 위치에 대한 광원의 위치 (Y_o, Z_o)값을 정확히 구하게 되면, 대기 중으로 조사된 광원의 영상에 해당하는 각 화소점이 광원에서 얼마나 떨어져 있는지 알 수 있으나, 각 화소점의 밝기 값에 실제 얼마나 많은 산란 신호가 그 화소의 밝기에 기여하는가는 그 화소의 거리 정보와 함께 매우 중요하다.

[0084] 카메라의 영상은 많은 화소점을 가지고 있으며, 각 화소점은 하나의 방향(고도각과 방위각)에 대한 밝기 정보를 지니고 있으며, 화소점이 2차원 구조를 지니고 있으므로, 그 밝기는 주어진 방향에서 입사되는 모든 빛의 합에 해당한다.

[0085] 본 발명과 같이 3차원 공간을 직진하는 광원을 사진으로 촬영한 경우는 공간상의 각 지점에 있는 각종 부유물질에 의하여 산란된 빛이 산란물체와 같은 역할을 하고 각 산란물체의 요소 중에서 카메라를 향하여 산란된 빛만이 카메라의 렌즈로 입사되고 결국 하나의 화소에 상을 맺게 된다. 공간상에 직선으로 된 긴 발광산란물체가 있다면 이 물체는 마치 도 2와 같은 영상으로 화면에서도 하나의 직선상 모양의 상이 맺힌다.

[0086] 그러나, 상을 구성하는 각각의 화소는 산란물체의 다른 부위를 보는 것과 동시에 보는 산란물체의 범위도 달라진다.

[0087] 도 4는 하나의 화소에 해당하는 광원의 단일화소-시각폭의 크기를 결정하는 변수들과 그 값을 표현한 개념도로서, 하나의 화소점에서 얻어지는 밝기에 기여하는 광의 산란점(3차원 공간상에서 빛이 지나가는 지점에서의 점)들이 얼마나 많이 존재하는지를 보여주는 도면이다.

[0088] 한 점에서 만나는 임의의 두 직선은 하나의 임의의 평면을 만들기 때문에 카메라와 광원이 만들어진 직선, 광원과 광원이 만들어낸 산란물체(광원 자체)는 하나의 평면에 있게 되며, 하나의 평면에서 모든 정보를 기술할 수 있다.

[0089] 도 4는 카메라(Sc)와 광원(S_L)그리고 산란 물체의 임의의 한점(T)으로 이루어진 평면에서 바라본 각 위치를 나타내고 있으며, 도면에서 카메라는 Sc 위치, 산란 물체의 시작점에 해당하는 광원의 위치는 S_L이며, 두물체 사이의 거리는 X_o이며 직선, 산란 물체는 S_L과 T로 이루어진 직선으로 표현된다. 카메라의 하나의 화소가 만드는 시야각(FOV)는 $\Delta\Theta_c$로 도면에 표기하였다.

[0090] 도면에서 ΔR_L는 카메라의 한 화소가 바라보는 산란물체의 1차원적 크기이다. 즉 하나의 화소에 해당하는 산란물체 측 빛 광원의 크기에 해당한다. 본 발명에서는 단일화소-시각폭이라 칭한다. 그러므로 같은 크기의 화소이더라도 바라보는 각도(Θ_C)에 따라서 단일화소-시각폭($\Delta\Theta_c$)이 달라진다는 것을 알 수 있다. 구체적으로는 단일화소-시각폭이 $(\Theta_C, \Theta_L, X_0)$의 함수이며 Θ_C값은 화소에 따라 변하나 다른 값은 (X_o, Θ_L)상수이고 변하지 않는다. [수학식 5]는 단일화소-시각폭이 Θ_C의 함수 즉 카메라의 영상에서 정해지는 화소값의 함수 임을 나타낸다.

[0091] [수학식 5]

[0092] $$\Delta R_L = R_{L_2}(\Theta_{C_2}) - R_{L_1}(\Theta_{C_1})$$

[0093] [수학식 5]에서 구체적으로 $R_{L_2}(\Theta_{C_2}), R_{L_1}(\Theta_{C_1})$는 각각 삼각형 $\Delta S_C S_L T_1, \Delta S_C S_L T_2$에 의하여 정해지는 값으로 역시 주어진 상수 (X_o, Θ_L)와 Θ_{C_i}에 의하여 결정되므로 화소 값만 알면 그 값이 정해진다. 구체적으로 $R_{L_2}(\Theta_{C_2}), R_{L_1}(\Theta_{C_1})$는 삼각형의 사인정리에 의하여 다음 [수학식 6]과 같이 표현된다.

[0094] [수학식 6]

$$\frac{R_L}{\sin(\Theta_C)} = \frac{R_C}{\sin(\Theta_L)} = \frac{X_o}{\sin(\Theta_C + \Theta_L)} = C$$

$$R_{L_1} = C \times \sin(\Theta_{C_1}),$$

$$R_{L_2} = C \times \sin(\Theta_{C_2})$$

$$\Delta R_L = \frac{X_o}{\sin(\Theta_C + \Theta_L)} (\sin(\Theta_{C2}) - \sin(\Theta_{C1}))$$

[0095]

[0096] [수학식 6]에서 상수 C는 $C = X_o / \sin(\Theta_C + \Theta_L)$를 의미하며 두 개의 각도 (Θ_{C_i}, Θ_L)와 거리 (X_o)앞서 제안한 방법으로 구할 수 있고, R_{L_i}도 [수학식 6]의 아래 두식에서 구할 수 있으므로 단일화소-시각폭(ΔR_L)을 [수학식 5]로부터 구할 수 있다.

[0097] 도 5는 각 화소에 기여하는 단일화소-시각폭의 크기(△Rc(R))를 나타낸 그래프로, [수학식 6]을 이용하여 구한 것으로 주어진 각 화소의 밝기에 기여하는 광원 산란체의 단일화소-시각폭의 크기 $(\Delta R_c(R))$를 나타낸 것이다. 본 발명에서 R은 광원의 시작점에서 광의 방향을 따라 거리로 $R = |\overrightarrow{R_L}|$를 의미한다. x-축은 광원으로부터의 빛의 진행 방향을 따라 산란물체의 거리 R을 나타낸다. 결국 광원 시작점에서 다른 거리에 있는 점은 다른 화소에 대응되므로 x-축은 주어진 거리 R에 대응되는 화소점을, y-축은 그 화소점의 밝기에 기여하는 산란물체의 모든 지점의 두께라 생각하면 된다.

[0098] 지금까지의 설명을 통하여 카메라로 임의의 조명을 대기 중으로 조사하고 그 조사된 빛이 공기분자나 미세먼지에 의하여 사방으로 산란된 빛 중에서 카메라의 방향으로 후방산란되는 빛을 받는 방법과 그 값들이 어떤 요인과 관계되는지를 기하학적으로 설명하였다. 그러나 대기로 조사되는 빛을 완벽하게 평행광으로 만들 수 없기 때문에, 대기 투과도가 100 %인 경우에도 즉 빛이 대기부유물질에 의하여 산란되어 제거되지 않을 경우에도 대기 중을 진행하는 빛의 강도는 스스로의 발산에 의하여 그 강도(진행에 직각인 면에서 단위 면적당 에너지)가 거리에 따라 점점 약해진다.

[0099] 각 카메라의 화소는 그 커지는 빛의 일부분만 즉 자신의 시야각(FOV) $\Delta\Theta_c$ 이내에 있는 일부분만 보기 때문에, 라이다와 같이 조사된 빛의 전체를 보지 못하기 때문에, 이를 보정해 주어야 한다. 라이다는 특정거리에서 산란되는 모든 빛을 보는 것이며, 본 방법은 조사된 빛의 경로 중에서 일부분만 보는 것이다.

[0100] 그러므로 본 방식의 라이다 방정식과 전통적인 방법의 라이다 방정식은 차이가 난다. 먼저,본 방법은 빛이 대기를 진행하면서 얼마나 퍼지는지를 알 고 있어야 한다. 대기를 진행하는 빛의 크기는 초기 크기와 진행하면서 증가하는 크기로 결정되며, 그 변화는 그 빛의 발산각으로 결정되고 그 발산각은 늘 상수이다. 그러므로 거리에 따른 조사된 빛의 직경 크기는 [수학식 7]과 같이 쓸 수 있다.

[0101] [수학식 7]

[0102] $D_L(R) = D_i + R\Phi$

[0103] [수학식 7]에서 D_i, Φ는 각각 광원의 시작점에서의 직경과 그 광원의 발산각을 의미한다. 그러므로 빛의 강도는 거리에 따라 광원의 면적으로나눈 것을 의미하므로 직경의 제곱에 비례하여 작아진다.

[0104] 광원에서 출발한 빛이 특정 거리에 도달하면, 크기 변화와 산란에 의한 소실 때문에 줄어들게 되고, 특정 거리에서 산란되어 에어로졸과 공기분자에 의하여 산란된 빛 역시 카메라에 도달하면서 줄어들게 된다. 산란 지점에서의 산란계수는 그 지점에 산란물질이 얼마나 많은가에 의하여 결정된다. 이러한 과정은 전통적인 라이다와 같다고 할 수 있다. 그러나 카메라의 한 화소로 입사될 수 있는 산란물체의 량과 물체의 강도가 자체 감소되는 효과를 보정하여야 한다.

[0105] 도 6은 하나의 화소에 기여하는 산란 물체에 산란부피와 산란 부피에서의 빛의 강도와 산란 빛의 각화소까지 도달하는데 잃는 광량 등을 나타낸 개념도로서, 이러한 점을 모두 고려한 에너지의 상관관계를 나타내었다.

[0106] 도 6은 카메라의 하나의 화소가 볼 수 있는 시야각($\Delta\Theta_c$)와 광원이 첫 출발점에서 점점 대기 중으로 진행하면서 그 에너지가 어떻게 되는가를 나타내는 $I_L(R_L)$(도면에서는 I_L로 표기), 그리고 시야각과 빛이 만나는 지점인 산란 공간(scattering Volume)을 중심으로 표시되어 있다.

[0107] 먼저 산란 공간에서의 빛의 강도(I_L)은 처음 출발 지점에서의 강도에 비하여 두가지 이유로 약해지는데, 첫 번째 이유는 빛이 거리(R)를 진행하면서 소산이 일어나는 것($e^{-\alpha R}$)과 빛의 퍼짐(divergence: Φ)현상으로 그 크기가 변하는 것으로($E_o/D_L^2 \ : D_L = D_i + R_L\Phi$)으로 [수학적 7]에서 상세히 언급한 바가 있다. 이러한 두 효과를 고려하면 시작점에서의 광원의 세기는 (I_i) 산란 공간(scattering Volume)에서 [수학식 8]과 같이 쓸 수 있다.

[0108] [수학식 8]

[0109] $$I_L = I_i \frac{e^{-\alpha R_L}}{D_L^2(R_L)} = I_i \frac{e^{-\alpha R_L}}{(D_i + R_L\Phi)^2}$$

[0110] 이렇게 대기 공간을 전파하는 빛은 카메라의 한 화소각($\Delta\Theta_c$) 내부에 있는 산란 부피(scattering Voulme)에서 산란이 일어나는데 산란 부피는 [수학식 9]와 같이 쓸 수 있다.

[0111] [수학식 9]

[0112] $$V_S = C_1(R_C\Delta\Theta_C)^2(\Delta R_L) = R_c^2 \times W(R)$$

$$W(R) = C_1 \Delta R_L \Delta\Theta_C^2$$

[0113] 이러한 부피 내부의 한점(도면에서는 별표)에서 산란이 발생하면 그 빛은 사방으로 전파되는되 그 중에서 카메라가 위치한 곳으로 산란된 빛 만이 화소의 밝기에 기여를 할 수 있다. 그러므로 한점에서 산란된 점의 초기 밝기는 그 지점에서의 빛의 강도(I_L: 수학식 8)와 부유 입자의 산란 계수(β)에 의하여 결정되고 그 빛이 다시 카메라로 오는 과정에소 소산(extinction)이 발생하기 때문에 이러한 모든 물리적 현상을 고려한다면, 카메라 화소에서의 밝기는 [수학식 10]과 같이 쓸 수 있다.

[0114] [수학식 10]

[0115] $$E_\star = A\frac{\eta I_L \beta e^{-\alpha R_c}}{R_C^2}$$

[0116] [수학식 10]에서 A는 카메라 렌즈의 면적, η 카메라 렌즈, CCD센서 등의 투과 및 감도 등 모두를 포함한 효율, I_L [수학식 8]에서 표현한 산란 부피에서의 빛의 강도, β 입자의 후방산란 혹은 산란계수, 그리고 카메라에서의 거리(Rc 그 거리를 진행하면서 산란 빛이 겪는 소산($e^{-\alpha R_c}$)을 나타낸 것이다.

[0117] 산란 부피내부에 있는 모든 점(★)은 화소의 밝기에 기여할 수 있기 때문에 실제 화소의 밝기는 [수학식 10]에 [수학식 9]를 곱하여야 한다.그러므로 $E_{\star} \times V_S$은 산란 부피 속에 있는 모든 지점의 입자들에 의한 화소의 밝기에 해당한다. $E_{\star}$를 나타내는 식에서 I_L대신에 [수학식 8]을 넣으면 화소의 밝기는 [수학식 11]로 최종적으로 표현된다.

[0118] [수학식 11]

[0119] $$I_{pixel}(R) = C \times \frac{W(R)}{D(R)^2} \times \beta(R) e^{-2\int_0^R \alpha(R')dR'}$$

$$\cong C' \times \frac{W(R)}{D(R)^2} \times e^{-\alpha R}$$

[0120] [수학식 11]을 얻기 위하여 근사적으로 $R = R_c \approx R_L$을 가정하였으며, 마지막 식은 공간상에서 소산계수가 일정할 경우 얻어지는 것으로 거리에 따른 신호의 세기가 지수함수를 갖는다는 것을 볼 수 있다. 그리고 D(R)은 [수학식 7]을 통하여 광원의 발산각을 얻어 알 수 있으며, W(R)은 [수학식 9]를 통하여 얻을 수 있으며, 구체적으로 그 과정은 도 4 와 [수학식 5]를 통하여 이루어진다, 마지막으로 C'은 매질의 산란계수(β(R))를 포함한 상수이다.

[0122] 지금까지의 상세한 설명을 통하여 최종적으로 소산계수를 얻은 방법을 설명하고자 한다.

[0123] 도 7은 본 발명에 따른 라이다 방정식 도출 흐름도로서, 카메라의 image로부터 각 위치에서 소산계수를 추출할 수 있는 라이다 방정식을 얻은 과정을 나타낸 다.

[0124] 먼저 카메라를 이용하여 광원이 조사되고 있는 풍경을 얻는다. 광원의 풍경을 얻기 위하여 레이저나 기타 단일 파장의 빛을 사용할 수도 있으며, 이 경우 카메라 앞에 단일 파장의 빛만 투과하는 매우 선폭이 좁은 필터를 설치하여 영상을 얻는다.

[0125] 이때 광원은 한 방향으로 직진하는 특성이 있어 영상에서는 하나의 점으로 수렴하므로 영상으로부터 광원의 방향을 얻을 수 있다. 수렴되는 광원 image의 끝점을 선택하면, 그 점은 광원의 방향이되고 그 방향을 고도각과 방위각 (θ_L, ϕ_L)으로 표현한다. 여기서 고도각은 천정에 대한 각이 될수도 있고, 수평선에 대한 각이 될 수도 있다.

[0126] 영상의 광원 이미지와 끝점 (θ_L, ϕ_L)을 이용하여 광원의 시작점 $(0, Y_0, Z_0)$을 구한다. 여기서 광원의 시작점의 x 좌표를 0으로 두어도 일반성에 어긋나지 않는다. 그리고 카메라의 광축 방향을 x 카메라 좌표계에서 x 축이라고 하고, 광원의 좌표계도 x축은 동일하다고 하여도 일반성에서 어긋나지 않는다.

[0127] 광원의 시작점 $(0, Y_0, Z_0)$은 회기법으로 구할 수 있으며, 수학적으로 방법도 회기법으로 구한 것과 같다.

[0128] 도 7에서 $X_m(x_i, y_i)$는 카메라 영상을 통하여 얻은 광원 산란물체의 영상에서의 좌표들이고 $X_c(x_i, y_i)$는 광원의 끝 점 (θ_L, ϕ_L)과 (0,Yo,Zo)를 이용하여 구한 모든 점들을 의미한다.

[0129] i는 광원에서 일정 간격만큼 떨어진 지점에 있는 R_i에 해당하는 산란물체에 해당하는 영상의 두 좌표 $X_c(x_i, y_i)$의 집합을 의미한다. 영상을 통하여 얻은 점들과 출발과 끝점을 잇는 광원의 집합으로 구성된 두 점들의 집합이 같아지도록 (0,Yo,Zo)를 변화시키면서 원하는 광원의 시작점(Y_0, Z_0)를 구한다. 이렇게 구한 화소값을 $I_p(R_i)$이라면 이 값은 [수학식 11]의 값을 나타낸다.

[0130] [수학식 6]으로 구한 도면 5(W(R))와 [수학식 7]을 통하여 얻은 (D(R))을 카메라의 화소 값을 통하여 얻은

$I_p(R_i)$과 결합하면 원하는 라이다 방정식을 얻을 수 있다.

[0131] 도 7의 마지막 식에서 좌변은 영상과($I_p(R_i)$) 이론적으로 추정되는 값들(W(R),D(R))로 이루어져 있으며 이 값들이 오른쪽 함수 모양을 나타내고 있어야 하므로 기존의 전통적인 라이다의 경우엔 좌변이 라이다 신호 우변이 라이다 방정식이다.

[0132] 그러므로 우리는 라이다 신호(좌변)를 이용하여 우변의 미지수 α(R)을 얻을 수 있다. 마지막 식의 우변은 전통적인 라이다 식에서와 달리 $1/R^2$에 해당하는 요소가 없다. 이는 하나의 화소에 입사되는 빛의 양이 거리 제곱에 반비례하지 않고 오직 소산되는 것과 산란되는 물체의 산란계수에만 관계 된다는 것을 보여 준다.

[0133] 그러므로 카메라를 이용한 라이다 신호는 기존의 전통적인 라이다 신호와 달리 거리가 멀어져도 광의 세기가 급격히 줄어들지 않기 때문에 8 bit정도의 카메라 센서를 사용할 수 있도록 해준다.

[0134] 도 8은 본 발명에 따라 라이다 신호를 얻은 예시도로서, 이러한 방법으로 구한 카메라를 이용한 라이다 신호의 모양 중의 하나를 보여준다. 도면 8-4는 최종적으로 얻은 라이다 신호를 보여주는 것으로 10-150m의 라이다 신호만을 얻었지만, 카메라와 광원(다이오드 레이저)를 같은 마운트에 인접하게 설치하고 얻은 것으로 X_0=10㎝ 근접한 경우이다.

[0135] 장치의 광원을 더 멀리 위치시키면 더 넓은 범위에서 라이다 신호를 얻을 수 있다. 도면 8-6에서 촬영 효과란 본 발명을 실현하기 위하여 카메라로 광원의 산란 물체를 촬영할 경우 렌즈의 초점거리와 관계된다.

[0136] 근거리 물체와 원거리의 물체에서 본 발명의 예시에 사용된 것과 같이 10-150m 물체를 하나의 초점면에 이미지 화시키는 과정에서 원거리에 초점이 맺혀 있는 경우 근거리는 희미하게 영상이 맺히개 되는데 이는 원하는 화소에 물체의 상이 맺히지 못한다는 의미이다. 이러한 효과는 도면 8-3의 빔 발산효과와 동시에 고려되어야 한다. 즉 빛이 많이 발산하면 거리가 멀수록 빛의 강도(watt/m^2)가 작아지지만, 카메라의 초점을 무한대의 원거리에 둘 경우 빛의 image는 근거리에서 더 크게 ccd에 맺히므로 빛의 강도가 근거리에서 줄어든다. 즉 도면에서 8-3과 8-6은 다른 원인에 의하여 같은 효과를 내기 때문에 발산각을 조절하는 것만으로도 충분히 그 효과를 고려할 수 있다.

[0137] 또한 이러한 영상 촬영 효과는 다양한 방법으로 그 효과를 감소시킬 수 있다. 조리개의 사용, 다양한 초점으로 여러장의 영상을 이용, 기타 방법으로 촬영단계에서 그 효과를 줄이거나, 최종단계에서 보정하는 방법이 있다.

[0138] 도 8-4 예시는 도면 8-3의 W(R)과 도면 8-3의 D(R) 보정한 수행한 결과를 보여준 것이다.

[0139] 도 8-4 의 라이다 신호의 해 α는 [수학식 11]에서 구해지며 다시한번 기술한다면, 도 8-4의 그래프는 측정값에 해당하고, 이 값에 대응되는 대기의 산란 계수는 [수학식 12]와 같다.

[0140] [수학식 12]

[0141] $$(\text{도면}8-4) = I_{pixel}(R)D(R)^2/W(R) = C\alpha(R)e^{-2\int_0^R \alpha(R')dR'}$$

[0142] (I_{pixel}(R): 화소 광원의 세기, D(R): 거리에 따른 광원의 직경, W(R): 단위화소-시각폭, C: 매질의 산란계수를 포함한 상수, α(R): 소산계수, R: 거리)

[0143] [수학식 12]는 1차미분방정식의 모양을 가지고 있으므로 Klett이 해결했던 방법과 같은 방법으로 측정값(도 8-4)로부터 원하는 α(R)을 얻을 수 있다. 즉 기본적으로 기존의 전통적인 라이다 신호의 분석법을 적용하여 거리에 따른 소산계수를 구할 수 있다.

[0144] [수학식 13]

$$F(R) = I_{pixel}(R)D(R)^2 / W(R) = C\alpha(R)e^{-2\int_0^R \alpha(R')dR'} \quad : \text{로그를 취하고 미분}$$

$$\frac{d\log(F)}{dR} = \frac{d\alpha}{dR}\frac{1}{\alpha} - 2\alpha(R) \quad : \text{양변을 } \alpha \text{로 나누면}$$

$$\frac{1}{\alpha}F'(R) = \frac{d\alpha}{dR}\frac{1}{\alpha^2} - 2 \; ; y = \frac{1}{\alpha} \quad : \text{로 치환하면}$$

$$0 = \frac{dy}{dR} + yF'(R) + 2$$

$$0 = y' + q(r)y + p(r)$$

$$p(r) = 2;$$
$$q(r) = F'(R)$$

[0145]

[0146] 지금까지 설명한 방법론을 실현하기 위한 시스템을 구현함에 있어서, 기존의 라이다처럼 광원과 그 산란 신호를 얻을 수 있는 수신부가 필요하다.

[0147] 본 발명에서는 1차원 혹은 2차원 CCD array와 같은 매우 간격이 좁은 각각의 센서(화소)들이 세밀하게 다른 방향을 볼수 있어서 각도 분해능이 뛰어나며, 이로인해 거리 분해능도 향상되어 연속광원 라이다 센서로 매우 유리한 결과는 나타낸다.

[0148] 광원은 점광원을 사용하여 렌즈나 기타의 방법으로 평행광을 만들어 송신하도록 하여야 한다. 그렇지 않을 경우 빛이 너무 많이 퍼지게 되고, 산란시 그 빛의 강도가 줄어들에 되며 다른 배경신호와 구별이 어려워 SNR 값이 줄어 들게 된다. 또한 빛이 공간으로 퍼져 나가 원하는 특정 지역을 정확하게 타겟팅하지 못하게 된다.

[0149] 원하는 파장만을 수신하는 경우 카메라 혹은 기타 imaging 광학계 앞에 협대역 필터를 두도록 설치하여여야 한다. 이 경우 원하는 파장만 센서의 각 화소로 입력이 가능하고, 일반적인 협대역 필터가 각도에 민감하므로 이러한 보정이 필요하다.

[0150] 야간의 경우 인위적으로 조사한 광원이외엔 다른 특별한 광원이 없기 때문에 필터가 필요없다. 다만 넓은 파장범위의 광원을 조사하면서 원하는 각 파장에서의 특성을 파악하고 싶은 경우 필터 설치가 필요하며, 같은 이유로 방향에 대한 보정을 하여 사용한다.

[0151] 또한 본 발명에서 광원과 카메라의 센서위치를 바꾸면 원하는 주요지점의 거리 분해능과 거리 오차를 제어할 수 있으며, 일반적으로 수 킬로미터 이내의 공간에서 사용 가능하다. 또한 카메라와 광원을 하나의 마운트에 고정하여 주사하면(scanning) 원하는 임의의 지역으로 광원을 조사할 수 있어 임의의 방향으로 존재하는 부유물질의 소산계수를 얻을 수 있다.

[0152] 본 발명의 권리는 위에서 설명된 실시예에 한정되지 않고 청구범위에 기재된 바에 의해 정의되며, 본 발명의 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 청구범위에 기재된 권리범위 내에서 다양한 변형과 개작을 할 수 있다는 것은 자명하다.

부호의 설명

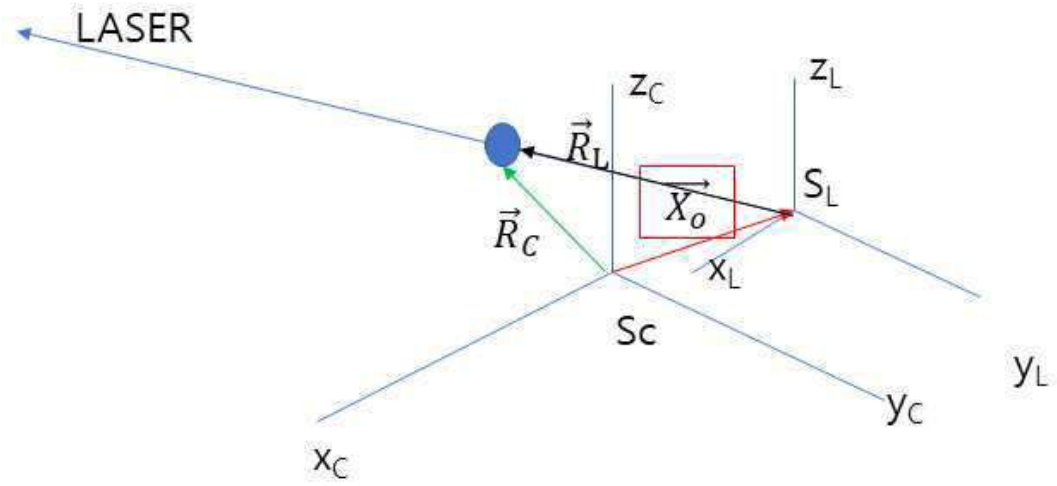
[0153] 110: 광원조사부 120: 카메라

130: 위치산출부 140: 신호획득부

150: 소산계수산출부

도면

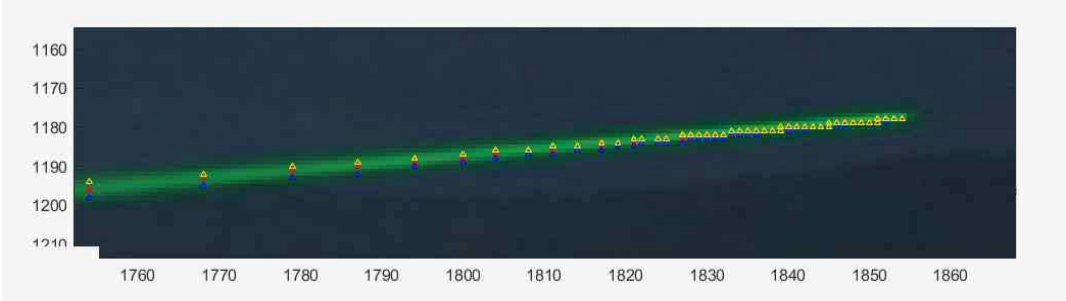
도면1



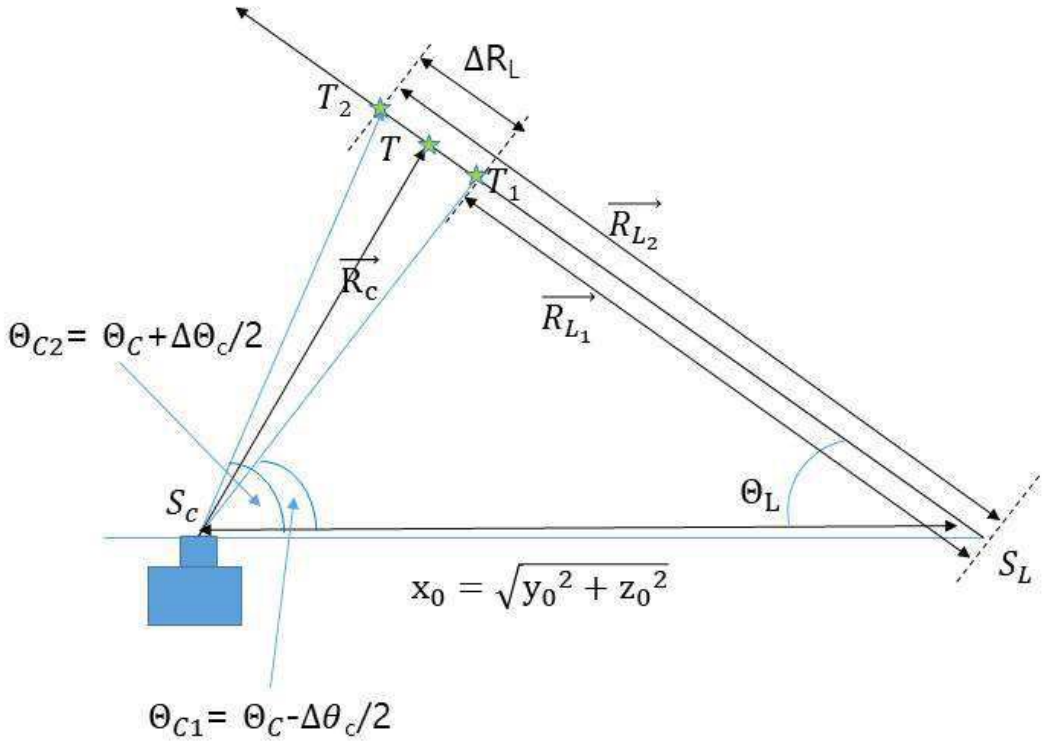
도면2



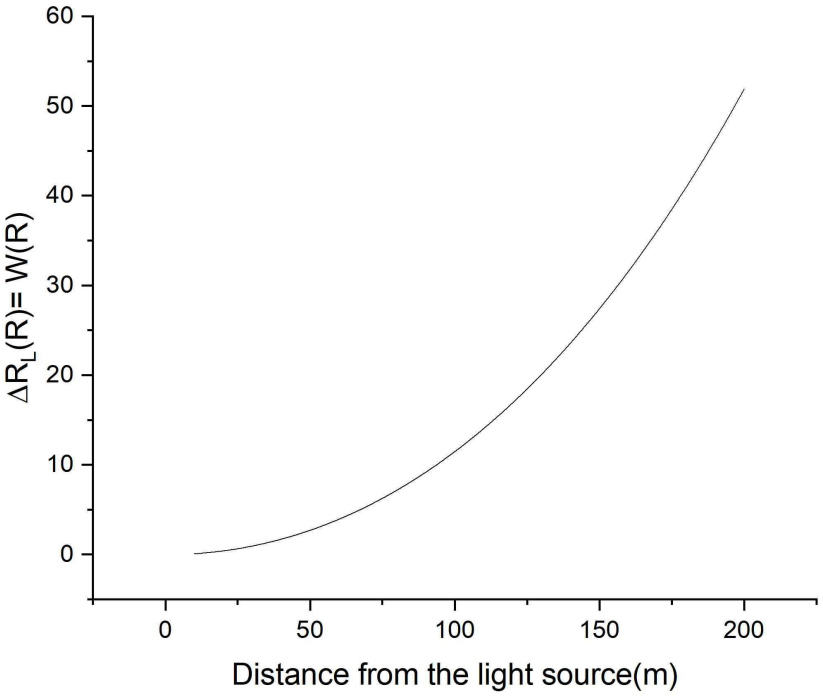
도면3


1160
1170
1180
1190
1200
1760
1770
1780
1790
1800
1810
1820
1830
1840
1850
1860

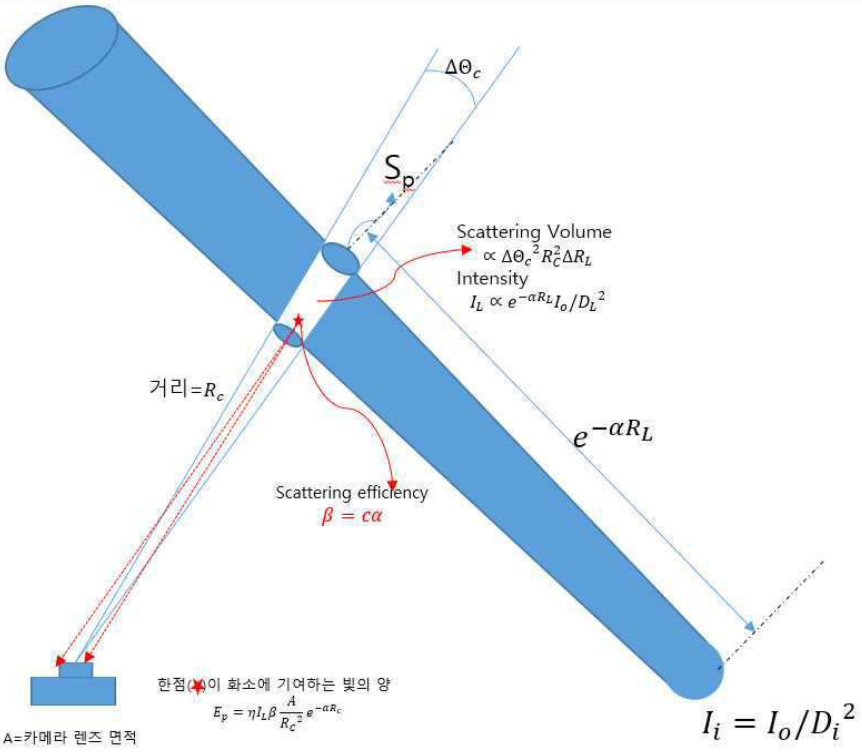
도면4


ΔR_L
T_2
T
T_1
$\overrightarrow{R_{L_2}}$
$\overrightarrow{R_c}$
$\overrightarrow{R_{L_1}}$
$\Theta_{C2} = \Theta_C + \Delta\Theta_c/2$
S_c
Θ_L
S_L
$x_0 = \sqrt{y_0^2 + z_0^2}$
$\Theta_{C1} = \Theta_C - \Delta\theta_c/2$

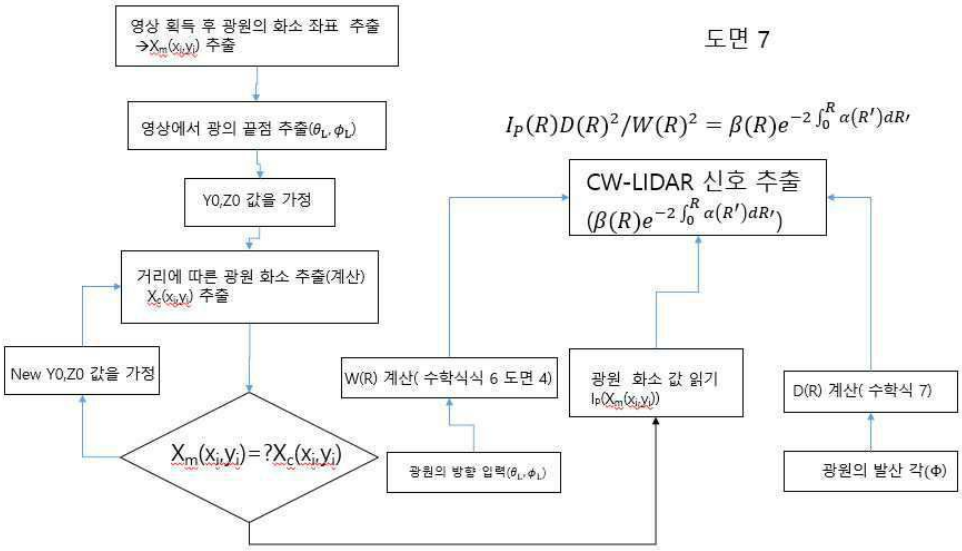
도면5


60
50
40
30
20
10
0
$\Delta R_L(R) = W(R)$
0
50
100
150
200
Distance from the light source(m)

도면6


$\Delta\Theta_c$
S_p
Scattering Volume
$\propto \Delta\Theta_c^2 R_C^2 \Delta R_L$
Intensity
$I_L \propto e^{-\alpha R_L} I_o / D_L^2$
거리=R_c
$e^{-\alpha R_L}$
Scattering efficiency
$\beta = c\alpha$
한점(A)이 화소에 기여하는 빛의 양
$E_p = \eta I_L \beta \frac{A}{R_c^2} e^{-\alpha R_c}$
A=카메라 렌즈 면적
$I_i = I_o / D_i^2$

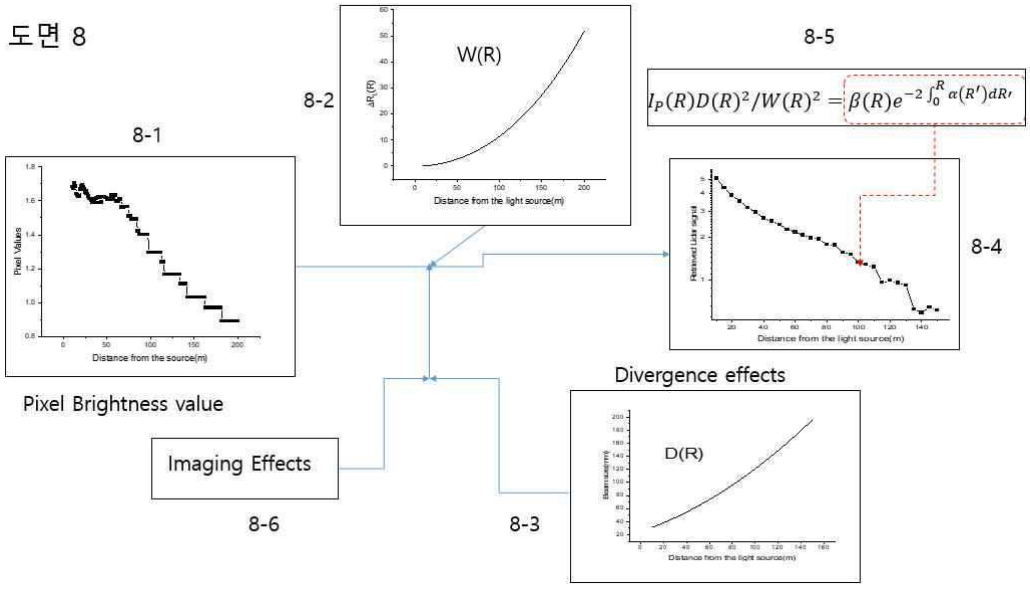
도면7



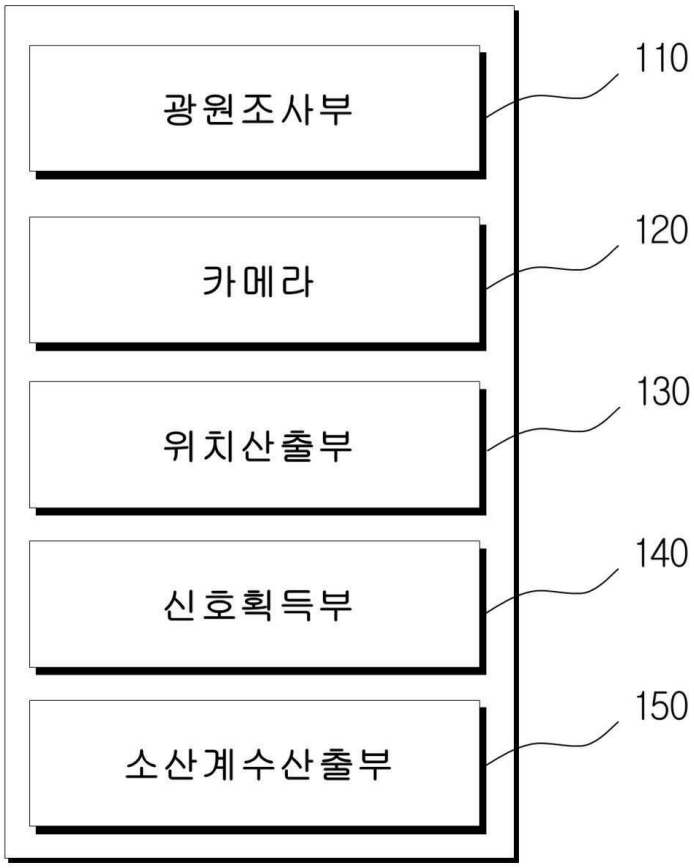
도면 7

$$I_P(R)D(R)^2/W(R)^2 = \beta(R)e^{-2\int_0^R \alpha(R')dR'}$$

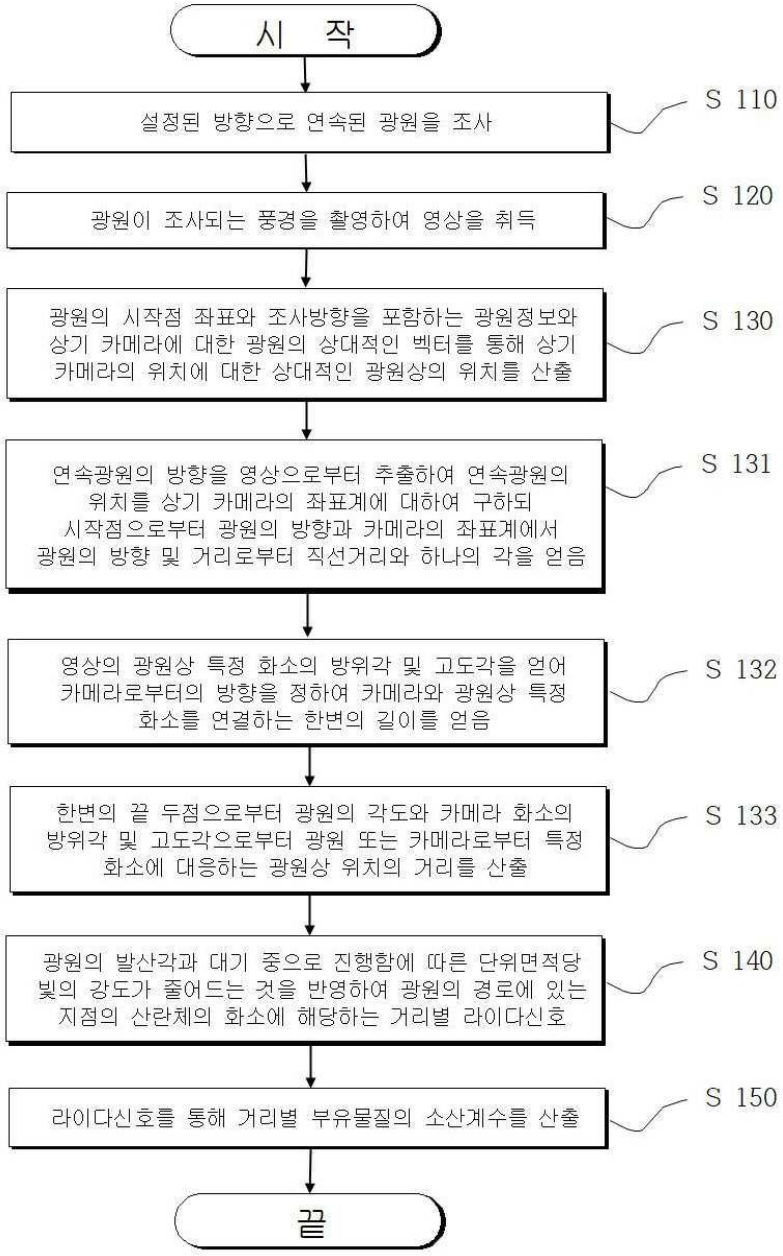
도면8



도면9



도면10


시 작
설정된 방향으로 연속된 광원을 조사
S 110
광원이 조사되는 풍경을 촬영하여 영상을 취득
S 120
광원의 시작점 좌표와 조사방향을 포함하는 광원정보와 상기 카메라에 대한 광원의 상대적인 벡터를 통해 상기 카메라의 위치에 대한 상대적인 광원상의 위치를 산출
S 130
연속광원의 방향을 영상으로부터 추출하여 연속광원의 위치를 상기 카메라의 좌표계에 대하여 구하되 시작점으로부터 광원의 방향과 카메라의 좌표계에서 광원의 방향 및 거리로부터 직선거리와 하나의 각을 얻음
S 131
영상의 광원상 특정 화소의 방위각 및 고도각을 얻어 카메라로부터의 방향을 정하여 카메라와 광원상 특정 화소를 연결하는 한변의 길이를 얻음
S 132
한변의 끝 두점으로부터 광원의 각도와 카메라 화소의 방위각 및 고도각으로부터 광원 또는 카메라로부터 특정 화소에 대응하는 광원상 위치의 거리를 산출
S 133
광원의 발산각과 대기 중으로 진행함에 따른 단위면적당 빛의 강도가 줄어드는 것을 반영하여 광원의 경로에 있는 지점의 산란체의 화소에 해당하는 거리별 라이다신호
S 140
라이다신호를 통해 거리별 부유물질의 소산계수를 산출
S 150
끝