



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0149416
(43) 공개일자 2022년11월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 26/06 (2006.01) G02B 27/00 (2020.01)
H04N 5/225 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02B 26/06 (2013.01)
G02B 27/0012 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0033180
(22) 출원일자 2022년03월17일
심사청구일자 2022년03월17일
(30) 우선권주장
1020210056273 2021년04월30일 대한민국(KR)

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
이승아
서울특별시 중구 서소문로9길 28, 101동 1106호(순화동, 덕수궁롯데캐슬)
이정철
경기도 용인시 수지구 죽전로 121, 103동 1403호(죽전동, 꽃메마을아이파크2차아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
민영준

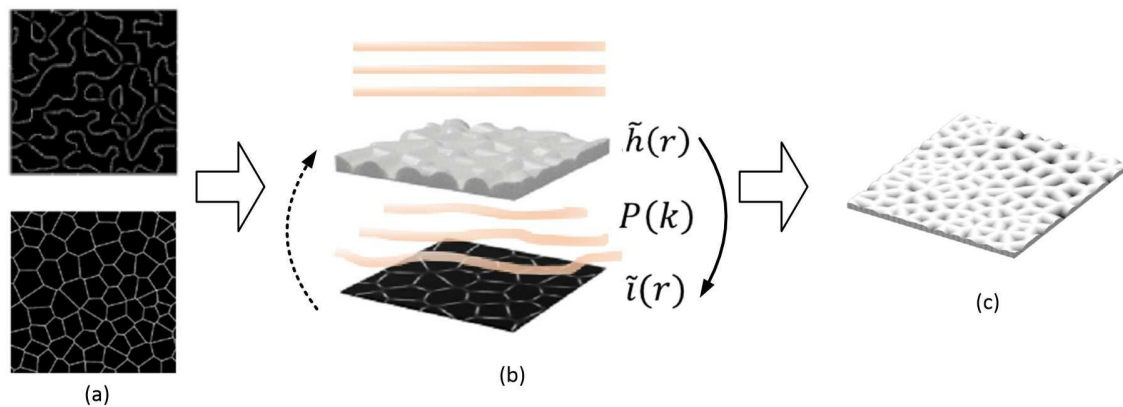
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 렌즈리스 카메라를 위한 위상 마스크 설계 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명은 광이 일면 상의 위치별 높이가 높이 맵에 따라 지정되는 위상 마스크를 통과하여 위상 마스크로부터 이격 배치된 이미지 센서로 전파되어 나타나는 이미지인 가상 점 확산함수를 추정하는 단계, 점 확산함수와 가상 점 확산함수에 대한 광의 위상 차인 위상 오차를 계산하고, 계산된 위상 오차에 따라 위상 마스크에 입사되는 광의 위치별 위상 변화를 나타내는 위상 맵을 업데이트하는 단계 및 업데이트된 위상 맵에 따른 서로 인접한 위치 사이의 위상 변화가 제한되도록 필터링한 후, 업데이트된 높이 맵으로 변환하는 단계를 포함하여, 렌즈리스 카메라의 활용 용도에 따라 다양한 패턴의 점 확산함수를 갖는 위상 마스크를 저비용으로 빠르고 용이하게 구현할 수 있도록 하는 렌즈리스 카메라를 위한 위상 마스크 설계 방법 및 장치를 제공한다.

대표도 - 도5



(52) CPC특허분류

H04N 5/2253 (2013.01)

H04N 5/2254 (2021.08)

(72) 발명자

백낙규

서울특별시 영등포구 영등포로3길 23, 오목교코업
레지던스 1116호(양평동2가)

박옥

경기도 수원시 영통구 애플타운로 65, 5206동 260
3호(이의동, 자연앤자이)

배중현

경기도 용인시 기흥구 서그내로 23-4, 305호(서천
동, 세인트빌)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711118719
과제번호	2020R1F1A1076704
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	일반연구자지원사업
연구과제명	안면 인식의 보안성 향상을 위한 3차원 렌즈리스 카메라 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2020.06.01 ~ 2021.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

하나 이상의 프로세서 및 상기 하나 이상의 프로세서에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램들을 저장하는 저장 매체를 구비한 컴퓨팅 장치에 의해 수행되는 렌즈리스 카메라를 위한 위상 마스크 설계 방법으로서,

광이 일면 상의 위치별 높이가 높이 맵에 따라 지정되는 위상 마스크를 통과하여 상기 위상 마스크로부터 이격 배치된 이미지 센서로 전파되어 나타나는 이미지인 가상 점 확산함수를 추정하는 단계;

상기 점 확산함수와 상기 가상 점 확산함수에 대한 광의 위상 차인 위상 오차를 계산하고, 계산된 위상 오차에 따라 상기 위상 마스크에 입사되는 광의 위치별 위상 변화를 나타내는 위상 맵을 업데이트하는 단계; 및

업데이트된 위상 맵에 따른 서로 인접한 위치 사이의 위상 변화가 제한되도록 필터링한 후, 업데이트된 높이 맵으로 변환하는 단계를 포함하는 위상 마스크 설계 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 높이 맵으로 변환하는 단계는

업데이트된 높이 맵에서 서로 인접한 위치의 높이 값의 차이가 상기 위상 마스크의 제조 기법에서 구현 가능한 차이를 갖도록 업데이트된 위상 맵의 인접한 위치 사이의 위상 차를 제한하는 필터링 함수로 상기 위상 맵을 필터링하는 위상 마스크 설계 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 위상 맵을 업데이트하는 단계는

상기 가상 점 확산함수의 타겟 이미지인 점 확산함수와 상기 가상 점 확산함수 사이의 오차가 기지정된 기준 오차를 초과하면,

상기 점 확산함수와 상기 가상 점 확산함수에 대한 광의 위상 차인 위상 오차를 계산하고,

상기 이미지 센서에서 발생된 상기 위상 오차를 상기 위상 마스크로 역전파하고, 역전파된 위상 오차를 위상 맵에 가중하여 업데이트하는 위상 마스크 설계 방법.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 위상 맵을 업데이트하는 단계는

상기 위상 마스크로부터 상기 이미지 센서로 전파되는 광의 위상 변화가 모델링된 광 전달 함수의 최대값을 기반으로, 역전파되는 위상 오차의 크기를 정규화하고 상기 위상 맵에 가중하여 업데이트하는 위상 마스크 설계 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 위상 맵을 업데이트하는 단계는

업데이트 된 위상맵($U_{n+1}(k)$)을 수학식

$$U_{n+1}(k) = U_n(k) + \alpha \cdot \frac{P^*(k)}{|P(k)|_{\max}^2} \cdot (\mathcal{F}(\tilde{I}(r)) - \mathcal{F}(\tilde{I}(r)))$$

(여기서 $U_n(k)$ 는 $n(n = 0, 1, \dots)$ 번째 반복에서 획득된 위상 맵이고, $U_{n+1}(k)$ 은 업데이트된 위상 맵이며, $P^*(k)$

는 이미지 센서에서 위상 마스크로 역전파되는 광에 대한 역방향 광 전달 함수이며, $|P(k)|_{\max}$ 는 광 전달 함수

($P(k)$)의 최대값을 나타낸다. 그리고 α 는 오차를 위상 맵에 반영하는 비율을 조절하는 하이퍼 파라미터이다.)
에 따라 획득하는 위상 마스크 설계 방법.

청구항 6

제3항에 있어서, 상기 위상 마스크 설계 방법은

상기 가상 점 확산함수의 타겟 이미지인 점 확산함수와 상기 가상 점 확산함수 사이의 오차가 상기 기준 오차를 이내이면,

최종 업데이트된 높이 맵을 양자화하여 상기 위상 마스크를 제조하는 그레이스케일 리소그래피 기법에 이용되는 그레이스케일 이미지로 획득하는 단계를 더 포함하는 위상 마스크 설계 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 높이 맵으로 변환하는 단계는

로우 패스 필터 함수 또는 총 변이 함수 중 하나를 상기 필터링 함수로 이용하는 위상 마스크 설계 방법.

청구항 8

제2항에 있어서, 상기 가상 점 확산함수를 추정하는 단계는

현재 높이 맵에 따라 위치별로 일면의 높이가 상이한 상기 위상 마스크에 입사된 광의 위상 변화를 나타내는 위상 맵을 획득하고,

상기 위상 마스크를 통과하여 상기 이미지 센서에 전파된 광의 위상 변화를 광 전달 함수를 이용하여 계산하며,

위상 마스크에 입사되어 이미지 센서에 도달할 때 발생된 광의 위상 변화에 대해 역 푸리에 변환을 수행하여 상기 가상 점 확산함수를 획득하는 위상 마스크 설계 방법.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 가상 점 확산함수를 추정하는 단계는

상기 위상 맵($U(k)$)을 수학식

$$U(k) = \mathcal{F}(e^{i \cdot k_0 \cdot \tilde{h}(r)})$$

(여기서 $\tilde{h}(r)$ 는 높이 맵, $\mathcal{F}(\cdot)$ 는 푸리에 변환 함수이고, k 는 푸리에 도메인에서의 위치이고, k_0 는 푸리에 도메인에서의 초기 위치를 나타낸다.)

에 따라 획득하고,

상기 가상 점 확산함수($\tilde{h}(r)$)를 수학식

$$\tilde{h}(r) = \|\mathcal{F}^{-1}(U(k) \cdot P(k))\|^2$$

(여기서 $\mathcal{F}^{-1}(\cdot)$ 는 역 푸리에 변환 함수이고, $\|\cdot\|$ 는 L_2 놈 함수이다.)

에 따라 획득하는 위상 마스크 설계 방법.

청구항 10

하나 이상의 프로세서; 및 상기 하나 이상의 프로세서에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램들을 저장하는 저장매체를 구비한 장치로서,

상기 프로세서는

광이 일면 상의 위치별 높이가 높이 맵에 따라 지정되는 위상 마스크를 통과하여 상기 위상 마스크로부터 이격

배치된 이미지 센서로 전파되어 나타나는 이미지인 가상 점 확산함수를 추정하고,

상기 점 확산함수와 상기 가상 점 확산함수에 대한 광의 위상 차인 위상 오차를 계산하고, 계산된 위상 오차에 따라 상기 위상 마스크에 입사되는 광의 위치별 위상 변화를 나타내는 위상 맵을 업데이트하며,

업데이트된 위상 맵에 따른 서로 인접한 위치 사이의 위상 변화가 제한되도록 필터링한 후, 업데이트된 높이 맵으로 변환하는 위한 위상 마스크 설계 장치.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 프로세서는

업데이트된 높이 맵에서 서로 인접한 위치의 높이 값의 차이가 상기 위상 마스크의 제조 기법에서 구현 가능한 차이를 갖도록 업데이트된 위상 맵의 인접한 위치 사이의 위상 차를 제한하는 필터링 함수로 상기 위상 맵을 필터링하는 위상 마스크 설계 장치.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 프로세서는

상기 가상 점 확산함수의 타겟 이미지인 점 확산함수와 상기 가상 점 확산함수 사이의 오차가 기지정된 기준 오차를 초과하면,

상기 점 확산함수와 상기 가상 점 확산함수에 대한 광의 위상 차인 위상 오차를 계산하고,

상기 이미지 센서에서 발생된 상기 위상 오차를 상기 위상 마스크로 역전파하고, 역전파된 위상 오차를 위상 맵에 가중하여 상기 위상 맵을 업데이트하는 위상 마스크 설계 장치.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 프로세서는

상기 위상 마스크로부터 상기 이미지 센서로 전파되는 광의 위상 변화가 모델링된 광 전달 함수의 최대값을 기반으로, 역전파되는 위상 오차의 크기를 정규화하고 상기 위상 맵에 가중하여 상기 위상 맵을 업데이트하는 위상 마스크 설계 장치.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 프로세서는

업데이트 된 위상맵($U_{n+1}(k)$)을 수학적

$$U_{n+1}(k) = U_n(k) + \alpha \cdot \frac{P^*(k)}{|P(k)|_{\max}^2} \cdot (\mathcal{F}(\tilde{r}) - \mathcal{F}(\tilde{l}(r)))$$

(여기서 $U_n(k)$ 는 $n(n = 0, 1, \dots)$ 번째 반복에서 획득된 위상 맵이고, $U_{n+1}(k)$ 은 업데이트된 위상 맵이며, $P^*(k)$

는 이미지 센서에서 위상 마스크로 역전파되는 광에 대한 역방향 광 전달 함수이며, $|P(k)|_{\max}$ 는 광 전달 함수($P(k)$)의 최대값을 나타낸다. 그리고 α 는 오차를 위상 맵에 반영하는 비율을 조절하는 하이퍼 파라미터이다.)

에 따라 획득하는 위상 마스크 설계 장치.

청구항 15

제12항에 있어서, 상기 프로세서는

상기 가상 점 확산함수의 타겟 이미지인 점 확산함수와 상기 가상 점 확산함수 사이의 오차가 상기 기준 오차를 이내이면,

최종 업데이트된 높이 맵을 양자화하여 상기 위상 마스크를 제조하는 그레이스케일 리소그래피 기법에 이용되는 그레이스케일 이미지로 획득하는 위상 마스크 설계 장치.

청구항 16

제15항에 있어서, 상기 프로세서는

로우 패스 필터 함수 또는 총 변이 함수 중 하나를 상기 필터링 함수로 이용하는 위상 마스크 설계 장치.

청구항 17

제11항에 있어서, 상기 프로세서는

현재 높이 맵에 따라 위치별로 일면의 높이가 상이한 상기 위상 마스크에 입사된 광의 위상 변화를 나타내는 위상 맵을 획득하고,

상기 위상 마스크를 통과하여 상기 이미지 센서에 전파된 광의 위상 변화를 광 전달 함수를 이용하여 계산하며,

위상 마스크에 입사되어 이미지 센서에 도달할 때 발생된 광의 위상 변화에 대해 역 푸리에 변환을 수행하여 상기 가상 점 확산함수를 추정하는 위상 마스크 설계 장치.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 프로세서는

상기 위상 맵($U(k)$)을 수학식

$$U(k) = \mathcal{F}(e^{i \cdot k_0 \cdot \tilde{h}(r)})$$

(여기서 $\tilde{h}(r)$ 는 높이 맵, $\mathcal{F}(\cdot)$ 는 푸리에 변환 함수이고, k 는 푸리에 도메인에서의 위치이고, k_0 는 푸리에 도메인에서의 초기 위치를 나타낸다.)

에 따라 획득하고,

상기 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)를 수학식

$$\tilde{i}(r) = \|\mathcal{F}^{-1}(U(k) \cdot P(k))\|^2$$

(여기서 $\mathcal{F}^{-1}(\cdot)$ 는 역 푸리에 변환 함수이고, $\|\cdot\|$ 는 L_2 놈 함수이다.)

에 따라 획득하는 위상 마스크 설계 장치.

발명의 설명**기술 분야**

[0001] 개시되는 실시예들은 위상 마스크 설계 방법 및 장치에 관한 것으로, 렌즈리스 카메라를 위한 위상 마스크 설계 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 위상 마스크를 이용하는 렌즈리스 카메라에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 일반적인 카메라는 렌즈 카메라로서 광이 입사되는 방향에 렌즈가 배치되어, 각 장면(scene)의 점광원이 렌즈를 통해 이미지 센서에 점 형태로 결상되어 이미지를 획득한다.

[0003] 반면 렌즈리스 카메라는 렌즈를 대체하여 광이 입사되는 방향에 진폭 마스크(Amplitude Mask) 또는 위상 마스크(Phase Mask)를 배치하여, 입사되는 점광원이 마스크에 의해 변조되어 이미지 센서에 결상된다. 이와 같이 렌즈를 포함하지 않고 이미지를 획득하는 방식을 렌즈리스 이미징 방식이라 한다. 그리고 위상 마스크는 진폭 마스크에 비해 광 수집 측면에서 더 효율적이다. 또한 이동 불변(shift-invariance)의 특성을 가지는 고유 패턴을 기반으로 이미징한다는 특징이 있다. 따라서 위상 마스크 기반 렌즈리스 이미징은 진폭 마스크 기반 렌즈리스 이미징보다 견고한 영상 모델을 제공할 수 있다는 장점이 있다.

[0004] 위상 마스크 기반 렌즈리스 이미징에서는 장면의 각 점광원이 위상 마스크에 형성된 형상 구조에 따라 결정되는 고유 패턴을 나타내는 점 확산함수(Point Spread Function: PSF)에 따른 패턴으로 확산 변조되어 이미지 센서에 결상된다. 그리고 이미지 센서에서 획득된 이미지는 다시 점 확산함수(PSF)를 이용하여 렌즈 이미징에서와 같은 장면 이미지로 복원될 수 있다.

[0005] 이러한 렌즈리스 카메라는 광 집속 AR, VR, 분광 이미지 또는 편광 이미지 획득과 같은 다양한 분야에 이용되고 있다. 다만 점 확산함수(PSF)는 활용 용도에 적합한 패턴을 가져야 한다. 즉 활용 용도에 따라 패턴의 크기나 밀도 등의 조절될 필요가 있다. 따라서 용도에 따라 다양한 패턴을 가질 수 있는 점 확산함수(PSF)에 대응하는 위상 마스크를 저비용으로 용이하게 제조할 수 있는 위상 마스크 제조 방법이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국 공개 특허 제10-2021-0047486호 (2021.04.30 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 개시되는 실시예들은 저비용으로 용이하게 위상 마스크를 제조할 수 있도록 하는 위상 마스크 설계 방법 및 장치를 제공하는데 있다.

[0008] 개시되는 실시예들은 그레이스케일 리소그래피 기법을 이용하여 위상 마스크 제조할 수 있도록 하는 위상 마스크 설계 방법 및 장치를 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 실시예에 따른 위상 마스크 설계 방법은 광이 일면 상의 위치별 높이가 높이 맵에 따라 지정되는 위상 마스크를 통과하여 상기 위상 마스크로부터 이격 배치된 이미지 센서로 전파되어 나타나는 이미지인 가상 점 확산함수를 추정하는 단계; 상기 점 확산함수와 상기 가상 점 확산함수에 대한 광의 위상 차인 위상 오차를 계산하고, 계산된 위상 오차에 따라 상기 위상 마스크에 입사되는 광의 위치별 위상 변화를 나타내는 위상 맵을 업데이트하는 단계; 및 업데이트된 위상 맵에 따른 서로 인접한 위치 사이의 위상 변화가 제한되도록 필터링한 후, 업데이트된 높이 맵으로 변환하는 단계를 포함한다.

[0010] 상기 높이 맵으로 변환하는 단계는 업데이트된 높이 맵에서 서로 인접한 위치의 높이 값의 차이가 상기 위상 마스크의 제조 기법에서 구현 가능한 차이를 갖도록 업데이트된 위상 맵의 인접한 위치 사이의 위상 차를 제한하는 필터링 함수로 상기 위상 맵을 필터링할 수 있다.

[0011] 상기 위상 맵을 업데이트하는 단계는 상기 가상 점 확산함수의 타겟 이미지인 점 확산함수와 상기 가상 점 확산함수 사이의 오차가 기지정된 기준 오차를 초과하면, 상기 점 확산함수와 상기 가상 점 확산함수에 대한 광의 위상 차인 위상 오차를 계산하고, 상기 이미지 센서에서 발생한 상기 위상 오차를 상기 위상 마스크로 역전파하고, 역전파된 위상 오차를 위상 맵에 가중하여 업데이트할 수 있다.

[0012] 상기 위상 맵을 업데이트하는 단계는 상기 위상 마스크로부터 상기 이미지 센서로 전파되는 광의 위상 변화가 모델링된 광 전달 함수의 최대값을 기반으로, 역전파되는 위상 오차의 크기를 정규화하고 상기 위상 맵에 가중하여 업데이트할 수 있다.

[0013] 상기 위상 마스크 설계 방법은 상기 가상 점 확산함수의 타겟 이미지인 점 확산함수와 상기 가상 점 확산함수 사이의 오차가 상기 기준 오차를 이내이면, 최종 업데이트된 높이 맵을 양자화하여 상기 위상 마스크를 제조하는 그레이스케일 리소그래피 기법에 이용되는 그레이스케일 이미지로 획득하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0014] 상기 높이 맵으로 변환하는 단계는 로우 패스 필터 함수 또는 총 변이 함수 중 하나를 상기 필터링 함수로 이용할 수 있다.

[0015] 상기 가상 점 확산함수를 추정하는 단계는 현재 높이 맵에 따라 위치별로 일면의 높이가 상이한 상기 위상 마스크에 입사된 광의 위상 변화를 나타내는 위상 맵을 획득하고, 상기 위상 마스크를 통과하여 상기 이미지 센서에

전과된 광의 위상 변화를 광 전달 함수를 이용하여 계산하며, 위상 마스크에 입사되어 이미지 센서에 도달할 때 발생한 광의 위상 변화에 대해 역 푸리에 변환을 수행하여 상기 가상 점 확산함수를 획득할 수 있다.

- [0016] 실시예에 따른 위상 마스크 설계 장치는 하나 이상의 프로세서; 및 상기 하나 이상의 프로세서에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램들을 저장하는 저장매체를 구비한 장치로서, 상기 프로세서는 광이 일면 상의 위치별 높이가 높이 맵에 따라 지정되는 위상 마스크를 통과하여 상기 위상 마스크로부터 이격 배치된 이미지 센서로 전과되어 나타나는 이미지인 가상 점 확산함수를 추정하고, 상기 점 확산함수와 상기 가상 점 확산함수에 대한 광의 위상 차인 위상 오차를 계산하고, 계산된 위상 오차에 따라 상기 위상 마스크에 입사되는 광의 위치별 위상 변화를 나타내는 위상 맵을 업데이트하며, 업데이트된 위상 맵에 따른 서로 인접한 위치 사이의 위상 변화가 제한되도록 필터링한 후, 업데이트된 높이 맵으로 변환한다.

발명의 효과

- [0017] 따라서, 실시예에 따른 위상 마스크 설계 방법 및 장치는 위상 마스크를 그레이스케일 리소그래피 기법으로 제조할 수 있도록 하여, 렌즈리스 카메라의 활용 용도에 따라 다양한 패턴의 점 확산함수를 갖는 위상 마스크를 저비용으로 빠르고 용이하게 구현할 수 있도록 한다.

도면의 간단한 설명

- [0018] 도 1은 렌즈 기반 이미징 방식과 위상 마스크 기반 렌즈리스 이미징 방식의 동작을 설명하기 위한 도면이다.
 도 2는 위상 마스크 기반 렌즈리스 이미징 방식의 원리를 설명하기 위한 도면이다.
 도 3은 일 실시예에 따른 위상 마스크를 제조 방식을 나타낸다.
 도 4는 일 실시예에 따른 위상 마스크 설계 장치를 수행되는 동작에 따라 구분하여 나타낸 도면이다.
 도 5는 도 4의 위상 마스크 설계 장치에 의해 수행되는 위상 마스크 설계 과정을 설명하기 위한 도면이다.
 도 6은 일 실시예에 따른 위상 마스크 설계 방법을 나타낸다.
 도 7은 일 실시예에 따른 컴퓨팅 장치를 포함하는 컴퓨팅 환경을 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 이하, 도면을 참조하여 일 실시예의 구체적인 실시형태를 설명하기로 한다. 이하의 상세한 설명은 본 명세서에서 기술된 방법, 장치 및/또는 시스템에 대한 포괄적인 이해를 돕기 위해 제공된다. 그러나 이는 예시에 불과하며 본 발명은 이에 제한되지 않는다.
- [0020] 일 실시예들을 설명함에 있어서, 본 발명과 관련된 공지기술에 대한 구체적인 설명이 일 실시예의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다. 그리고, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다. 상세한 설명에서 사용되는 용어는 단지 일 실시예들을 기술하기 위한 것이며, 결코 제한적이지는 안 된다. 명확하게 달리 사용되지 않는 한, 단수 형태의 표현은 복수 형태의 의미를 포함한다. 본 설명에서, "포함" 또는 "구비"와 같은 표현은 어떤 특성들, 숫자들, 단계들, 동작들, 요소들, 이들의 일부 또는 조합을 가리키기 위한 것이며, 기술된 것 이외에 하나 또는 그 이상의 다른 특성, 숫자, 단계, 동작, 요소, 이들의 일부 또는 조합의 존재 또는 가능성을 배제하도록 해석되어서는 안 된다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "블록" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0021] 도 1은 렌즈 기반 이미징 방식과 위상 마스크 기반 렌즈리스 이미징 방식의 동작을 설명하기 위한 도면이고, 도 2는 위상 마스크 기반 렌즈리스 이미징 방식의 원리를 설명하기 위한 도면이다.
- [0022] 도 1에서 (a)는 렌즈 기반 이미징 방식을 나타내고, (b)는 위상 마스크 기반 렌즈리스 이미징 방식을 나타낸다.
- [0023] 도 1의 (a)에 도시된 바와 같이, 렌즈 기반 이미징 방식에서는 이미지 센서(12)의 전방에 적어도 하나의 렌즈가 포함된 렌즈 모듈(11)이 배치된다. 렌즈 모듈(11)은 특정 위치로부터 입사되는 광이 일정 거리(예를 들면 초점 거리)만큼 이격되어 배치된 이미지 센서(12)의 특정 위치에 결상되도록 한다. 즉 렌즈 기반 이미징 방식에서는 점 광원이 렌즈 모듈(11)에 의해 이미지 센서(12)에 다시 점 형태로 맺히게 되므로, 이미지 센서(12)는 물체의

형상의 이미지(13)를 획득할 수 있다.

- [0024] 반면 위상 마스크 기반 렌즈리스 이미징 방식에서는 도 1의 (b)에 도시된 바와 같이, 렌즈 모듈(11) 대신 위상 마스크(14)가 이미지 센서(15)의 전방에 이격되어 위치한다. 여기서 위상 마스크(14)는 광이 투과될 수 있는 투명 소재로서 투명 필름 등을 이용하여 구현될 수 있다. 그리고 도 1의 (b)에 도시된 바와 같이, 위상 마스크(14)는 일면에 위치별로 크기, 높이, 모양 등이 불규칙적인 형태의 미세 굴곡 패턴이 형성된다. 위상 마스크(14)의 일면에 형성되는 불규칙적인 형태의 미세 굴곡 패턴은 투과되는 광을 위치별로 상이하게 지연시켜 위상 변화를 유발하므로, 위상 변환 패턴이라고 할 수 있다.
- [0025] 위상 변환 패턴은 광이 위상 마스크(14)에 입사되는 위치에 따라 서로 다르게 광을 지연시켜 위상 변화를 유발한다. 렌즈리스 카메라에서는 점 광원을 집속하는 렌즈가 포함되지 않으므로, 위상 마스크(14)에 확산 입사되는 점 광원은 도 2의 (a)에 도시된 바와 같이, 위상 변환 패턴에 따른 패턴으로 변환되어 이미지 센서(15)에 입사된다. 즉 점 광원이 위상 마스크(14)에 형성된 위상 변환 패턴에 따라 이미지 센서의 전체 영역으로 확산된 이미지로 획득된다. 이때 위상 마스크(14)가 이미지 센서(15)로부터 초점 거리(f)만큼 이격된 경우, 위상 마스크(14)에 의해 변조된 광의 패턴이 가장 샤프하게 나타나게 된다. 그리고 점 광원이 위상 마스크(14)의 위상 변환 패턴에 의해 위상 변환되어 초점 거리(f)만큼 이격된 거리에 투사되어 나타나는 패턴을 점 확산함수(PSF)(18)라 한다.
- [0026] 위상 마스크 기반 렌즈리스 이미징 방식에서 점이 아닌 크기를 갖는 물체가 촬영되는 경우, 즉 장면이 촬영되는 경우는 장면의 다수의 위치별 점 광원에서 방사된 광이 위상 마스크(14)를 통해 이미지 센서(15)에 중첩되어 입사된 것으로 볼 수 있다. 다만 도 2의 (b)에 도시된 바와 같이, 각 점 광원의 위치에 따라 이미지 센서에 투사되는 점 확산함수가 전체적으로 시프트된다. 따라서 장면이 촬영되는 경우에는, 이미지 센서(15)에는 장면을 구성하는 다수의 점 광원에 의해 다수의 점 확산함수가 시프트되고 중첩되어 입사되므로, 이미지 센서(15)는 도 1의 (b)와 같은 로우 이미지(16)를 획득한다.
- [0027] 그리고 렌즈리스 이미징 방식으로 이미지 센서(150)에서 획득된 로우 이미지(16)는 다시 점 확산함수를 이용하여 역연산함으로써 렌즈 기반 이미징 방식과 동일한 형태의 이미지로 변환될 수 있다. 경우에 따라서는 최적화 기법을 적용하여 렌즈 기반 이미징 방식의 이미지로 변환될 수도 있으며, 공지된 기술이므로 여기서는 상세하게 설명하지 않는다.
- [0028] 도 1의 (b)에 도시된 바와 같이, 위상 마스크(14)는 일면이 위상 변환 패턴에 따라 위치별로 상이한 높이를 갖는 3차원 형상 구조로 형성되어야 한다. 그리고 3차원 형상 구조를 갖는 위상 마스크(140)의 위상 변환 패턴은 2차원 패턴을 갖는 점 확산함수에 대응한다. 그러므로 위상 마스크(140)의 3차원 위상 변환 패턴으로부터 2차원 패턴인 점 확산함수는 용이하게 추정될 수 있다. 그에 반해 2차원 패턴을 갖는 점 확산함수로부터 3차원 형상 구조를 갖는 위상 마스크(140)의 위상 변환 패턴을 결정하기는 용이하지 않다. 이는 2차원에서 3차원으로 차원 확장되는 경우, 점 확산함수에 대응하는 위상 마스크(140)의 위상 변환 패턴이 무수히 많이 도출되어 하나의 패턴으로 특정될 수 없기 때문이다.
- [0029] 따라서 렌즈리스 카메라의 활용 용도에 따른 점 확산함수가 결정되더라도, 결정된 점 확산함수에 따른 위상 변환 패턴을 갖는 위상 마스크를 설계하고 제작하는 것은 용이하지 않다. 기존에도 점 확산함수에 대응하는 위상 변환 패턴을 갖는 위상 마스크를 제조하기 위한 기법은 제안된 바 있으나, 고정밀도의 3D 프린터가 이용되어야 하는 등, 많은 공정과 고가의 장비를 요구하여 제조 비용이 높을 뿐만 아니라 생산성이 낮았다.
- [0030] 여기서는 광이 투과될 수 있는 투명 소재로 구현되는 위상 마스크가 용이하게 점 확산함수에 대응하는 3차원의 위상 변환 패턴을 가지면서 저비용으로 빠르고 용이하게 제조될 수 있도록 하는 설계 방식을 제안한다.
- [0031] 도 3은 일 실시예에 따른 위상 마스크를 제조방식을 나타낸다.
- [0032] 본 실시예에서는 그레이스케일 리소그래피 기법을 이용하여 위상 마스크를 제조하도록 한다. 그레이스케일 리소그래피 기법은 광을 기반으로 2차원의 그레이스케일 맵을 이용하여 각종 소재에 3차원의 패턴을 형성할 수 있는 기법이다.
- [0033] 도 3을 참조하면, 그레이스케일 리소그래피를 이용한 위상 마스크 제조 기법은 우선 2차원의 점 확산함수에 대응하는 3차원 위상 변환 패턴을 갖는 위상 마스크를 제조하기 위한 그레이스케일 맵(21)을 획득한다. 여기서 그레이스케일 맵(21)은 그레이스케일 리소그래피 기법을 이용하여 2차원의 점 확산함수로부터 3차원 위상 변환 패턴을 구현하기 위한 중계 파라미터로서 이용되는 2차원 그레이스케일 이미지이다. 그리고 그레이스케일 맵(21)은 지정된 비트 해상도(여기서는 일 예로 8bit)를 갖는 데이터로 획득될 수 있다. 점 확산함수로부터 그레

이스케이일 맵(21)을 획득하는 방법에 대한 상세한 설명은 후술하도록 한다.

- [0034] 점 확산함수로부터 그레이스케이일 맵(21)이 획득되면, 획득된 그레이스케이일 맵(21)을 디지털 마이크로미러 장치(Digital Micromirror Device: DMD)와 같은 미세 조절 가능한 미세 반사체(22)에 입력한다. 그리고 광(여기서는 자외선광)(23)을 미세 반사체(22)로 투사한다. 미세 반사체(22)는 입력된 그레이스케이일 맵(21)에 따라 투사된 광(23)을 위치별로 상이한 반사도로 반사하고, 미세 반사체(22)에서 반사된 광은 이색성 거울(Dichroic Mirror)(24)로 입사된다. 따라서 미세 반사체(22)에서 반사된 광(23)은 위치별로 서로 다른 세기로 이색성 거울(24)로 입사된다. 그리고 이색성 거울(24)에 입사된 광(23)은 다시 반사되어 대물 렌즈(25)를 통해 광 경화막(27)에 입사된다. 이때 광(23)은 위치별로 서로 다른 세기로 광 경화막(27)에 입사된다. 따라서 도 3에 도시된 바와 광 경화막(27)은 위치별로 상이한 세기로 입사된 광에 의해 같이, 위치별로 서로 다른 높이를 갖고 경화된다. 이때 위치별로 서로 다른 높이를 갖고 경화된 광 경화막(27)은 그레이스케이일 맵(21)에 대응하는 패턴으로 형성된다. 즉 2차원 이미지 데이터인 그레이스케이일 맵(21)이 3차원의 위상 변환 패턴으로 변환되어 형성될 수 있다.
- [0035] 여기서 광 경화막(27)은 광 경화 폴리머(Photo-curable polymer) 등으로 구성될 수 있으며, 투명판(여기서는 유리 슬라이드)(26)상에 배치될 수 있다. 또한 광 경화막(27) 상에는 폴리디메틸실록산(Polydimethylsiloxane: PDMS)(28) 등이 배치될 수 있다.
- [0036] 상기한 그레이스케이일 리소그래피 기법을 적용하는 경우, 1회의 광 조사만으로 2차원의 그레이스케이일 맵(21)에 대응하는 3차원의 위상 변환 패턴을 갖는 위상 마스크를 제조할 수 있다. 즉 간단한 공정으로 매우 빠르게 위상 마스크를 제조할 수 있다. 또한 그레이스케이일 맵(21)만 변경하여 미세 반사체(22)에 입력함으로써, 간단하게 다른 위상 변환 패턴을 갖는 위상 마스크를 제조할 수 있게 된다.
- [0037] 그레이스케이일 리소그래피 기법은 비록 렌즈리스 카메라를 위한 위상 마스크 제조에 이용된 바는 없으나, 현재도 다양한 분야에서 이용되고 있는 기법으로, 기존에 위상 마스크를 제조하기 위해 이용되는 정밀 3D 프린터 등에 비해 상대적으로 매우 저렴한 비용으로 위상 마스크를 제조할 수 있도록 한다.
- [0038] 다만 3D 프린터 등을 이용하는 경우에는 위상 변환 패턴의 위치별 높이차에 대한 제약이 크지 않다. 반면, 그레이스케이일 리소그래피 기법으로 위상 마스크를 제조하고자 하는 경우에는 위상 변환 패턴의 위치별 높이차가 크게 발생할 수 없다는 한계가 있다. 이는 그레이스케이일 리소그래피 기법이 광을 기반으로 광 경화막(27)을 경화시키는 방식으로 동작하기 때문이다. 즉 도 3에 도시된 바와 같이, 그레이스케이일 리소그래피 기법으로 형성되는 위상 변환 패턴은 매끄러운 곡선 형태로 형성된다. 따라서 인접한 위치에서 급격한 높이 변화가 발생할 수 없다.
- [0039] 그러므로 도 3과 같이 위상 마스크를 제조하기 위해서는 점 확산함수로부터 그레이스케이일 리소그래피 기법이 적용될 수 있는 그레이스케이일 맵(21)이 획득되어야만 한다. 즉 그레이스케이일 리소그래피 기법을 이용하는 경우, 위상 마스크는 그레이스케이일 맵(21)에 따라 제조되며, 이때 그레이스케이일 맵(21)은 위상 마스크에 대한 설계 이미지로 볼 수 있다.
- [0040] 도 4는 일 실시예 따른 위상 마스크 설계 장치를 수행되는 동작에 따라 구분하여 나타낸 도면이고, 도 5는 도 4의 위상 마스크 설계 장치에 의해 수행되는 위상 마스크 설계 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- [0041] 도 4에 도시된 실시예에서, 각 구성들은 이하에 기술된 것 이외에 상이한 기능 및 능력을 가질 수 있고, 이하에 기술되지 것 이외에도 추가적인 구성을 포함할 수 있다. 또한, 일 실시예에서, 각 구성은 물리적으로 구분된 하나 이상의 장치를 이용하여 구현되거나, 하나 이상의 프로세서 또는 하나 이상의 프로세서 및 소프트웨어의 결합에 의해 구현될 수 있으며, 도시된 예와 달리 구체적인 동작에 있어 명확히 구분되지 않을 수 있다.
- [0042] 그리고 도 4에 도시된 위상 마스크 설계 장치는 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어 또는 이들의 조합에 의해 로직회로 내에서 구현될 수 있고, 범용 또는 특정 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수도 있다. 장치는 고정배선형(Hardwired) 기기, 필드 프로그램 가능한 게이트 어레이(Field Programmable Gate Array, FPGA), 주문형 반도체(Application Specific Integrated Circuit, ASIC) 등을 이용하여 구현될 수 있다. 또한, 장치는 하나 이상의 프로세서 및 컨트롤러를 포함한 시스템온칩(System on Chip, SoC)으로 구현될 수 있다.
- [0043] 뿐만 아니라 위상 마스크 설계 장치는 하드웨어적 요소가 마련된 컴퓨팅 장치 또는 서버에 소프트웨어, 하드웨어, 또는 이들의 조합하는 형태로 탑재될 수 있다. 컴퓨팅 장치 또는 서버는 각종 기기 또는 유무선 통신망과 통신을 수행하기 위한 통신 모듈 등의 통신장치, 프로그램을 실행하기 위한 데이터를 저장하는 메모리 등의 저장매체, 프로그램을 실행하여 연산 및 명령하기 위한 프로세서 등을 전부 또는 일부 포함한 다양한 장치를 의미

할 수 있다.

- [0044] 도 4를 참조하면, 위상 마스크 설계 장치는 점 확산함수 획득기(41), 초기 높이맵 생성기(42), 광 전파 모델 변환기(43), 점 확산함수 비교기(44), 오차 역전파기(45), 높이맵 변환기(46) 및 그레이스케일 맵 변환기(47)를 포함할 수 있다.
- [0045] 점 확산함수 획득기(41)는 위상 마스크의 활용 용도에 따른 점 확산함수($i(r)$)를 획득한다. 점 확산함수 획득기(41)는 위상 마스크 활용 용도에 따라 패턴의 종류나 밀도 및 크기 등과 같은 요구 패턴 정보가 인가되면, 인가된 패턴 요구 정보에 따라 다양한 패턴의 점 확산함수($i(r)$)를 생성하여 획득 수 있다.
- [0046] 상기한 점 확산함수는 도 5의 (a)에 도시된 바와 같이, 다양한 2차원 랜덤 패턴으로 생성될 수 있으며, 2차원 랜덤 패턴의 종류는 활용 용도에 따라 미리 지정될 수 있다. 일 예로 2차원 랜덤 패턴으로는 펄린 노이즈(Perlin noise), 튜링 패턴(Turing pattern), 보로노이 다이어그램(Voronoi Diagram) 등이 이용될 수 있다.
- [0047] 그리고 지정된 2차원 랜덤 패턴에 따라 점 확산함수($i(r)$)를 생성하는 경우에도 점 확산함수($i(r)$)의 라인 간격 등을 나타내는 밀도와 점 확산함수($i(r)$)의 크기 등이 함께 지정되어야 한다. 점 확산함수($i(r)$)가 2차원 랜덤 패턴에 따른 패턴을 갖더라도, 2차원 랜덤 패턴의 밀도나 점 확산함수($i(r)$)의 전체 크기 등은 다양하게 조절될 수 있다. 이에 점 확산함수 획득기(41)는 요구 패턴 정보가 인가되면 인가된 요구 패턴 정보에 대응하는 점 확산함수($i(r)$)를 생성한다. 요구 패턴 정보에 따른 점 확산함수를 생성하는 기법은 공지된 기술이므로 여기서는 상세하게 설명하지 않는다.
- [0048] 여기서 r 은 점 확산함수의 2차원 위치 좌표를 나타낸다. 즉 점 확산함수($i(r)$)는 지정된 크기를 갖고 각 2차원 위치 좌표(r)에서의 픽셀값을 갖는 2차원 이미지로 생성된다. 점 확산함수($i(r)$)는 픽셀 값으로 이진 값을 갖는 바이너리 이미지 또는 지정된 비트수의 그레이스케일 이미지 등으로 생성될 수 있다.
- [0049] 상기에서는 점 확산함수 획득기(41)가 점 확산함수를 직접 생성하는 것으로 설명하였으나, 점 확산함수는 미리 획득되어 저장될 수도 있다. 이 경우, 확산함수 획득기(41)는 컴퓨터 판독 가능한 저장매체로 구현될 수도 있다.
- [0050] 한편, 초기 높이 맵 생성기(42)는 위상 마스크에 형성되는 위상 변환 패턴의 위치별 높이를 나타내는 높이 맵($\tilde{h}(r)$)의 초기값을 생성한다. 상기한 바와 같이 위상 마스크는 일면이 위상 변환 패턴에 따라 위치별로 서로 다른 높이를 가져야 하므로, 위상 변환 패턴은 위상 마스크의 2차원 위치 좌표에 따른 높이 정보가 포함된 높이 맵($\tilde{h}(r)$)으로 표현될 수 있다. 여기서 높이 맵($\tilde{h}(r)$)은 비록 2차원 데이터이지만 각 원소값이 해당 위치에서의 높이를 나타내므로 실질적으로는 3차원 상의 공간 좌표를 의미하는 3차원 데이터로 볼 수 있다. 따라서 2차원의 점 확산함수($i(r)$)에 대응하는 하나의 높이 맵($\tilde{h}(r)$)은 특정될 수 없다.
- [0051] 이에 초기 높이 맵 생성기(42)는 초기 위상 변환 패턴을 나타내는 높이 맵($\tilde{h}(r)$)의 초기값을 생성한다. 여기서 초기 높이 맵 생성기(42)는 점 확산함수($i(r)$)에 무관하게 높이 맵($\tilde{h}(r)$)의 초기값을 미리 지정된 값으로 설정하거나 랜덤하게 설정할 수 있다.
- [0052] 광 전파 모델 변환기(43)는 높이 맵($\tilde{h}(r)$)과 위상 마스크와 이미지 센서 사이의 초점 거리(f)를 인가받고, 광 전파 모델을 이용하여 높이 맵($\tilde{h}(r)$)과 초점 거리(f)에 따른 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)를 추정한다. 이때 위상 마스크를 구현하는 소재에 따른 매질 특성이 함께 광 전파 모델에 입력될 수도 있으며, 위상 마스크와 이미지 센서 사이의 매질인 것은 공기로 설정될 수 있다.
- [0053] 상기한 바와 같이, 점 확산함수($i(r)$)에 대응하는 하나의 높이 맵($\tilde{h}(r)$)은 획득될 수 없다. 그러나 반대로 점 확산함수($i(r)$)는 광 전파 모델을 이용하여 높이 맵($\tilde{h}(r)$)으로부터 용이하게 획득될 수 있다.
- [0054] 여기서 광 전파 모델은 주어진 환경에서 광이 전파되는 형태를 분석하기 위해 고안되어 파동 광학에서 활용되는 알고리즘으로서, 광 전달 함수($P(k)$)로 표현될 수 있다. 일 예로 각 스펙트럼(Angular Spectrum) 함수가 광 전달 함수($P(k)$)로 이용될 수 있다.

[0055] 이에 광 전파 모델에 높이 맵($\tilde{h}(r)$)과 초점 거리(f)를 대입하면, 도 5의 (b)에서 오른쪽 화살표로 나타난 바와 같이, 현재 높이 맵($\tilde{h}(r)$)에 따른 위상 변환 패턴이 형성된 위상 마스크에 점 광원이 이미지 센서에 투영되는 이미지를 나타내는 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)를 추정할 수 있다.

[0056] 광 전파 모델 변환기(43)는 높이 맵($\tilde{h}(r)$)이 인가되면, 높이 맵($\tilde{h}(r)$)에 의한 광의 위상 변화를 표현하는 위상 맵(U(k))을 수학식 1과 같이 획득할 수 있다.

수학식 1

$$U(k) = \mathcal{F}(e^{i \cdot k_0 \cdot \tilde{h}(r)})$$

[0058] 여기서 $\mathcal{F}(\cdot)$ 는 푸리에 변환 함수이고, k는 푸리에 도메인에서의 위치이고, k_0 는 푸리에 도메인에서의 초기 위치를 나타낸다.

[0059] 즉 광 전파 모델 변환기(43)는 높이 맵($\tilde{h}(r)$)에 의한 광의 위상 변화를 푸리에 변환하여 푸리에 도메인의 위상 맵(U(k))을 획득한다.

[0060] 그리고 위상 마스크를 통과한 광이 초점 거리(f)만큼 이격된 이미지 센서에 전달되는 경우, 푸리에 도메인 상에서의 변화를 나타내는 광 전달 함수(P(k))를 광 전파 모델을 이용하여 획득한다. 즉 광 전달 함수(P(k))는 위상 마스크를 통과하여 이미지 센서에 전파되는 광의 위상 변화를 계산한다.

[0061] 광 전파 모델 변환기(43)는 위상 맵(U(k))과 광 전달 함수(P(k))를 이용하여, 위상 마스크에 입사되는 광이 이미지 센서에 도달할 때 발생된 위상 변화를 계산할 수 있다. 광 전파 모델 변환기(43)는 추가적으로 역 푸리에 변환을 수행하여, 현재 설정된 높이 맵($\tilde{h}(r)$)에 따라 구현되는 위상 마스크에 입사되는 광에 의해 이미지 센서에 투영되는 2차원의 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)를 획득한다.

수학식 2

$$\tilde{i}(r) = \|\mathcal{F}^{-1}(U(k) \cdot P(k))\|^2$$

[0063] 여기서 $\mathcal{F}^{-1}(\cdot)$ 는 역 푸리에 변환 함수이고, $\|\cdot\|$ 는 L_2 놈 함수이다.

[0064] 점 확산함수 비교기(44)는 광 전파 모델 변환기(43)에서 현재의 높이 맵($\tilde{h}(r)$)에서 획득된 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)와 점 확산함수 획득기(41)에서 생성된 점 확산함수(i(r))를 비교하여 오차($i(r) - \tilde{i}(r)$)를 계산한다. 그리고 계산된 오차가 기설정된 기준 오차를 초과하는지 판별한다.

[0065] 만일 현재 설정된 높이 맵($\tilde{h}(r)$)이 요구되는 위상 변환 패턴인 경우, 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)와 점 확산함수(i(r))는 동일($i(r) = \tilde{i}(r)$)해야 한다. 즉 점 확산함수(i(r))는 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)가 최종적으로 가져야 하는 패턴을 갖는 이미지로서 타겟 이미지라고 할 수 있다.

[0066] 이때 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)와 점 확산함수(i(r))는 위상이 2π 주기로 반복되는 형태로 동일한 값을 가질 수 있다. 이에 점 확산함수(i(r))는 진폭과 위상값으로 구분되어 ($i(r) = \tilde{i}(r) = \sqrt{i(r)} \times e^{j\angle \tilde{i}(r)}$)로 다시 표현될 수 있다. 따라서 ($\tilde{i}(r) = \tilde{i}(r)$) 관계이면, 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)와 점 확산함수(i(r))가 서로 동일한 것으로 볼 수 있다.

[0067] 점 확산함수 비교기(44)는 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)와 점 확산함수($i(r)$) 사이의 오차($\check{i}(r) - \tilde{i}(r)$)가 기지정된 기준 오차 이내이면, 현재 설정된 높이 맵($\tilde{h}(r)$)을 위상 마스크의 위상 변환 패턴으로서 결정하고, 결정된 높이 맵($\tilde{h}(r)$)을 그레이스케일 맵 변환기(47)로 전달한다. 그러나 오차가 기준 오차를 초과하면, 오차 역전파기(45)로 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)와 점 확산함수($\check{i}(r)$)를 전달한다.

[0068] 오차 역전파기(45)는 오차가 보상된 높이 맵($\tilde{h}(r)$)을 획득하기 위해, 2차원 이미지인 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)와 점 확산함수($\check{i}(r)$) 사이의 오차를 도 5의 (b)에서 왼쪽 점선 화살표로 표시된 바와 같이, 푸리에 도메인 상에서 이미지 센서로부터 위상 마스크로 역전파되는 위상 오차로 계산하여 위상 맵($U(k)$)을 업데이트한다. 즉 이미지 센서에 형성된 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)와 점 확산함수($\check{i}(r)$) 사이의 오차가 위상 마스크에서의 위상 오차로 표현되도록 역전파하여 업데이트된 위상 맵($U(k)$)을 획득한다.

[0069] 오차 역전파기(45)는 수학적 식 3에 따라 위상 맵($U(k)$)을 업데이트할 수 있다.

수학적 식 3

$$U_{n+1}(k) = U_n(k) + \alpha \cdot \frac{P^*(k)}{|P(k)|_{\max}^2} \cdot (\mathcal{F}(\check{i}(r)) - \mathcal{F}(\tilde{i}(r)))$$

[0071] 여기서 $U_n(k)$ 는 $n(n = 0, 1, \dots)$ 번째 반복에서 획득된 위상 맵이고, $U_{n+1}(k)$ 은 업데이트된 위상 맵이며, $P^*(k)$ 는 이미지 센서에서 위상 마스크로 역전파되는 광에 대한 역방향 광 전달 함수이며, $|P(k)|_{\max}$ 는 광 전달 함수($P(k)$)의 최대값을 나타낸다. 그리고 α 는 오차를 위상 맵에 반영하는 비율을 조절하는 하이퍼 파라미터이다.

[0072] 수학적 식 3에 나타난 바와 같이, 오차 역전파기(45)는 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)와 점 확산함수($\check{i}(r)$) 각각을 우선 푸리에 변환하여, 푸리에 도메인 상에서 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)와 점 확산함수($\check{i}(r)$) 사이의 오차인 위상 오차를 계산한다. 그리고 계산된 위상 오차를 역방향 광 전달 함수($P^*(k)$)와 광 전달 함수($P(k)$)의 최대값($|P(k)|_{\max}$)으로 정규화한다. 또한 정규화된 위상 오차가 하이퍼 파라미터(α)에 따른 비율로 현재 위상 맵($U_n(k)$)에 가산하여 업데이트 위상 맵($U_{n+1}(k)$)을 획득한다.

[0073] 획득된 업데이트 위상 맵($U_{n+1}(k)$)은 푸리에 도메인에서 오차가 보상된 위상값으므로, 이를 위상 마스크의 위상 변환 패턴에 반영하기 위해서는 업데이트 위상 맵($U_{n+1}(k)$)이 다시 높이 맵($\tilde{h}(r)$)으로 변환되어야 한다. 이에 높이 맵 변환기(46)는 업데이트 위상 맵($U_{n+1}(k)$)을 인가받아 역 푸리에 변환함으로써, 업데이트된 높이 맵($\tilde{h}(r)$)을 획득할 수 있다. 다만 위상 맵($U_{n+1}(k)$)을 역 푸리에 변환하여 높이 맵($\tilde{h}(r)$)을 획득하는 경우, 획득된 높이 맵($\tilde{h}(r)$)에 따른 위상 마스크를 제조할 수 없는 경우가 발생할 수 있다.

[0074] 상기한 바와 같이, 그레이스케일 리소그래피 기법을 이용하여 위상 마스크를 제조하는 경우, 위상 변환 패턴의 위치별 높이차가 크게 발생할 수 없다. 즉 높이 맵($\tilde{h}(r)$)의 최대 높이와 최소 높이 사이의 차이에 한계가 있을 뿐만 아니라, 서로 인접한 위치에서는 높이 변화가 매끄럽게 이루어져야 한다. 따라서 단순히 업데이트 위상 맵($U_{n+1}(k)$)을 역 푸리에 변환하여 높이 맵($\tilde{h}(r)$)을 획득하는 것은, 실제 위상 마스크를 제조 공정을 고려하지 않고, 이론적으로 구현 가능한 위상 변환 패턴을 획득하는 결과를 초래하게 된다.

[0075] 이에 높이 맵 변환기(46)는 업데이트 위상 맵($U_{n+1}(k)$)에 대해 제조 공정에 따른 필터링 함수($R(k)$)를 추가적으

로 적용한 후, 역 푸리에 변환하여 높이 맵($\tilde{h}(r)$)을 획득한다. 여기서 필터링 함수($R(k)$)는 높이 맵($\tilde{h}(r)$)이 위상 마스크를 제조하는 제조 기법에서 구현 가능한 범위를 갖도록 업데이트 위상 맵($U_{n+1}(k)$)을 필터링하는 기능을 수행한다. 따라서 높이 맵 변환기(46)는 그레이스케일 리소그래피 제조 기법을 이용하여 위상 마스크의 위상 변환 패턴으로 구현될 수 있는 높이 맵($\tilde{h}(r)$)을 획득할 수 있다. 여기서 필터링 함수($R(k)$)는 위상 마스크 제조 기법에 따라 다양하게 설정될 수 있으며, 예로서 로우 패스 필터(low pass filter) 함수나 총 변이(Total Variation) 함수가 이용될 수 있다.

[0076] 높이 맵 변환기(46)가 구현 가능한 수준에서 업데이트된 높이 맵($\tilde{h}(r)$)을 획득하면, 광 전파 모델 변환기(43)는 업데이트된 높이 맵($\tilde{h}(r)$)을 기반으로 다시 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)를 획득하고, 점 확산함수 비교기(44)는 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)와 점 확산함수($\check{i}(r)$) 사이의 오차를 계산한다.

[0077] 그레이스케일 맵 변환기(47)는 점 확산함수 비교기(44)에서 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)와 점 확산함수($\check{i}(r)$) 사이의 오차가 기준 오차 이하로 판별되어, 현재 설정된 높이 맵($\tilde{h}(r)$)이 위상 마스크의 위상 변환 패턴으로서 인가되면, 인가된 높이 맵($\tilde{h}(r)$)의 위치 좌표(r)에 따른 높이값, 즉 픽셀값을 지정된 비트수(예를 들면 8비트)로 양자화하여 그레이스케일 맵을 획득한다.

[0078] 그리고 획득된 그레이스케일 맵은 도 3에 도시된 바와 같이, 위상 마스크의 위상 변환 패턴으로 형성되도록 미세 반사체(22)에 입력된다.

[0079] 결과적으로 실시예에서는 임의의 초기 높이 맵($\tilde{h}(r)$)을 획득하고, 획득된 높이 맵($\tilde{h}(r)$)을 광의 위상을 변화시키는 위상 맵($U(k)$)으로 변환한 후, 위상 맵($U(k)$)에 의해 위상이 변화된 광이 초점거리만큼 이격된 위치의 이미지에 투영된 형상을 나타내는 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)를 추정한다. 그리고 추정된 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)와 점 확산함수($\check{i}(r)$) 사이의 오차를 이미지 센서로부터 위상 마스크 방향으로 광의 역전파에 따른 위상 오차로 변환하여 위상 맵($U(k)$)을 업데이트하고, 업데이트된 위상 맵($U(k)$)으로부터 제조 방식에 따라 구현 가능한 수준의 높이 차를 갖는 업데이트된 높이 맵($\tilde{h}(r)$)을 획득하는 과정을 반복한다. 그리고 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)와 점 확산함수($\check{i}(r)$) 사이의 오차가 기지정된 기준 오차 이내이면, 현재 설정된 높이 맵($\tilde{h}(r)$)의 픽셀값을 양자화하여 그레이스케일 맵을 획득하며, 획득된 그레이스케일 맵을 이용하여 그레이스케일 리소그래피 기법으로 위상 마스크를 제조할 수 있도록 한다.

[0080] 따라서 그레이스케일 리소그래피 기법을 이용하여 저비용으로 빠르고 용이하게 제조될 수 있는 위상 마스크를 설계할 수 있다.

[0081] 도 6은 일 실시예 따른 위상 마스크 설계 방법을 나타낸다.

[0082] 도 4 및 도 5를 참조하여, 도 6의 위상 마스크 설계 방법을 설명하면, 우선 점 확산함수($i(r)$)를 획득한다(61). 여기서 점 확산함수는 미리 생성되어 저장되어 있을 수도 있다. 그러나 활용 용도에 따라 패턴 종류와 밀도 및 크기 등의 정보를 포함하는 요구 패턴 정보가 인가되면, 인가된 요구 패턴 정보에 따른 점 확산함수($i(r)$)를 생성하여 획득할 수도 있다.

[0083] 한편 초기 높이 맵($\tilde{h}(r)$)을 생성한다(62). 여기서 초기 높이 맵은 위상 마스크에 형성되는 위상 변환 패턴의 위치별 높이를 나타내는 높이 맵($\tilde{h}(r)$)의 초기값으로서 미리 지정된 값으로 설정되거나 랜덤하게 설정될 수 있다.

[0084] 그리고 초기 높이 맵($\tilde{h}(r)$) 또는 이전 설정된 현재 높이 맵($\tilde{h}(r)$)을 기반으로 위상 마스크가 생성되는 경우, 위상 마스크에 입사된 점 광원이 위상 변화되어 초점 거리(f)만큼 이격된 이미지 센서에 형성하는 형상인 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)를 획득한다(63). 여기서 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)는 위상 마스크에 입사된 점 광원의 위치

별 위상 변화를 나타내는 위상 맵($U(k)$)을 푸리에 변환으로 획득하고, 위상 맵($U(k)$)에 따라 위상 변화된 광이 이미지 센서까지 전파된 경우의 위상을 광 전파 모델을 이용하여 계산한 후, 역 푸리에 변환하여 획득할 수 있다.

[0085] 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)가 획득되면, 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)와 점 확산함수($i(r) = \sqrt{i(r)} \times e^{j\angle i(r)}$) 사이의 오차를 계산한다(64). 이때 오차는 2π 주기로 반복되는 위상값을 고려하여, $(\tilde{i}(r) - i(r))$ 로 계산될 수 있다.

[0086] 그리고 계산된 오차가 기지정된 기준 오차 이하인지 판별한다(65). 만일 오차가 기준 오차를 초과하면, 오차를 푸리에 도메인 상에서의 위상 오차로 변환하여 계산하고, 계산된 위상 오차를 이미지 센서에서 위상 마스크로 역전파 및 정규화한 후, 현재 위상 맵($U_n(k)$)에 가산하여 업데이트 위상 맵($U_{n+1}(k)$)을 획득한다(66).

[0087] 업데이트 위상 맵($U_{n+1}(k)$)이 획득되면, 업데이트 위상 맵($U_{n+1}(k)$)을 제조 기법을 고려하여 구현 가능한 수준으로 변환하기 위해 설정된 필터링 함수($R(k)$)로 필터링한다(67). 여기서는 그레이스케일 리소그래피 기법을 이용하여 위상 마스크를 제조하는 것으로 가정하며, 이에 필터링 함수($R(k)$)로는 로우 패스 필터(low pass filter) 함수나 총 변이(Total Variation) 함수가 이용될 수 있다.

[0088] 업데이트 위상 맵($U_{n+1}(k)$)이 필터링 함수($R(k)$)로 필터링되면, 필터링된 업데이트 위상 맵($U_{n+1}(k) \cdot R(k)$)을 역 푸리에 변환하여 업데이트된 높이 맵($\tilde{h}(r)$)을 획득한다(68). 그리고 업데이트된 높이 맵($\tilde{h}(r)$)을 이용하여 다시 가상 점 확산함수($\tilde{i}(r)$)를 획득한다(63).

[0089] 한편, 오차가 기준 오차 이내이면, 현재 높이 맵($\tilde{h}(r)$)의 높이값, 즉 픽셀값을 지정된 비트값으로 양자화하여 그레이스케일 리소그래피 기법에 적용 가능한 그레이스케일 맵으로 변환한다(69).

[0090] 도 7은 일 실시예에 따른 컴퓨팅 장치를 포함하는 컴퓨팅 환경을 설명하기 위한 도면이다.

[0091] 도시된 실시예에서, 각 구성 요소들은 이하에 기술된 것 이외에 상이한 기능 및 능력을 가질 수 있고, 이하에 기술되지 않은 것 이외에도 추가적인 구성 요소를 포함할 수 있다. 도시된 컴퓨팅 환경(70)은 컴퓨팅 장치(71)를 포함한다. 일 실시예에서, 컴퓨팅 장치(71)는 도 4에 도시된 위상 마스크 설계 장치에 포함된 하나 이상의 구성 요소일 수 있다.

[0092] 컴퓨팅 장치(71)는 적어도 하나의 프로세서(72), 컴퓨터 판독 가능 저장매체(73) 및 통신 버스(75)를 포함한다. 프로세서(72)는 컴퓨팅 장치(71)로 하여금 앞서 언급된 예시적인 실시예에 따라 동작하도록 할 수 있다. 예컨대, 프로세서(72)는 컴퓨터 판독 가능 저장매체(73)에 저장된 하나 이상의 프로그램들(74)을 실행할 수 있다. 상기 하나 이상의 프로그램들(74)은 하나 이상의 컴퓨터 실행 가능 명령어를 포함할 수 있으며, 상기 컴퓨터 실행 가능 명령어는 프로세서(72)에 의해 실행되는 경우 컴퓨팅 장치(71)로 하여금 예시적인 실시예에 따른 동작들을 수행하도록 구성될 수 있다.

[0093] 통신 버스(75)는 프로세서(72), 컴퓨터 판독 가능 저장매체(73)를 포함하여 컴퓨팅 장치(71)의 다른 다양한 구성 요소들을 상호 연결한다.

[0094] 컴퓨팅 장치(71)는 또한 하나 이상의 입출력 장치(78)를 위한 인터페이스를 제공하는 하나 이상의 입출력 인터페이스(76) 및 하나 이상의 통신 인터페이스(77)를 포함할 수 있다. 입출력 인터페이스(76) 및 통신 인터페이스(77)는 통신 버스(75)에 연결된다. 입출력 장치(78)는 입출력 인터페이스(76)를 통해 컴퓨팅 장치(71)의 다른 구성 요소들에 연결될 수 있다. 예시적인 입출력 장치(78)는 포인팅 장치(마우스 또는 트랙패드 등), 키보드, 터치 입력 장치(터치패드 또는 터치스크린 등), 음성 또는 소리 입력 장치, 다양한 종류의 센서 장치 및/또는 촬영 장치와 같은 입력 장치, 및/또는 디스플레이 장치, 프린터, 스피커 및/또는 네트워크 카드와 같은 출력 장치를 포함할 수 있다. 예시적인 입출력 장치(78)는 컴퓨팅 장치(71)를 구성하는 일 구성 요소로서 컴퓨팅 장치(71)의 내부에 포함될 수도 있고, 컴퓨팅 장치(71)와는 구별되는 별개의 장치로 컴퓨팅 장치(71)와 연결될 수도 있다.

[0095] 이상에서 대표적인 실시예를 통하여 본 발명에 대하여 상세하게 설명하였으나, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의

진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

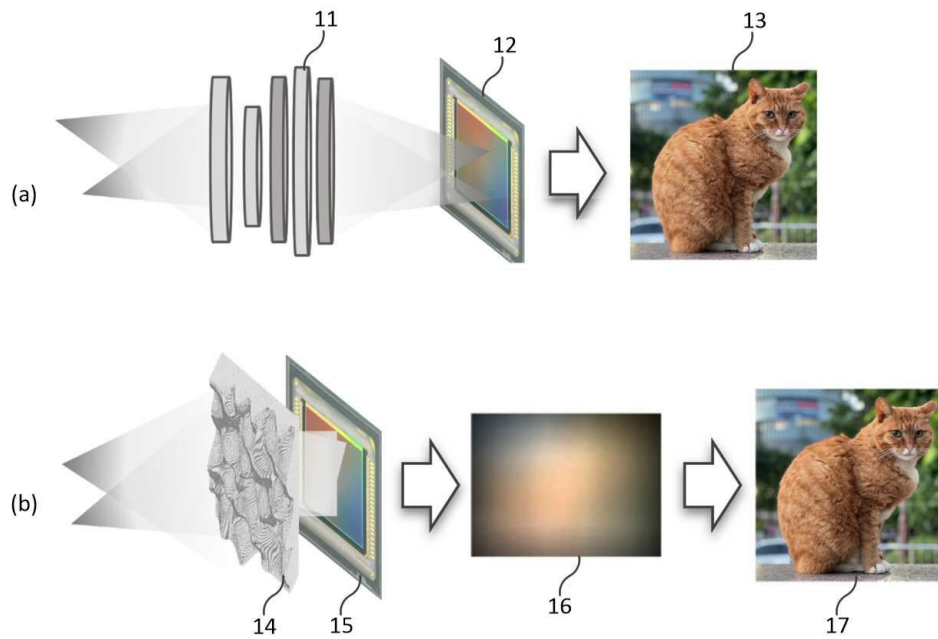
부호의 설명

[0096]

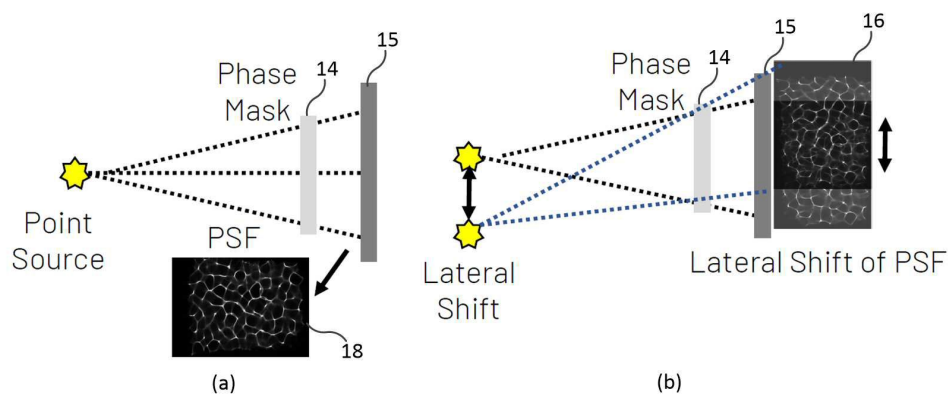
- 41: 점 확산함수 획득기 42: 초기 높이맵 생성기
43: 광 전파 모델 변환기 44: 점 확산함수 비교기
45: 오차 역전파기 46: 높이맵 변환기
47: 그레이스케일 맵 변환기

도면

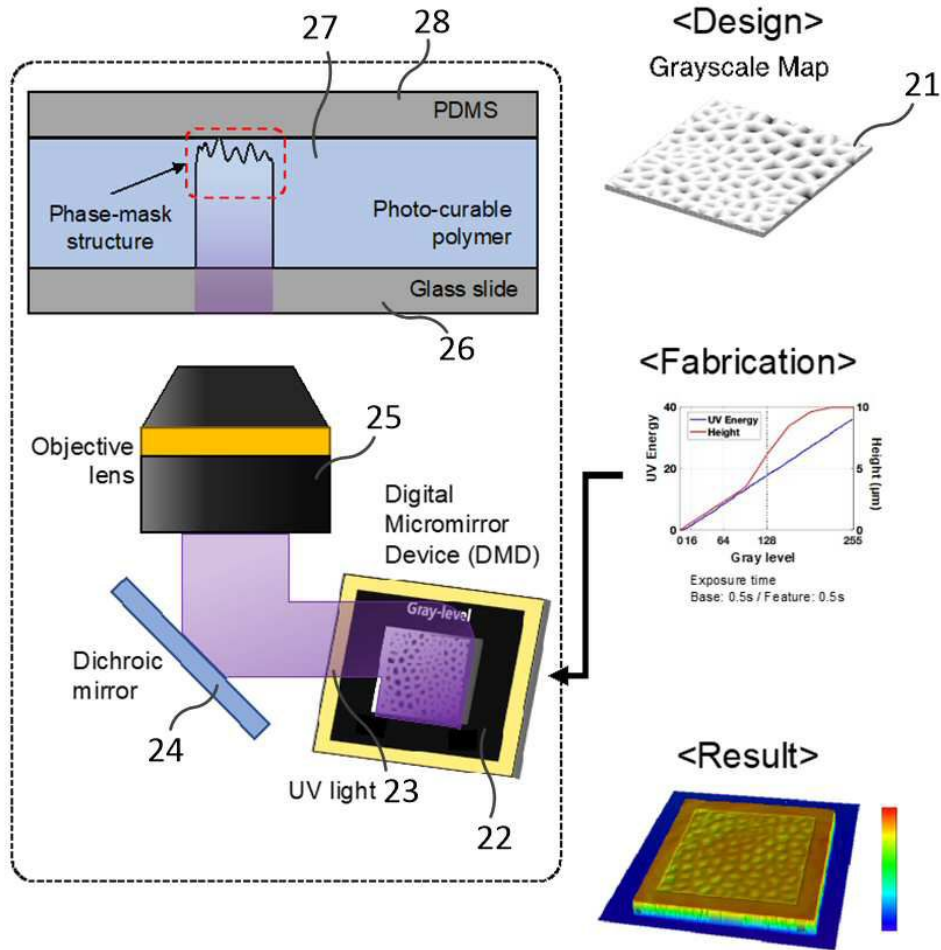
도면1



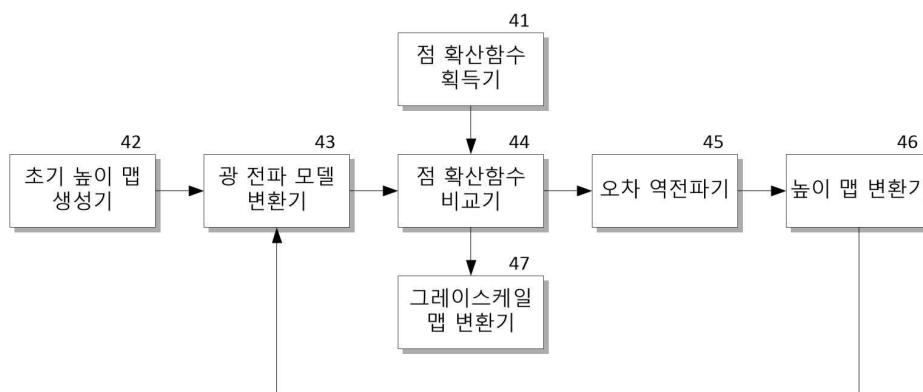
도면2



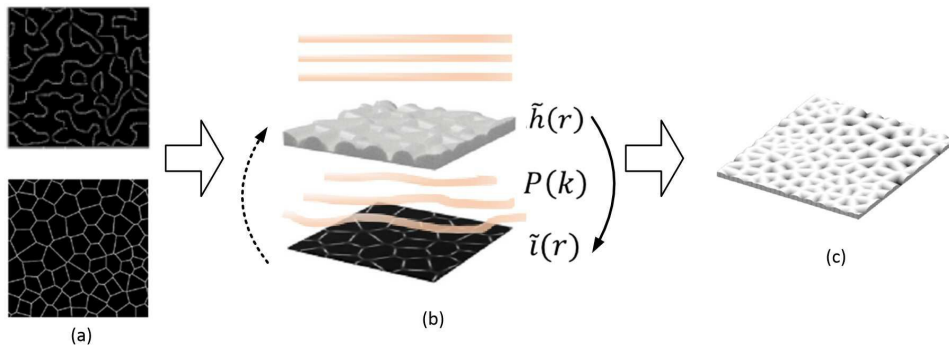
도면3



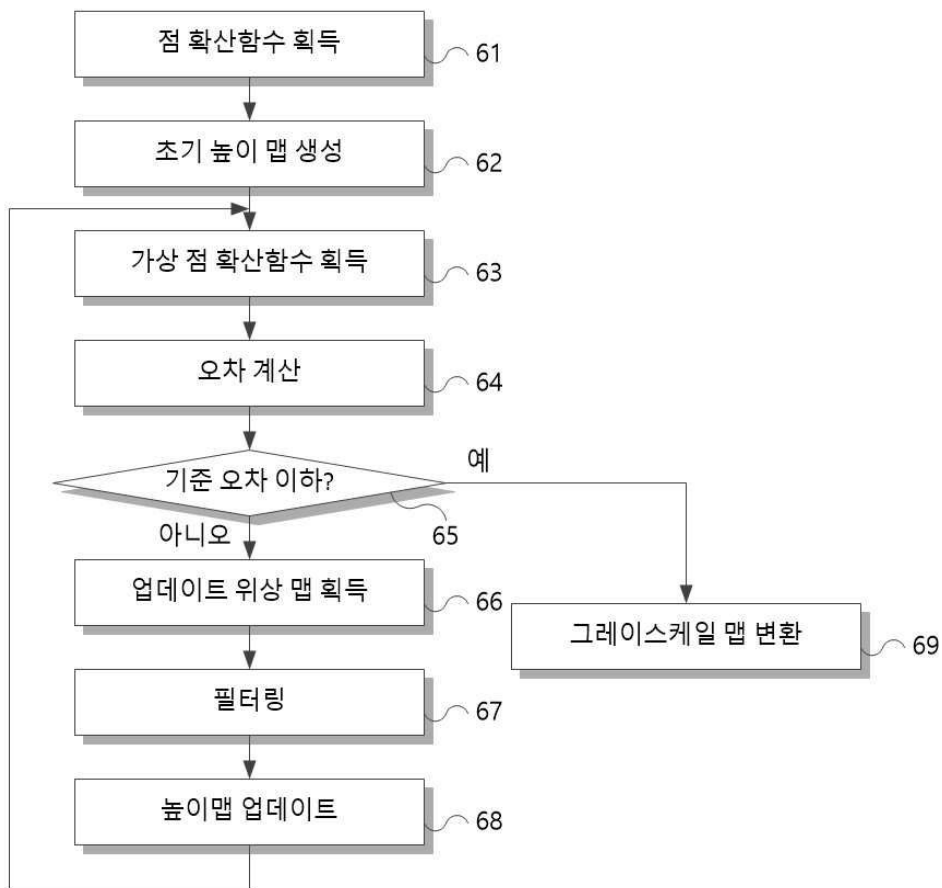
도면4



도면5



도면6



도면7

