



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0102604
(43) 공개일자 2023년07월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 19/20 (2011.01) G06F 17/10 (2006.01)
G06T 3/00 (2019.01) G06T 5/00 (2019.01)
G06T 5/20 (2006.01) G06T 5/40 (2006.01)
G06T 7/11 (2017.01) G06T 7/13 (2017.01)
(52) CPC특허분류
G06T 19/20 (2013.01)
G06F 17/10 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0192855
(22) 출원일자 2021년12월30일
심사청구일자 2021년12월30일

(71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
주식회사 안티그래비티
서울특별시 성동구 성수이로22길 37, 3층 303썬호
(성수동2가)
(72) 발명자
최욱
인천광역시 연수구 송도문화로28번길 28, 106동
2802호 (송도동, 송도글로벌캠퍼스푸르지오)
연봉근
경기도 부천시 옥산로 7, A동 603호 (중동, 리첸
시아 중동)
(74) 대리인
특허법인충정

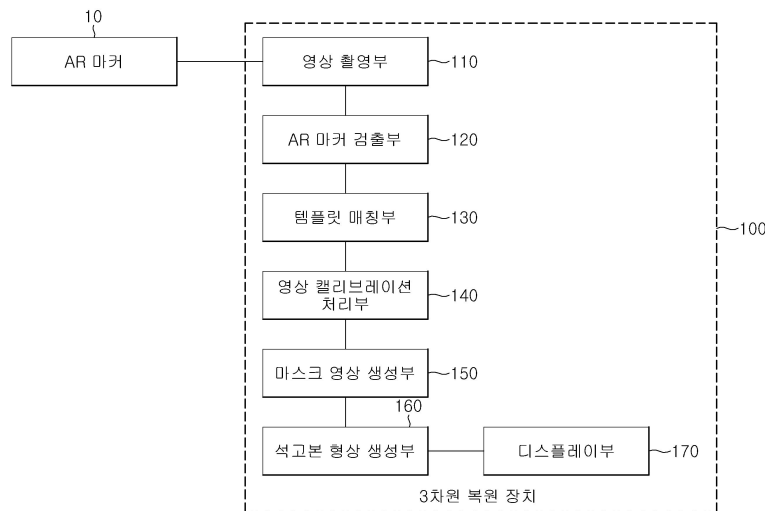
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 A R 마커와 카메라를 이용한 석고본의 3차원 복원장치

(57) 요약

AR 마커와 카메라를 이용한 석고본의 3차원 복원장치는 가슴을 직접 촬영하지 않고, 석고로 가슴의 본을 뜬 석고 본을 올려 놓은 AR 마커를 촬영하고, 촬영된 영상에서 AR 마커 영역과 석고본 영역을 정확하게 분리하는 영상 분석 기술을 이용하여 3차원 공간에서 석고본의 형상을 복원해냄으로써 가슴을 직접 촬영하지 않고도 가슴의 석고 본을 촬영하여 가슴의 형태와 부피를 간접적으로 측정할 수 있는 효과가 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

G06T 3/0093 (2013.01)

G06T 5/001 (2013.01)

G06T 5/20 (2023.01)

G06T 5/40 (2023.01)

G06T 7/11 (2017.01)

G06T 7/13 (2017.01)

G06T 2207/30204 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

석고로 가슴의 본을 뜬 석고본을 AR 마커(Augmented Reality Marker) 위에 놓고, 석고본 영역을 여러 번 촬영하는 영상 촬영부;

원본 AR 마커 영상의 임의의 한 점으로부터 상기 영상 촬영부에 의해 촬영된 입력 AR 마커 영상의 대응점으로서의 동차좌표변환(Homography)을 계산하는 AR 마커 검출부;

상기 입력 AR 마커 영상에서 상기 석고본 영역과 AR 마커 영역을 추출하는 마스크 영상 생성부; 및

3차원 공간에서 상기 석고본 영역에 포함되지 않는 점들을 제거하여 석고본의 3차원 형상을 복원하는 석고본 형상 생성부를 포함하는 AR 마커와 카메라를 이용한 석고본의 3차원 복원장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 AR 마커 검출부는 상기 원본 AR 마커 영상의 임의의 한 점 $\mathbf{x}=(x,y)$ 로부터 상기 영상 촬영부에 의해 촬영된 입력 AR 마커 영상의 대응점 $\mathbf{x}'=(x',y')$ 로의 동차좌표변환 $\mathbf{H}$ 를 계산하는 AR 마커와 카메라를 이용한 석고본의 3차원 복원장치.

[수학식 1]

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} \propto \mathbf{H} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_1^T \\ \mathbf{h}_2^T \\ \mathbf{h}_3^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

[수학식 2]

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_1^T \\ h_2^T \\ h_3^T \end{pmatrix}$$

[수학식 3]

$$x' = \frac{\mathbf{h}_1^T \hat{\mathbf{x}}}{\mathbf{h}_3^T \hat{\mathbf{x}}}, y' = \frac{\mathbf{h}_2^T \hat{\mathbf{x}}}{\mathbf{h}_3^T \hat{\mathbf{x}}}$$

여기서, $\mathbf{H}$ 는 3×3 행렬이고, $\mathbf{H}$ 의 각각의 행을 $\mathbf{h}_1^T, \mathbf{h}_2^T, \mathbf{h}_3^T$ 라 하고, $\hat{\mathbf{x}} = [x, y, 1]^T$ 라 가정함.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 AR 마커 검출부는 상기 원본 AR 마커 영상 또는 상기 입력 AR 마커 영상에서 SIFT(Scale Invariant

Feature Transform) 알고리즘을 적용하여 영상에서 검출한 특징적인 위치인 특징점을 추출하고, 상기 추출한 특징점의 기술자를 생성하고, 한 영상의 특징점 $\mathbf{x}$ 에 대해서 기술자 $\mathbf{d}$ 가 주어졌을 때, 다른 영상의 N개의 특징점 $\{\mathbf{x}'_i\}_{i=1}^N$ 과 기술자 $\{\mathbf{d}'_i\}_{i=1}^N$ 중 기술자 간의 거리 $\|\mathbf{d} - \mathbf{d}'_i\|$ 를 최소화 시키는 특징점을 $\mathbf{x}$ 의 대응점으로 선정하는 AR 마커와 카메라를 이용한 석고본의 3차원 복원장치.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 AR 마커 검출부는 상기 원본 AR 마커 영상을 변환하여 다양한 카메라 자세에 해당하는 변환된 원본 AR 마커 영상을 생성하고, 상기 원본 AR 마커 영상 또는 상기 변환된 원본 AR 마커 영상과, 상기 각각의 입력 AR 마커 영상 간의 특징점 정합을 수행하는 AR 마커와 카메라를 이용한 석고본의 3차원 복원장치.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 AR 마커 검출부는 기술자 차이의 비율인 $\|\mathbf{d} - \mathbf{d}'_{i1}\| / \|\mathbf{d} - \mathbf{d}'_{i2}\|$ 가 1보다 작은 문턱치보다 작은 경우에 $\mathbf{x}$ 와 $\mathbf{x}'_{i1}$ 를 특징점 대응쌍으로 추출하고, 기술자 간의 거리를 최소화 시키는 대응점의 인덱스 i 를 $i1$ 이라 하고, $\|\mathbf{d} - \mathbf{d}'_i\|$ 에 대해서 두 번째로 작은 값을 주는 인덱스 i 를 $i2$ 라 하는 AR 마커와 카메라를 이용한 석고본의 3차원 복원장치.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 AR 마커 검출부는 상기 원본 AR 마커 영상과 상기 변환된 원본 AR 마커 영상 간의 특징점 정합을 기술자 차이의 비율($\|\mathbf{d} - \mathbf{d}'_{i1}\| / \|\mathbf{d} - \mathbf{d}'_{i2}\|$)을 이용해서 수행하고, 상기 특징점 대응쌍이 주어지면, 랜덤 샘플 일치(Random Sample Consensus, RANSAC) 방법을 이용하여 상기 원본 AR 마커 영상으로부터 상기 입력 AR 마커 영상으로의 동차좌표변환(Homography) H 를 계산하는 AR 마커와 카메라를 이용한 석고본의 3차원 복원장치.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 원본 AR 마커 영상의 한 모서리 지점의 템플릿을 추출하고, 상기 추출한 템플릿을 반전시켜 제1 이진화 영상 처리하고, 좌표 변환(Warping)된 입력 AR 마커 영상의 모서리 주변 영역을 반전시켜 제2 이진화 영상 처리한 후, 상기 제2 이진화 처리한 입력 AR 마커 영상에서 상기 제1 이진화 영상 처리한 템플릿을 탐색하여 템플릿 매칭 과정을 수행하는 템플릿 매칭부를 더 포함하는 AR 마커와 카메라를 이용한 석고본의 3차원 복원장치.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 마스크 영상 생성부는 잘린 사각뿔을 카메라 캘리브레이션의 결과인 투영 행렬(Projection Matrix)(수학식 4, 수학식 5)을 이용해서 각각의 입력 AR 마커 영상에 투영하면, AR 마커 영상과 석고본을 포함하는 1차 마스크 영역을 생성하는 1차 마스크 영상 생성부를 더 포함하는 AR 마커와 카메라를 이용한 석고본의 3차원 복원장치.

[수학식 4]

$$\mathbf{P}_i = \mathbf{K}[\mathbf{R}_i | \mathbf{T}_i]$$

여기서, $\mathbf{K}$ 는 3×3 삼각행렬이고, $\mathbf{R}_i$ 는 3×3 회전변환행렬이고, $\mathbf{T}_i$ 는 3차원 이동벡터임.

[수학식 5]

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} f & 0 & x_m \\ 0 & f & y_m \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

여기서, $\mathbf{K}$ 는 모든 변환된 원본 AR 마커 영상에 대해서 공통이며, f 는 카메라의 초점거리이고, (x_m, y_m) 는 영상의 중심좌표임.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 마스크 영상 생성부는 Grab-Cut 방법을 이용하여 전경 영역과 배경일 것으로 추측되는 영역에서 컬러의 확률분포함수 $p_f(\mathbf{C})$ 를 추출하고, 배경 영역과 배경일 것으로 추측되는 영역에서 컬러의 확률분포함수 $p_b(\mathbf{C})$ 를 추출하고, n 번째 픽셀에 대해서 α_n 이라는 라벨을 정의하고, α_n 이 1이면 전경, 0이면 배경이라 하고, 픽셀 n 이 속하는 컬러 확률분포함수를 다음의 수학식 6으로 표현하고, 모든 픽셀 n 에 대해서 $-\log p(\mathbf{C}_n; \alpha_n)$ 을 최소화 시키는 α_n 을 찾으면, 각각의 픽셀이 전경(마스크 영역)인지 그렇지 않은지를 판단하는 2차 마스크 영상을 생성하는 2차 마스크 영상 생성부를 더 포함하는 AR 마커와 카메라를 이용한 석고본의 3차원 복원장치.

[수학식 6]

$$p(\mathbf{C}_n; \alpha_n) = \begin{cases} p_f(\mathbf{C}_n), & \text{if } \alpha_n = 1, \\ p_b(\mathbf{C}_n), & \text{otherwise.} \end{cases}$$

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 마스크 영상 생성부는 상기 2차 마스크 영상을 제외한 모든 영역을 배경으로 설정하고, 상기 설정한 배경 영역을 제외하고, 상기 원본 AR 마커 영상과 상기 입력 AR 마커 영상의 특징점 정합을 통해 석고본을 포함하는 제3 마스크 영상을 생성하는 3차 마스크 영상 생성부를 더 포함하는 AR 마커와 카메라를 이용한 석고본의 3차원 복원장치.

청구항 11

청구항 6에 있어서,

상기 석고본 형상 생성부는 서로 다른 입력 AR 마커 영상 간의 특징점 대응쌍으로부터 이에 대응하는 3차원 점들의 좌표를 알아내는 3차원 구조 추정부; 및

상기 3차원 점들의 높이 좌표(Z 좌표)에 대한 히스토그램을 생성한 후, 상기 히스토그램의 분포 중 두 번째로 높은 봉우리에 해당하는 Z 좌표를 높이로 설정하고, 상기 3차원 점들을 잘린 원뿔 모델의 표면에 매칭하여 3차원 형상을 복원하는 원뿔 모델 처리부를 더 포함하는 AR 마커와 카메라를 이용한 석고본의 3차원 복원장치.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 3차원 복원장치에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 가슴을 직접 촬영하지 않고, 석고로 가슴의 본을 뜬 석고본을 올려 놓은 AR 마커를 촬영하고, 촬영된 영상에서 AR 마커 영역과 석고본 영역을 정확하게 분리하는 영상 분석 기술을 이용하여 3차원 공간에서 석고본의 형상을 복원해내는 AR 마커와 카메라를 이용한 석고본의 3

[0001]

차원 복원장치에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 좋은 브래지어는 착용감이 좋으면서 예쁜 가슴 라인을 만들어 주는 것이다.
- [0003] 소비자는 자신의 가슴 부피와 모양을 정확하게 알고 있으면, 오프라인 매장을 가지 않고도 온라인 쇼핑몰에서 두 가지 조건에 맞는 브래지어를 직접 착용하지 않고도 쉽게 찾을 수 있다.
- [0004] 하지만, 의외로 많은 여성들은 자신의 가슴 부피와 모양을 정확하게 모르는 경우가 많다.
- [0005] 대부분의 여성들은 정확한 사이즈를 모르는 상태에서 브래지어를 주문하기 때문에 자신에게 잘 맞는 속옷을 구매하기 어렵고, 사이즈가 맞지 않는 브래지어를 장시간 착용하는 경우, 혈액 순환 등 다양한 건강 문제를 야기할 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0006] (특허문헌 0001) 한국 등록특허번호 제10-1557492호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명은 가슴을 직접 촬영하지 않고, 석고로 가슴의 본을 뜬 석고본을 올려 놓은 AR 마커를 촬영하고, 촬영된 영상에서 AR 마커 영역과 석고본 영역을 정확하게 분리하는 영상 분석 기술을 이용하여 3차원 공간에서 석고본의 형상을 복원해내는 AR 마커와 카메라를 이용한 석고본의 3차원 복원 장치를 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0008] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 특징에 따른 AR 마커와 카메라를 이용한 석고본의 3차원 복원장치는,
- [0009] 석고로 가슴의 본을 뜬 석고본을 AR 마커(Augmented Reality Marker) 위에 놓고, 석고본 영역을 여러 장의 석고 모형 영역을 촬영하는 영상 촬영부;
- [0010] 원본 AR 마커 영상의 임의의 한 점으로부터 상기 영상 촬영부에 의해 촬영된 입력 AR 마커 영상의 대응점으로서의 동차좌표변환(Homography)을 계산하는 AR 마커 검출부;
- [0011] 상기 입력 AR 마커 영상에서 상기 석고본 영역과 AR 마커 영역을 추출하는 마스크 영상 생성부; 및
- [0012] 3차원 공간에서 상기 석고본 영역에 포함되지 않는 점들을 제거하여 석고본의 3차원 형상을 복원하는 석고본 모형 생성부를 포함한다.

발명의 효과

- [0013] 진술한 구성에 의하여, 본 발명은 가슴을 직접 촬영하지 않고도 가슴의 석고 본을 촬영하여 가슴의 형태와 부피를 간접적으로 측정할 수 있는 효과가 있다.
- [0014] 본 발명은 석고본 표면의 특징점의 수가 제한적인 경우에도 변형 가능한 잘린 원뿔 모델을 이용하여 강인하게 3차원 복원을 수행할 수 있는 효과가 있다.
- [0015] 본 발명은 가슴 형태의 석고본 영역을 정확하게 분리하기 위하여 AR 마커 특징점과 영상 특징점을 정합하여 더욱 정밀한 3차원 복원이 가능한 효과가 있다.
- [0016] 본 발명은 3차원 복원장치를 이용하여 가슴의 부피와 모양을 정확하게 측정하여 자신에게 가장 잘 맞는 속옷을 구매할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0017] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 AR 마커와 카메라를 이용한 석고본의 3차원 복원장치의 구성을 나타낸 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 마스크 영상 생성부와 석고본 형상 생성부의 내부 구성을 간략하게 나타낸 블록도이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 석고본을 올려 놓은 AR 마커 영상을 나타낸 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 하나의 원본 AR 마커 영상과 그 영상을 다양한 카메라의 자세로 변환(Warping)한 복수의 변환된 원본 AR 마커 영상을 나타낸 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 AR 마커의 특징점 검출과 위치 변환의 일례를 나타낸 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 템플릿 매칭 과정을 나타낸 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 석고본을 포함하는 잘린 사각뿔을 나타낸 도면이다.
- 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 변환된 원본 AR 마커 영상과 석고본과 AR 마커를 포함하는 잘린 사각뿔이 투영된 영역을 나타낸 도면이다.
- 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 2차 마스크 영상을 나타낸 도면이다.
- 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 동심원을 이용한 확실한 전경 영역을 나타낸 도면이다.
- 도 11은 본 발명의 실시예에 따른 확실한 배경 영역을 나타낸 도면이다.
- 도 12는 본 발명의 실시예에 따른 3차 마스크 영상을 나타낸 도면이다.
- 도 13은 본 발명의 실시예에 따른 9개의 변환된 원본 AR 마커 영상들과 이들로부터 획득한 3차원 점들을 나타낸 도면이다.
- 도 14는 본 발명의 실시예에 따른 잘린 원뿔 모델의 일례를 나타낸 도면이다.
- 도 15는 본 발명의 실시예에 따른 3차원 점들의 높이 좌표(Z 좌표)에 대한 히스토그램을 나타낸 도면이다.
- 도 16은 본 발명의 실시예에 따른 전처리 수행한 후의 3차원 점들을 나타낸 도면이다.
- 도 17은 본 발명의 실시예에 따른 전처리가 끝난 3차원 점들을 잘린 원뿔 모델에 매칭한 결과를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0019] 본 발명은 가슴의 부피와 모양을 측정하기 위해서는 석고로 가슴의 본을 뜬 후, 석고본 영상을 여러 장 촬영한 후, 3차원 복원을 수행한다.
- [0020] 이러한 방법은 실제 가슴을 촬영하지 않으므로 민감한 개인 정보 유출을 막을 수 있으며, 두께가 얇은 석고본을 이용하므로 정확도가 높은 장점이 있다.
- [0021] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 AR 마커와 카메라를 이용한 석고본의 3차원 복원장치의 구성을 나타낸 도면이고, 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 마스크 영상 생성부와 석고본 형상 생성부의 내부 구성을 간략하게 나타낸 블록도이고, 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 석고본을 올려 놓은 AR 마커 영상을 나타낸 도면이다.
- [0022] 본 발명의 실시예에 따른 AR 마커와 카메라를 이용한 석고본의 3차원 복원장치(100)는 석고본이 상부면에 놓여진 AR 마커(10), 석고본이 없는 원본 AR 마커, 영상 촬영부(110), AR 마커 검출부(120), 템플릿 매칭부(130), 영상 캘리브레이션 처리부(140), 마스크 영상 생성부(150), 석고본 형상 생성부(160) 및 디스플레이부(170)를 포함한다.
- [0023] 영상 촬영부(110)는 석고로 가슴의 본을 뜬 석고본을 AR 마커(Augmented Reality Marker) 위에 놓고, 여러 장의 석고본 영역을 촬영한다.

- [0024] AR 마커 검출부(120)는 원본 AR 마커 영상의 임의의 한 점으로부터 영상 촬영부에 의해 촬영된 석고본이 상부면에 놓여진 입력 AR 마커 영상의 대응점으로서의 동차좌표변환(Homography)을 계산한다.
- [0025] 본 명세서에서 원본 AR 마커 영상이라 함은 석고본이 없는 AR 마커 영상을 의미하며, 컴퓨터로 제작된 AR 마커 영상이고, 이 영상을 출력해서 AR 마커로 활용된다.
- [0026] 입력 AR 마커 영상이라 함은 석고본이 상부면에 놓여진 채로 실제로 촬영된 AR 마커 영상을 의미하고, 이하의 명세서 전체에 걸쳐서 계속 사용되는 용어이다.
- [0027] 마스크 영상 생성부(150)는 입력 AR 마커 영상에서 석고본 영역과 AR 마커 영역을 추출한다.
- [0028] 석고본 형상 생성부(160)는 3차원 공간에서 석고본 영역에 포함되지 않는 점들을 제거하여 석고본의 3차원 형상을 복원한다.
- [0029] 마스크 영상 생성부(150)는 1차 마스크 영상 생성부(151), 2차 마스크 영상 생성부(152), 3차 마스크 영상 생성부(153)를 포함한다.
- [0030] 석고본 형상 생성부(160)는 3차원 구조 추정부(161), 특징점 대응쌍 계산부(162), 형상 복원부(163) 및 원뿔 모델 처리부(164)를 포함한다.
- [0031] 석고본은 신체의 가슴의 모양과 부피를 측정하기 위해서 석고로 가슴의 본을 뜬 형상이다.
- [0032] AR 마커(Augmented Reality Marker)(10)는 하나 이상의 패턴 구성요소를 복수개 이용하여 미리 설정된 일정한 크기로 형성된다.
- [0033] 여기서, 하나 이상의 패턴 구성요소는 마커영역 내에서 랜덤하게 배치되거나 정해진 규칙에 따라서 배치될 수 있다.
- [0034] 도 3에 도시된 바와 같이, 영상 촬영부(110)는 석고로 가슴의 본을 뜬 석고본을 AR 마커(Augmented Reality Mark) 위에 놓고, 석고본 영역을 여러 장 촬영한다.
- [0035] 영상 촬영부(110)는 석고본이 없는 원본 AR 마커를 컴퓨터를 이용해서 제작 또는 촬영하여, AR 마커를 미리 알려진 일정한 거리에서 회전 없이 촬영한 것과 같은 원본 AR 마커 영상을 생성한다.
- [0036] 영상 촬영부(110)는 다양한 카메라 자세로 원본 AR 마커 영상을 변환(Warping)하여 복수개의 변환된 원본 AR 마커 영상을 생성한다. 다양한 자세로 변환된 복수개의 원본 AR 마커 영상으로부터 특징점을 추출하게 된다.
- [0037] 변환된 원본 AR 마커 영상은 입력 AR 마커 영상과 유사한 카메라 자세로 원본 AR 마커 영상을 변환(Warping)한 영상이고, 수많은 입력 AR 마커 영상이 포함된 데이터베이스를 관찰하여 자주 나타나는 복수개의 카메라 자세를 결정하고, 그 자세에 해당하는 AR 마커 영상을 원본 AR 마커 영상을 변환시켜서 생성한다.
- [0038] 변환된 원본 AR 마커 영상은 석고본이 없는 영상으로 실제로 촬영된 영상이 아니고, 정자세의 원본 AR 마커 영상을 변환해서 생성한 영상이며, AR 마커 검출부(120)에서만 사용된다.
- [0039] 본 발명에서는 미리 알려진 동차좌표변환을 이용해서 좌표 변환을 통해 변환된 원본 AR 마커 영상을 얻었다고 가정한다.

- [0040] AR 마커 검출부(120)는 원본 AR 마커 영상의 임의의 한 점 $\mathbf{x}=(x,y)$ 로부터 영상 촬영부(110)에 의해 촬영된 입력 AR 마커 영상의 대응점 $\mathbf{x}'=(x',y')$ 로의 동차좌표변환 H를 계산한다. H는 동차좌표변환(Homography)이라 하며, 두 대응점 간에는 다음의 수학식 1과 수학식 2와 같은 관계가 성립한다.

수학식 1

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} \propto \mathbf{H} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_1^T \\ \mathbf{h}_2^T \\ \mathbf{h}_3^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

[0041]

수학식 2

$$H = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_1^T \\ h_2^T \\ h_3^T \end{pmatrix}$$

[0042]

[0043] 수학식 2에서 H는 3×3 행렬이고, H의 각각의 행을 $\mathbf{h}_1^T, \mathbf{h}_2^T, \mathbf{h}_3^T$ 라 하고, $\hat{\mathbf{x}} = [x, y, 1]^T$ 라 가정하면, T는 전치(Transpose)를 의미하고, x' 와 y' 는 다음의 수학식 3과 같이 계산한다.

수학식 3

$$x' = \frac{\mathbf{h}_1^T \hat{\mathbf{x}}}{\mathbf{h}_3^T \hat{\mathbf{x}}}, y' = \frac{\mathbf{h}_2^T \hat{\mathbf{x}}}{\mathbf{h}_3^T \hat{\mathbf{x}}}$$

[0044]

[0045] AR 마커 검출부(120)는 원본 AR 마커 영상, 변환된 원본 AR 마커 영상, 또는 입력 AR 마커 영상에서 SIFT(Scale Invariant Feature Transform) 알고리즘을 적용하여 영상에서 검출한 특징적인 위치인 특징점을 검출한다. 예를 들면, 특징적인 위치는 (x, y) 또는 (x', y') 를 의미한다.

[0046] AR 마커 검출부(120)는 특징점을 추출하기 위한 SIFT 이외에 SURF 알고리즘, ORB 알고리즘 등 다양한 알고리즘을 적용할 수 있다.

[0047] 검출된 특징점의 주변에는 텍스처의 변화가 있으며, 특징점 주변에 텍스처가 어떻게 생겼는지 벡터로 나타낸 기술자(Descriptor)를 생성한다. 예를 들면, SIFT는 128 차원의 기술자를 사용하고, ORB는 32 차원의 기술자를 사용한다.

[0048] AR 마커 검출부(120)는 원본 AR 마커 영상 또는 변환된 원본 AR 마커 영상에서 SIFT 알고리즘을 적용하여 특징점을 추출하고, 추출한 특징점의 기술자를 생성한다.

[0049] 추출한 특징점의 기술자는 SIFT 특징점 위치 주변에 위치한 국부 영역의 그레디언트(Gradient) 방향과 크기, SIFT 특징점의 히스토그램이다.

[0050] AR 마커 검출부(120)는 한 영상의 특징점 $\mathbf{x}$ 에 대해서 기술자 $\mathbf{d}$ 가 주어졌을 때, 다른 영상의 N개의 특징점 $\{\mathbf{x}'_i\}_{i=1}^N$ 과 기술자 $\{\mathbf{d}'_i\}_{i=1}^N$ 중 기술자 간의 거리 $\|\mathbf{d} - \mathbf{d}'_i\|$ 를 최소화 시키는 특징점이 $\mathbf{x}$ 의 대응점으로 선정된다.

[0051] 서로 대응하는 특징점은 서로 유사한 기술자를 갖는다.

[0052] 기술자 간의 거리를 최소화 시키는 대응점의 인덱스 i 를 i_1 이라 하고, $\|\mathbf{d} - \mathbf{d}'_i\|$ 에 대해서 두 번째로 작은 값을 주는 인덱스 i 를 i_2 라 하자.

[0053] $\|\mathbf{d} - \mathbf{d}'_{i_1}\|$ 이 $\|\mathbf{d} - \mathbf{d}'_{i_2}\|$ 보다 월등히 작다면, $\mathbf{x}$ 와 $\mathbf{x}'_{i_1}$ 는 서로 대응할 가능성이 높아진다.

- [0054] AR 마커 검출부(120)는 기술자 차이의 비율인 $\frac{\|\mathbf{d} - \mathbf{d}'_1\|}{\|\mathbf{d} - \mathbf{d}'_2\|}$ 가 1보다 작은 문턱치보다 작은 경우에만 $\mathbf{x}$ 와 $\mathbf{x}'_1$ 를 특징점 대응쌍으로 추출한다. 여기서, 문턱치는 기설정되어 있으나, 변경 설정도 가능하다.
- [0055] AR 마커 검출부(120)는 원본 AR 마커 영상에서 변환된 원본 AR 마커 영상 또는 입력 AR 마커 영상으로 변환을 수행하는데, 수학적식 1과 수학적식 2와 같은 형태의 변환을 수행한다.
- [0056] AR 마커 검출부(120)는 데이터베이스 영상을 관찰한 후, 원본 AR 마커 영상으로부터 변환된 원본 AR 마커 영상으로의 동차좌표변환(Homography) H를 미리 결정한다고 가정한다.
- [0057] AR 마커 검출부(120)는 원본 AR 마커 영상의 한 점 $\mathbf{x}$ 를 미리 결정된 동차좌표변환 H에 의해 변환된 원본 AR 마커 영상의 대응 특징점 $\mathbf{x}'$ 로 변환되며, H^{-1} 에 의해 그 역변환도 가능하다.
- [0058] AR 마커 검출부(120)는 변환된 원본 AR 마커 영상의 임의의 픽셀 위치 $\mathbf{x}'$ 의 컬러 또는 밝기값을 결정하기 위해서 H^{-1} 를 이용해서 $\mathbf{x}'$ 에 대응하는 원본 AR 마커 영상의 위치 $\mathbf{x}$ 를 계산하고, $\mathbf{x}$ 위치의 컬러 또는 밝기값을 $\mathbf{x}'$ 로 복사하여 변환된 원본 AR 마커 영상을 생성할 수 있다. 이와 같이 시점 또는 형태가 변환된 AR 마커 영상을 만드는 과정을 변환(Warping)이라고 한다.
- [0059] AR 마커 검출부(120)는 원본 AR 마커 영상을 실제 촬영한 영상에서 나타나는 다양한 자세로 변환(Warping)한 후, 원본 AR 마커 영상과 변환된 원본 AR 마커 영상의 특징점과 기술자를 모두 추출한다.
- [0060] 도 4는 하나의 원본 AR 마커 영상과 다양한 카메라 각도로 변환된 복수의 변환된 원본 AR 마커 영상을 보여준다.
- [0061] AR 마커 검출부(120)는 변환된 원본 AR 마커 영상에서 추출된 특징점 위치 $\mathbf{x}'$ 를 역변환 H^{-1} 를 이용해 역변환을 통해 모든 원본 AR 마커의 대응 위치 $\mathbf{x}$ 로 변환한다.
- [0062] 변환된 원본 AR 마커 영상은 원본 AR 마커 영상과 상이한 카메라 자세로 변환되었기 때문에 원본 AR 마커 영상의 기술자와 다른 기술자가 생성된다.
- [0063] AR 마커 검출부(120)는 새롭게 증가된 변환된 원본 AR 마커 영상의 기술자로 인하여 입력 AR 마커 영상의 특징점과 원본 또는 변환된 원본 AR 마커 영상의 특징점 간의 정합이 가능해져 카메라 자세 변화에 강인한 대응점 탐색이 가능해진다.
- [0064] 도 4는 원본 AR 마커 영상과 이를 다양한 카메라 자세로 변환된 원본 AR 마커 영상의 일례이다.
- [0065] 변환된 원본 AR 마커 영상은 AR 마커 영상의 실제 촬영 시 가장 자주 등장하는 형태의 마커 영상을 포함한다.
- [0066] AR 마커 검출부(120)는 입력 AR 마커 영상이 다양한 자세로 촬영되었을 경우에도, 즉 AR 마커가 카메라의 pitch나 yaw 각도의 변화에 의해 비스듬하게 찍혔을 경우에도 특징점 정합이 가능하게 한다.
- [0067] AR 마커 검출부(120)는 원본 AR 마커 영상 또는 변환된 원본 AR 마커 영상과, 입력 AR 마커 영상 간의 특징점 정합을 기술자 차이의 비율($\frac{\|\mathbf{d} - \mathbf{d}'_1\|}{\|\mathbf{d} - \mathbf{d}'_2\|}$)을 이용해서 수행한다.
- [0068] AR 마커 검출부(120)는 특징점 대응쌍이 주어지면, 랜덤 샘플 일치(Random Sample Consensus, RANSAC) 방법을 이용하여 원본 AR 마커 영상으로부터 입력 AR 마커 영상으로의 동차좌표변환(Homography) H를 계산할 수 있다.
- [0069] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 AR 마커의 특징점 검출과 위치 변환의 일례를 나타낸 도면이다.
- [0070] 도 5의 (a), 도 5의 (b)는 원본 AR 마커 영상에서 검출된 특징점은 빨간색으로 표시하고, 변환된 원본 AR 마커 영상에서 검출된 특징점은 초록색으로 표시한다.
- [0071] 변환된 원본 AR 마커 영상에서 검출된 특징점의 위치를 원본 AR 마커 영상의 좌표계로 변환하여 원본 AR 마커 영상의 초록색으로 표시된 특징점을 얻는다.
- [0072] RANSAC 과정은 다음과 같다.

[0073] RANSAC의 입력인 두 영상 간의 특징점 대응쌍의 집합을 $\{(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}'_i)\}_{i=1}^M$ 로 나타내자.

[0074] AR 마커 검출부(120)는 M개의 특징점 대응쌍 중 4개의 특징점 대응쌍을 무작위로 추출하고, 일반성을 잃지 않고, 이들을 $\{(\mathbf{x}_j, \mathbf{x}'_j)\}_{j=1}^4$ 로 나타낸다.

[0075] AR 마커 검출부(120)는 4개의 특징점 대응쌍에 대한 변환 $\tilde{\mathbf{H}}$ 의 3개 행을 $\tilde{\mathbf{h}}_1^T, \tilde{\mathbf{h}}_2^T, \tilde{\mathbf{h}}_3^T$ 라고 하면, 이러한 벡터 $\tilde{\mathbf{h}} = [\tilde{\mathbf{h}}_1^T, \tilde{\mathbf{h}}_2^T, \tilde{\mathbf{h}}_3^T]^T$ 는 하기의 수학적 4의 8×9 행렬 A에 대해서 $\mathbf{A}^T \mathbf{A}$ 의 가장 작은 고유값(eigenvalue)에 대응하는 고유벡터이다. T는 전치(Transpose)를 의미한다.

수학적 4

[0076]
$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -x_1 & -y_1 & -1 & y'_1 x_1 & y'_1 y_1 & y'_1 \\ -x_1 & -y_1 & -1 & 0 & 0 & 0 & x'_1 x_1 & x'_1 y_1 & x'_1 \\ 0 & 0 & 0 & -x_2 & -y_2 & -1 & y'_2 x_2 & y'_2 y_2 & y'_2 \\ -x_2 & -y_2 & -1 & 0 & 0 & 0 & x'_2 x_2 & x'_2 y_2 & x'_2 \\ 0 & 0 & 0 & -x_3 & -y_3 & -1 & y'_3 x_3 & y'_3 y_3 & y'_3 \\ -x_3 & -y_3 & -1 & 0 & 0 & 0 & x'_3 x_3 & x'_3 y_3 & x'_3 \\ 0 & 0 & 0 & -x_4 & -y_4 & -1 & y'_4 x_4 & y'_4 y_4 & y'_4 \\ -x_4 & -y_4 & -1 & 0 & 0 & 0 & x'_4 x_4 & x'_4 y_4 & x'_4 \end{bmatrix}$$

[0077] 이와 같이 구한 $\tilde{\mathbf{H}}$ 가 정확한 변환이라면, AR 마커 검출부(120)는 다음의 수학적 5와 같이 주어지는 오차를 특징점 대응쌍 $(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}'_i)$ 에 대해서 최소화시킨다.

수학적 5

[0078]
$$e_i(\tilde{\mathbf{H}}) = \|\hat{\mathbf{x}}'_i - \tilde{\mathbf{H}} \hat{\mathbf{x}}_i / \tilde{\mathbf{h}}_3^T \hat{\mathbf{x}}_i\|$$

[0079] 수학적 5에서는 $\hat{\mathbf{x}}_i = [x_i, y_i, 1]^T$ 이고, $\hat{\mathbf{x}}'_i = [x'_i, y'_i, 1]^T$ 이며, 이를 동차좌표(Homogeneous Coordinates)라 부른다.

[0080] 무작위로 선택된 4개의 특징점 대응쌍이 달라질 때마다 $\tilde{\mathbf{H}}$ 도 달라지게 되며, 적당한 문턱치 τ 에 대해서 $e_i < \tau$ 를 만족시키는 특징점 대응쌍의 개수도 달라진다.

[0081] 진술한 RANSAC 과정은 (1) 4점 무작위 추출, (2) $\tilde{\mathbf{H}}$ 의 계산, (3) $e_i < \tau$ 를 만족시키는 특징점 대응쌍 개수의 확인 과정을 미리 정해진 횟수만큼 반복하며, 가장 많은 특징점 대응쌍에 대해서 $e_i < \tau$ 를 만족시키는 동차좌표변환 $\mathbf{H} = \tilde{\mathbf{H}}_{best}$ 를 찾는 과정이다.

- [0082] AR 마커 검출부(120)는 H의 역행렬 H^{-1} 를 구하면, 입력 AR 마커 영상으로부터 원본 AR 마커 영상으로의 좌표 변환을 계산하고, 이러한 좌표 변환을 이용해서 입력 AR 마커 영상을 원본 AR 마커 영상의 좌표계로 변환(Warping)할 수 있다.
- [0083] 템플릿 매칭부(130)는 변환(Warping)된 입력 AR 마커 영상과 원본 AR 마커 영상의 모서리 지점을 관찰하면, 템플릿 매칭(Template Matching)을 통해 원본 AR 마커 영상의 모서리 부분과 변환된 입력 AR 마커 영상의 모서리 부분을 정합할 수 있다.
- [0084] 템플릿 매칭부(130)는 원본 AR 마커 영상의 한 모서리 지점(빨강색 점으로 표시)의 템플릿을 추출하고, 추출한 템플릿을 반전시켜 제1 이진화 영상 처리하고(하얀색 선이 실제 AR 마커에서 검은 선임), 변환(Warping)된 입력 AR 마커 영상의 모서리 주변 영역을 반전시켜 제2 이진화 영상 처리한 후, 제2 이진화 영상 처리한 변환된 입력 AR 마커 영상에서 제1 이진화 처리한 템플릿을 탐색하여 템플릿 매칭 과정을 수행한다.
- [0085] 템플릿 매칭부(130)의 템플릿 매칭 과정은 다음과 같다.
- [0086] 템플릿의 너비와 높이를 각각 w와 h라고 하고, 템플릿 중심좌표를 (c_x, c_y) 라 가정한다.
- [0087] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 템플릿 매칭 과정을 나타낸 도면이다.
- [0088] 도 6의 (a)는 원본 AR 마커 영상의 한 모서리 지점이고(빨강색 점으로 표시), 도 6의 (b)는 모서리 지점에서 추출한 템플릿의 반전 이진화 영상(하얀색 선이 실제 AR 마커에서 검은 선임), 도 6의 (c)는 변환(Warping)된 입력 AR 마커 영상의 모서리 주변 영역을 반전 이진화한 영상이다.
- [0089] 템플릿 매칭부(130)는 도 6의 (c)에서 도 6의 (b)의 템플릿을 탐색한다.
- [0090] 도 6의 (b)의 템플릿 영상과 도 6의 (c)의 영상의 밝기를 각각 I_t 와 I 를 나타낸다.
- [0091] 템플릿 매칭부(130)는 도 6의 (c)의 영상에서 템플릿 영상과의 밝기 차이가 가장 적게 발생하는 지점 (x,y)을 다음의 수학적 식 6을 이용하여 계산한다.
- [0092] 이러한 밝기 차이가 가장 적게 발생하는 지점 (x,y)은 수학적 식 6에서의 오차를 최소화시키는 지점이다.

수학적 식 6

$$e_t(x, y) = \sum_{s=0}^{w-1} \sum_{t=0}^{h-1} (I_t(s, t) - I(x - c_x + s, y - c_y + t))^2$$

- [0093]
- [0094] 수학적 식 6의 오차를 최소화시키는 지점을 $\mathbf{x}_{best} = (x_{best}, y_{best})$ 라 하고, 원본 AR 마커 영상에서의 모서리 좌표를 $\mathbf{x}_c = (x_c, y_c)$ 라고 한다.
- [0095] 템플릿 매칭부(130)는 원본 AR 마커 영상의 4개의 모서리에 대해서 템플릿 매칭을 수행하면, 4개의 특징점 대응쌍 $\{\{\mathbf{x}_{c,i}, \mathbf{x}_{best,i}\}\}_{i=1}^4$ 을 얻을 수 있다.
- [0096] 이러한 4개의 특징점 대응쌍에 대해서 전술한 수학적 식 4의 행렬 A를 생성하고, $A^T A$ 의 가장 작은 고유값에 대응하는 고유벡터를 찾으면, 원본 AR 마커 영상으로부터 변환된 원본 AR 마커 영상으로의 동차좌표변환 H_c 를 구할 수 있다.
- [0097] 템플릿 매칭부(130)는 원본 AR 마커 영상으로부터 변환된 원본 AR 마커 영상으로의 변환 H를 H_c 와 $\tilde{\mathbf{H}}_{best}$ 의 합

성 변환인 $\mathbf{H} = \tilde{\mathbf{H}}_{best} \mathbf{H}_c$ 로 계산할 수 있다.

- [0098] 본 발명은 원본 AR 마커 영상으로부터 변환된 원본 AR 마커 영상으로의 강인한 동차좌표변환의 추정 방법을 제공하였으나, 동영상 촬영으로 인해 AR 마커의 일부만 영상에 보인다거나 너무 비스듬하게 촬영해서 특징점 정합이 어려운 경우, 동차좌표변환이 부정확할 가능성이 있으므로 해당 영상을 사용하지 않도록 하여 부정확한 3차원 복원을 미리 방지할 수 있다.
- [0099] 더욱 상세하게 설명하면, 본 발명은 원본 AR 마커 영상의 4개의 모서리를 입력 영상 좌표계로 변환하였을 때, 영상 범위 밖에 있거나, 원본 AR 마커 영상을 입력 AR 마커 영상의 좌표계로 변환(Warping)하였을 때, 그 넓이가 너무 좁거나 넓은 경우, 그 입력 AR 마커 영상을 배제한다.
- [0100] 이러한 AR 마커 오검출 영상이 존재하므로 본 발명의 입력 AR 마커 영상은 최소치인 3장 보다는 많은 수의 영상을 촬영해야 하며, 9장 정도로 촬영하여 생성한다.
- [0101] 영상 캘리브레이션 처리부(140)는 원본 AR 마커의 4개의 모서리의 3차원 좌표를 알고 있고, 원본 AR 마커 영상으로부터 모든 i 번째 변환된 입력 AR 마커 영상으로부터의 동차좌표변환 H_i 를 알고 있으면, 이를 이용하여 카메라의 초점거리, 영상 중심 등의 내부 변수와 각각의 입력 AR 마커 영상을 찍을 당시의 카메라의 위치 및 방향을 추정하는 카메라 캘리브레이션(Camera Calibration)을 수행할 수 있다.
- [0102] 영상 캘리브레이션 처리부(140)는 카메라 캘리브레이션을 수행하면, 원본 AR 마커 영상의 좌표계의 한 3차원 점 $\mathbf{X}=(X, Y, Z)$ 가 i 번째 변환된 원본 AR 마커 영상의 대응 영상 좌표로 투영되기 위한 다음의 수학식 7에서의 $\mathbf{K}, \mathbf{R}_i, \mathbf{T}_i$ 를 결정할 수 있다.

수학식 7

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \propto \mathbf{K}[\mathbf{R}_i | \mathbf{T}_i] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

- [0103]
- [0104] 여기서, $\mathbf{K}$ 는 3×3 상삼각행렬이고, $\mathbf{R}_i$ 는 3×3 회전변환행렬이고, $\mathbf{T}_i$ 는 3차원 이동벡터이다.
- [0105] $\mathbf{K}$ 는 모든 입력 AR 마커 영상에 대해서 공통이며, 다음의 수학식 8과 같은 형태를 갖는다.

수학식 8

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} f & 0 & x_m \\ 0 & f & y_m \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- [0106]
- [0107] 여기서, f 는 카메라의 초점거리이고, (x_m, y_m) 는 영상의 중심좌표이다.
- [0108] 영상 캘리브레이션 처리부(140)는 카메라 캘리브레이션을 위해서 AR 마커 영상의 XY 평면으로부터 각각의 i 번째 입력 AR 마커 영상으로의 동차좌표변환 G_i 를 이용해서 캘리브레이션을 수행하며, G_i 는 다음의 수학식 9와 같이 계산된다.

수학식 9

$$\mathbf{G}_i = \mathbf{H}_i \mathbf{H}_m$$

[0109]

[0110] 여기서, $\mathbf{H}_m$ 은 AR 마커의 4개 모서리의 물리적인 좌표(mm 단위)를 원본 AR 마커 영상의 4개 모서리의 영상 좌표(픽셀 단위)로 변환해주는 동차좌표변환이다

[0111] R_i 의 세 열을 $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_3$ 라 하고, $T_i=t$ 라 하며, G_i 의 세 열을 $\mathbf{g}_1, \mathbf{g}_2, \mathbf{g}_3$ 라 한다. 그러면, AR 마커의 XY 평면 상의 임의의 점 $\mathbf{X}=(X, Y, 0)$ 은 i 번째 입력 AR 마커 영상의 대응점 $\mathbf{x}=(x, y)$ 로 다음의 수학식 10과 같이 변환된다.

수학식 10

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \propto \mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{r}_1 & \mathbf{r}_2 & \mathbf{r}_3 & t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{r}_1 & \mathbf{r}_2 & t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \propto \mathbf{G}_i \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{g}_1 & \mathbf{g}_2 & \mathbf{g}_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix}$$

[0112]

[0113] 수학식 10으로부터 다음의 수학식 11의 관계가 성립한다.

수학식 11

$$\begin{bmatrix} \mathbf{g}_1 & \mathbf{g}_2 & \mathbf{g}_3 \end{bmatrix} = \lambda \mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{r}_1 & \mathbf{r}_2 & t \end{bmatrix}$$

[0114]

[0115] 수학식 11에서 λ 는 비례식을 등식으로 바꾸기 위한 실수이다.

[0116] 다음의 수학식 12는 수학식 11으로부터 만들 수 있다

수학식 12

$$\begin{aligned} \mathbf{g}_1^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{g}_2 &= 0 \\ \mathbf{g}_1^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{g}_1 &= \mathbf{g}_2^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{g}_2 \end{aligned}$$

[0117]

[0118] 수학식 12에서 $\mathbf{M} = \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1}$ 라고 하면, $\mathbf{M}$ 은 대칭 행렬이므로 6개의 미지수를 갖는다. 수학식 12에서는 두 개의 방정식을 얻을 수 있으므로 최소 3장의 입력 AR 마커 영상이 주어지면, 6개 이상의 방정식으로 구성된 연립 방정식을 풀어서 $\mathbf{M}$ 즉, $\mathbf{K}$ 를 구할 수 있다.

[0119] $\mathbf{K}$ 를 구한 후에, R_i, T_i 를 다음의 수학식 13과 같이 계산할 수 있다.

수학식 13

$$\mathbf{r}_1 = \lambda \mathbf{K}^{-1} \mathbf{g}_1$$

$$\mathbf{r}_2 = \lambda \mathbf{K}^{-1} \mathbf{g}_2$$

$$\mathbf{r}_3 = \mathbf{r}_1 \times \mathbf{r}_2$$

$$\mathbf{t} = \lambda \mathbf{K}^{-1} \mathbf{g}_3$$

[0120]

[0121]

석고본의 높이가 최대 100mm라고 가정하고, 3차원 공간의 높이 100mm의 잘린 사각뿔 안에 존재한다고 가정한다. 도 7은 본 발명의 석고본을 포함하는 잘린 사각뿔을 보여준다.

[0122]

1차 마스크 영상 생성부(151)는 잘린 사각뿔을 카메라 캘리브레이션의 결과인 투영 행렬(Projection Matrix) $\mathbf{P}_i = \mathbf{K}[\mathbf{R}_i | \mathbf{T}_i]$ 를 이용해서 각각의 입력 AR 마커 영상에 투영하면, AR 마커 영상과 석고본을 포함하는 1차 마스크 영역을 생성한다.

[0123]

도 8의 (a)는 입력 AR 마커 영상이고, 도 8의 (b)는 석고본과 AR 마커를 포함하는 잘린 사각뿔이 투영된 영역이고, 입력 AR 마커 영상에서 검은색 선으로 둘러싸인 네모 영역이 AR 마커의 영역이다.

[0124]

2차 마스크 영상 생성부(152)는 석고본과 AR 마커의 컬러와 나머지 물체의 컬러가 서로 다르다는 가정 하에 Grab-Cut 방법을 사용해서 AR 마커와 석고본을 포함하는 영역을 더욱 정밀하게 분리할 수 있다.

[0125]

Grab-Cut 방법을 적용하기 위해서는 확실한 전경(Foreground) 영역과, 확실한 배경(Background) 영역, 전경일 것으로 추측되는 영역, 배경일 것으로 추측되는 영역을 설정해야 한다.

[0126]

확실한 배경 영역은 도 8의 마스크 바깥쪽 영역으로 설정한다. 확실한 전경 영역은 석고본의 높이가 매우 낮아서 무시할 수 있는 경우이며, 마스크 영역의 크기가 AR 마커만을 포함한 크기와 동일할 것이다.

[0127]

이러한 확실한 전경 영역은 원본 AR 마커 영상의 AR 마커 영역을 입력 AR 마커 영상의 좌표계로 좌표 변환(Warping)하여 획득할 수 있다.

[0128]

이와 같은 확실한 전경 영역을 도 9의 (b)에서 보여준다. 남은 부분은 모두 배경일 것으로 추측되는 영역으로 설정해서 도 8의 잘린 사각뿔 영역보다 작은 마스크 영역을 획득할 수 있도록 한다.

[0129]

도 9의 (a)는 입력 AR 마커 영상이고, 도 9의 (b)는 확실한 전경 영역이며, 도 9의 (c)는 2차 마스크 영상이다.

[0130]

2차 마스크 영상 생성부(152)는 Grab-Cut 방법을 이용하여 확실한 전경 영역과 전경일 것으로 추측되는 영역에서 컬러의 확률분포함수 $p_f(\mathbf{C})$ 를 추출하고, 배경 영역과 배경일 것으로 추측되는 영역에서 컬러의 확률분포함수 $p_b(\mathbf{C})$ 를 추출한다.

[0131]

n번째 픽셀에 대해서 α_n 이라는 라벨을 정의하고, α_n 이 1이면 전경, 0이면 배경이라 하고, 픽셀 n이 속하는 컬러 확률분포함수를 다음의 수학식 14와 같이 표현할 수 있다.

수학식 14

$$p(\mathbf{C}_n; \alpha_n) = \begin{cases} p_f(\mathbf{C}_n), & \text{if } \alpha_n = 1, \\ p_b(\mathbf{C}_n), & \text{otherwise.} \end{cases}$$

[0132]

[0133]

$\mathbf{C}_n$ 은 픽셀 n의 RGB 값으로 구성된 3차원 벡터를 의미한다.

[0134] 2차 마스크 영상 생성부(152)는 모든 픽셀 n 에 대해서 $-\log p(\mathbf{C}_n; \alpha_n)$ 을 최소화 시키는 α_n 을 찾으면, 각각의 픽셀이 전경(마스크 영역)인지 그렇지 않은지를 판단하여 2차 마스크 영상을 생성한다.

[0135] 2차 마스크 영상 생성부(152)는 Grab-Cut 방법에서 모든 픽셀에 대해서 $-\log p(\mathbf{C}_n; \alpha_n)$ 를 작게 만들면서도 컬러가 유사한 이웃한 픽셀 m, n 간에 α_m 과 α_n 이 동일하다는 제약 조건을 주기 위해서 다음의 수학적 15의 비용함수를 최소화시킨다.

수학적 15

$$E(\mathbf{a}) = \sum_n -\log p(\mathbf{C}_n; \alpha_n) + \gamma \sum_{(m,n) \in \mathcal{N}} \text{dis}(m,n)^{-1} [\alpha_m \neq \alpha_n] \exp(-\beta(\mathbf{C}_m - \mathbf{C}_n)^2)$$

[0137] 여기서, $\text{dis}(m,n)$ 은 두 픽셀 m, n 의 거리이고, $[\alpha_m \neq \alpha_n]$ 는 두 픽셀의 라벨 α_m 과 α_n 이 동일하면 0, 아니면 1의 값을 갖는 함수이다. β 는 적당한 기설정된 양수이다.

[0138] 2차 마스크 영상 생성부(152)는 수학적 15의 비용함수를 최소화시키는 모든 픽셀에 대한 라벨 값들의 집합인 $\mathbf{a}$ 를 min-cut 알고리즘을 이용해서 구한다.

[0139] 이후에 2차 마스크 영상 생성부(152)는 픽셀 n 이 확실한 전경 영역에 속하는 경우, α_n 는 1, 확실한 배경 영역에 속하는 경우, α_n 는 0, 그 외의 경우 수학적 15를 최소화시키는 α_n 값으로 라벨을 결정한다. 이어서, 2차 마스크 영상 생성부(152)는 새로운 라벨을 이용하여 $p_f(\mathbf{C})$ 와 $p_b(\mathbf{C})$ 를 다시 계산하며, 이를 이용하여 $E(\mathbf{a})$ 를 다시 계산하고 최소화시키는 과정을 반복한다.

[0140] 3차 마스크 영상 생성부(153)는 Grab-Cut 방법을 이용하여 석고본만을 포함하는 3차 마스크 영상을 생성한다.

[0141] 도 10에 도시된 바와 같이, 확실한 전경 영역은 AR 마커 영상에서 반지름이 커지는 순서대로 동심원을 형성하고, 이 중 원본 AR 마커 영상에서 두 번째로 큰 동심원으로부터 가장 작은 동심원을 뺀 영역을 입력 AR 마커 영상의 좌표계로 변환(Warping)하여 결정한다.

[0142] 이와 같이 결정한 이유는 석고본의 높이가 최소 0mm이고, 석고본의 가운데에 구멍이 형성되어 있기 때문이다.

[0143] 3차 마스크 영상 생성부(153)는 배경으로 추측되는 영역의 경우, 변환된 원본 AR 마커 영상에서 가장 큰 동심원을 뺀 영역을 입력 AR 마커 영상의 좌표계로 변환(Warping)한 후, 2차 마스크 영역과의 교집합으로 설정한다.

[0144] 도 11의 (a)는 배경으로 추측되는 영역을 보여준다. 3차 마스크 영상 생성부(153)는 전경으로 추측되는 영역의 경우, 2차 마스크 영상에서 배경으로 추측되는 영역을 뺀 나머지로 설정한다.

[0145] 3차 마스크 영상 생성부(153)는 확실한 배경 영역의 경우, 2차 마스크 영상을 제외한 모든 영역으로 설정한다. 즉, 도 9에서 2차 마스크 영역을 제외한 영역이 확실한 배경 영역이다.

[0146] 3차 마스크 영상 생성부(153)는 원본 AR 마커 영상과 입력 AR 마커 영상에 대해서 특징점 정합을 수행하면, 입력 AR 마커 영상에서 석고본으로 가려지지 않은 부분에서 특징점 정합이 이루어진다.

[0147] 더욱 정밀한 영역 분할을 위해서는 확실한 배경 영역을 더욱 정밀하게 설정해 줄 필요가 있다.

[0148] 이를 위해서 3차 마스크 영상 생성부(153)는 입력 AR 마커 영상과 원본 AR 마커 영상과의 특징점 정합을 수행한 후, 입력 AR 마커 영상의 정합된 특징점을 가장 가까운 모서리와 연결한 선들을 추가적인 확실한 배경 영역으로 설정한다.

[0149] 도 11의 (b)는 정합된 특징점을 모서리와 연결된 선들과 확실한 배경 영역을 보여준다. 이때, 가장 높은 모서리

는 석고본에 의해서 가려질 수 있으므로 특징점들과 선으로 연결하지 않는다.

[0150] 3차 마스크 영상 생성부(153)는 설정한 배경 영역을 제외하고, 원본 AR 마커 영상과 입력 AR 마커 영상의 특징점 정합을 통해 석고본만을 포함하는 제3 마스크 영상을 생성하고(도 12의 (a)), 마스크 필터링을 수행한 영상을 생성한다(도 12의 (b)).

[0151] 3차원 구조 추정부(161)는 서로 다른 입력 AR 마커 영상 간의 특징점 대응쌍으로부터 이에 대응하는 3차원 점들의 좌표를 알아내고, 이를 이용해서 다시 모든 입력 AR 마커 영상을 촬영할 당시의 카메라의 회전 변환 R_i 와 평행 이동 벡터 T_i 를 보정한다(SFM(Structure from Motion)).

[0152] i 번째 입력 AR 마커 영상의 한 특징점 $\mathbf{x}_i = (x_i, y_i)$ 과 j 번째 입력 AR 마커 영상의 한 특징점 $\mathbf{x}_j = (x_j, y_j)$ 이 서로 대응한다면, 두 특징점에 대응하는 3차원 점 X 는 i 번째 변환된 원본 AR 마커 영상에서 x_i 로 투영 되어야 하고, j 번째 입력 AR 마커 영상에서 x_j 로 투영되어야 한다.

[0153] 이러한 관계는 다음의 수학적 식 16과 같이 나타낼 수 있다.

수학적 식 16

$$\begin{aligned}\hat{\mathbf{x}}_i &\propto \mathbf{P}_i \hat{\mathbf{X}} \\ \hat{\mathbf{x}}_j &\propto \mathbf{P}_j \hat{\mathbf{X}}\end{aligned}$$

[0154]

[0155] 수학적 식 16에서 투영 행렬 P_i 와 P_j 는 전술한 카메라 캘리브레이션 과정에서 이미 획득하였고, $\hat{\mathbf{x}}_i, \hat{\mathbf{x}}_j, \hat{\mathbf{X}}$ 는 각각 $\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j, \mathbf{X}$ 의 동차 좌표이다.

[0156] 예를 들면, $\hat{\mathbf{x}} = [x, y, 1]^T$ 이다. 수학적 식 16을 만족시키는 $\hat{\mathbf{X}}$ 를 계산하기 위해서는 다음의 수학적 식 17과 같이 정의되는 4×4 행렬 A 의 영벡터(null vector)를 구하고, 영벡터의 마지막 성분이 1이 되도록 적당한 양수를 곱하면 된다.

수학적 식 17

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} x_i \mathbf{p}_{i,3}^T - \mathbf{p}_{i,1}^T \\ y_i \mathbf{p}_{i,3}^T - \mathbf{p}_{i,2}^T \\ x_j \mathbf{p}_{j,3}^T - \mathbf{p}_{j,1}^T \\ y_j \mathbf{p}_{j,3}^T - \mathbf{p}_{j,2}^T \end{bmatrix}$$

[0157]

[0158] 여기서, $\mathbf{p}_{i,n}^T$ 는 P_i 의 n 번째 행이고, $\mathbf{p}_{j,m}^T$ 는 P_j 의 m 번째 행이다. T 는 전치(Transpose)를 의미한다.

[0159] 만약, $N > 2$ 개의 변환된 원본 AR 마커 영상에 대해서 X_1 부터 X_N 까지의 N 개의 특징점 사이에 대응 관계가 성립한다면, 이들에 대해서 가장 좋은 하나의 3차원 점 X 는 다음의 수학적 식 18의 비용함수를 최소화시킨다.

수학식 18

$$f(\mathbf{X}) = \sum_{i=1}^N \min \left(\left\| \hat{\mathbf{x}}_i - \mathbf{P}_i \hat{\mathbf{X}} / \mathbf{p}_{i,3}^T \hat{\mathbf{X}} \right\|, \tau \right)$$

[0160]

[0161]

여기서, $\min(x, \tau)$ 는 x 와 τ 중에서 더 작은 값을 출력하는 함수이다. τ 는 3픽셀로 설정한다.

[0162]

3차원 구조 추정부(161)는 수학식 18를 최소화시키는 $\mathbf{X}$ 를 찾기 위해서 N 개의 특징점 중에서 모든 가능한 두 개의 특징점 대응쌍에 대해서 수학식 17을 이용해서 $\mathbf{X}$ 를 계산하고, 계산된 모든 $\mathbf{X}$ 에 대해서 $f(\mathbf{X})$ 를 계산한 후, $f(\mathbf{X})$ 를 최소화시키는 $\mathbf{X}$ 를 찾는다.

[0163]

본 발명은 최종적으로 N 이 3이상인 특징점 대응 집합에 대해서 3차원 점들을 복원하며, 이를 통해 오정합으로 인한 잘못된 3차원 점들의 수를 현저히 줄일 수 있다.

[0164]

특징점 대응쌍 계산부(162)는 특징점 대응 집합에 대해서 3차원 점들을 계산한 후, 회전 변환 R_i 와 평행 이동 벡터 T_i 를 다음의 수학식 19를 이용하여 보정할 수 있다.

[0165]

i 번째 영상에 투영되는 M 개의 3차원 점들을 $\{\mathbf{X}_j\}_{j=1}^M$ 이라 하고, 그 점들이 투영된 2차원 영상 좌표들을 $\{\mathbf{x}_j\}_{j=1}^M$ 라고 한다.

[0166]

특징점 대응쌍 계산부(162)는 R_i 와 T_i 가 정확하다면, 대부분의 3D-2D 특징점 대응쌍에 대해서 다음의 수학식 19에서 오차를 최소화시킨다.

수학식 19

$$e_j(\mathbf{R}_i, \mathbf{T}_i) = \left\| \hat{\mathbf{x}}_j - \mathbf{P}_i \hat{\mathbf{X}}_j / \mathbf{p}_{i,3}^T \hat{\mathbf{X}}_j \right\|$$

[0167]

수학식 19에서 $\mathbf{P}_i = \mathbf{K}[\mathbf{R}_i | \mathbf{T}_i]$ 이고, 특징점 대응쌍 계산부(162)는 4개의 3D-2D 특징점 대응쌍이 있으면, EPnP 알고리즘을 이용해서 R_i 와 T_i 를 구할 수 있다.

[0169]

특징점 대응쌍 계산부(162)는 M 개의 3D-2D 특징점 대응쌍 중 무작위로 4개의 3D-2D 특징점 대응쌍을 선택하고, R_i 와 T_i 를 구한 후, $e_j(\mathbf{R}_i, \mathbf{T}_i)$ 가 문턱치 τ 보다 작은 3D-2D 특징점 대응쌍의 수를 확인한다.

[0170]

특징점 대응쌍 계산부(162)는 무작위 선택 및 오차가 문턱치보다 작은 특징점 대응쌍의 수의 확인 과정을 일정한 수만큼 반복하며, 오차가 문턱치보다 작은 특징점 대응쌍의 수를 최대화시키는 R_i 와 T_i 를 찾는다.

[0171]

위와 같이, 특징점 대응쌍 계산부(162)는 카메라의 회전 변환과 평행 이동 벡터를 구한 후에 새로운 투영 행렬을 이용해서 다시 3차원 점들을 계산할 수 있다.

[0172]

정확한 3차원 점들을 구하기 위해서는 i 번째 입력 AR 마커 영상과 j 번째 입력 AR 마커 영상 간에 정확한 특징점 대응쌍을 구해야 한다. 이를 위해서 특징점 대응쌍 계산부(162)는 다음과 같은 방법으로 특징점 정합을 수행한다.

[0173]

특징점 대응쌍 계산부(162)는 i 번째 영상의 한 특징점 $\mathbf{x}$ 에 대해서 기술자 차이를 최소화시키는 j 번째 영상의 특징점을 K 개 찾는다. 이후에 특징점 대응쌍 계산부(162)는 기술자 차이가 가장 작은 특징점 대응쌍 $(\mathbf{x}, \mathbf{x}_1')$ 부터

마지막 K번째 특징점 대응쌍 $(\mathbf{x}, \mathbf{x}'_K)$ 중 다음의 수학적 20의 에피폴라 제약 조건(Epipolar Constraint)을 만족시키면서 기술자 차이가 가장 작은 특징점 대응쌍을 찾는다.

수학적 20

$$d(\mathbf{x}', \mathbf{F}\mathbf{x}) < \tau$$

여기서, F는 에피폴라 행렬(Epipolar Matrix)이며, F는 다음의 수학적 21과 같이 계산된다. d는 거리를 의미하고, 영상의 한 점 $\mathbf{x}'$ 로부터 $\mathbf{F}\mathbf{x}$ 를 매개변수로 갖는 영상의 직선까지의 거리를 의미한다.

수학적 21

$$\mathbf{F} = \mathbf{K}^{-T} [\mathbf{T}]_x \mathbf{R} \mathbf{K}^{-1}$$

여기서, $\mathbf{R} = \mathbf{R}_k \mathbf{R}_j^T$ 이고, $\mathbf{T} = \mathbf{T}_k - \mathbf{R} \mathbf{T}_j$ 이다. k, j는 각각 k번째 입력 AR 마커 영상, j번째 입력 AR 마커 영상을 의미한다.

$[\mathbf{T}]_x$ 는 3차원 벡터 T를 반대칭 행렬(skew symmetric matrix)로 변환하는 연산이다.

도 13은 9개의 변환된 원본 AR 마커 영상들과 이들로부터 획득한 3차원 점들을 보여준다.

석고 표면의 텍스처 부족으로 인해 석고 표면에서 검출된 특징점의 수가 매우 적으며, 이로 인해 석고 표면의 3차원 점들의 밀도가 매우 낮다.

주로 석고 표면의 구멍 주변과 가장자리에서 3차원 점들의 밀도가 높은 것을 볼 수 있다. 또한, 특징점 위치의 부정확성, 특징점 오정합 등의 원인에 의해서 정밀도가 낮은 3차원 점들이 존재함을 볼 수 있다.

3차원 점들의 밀도가 낮고, 오정합된 점들이 존재하는 경우에도 전반적인 석고본의 형태를 정확하게 알아내기 위하여 변형 가능한 잘린 원뿔 모델을 제공한다.

본 발명은 도 13의 3차원 점들이 대략적으로 잘린 원뿔(Truncated Oblique Cone) 형태를 갖는다고 가정한다. 도 14는 잘린 원뿔 모델의 일례를 보여준다.

형상 복원부(163)는 잘린 원뿔을 3차원 점들에 맞추기 전에 먼저 3차원 점들에 대한 전처리를 수행한다.

형상 복원부(163)는 석고본에서 검출된 점들만 남기기 위해서 복원된 3차원 점들 중 모든 입력 AR 마커 영상에 대해 3차 마스크 영역에 투영되는 점들만 남긴다. 또한, 상호 간의 거리가 1mm 이내인 점들을 하나의 평균점으로 모은다.

형상 복원부(163)는 잘린 원뿔의 높이를 구하기 위해서는 남은 점들의 높이 좌표(Z 좌표)에 대한 히스토그램을 생성한 후, 히스토그램의 분포 중 두 번째로 높은 봉우리에 해당하는 Z 좌표를 구한다.

도 13을 보면, 두 번째로 높은 봉우리에 해당하는 Z 좌표가 잘린 원뿔의 위쪽 면의 높이가 될 가능성이 높다.

형상 복원부(163)는 생성된 히스토그램에서 가장 큰 Z 좌표부터 순차적으로 Z 좌표를 감소시키면서, 두 번째 봉우리의 빈도수 대비 10% 이상인 지점을 찾으며, 이 지점보다 높은 3차원 점들을 오정합에 의해 발생한 부정확한 점들로 간주하여 제거한다.

도 15는 도 13의 3차원 점들의 높이 좌표에 대한 히스토그램을 보여준다.

앞서 설명한 방법으로 찾은 두 번째 봉우리의 Z 좌표는 44mm이고, 잘못된 Z 좌표의 제거를 위한 지점은 56mm이다.

[0192] 도 16에 도시된 바와 같이, 형상 복원부(163)는 오정합에 의해 발생된 부정확한 점들을 제거하고, 복원된 3차원 점들 중 모든 입력 AR 마커 영상에 대해 3차 마스크 영역에 투영되는 점들만 남겨서 필터링을 수행한 3차원 점들을 디스플레이부(170)에 표시한다.

[0193] 전처리가 끝난 3차원 점들에 대해서 다음과 같은 방법으로 잘린 원뿔 모델의 초기 형태를 찾는다.

[0194] 잘린 원뿔 모델의 높이를 가장 높은 3차원 점의 위치로 설정하고, 위쪽 작은 원의 중심과 반지름은 높이 기준 상위 10% 이내의 점들의 중심과 표준편차로 설정한다.

[0195] 아래쪽 큰 원의 중심은 석고본이 AR 마커의 중심 근처에 놓인다는 가정 하에 AR 마커의 중심으로 설정한다. 마지막으로 큰 원의 반지름은 높이 기준 하위 10% 이내의 점들의 중심으로부터의 거리 제곱의 평균의 제곱근으로 설정한다.

[0196] 원뿔 모델 처리부(164)는 초기의 원뿔 모델 형태를 찾은 후에 가장 높은 Z 좌표까지 1mm 간격으로 자른 원뿔의 단면인 원에 대해서 원주의 60개의 점을 등간격으로 샘플링한다. 예를 들면, 가장 높은 Z 좌표가 60mm라면, 총 60개의 원을 얻을 수 있고, 각각의 원에서 60개의 점을 얻게 되므로 총 360개의 점을 얻게 된다.

[0197] 이후에는 이 원뿔 표면 점들 $\{\mathbf{X}_{c,i}\}_{i=1}^M$ 이 원래의 모양을 유지하면서도 전처리가 끝난 3차원 점들 $\{\mathbf{X}_{s,j}\}_{j=1}^N$ 과 가깝게 되도록 만들기 위한 방법을 설명한다.

[0198] 원뿔 표면의 임의의 한 점 $\mathbf{X}_{c,i}$ 에 대해서 상하좌우에 이웃한 네 점들 $\{\mathbf{X}_{c,k}\}_{k \in \mathcal{N}_i}$ 이라고 한다.

[0199] $\{\mathbf{X}_{c,k}\}_{k \in \mathcal{N}_i}$ 는 c는 circular를 뜻하는 첨자이고, $\mathbf{X}_{c,k}$ 는 잘린 원뿔 위의 점들 중 k번째 점이라는 의미이고, 이러한 k번째 점은 i번째 점 주변($\mathcal{N}_i$ 는 Neighborhood of i)의 점이라는 것을 의미한다.

[0200] 그리고 $\{\mathbf{X}_{c,i}\}_{i=1}^M$ 에 변형을 주기 전에 초기값을 $\{\mathbf{X}_{c,i}^{(0)}\}_{i=1}^M$ 로 한다. M은 잘린 원뿔 위에서 샘플링한 모든 3차원 점들의 개수이고, c는 circular를 뜻하는 첨자이고, $\mathbf{X}_{c,i}$ 는 잘린 원뿔 위의 점들 중 i번째 점이라는 것을 의미한다.

[0201] 그러면, 원뿔 모델 처리부(164)는 원뿔 형태를 최대한 유지시키기 위해서 $\{\mathbf{X}_{c,i}\}_{i=1}^M$ 에 변화가 생기더라도 $\mathbf{X}_{c,i} - \mathbf{X}_{c,k} \approx \mathbf{X}_{c,i}^{(0)} - \mathbf{X}_{c,k}^{(0)}$ 의 관계가 성립해야 한다. 원뿔 모델 처리부(164)는 $\mathbf{X}_{c,i}^{(0)} - \mathbf{X}_{c,k}^{(0)} = \Delta \mathbf{X}_{c,i,k}^{(0)}$ 라고 하면, 원래의 원뿔 위의 점들은 다음의 수학식 22의 비용함수를 최소화시킨다.

수학식 22

$$g_c(\{\mathbf{X}_{c,i}\}_{i=1}^N) = \sum_{i=1}^N \sum_{k \in \mathcal{N}_i} (\mathbf{X}_{c,i} - \mathbf{X}_{c,k} - \Delta \mathbf{X}_{c,i,k}^{(0)})^2$$

[0202]

[0203] 원뿔 모델 처리부(164)는 $\{\mathbf{X}_{s,j}\}_{j=1}^N$ 중에서 $\mathbf{X}_{c,i}$ 로부터 가장 가까운 점들 $\mathbf{X}_{s,j(i)}$ 라고 하면, $\mathbf{X}_{c,i}$ 와 $\mathbf{X}_{s,j(i)}$ 의 Z 좌표의 차이가 1mm이내이고, 거리가 2cm 이내인 경우 서로 대응한다고 판단한다. s는 Structure

from Motion을 뜻하는 첨자로 3차원 구조 추정부(161)에서 얻어진 점이라는 것을 의미한다.

j(i)는 3차원 구조 추정부(161)에서 Structure from Motion에 의해 얻어진 점들 중 즉, $\{\mathbf{X}_{s,j}\}_{j=1}^N$ 들 중 $\mathbf{X}_{c,i}$ 로부터 가장 가까운 점을 의미한다.

$\mathbf{X}_{c,i}$ 가 원주에 수직한 방향으로만 변화한다고 가정하고, $\mathbf{X}_{c,i}$ 가 속한 원의 중심을 L이라고 하면, $\mathbf{X}_{c,i}$ 와 $\mathbf{X}_{s,j(i)}$ 의 거리를 최소화시키는 $\mathbf{X}_{c,i}$ 의 새로운 위치 $\mathbf{X}_{c,i}^{(s)}$ 는 다음의 수학식 23과 같이 계산할 수 있다. $\mathbf{X}_{c,i}^{(s)}$ 는 circular point $\mathbf{X}_{c,i}$ 를 원의 중심으로부터 각도 변화없이 멀어지거나 가까워지는 방향으로만 이동하며, $\mathbf{X}_{s,j(i)}$ 에 가까워지도록 이동한 점을 나타낸다.

수학식 23

$$\mathbf{X}_{c,i}^{(s)} = \mathbf{L} + (\mathbf{X}_{s,j(i)} - \mathbf{L}) \cdot \frac{(\mathbf{X}_{c,i} - \mathbf{L})}{\|\mathbf{X}_{c,i} - \mathbf{L}\|}$$

원뿔 모델 처리부(164)는 $\mathbf{X}_{c,i}$ 가 수학식 22의 비용함수를 최소화시키면서도 수학식 23의 $\mathbf{X}_{c,i}^{(s)}$ 에 가까워지게 만들기 위해서 다음의 수학식 24의 비용함수를 최소화시킨다.

수학식 24

$$g(\{\mathbf{X}_{c,i}\}_{i=1}^N) = \sum_{i=1}^N (\mathbf{X}_{c,i} - \mathbf{X}_{c,i}^{(s)})^2 + \lambda g_c(\{\mathbf{X}_{c,i}\}_{i=1}^N)$$

수학식 24의 비용함수는 가우스 자이텔 방법(Gauss Seidel Method)을 이용해서 최소화시킬 수 있다.

원뿔 모델 처리부(164)는 수학식 24의 비용함수를 최소화시키도록 $\{\mathbf{X}_{c,i}\}_{i=1}^M$ 를 변화시킨 후, $\{\mathbf{X}_{c,i}\}_{i=1}^M$ 에 대해서 최적인 잘린 원뿔 모델을 다시 찾을 수 있다.

수학식 25

$$d(\{\mathbf{X}_{c,i}^{(new)}\}_{i=1}^M) = \sum_{i=1}^M \min(\|\mathbf{X}_{c,i}^{(new)} - \mathbf{X}_{c,i}\|, \tau_x)$$

수학식 25에서 τ_x 는 0.66mm로 설정하고, 반복적으로 무작위로 두 층을 고르고, 원뿔 모델을 만들고, 표면 점을 샘플링하면서 수학식 25를 최소화시키는 원뿔 모델을 찾는다.

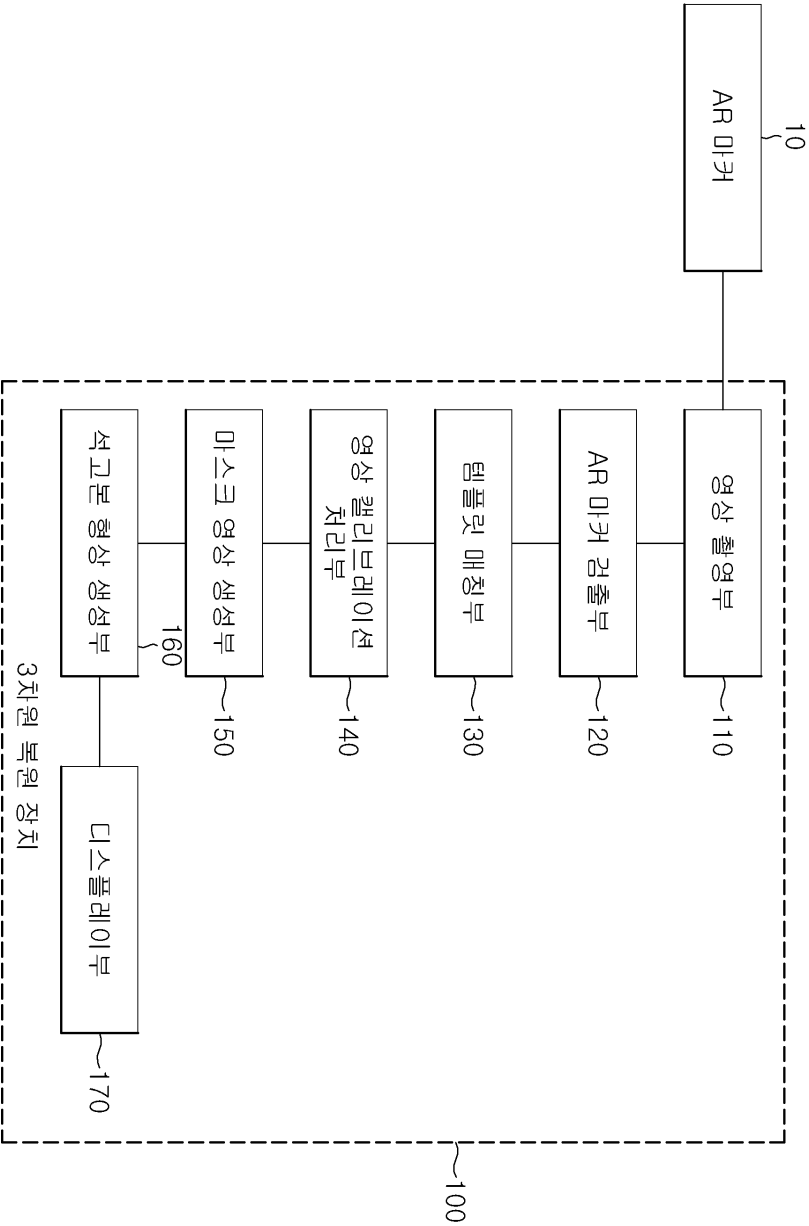
- [0214] 원뿔 모델 처리부(164)는 원뿔 모델을 갱신한 후에 $\{\mathbf{X}_{c,i}\}_{i=1}^M$ 대신 $\{\mathbf{X}_{c,i}^{(new)}\}_{i=1}^M$ 에 대해서 수학식 23을 최소화시키는 $\mathbf{X}_{c,i}^{(s)}$ 를 다시 탐색한다. 이후에, 원뿔 모델 처리부(164)는 수학식 24을 최소화시키는 $\{\mathbf{X}_{c,i}\}_{i=1}^M$ 를 찾을 수 있다. 이러한 과정을 반복해서 $\{\mathbf{X}_{c,i}\}_{i=1}^M$ 를 찾는다.
- [0215] 도 17의 (a)는 전처리가 끝난 3차원 점들에 잘린 원뿔 모델을 매칭한 결과이고, 도 17의 (b)는 잘린 원뿔 모델의 점들에 대해서 수학식 24을 최소화 시키도록 변형을 가한 결과이다.
- [0216] 도 17의 (a)는 도 16의 전처리가 끝난 3차원 점들에 매칭한 잘린 원뿔 모델 표면의 점들 $\{\mathbf{X}_{c,i}^{(new)}\}_{i=1}^M$ 을 보여주고, 도 17의 (b)는 수학식 24를 최소화 시키도록 변형한 점들 $\{\mathbf{X}_{c,i}\}_{i=1}^M$ 을 보여준다.
- [0217] 모든 과정이 끝난 후에는 다음의 후처리 과정을 적용하여 보다 매끄러운 표면을 만든다. 우선 변형이 끝난 후의 $\mathbf{X}_{c,i}$ 가 잘린 원뿔 표면 안쪽에 존재하거나 바로 위의 점보다 안쪽에 존재하는 경우, $\mathbf{X}_{c,i}$ 의 위치를 주변 점들의 좌표를 이용해서 선형 보간(Linear Interpolation)해서 원뿔 표면의 바깥쪽으로 이동해준다. 이후에, 모든 $\mathbf{X}_{c,i}$ 에 대해서 주변의 점들을 이용해서 중위 필터링(Median Filtering)을 수행한다.
- [0218] 원뿔 모델 처리부(164)는 깊이 영상으로부터 추출된 3차원 점들을 잘린 원뿔 모델의 표면에 매칭하여 3차원 형상을 복원한다.
- [0219] 원뿔 모델 처리부(164)는 3차원 점들을 이용하면 석고본의 부피를 쉽게 알 수 있다. 각각의 높이층에 속하는 3차원 점들은 동일한 Z좌표를 갖으며, 높이층 간의 간격은 1mm이다. 즉, 각각의 높이층의 넓이를 구한 후, 1mm를 곱하면 각각의 높이층의 대략적인 부피를 구할 수 있으며, 이러한 층별 부피를 모든 층에 대해서 더하면 전체 석고본의 부피를 구할 수 있다.
- [0220] 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

부호의 설명

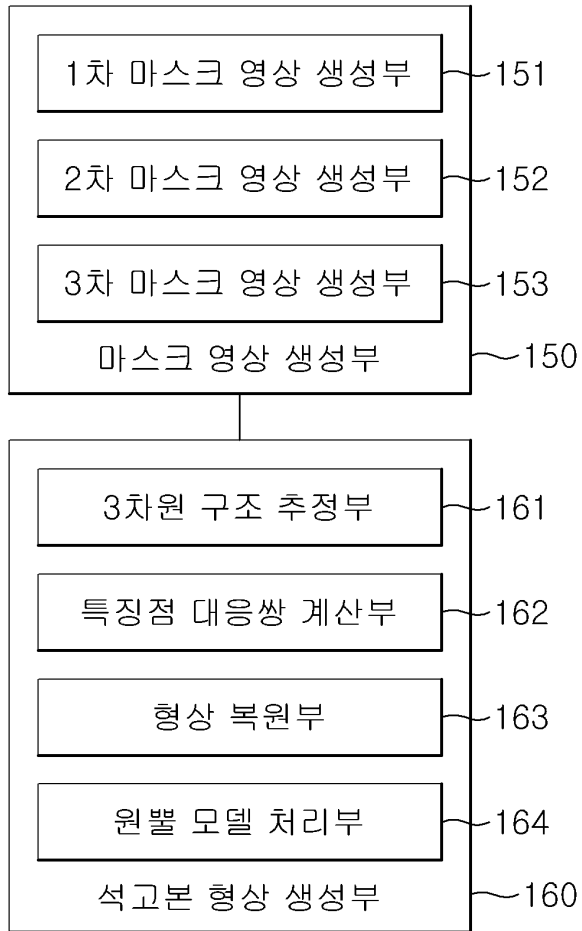
- [0221] 100: 3차원 복원장치
110: 영상 촬영부
120: AR 마커 검출부
130: 템플릿 매칭부
140: 영상 캘리브레이션 처리부
150: 마스크 영상 생성부
160: 석고본 형상 생성부
170: 디스플레이부

도면

도면1



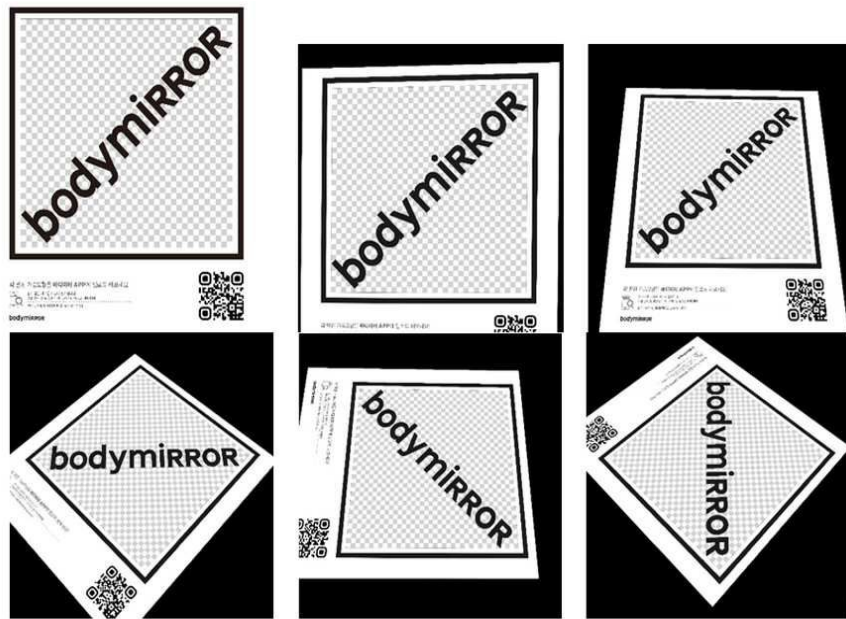
도면2



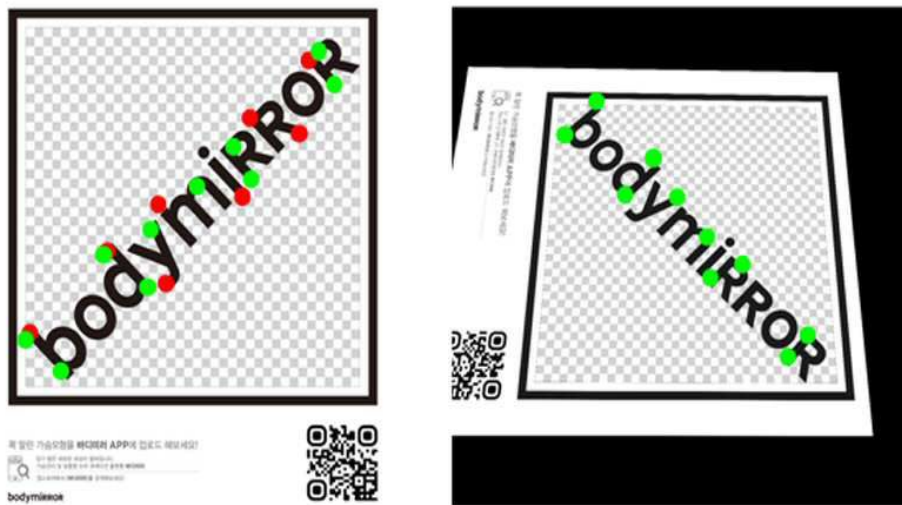
도면3



도면4



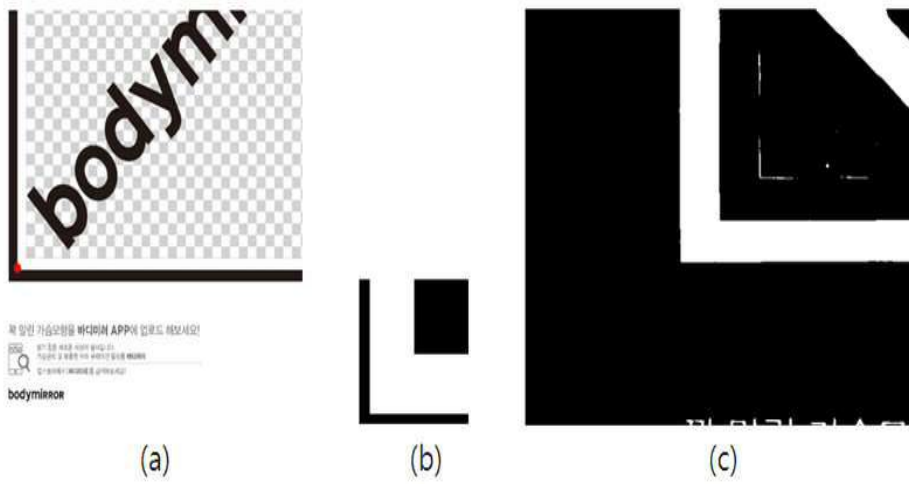
도면5



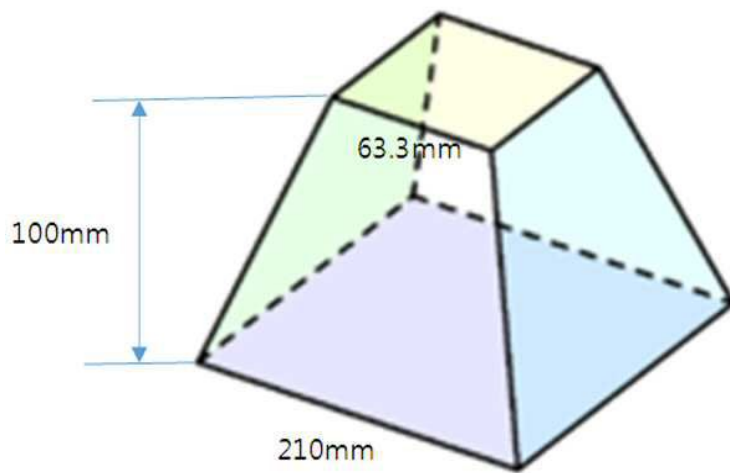
(a)

(b)

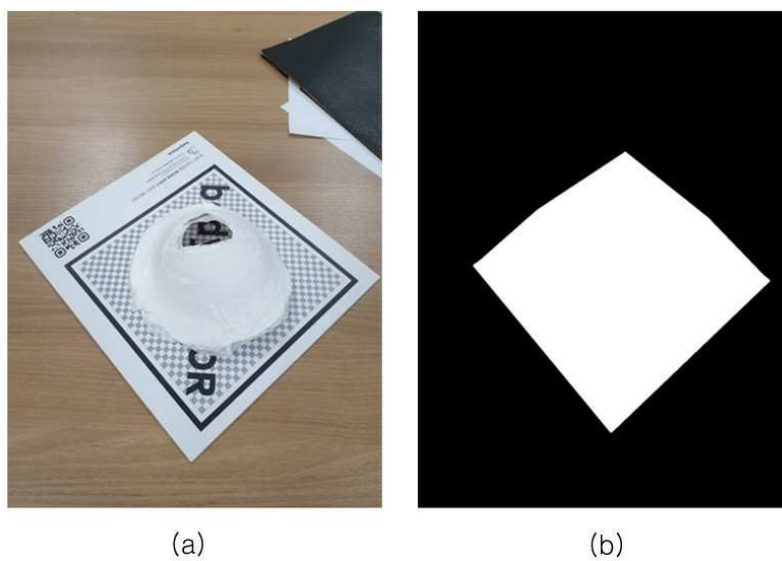
도면6



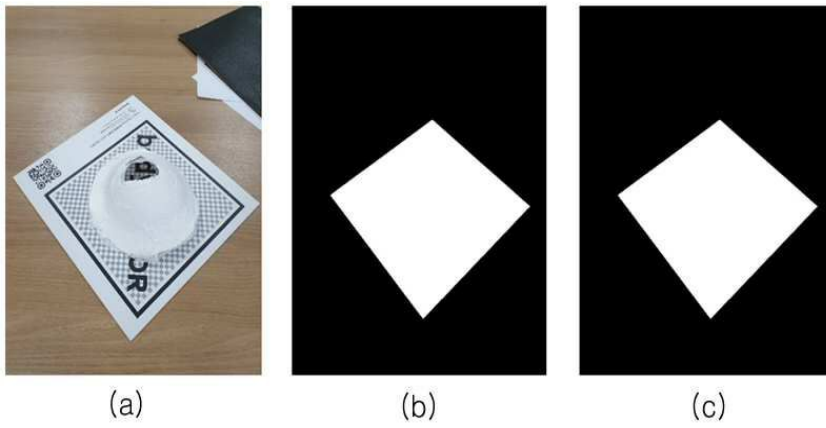
도면7



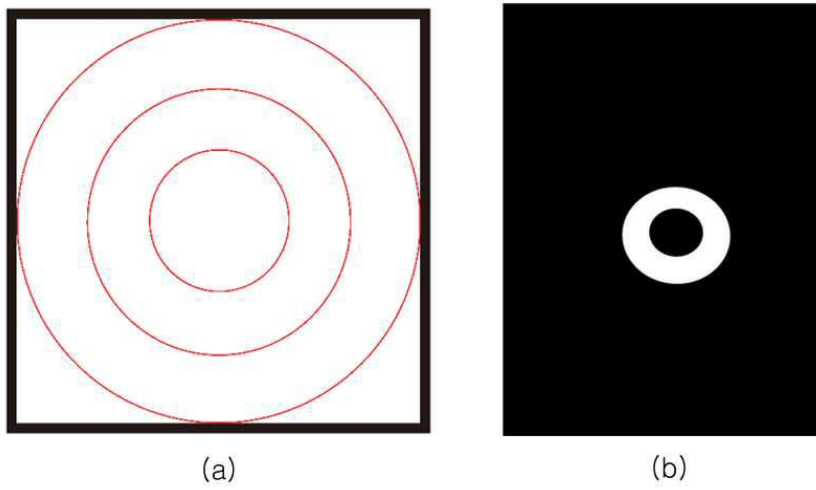
도면8



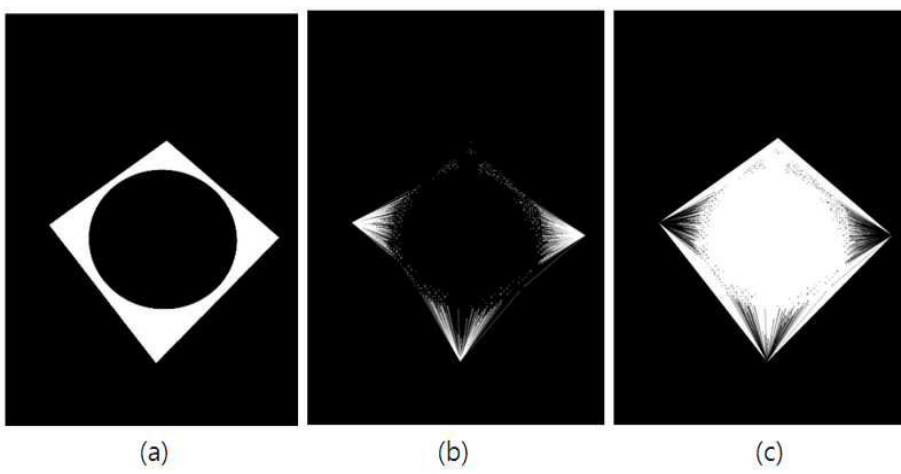
도면9



도면10



도면11



도면12

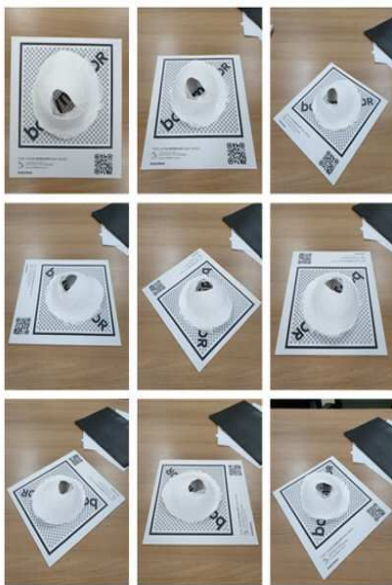


(a)

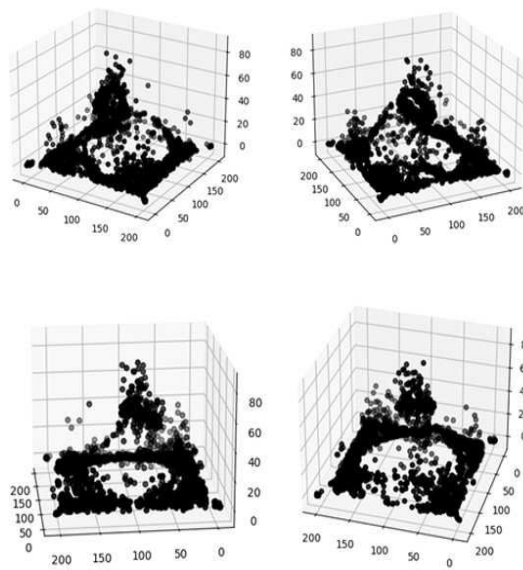


(b)

도면13

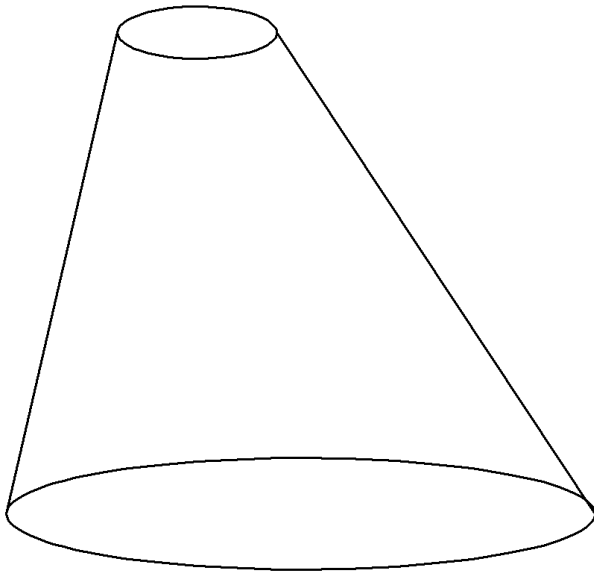


(a)

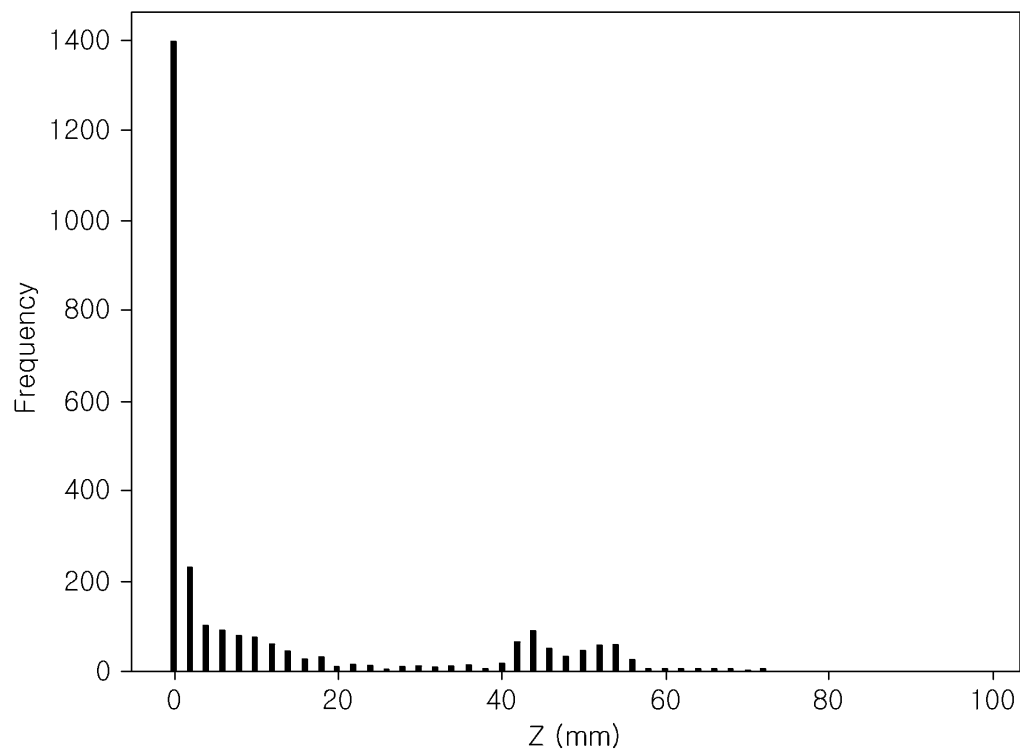


(b)

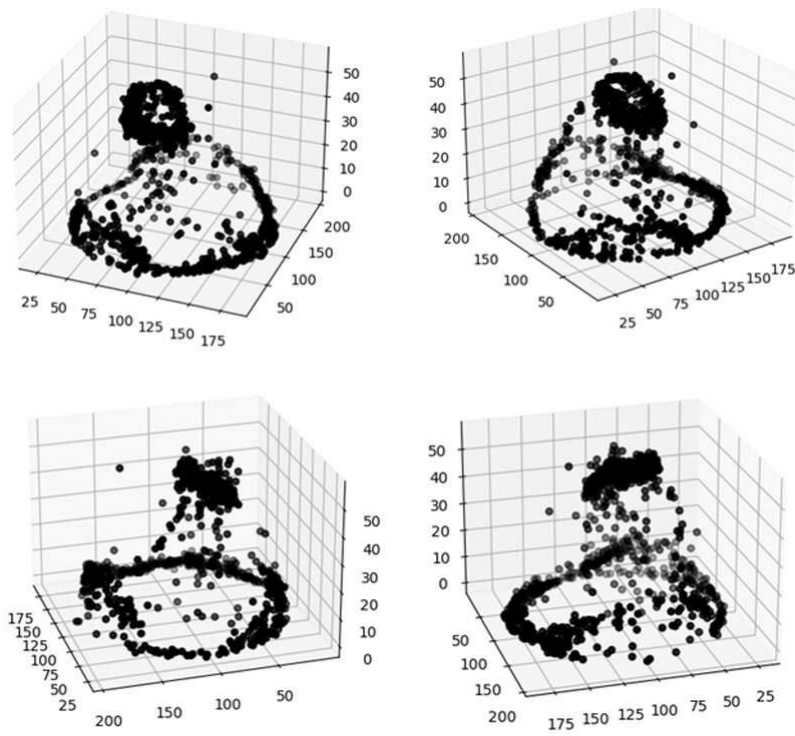
도면14



도면15



도면16



도면17

