

(11) 공개번호 10-2020-0087010
(43) 공개일자 2020년07월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.) <i>G01N 15/02</i> (2006.01) <i>G06T 7/60</i> (2017.01) <i>G06T 7/90</i> (2017.01) (52) CPC특허분류 <i>G01N 15/0227</i> (2013.01) <i>G01N 15/0211</i> (2013.01) (21) 출원번호 10-2019-0003495 (22) 출원일자 2019년01월10일 심사청구일자 2019년01월10일	(71) 출원인 한밭대학교 산학협력단 대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동) (72) 발명자 김덕현 대전광역시 유성구 배울1로 119 대덕테크노밸리1 2단지아파트 1203동 1201호 (74) 대리인 특허법인도담, 김대영
--	--

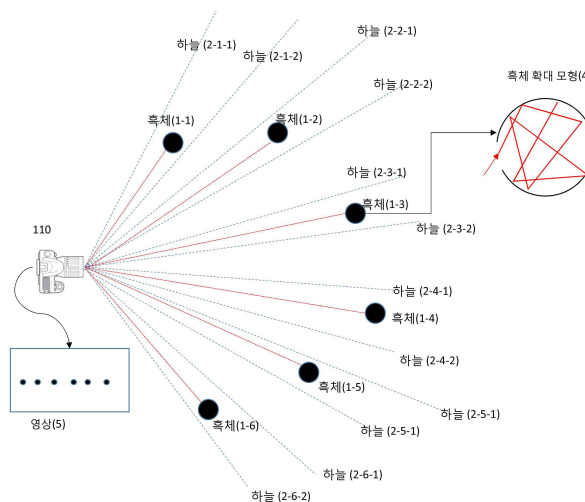
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 임의의 풍경 사진 영상을 이용한 대기 중 미세 먼지의 소산 및 크기 정보 추출 시스템

(57) 요약

본 발명은 대기 중의 미세먼지를 카메라에서 촬영된 영상 분석을 통하여 미세먼지의 소산 계수와 미세먼지의 크기 정보, 그리고 식생이나, 일조량의 변화 등을 측정할 수 있는 임의의 풍경 사진 영상을 이용한 대기 중 미세먼지의 소산 및 크기 정보 추출 시스템에 관한 것이다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G06T 7/11 (2017.01)

G06T 7/60 (2013.01)

G06T 7/90 (2017.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20179900010011001

부처명 기상청

연구관리전문기관 한국기상산업기술원

연구사업명 기상·지진See-At기술개발연구

연구과제명 카메라를 이용한 기상인자 측정 장치 기술개발 기반 연구

기 여 율 1/1

주관기관 한밭대학교 산학협력단

연구기간 2017.07.15 ~ 2018.07.14

명세서

청구범위

청구항 1

4개 이상의 물체를 포함한 풍경을 촬영하되, 각 물체의 RGB 파장을 포함하는 화소정보를 얻는 카메라(110);

상기 카메라와 촬영된 물체 사이의 거리를 산출하는 거리측정부(120);

상기 카메라로부터 얻어진 각 물체의 화소정보를 이용하여 각 파장에서의 소산 계수를 얻은 후, 이론적인 공기 분자의 소산 계수를 제거하여 공기 중 존재하는 미세먼지의 소산 계수를 산출하는 산출부(130); 로 이루어지는 것을 특징으로 하는 임의의 풍경 사진 영상을 이용한 대기 중 미세 먼지의 소산 및 크기 정보 추출 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

빛의 반사가 일어나지 않는 물체로서 상기 카메라를 통한 촬영범위 내에 설치된 인공타깃;

상기 미세먼지의 소산 계수로부터 입자의 크기정보를 추출하는 추출부(140); 를 더 포함하되,

상기 산출부(130)는 상기 인공타깃을 통한 한 지점의 조명 또는 반사도를 0으로 하여 하나의 방향에서 화소 값만 얻고, 설정된 방향의 하늘에서 산란된 정보로서 상기 카메라에 따른 RGB 3개의 유효 파장에서 미세먼지의 소산 계수를 얻도록 구성되는 것을 특징으로 하는 임의의 풍경 사진 영상을 이용한 대기 중 미세 먼지의 소산 및 크기 정보 추출 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 산출부(130)는 상기 카메라의 촬영방향에 대하여 설정된 2방향에서 물체에 의한 산란된 빛과, 하늘 방향에서의 산란된 빛을 이용하여 RGB 3개의 유효 파장에서 미세먼지의 소산 계수를 얻도록 구성되는 것을 특징으로 하는 임의의 풍경 사진 영상을 이용한 대기 중 미세 먼지의 소산 및 크기 정보 추출 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 산출부(130)는 3개 이상의 설정된 방향에서 물체 및 대기 중 공기 및 입자에 의한 산란신호를 얻고 이로부터 RGB 3개의 유효 파장에서 미세먼지의 소산 계수를 얻는 것을 특징으로 하는 임의의 풍경 사진 영상을 이용한 대기 중 미세 먼지의 소산 및 크기 정보 추출 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 거리측정부(120)는 상기 카메라와 물체의 거리를 라이다나 디지털 지도를 통해 산출하는 것을 특징으로 하는 임의의 풍경 사진 영상을 이용한 대기 중 미세 먼지의 소산 및 크기 정보 추출 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 산출부(130)는 물체에 의한 산란 신호의 크기를 카메라를 통해 얻어진 정보와, 산란 물질의 난반사도, 산란 물질에 조명되는 빛의 정보를 하나의 값으로 정하여 표시하는 아래의 [수학식1]과,

대기 중의 부유입자에 의한 산란 양을 이론적으로 추정함에 있어 태양으로부터의 직달광과 산란광을 동시에 고려하되, 이로부터 물체와 카메라에 부유 물질의 산란 세기를 추정하는 아래의 [수학식 2]와,

[수학식 1] 및 [수학식 2]에 따른 효과를 나타내는 [수학식 3]을 이용하는 것을 특징으로 하는 임의의 풍경 사진 영상을 이용한 대기 중 미세 먼지의 소산 및 크기 정보 추출 시스템.

[수학식 1]

$$I_t(d) = C_1 \rho(\Theta) \frac{e^{-\alpha d}}{d^2}$$

(d는 물체에서 카메라까지의 거리, α 는 공기 분자와 미세먼지에 의한 소산 계수이며, C_1 은 태양과 산란된 빛에 의한 조명된 빛의 광량 값, Θ 는 태양광에서 물체에 의하여 산란되는 산란각, $\rho(\Theta)$ 는 물체에서 카메라 방향으로 난반사시키는 물체의 난반사 효율)

[수학식 2]

$$I_s(d) = C_2(\Theta)(1 - e^{-\alpha d})$$

(C_2 는 공기 분자와 미세먼지의 산란위상함수(scattering phase function)의 가중치 합)

[수학식 3]

$$I_t(d) = C_1 \rho(\Theta) \frac{e^{-\alpha d}}{d^2} + C_1(\Theta)(1 - e^{-\alpha d}) = C'_1 \frac{e^{-\alpha d}}{d^2} + C_2(1 - e^{-\alpha d})$$

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 카메라의 RGB 3과장을 정의함에 있어 태양광의 빛의 스펙트럼을 이용하고, 측정된 카메라의 RGB 감도 특성을 이용하여 유효 파장을 정의하는 것을 특징으로 하는 임의의 풍경 사진 영상을 이용한 대기 중 미세 먼지의 소산 및 크기 정보 추출 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 물체는 2차원 공간에서 인위적으로 설치되며 빛의 반사가 없는 흑체로 구성되는 것을 특징으로 하는 임의의 풍경 사진 영상을 이용한 대기 중 미세 먼지의 소산 및 크기 정보 추출 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 미세먼지 측정시스템에 관한 것으로, 자세하게는 대기 중의 미세먼지를 카메라에서 촬영된 영상 분석을 통하여 미세먼지의 소산 계수와 미세먼지의 크기 정보, 그리고 식생이나, 일조량의 변화 등을 측정할 수 있는 임의의 풍경 사진 영상을 이용한 대기 중 미세 먼지의 소산 및 크기 정보 추출 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 시계가 달라지는 여러 이유 중(예를 들어 카메라의 방향, 태양의 방향, 그리고 배경 신호의 크기 등) 미세먼지

에 의한 빛의 산란/소산이 많은 비중을 차지하고 있다. 이에 전통적으로 카메라를 이용하여 정보를 얻는 많은 부류의 연구에서 미세먼지에 의하여 흐릿해진 영상을 복원하는데 많은 노력을 기울이고 있으나, 이로부터 대기에 존재하는 미세먼지의 농도를 추출하는 연구는 미흡한 실정이다.

- [0003] 근래 대기중 미세먼지의 관심이 높아지면서 미세먼지의 측정을 위한 다양한 장비들이 개발 및 활용되고 있다. 그러나 미세먼지는 그 특성상 시간이나 장소에 따라 급변하는 특성이 있어서 포인트 측정만으로 그 지역이나 동네의 미세먼지 정보를 결정하는 것은 매우 비과학적이다.
- [0004] 2018년 한국대기환경학회에서 발표된 논문에서 보면 현재 중국 베이징의 미세먼지 농도는 1990년대의 한국의 미세먼지 농도와 비슷하다는 보고가 있는데 과학적으로는 틀리지 않으나 국민 정서상 받아들이기 어려운 결과로, 이는 미세먼지의 단위부피당 질량($\mu\text{g m}^{-3}$)을 측정의 표준으로 삼고 있어 이를 직접 비교하는 오류에서 일어난 일이다.
- [0005] 일반인들이 관심을 두는 체감 미세먼지는 가시거리를 통한 것으로 이러한 물리량은 소산 계수(cm^2m^{-3})에 기반을 두는 물리량이며 이 값은 일반인들이 느끼는 미세먼지에 대한 정서와 부합한다. 또한, 실제 미세먼지에 묻어 있는 오염원의 화학적 물리적 활성화는 그 면적에 비례기 때문에 환경/보건학 적으로도 단위 부피에 존재하는 미세먼지의 질량보다는 단위 부피에 존재하는 미세먼지의 총 면적이(cm^2m^{-3}) 더 중요한 물리량이다.
- [0006] 이러한 비 합리적인 계측은 기존의 미세먼지 총량 측정 장비의 값(TSP)을 그대로 사용하는 관행 때문이기도 하다. 그리고 몇 년 전부터 초미세먼지에 해당하는 PM2.5와 PM10을 동시에 측정하여서 초미세먼지의 중요성을 부각하고 있으나, 아직 미세먼지의 크기 분포와 같은 물리량을 알리는 노력이 진행 중에 있다.
- [0007] 광학적인 방법은 질량을 측정하는 기존의 방법에 대하여 직접 $\text{cm}^2(\text{mm})^{-3}$ 단위의 물리량을 측정하기 때문에 일반인이 느끼는 정서에 맞는 그리고 실제 보건 환경학적으로 중요한 물리량을 측정한다고 할 수 있다.
- [0008] 그러나 초미세먼지의 측정 PM2.5와 PM10 등으로 이분화된 정도에 그칠 뿐만 아니라 역시 국소적인 지역에서의 측정하기 때문에 동네나 넓은 지역을 대표하기엔 여전히 부족함이 있다. 이러한 측면에서 비교적 넓은 지역으로 측정 범위를 다양화할 수 있고, 또 쉽게 얻을 수 있는 장치가 요구되고 있다.
- [0009] 현재 국내에는 여러 가지(방법, 시계 측정, 교통상황 모니터링, 구름 분포 측정) 목적으로 카메라가 곳곳에 설치되어 있어, H/W 적인 장치 구축은 이미 존재한다고 할 수 있다. 그러므로 이를 활용할 수 있는 알고리즘이나 방법을 개발하는 것은 매우 중요하고 그 가치를 배가 할 수 있다.
- [0010] 광학적 미세먼지 측정법은 포집을 하는 방법에 비하여 실시간으로 데이터를 얻을 수 있기 때문에 다른 비접촉방법에 대하여 선호하는 기술 중의 하나이나, 그 중에서 OPC(Optical Particle Counter)는 입자의 크기를 하나하나 측정한다는 측면에서 매우 장점이 있는 장치이나, $0.2\mu\text{m}$ 이하의 입자 크기는 측정이 곤란하고, 정량화에 어려움이 있으며, 무엇보다도 한 지점(point) 측정만 가능하다.
- [0011] 또한, 광학적 방법 중 라이다를 이용하는 방법은 고도별로 미세먼지의 정보를 얻을 수 있으나, 고가여서 넓은 지역을 동시에 모니터링 할 수 없으며 상대적으로 매우 고가이다. 또한 CPC(condensed particle counter)의 경우는 나노 크기의 입자를 측정할 수 있으나, 매우 고가여서 네트워크를 통한 측정이 불가능하다.
- [0012] 이러한 점에서 카메라는 쉽게 설치 가능하여 임의의 지역에서 촬영 가능하고 실시간으로 필요한 미세먼지 정보를 얻을 수 있어 매우 유용한 측정도구가 될 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0013] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1873924호 (2018.06.27)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0014] 본 발명은 상기와 같은 요구에 따라 창출된 것으로, 본 발명의 목적은 임의의 풍경에서 카메라로 얻은 각 화소

의 밝기와 그 화소에 대응하는 풍경의 거리(d)를 아는 조건에서 각 파장(RGB)에서 얻은 특정 물체에 해당하는 픽셀의 빛의 세기 분포와 카메라와 풍경까지 거리 정보로부터 풍경과 카메라 사이의 미세먼지의 소산 계수 정보를 얻고 이로부터 입자의 크기의 산출이 이루어지도록 하는 임의의 풍경 사진 영상을 이용한 대기 중 미세 먼지의 소산 및 크기 정보 추출 시스템을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0015] 상기와 같은 목적을 위해 본 발명은 4개 이상의 물체를 포함한 풍경을 촬영하되, 각 물체의 RGB 파장을 포함하는 화소정보를 얻는 카메라; 상기 카메라와 촬영된 물체 사이의 거리를 산출하는 거리측정부; 상기 카메라로부터 얻어진 각 물체의 화소정보를 이용하여 각 파장에서의 소산 계수를 얻은 후, 이론적인 공기 분자의 소산 계수를 제거하여 공기 중 존재하는 미세먼지의 소산 계수를 산출하는 산출부; 로 이루어지는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 이때, 빛의 반사가 일어나지 않는 물체로서 상기 카메라를 통한 촬영범위 내에 설치된 인공타깃; 상기 미세먼지의 소산 계수로부터 입자의 크기정보를 추출하는 추출부; 를 더 포함하되, 상기 산출부는 상기 인공타깃을 통한 지점의 조명 또는 반사도를 0으로 하여 하나의 방향에서 화소 값만 얻고, 설정된 방향의 하늘에서 산란된 정보로서 상기 카메라에 따른 RGB 3개의 유효 파장에서 미세먼지의 소산 계수를 얻도록 구성되는 것이 바람직하다.
- [0017] 또한, 상기 산출부는 상기 카메라의 촬영방향에 대하여 설정된 2방향에서 물체에 의한 산란된 빛과, 하늘 방향에서의 산란된 빛을 이용하여 RGB 3개의 유효 파장에서 미세먼지의 소산 계수를 얻도록 구성될 수 있다.
- [0018] 또한, 상기 산출부는 3개 이상의 설정된 방향에서 물체 및 대기 중 공기 및 입자에 의한 산란신호를 얻고 이로부터 RGB 3개의 유효 파장에서 미세먼지의 소산 계수를 얻도록 구성될 수 있다.
- [0019] 또한, 상기 거리측정부는 상기 카메라와 물체의 거리를 라이다나 디지털 지도를 통해 산출하는 것이 바람직하다.
- [0020] 또한, 상기 산출부는 물체에 의한 산란 신호의 크기를 카메라를 통해 얻어진 정보와, 산란 물질의 난반사도, 산란 물질에 조명되는 빛의 정보를 하나의 값으로 정하여 표시하는 아래의 [수학식1]과, 대기 중의 부유입자에 의한 산란 양을 이론적으로 추정함에 있어 태양으로부터의 직달광과 산란광을 동시에 고려하되, 이로부터 물체와 카메라에 부유 물질의 산란 세기를 추정하는 아래의 [수학식 2]와, [수학식 1] 및 [수학식 2]에 따른 효과를 나타내는 [수학식 3]을 이용하는 것을 특징으로 하는 임의의 풍경 사진 영상을 이용한 대기 중 미세 먼지의 소산 및 크기 정보 추출 시스템.
- [0021] [수학식 1]
- [0022]
$$I_t(d) = C_1 \rho(\theta) \frac{e^{-\alpha d}}{d^2}$$
- [0023] (d는 물체에서 카메라까지의 거리, α 는 공기 분자와 미세먼지에 의한 소산 계수이며, C_1 은 태양과 산란된 빛에 의한 조명된 빛의 광량 값, θ 는 태양광에서 물체에 의하여 산란되는 산란각, $\rho(\theta)$ 는 물체에서 카메라 방향으로 난반사시키는 물체의 난반사 효율)
- [0024] [수학식 2]
- [0025]
$$I_s(d) = C_2(\theta)(1 - e^{-\alpha d})$$
- [0026] (C_2 는 공기 분자와 미세먼지의 산란위상함수(scattering phase function)의 가중치 합)
- [0027] [수학식 3]
- [0028]
$$I_t(d) = C_1 \rho(\theta) \frac{e^{-\alpha d}}{d^2} + C_1(\theta)(1 - e^{-\alpha d}) = C'_1 \frac{e^{-\alpha d}}{d^2} + C_2(1 - e^{-\alpha d})$$
- [0029] 또한, 상기 카메라의 RGB 3파장을 정의함에 있어 태양광의 빛의 스펙트럼을 이용하고, 측정된 카메라의 RGB 감도 특성을 이용하여 유효 파장을 정의하는 것이 바람직하다.
- [0030] 또한, 상기 물체는 2차원 공간에서 인위적으로 설치되며 빛의 반사가 없는 흑체로 구성될 수 있다.

발명의 효과

- [0031] 본 발명을 통해 태양이나 기타 구름 등에 의한 산란에 의한 조명과 관계없이 어느 위치에서라도 태양이나 구름의 존재에 관계없이 대기 중에 존재하는 미세먼지의 소산 계수를 3개의 유효파장에서 얻을 수 있고, 이를 통하여 각 입자의 크기 분포와 밀접한 관계를 이루고 있는 옴스트롬 지수(Angstrom Exponent)를 얻을 수 있다.
- [0032] 이러한 소산 계수 정보는 일반인이 느끼는 미세먼지의 양과 밀접한 관계가 있으므로 다른 물리량으로 시계, 그리고 물리화학적인 미세먼지의 영향을 알 수 있으며, 이는 기존의 단위 부피당 존재하는 미세먼지의 질량으로는 알 수 없는 정보를 제공하여, 소산 계수나 크기 정보가 앞으로 기상, 기후, 환경 등에서 중요한 지수로 활용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0033] 도 1은 두 개 이상의 풍경 화소 값과 하늘 값을 이용한 미세먼지 소산계수 추출 방법을 나타낸 설명도,
 도 2는 1개 이상의 흑체에 의한 풍경 화소 값 그에 대응하는 하나 이상의 하늘 값을 이용한 미세먼지 소산 계수 추출 방법을 나타낸 설명도,
 도 3은 카메라 RGB 센서의 유효 파장을 구하기 위한 태양광의 스펙트럼, 대기 투과 특성, 그리고 RGB센서의 감도를 나타내 그래프,
 도 4는 본 발명의 방법 중 하나로 구한 대기 중의 세 유효 파장에서의 소산 계수 및 AE를 구한 실례를 나타낸 화면,
 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 구성 및 연결관계를 나타낸 블록도 이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0034] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명 임의의 풍경 사진 영상을 이용한 대기 중 미세 먼지의 소산 및 크기 정보 추출 시스템의 구성을 구체적으로 설명한다.
- [0035] 본 발명은 기존의 카메라를 이용한 각종 장비에 활용할 수 있으며 기존의 카메라를 이용하는 장비가 태양의 위치와 구름의 존재 여부 등에 대하여 민감함을 극복하는 택하고 있다.
- [0036] 즉 기존의 영상을 이용한 여러 가지 측정법(시계(visibility))은 태양의 고도/방위각과 주위 구름의 유무 정도에 따라 영상의 화소 값을 변형하거나 수정하여 정보를 활용하는 방법을 택하거나 아예 그런 기능이 없는 것들이 대부분이다.
- [0037] 그러나 사진 영상의 특징은 일반인이 알 수 있듯이 역광으로 촬영하거나 구름이나 기타 반사된 광이 카메라로 입사되는 경우 그 빛의 세기에 따라서 조리개의 개폐 시간과 CCD의 이득(감도)변화, 그리고 셔터의 속도 등이 변하기 때문에 촬영된 영상에 있는 화소의 절대값을 그대로 사용하는데 제한이 있다.
- [0038] 그러므로 카메라가 감도를 지니는 모든 파장에서 각 파장이 측정된 풍경의 각 물체에 얼마나, 어느 각도로 조명되는지를 알아야 그 물체에서 산란된 빛의 양이 순차적으로 정해질 수 있다. 이에 각 시간에 영상에 있는 원하는 지점에 조명되는 태양의 직달광과 다중 산란에 의하여 조명되는 빛의 모든 광을 모든 각도 및 파장에서 알고 있어야 그 물체에서 난반사 되어 카메라로 입사되는 빛의 양을 정량적으로 이용할 수 있다.
- [0039] 마찬가지로 미세먼지의 정보를 카메라의 화소 밝기 정보로부터 역으로 추출하기 위해 또 다른 물리량이 존재하는데, 물체에 입사된 빛이 카메라로 입사되는 광량은 입사된 빛의 방향과 물체의 방향과 카메라의 방향 등에 의하여 결정된다는 것이다.
- [0040] 그러므로 물체에 빛이 입사되는 방향과 물체에서 카메라로 향하는 방향에 의하여 결정되는 면에서의(실제로 이러한 면은 무한대로 많이 존재함) 산란 빛의 강도를 알기 위하여 선택된 화소에 해당하는 물체의 난반사도 정보를 알고 있어야 한다. 일정 각도로 입사되는 파장에서 카메라 방향으로 산란되는 정도는 파장 및 식-생물에 따라 다르기 때문에 모든 파장에서 모든 각도로 난반사 되는 빛의 세기를 구하는 것은 매우 중요한일이다.
- [0041] 본 발명에서 태양의 위치와 촬영 카메라의 방향에 따라 시시각각 변하는 카메라의 CCD 이득 그리고 셔터 속도, 조리개 등이 영상을 결정하는데 필요한 값이기 때문에 이를 각 파장에서 구해야 하고, 이를 토대로 화소 값의 변화가 미세먼지의 양에 어떻게 기여하는지를 알 수 있도록 설계하게 된다. 즉 하나의 변수로 통합하고, 이를

추출하는 방법으로 실제 이러한 카메라의 변수(셔터속도, 조리개, 그리고 감도)는 각 RGB 센서에서 독립적으로 동작하는 카메라도 있으므로 이를 각 파장에서(RGB)에서 구할 수 있도록 구성하여야 한다.

- [0042] 또한, 영상의 화소의 밝기를 결정하는 또 다른 요소인 공기나 미세먼지의 산란 광의 기여도를 구해야 한다. 이 양은 미세먼지의 종류와 크기에 의존하며, 본 발명에서는 미세먼지에 의한 소산을 구하고 공기에 의한 소산은 이론적으로 구하도록 한다. 이를 위하여 Rayleigh 산란에 의한 소산을 이론적으로 계산할 수 있고, 이를 이용하여 미세먼지 만의 소산을 추출할 수 있어야 한다.
- [0043] 본 발명의 목적 즉 원하는 곳에서 카메라가 있는 지점에 걸쳐 존재하는 대기중에 존재하는 모든 미세먼지의 광학적 소산 계수를 RGB 3 개의 파장에서 얻기 위하여 해결해야 하는 과제는 크게 다음과 같다.
- [0044] 1. 태양에 의하여 직달 되거나, 다중 산란에 의하여 풍경에 조명되는 빛의 세기 총량이 시시각각 변하기 때문에 영상 화소 값의 크기가 변한다.
- [0045] 2. 영상의 특정 물체에서 산란되는 빛의 카메라 각도 방향으로의 빛의 세기 정보가 변한다.
- [0046] 3. 영상의 특정 물체에서 카메라로 입사되는 빛이 카메라에 도달하기까지의 빛의 경로 길이(거리)를 알아야 한다.
- [0047] 4. 3에서 제시한 경로 길이에 해당하는 과정에서 물체에서 카메라 사이에 존재하는 공기 분자의 총 소산의 정도를 전체 소산계수에 제거하여야 한다.
- [0048] 5. 카메라의 방향에 따라 시시각각 변하는 카메라의 CCD 이득 그리고 셔터의 속도, 조리개 등을 고려하여 영상 정보를 분석에 고려해야 한다.
- [0049] 첫번째 과제를 해결하기 위하여,
- [0050] 직달 되거나, 산란되어 입사되는 빛의 세기는 오직 파장에만 의존하고, 물체의 위치에는 무관하다는 가정을 한다. 이러한 가정은 마치 사막이나, 같은 방향으로 늘어선 건물이나, 같은 방향으로 뻗은 물체에 조명되는 태양의 조명과 산란광이 조명이 같다는 가정과 같다.
- [0051] 다만, 특정 위치들은 태양에 대하여 같은 방향으로 그 면이 향하고 있다는 가정이면 충분히 근사적으로 같다고 할 수 있다. 또한, 영상의 특정 물체에 구름에 의한 그림자가 있거나, 그 난반사 산란 면이 다른 방향으로 존재하게 되면 위의 가정에 오차를 포함하게 된다.
- [0052] 그러므로 풍경의 사진에서 같은 방향으로 배열된 물체를 선택하면 태양이나 산란에 의한 조명이 같은 양을 지니게 된다.
- [0053] 두번째 과제를 해결하기 위하여,
- [0054] 산란 물질을 동일한 물질로 한다. 예를 들어 풍경사진에서 푸른색의 나무가 있거나, 그리고 그 푸른색 나무가 같은 방향으로 성장하고 있는 경우, 평균적으로 그 물체에서 난반사되는 빛의 양은 그 물체가 화면의 어디에 존재하든 같은 값이라 가정을 할 수 있다. 이를 위하여 일반 국내 환경에서 흔하게 접할 수 있는 산을 대상으로 산을 구성하는 식-생물을 정하고, 그 식생물이 같은 종류의 것을 임의로 선택하여 물체의 난반사도가 같은 화소를 택할 수 있도록 하였다.
- [0055] 즉 RGB 각 파장에서는 다른 난반사도를 지닐 수 있으나 같은 파장영역에서는 같은 난반사도를 만드는 물체를 택하여 미지수의 범위를 하나로 고정할 수 있도록 하였다. 예를 들어 풍경의 사진에서 푸른 색을 지닌 나무를 택하고 그 물체(나무)가 위치한 면이 태양광의 조사 방향에 대하여 같은 방향을 지닌 것을 택함으로써 물체의 난반사도가 같다는 가정에 오차가 발생하지 않도록 하였으며, 또한 이 값을 매 영상에서 구함으로써 각 난반사체(예를 들어 나무)의 계절적 변화를 알 수 있도록 하였으며, 시간적 변화를 구함으로써 태양광의 입사에 따른 난반사 물질의 산란위상함수를 구할 수 있도록 하였다.
- [0056] 세번째 과제를 해결하기 위하여,
- [0057] 카메라에서 특정 물체까지의 거리는 고정된 카메라에서는 라이다 혹은 기타 측정 법으로 그 거리를 구할 수 있다. 그러나 라이다 혹은 기타의 측정 장비가 없는 경우에는 다른 방법으로 그 거리를 근사적으로 측정할 수 있다.
- [0058] 일반적인 방법으로는 디지털 지도를 이용하여 거리를 환산할 수 있다. 일반적으로 거리 정보는 카메라를 이용하

는 것보다. 다른 방법을 통하여 얻을 수 있도록 하여야 한다.

[0059] 네번째 과제를 해결하기 위하여,

[0060] 화면의 영상에서 카메라에서 원하는 영상에 있는 물체까지의 거리에는 같은 종류의 미세면지가 존재하고, 또 같은 양만큼 있다고 가정하였다. 같은 양이 있다는 가정은 카메라에서 물체까지 사이에 존재하는 미세면지의 평균 값을 구한다는 의미이다. 실제로 본 발명은 특정 지역(point) 보다는 전체 지역의 평균 값을 구하는 것을 목표로 하고 있다.

[0061] 다만, 카메라의 RGB 파장에서 다른 소산 값을 가지는 것으로 하며, 각 RGB 파장에서 평균 소산계수를 구할 수 있도록 하였다. 각 RGB 파장에서 평균 소산계수에서 미세면지에 해당하는 소산계수를 얻기 위하여 공기분자의 소산계수는 Rayleigh 산란 이론과 각 센서(RGB)의 유효 파장을 이용하여 이론적으로 계산하고 이 값을 추출한 총-평균 소산계수에서 빼도록 하였다.

[0062] 다섯번째 과제를 해결하기 위하여,

[0063] 카메라의 방향에 따라 시시각각 변하는 카메라의 CCD 이득 그리고 셔터의 속도, 조리개 등은 실제로 하나의 변수처럼 묶여 동작한다. 그리고 카메라의 화소 정보를 결정하는 셔터속도(T), 조리개(A), 그리고 감도(ISO)는 각 RGB 센서에서 독립적으로 다른 값을 지니므로, 본 발명은 이러한 총 기여도를 각각 고려하여 하나의 이득(셔터 속도, 조리개, 감도)을 3개의 유효 파장에서 구할 수 있도록 하였다.

[0064] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 구성 및 연결관계를 나타낸 블록도로서, 본 발명에 따른 임의의 풍경 사진 영상을 이용한 대기 중 미세 먼지의 소산 및 크기 정보 추출 시스템은, 기본적으로 RGB 컬러 영상을 획득하는 카메라(110)와, 풍경의 특정 지점의 화소 값(pixel value)과, 그 풍경의 위치 정보를 통한 카메라와의 거리 정보로부터 카메라와 풍경의 주어진 영상이 제공하는 지점 사이에 있는 미세면지의 총 소산 계수(extinction coefficient)와 미세면지의 크기 정보를 산출하는 알고리즘으로 구성되며, 각 기능에 거리측정부(120)와 산출부(130) 및 추출부(140)로 구성된다.

[0065] 실질적으로 풍경촬영에서 얻어지는 화소의 밝기는 다양한 대기상태(구름, 미세면지) 및 태양의 조건(태양의 고도/방위각)에 따라 달라지는 매우 복잡한 값으로 촬영 위치, 방향 등에 관련되며 촬영 거리 등에 따라 변하기 때문에 미세면지만의 효과를 추출하기가 쉽지 않다고 할 수 있으나, 본 발명은 이러한 난제를 최대한 극복하고 있다.

[0066] 임의의 순간에 같은 방향으로 놓인 풍경 지점들을 비추는 조명은 적절히 결정되어 주어진 상태에서, 조명과 더불어 선택된 풍경의 각 지점이 같은 생물학적(산과 들과 같은 풍경)특징을 지니거나, 임의로 풍경을 만들어 촬영을 하는 경우 같은 난반사(산란)도를 갖게 되며, 특히 같은 방향으로 배열된 풍경이라면 태양에서 카메라 방향으로 같은 난반사도를 나타내게 된다.

[0067] 그러므로 같은 카메라로 얻은 풍경의 각 화소 밝기는 특별한 조건에서 같은 조명이라고 가정해도 무방하며, 경우 같은 식생분포에서 평균 난반사도는 같은 값을 나타내므로, 카메라로 입사되는 빛의 밝기는 물체와 카메라의 거리 및 대기를 구성하는 미세면지(공기 분자나 특정 가스 포함)의 양에 의하여 결정된다.

[0068] 여기서 물체에서 카메라까지의 거리정보가 주어진다면, 밝기 정보는 조명에 의한 것(C_0), 물체의 난반사도에 의

$$q(\theta)$$

한 것(θ), 대기 물질의 평균 산란계수와 조명의 정도(C_1'), 그리고 대기의 소산 계수(α)와 거리(d), 카메라의 특성(C_2') 등 다양한 변수들이 복잡하게 얽여 결정된다.

[0069] 이에 본 발명은 카메라로 얻은 각 화소의 밝기와 그 화소에 대응하는 풍경의 거리(d)를 아는 조건에서 조명 상수와 난반사 상수, 카메라 상수 등 복잡하게 얽혀 있는 정보로부터도 미세면지 소산 계수 정보를 얻을 수 있는 시스템을 제시한다.

[0070] 즉 특수한 접근법으로 임의의 풍경에서 특별한 화소점을 찾아서 카메라와 풍경을 구성하는 그 공간에 있는 미세면지의 소산계수를 각 파장에서 얻는 방법으로, 이렇게 얻은 각 파장(RGB)에서의 소산 정보로부터 미세면지의 크기 정보를 얻되, 카메라의 RGB 3가지 파장에서 얻은 특정 물체에 해당하는 픽셀의 빛의 세기 분포와 카메라와 풍경까지 거리 정보로부터 풍경과 카메라 사이의 미세면지의 소산 계수 정보를 얻고 이로부터 입자의 크기의 산출이 이루어지게 된다.

[0071] 즉 상기 거리측정부(120)를 통해 카메라(110)와 촬영된 물체 사이의 거리를 산출하게 되며, 상기 산출부(130)는

상기 카메라(110)로부터 얻어진 각 물체의 화소정보를 이용하여 각 파장에서의 소산 계수를 얻은 후, 이론적인 공기 분자의 소산 계수를 제거하여 공기 중 존재하는 미세먼지의 소산 계수를 산출하게 된다.

- [0072] 이후 추출부(140)를 통해 상기 미세먼지의 소산 계수로부터 입자의 크기정보를 추출하게 되며, 이를 위해 미리 소산 계수대비 입자의 크기를 실험 내지는 계산을 통해 정리해 놓은 DB를 이용할 수 있다.
- [0073] 도 1 은 두 개 이상의 풍경 화소 값과 하늘 값을 이용한 미세먼지 소산계수 추출 방법을 나타낸 설명도로서, 본 발명의 이론적 배경이 되는 풍경 사진의 실례를 통해 어떻게 사진기의 CCD에 광이 도달하는가를 보여준다. 도 1 에서 한국의 풍경을 촬영하면 나타나는 대표적인 풍경으로 그 예로 3개의 산(2-1, 2-2, 2-3)과 하늘(2-4)로 구성된 사진을 나타내었다.
- [0074] 도 1 에서 풍경의 조명으로는 태양 직달광(3-1, 3-2, 3-3, 3-4)과 구름과 지표면에서 산란되어 다시 물체로 조명되거나, 공기나 미세먼지에 의하여 산란되어 다시 입사되는 각종 산란 빔을 합한 것(4-1, 4-2, 4-3, 4-4)를 그림으로 나타내고 있다.
- [0075] 그리고 카메라(110)를 통하여 촬영되는 영상(11)에서 미세먼지의 정보를 추출하기 위하여 사용되는 물체를 각각 (7, 8, 9, 10)으로 나타내었다. 물체(7, 8, 9)은 태양광에 대하여 유사한 각도로 배치되어야 하며, 물체가 없는 하늘(10)은 가능한 물체(7, 8, 9)와 유사한 방향에 있는 하늘을 택하여 선택한다.
- [0076] 또한, 카메라와 각각의 물체 7, 8, 9, 10 은 유사한 각도로 카메라에 입사 되도록 구성된다. 지구의 크기와 태양의 거리를 고려한다면, 물체 7, 8, 9, 10에 직접 도달하는 태양광의 세기는 물체에 관계없이 방향과 크기가 같으며, 산란 광(4-1, 4-2, 4-3, 4-4)의 세기는 주위의 물체에 의존하고 있으나, 물체에 조명되는 광의 대부분은 직달광(3-1, 3-2, 3-3, 3-4)이 차지하는 광량이 대부분이기 때문에 전체 조명 값은 거의 같다고 할 수 있다.
- [0077] 즉 물체 7, 8, 9, 10 에 입사되는 빛은 직달광(3-1, 3-2, 3-3, 3-4)과 산란광(4-1, 4-2, 4-3, 4-4)이 있으나 3 가지 물체 7, 8, 9에 같은 광량이 도달한다고 할 수 있다.
- [0078] 물체에 조명된 빛이 카메라로 입사되기 위해선 각 물체에서 난반사가 일어나야 하며, 특히 난반사가 일어난 빛 중에서 카메라로 향하는 빛(5-1, 5-2, 5-3, 5-4)은 물체의 특성에 따라 다르기 때문에 물체 7, 8, 9는 같은 성질의 풍경이 되도록 선택되어야 한다.
- [0079] 같은 종류의 물체는 국내의 생태환경을 고려한다면 주요 물체는 나무가 될 것이며, 도시에서는 건물이나 기타 인공물이 될 것이다. 가능한 같은 종류의 나무나 건물을 택해야 산란 특성이 같아진다.
- [0080] 인위적으로 물체를 설치하는 경우엔 가능한 산란이 없거나 조명이 불가능하도록 물체를 설치하면 미세먼지의 소산계수 계산이 용이하다. (이론적인 계산과정은 뒷부분에서 기술한다).
- [0081] 또한 카메라(110)와 물체 7, 8, 9와의 거리가 멀어 한 화소 근처엔 여러 다양한 식생이 자동적으로 선택되기 때문에 임의의 특정 물체를 선택하더라도 실제로는 평균 식생 특징에 의한 물체가 결정되고 화소값도 얻어진다.
- [0082] 그러므로 평균값을 취하면 그만큼 같은 물체 군에 가깝기 때문에 근거리의 경우에도 물체의 범위를 넓혀 화소 밝기의 평균을 취하는 것이 좋다. 예를 들어 산을 배경으로 촬영한 풍경의 경우 넓은 지역의 화소 값을 평균하게 되면 식생의 평균값을 사용하는 꼴이 되어 같은 식생이라고 가정하더라도 큰 오차는 발생하지 않는다. 이렇게 물체의 선택 범위를 넓히거나 평균을 취하면 물체에서 산란된 빛의 세기는 모두 같다고 가정을 할 수 있다.
- [0083] 동일한 물체에서 산란이 생겨도 산란된 빛의 세기는 각도에 따라 다르다. 그러므로 산란된 빛(4-1, 4-2, 4-3)이 같도록 하기 위해선 태양, 물체, 그리고 카메라가 만드는 직선 두 개로 이루어진 평면에서 태양빛(3)과 카메라로 입사되는 빛이 만드는 각도는 가능하면 같도록 구성하여야 한다.
- [0084] 만약에 선택된 물체가 검은색이거나, 흑체와 같이 반사가 일어나지 않도록 물체를 구성한다면, 조명된 빛이 산란되지 않기 때문에 상관이 없다.
- [0085] 주어진 파장에서 물체에서 산란된 빛이 카메라로 입사되는 빛의 세기(I_t)는 [수학식 1]과 같이 표현된다.

수학식 1

[0086]
$$I_t(d) = C_1 \rho(\Theta) \frac{e^{-\alpha d}}{d^2}$$

[0087] 식에서 d 는 물체에서 카메라까지의 거리이고, α 는 공기 분자와 미세먼지에 의한 소산 계수이며, C_1 은 태양과 산란된 빛에 의한 조명된 빛의 광량 값, Θ 는 태양광에서 물체에 의하여 산란되는 산란각을 나타낸다.

[0088] 그리고 $\rho(\Theta)$ 는 물체에서 카메라 방향으로 난반사시키는 물체의 난반사 효율을 나타낸다. 일반적으로 $\rho(\Theta)$ 는 각도에 의존하나, 영상에서 물체를 선택하는 과정에서 유사한 각이 되도록 물체 7, 8, 9를 선택하면 이 값은 물체에 상관없이 상수라 할 수 있다.

[0089] 도 1의 7, 8, 9와 같이 물체를 선택하는 문제에 있어 또 다른 방법은 그늘진 곳에 해당하거나 흑체와 같이 반사가 일어나지 않는 곳, 검은색으로 칠한 부분 등이 있는데, 특히 검은색은 반사도에 영향을 주지 않기 때문에 이 항은 무시되거나 카메라의 화소 값 정보에 기여를 거의 못하게 된다.

[0090] 이러한 점들을 택하는 것은 실제 소산 계수 계산에 매우 유리한 경우에 해당하며, 이러한 내용은 뒷부분에서 다시 다룬다.

[0092] 또한, 물체에서 산란되어 카메라로 입사되는 빛과 함께 미세먼지나 공기 분자에 의하여 산란되어 입사되는 빛도 함께 있는데 그 빛의 특성에 대하여 알아보면, 그러한 빛은 카메라에서 물체까지 경로 모두에 존재하게 되는데, 경로 상의 한 지점으로 미세한 길이 Δx 를 갖는 지점에서 산란된 빛이 카메라에 도달되는 도달 되는 빛의 세기는 그 경로에 있는 모든 빛을 모두 합해야 하고, 카메라에서 x 만큼 떨어진 곳에서 산란된 빛은 공기나 미세먼지에 의하여 $e^{-\alpha x}$ 만큼 소산이 일어나기 때문에 모든 경로(0에서 d 까지)에서 적분하면 산란 빛이 카메라에 도달되는 총량($I_s(d)$)은 아래 [수학식 2]와 같이 표현된다.

수학식 2

[0093]
$$I_s(d) = C_2(\Theta)(1 - e^{-\alpha d})$$

[0094] 식에서 C_2 는 공기 분자와 미세먼지의 산란위상함수(scattering phase function)의 가중치 합으로 평균 산란 위상 함수를 나타내며, 도면에서 알 수 있듯이 모든 경로에서 거의 같은 각(Θ)을 가지고 있기 때문에 상수(C_2)로 표현해도 무방하다.

[0095] 그러므로 카메라의 영상으로 입력되는 총 광량(I_t)은 두 신호는 [수학식 3]과 같이 표현된다.

수학식 3

$$I_t(d) = C_1 \rho(\Theta) \frac{e^{-\alpha d}}{d^2} + C_1(\Theta)(1 - e^{-\alpha d}) = C'_1 \frac{e^{-\alpha d}}{d^2} + C_2(1 - e^{-\alpha d})$$

[0097] 첫 번째 항은 물체에서 산란된 신호이고, 두 번째 항은 물체와 카메라 사이에 있는 미세먼지와 공기 분자에 의하여 산란된 빛의 신호이다. 그러므로 [수학식 3]에는 4개의 미지수(C_1 , C_2 , α , d)가 있다. 각 미지수는 파장에 따라 다르기 때문에 이러한 수학식은 주어진 하나의 파장에서 주어진다. 만약에 물체가 없는 하늘의 신호의 화소값을 이용한다면, 그 화소값은 수학식에서 첫 번째 항이 없는 형태로 나타날 것이며 또한 d 가 무한히 큰 값이 되므로 [수학식 3]에서 C_2 는 하늘에서 산란된 신호의 화소 값에 해당한다.

[0098] 그리고 수학식 1, 2, 3은 하나의 주어진 파장에서 주어진 다음 물체 1, 2, 3에서 얻어지는 신호의 특성을 나타내고 있기 때문에 파장을 고려한 식으로 나타내면 [수학식 4] 처럼 표현할 수 있다.

수학식 4

$$I_t(d, \lambda) = C'_1(\lambda) \frac{e^{-a(\lambda)d}}{d^2} + C_2(\lambda)(1 - e^{-a(\lambda)d})$$

[0099]

[0100] [수학식 4]에서 우리가 구하고자 하는 값은 소산 계수($\alpha(\lambda)$)에 해당하며 그 값은 각각의 파장에서 구할 수 있도록 구성하여야 한다. 하늘에 해당하는 화소는 공기 분자와 먼지에 의한 산란 신호만 존재하므로 [수학식 4]에서 둘째 항만 존재한다.

[0101] [수학식 4]와 같이 주어진 다양한 물체에서 얻은 화소 값으로 이루어진 연립 방정식에서 그 해를 구하는 방법에 대하여 논하고자 한다.

[0102] 첫째로, 주어진 하나의 파장(RGB 중 하나)에서 하늘 영상을 포함하며, 물체에서는 3개의 화소 값을 얻은 경우, 각 화소 값은 아래 [수학식 5]처럼 네 개의 식으로 표시되면 I_1, I_2, I_3, I_4 는 각각 물체 1, 2, 3 그리고 하늘의 영상에서 얻은 화소 값을 의미한다.

수학식 5

$$I_1(d_1, \lambda) = C'_1(\lambda) \frac{e^{-a(\lambda)d_1}}{d_1^2} + C_2(\lambda)(1 - e^{-a(\lambda)d_1})$$

[0103]

$$I_2(d_2, \lambda) = C'_1(\lambda) \frac{e^{-a(\lambda)d_2}}{d_2^2} + C_2(\lambda)(1 - e^{-a(\lambda)d_2})$$

[0104]

$$I_3(d_3, \lambda) = C'_1(\lambda) \frac{e^{-a(\lambda)d_3}}{d_3^2} + C_2(\lambda)(1 - e^{-a(\lambda)d_3})$$

[0105]

$$I_4(\infty, \lambda) = C'_2(\lambda)$$

[0106]

[0107] 마지막 식은 하늘을 향하는 영상에서 얻을 수 있는 화소값이다. 그러므로 [수학식 5]는 각 다른 RGB에서 얻은 신호를 의미하며 이러한 식이 각 RGB에서 얻어지므로 총 12개의 수학식이 생긴다고 할 수 있다.

[0108] RGB 중 하나의 파장에서, 위의 [수학식 5]를 만족하는 실체는 해는(카메라에서 물체까지 거리는 알고 있으므로) C_2 를 제외한 2개의 값으로 구성되며 파장에 의존하므로 $\vec{X} = (C'_1 \rho^\lambda, \alpha^\lambda)^T = (C'_1, \alpha^\lambda)^T$ 로 쓸 수 있다.

[0109] 이제 각 주어진 파장에서 해가 실제 어떤 정보를 제공하는지, 또한 어떤 방법으로 그 해를 풀이하는가를 살펴보고자 한다.

[0110] C_1 은 앞에서도 밝혔듯이 물체에 조명되는 총 광량과 관계되며 이는 또한 카메라의 셔터속도, 조리개, 그리고 센서의 감도 등에 대한 카메라의 촬영 정보도 포함된다. 즉 C_2 에도 같이 카메라의 촬영 정보가 포함된 것이다.

[0111] 그러나 이러한 카메라의 정보는 한번의 촬영에서 파장에 관계없이 일정하므로, 특히 카메라의 촬영 모드를 수동으로 설정하여 같은 조리개, 초점거리, 셔터 속도, 그리고 이득(ASA)으로 촬영할 경우 모든 파장에서의 모든 화소에서의 그리고 모든 시간에 같은 값이므로 상수이기 때문에 카메라 정보에 해당하는 값의 총 효과는 같은 상수 값이다,

[0112] 만약 C_1 은 결국 짧은 시간에 따라 변하면 이 값의 변화는 조명에 의한, 즉 태양의 이동이나, 구름을 포함한 산란 물질의 유무에 따른 것이므로 일조량 등과도 관계되는 양이다.

[0113] 촬영된 풍경에서 흑체 혹은 검은색이 없는 경우엔 그림자 부분을 택하면 가능한 태양이나 근처의 구름에 의한 강한 산란 등의 효과를 무시할 수 있기 때문에 영상의 위치 즉 물체에 다른 조명의 효과를 줄일 수 있어 위의

수학식은 해는 더 안정적이다. [수학식 5]에서 거리 정보(d_1, d_2, d_3)는 라이다 혹은 지도를 이용하여 측정할 수 있으며, 화소 값(I_1, I_2, I_3, I_4)은 카메라의 영상 정보를 통하여 얻을 수 있으므로, [수학식 5]의 해는 각 파장에서 화소값 $\vec{Y} = (I_1, I_2, I_3)^T$ 과 [수학식 5]를 결정하는 관계식 $\vec{F}(\vec{X})$ 값의 오차를 최소화할 시키는 $\vec{X}$ 를 찾는 것으로 귀결되고 이러한 문제는 아래 [수학식 6]의 오차를 최소화시키는 방법으로 그 해를 구할 수 있다.

수학식 6

$$\chi^2 = (\vec{Y} - \vec{F}(\vec{X}))^T \cdot (\vec{Y} - \vec{F}(\vec{X}))$$

[수학식 6]을 최소화하는 미지 벡터 $\vec{X}$ 의 해는 다음과 같다.

수학식 7

$$\vec{X}_{t+1} = \vec{X}_{t+1} + (K_t^T K_t)^{-1} (K_t^T (\vec{Y} - \vec{F}(\vec{X})))$$

여기서 커널 K는 각 독립변수 $\vec{X}$ 성분이 최종 결과물 $\vec{F}$ 에 얼마나 영향을 척도를 나타내는 양으로 행렬로 표현하면 $(K_t)_{nm} = \partial F_n / \partial X_m$ 로 표현되는 양이다.

둘째로, 하늘 방향의 화소 값이 없는 경우엔 4개 이상의 다른 물체에서 얻은 화소 값만으로도 미지의 소산 계수를 구할 수 있다. 그 과정은 아래 [수학식 8]과와 같이 표현되는 연립 방정식의 해를 구하는 것으로 해결이 된다.

수학식 8

$$I_1(d_1, \lambda) = C_1(\lambda) \frac{e^{-\alpha(\lambda)d_1}}{d_1^2} + C_2(\lambda)(1 - e^{-\alpha(\lambda)d_1})$$

$$I_2(d_2, \lambda) = C_1(\lambda) \frac{e^{-\alpha(\lambda)d_2}}{d_2^2} + C_2(\lambda)(1 - e^{-\alpha(\lambda)d_2})$$

$$I_3(d_3, \lambda) = C_1(\lambda) \frac{e^{-\alpha(\lambda)d_3}}{d_3^2} + C_2(\lambda)(1 - e^{-\alpha(\lambda)d_3})$$

$$I_4(d_4, \lambda) = C_1(\lambda) \frac{e^{-\alpha(\lambda)d_4}}{d_4^2} + C_2(\lambda)(1 - e^{-\alpha(\lambda)d_4})$$

$$I_5(d_5, \lambda) = C_1(\lambda) \frac{e^{-\alpha(\lambda)d_5}}{d_5^2} + C_2(\lambda)(1 - e^{-\alpha(\lambda)d_5})$$

[수학식 8]을 만족하는 실체는 해는 첫 번째 경우와 같은 방법으로 해를 구할 수 있다. 미지수는 3개이며, $\vec{X} = (C_1^\lambda, C_2^\lambda, \alpha^\lambda)^T = (C_1'^\lambda, C_2'^\lambda, \alpha^\lambda)^T$ 로 쓸 수 있다. 그리고 [수학식 8]에서 거리 정보($d_1, d_2, d_3, \dots$)는 라이다 혹은 지도를 이용하여 측정할 수 있으며, 화소값($I_1, I_2, I_3, I_4, \dots$)은 카메라의 영상 정보를 통하여 얻을 수 있으므로, [수학식 5]의 해는 각 파장에서 화소값 $\vec{Y} = (I_1, I_2, I_3, I_4, \dots)^T$ 와 [수학식 8]을 결정하는 관계식 $\vec{F}(\vec{X})$ 값의 오차를 최소화할 시키는 $\vec{X}$ 를 찾는 것으로 귀결되고 이러한 문제는 아래 [수학식 9]의 오차를 최소화

시키는 방법으로 그 해를 구할 수 있다.

수학식 9

[0126]
$$\chi^2 = (\vec{Y} - \vec{F}(\vec{X}))^T \cdot (\vec{Y} - \vec{F}(\vec{X}))$$

[0127] [수학식 9]를 최소화하는 미지 벡터 $\vec{X}$ 의 해는 첫 번째와 같은 방법으로 다음과 같다.

수학식 10

[0128]
$$\vec{X}_{t+1} = \vec{X}_{t+1} + (K_t^T K_t)^{-1} (K_t^T (\vec{Y} - \vec{F}(\vec{X})))$$

[0129] 여기서 커널 K는 각 독립변수 $\vec{X}$ 성분이 최종 결과물 $\vec{F}$ 에 얼마나 영향을 척도를 나타내는 양으로 행렬로 표현하면 $(K_t)_{nm} = \partial F_n / \partial X_m$ 로 표현되는 양이다.

[0131] 셋째로, 시간별 혹은 날짜별, 계절별 변화는 식생의 반사도 변화나, 남중 고도의 변화에 의한 것이므로 전체적으로 이러한 변화에 대한 영향을 없애는 방법은 검은 물체를 택하거나, 인공적으로 반사가 일어나지 않는 물체를 선택하여 원하는 위치에 배치시켜 조명이나, 대기의 영향을 없애는 방법이 이용될 수 있다.

[0132] 즉 빛의 반사가 일어나지 않는 물체로서 상기 카메라를 통한 촬영범위 내에 설치된 인공타깃을 이용하는 것으로, 상기 산출부(130)는 상기 인공타깃을 통한 한 지점의 조명 또는 반사도를 0으로 하여 하나의 방향에서 화소 값만 얻고, 설정된 방향의 하늘에서 산란된 정보로서 상기 카메라에 따른 RGB 3개의 유효 파장에서 미세먼지의 소산 계수를 얻도록 구성될 수 있다.

[0133] 이 경우 [수학식 5]에서 물체에서 산란된 화소 값을 나타내는 [수학식 3]의 첫 번째 항은 0이 되어서 화소 값은 거리, 카메라의 감도를 결정하는 셔터, 조리개, 감도 등의 정보와 미세먼지(공기포함)의 소산 정도에만 의존한다.

[0134] 그러므로 상기 물체는 2차원 공간에서 인위적으로 설치되며 빛의 반사가 없는 흑체로 구성하여 이러한 흑체를 여러 곳에 설치하면, 예를 들어 측정하는 카메라가 있는 지점을 중심으로 다양한 곳에 설치하여 카메라로 그 흑체의 영상을 획득하고 그 근처의 하늘 영상을 얻으면, 아래의 [수학식 11]과 같이 흑체와 하늘 영상의 짝으로 다양한 방향에서 물체와 하늘 영상을 얻을 수 있고 두 개 식의 짝으로 표현된 식에서 각각의 수산 계수를 얻을 수 있게 된다. 그 영상 값은 아래 [수학식 11]과 같이 표현 가능하다.

[0135] 도 2는 1개 이상의 흑체에 의한 풍경 화소 값 그에 대응하는 하나 이상의 하늘 값을 이용한 미세먼지 소산 계수 추출 방법을 나타낸 설명도로서, 이렇게 측정하는 방법으로 그 실례를 보여주는 것이다. 카메라(3)가 획득할 수 있는 풍경에는 흑체 풍경 1-1, 1-2, ...와 주위에 하늘 영상을 얻을 수 있는 하늘이 있으며, 하늘 영상은 흑체 물체와 가장 가까운 것을 택한다. 예를 들어 흑체 1-1에 대응되는 하늘 영상은 2-1-1과 2-1-2 영상을 동시에 이용할 수 있으며 이를 평균하여 $(I_{S1} = (I_{S-2-1-1} + I_{S2-1-2})/2)$ 흑체 1-1에 대응하는 화소 신호에 짝을 이루는 대응 방정식이 되도록 한다.

[0136] 즉 첫 번째 흑체의 영상 얻은 화소 값은 수학식에서 I_1 과 첫 번째 흑체 영상에 대응하는 하늘 영상은 I_{s1} 에 해당한다.

[0137] 도 2에서는 구체적으로 흑체의 모양을 나타내는데, 흑체(4)는 조명되어 입사된 빛이 밖으로 다시 반사되어 나오지 않는 물체를 말하며, 도면에서 실례로 보인 것과 같이 입사된 빛이 내부에서 난반사되면서 밖으로 그 빛의 유출이 없는 것을 의미하며 개념적으로 검은 물체의 경우도 가시광 영역에서 이와 유사한 역할을 할 수 있다. 도면과 같이 다양한 위치에 흑체를 인위적으로 위치하게 하고, 그 해당 화소를 카메라를 이용하여 얻으면 [수학식 11]과 같이 다양한 쌍의 방정식을 얻은 것이고, [수학식 11]에서 좌변은 하늘과 흑체의 카메라 영상의 화소 값이다.

수학식 11

[0138]
$$I_1(d_1, \lambda) = C_{2,1}(1 - e^{-\alpha_1(\lambda)d_1})$$

[0139]
$$I_{s_1}(\infty, \lambda) = C_{2,1}(\lambda)$$

[0140]
$$I_2(d_2, \lambda) = C_{2,2}(\lambda)(1 - e^{-\alpha_2(\lambda)d_2})$$

[0141]
$$I_{s_2}(\infty, \lambda) = C_{2,2}(\lambda)$$

[0142]
$$I_3(d_3, \lambda) = C_{2,3}(\lambda)(1 - e^{-\alpha_3(\lambda)d_3})$$

[0143]
$$I_{s_3}(\infty, \lambda) = C_{2,3}(\lambda)$$

[0144] [수학식 11]에서 $I_1, I_2, \dots$ 는 각각 흑체 1, 2, ...의 화소값을 의미하며, $I_{s_1}, I_{s_2}, I_{s_3}, \dots$ 등은 각각 흑체 물체 1, 2, 3, ... 주변의 하늘 영상의 화소 값을 말한다. 흑체 물체 근처에 두 지점의 이상의 하늘 영상을 이용하는 경우 흑체와 하늘 영상의 거리를 고려하여 가중치를 두고 평균을 취하여 하늘 영상으로 할 수 있다.

[0145] [수학식 11]에서 임의의 다른 숫자에 해당하는 값은 다른 흑체와 하늘에서 얻은 화소 값을 나타낸 것으로 같은 방법으로 수없이 많은 관측 값들을 얻을 수 있고, 그 수에 해당하는 쌍의 방정식(하늘 영상과 흑체 영상의 화소 값으로 이루어진 방정식)을 얻을 수 있다.

[0146] 하나의 흑체 방향에 [수학식 11]과 같이 쌍으로 존재하는 두 방정식의 해는 쉽게 얻을 수 있으며, 계산되는 수산 계수($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$)는 각각 다른 방향 1, 2, 3, ...에 대한 소산 계수로 2차원 공간을 단층 촬영한 값을 얻는 효과가 있다. 그 수학적 해는 어떤 근사도 없이 해석적으로(Analytically) 구할 수 있으며 [수학식 12]와 같다.

수학식 12

[0147]
$$\alpha_1(\lambda) = \frac{-1}{d_1} \log\left(\sqrt{1 - \frac{I_1(d_1, \lambda)}{I_{s_1}}}\right)$$

[0148]
$$\alpha_2(\lambda) = \frac{-1}{d_2} \log\left(\sqrt{1 - \frac{I_2(d_2, \lambda)}{I_{s_2}}}\right)$$

[0149]
$$\alpha_3(\lambda) = \frac{-1}{d_3} \log\left(\sqrt{1 - \frac{I_3(d_3, \lambda)}{I_{s_3}}}\right)$$

[0150] [수학식 12]의 해는 주어진 하나의 파장에서 얻어지는 해를 표현한 것이다. 그러나 카메라의 경우 RGB 3개 센서가 존재하고 각 센서는 하나의 파장에만 감도를 지니지 않으며, 넓은 범위에서 감도가 존재한다. 그러므로 수학식 5, 8, 11을 만족하는 하나의 파장은 각 센서의 유효 파장을 이용하여 다시 정의하여 사용할 필요가 있다.

[0151] 유효 파장의 정의는 다음과 같다. RGB 센서에서 얻어지는 빛의 세기는 파장과 태양광의 세기, 그리고 센서의 파장에 따른 감도 특성 등에 의하여 결정된다.

[0152] 그러므로 아무리 특정 파장에서 센서의 감도가 좋아도 태양광에 존재하지 않은 파장이면 이 파장은 유효하지 않은 파장이며, 반대로 특정 파장의 태양빛이 강하게 지구로 복사되더라도 카메라에서 감도가 없으면 그 파장은 유효 파장이 아니다. 즉 특정 유효 파장의 화소 값에 기여하지 않게 된다.

[0153] 또한, 특정 파장이 대기 중의 주요 가스에 의하여 흡수가 일어난다면, 미세먼지의 산란이나 공기분자의 산란에

기여하지 못하거나 작에 기여하므로 이 또한 동시에 고려해야 한다.

[0154] 그러므로 카메라 센서의 3가지 파장 영역은 R, G, B로 표현되나, 실제 카메라 센서의 감도는 넓은 영역에서 감도가 있으며, 또한 태양의 광원 자체도 넓은 영역에서 그 빛을 복사하고 그 빛의 세기도 다르므로, 카메라에 특정 필터를 적용하지 않는 경우 산란효과를 제외한 기여도를 고려하여 가중치를 두어 빛의 세기($I_{\text{sun}}(\lambda)$), 센서의 감도($S_{R,G,B}(\lambda)$), 그리고 렌즈 및 대기 가스에 의한 투과도($T(\lambda)$)를 고려하면 각 R, G, B 센서의 유효 파장으로 다음과 같이 정의하여 사용 가능하다.

수학식 13

$$[0155] \lambda_R^{\text{eff}} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \lambda I_{\text{sun}}(\lambda) S_R(\lambda) T(\lambda) d\lambda}{\int_{-\infty}^{\infty} I_{\text{sun}}(\lambda) S_R(\lambda) T(\lambda) d\lambda}$$

$$[0156] \lambda_G^{\text{eff}} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \lambda I_{\text{sun}}(\lambda) S_G(\lambda) T(\lambda) d\lambda}{\int_{-\infty}^{\infty} I_{\text{sun}}(\lambda) S_G(\lambda) T(\lambda) d\lambda}$$

$$[0157] \lambda_B^{\text{eff}} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \lambda I_{\text{sun}}(\lambda) S_B(\lambda) T(\lambda) d\lambda}{\int_{-\infty}^{\infty} I_{\text{sun}}(\lambda) S_B(\lambda) T(\lambda) d\lambda}$$

[0158] [수학식 13]의 $\lambda_R^{\text{eff}}, \lambda_G^{\text{eff}}, \lambda_B^{\text{eff}}$ 는 각각 RGB 센서의 유효 파장이라고 하고, 각 파장은 식 5, 8, 11 식에서 파장에 해당하는 값이다.

[0159] 도 3은 카메라 RGB 센서의 유효 파장을 구하기 위한 태양광의 스펙트럼, 대기 투과 특성, 그리고 RGB센서의 감도를 나타내 그래프로, [수학식 13]을 적용함에 있어, 태양광의 파장에 따른 빛의 세기는 잘 알려져 있어 도 301과 같은 형태의 태양광 스펙트럼(301: $I_{\text{sun}}(\lambda)$)을 사용하면 되고 대기의 투과도($T(\lambda)$)는 하이트란과 같이 공유되고 검증된 투과 스펙트럼(304)을 이용하며, 마지막으로 센서의 감도 S_R, S_G, S_B 는 각 카메라의 경우 다른 값을 지니므로 측정을 통하여 입력하게 된다.

[0160] 실제로 NIKON 7500의 경우는 도 303과 같은 형태를 지닌다. 마지막으로 가스나 렌즈 등에 의한 투과도의 경우 가시광의 파장영역에서 1에 가깝기 때문에 1로 두거나 도 304과 같이 표준 대기 투과 모델을 사용하여 그 투과도를 결정하여 사용할 수 있다.

[0161] 도 4는 본 발명의 방법 중 하나로 구한 대기 중의 세 유효 파장에서의 소산 계수 및 AE를 구한 실례를 나타낸 화면으로, 풍경 사진(400)과 거리 정보(402)와 화소 값(401)을 이용해서 구한 각 파장에서의 소산 계수(403)를 각 파장에서 나타낸 것이다. 니콘 유효 Red 파장의 파장에서는 0.16km^{-1} , 니콘 7500 유효 Green 파장에서는 0.248km^{-1} 그리고 니콘 유효 Blue 파장에서 0.35km^{-1} 정도의 값을 나타내는데 측정한 날의 2018.7.24 환경부 관측망은 대전 유성 노은지역에서 $24 \mu\text{gm}^{-3}$ 값으로 측정하고 있다.

[0162] 1기압 532nm에서 공기 분자의 산란 단면적이 $5.1 \times 10^{-31}\text{m}^2$ 이고 표준 대기 상태에서 공기 분자의 밀도를 $2.5 \times 10^{25}\text{m}^{-3}$ 으로 잡으면, 소산 계수가 0.0125 km^{-1} 정도 되기 때문에 니콘 7500의 blue 유효 파장 459nm에서는 0.0275km^{-1} 가 되며, 니콘 7500의 유효 Red 파장 597nm에서는 0.008km^{-1} 의 값을 제거하고 AE(Angstrom Exponent)를 구하면 2.83 정도가 되며 매우 작은 입자들로 이루어졌다고 볼 수 있다.

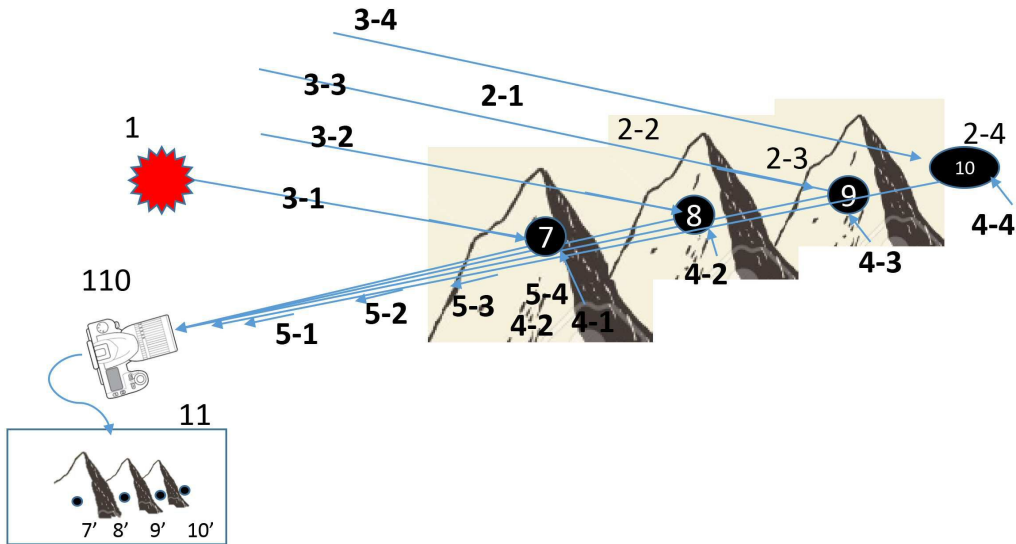
[0163] 본 발명의 권리는 위에서 설명된 실시예에 한정되지 않고 청구범위에 기재된 바에 의해 정의되며, 본 발명의 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 청구범위에 기재된 권리범위 내에서 다양한 변형과 개작을 할 수 있다는 것은 자명하다.

부호의 설명

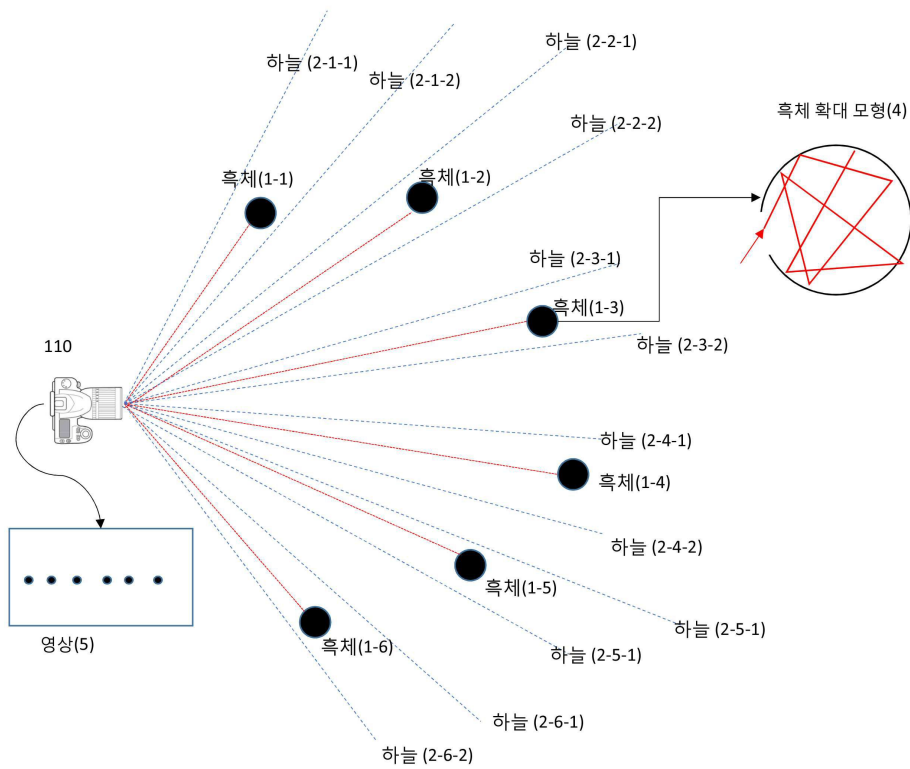
[0164] 110: 카메라 120: 거리측정부
130: 산출부 140: 추출부

도면

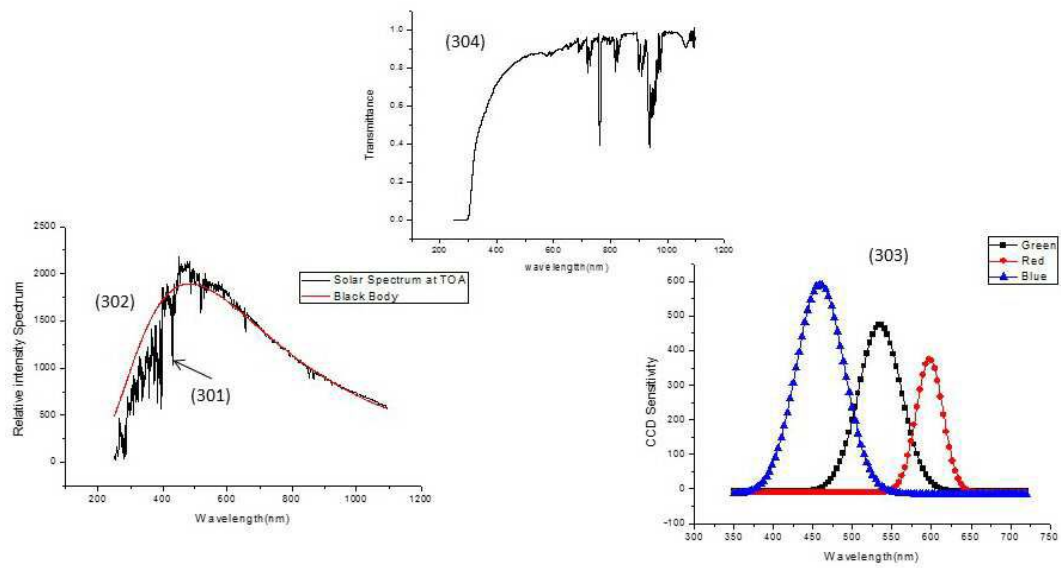
도면1



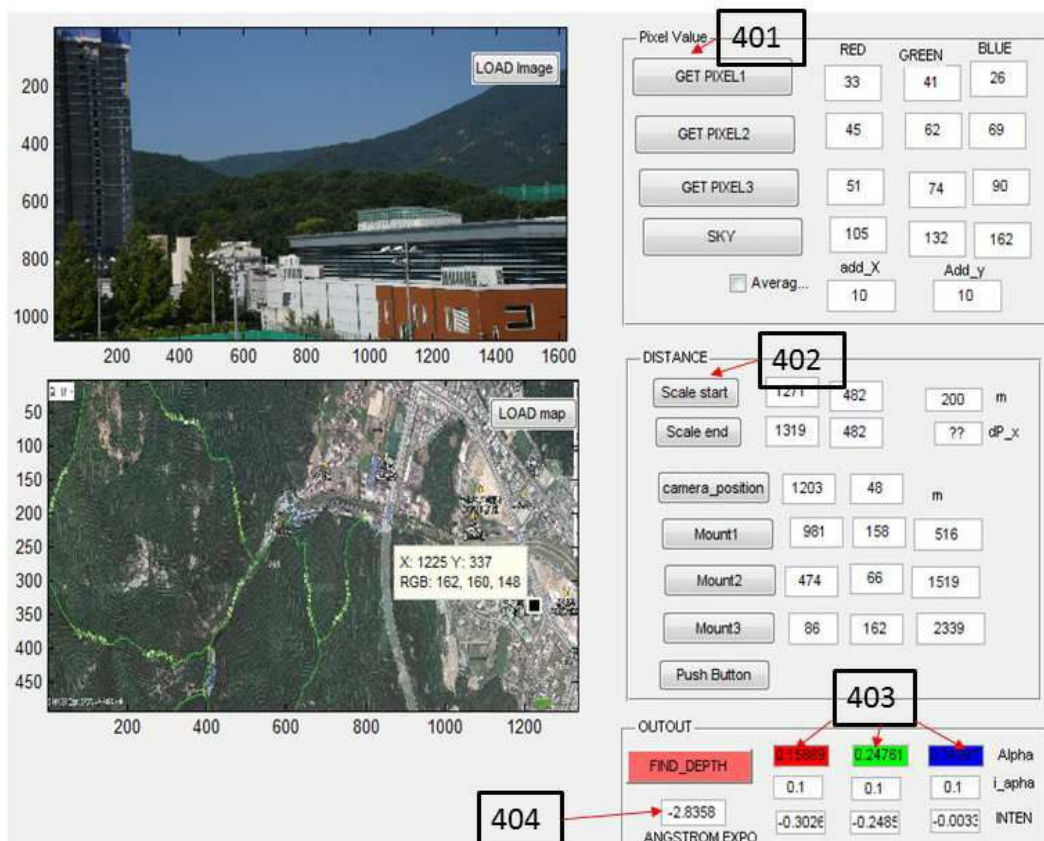
도면2



도면3



도면4



도면5

