



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년03월09일

(11) 등록번호 10-2225362

(24) 등록일자 2021년03월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 5/00 (2019.01) *G06T 5/20* (2006.01)
G06T 7/50 (2017.01)

(52) CPC특허분류
G06T 5/001 (2013.01)
G06T 5/20 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0147046

(22) 출원일자 2019년11월15일

심사청구일자 2019년11월15일

(56) 선행기술조사문헌

KR101015671 B1*

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 17 항

(73) 특허권자

울산과학기술원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(72) 발명자

심재영

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

박은필

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(74) 대리인

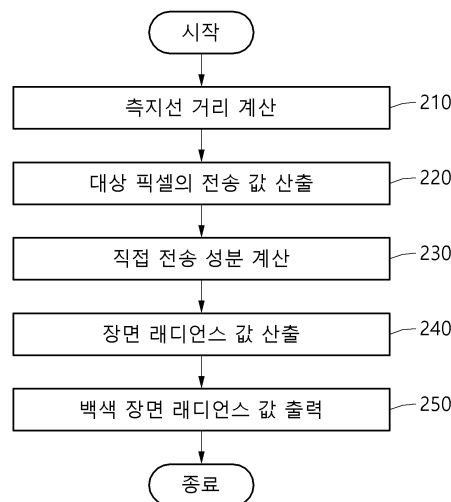
특허법인 무한

심사관 : 김광식

(54) 발명의 명칭 이미지 복원 방법

(57) 요약

프로세서에 의해 수중 촬영 이미지를 복원하는 방법에 있어서, 적어도 하나의 배경 픽셀과 대상 픽셀 간의 측지선 거리를 계산하는 단계, 상기 측지선 거리를 이용하여 상기 대상 픽셀의 전송 값을 산출하는 단계, 상기 대상 픽셀의 전송 값에 기초하여 직접 전송 성분(Direct transmission component, DTC)를 계산하는 단계, 상기 대상 픽셀의 직접 전송 성분을 이용하여 장면 복사(scene radiance) 값을 산출하는 단계 및 상기 장면 복사 값으로부터 컬러 캐스트(colour cast)를 제거함으로써 상기 대상 픽셀에 대한 복원 장면 복사 값을 출력하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도2

(52) CPC특허분류

G06T 7/50 (2017.01)

(56) 선행기술조사문헌

Chia-Yang Cheng ET AL: "Underwater image restoration by red-dark channel prior and point spread function deconvolution", Int' l Conference on Signal and Image Processing Applications(2015.10.19.) 1부.*

Hui Liu ET AL: "Underwater image restoration based on contrast enhancement", 2016 IEEE International Conference on Digital Signal Processing (DSP), 16-18 Oct. 2016(2016.10.16.) 1부.*

Nan Wang ET AL: "Two-stage underwater image restoration based on a physical model", Proceedings, Eighth International Conference on Graphic and Image Processing , 8 Feb. 2017(2017.02.08.) 1부.*

Qingwen Guo ET AL: "Underwater image enhancement based on the dark channel prior and attenuation compensation", Journal of Ocean University of China, volume 16, pages 757-765, 2017(2017.08.12.) 1부.*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

프로세서에 의해 수중 촬영 이미지를 복원하는 방법에 있어서,

적어도 하나의 배경 픽셀과 대상 픽셀을 연결하는 복수개의 경로에서 각 경로 내 인접한 픽셀들 간의 컬러 값 차이를 합산하고, 합산된 결과들에 따른 값에 기초하여 측지선 거리를 결정하는 단계;

상기 결정된 측지선 거리로부터 상기 대상 픽셀의 채널 전송 값을 이미지 촬영 장치와 피사체 간의 거리 및 측지선 거리 사이의 반비례 관계에 기초하여 산출하는 단계;

상기 대상 픽셀의 전송 값에 기초하여 직접 전송 성분(Direct transmission component, DTC)를 계산하는 단계;

상기 대상 픽셀의 직접 전송 성분을 이용하여 장면 복사(scene radiance) 값을 산출하는 단계; 및

상기 장면 복사 값으로부터 컬러 캐스트(colour cast)를 제거함으로써 상기 대상 픽셀에 대한 복원 장면 복사 값을 출력하는 단계

를 포함하는 이미지 복원 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 측지선 거리를 결정하는 단계는,

상기 배경 픽셀이 복수개인 경우, 상기 복수개의 배경 픽셀들과 상기 대상 픽셀 간의 측지선 거리들 중 최단 거리를 계산하는 단계;

상기 최단 거리를 상기 복수개의 배경 픽셀들과 상기 대상 픽셀 간의 측지선 거리로 결정하는 단계

를 포함하는 이미지 복원 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 측지선 거리를 결정하는 단계는,

상기 배경 픽셀을 선정하는 단계

포함하는 이미지 복원 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 배경 픽셀을 선정하는 단계는,

상기 이미지의 배경광을 추정하는 단계; 및

상기 배경광과 유사도가 임계치 이상인 광에 관한 픽셀들을 상기 배경 픽셀로 선정하는 단계

를 포함하는 이미지 복원 방법.

청구항 5

제 1항에 있어서,
상기 대상 픽셀의 전송 값을 산출하는 단계는,
상기 이미지를 복수개의 채널로 추출하는 단계; 및
상기 추출된 채널에 대한 상기 대상 픽셀의 전송 값을 산출하는 단계
를 포함하는 이미지 복원 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,
상기 대상 픽셀의 전송 값을 산출하는 단계는,
상기 복수개의 채널 중 제1 채널의 전송 값을 산출하는 단계; 및
상기 제1 채널의 전송 값에 기초하여 제2 채널의 전송 값을 산출하는 단계
를 포함하는 이미지 복원 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,
상기 전송 값, 직접 전송 성분에 관한 파라미터 세트를 결정하는 단계
를 더 포함하는 이미지 복원 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,
상기 파라미터 세트를 결정하는 단계는,
임시 파라미터 세트를 비용함수(cost function)에 입력하고, 상기 비용함수의 출력값이 임계치 미만이 되는 임
시 파라미터 세트를 상기 파라미터 세트로 결정하는 단계
를 포함하는 이미지 복원 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,
상기 비용함수는,
선명도(sharpness) 함수, 정보 소실(information loss) 함수, 및 공간 관련 함수를 포함하는 이미지 복원 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 이미지는,

직접 전송 성분(Direct Transmission Component), 전방 산란 성분(Forward Scattering Component), 및 후방 산란 성분(Backward Scattering Component)를 포함하는 이미지인,

이미지 복원 방법.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 직접 전송 성분을 계산하는 단계는,

상기 대상 픽셀을 포함한 전체 이미지의 픽셀들을 복수개의 군집(cluster)들로 군집화하는 단계;

상기 복수개의 군집들 중 개별 군집들에 대한 군집 전송 값을 계산하는 단계; 및

상기 대상 픽셀이 포함된 군집의 군집 전송 값에 기초한 군집별 가중치를 상기 대상 픽셀에 적용하여 상기 대상 픽셀의 직접 전송 성분을 계산하는 단계

를 포함하는 이미지 복원 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 군집화하는 단계는,

상기 복수개의 군집들 중 상기 대상 픽셀이 속하는 군집을 판단하는 단계

를 포함하는 이미지 복원 방법.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 군집 전송 값을 계산하는 단계는,

상기 군집 전송 값은 상기 개별 군집들에 포함된 픽셀들의 평균 전송 값에 기초하여 계산하는 단계

를 포함하는 이미지 복원 방법.

청구항 14

제1항 내지 제13항 중 어느 한 항의 방법을 수행하기 위한 명령어들을 포함하는 하나 이상의 컴퓨터 프로그램을 저장한 컴퓨터 판독 가능 기록 매체.

청구항 15

적어도 하나의 배경 픽셀과 대상 픽셀을 연결하는 복수개의 경로에서 각 경로 내 인접한 픽셀들 간의 컬러 값 차이를 합산하고, 합산된 결과들에 따른 값에 기초하여 측지선 거리를 결정하고, 상기 결정된 측지선 거리로부터 상기 대상 픽셀의 채널 전송 값을 이미지 촬영 장치와 피사체 간의 거리 및 측지선 거리 사이의 반비례 관계에 기초하여 산출하며, 상기 대상 픽셀의 전송 값에 기초하여 직접 전송 성분(Direct transmission component, DTC)을 계산하고, 상기 대상 픽셀의 직접 전송 성분을 이용하여 장면 복사 값(radiance)을 산출하며, 상기 장면 복사 값으로부터 컬러 캐스트(colour cast)를 제거함으로써 복원 장면 복사 값을 출력하는 프로세서

를 포함하는 이미지 복원 장치.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 프로세서는,

임시 파라미터 세트를 비용함수(cost function)에 입력하고, 상기 비용함수의 출력값이 임계치 미만이 되는 임시 파라미터 세트를 복원 파라미터 세트로 결정하는,

이미지 복원 장치.

청구항 17

제15항에 있어서,

상기 프로세서는,

상기 대상 픽셀을 포함한 전체 이미지의 픽셀들을 복수개의 군집(cluster)들로 군집화하고, 상기 복수개의 군집들 중 개별 군집들에 대한 군집 전송 값을 계산하며, 상기 대상 픽셀이 포함된 군집의 군집 전송 값에 기초한 군집별 가중치를 상기 대상 픽셀에 적용하여 상기 대상 픽셀의 직접 전송 성분을 계산하는,

이미지 복원 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 이하, 수중 이미지 복원 방법에 관한 기술이 제공된다.

배경 기술

[0002] 수중 영상 및 이미지 복원 기술은 산업, 군사, 국가 및 상업용으로 넓게 사용되고 있다. 산업적으로는 천연 자원 탐색 등의 바닷속 탐사 목적, 군사적으로는 잠수함 탐지 등의 수중 감시 목적으로 사용된다. 또한, 국가적으로는 수중 재난으로 인한 인명구조 등의 상황에서의 시야 확보, 상업용으로는 수영장에서나 스쿠버다이빙 활동에서 수중 사진 또는 영상을 촬영할 때 이용된다.

[0003] 수중 이미지는 복원하는데, Dark Channel Prior(DCP)과 같은 가정을 이용하여 전송 값을 추정하고, 전송 값에 기초하여 이미지를 복원할 수 있었다. DCP는 각 픽셀들의 r,g,b 각 채널값을 분석하고, 왜곡이 없는(haze free) 영역의 픽셀은 적어도 한 채널의 값이 0에 수렴한다는 통계적 특성을 이용한 것이다. DCP를 이용하여 수중 이미지에서 산란 성분들을 제거한 후 이미지를 복원하는 것은 색왜곡이 적고 자연스럽게 복원될 수 있으나, 이미지의 대비가 적어서 선명도가 떨어지고, 피사체의 경계 부근에서 왜곡이 불완전히 제거되어 후광 현상이 발생할 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 대한민국 특허등록공보 제10-1426298호(등록일: 2014년 7월 29일)

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

- [0005] 일실시예에 따른 수중 촬영 이미지 복원 방법에 따르면, 적어도 하나의 배경 픽셀과 대상 픽셀 간의 측지선 거리를 계산하는 단계, 상기 측지선 거리를 이용하여 상기 대상 픽셀의 전송 값을 산출하는 단계, 상기 대상 픽셀의 전송 값에 기초하여 직접 전송 성분(Direct transmission component, DTC)을 계산하는 단계, 상기 대상 픽셀의 직접 전송 성분을 이용하여 장면 복사(scene radiance) 값을 산출하는 단계, 및 상기 장면 복사 값으로부터 컬러 캐스트(colour cast)를 제거함으로써 상기 대상 픽셀에 대한 복원 장면 복사값을 출력하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0006] 일측에 따르면, 상기 측지선 거리를 계산하는 단계는 상기 배경 픽셀이 복수개인 경우, 상기 복수개의 배경 픽셀들과 상기 대상 픽셀 간의 측지선 거리들 중 최단 거리를 계산하는 단계, 상기 최단 거리를 상기 복수의 배경 픽셀들과 상기 대상 픽셀 간의 측지선 거리로 결정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0007] 또한, 상기 측지선 거리를 계산하는 단계는 상기 배경 픽셀을 선정하는 단계를 포함할 수 있고, 상기 배경 픽셀을 선정하는 단계는 상기 이미지의 배경광을 추정하는 단계, 및 상기 배경광과 유사도가 임계치 이상인 광에 관한 픽셀들을 상기 배경 픽셀로 선정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0008] 일실시예에 따르면, 상기 대상 픽셀의 전송 값을 산출하는 단계는 상기 이미지를 복수개의 채널로 추출하는 단계 및 상기 추출된 채널에 대한 상기 대상 픽셀의 전송 값을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0009] 상기 대상 픽셀의 전송 값을 산출하는 단계는 상기 복수개의 채널 중 제1 채널의 전송 값을 산출하는 단계, 및 상기 제1 채널의 전송 값에 기초하여 제2 채널의 전송 값을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0010] 일측에 따른 이미지 복원 방법은 상기 전송 값, 직접 전송 성분에 관한 파라미터 세트를 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 파라미터 세트를 결정하는 단계는 임시 파라미터 세트를 비용함수(cost function)에 입력하고, 상기 비용함수의 출력값이 임계치 미만인 되는 임시 파라미터 세트를 상기 파라미터 세트로 결정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0011] 상기 비용함수는 선명도(sharpness) 함수, 정보 소실(information loss) 함수, 및 공간 관련 함수를 포함할 수 있다.
- [0012] 또한, 상기 이미지는 직접 전송 성분(Direct Transmission Component), 전방 산란 성분(Forward Scattering Component), 및 후방 산란 성분(Backward Scattering Component)을 포함하는 이미지일 수 있다.
- [0013] 일측에 따르면, 이미지 복원 방법의 상기 직접 전송 성분을 계산하는 단계는 상기 대상 픽셀을 포함한 전체 이미지의 픽셀들을 복수개의 군집(cluster)들로 군집화하는 단계, 상기 복수개의 군집들 중 개별 군집들에 대한 군집 전송 값을 계산하는 단계, 및 상기 대상 픽셀이 포함된 군집의 군집 전송 값에 기초한 군집별 가중치를 상기 대상 픽셀에 적용하여 상기 대상 픽셀의 직접 전송 성분을 계산하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0014] 상기 군집화하는 단계는 상기 복수개의 군집들 중 상기 대상 픽셀이 속하는 군집을 판단하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0015] 상기 군집 전송 값을 계산하는 단계는 상기 개별 군집들에 포함된 픽셀들의 평균 전송 값에 기초하여 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0016] 도 1은 일실시예에 따른 수중 이미지의 산란 성분들을 도시한 도면이다.
- 도 2는 일실시예에 따른 이미지 복원 방법을 도시한 흐름도이다.
- 도 3은 일실시예에 따른 배경 픽셀과의 측지선 거리를 측정하는 것을 도시한 도면이다.
- 도 4는 일실시예에 따라 배경 픽셀과의 측지선 거리와 실제 거리의 관계를 도시한 그래프이다.
- 도 5는 일실시예에 따라 전체 픽셀들의 전송 값을 추정하는 과정 및 결과를 도시한 도면이다.

도 6은 일실시예에 따라 후방 산란 성분이 제거된 이미지를 도시한 도면이다.

도 7은 일실시예에 따라 전체 픽셀들을 복수개의 군집으로 군집화하는 것을 도시한 도면이다.

도 8은 일실시예에 따라 장면 복사 값을 산출한 결과를 도시한 도면이다.

도 9는 일실시예에 따라 복원 장면 복사 값을 계산한 결과를 도시한 도면이다.

도 10은 일실시예에 따라 공간 관련 함수에 기초하여 이미지를 복원한 결과를 도시한 도면이다.

도 11은 일실시예에 따라 비용함수 결과에 따라 결정된 파라미터 세트가 적용되어 복원된 이미지를 도시한 도면이다.

도 12는 일실시예에 따라 프로세서가 입력된 수중 이미지를 복원한 결과들을 도시한 도면이다.

도 13은 일실시예에 따른 이미지 복원 장치의 개괄적인 구성을 도시한 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0017] 실시예들에 대한 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 예시를 위한 목적으로 개시된 것으로서, 다양한 형태로 변경되어 실시될 수 있다. 따라서, 실시예들은 특정한 개시형태로 한정되는 것이 아니며, 본 명세서의 범위는 기술적 사상에 포함되는 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.
- [0018] 제1 또는 제2 등의 용어를 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 이런 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 해석되어야 한다. 예를 들어, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소는 제1 구성요소로도 명명될 수 있다.
- [0019] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.
- [0020] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 설명된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함으로 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0021] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다. 이하, 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0023] 도 1은 일실시예에 따른 수중 이미지의 산란 요소들을 도시한 도면이다.
- [0024] 수중 이미지는 다양한 수중 환경으로 인하여 공기 중에 촬영한 원본 이미지에 비해 왜곡되거나 품질이 저하된 이미지일 수 있다. 이미지의 품질이 저하되는 주요 원인은 빛의 산란 또는 흡수일 수 있다. 도 1에 도시된 바와 같이 태양광이 수중으로 입사하여 피사체에 도달하고, 도달된 광은 피사체에 반사되어 카메라에 입사될 수 있다. 이미지 촬영 장치는 피사체에 의해 반사된 광 정보를 이용하여 이미지를 출력할 수 있다. 피사체로부터 반사된 광은 카메라에 도달하는 과정에서 수중의 다양한 성분들에 의해 세기가 약해질 수 있다.
- [0025] 물입자에 의해 전방 산란(forward-scattering)이 일어날 수 있는데, 전방 산란은 피사체로부터 반사된 광이 피사체와 이미지 촬영 장치 사이의 일직선 상에서 교란되어 주변으로 산란되는 것일 수 있다. 이에 따라 광의 세기가 약해질 수 있고, 이미지 촬영 장치는 직접 전송 성분(110)(Direct Transmission Component, DTC) 및 전방 산란 성분(120)(Forward Scattering Component, FSC)가 포함된 광을 수신할 수 있다.
- [0026] 태양광이 수중으로 입사하여 물입자 또는 수중에 포함된 미세입자들에 의해 후방 산란(backward-scattering)될 수 있다. 이미지 촬영 장치는 후방 산란 성분(130)(Backward Scattering Component, BSC)가 포함된 광을 수신할 수 있고, 이미지 촬영 장치는 후방 산란에 따라 흐릿하고 콘트라스트가 낮은 수중 이미지를 생성할 수 있다. 전방 산란 성분(120)은 피사체로부터 반사된 광을 흐리는 성분에 대응할 수 있고, 후방 산란 성분(130)은 피사체로부터 반사된 광을 숨기는 피사체 주변 광에 관한 성분에 대응할 수 있다.

[0027] 물에 의해 흡수된 광량은 빛의 파장(140)에 따라 변할 수 있고, 가시광선 중 파장이 짧은 청색, 녹색의 빛은 적색의 빛에 비해 더 깊이 물을 관통할 수 있다. 따라서, 수중에서 촬영된 이미지는 대부분 청색 또는 녹색으로 왜곡된 이미지일 수 있다.

[0028] 아울러, 수중 이미지 촬영 장치에서 생성된 이미지는 세가지 성분들로 구성될 수 있는데, 아래 수학식 1과 같이 표현될 수 있다.

수학식 1

$$I_c(\mathbf{x}) = J_c(\mathbf{x})t_c(\mathbf{x}) + J_c(\mathbf{x})t_c(\mathbf{x}) * g_c(\mathbf{x}) + B_c(1 - t_c(\mathbf{x}))$$

[0029]

[0030] 여기서 $I_c(\mathbf{x})$ 는 수중 이미지의 픽셀 $\mathbf{x}$ 에서 RGB 컬러 채널의 강도를 의미하고, $J_c(\mathbf{x})$ 는 픽셀 $\mathbf{x}$ 에서의 장면 복사(scene radiance) 값을 의미한다. $J_c(\mathbf{x})t_c(\mathbf{x})$ 는 직접 전송 성분으로, 전송에 의해 감소된 장면 복사 값을 지시하는 값일 수 있다.

[0031] $t_c(\mathbf{x})$ 는 전송 값으로, 수학식 2와 같이 표현될 수 있다.

수학식 2

$$t_c(\mathbf{x}) = e^{-\beta_c d(\mathbf{x})}$$

[0032]

[0033] 여기서 $d(\mathbf{x})$ 는 $\mathbf{x}$ 에서의 장면 거리(scene distance)이며 β_c 는 컬러 채널의 감쇠 계수일 수 있고, β_c 는 일정하다고 가정할 수 있다. 장면 거리는 이미지의 깊이(depth)일 수 있고, 이미지의 깊이는 이미지 촬영 장치와 피사체 간의 거리를 의미할 수 있다.

[0034] 수학식 1의 두 번째 항은 전방 산란 성분이며, 여기서 $g_c(\mathbf{x})$ 는 수학식 3과 같이 정의된 점 분산함수(point spread function)이다.

수학식 3

$$g_c(\mathbf{x}) = (e^{-G_c d(\mathbf{x})} - e^{-\beta_c d(\mathbf{x})}) \mathcal{F}^{-1} \{ e^{-q_c d(\mathbf{x})} \omega \}$$

[0035]

[0036] G_c 및 q_c 는 블러 아티팩트와 관련된 계수이며, 여기서 $|G_c| < |\beta_c|$ 일 수 있다. $\mathcal{F}^{-1}$ 는 역 푸리에 변환을 나타내고 ω 는 이미지 평면의 방사 주파수이다.

[0037] 수학식 1의 마지막 항은 광 채널 c 의 배경광인 B_c 를 포함하는 후방 산란 성분에 해당한다. 장면 복사 값은 수중 화면의 표면에서 반사된 광으로, 컬러 캐스트가 포함되어 주변 광에 의해 조명된 것일 수 있다. 백색광은 파장에 따라 다르게 감쇠됨에 따라, 컬러 캐스트는 태양 광이 물을 수직으로 통과 할 때 발생할 수 있다. 복원 장면 복사 값은 컬러 캐스트가 없는 장면 복사 값을 의미하며, 복원 장면 복사 값을 계산함에 따라 프로세서는 수중 이미지를 복원할 수 있다. 깊이는 픽셀에 걸쳐 일정하다고 가정하며, 장면 복사 값은 수학식 4로 표현 될 수 있다.

수학적식 4

$$J_c(\mathbf{x}) = T_c O_c(\mathbf{x})$$

[0038]

[0039] 여기서 T_c 는 c 채널에서 주변 광과 태양 광의 비율이며, 수면에서 $T_c = 1$ 일 수 있다. $O_c(x)$ 는 c 채널의 픽셀 x 에서의 복원 장면 복사 값일 수 있다.

[0041] 도 2는 일실시예에 따른 이미지 복원 방법을 도시한 흐름도이다.

[0042] 종래 수중 이미지의 품질 저하를 복원하거나 향상시키기 위한 수중 이미지 복원 방법은 직접 전송 성분, 전방 산란 성분 및 후방 산란 성분으로 구성된 수중 이미지 형성 모델(Underwater Image Formation Model, UIFM)에 기초하여 입력 이미지로부터 장면 복사 값을 복원하는 방법이었다. 그러나, 종래 방법의 대부분은 UIFM에서 전방 산란 성분을 무시하여 이미지를 복원하였고, 수중 이미지에서 흐릿한 아티팩트를 완전히 제거하는 데에는 제한된 결과를 제공하였다. 본 실시예에 따른 복원 방법은 기존 방법의 복원 방법에 비해 보다 안정적으로 수중 이미지 복원하는 방법에 관한 것이다.

[0043] 단계(210)에서, 프로세서는 적어도 하나의 배경 픽셀과 대상 픽셀 간의 측지선 거리를 계산할 수 있다. 배경 픽셀은 배경광과 유사한 컬러값을 갖는 픽셀들일 수 있고, 대상 픽셀은 전체 이미지에서 복원하고자 하는 대상이 되는 픽셀일 수 있다. 대상 픽셀은 하나의 픽셀일 수 있으나, 이에 국한되지 않고 복수개의 픽셀들이 하나의 그룹으로 구성된 단위 픽셀일 수 있다. 일실시예에 따르면, 프로세서가 전체 이미지에 대해 복원하고자 하는 경우, 이미지 내 전체 픽셀들을 하나씩 대상 픽셀로 선택함으로써, 전체 픽셀들의 복원 장면 복사 값을 산출할 수 있다.

[0044] 일실시예에 따르면, 프로세서는 배경광과 유사한 컬러값을 갖는 배경 픽셀은 복수개일 수 있고, 복수개의 배경 픽셀들과 대상 픽셀 간의 측지선 거리들 중 최단 거리를 계산할 수 있다. 최단 거리는, 예시적으로, 배경 픽셀들이 10개인 경우, 대상 픽셀과 10개의 배경 픽셀들 간의 10개의 측지선 거리 중 가장 작은 값을 갖는 거리를 의미할 수 있다. 프로세서는 계산된 최단 거리를 복수의 배경 픽셀들과 대상 픽셀 간의 측지선 거리로 결정할 수 있다.

[0045] 일실시예에 따르면, 프로세서가 배경 픽셀을 선정할 수 있고, 배경 픽셀은 배경광과 유사도가 임계치 이상인 광에 관한 픽셀들을 배경 픽셀로 선정할 수 있다. 프로세서는 컬러 값에 기반하여 유사도를 산출할 수 있으며, 배경광과 픽셀의 컬러 간의 유클리드 거리(Euclidean distance)에 기초하여 유사도를 계산할 수도 있다.

[0046] 단계(220)에서, 프로세서는 측지선 거리를 이용하여 대상 픽셀의 전송 값을 산출할 수 있다. 측지선 거리에 기초하여 대상 픽셀의 전송 값을 산출하는 것은 도 3 내지 도 5에서 후술한다.

[0047] 단계(230)에서, 프로세서는 전송 값에 기초하여 직접 전송 성분을 계산할 수 있다. 일실시예에 따르면, 프로세서는 입력된 이미지에서 후방 산란 성분을 제거하여 직접 전송 성분을 계산할 수 있다. 프로세서가 직접 전송 성분을 계산하는 것은 도 6에서 후술한다.

[0048] 단계(240)에서, 프로세서는 대상 픽셀의 직접 전송 성분을 이용하여 장면 복사 값을 산출할 수 있다. 프로세서가 장면 복사 값을 산출하는 것은 도 8에서 후술한다.

[0049] 단계(250)에서, 프로세서는 장면 복사 값으로부터 복원 장면 복사 값을 출력할 수 있다. 복원 장면 복사 값은 장면 복사 값으로부터 컬러 캐스트가 제거된 값으로서, 대상 픽셀의 복원 값이 될 수 있다. 프로세서가 복원 장면 복사 값을 계산하는 것은 도 9에서 후술한다.

[0050] 일실시예에 따르면, 프로세서는 측지선 거리에 기초하여 복원 장면 복사 값을 출력하는 것과 연관된 복수개의 파라미터들을 결정할 수 있다. 복수의 파라미터들을 포함하는 파라미터 세트는 비용함수의 출력값이 임계치 미만인 경우의 파라미터 세트일 수 있다. 다른 일실시예에 따르면, 파라미터 세트는 비용함수의 출력값이 최소가 되는 경우의 파라미터 세트일 수 있다. 프로세서가 파라미터 세트를 결정하는 것은 도 10 및 도 11에서 후술한다.

[0052] 도 3은 일실시예에 따른 배경 픽셀과의 측지선 거리를 측정하는 것을 도시한 도면이다.

[0053] 장면 거리는 배경 조명에서 각 배경 픽셀(331)의 색상까지의 측지선 거리에 반비례할 수 있다. 프로세서는 배

경 픽셀(331)과 대상 픽셀 사이의 측지선 거리를 계산할 수 있고, 그 후, 프로세서는 측지선 거리를 이용하여 제1 채널의 전송 값을 계산하고, 제2 채널과 제3 채널의 전송 값도 도 1의 파장간의 관계에 기초한 감쇠 계수의 비율로 계산할 수 있다. 제1 채널은 RGB 채널의 적색 채널, 녹색 채널, 및 청색 채널 중 하나의 채널일 수 있고, 제2 채널 및 제3 채널은 제1 채널과 구별되는 컬러에 관한 채널일 수 있다. 예시적으로, 제1 채널이 청색 채널인 경우, 프로세서는 제2 채널 및 제3 채널인 녹색 채널과 적색 채널의 전송 값을 청색 파장에 기초한 감쇠 계수의 비율로 계산할 수 있다. 프로세서는 감쇠 계수의 비율에 기초한 수학적 5로 제1 채널의 전송 값에 기초하여 나머지 채널의 전송 값을 계산할 수 있다.

수학적 5

$$t_c(\mathbf{x}) = e^{-\beta_c d(\mathbf{x})} = e^{-\gamma_c \beta_b d(\mathbf{x})} = t_b(\mathbf{x})^{\gamma_c}$$

[0054]

[0055] 먼저, 프로세서는 배경광 B [Br, Bg, Bb]를 추정하고, SLIC을 이용하여 배경광 B의 컬러와 평균 컬러의 유클리드 거리가 1 % 이하로 낮아 유사도가 높은 픽셀들을 배경 픽셀(331)로 결정할 수 있다. 프로세서가 배경 픽셀(331)을 결정한 후, 배경 픽셀(331)과 대상 픽셀들 사이의 측지선 거리를 계산할 수 있다. 배경 픽셀(331)과 대상 픽셀 사이의 측지선 거리 $\mathcal{D}(\mathbf{p})$ 는 수학적 6과 같다.

수학적 6

$$\mathcal{D}(\mathbf{p}) = \min_{\mathbf{q} \in B} \mathcal{G}(\mathbf{p}, \mathbf{q})$$

[0056]

[0057] 여기서 $\mathcal{G}(\mathbf{p}, \mathbf{q})$ 는 대상 픽셀 p와 배경 픽셀(331) q 사이의 측지선 거리일 수 있다. 대상 픽셀과 배경 픽셀 사이의 측지선 거리는 픽셀 사이의 복수개의 경로에서 누적된 컬러 값 차이의 최소값일 수 있다. 대상 픽셀과 배경 픽셀 사이에는 복수개의 경로가 있을 수 있고, 프로세서는 경로 상의 픽셀들 사이의 컬러 값 차이를 추출할 수 있다. 그 후, 프로세서는 복수개의 경로들 각각에 대해 컬러 값 차이들을 합산하고, 합산된 결과들 중 최소 값을 측지선 거리로 결정할 수 있다.

[0058] 예시적으로, 프로세서는 대상 픽셀p의 평균 컬러값 C(p)에 대해 대상 픽셀과 배경 픽셀간의 측지선 거리는 대상 픽셀과 배경 픽셀을 연결하는 모든 경로에서, 해당 경로 내 인접한 픽셀들 간의 컬러 값 차이를 합산할 수 있다. 즉, p - p1 - p2 - q 라는 경로가 있다면, 프로세서는 |C(p)-C(p1)| + |C(p1)-C(p2)| + |C(p2)-C(q)|를 계산할 수 있고, 이와 같이 복수개의 경로에 대한 컬러 값 차이의 누적 값을 산출하여 이중 최소값을 측지선 거리로 결정할 수 있다.

[0059] 일실시에에 따르면, 배경 픽셀(331)은 적어도 하나의 픽셀일 수 있는데, 배경 픽셀(331)이 복수개의 픽셀들로 구성된 경우, 프로세서는 복수개의 배경 픽셀(331)들과 대상 픽셀 간의 복수개의 측지선 거리들 중 최단 거리를 측지선 거리로 결정할 수 있다. d(p)를 p의 픽셀의 평균 장면 거리라고 하면, 도 320, 330에 도시된 바와 같이, $\mathcal{D}(\bar{\mathbf{p}})$ 의 낮은 값은 반대로 높은 d(p)의 값을 의미할 수 있다.

[0061] 도 4는 일실시에에 따라 배경 픽셀과의 측지선 거리와 실제 거리의 관계를 도시한 그래프이다.

[0062] d(p)가 무한대로 발산하면 $\mathcal{D}(\bar{\mathbf{p}})$ 는 0이 될 수 있고, d(p)의 최소값은 $\mathcal{D}(\bar{\mathbf{p}})$ 의 최대값을 의미할 수 있다. 즉, 장면 거리 d(p)는 측지선 거리 $\mathcal{D}(\bar{\mathbf{p}})$ 에 반비례할 수 있고, 수학적 7로 표현할 수 있다.

수학식 7

$$d(\mathbf{p}) = \frac{\tau}{(\mathcal{D}(\mathbf{p}))^\delta}$$

[0063]

[0064] 여기서 $\tau, \delta > 0$ 일 수 있다. 그래프(400)는 각 이미지에서 0이 아닌 $\mathcal{D}(\mathbf{p})$ 와 유효한 $d(\mathbf{p})$ 가 매핑되고, RANSAC 알고리즘을 사용하여 (τ, δ) 쌍을 산출하여 매핑 값들과 가장 유사하게 추정된 그래프일 수 있다. 그래프(400)에 따르면 장면 거리와 측지선 거리는 반비례 관계가 있음을 확인할 수 있다. 전체 픽셀들에 있어서 배경광이 불균일하거나 $\mathcal{B}$ 가 피사체로 둘러싸인 경우, 픽셀들의 $\mathcal{D}(\mathbf{p})$ 는 높을 수 있다. 그럼에도 불구하고 수중 이미지를 복원하는데 있어서 수학식 6의 공식은 대부분의 수중 이미지에 적합할 수 있다.

[0066]

도 5는 일실시예에 따라 전체 픽셀들의 전송 값을 추정하는 과정 및 결과를 도시한 도면이다.

[0067]

프로세서는 상기 측지선 거리를 이용하여 상기 대상 픽셀의 전송 값을 산출할 수 있다. 대상 픽셀의 전송 값은 수학식 2에 수학식 7을 대입하여 수학식 8로 표현될 수 있다.

수학식 8

$$\hat{t}_b(\mathbf{x}) = e^{-\beta_b d(\mathbf{p})} = (\alpha)^{1/(\mathcal{D}(\mathbf{p}))^\delta}, \quad \mathbf{x} \in \mathbf{p}$$

[0068]

[0069] 여기서, $\alpha = e^{-\beta_b \tau}$ 일 수 있다. 다음으로, c채널과 제1 채널 사이의 감쇠 계수 비율을 사용하여 c채널의 전송 값을 추정할 수 있다. 초기 전송 값 t_c 은 수학식 9와 같이 산출될 수 있다.

수학식 9

$$\hat{t}_c(\mathbf{x}) = e^{-\beta_c d(\mathbf{x})} = e^{-\gamma_c \beta_b d(\mathbf{x})} = \hat{t}_b(\mathbf{x})^{\gamma_c}$$

[0070]

[0071] 측지선 거리가 각 대상 픽셀에 대해 계산되기 때문에, $\hat{t}_c(\mathbf{x})$ 는 도 520과 같이 두 개의 인접한 대상 픽셀의 경계에서 불연속성이 생성될 수 있다. 따라서 프로세서는 입력 이미지(510)를 가이드로 하여 $\hat{t}_c(\mathbf{x})$ 에 가이드 이미지 필터를 적용할 수 있다. 가이드 이미지 필터가 적용되면, 프로세서는 객체의 가장자리를 제외하고 매끄러운 최종 전송 값 $t_c(\mathbf{x})$ 를 계산할 수 있다. 대상 픽셀들의 전송 값을 이용하여 추정된 전송맵은 530 및 540에 도시되어 있다. 대상 픽셀의 측지선 거리를 사용하여, 초기 전송맵은 530에 도시되어 있고, 그 후 가이드 이미지 필터에 의해 평활화된 전송맵은 540에 도시되어 있다. 이미지 촬영 장치로부터 멀리 떨어진 물은 투과율이 매우 낮은 반면, 카메라와 가까운 바닥이나 피사체는 투과율이 높을 수 있다. 결과적으로, 프로세서는 측지선 거리를 이용하여 초기 전송 값을 계산하고, 가이드 이미지 필터를 이용하여 대상 픽셀의 전송 값이 정확하게 산출할 수 있다.

[0073]

도 6은 일실시예에 따라 후방 산란 성분이 제거된 이미지를 도시한 도면이다.

[0074]

수학식 1은 장면 복사 값 $J_c(\mathbf{x})$ 과 연관된 장면 레이어(scene layer)의 수학식 10와 후방 산란과 연관된 후방 산란 레이어(backscattering layer)의 수학식 11으로 구분될 수 있다.

수학식 10

[0075]

$$S_c(\mathbf{x}) = J_c(\mathbf{x})t_c(\mathbf{x}) + J_c(\mathbf{x})t_c(\mathbf{x}) * g_c(\mathbf{x})$$

수학식 11

[0076]

$$V_c(\mathbf{x}) = B_c(1 - t_c(\mathbf{x}))$$

[0077]

수학식 10과 같이, 장면 레이어는 약화된 장면 복사 값과 직접 전송 성분과 약화되고 흐릿한 전방 산란 성분을 포함할 수 있다.

[0078]

먼저, 프로세서는 입력 이미지(610)를 장면 레이어 $S_c(\mathbf{x})$ (630)와 후방 산란 레이어 $V_c(\mathbf{x})$ (620)로 구분할 수 있다. 그리고 프로세서는 수학식 8에 따라 점분산함수인 $g_c(\mathbf{x})$ 를 추정하여 $S_c(\mathbf{x})$ 에서 직접 전송 성분 레이어인 $D_c(\mathbf{x})$ 를 추출할 수 있다. 점 분산 함수는 장면 거리에 따라 달라질 수 있으며, 수학식 3에 정의된 대로 대상 픽셀들에 따라 다른 값을 가질 수 있다. 이전에는 수학식 3의 가중치인 $e^{-G_c d(\mathbf{x})} = e^{-\beta_c d(\mathbf{x})}$ 가 상수 취급되었다. 그러나, 후술하는 방법에 따라, 프로세서는 대상 픽셀의 전송 값을 사용하여 점 분산 함수를 추정할 수 있다. 구체적으로, 수학식 12를 통해 점 분산 함수가 계산될 수 있다.

수학식 12

[0079]

$$g_c(\mathbf{x}) = (t_c(\mathbf{x})^{\eta_c} - t_c(\mathbf{x}))\mathcal{F}^{-1}\{t_c(\mathbf{x})^{\nu_c\omega}\}$$

[0080]

여기서, $|G_c| < |\beta_c|$ 이므로, $\eta_c = \frac{G_c}{\beta_c} \in (0, 1)$ 이고, $\nu_c = \frac{g_c}{\beta_c} > 0$ 일 수 있다. η_c 값은 물의 탁도(turbidity)와 관련이 있을 수 있고, 깨끗한 물에서는 큰 값을 가지면, 탁한 물에서는 작은 값을 가질 수 있다. $\eta_c = 1$ 이면, 대부분의 기존 방법에서와 같이 전방 산란 요소가 무시될 수 있다.

[0081]

식을 단순화하기 위해 수학식 12의 $t_c(\mathbf{x})$ 가 전체 이미지에 대해 군집화된 복수개의 군집들에서 일정하고 η_c 와 ν_c 가 모든 채널들에서 일정하다고 가정할 수 있다. c 채널에서 대상 픽셀들의 평균 전송 값이 $\bar{t}_c$ 로 설정되면 프로세서는 직접 전송 성분을 장면 레이어 $S_c(\mathbf{x})$ 와 이미지 전체 픽셀들의 평균 전송 값을 이용하여 계산할 수 있다. 구체적으로, 직접 전송 성분은 수학식 13로 정의될 수 있다.

수학식 13

[0082]

$$D_c(\mathbf{x}) = \mathcal{F}^{-1}\left\{\frac{\mathcal{F}\{S_c(\mathbf{x})\}}{1 + ((\bar{t}_c)^{\eta} - \bar{t}_c) \cdot (\bar{t}_c)^{\nu\omega}}\right\}$$

[0083]

일실시예에 따르면, 프로세서는 평균 전송 값은 대상 픽셀들을 복수개의 군집으로 군집화함으로써, 서로 다른 군집들에 대해 구별되는 평균 전송 값을 산출할 수 있다. 서로 다른 군집들에 대한 평균 전송 값을 산출하는 것은 도 7을 통해 후술한다.

[0084] 직접 전송 성분을 이용하여 장면 복사 값 $J_c(\mathbf{x})$ 이 산출될 수 있는데, 직접 전송 성분은 대상 픽셀의 전송 값과 ϵ_c 중 더 큰 값을 나눈 값일 수 있다. 구체적으로, 장면 복사 값은 수학식 14로 정의될 수 있다.

수학식 14

$$J_c(\mathbf{x}) = \frac{D_c(\mathbf{x})}{\max(t_c(\mathbf{x}), \epsilon_c)}, \quad \epsilon_c = (\epsilon_b)^{\gamma_c}$$

[0087] 도 7은 일실시예에 따라 전체 픽셀들을 복수개의 군집으로 군집화하는 것을 도시한 도면이다.

[0088] 일실시예에 따르면, 프로세서는 평균 전송 값은 대상 픽셀들을 복수개의 군집으로 군집화함으로써, 군집 전송 값으로 서로 다른 군집들에 대해 구별되는 평균 전송 값을 산출할 수 있다. 프로세서는 대상 픽셀이 포함된 군집의 군집 전송 값에 기초한 군집별 가중치를 대상 픽셀에 적용하여 대상 픽셀의 직접 전송 성분을 계산할 수 있다. 예시적으로, 프로세서는 도 7의 730과 같이 전체 픽셀들에 대해 3개의 군집으로 군집화할 수 있고, 각각의 군집들의 픽셀들에 대하여 군집 전송 값을 계산할 수 있다. 프로세서는 K-mean 알고리즘을 이용하여 복수의 픽셀들을 k개의 군집으로 군집화할 수 있다. 그 후, 프로세서는 직접 전송 성분을 산출하고자 하는 대상 픽셀이 어느 군집에 포함되어 있는지 판단할 수 있고, 해당 군집의 군집 전송 값에 기초한 가중치를 대상 픽셀에 적용하여 대상 픽셀의 직접 전송 성분을 계산할 수 있다. 직접 전송 성분을 계산하는 것은 도 6에서 선술하였으므로 자세한 과정은 생략한다. 군집별 직접 전송 성분은 수학식 15로 표현될 수 있다.

수학식 15

$$D_c^k(\mathbf{x}) = \mathcal{F}^{-1} \left\{ \frac{\mathcal{F}\{S_c(\mathbf{x})\}}{1 + ((\bar{t}_c^k)^\eta - \bar{t}_c^k) \cdot (\bar{t}_c^k)^{\nu\omega}} \right\}$$

[0090] 여기서, $D_c^k(\mathbf{x})$ 는 k번째 군집의 직접 전송 성분이고, $\bar{t}_c^k$ 는 k번째 군집의 군집 전송 값이다. 프로세서는 K번째 군집을 포함한 전체 군집들에 포함된 픽셀들의 직접 전송 요소 값을 각각 계산할 수 있다.

[0091] 일실시예에 따르면, 프로세서는 군집별로 구별되는 가중치를 적용하여 전체 직접 전송 요소를 계산할 수 있는데, 가중치는 군집 전송 값을 포함하여 수학식 16로 표현될 수 있다.

수학식 16

$$W^k(\mathbf{x}) = e^{-\frac{\|t_b(\mathbf{x}) - \bar{t}_b^k\|_2^2}{\kappa_1}}$$

[0093] 여기서, κ_1 은 전체 직접 전송 요소의 평활도(smoothness)를 의미할 수 있다. 군집별로 구별되는 가중치를 적용하여 모든 픽셀에 대한 직접 전송 요소를 계산하는 것은 수학식 17와 같이 표현될 수 있다.

수학식 17

$$D_c(\mathbf{x}) = \frac{\sum_k W^k(\mathbf{x}) D_c^k(\mathbf{x})}{\sum_k W^k(\mathbf{x})}$$

[0094]

[0095] 도 7은 이미지 촬영 장치로부터 촬영된 이미지(710), 후방 산란 성분을 제거한 장면 레이어 이미지(720), Red, Green, Blue 컬러로 구분되어 표시된 군집 이미지(730), 및 이에 따라 추출된 직접 전송 성분 이미지(740)을 표현한 도면이다.

[0097] 도 8은 일실시예에 따라 장면 복사 값을 산출한 결과를 도시한 도면이다.

[0098] 수학식 1에 따르면, 직접 전송 성분은 장면 복사와 전송 값의 곱으로 이루어져, 프로세서가 장면 복사를 계산하기 위해서는 직접 전송 성분에 전송 값을 나눌 수 있는데, 일실시예에 따르면 수학식 11과 같이 전송 값과 ϵ_c 중 더 큰 값으로 나누어 장면 복사를 계산할 수 있다.

[0099] 장면 거리를 따라 수학식 8에서 c채널과 제1 채널 사이의 관계를 유지하기 위해 전송 값의 하한이 사용될 수 있다. ϵ_c 이 작은 경우 대상 픽셀의 장면 복사 값이 1보다 커, 표현할 수 있는 한계를 넘어 정보 손실이 발생할 수 있고, ϵ_c 이 큰 경우, 대비 향상이 제한될 수 있다. $\epsilon_c = 0.1$ 로 설정된 경우, 주변 광은 일정하다고 가정하므로 장면 거리에 관계없이 동일한 객체의 색상은 동일해야 한다. 도 8의 820, 803과 같이 하한 값을 사용함으로써, 장면 복사의 근경과 원경에서의 컬러 값은 유사하게 될 수 있다.

[0100] 도 8은 이미지 촬영 장치로부터 촬영된 이미지(810), $\epsilon_c = \epsilon_c$ 인 경우 장면 복사와 관련된 이미지(820), $\epsilon_c = (\epsilon_b)^{\gamma_c}$ 인 경우 장면 복사와 관련된 이미지를(830)로 구성될 수 있다.

[0102] 도 9는 일실시예에 따라 복원 장면 복사 값을 계산한 결과를 도시한 도면이다.

[0103] 일실시예에 따르면, 프로세서는 장면 복사 값으로부터 컬러 캐스트를 제거함으로써 대상 픽셀에 대한 복원 장면 복사 값을 출력할 수 있다. 우리는 Gray world 가정에 기초하여 대상 픽셀의 장면 복사의 양의 값을 평균하여 c채널의 주변 광을 A_c 로 추정할 수 있다. 프로세서는 채널에 대한 A_c 의 평균을 A_w 로 산출하면 복원 장면 복사가 수학식 18로 계산될 수 있다.

수학식 18

$$O_c(\mathbf{x}) = \frac{A_w}{A_c} J_c(\mathbf{x})$$

[0104]

[0105] 도 9는 이미지 촬영 장치로부터 촬영된 이미지(910), 장면 복사와 관련된 이미지(920), 및 장면 복사로부터 산출된 복원 장면 복사에 관련된 이미지(930)으로 구성될 수 있다.

[0107] 도 10은 일실시예에 따라 공간 관련 함수에 기초하여 이미지를 복원한 결과를 도시한 도면이다.

[0108] 복원 장면 복사를 추정하는 프로세서는 전송 값 및 전방 산란 성분에 의해 성능이 결정될 수 있는데, 이는 상술한 수학식들의 $\alpha, \delta, \gamma_r, \gamma_g, \eta, \nu$ 파라미터 세트들의 값에 의해 결정될 수 있다. 파라미터 세트를 $\Theta = [\alpha, \delta, \gamma_r, \gamma_g, \eta, \nu]$ 라 하면, 최적의 파라미터 세트는 흐림, 색상 왜곡 및 낮은 명암비와 같은 품질 저하가 최소화되는 복원 장면 복사와 관련된 이미지를 제공할 수 있다. 최적의 파라미터 세트는 탁도 또는 물 유형과 같은 입력 이미지의 캡처 상황에 따라 달라질 수 있다. 프로세서는 최적의 파라미터 세트를 결정하기 위해 비용함수를 이용할 수 있다.

[0109] 일실시예에 따르면, 프로세서는 최적의 파라미터 세트를 결정하기 위해 선명도(sharpness) 함수, 정보 손실(information loss) 함수, 및 공간 관련 함수를 포함하는 비용함수를 이용할 수 있다. 일실시예에 따른 비용함수는 수학적식 19과 같다.

수학적식 19

$$E(\Theta) = -E_{\text{sharp}}(\Theta) + \lambda_1 E_{\text{info}}(\Theta) + \lambda_2 E_{\text{void}}(\Theta)$$

[0111] 여기서, 비용함수의 첫째항이 선명도 함수, 둘째항이 정보 손실 함수, 셋째항이 공간 관련 함수일 수 있다. 프로세서는 각 항의 함수에 서로 구별되는 가중치를 적용하여 합산한 결과를 비용함수 결과 값으로 산출할 수 있다.

[0112] 선명도 함수는 추정된 복원 장면 복사 값 및 장면 복사 값 중 하나를 이용할 수 있고, 수학적식 20으로 나타낼 수 있다.

수학적식 20

$$E_{\text{sharp}}(\Theta) = \frac{1}{|\mathbf{x}|} \sum_c \sum_{\mathbf{x}} \|\nabla O_c^\Theta(\mathbf{x})\|_2$$

[0114] 여기서 $|\mathbf{x}|$ 는 픽셀의 개수이고, ∇ 는 그라디언트 연산자, $O_c^\Theta(\mathbf{x})$ 는 픽셀 $\mathbf{x}$ 에서 파라미터 세트를 이용하여 추정된 복원 장면 복사의 강도를 의미할 수 있다. 피사체로부터 이미지 촬영 장치까지 광이 전달되는 중에는 장면 복사가 감쇄되고 흐려질 수 있고, 장면 복사는 안개로 덮여 있을 수 있다. 광산란으로 인한 모든 품질 저하 요인은 $E_{\text{sharp}}(\Theta)$ 를 감소시키게 할 수 있다. 한편, 수학적식 14를 통해 추정된 복원 장면 복사 값이 커지게 되면, $O_c^\Theta(\mathbf{x})$ 는 [0, 1]을 벗어나 복원 장면 복사의 정보 손실을 초래할 수 있다. 이러한 정보 손실을 방지하기 위해, 수학적식 19의 둘째항 정보 손실 함수를 이용할 수 있다. 정보 손실 함수는 추정된 복원 장면 복사 값에 기초하여 수학적식 21로 나타낼 수 있다.

수학적식 21

$$E_{\text{info}}(\Theta) = \frac{1}{|\mathbf{x}|} \sum_c \sum_{\mathbf{x}} \{ \min(O_c^\Theta(\mathbf{x}), 0) + \max(O_c^\Theta(\mathbf{x}) - 1, 0) \}^2$$

[0116] 선명도 함수와 정보 손실 함수의 조합은 정보 손실을 최소화하면서 추정된 복원 장면 복사의 선명도와 대비를 최대화할 수 있다.

[0117] 그러나 후방 산란 성분의 그라디언트 값은 선명도 함수의 결과값을 증가시킬 수 있고, 따라서 선명도 함수와 정보 손실 함수의 조합은 도 10과 같이 배경 영역을 제외한 먼 지역에 후방 산란 성분이 남는 문제가 발생할 수 있다. 후방 산란 성분이 남는 것은 원경에서 높은 전송 값을 의미하기 때문에 후방 산란 성분이 없는 복원 장면 복사를 추정하는 것은 신뢰할 수 있는 전송 값을 추정하는 것과 동일할 수 있다. 즉, 후방 산란 성분이 제거되지 않는 것은 파라미터 세트가 최적이지 아닐 때 발생할 수 있다.

[0118] 후방 산란 성분을 제거하는 측면에서 파라미터 세트를 최적화하기 위해, 프로세서는 공간 관련 함수를 이용하여 최적의 파라미터 세트를 결정할 수 있다. 수중 이미지에서 무한히 먼 곳으로부터 전송된 장면 복사는 물에 완전히 흡수되어 장면 복사가 존재하지 않을 수 있다. 따라서 프로세서는 후방 산란 성분만 있는 픽셀들을 빈 공간, 즉 $O_c(\mathbf{x})=0$ 으로 가정할 수 있다.

[0119] 후방 산란 성분만 있는 픽셀의 전송 값은 0과 동일하고, 이는 $d(x)$ 가 무한대임을 의미할 수 있다. $d(p)$ 가 무한대이면, $\mathcal{D}(p)$ 는 0으로 수렴함을 의미할 수 있다. 따라서 $\mathcal{D}(p)$ 가 0으로 수렴하면, 추정된 백색 장면 라디언스 값은 0으로 수렴할 수 있다. 이 경우 해당 대상 픽셀 p 가 배경 영역에 포함된 경우 빈 공간(void space)이라 가정하고, $\mathcal{D}$ 값이 작은 픽셀도 빈 공간에 포함될 가능성이 높다고 판단될 수 있다. 이를 바탕으로 가중치 맵 $W(x)$ 를 측지선 거리에 기초하여 수학식 22로 정의할 수 있다.

수학식 22

[0120]

$$W(\mathbf{x}) = e^{-\frac{(\mathcal{D}(\mathbf{p}))^2}{\kappa}}$$

[0121] 여기서, κ 값은 빈 공간의 유효 영역을 제어하는 변수일 수 있다. 다음으로, 빈 공간으로 분류된 픽셀의 추정된 복원 장면 복사 값은 0이어야 하며, 어떤 채널에서도 양수 또는 음수가 아니어야 하므로 모든 채널에서의 추정된 복원 장면 복사 값의 절대값을 수학식 23과 같이 $\mathcal{V}(x)$ 로 정의할 수 있다.

수학식 23

[0122]

$$\mathcal{V}(\mathbf{x}) = \max_c |O_c^\Theta(\mathbf{x})|$$

[0123] 수학식 23을 통해 프로세서는 공간 관련 함수를 수학식 24와 같이 계산할 수 있다.

수학식 24

[0124]

$$E_{\text{void}}(\Theta) = \frac{\sum_{\mathbf{x}} F(\mathbf{x}) \mathcal{V}(\mathbf{x})}{\sum_{\mathbf{x}} F(\mathbf{x})}$$

[0125] 여기서, $F(x)$ 는 측지선 거리에 기초하여 수학식 25로 나타낼 수 있다.

수학식 25

[0126]

$$F(\mathbf{x}) = e^{-\frac{(\mathcal{D}(\mathbf{p}))^2}{\kappa_2}}, \quad \mathbf{x} \in \mathbf{p},$$

[0127] 프로세서는 수학식 20의 선명도 함수 및 수학식 21의 정보 손실 함수와 함께 수학식 24의 공간 관련 함수를 함께 고려함으로써, 추정된 복원 장면 복사는 후방 산란 성분이 제거되지 않는 것을 방지할 수 있고, 프로세서는 추정된 전송 값을 이용하여 도 10에 도시된 바와 같이 더욱 향상된 품질의 이미지를 출력시킬 수 있다.

[0128] 도 10은 이미지 촬영 장치로 촬영된 이미지(1010), 배경 픽셀이 적색으로 표시된 측지선 거리에 관한 이미지(1020), 및 가중치에 관한 이미지(1030)를 포함할 수 있다. 아울러, 도 10은 빈 공간을 고려하지 않고 추정된 전송 값에 관한 이미지(1040), 빈 공간을 고려하여 추정된 전송 값에 관한 이미지(1050)를 포함할 수 있고, 빈 공간을 고려하지 않고 추정된 복원 장면 복사에 관한 이미지(1060), 빈 공간을 고려하여 추정된 복원 장면 복사에 관한 이미지(1070)를 포함할 수 있다.

[0130] 도 11은 일실시예에 따라 비용함수 결과에 따라 결정된 파라미터 세트가 적용되어 복원된 이미지를 도시한 도면

이다.

[0131] 일실시예에 따르면, 프로세서는 임시 파라미터 세트를 도 10에서 선술한 비용함수로 입력하여, 비용함수의 출력 값이 임계치 미만인 되는 임시 파라미터 세트를 최종 파라미터 세트로 결정할 수 있다. 프로세서는 임시 파라미터 세트 Θ^0 를 비용함수에 입력하고, 비용함수에 따라 이전 횟수S-1번째에서 결정된 파라미터 세트를 다시 비용함수에 입력한 후, 출력되는 S번째의 비용함수의 결과값이 최소가 되는지 여부를 최대 임계횟수 $S_{\max}$ 까지 반복적으로 계산할 수 있다. 구체적으로, 프로세서는 Algorithm1 을 통해 최적의 파라미터 세트를 결정할 수 있다.

Algorithm 1 Optimal Parameter Estimation

```

1: Initialization of  $\Theta^0$ 
2:  $s = 1$ 
3: while  $s < s_{\max}$  do
4:    $\theta_1^s \leftarrow \arg \min_{\theta} E([\theta, \theta_2^{s-1}, \theta_3^{s-1}])$ 
5:    $\theta_2^s \leftarrow \arg \min_{\theta} E([\theta_1^s, \theta, \theta_3^{s-1}])$ 
6:    $\theta_3^s \leftarrow \arg \min_{\theta} E([\theta_1^s, \theta_2^s, \theta])$ 
7:    $\Theta^s \leftarrow [\theta_1^s, \theta_2^s, \theta_3^s]$ 
8:   if  $\|\Theta^s - \Theta^{s-1}\|_2 < \varepsilon$  then
9:      $\Theta^* \leftarrow \Theta^s$ 
10:    break
11:  else
12:     $s \leftarrow s + 1$ 

```

[0132]

[0133] 일실시예에 따르면, 프로세서는 NM 심플렉스 검색 알고리즘(Nelder-Mead simplex search algorithm)과 대체 최적화(AO, Alternative Optimization)를 사용하여 비용함수를 최소화 할 수 있는 파라미터 세트를 검색할 수 있다. 먼저 프로세서는 랜덤 변수(random variable)인 임시 파라미터 세트에 대해 평균값을 μ , 표준편차를 σ 로 가정한 절단 정규 분포(truncated normal distribution) $\mathcal{N}_{\theta}(\mu, \sigma^2)$ 로 가정할 수 있다. 정규 분포의 범위는 임시 파라미터 세트의 유효 범위에 상응할 수 있다. 임시 파라미터 세트는 모두 양수이고 $\alpha, \eta < 1$ 일 수 있다. 모든 이미지에 대해 피팅된 δ 가 1보다 작을 수 있고, 프로세서는 측정된 Jerlov 물 타입의 γ_r 와 γ_g 에 대해 유효 범위를 설정할 수 있다.

[0134] 알고리즘은 수학식 26에 따라 수렴성이 보장됨을 확인할 수 있다.

수학식 26

[0135]
$$E(\Theta^{s-1}) \geq E([\theta_1^s, \theta_2^{s-1}, \theta_3^{s-1}]) \geq E([\theta_1^s, \theta_2^s, \theta_3^{s-1}]) \geq E(\Theta^s)$$

[0136] 다음으로 프로세서는 임시 파라미터 세트를 $\theta_1 = [\alpha, \delta]$, $\theta_2 = [\gamma_r, \gamma_g]$, and $\theta_3 = [\eta, \nu]$ 의 세 그룹으로 분할시킬 수 있다. 각 그룹은 각각 전송 값을 계산하기 위한 그룹, 전송 감쇄 비율에 관한 그룹, 점 분산 함수에 관한 그룹일 수 있다. 그후, 프로세서는 대체 최적화에 따라 θ_2 및 θ_3 를 고정시키고, NM 알고리즘을 사용하여 θ_1 의 최적 값을 검색하고, θ_2 외의 다른 그룹을 고정시킨 후, NM 알고리즘을 사용하여 θ_2 의 최적 값을 검색할 수 있다. 이와 같은 방법으로, 프로세서는 반복적으로 파라미터 세트를 구성하는 θ_1^s , θ_2^s 및 θ_3^s 의 최적 값을 검색할 수 있다.

[0137] 도 11은 이미지 촬영 장치에 의해 촬영된 이미지(1110), s=1에서 Algorithm 1의 4번째 줄의 복원 장면 복사와

관련된 이미지(1120), s=1에서 Algorithm 1의 4번째 줄의 복원 장면 복사와 관련된 이미지(1130)을 포함할 수 있다. 아울러, 도 11은 최적화된 θ_1 에 따른 복원 장면 복사와 관련된 이미지(1140), 최적화된 θ_2 에 따른 복원 장면 복사와 관련된 이미지(1150), 및 최종 파라미터 세트에 따른 복원 장면 복사와 관련된 이미지(1160)을 포함할 수 있다.

[0139] 도 12는 일실시예에 따라 프로세서가 입력된 수중 이미지를 복원한 결과들을 도시한 도면이다.

[0140] 도 12는 선술하였던 프로세스에 따라 출력되는 이미지들을 도시한 것으로, 이미지 촬영 장치에 의해 촬영된 이미지(1210)을 포함할 수 있다. 또한, 도 12는 픽셀들의 전송 값들에 관한 이미지(1220), 후방 산란 성분들에 관한 이미지(1230), 후방 산란 성분들이 제거된 이미지(1240), 추출된 직접 전송 성분에 관한 이미지(1250), 장면 복사에 관한 이미지(1260), 및 복원 장면 복사에 관한 이미지(1270)을 포함하고 있다.

[0142] 도 13은 일실시예에 따른 이미지 복원 장치의 개괄적인 구성을 도시한 블록도이다.

[0143] 이미지 복원 장치(1300)는 프로세서(1310) 및 메모리(1320)를 포함할 수 있고, 프로세서(1310)는 이미지 전달부(1330)로부터 이미지를 수신하여 적어도 하나의 배경 픽셀과 대상 픽셀 간의 측지선 거리를 계산할 수 있다. 아울러, 프로세서(1310)는 측지선 거리를 이용하여 대상 픽셀의 전송 값을 산출하며, 대상 픽셀의 전송 값에 기초하여 직접 전송 성분을 계산하고, 대상 픽셀의 직접 전송 성분을 이용하여 장면 복사 값을 산출하며, 장면 복사 값으로부터 컬러 캐스트(colour cast)를 제거함으로써 복원 장면 복사 값을 출력할 수 있다. 프로세서(1310)의 동작에 대해서는 앞서 도 1 내지 도 12를 통해 선술하였으므로, 자세한 설명은 생략한다.

[0144] 메모리(1320)는 적어도 일시적으로 프로세서(1310)에 의해 출력된 데이터를 저장할 수 있다. 프로세서(1310)에 의해 출력된 데이터는 배경 픽셀과 대상 픽셀 간의 측지선 거리, 전송 값, 직접 전송 성분, 장면 복사 값, 및 복원 장면 복사 값을 포함할 수 있다. 아울러, 메모리(1320)는 비용함수에 따라 결정된 파라미터 세트를 저장하고 있으며, 프로세서(1310)는 파라미터 세트들을 이용하여 이미지 복원을 수행할 수 있다.

[0146] 이상에서 설명된 실시예들은 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치, 방법 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.

[0147] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(signal wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(embodiment)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

[0148] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하

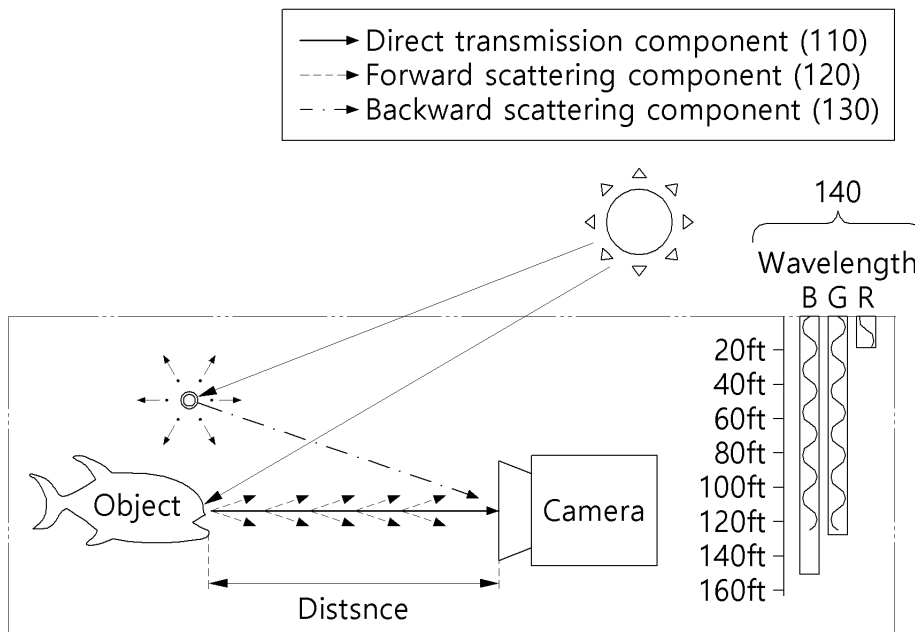
록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0149]

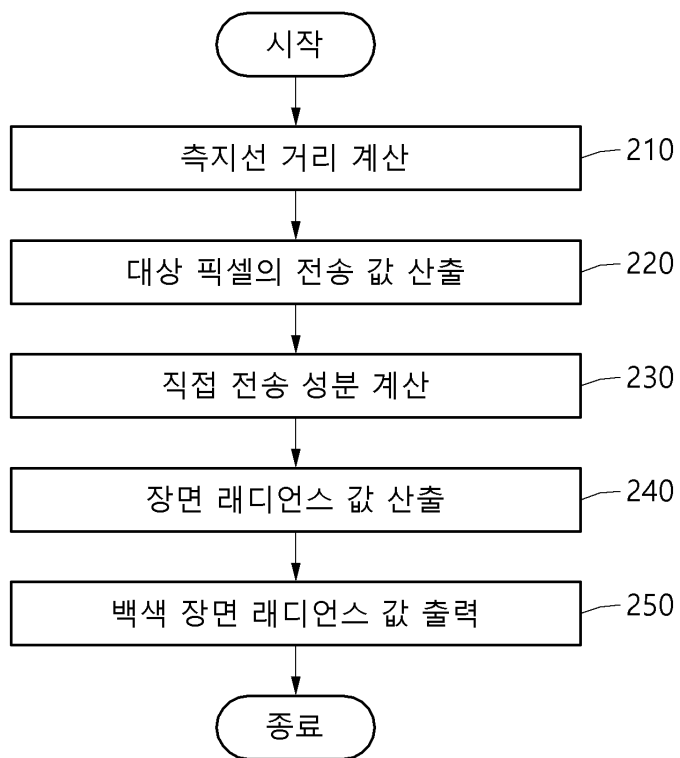
이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기를 기초로 다양한 기술적 수정 및 변형을 적용할 수 있다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

도면

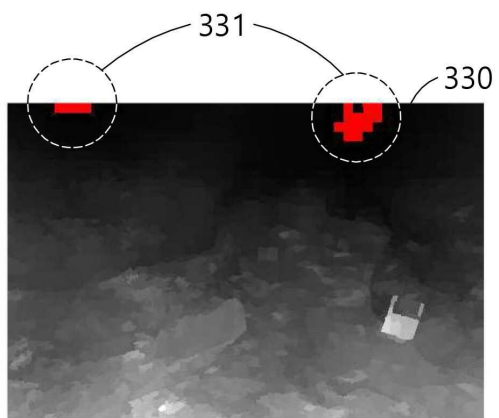
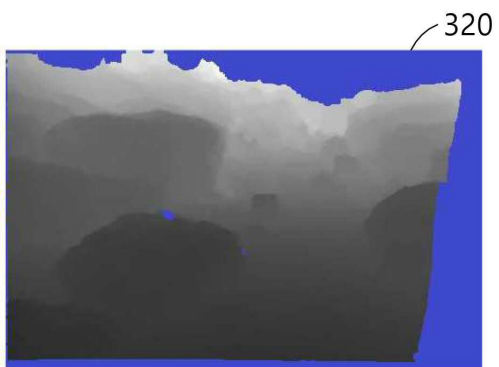
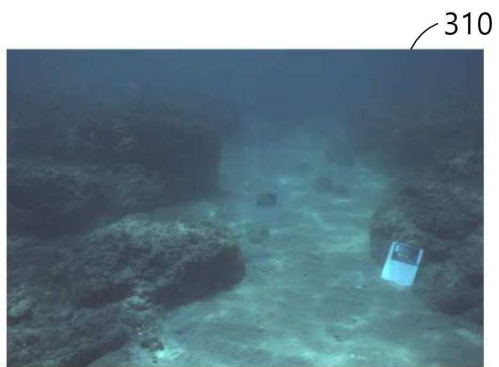
도면1



도면2

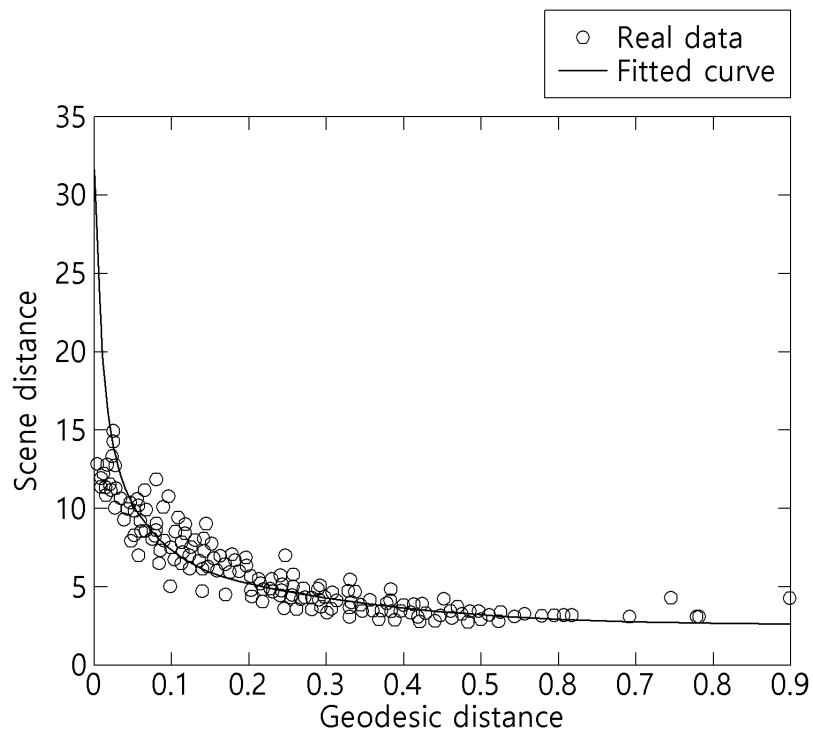


도면3

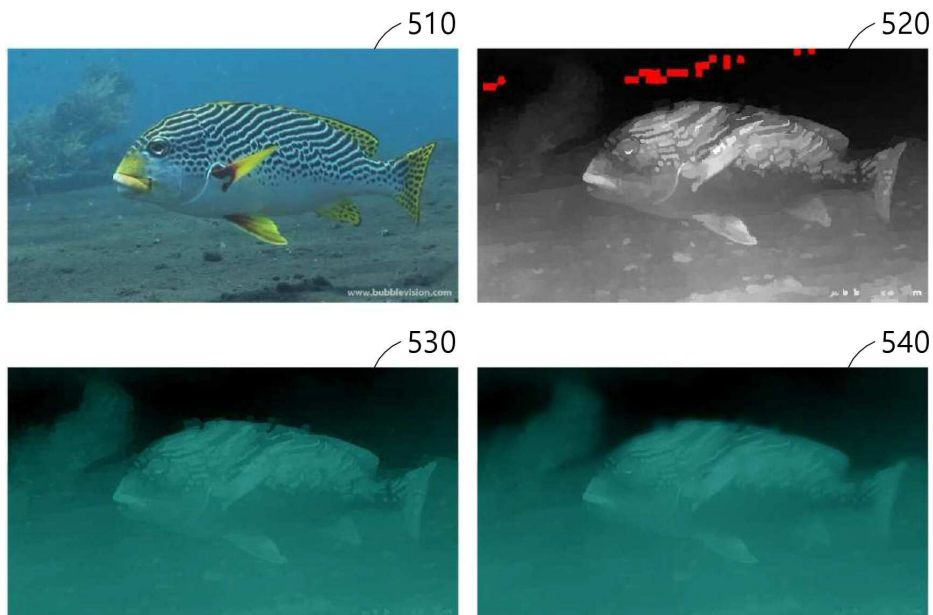


도면4

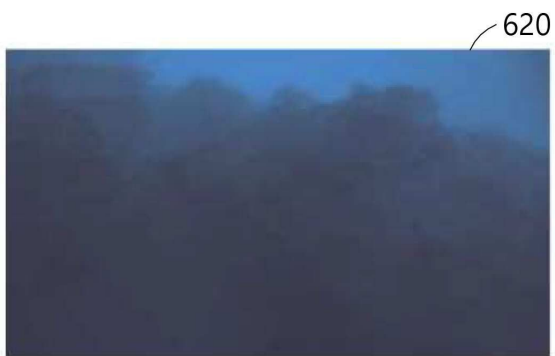
400



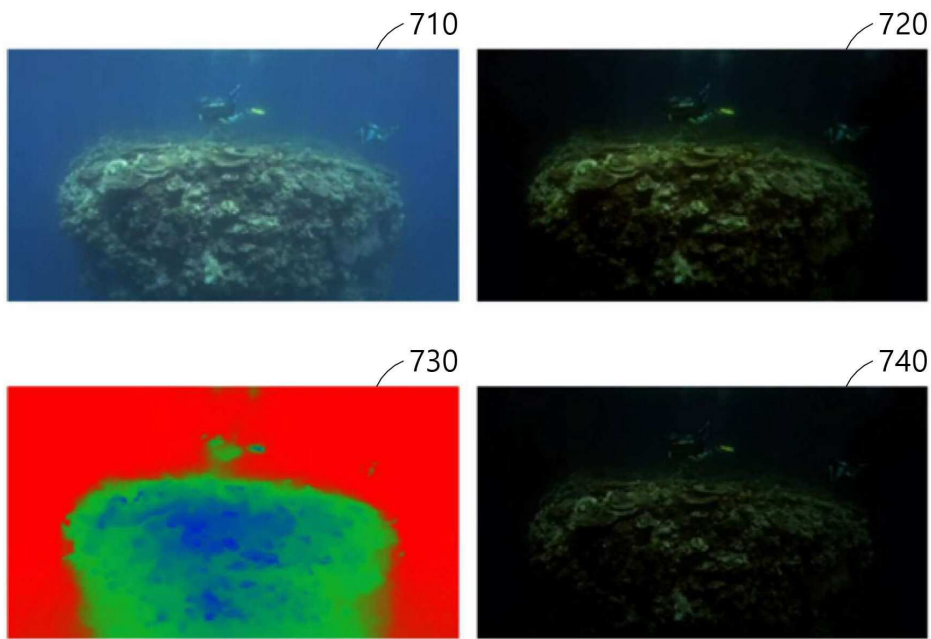
도면5



도면6

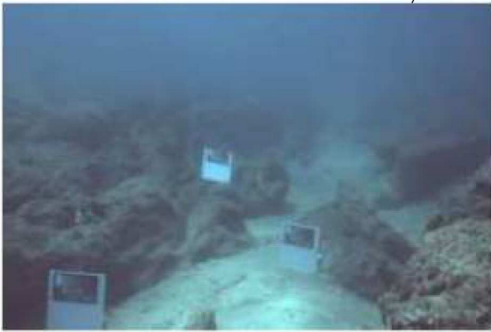


도면7



도면8

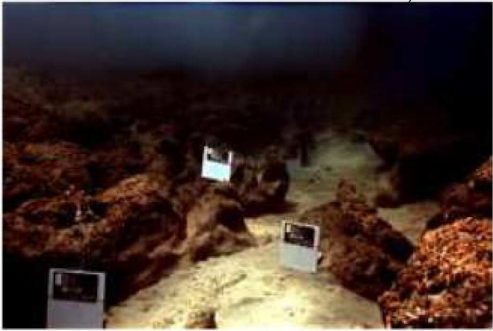
810



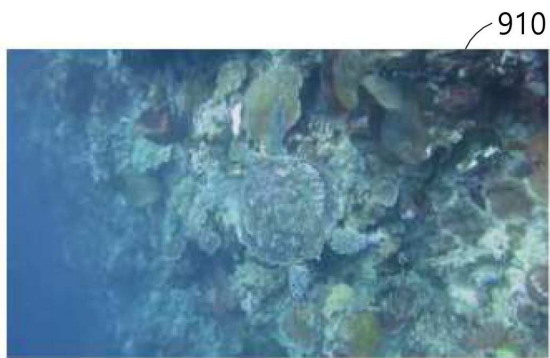
820



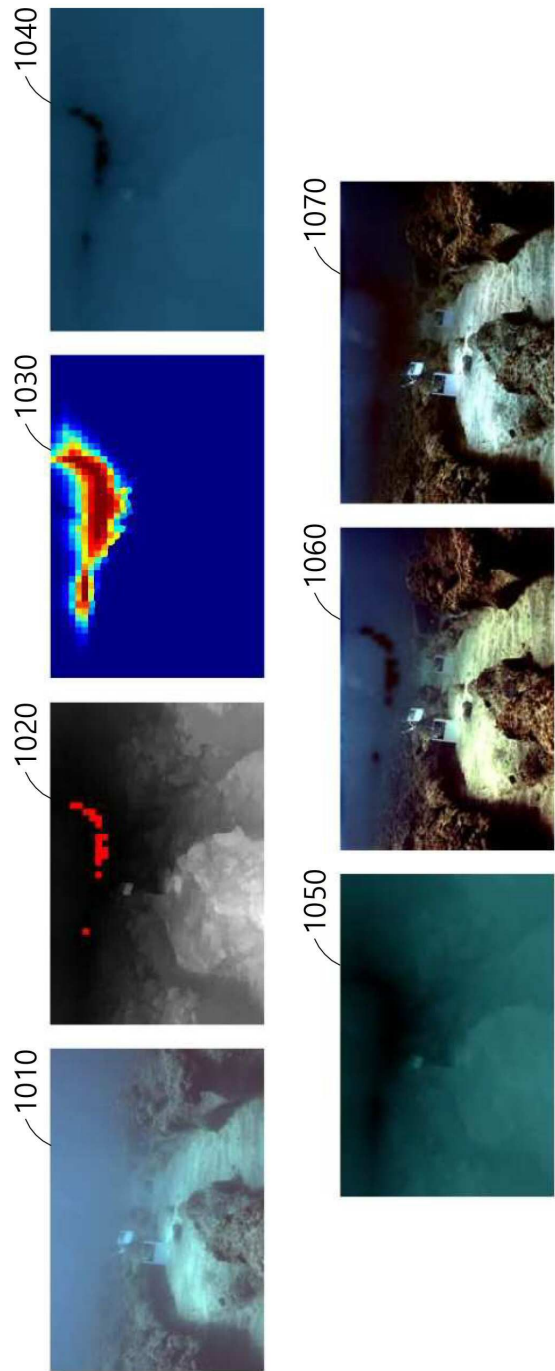
830



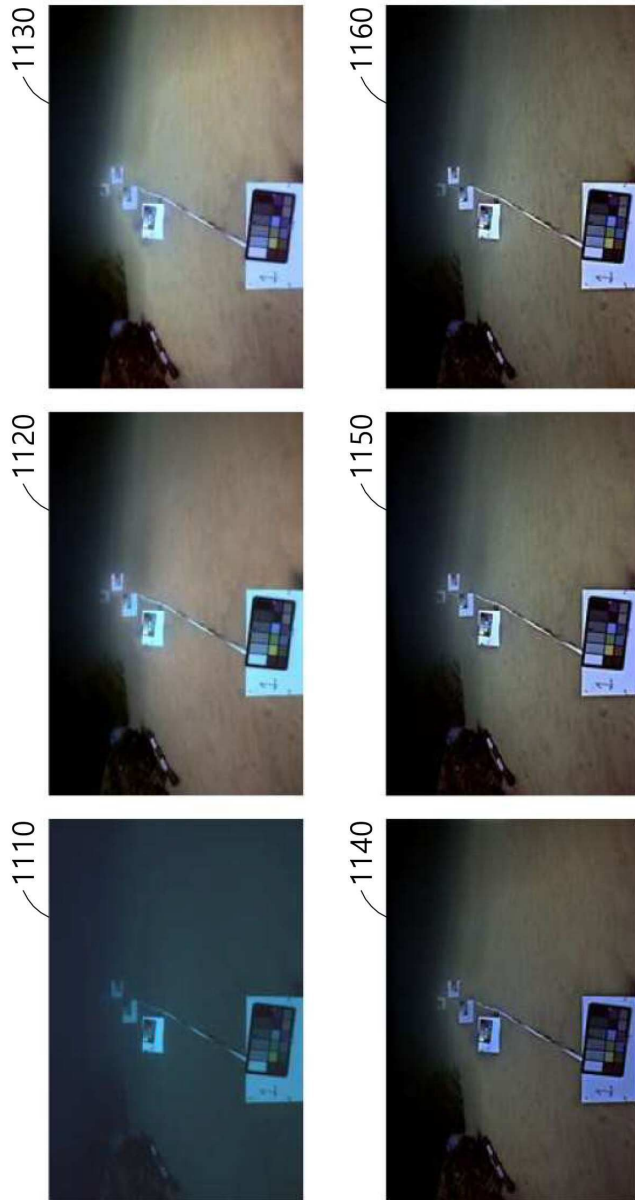
도면9



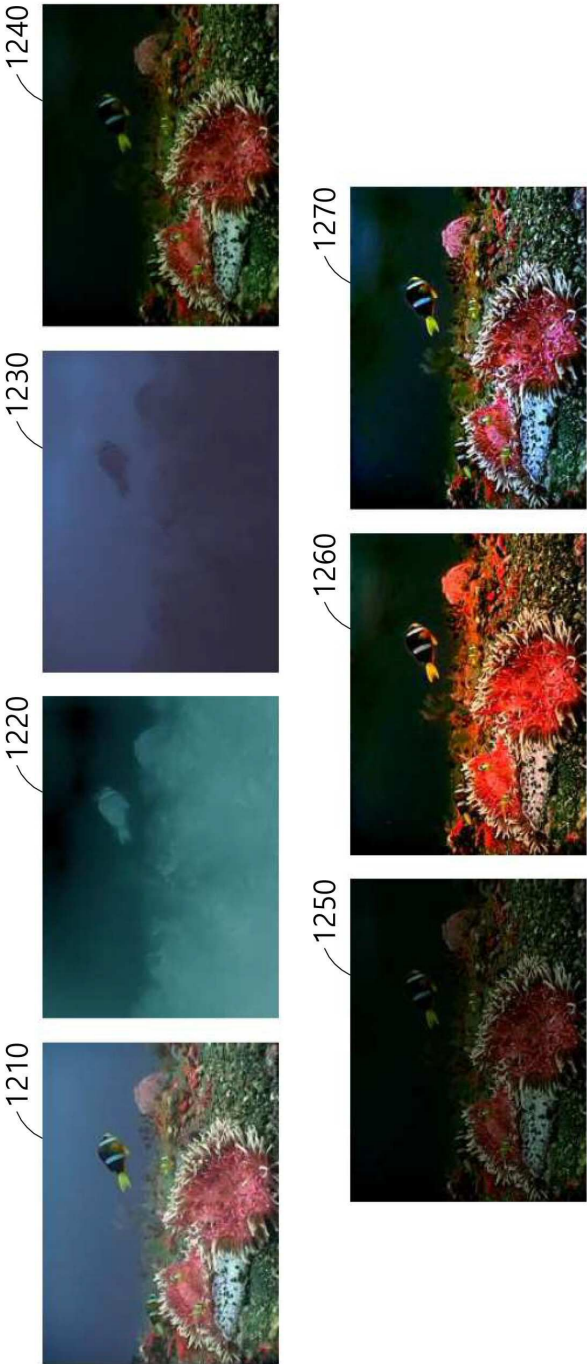
도면10



도면11



도면12



도면13

