



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년04월27일
 (11) 등록번호 10-1615086
 (24) 등록일자 2016년04월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G06T 7/20 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2014-0065168
 (22) 출원일자 2014년05월29일
 심사청구일자 2014년05월29일
 (65) 공개번호 10-2015-0138500
 (43) 공개일자 2015년12월10일
 (56) 선행기술조사문헌
 US20110017826 A1*
 JP2007090448 A*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
주식회사 고영테크놀러지
 서울특별시 금천구 가산디지털2로 53, 14층 15층
 (가산동, 한라시그마밸리)
경북대학교 산학협력단
 대구광역시 북구 대학로 80 (산격동, 경북대학교)
 (72) 발명자
이현기
 대구 수성구 교학로 111, 103동 707호 (만촌동, 산장맨션)
채유성
 대구 중구 동덕로 109, 203호 (삼덕동2가, 아진맨션)
김민영
 대구 수성구 청호로 426, 102동 505호 (범어동, 대구범어삼성쉐르빌)
 (74) 대리인
장덕순, 김봉섭

전체 청구항 수 : 총 12 항

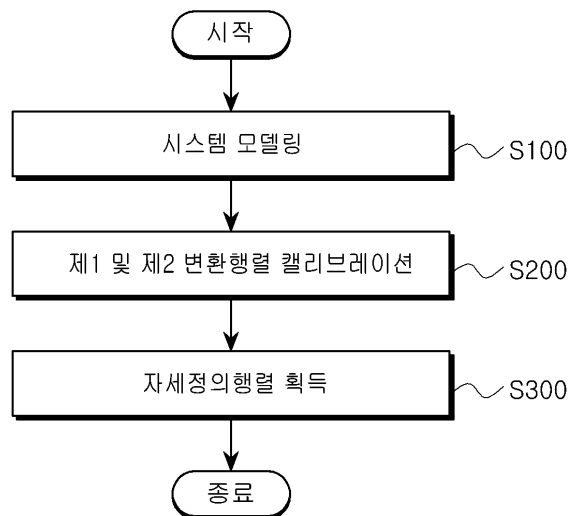
심사관 : 김응권

(54) 발명의 명칭 **유틸리티 트래킹 시스템 및 유틸리티 트래킹 시스템의 마커부 자세 산출방법**

(57) 요약

유틸리티 트래킹 시스템은 마커부, 결상부 및 처리부를 포함한다. 마커부는 특정정보를 갖는 패턴 및 패턴으로부터 이격되어 배치되며 제1 초점거리를 갖는 제1 렌즈를 포함한다. 결상부는 제2 초점거리를 갖는 제2 렌즈 및 제2 렌즈로부터 이격되어 배치되며 제1 렌즈와 제2 렌즈에 의하여 패턴의 이미지가 결상되는 결상유닛을 포함한다. 처리부는 패턴의 패턴면 상의 좌표와 패턴의 이미지 상의 픽셀좌표 사이의 좌표변환식으로부터 마커부의 자세를 결정하고, 결정된 마커부의 자세를 이용하여 마커부를 트래킹한다. 이에 따라, 보다 단순하고 용이한 방법으로 정확한 마커부를 트래킹할 수 있다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10040097

부처명 지식경제부

연구관리전문기관 산업기술평가원

연구사업명 산업원천기술개발사업

연구과제명 의료수술로봇영상기반 이비인후과 및 신경외과 수술용 최소침습 다자유도 수술로봇 시스템
기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 주식회사 고영테크놀러지

연구기간 2011.06.01 ~ 2016.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

특정정보를 갖는 패턴(pattern) 및 상기 패턴으로부터 이격되어 배치되며 제1 초점거리를 갖는 제1 렌즈를 포함하는 마커(marker)부;

제2 초점거리를 갖는 제2 렌즈 및 상기 제2 렌즈로부터 이격되어 배치되며 상기 제1 렌즈와 상기 제2 렌즈에 의하여 상기 패턴의 이미지가 결상되는 결상유닛을 포함하는 결상부; 및

상기 패턴의 패턴면 상의 좌표와 상기 패턴의 이미지 상의 픽셀좌표 사이의 좌표변환식으로부터 상기 마커부의 자세를 결정하고, 결정된 상기 마커부의 자세를 이용하여 상기 마커부를 트래킹하는 처리부를 포함하는 옵티컬 트래킹 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 처리부는, 상기 패턴의 패턴면 상의 좌표에 해당하는 제1 좌표를 상기 마커부의 상기 제1 렌즈에 대한 3차원적 좌표에 해당하는 제2 좌표로 변환하는 제1 변환행렬 및 상기 제2 좌표의 상기 제2 렌즈에 대한 3차원적 좌표에 해당하는 제3 좌표를 상기 결상부의 상기 패턴의 이미지 상의 픽셀좌표에 해당하는 제4 좌표로 변환하는 제2 변환행렬을 획득하고,

상기 좌표변환식은 상기 제1 변환행렬 및 상기 제2 변환행렬을 포함하여 상기 제1 좌표를 상기 제4 좌표로 변환하도록 정의되며,

상기 처리부는 상기 좌표변환식으로부터 상기 마커부의 자세를 정의하는 자세정의행렬을 획득하는 것을 특징으로 하는 옵티컬 트래킹 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 좌표변환식은 하기 수학식에 의하여 정의되는 것을 특징으로 하는 옵티컬 트래킹 시스템.

$$s \begin{bmatrix} u' \\ v' \\ 1 \end{bmatrix} = [A][R][C] \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}$$

((u,v)는 상기 제1 좌표, (u',v')는 상기 제4 좌표, [C]는 상기 제1 변환행렬, [A]는 상기 제2 변환행렬, [R]은 상기 자세정의행렬, s는 비례상수)

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 제1 변환행렬은 하기 수학식에 의하여 정의되는 것을 특징으로 하는 옵티컬 트래킹 시스템.

$$[C] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -u_c \\ 0 & 1 & -v_c \\ 0 & 0 & f_b \end{bmatrix}$$

((u_c,v_c)는 상기 패턴의 중심의 좌표, f_b는 상기 제1 초점거리)

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 처리부는,

적어도 3개 이상의 촬영 이미지로부터 u_c , v_c 및 f_b 의 캘리브레이션 값을 획득함으로써 상기 제1 변환행렬을 획득하는 것을 특징으로 하는 옵티컬 트래킹 시스템.

청구항 6

제3항에 있어서, 상기 제2 변환행렬은 하기 수학식에 의하여 정의되는 것을 특징으로 하는 옵티컬 트래킹 시스템.

$$[A] = \begin{bmatrix} -\frac{f_c}{pw} & 0 & u'_c \\ 0 & -\frac{f_c}{ph} & v'_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

((u'_c, v'_c)는 상기 패턴의 중심에 대응하는 상기 패턴의 이미지 상의 픽셀좌표, f_c 는 상기 제2 초점거리, pw 는 상기 패턴의 이미지의 픽셀의 폭, ph 는 상기 패턴의 이미지의 픽셀의 높이)

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 처리부는,

적어도 3개 이상의 촬영 이미지로부터 f_c , pw , ph 의 캘리브레이션 값을 획득함으로써 상기 제2 변환행렬을 획득하는 것을 특징으로 하는 옵티컬 트래킹 시스템.

청구항 8

제3항에 있어서, 상기 처리부는,

상기 제1 좌표 및 상기 제4 좌표에 대한 복수의 데이터를 획득하고, 상기 획득된 복수의 데이터가 적용된 하기 수학식에 의하여 상기 자세정의행렬을 획득하는 것을 특징으로 하는 옵티컬 트래킹 시스템.

$$[R] = [A]^{-1} \begin{bmatrix} H_1 & H_2 & H_3 \\ H_4 & H_5 & H_6 \\ H_7 & H_8 & H_9 \end{bmatrix} [C]^{-1}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & u_1 & v_1 & -1 & u_1 v'_1 & v_1 v'_1 & v'_1 \\ u_1 & v_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & u_1 u'_1 & v_1 u'_1 & u'_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & u_n & v_n & -1 & u_n v'_n & v_n v'_n & v'_n \\ u_n & v_n & 1 & 0 & 0 & 0 & u_n u'_n & v_n u'_n & u'_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ H_4 \\ H_5 \\ H_6 \\ H_7 \\ H_8 \\ H_9 \end{bmatrix} = 0$$

((u_1, v_1), ..., (u_n, v_n)은 상기 제1 좌표의 데이터, (u'_1, v'_1), ..., (u'_n, v'_n)은 상기 제4 좌표의 데이터)

청구항 9

제3항에 있어서, 상기 처리부는,

상기 제1 좌표 및 상기 제4 좌표에 대한 복수의 데이터를 획득하고, 상기 획득된 복수의 데이터가 적용된 하기

수학식에 의하여 상기 자세정의행렬을 획득하는 것을 특징으로 하는 옵티컬 트래킹 시스템.

$$[R] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{f_c}{pw}u_1 & \frac{f_c}{pw}v_1 & \frac{f_c}{pw}f_b & 0 & 0 & 0 & (u'_1-u'_c)u_1 & (u'_1-u'_c)v_1 & (u'_1-u'_c)f_b \\ 0 & 0 & 0 & \frac{f_c}{ph}u_1 & \frac{f_c}{ph}v_1 & \frac{f_c}{ph}f_b & (v'_1-v'_c)u_1 & (v'_1-v'_c)v_1 & (v'_1-v'_c)f_b \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{f_c}{pw}u_n & \frac{f_c}{pw}v_n & \frac{f_c}{pw}f_b & 0 & 0 & 0 & (u'_n-u'_c)u_n & (u'_n-u'_c)v_n & (u'_n-u'_c)f_b \\ 0 & 0 & 0 & \frac{f_c}{ph}u_n & \frac{f_c}{ph}v_n & \frac{f_c}{ph}f_b & (v'_n-v'_c)u_n & (v'_n-v'_c)v_n & (v'_n-v'_c)f_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} \\ r_{12} \\ r_{13} \\ r_{21} \\ r_{22} \\ r_{23} \\ r_{31} \\ r_{32} \\ r_{33} \end{bmatrix} = 0$$

((u₁,v₁), ..., (u_n,v_n)은 상기 제1 좌표의 데이터, (u'₁,v'₁), ..., (u'_n,v'_n)은 상기 제4 좌표의 데이터, (u'_c,v'_c)는 상기 패턴의 중심에 대응하는 상기 패턴의 이미지 상의 픽셀좌표, f_c는 상기 제2 초점거리, pw는 상기 패턴의 이미지의 픽셀의 폭, ph는 상기 패턴의 이미지의 픽셀의 높이)

청구항 10

특정정보를 갖는 패턴(pattern) 및 상기 패턴으로부터 이격되어 배치되며 제1 초점거리를 갖는 제1 렌즈를 포함하는 마커(marker)부, 및 제2 초점거리를 갖는 제2 렌즈 및 상기 제2 렌즈로부터 이격되어 배치되며 상기 제1 렌즈와 상기 제2 렌즈에 의하여 상기 패턴의 이미지가 결상되는 결상유닛을 포함하는 결상부를 포함하여, 상기 마커부를 트래킹하도록 상기 마커부의 자세를 산출하기 위한 옵티컬 트래킹 시스템의 마커부 자세 산출방법에 있어서,

상기 패턴의 패턴면 상의 좌표에 해당하는 제1 좌표를 상기 마커부의 상기 제1 렌즈에 대한 3차원적 좌표에 해당하는 제2 좌표로 변환하는 제1 변환행렬 및 상기 제2 좌표의 상기 제2 렌즈에 대한 3차원적 좌표에 해당하는 제3 좌표를 상기 결상부의 이미지 상의 픽셀좌표에 해당하는 제4 좌표로 변환하는 제2 변환행렬을 획득하는 단계; 및

상기 제1 변환행렬 및 상기 제2 변환행렬을 포함하며, 상기 제1 좌표를 상기 제4 좌표로 변환하는 좌표변환식으로부터 상기 마커부의 자세를 정의하는 자세정의행렬을 획득하는 단계를 포함하는 옵티컬 트래킹 시스템의 마커부 자세 산출방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 좌표변환식은 하기 수학식에 의하여 정의되는 것을 특징으로 하는 옵티컬 트래킹 시스템의 마커부 자세 산출방법.

$$s \begin{bmatrix} u' \\ v' \\ 1 \end{bmatrix} = [A][R][C] \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}$$

((u,v)는 상기 제1 좌표, (u',v')는 상기 제4 좌표, [C]는 상기 제1 변환행렬, [A]는 상기 제2 변환행렬, [R]은 상기 자세정의행렬, s는 비례상수)

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 제1 변환행렬은 하기 수학식에 의하여 정의되고,

$$[C] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -u_c \\ 0 & 1 & -v_c \\ 0 & 0 & f_b \end{bmatrix}$$

((u_c, v_c)는 상기 패턴의 중심의 좌표, f_b 는 상기 제1 초점거리)

상기 제2 변환행렬은 하기 수학식에 의하여 정의되는 것을 특징으로 하는 옵티컬 트래킹 시스템의 마커부 자세 산출방법.

$$[A] = \begin{bmatrix} -\frac{f_c}{pw} & 0 & u'_c \\ 0 & -\frac{f_c}{ph} & v'_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

((u'_c, v'_c)는 상기 패턴의 중심에 대응하는 상기 패턴의 이미지 상의 픽셀좌표, f_c 는 상기 제2 초점거리, pw 는 상기 패턴의 이미지의 픽셀의 폭, ph 는 상기 패턴의 이미지의 픽셀의 높이)

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 옵티컬 트래킹 시스템 및 옵티컬 트래킹 시스템의 마커부 자세 산출방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 패턴정보를 이용한 옵티컬 트래킹 시스템 및 옵티컬 트래킹 시스템의 마커부 자세 산출방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로, 소정의 물체의 위치를 추적하기 위하여 옵티컬 트래킹 시스템(optical tracking system)이 사용된다. 예를 들면, 상기 옵티컬 트래킹 시스템은 수술로봇과 같은 장비에서 목적물을 실시간으로 추적하기 위하여 활용될 수 있다.

[0003] 상기 옵티컬 트래킹 시스템은 통상 목적물에 부착되는 복수의 마커들과 상기 마커들에 의해 방출되는 광을 결상시키는 결상유닛들을 포함하고, 상기 결상유닛들로부터 획득된 정보를 수학적으로 계산하여 위치정보 등을 획득한다.

[0004] 그러나, 종래의 옵티컬 트래킹 시스템은 복수의 마커들을 포함함으로써 장비의 크기가 커지는 단점이 있으며, 이에 따라 소형의 정밀성이 요구되는 트래킹의 경우 부적절할 수 있다.

[0005] 따라서, 마커를 단순화하면서도 정확하고 용이하게 트래킹할 수 있는 옵티컬 트래킹 시스템이 요청된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 따라서, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 마커를 단순화하면서도 정확하고 용이하게 트래킹할 수 있는 옵티컬 트래킹 시스템을 제공하는 것이다.

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 다른 과제는 상기한 옵티컬 트래킹 시스템에 적용 가능한 옵티컬 트래킹 시스템의 마커부 자세 산출방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 예시적인 일 실시예에 따른 옵티컬 트래킹 시스템은 마커(marker)부, 결상부 및 처리부를 포함한다.

상기 마커부는 특정정보를 갖는 패턴(pattern) 및 상기 패턴으로부터 이격되어 배치되며 제1 초점거리를 갖는 제1 렌즈를 포함한다. 상기 결상부는 제2 초점거리를 갖는 제2 렌즈 및 상기 제2 렌즈로부터 이격되어 배치되며 상기 제1 렌즈와 상기 제2 렌즈에 의하여 상기 패턴의 이미지가 결상되는 결상유닛을 포함한다. 상기 처리부는 상기 패턴의 패턴면 상의 좌표와 상기 패턴의 이미지 상의 픽셀좌표 사이의 좌표변환식으로부터 상기 마커부의 자세를 결정하고, 결정된 상기 마커부의 자세를 이용하여 상기 마커부를 트래킹한다.

[0009] 일 실시예로, 상기 처리부는, 상기 패턴의 패턴면 상의 실제좌표에 해당하는 제1 좌표를 상기 마커부의 상기 제1 렌즈에 대한 3차원적 로컬좌표에 해당하는 제2 좌표로 변환하는 제1 변환행렬 및 상기 제2 좌표의 상기 제2 렌즈에 대한 3차원적 로컬좌표에 해당하는 제3 좌표를 상기 결상부의 상기 패턴의 이미지 상의 픽셀좌표에 해당하는 제4 좌표로 변환하는 제2 변환행렬을 획득할 수 있고, 상기 좌표변환식은 상기 제1 변환행렬 및 상기 제2 변환행렬을 포함하여 상기 제1 좌표를 상기 제4 좌표로 변환하도록 정의될 수 있으며, 상기 처리부는 상기 좌표 변환식으로부터 상기 마커부의 자세를 정의하는 자세정의행렬을 획득할 수 있다.

[0010] 상기 좌표변환식은 하기 수학식에 의하여 정의될 수 있다.

$$s \begin{bmatrix} u' \\ v' \\ 1 \end{bmatrix} = [A][R][C] \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}$$

[0011] ((u,v)는 상기 제1 좌표, (u',v')는 상기 제4 좌표, [C]는 상기 제1 변환행렬, [A]는 상기 제2 변환행렬, [R]은 상기 자세정의행렬, s는 비례상수)

[0012]

[0013] 상기 제1 변환행렬은 하기 수학식에 의하여 정의될 수 있다.

$$[C] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -u_c \\ 0 & 1 & -v_c \\ 0 & 0 & f_b \end{bmatrix}$$

[0014] ((u_c,v_c)는 상기 패턴의 중심의 실제좌표, f_b는 상기 제1 초점거리)

[0015]

[0016] 상기 처리부는, 적어도 3개 이상의 촬영 이미지로부터 상기 제1 좌표 및 상기 제4 좌표의 데이터를 획득할 수 있고, 상기 획득된 데이터를 하기 수학식에 적용하여 u_c, v_c 및 f_b의 캘리브레이션 값을 획득함으로써 상기 제1 변환행렬을 획득할 수 있다.

[0017] 상기 제2 변환행렬은 하기 수학식에 의하여 정의될 수 있다.

$$[A] = \begin{bmatrix} -\frac{f_c}{pw} & 0 & u'_c \\ 0 & -\frac{f_c}{ph} & v'_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0018] ((u'_c,v'_c)는 상기 패턴의 중심에 대응하는 상기 패턴의 이미지 상의 픽셀좌표, f_c는 상기 제2 초점거리, pw는 상기 패턴의 이미지의 픽셀의 폭, ph는 상기 패턴의 이미지의 픽셀의 높이)

[0019]

[0020] 상기 처리부는, 적어도 3개 이상의 촬영 이미지로부터 상기 제1 좌표 및 상기 제4 좌표의 데이터를 획득할 수 있고, 상기 획득된 데이터를 하기 수학식에 적용하여 f_c, pw, ph의 캘리브레이션 값을 획득함으로써 상기 제2 변환행렬을 획득할 수 있다.

[0021] 상기 처리부는, 상기 제1 좌표 및 상기 제4 좌표에 대한 복수의 데이터를 획득하고, 상기 획득된 복수의 데이터가 적용된 하기 수학식에 의하여 상기 자세정의행렬을 획득할 수 있다.

$$[R] = [A]^{-1} \begin{bmatrix} H_1 & H_2 & H_3 \\ H_4 & H_5 & H_6 \\ H_7 & H_8 & H_9 \end{bmatrix} [C]^{-1}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & u_1 & v_1 & -1 & u_1 v'_1 & v_1 v'_1 & v'_1 \\ u_1 & v_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & u_1 u'_1 & v_1 u'_1 & u'_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & u_n & v_n & -1 & u_n v'_n & v_n v'_n & v'_n \\ u_n & v_n & 1 & 0 & 0 & 0 & u_n u'_n & v_n u'_n & u'_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ H_4 \\ H_5 \\ H_6 \\ H_7 \\ H_8 \\ H_9 \end{bmatrix} = 0$$

[0022]

[0023] $((u_1, v_1), \dots, (u_n, v_n))$ 은 상기 제1 좌표의 데이터, $(u'_1, v'_1), \dots, (u'_n, v'_n)$ 은 상기 제4 좌표의 데이터)

[0024] 상기 처리부는, 상기 제1 좌표 및 상기 제4 좌표에 대한 복수의 데이터를 획득하고, 상기 획득된 복수의 데이터가 적용된 하기 수학식에 의하여 상기 자세정의행렬을 획득할 수 있다.

$$[R] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{f_c}{pw} u_1 & \frac{f_c}{pw} v_1 & \frac{f_c}{pw} f_b & 0 & 0 & 0 & (u'_1 - u'_c) u_1 & (u'_1 - u'_c) v_1 & (u'_1 - u'_c) f_b \\ 0 & 0 & 0 & \frac{f_c}{ph} u_1 & \frac{f_c}{ph} v_1 & \frac{f_c}{ph} f_b & (v'_1 - v'_c) u_1 & (v'_1 - v'_c) v_1 & (v'_1 - v'_c) f_b \\ & & & & & \vdots & & & \\ \frac{f_c}{pw} u_n & \frac{f_c}{pw} v_n & \frac{f_c}{pw} f_b & 0 & 0 & 0 & (u'_n - u'_c) u_n & (u'_n - u'_c) v_n & (u'_n - u'_c) f_b \\ 0 & 0 & 0 & \frac{f_c}{ph} u_n & \frac{f_c}{ph} v_n & \frac{f_c}{ph} f_b & (v'_n - v'_c) u_n & (v'_n - v'_c) v_n & (v'_n - v'_c) f_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} \\ r_{12} \\ r_{13} \\ r_{21} \\ r_{22} \\ r_{23} \\ r_{31} \\ r_{32} \\ r_{33} \end{bmatrix} = 0$$

[0025]

[0026] $((u_1, v_1), \dots, (u_n, v_n))$ 은 상기 제1 좌표의 데이터, $(u'_1, v'_1), \dots, (u'_n, v'_n)$ 은 상기 제4 좌표의 데이터, (u'_c, v'_c) 는 상기 패턴의 중심에 대응하는 상기 패턴의 이미지 상의 픽셀좌표, f_c 는 상기 제2 초점거리, pw 는 상기 패턴의 이미지의 픽셀의 폭, ph 는 상기 패턴의 이미지의 픽셀의 높이)

[0027]

본 발명의 예시적인 다른 실시예에 따른 옵티컬 트래킹 시스템의 마커부 자세 산출방법은 특정정보를 갖는 패턴(pattern) 및 상기 패턴으로부터 이격되어 배치되며 제1 초점거리를 갖는 제1 렌즈를 포함하는 마커(marker)부, 및 제2 초점거리를 갖는 제2 렌즈 및 상기 제2 렌즈로부터 이격되어 배치되며 상기 제1 렌즈와 상기 제2 렌즈에 의하여 상기 패턴의 이미지가 결상되는 결상유닛을 포함하는 결상부를 포함하여, 상기 마커부를 트래킹하도록 상기 마커부의 자세를 산출하기 위해 제공된다. 상기 옵티컬 트래킹 시스템의 마커부 자세 산출방법은 상기 패턴의 패턴면 상의 실제좌표에 해당하는 제1 좌표를 상기 마커부의 상기 제1 렌즈에 대한 3차원적 로컬좌표에 해당하는 제2 좌표로 변환하는 제1 변환행렬 및 상기 제2 좌표의 상기 제2 렌즈에 대한 3차원적 로컬좌표에 해당하는 제3 좌표를 상기 결상부의 이미지 상의 픽셀좌표에 해당하는 제4 좌표로 변환하는 제2 변환행렬을 획득하는 단계, 및 상기 제1 변환행렬 및 상기 제2 변환행렬을 포함하며, 상기 제1 좌표를 상기 제4 좌표로 변환하는 좌표변환식으로부터 상기 마커부의 자세를 정의하는 자세정의행렬을 획득하는 단계를 포함한다.

[0028] 상기 좌표변환식은 하기 수학식에 의하여 정의될 수 있다.

$$s \begin{bmatrix} u' \\ v' \\ 1 \end{bmatrix} = [A][R][C] \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}$$

[0029]

[0030] ((u,v)는 상기 제1 좌표, (u',v')는 상기 제4 좌표, [C]는 상기 제1 변환행렬, [A]는 상기 제2 변환행렬, [R]은 상기 자세정의행렬, s는 비례상수)

[0031] 상기 제1 변환행렬은 하기 수학식에 의하여 정의될 수 있고,

$$[C] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -u_c \\ 0 & 1 & -v_c \\ 0 & 0 & f_b \end{bmatrix}$$

[0032]

[0033] ((u_c,v_c)는 상기 패턴의 중심의 실제좌표, f_b는 상기 제1 초점거리)

[0034] 상기 제2 변환행렬은 하기 수학식에 의하여 정의될 수 있다.

$$[A] = \begin{bmatrix} -\frac{f_c}{pw} & 0 & u'_c \\ 0 & -\frac{f_c}{ph} & v'_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0035]

[0036] ((u'_c,v'_c)는 상기 패턴의 중심에 대응하는 상기 패턴의 이미지 상의 픽셀좌표, f_c는 상기 제2 초점거리, pw는 상기 패턴의 이미지의 픽셀의 폭, ph는 상기 패턴의 이미지의 픽셀의 높이)

발명의 효과

[0037] 본 발명에 따르면, 마커부를 트래킹하는 옵티컬 트래킹 시스템에 있어서, 트래킹이 가능하도록 마커부가 특정정보의 패턴을 포함하여 마커부를 소형화할 수 있고, 상기 마커부와 상기 결상부의 광학계를 좌표변환식으로 모델링함으로써 상기 마커부의 자세를 결정할 수 있으므로, 보다 단순하고 용이한 방법으로 정확한 마커부의 트래킹이 가능할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0038] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 의한 옵티컬 트래킹 시스템을 도시한 개념도이다.
- 도 2는 도 1의 옵티컬 트래킹 시스템의 처리부가 마커부의 자세를 결정하기 위해 필요한 문제해결 과정을 개략적으로 나타낸 흐름도이다.
- 도 3은 도 2의 문제해결 과정 중 시스템 모델링을 하는 과정을 나타낸 흐름도이다.
- 도 4는 도 3의 시스템 모델링을 하는 과정을 설명하기 위한 개념도이다.
- 도 5는 도 2의 문제해결 과정 중 제2 변환행렬을 캘리브레이션하는 과정을 나타낸 흐름도이다.
- 도 6은 도 2의 문제해결 과정 중 제1 변환행렬을 캘리브레이션하는 과정을 나타낸 흐름도이다.
- 도 7은 도 2의 문제해결 과정 중 자세정의행렬을 획득하는 과정의 일 예를 나타낸 흐름도이다.
- 도 8은 도 2의 문제해결 과정 중 자세정의행렬을 획득하는 과정의 다른 예를 나타낸 흐름도이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실시예에 의한 옵티컬 트래킹 시스템의 마커부 자세 산출방법을 나타낸 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0039] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0040] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성 요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성 요소는 제2 구성 요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성 요소도 제1 구성 요소로 명명될 수 있다.
- [0041] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예들을 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0042] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 갖는다.
- [0043] 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0044] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예들을 보다 상세하게 설명한다.
- [0045] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 의한 옵티컬 트래킹 시스템을 도시한 개념도이다.
- [0046] 도 1을 참조하면, 본 발명의 예시적인 일 실시예에 따른 옵티컬 트래킹 시스템(100)은 마커(marker)부(110), 결상부(120) 및 처리부(130)를 포함한다.
- [0047] 상기 마커부(110)는 패턴(pattern)(112) 및 제1 렌즈(114)를 포함한다.
- [0048] 상기 패턴(112)은 특정정보를 갖는다. 예를 들면, 상기 특정정보는 상기 패턴은 후술하는 결상부(120)에서 트래킹을 위하여 인식할 수 있는 정보로서, 바코드(bar code)와 유사한 1차원적 패턴, 큐알코드(QR code)와 유사한 2차원적 패턴 등을 포함할 수 있다.
- [0049] 상기 제1 렌즈(114)는 상기 패턴(112)으로부터 이격되어 배치되며 제1 초점거리를 갖는다. 예를 들면, 상기 제1 렌즈(114)와 상기 패턴(112) 사이의 이격 거리는, 후술되는 결상부(120)가 원거리에서도 상기 패턴(112)을 결상하여 트래킹할 수 있도록, 상기 제1 렌즈(114)의 제1 초점거리와 동일할 수 있다. 이 경우, 상기 제1 렌즈(114)를 통과하는 상기 패턴(112)에 대한 광다발(bundle of rays)은 평행을 이룰 수 있다. 상기 제1 렌즈(114)는, 예를 들면, 현미경의 대물렌즈와 유사한 기능을 수행할 수 있다.
- [0050] 상기 마커부(110)는 광원을 포함하지 않을 수 있으며, 이 경우 상기 마커부(110)는 외부에 위치한 조명을 이용하는 패시브 마커(passive marker)로 활용될 수 있다. 이와는 다르게, 상기 마커부(110)는 광원을 포함할 수도 있으며, 이 경우 상기 마커부(110)는 자체 조명을 이용하는 액티브 마커(active marker)로 활용될 수 있다.
- [0051] 상기 결상부(120)는 제2 렌즈(122) 및 결상유닛(124)을 포함한다.
- [0052] 상기 제2 렌즈(122)는 제2 초점거리를 갖는다. 상기 제2 렌즈(122)는, 예를 들면, 현미경의 접안렌즈와 유사한 기능을 수행할 수 있다.
- [0053] 상기 결상유닛(124)은 상기 제2 렌즈(122)로부터 이격되어 배치되며 상기 제1 렌즈(114)와 상기 제2 렌즈(122)에 의하여 상기 패턴(112)의 이미지가 결상된다. 예를 들면, 상기 결상유닛(124)과 상기 제2 렌즈(122) 사이의 이격 거리는, 상기 제1 렌즈(114)를 통과하여 평행을 이루는 상기 패턴(112)에 대한 광다발을 결상할 수 있도록, 상기 제2 렌즈(122)의 제2 초점거리와 동일할 수 있다. 예를 들면, 상기 결상유닛(124)은 CCD(charge coupled device), CMOS(complementary metal-oxide semiconductor) 등과 같은 이미지 센서를 포함할 수 있다.
- [0054] 상기 처리부(130)는 상기 패턴(112)의 패턴면 상의 좌표와 상기 패턴(112)의 이미지 상의 픽셀좌표 사이의 좌표 변환식으로부터 상기 마커부(110)의 자세를 결정한다. 상기 처리부(130)는 결정된 상기 마커부(110)의 자세를

이용하여 상기 마커부(110)를 트래킹한다. 상기 처리부(130)는 예를 들면 컴퓨터 혹은 보다 구체적으로 중앙처리장치(CPU)를 포함할 수 있다.

- [0055] 이하, 상기 처리부(130)의 기능의 근거가 되는 시스템 모델링 과정 및 이에 따라 상기 마커부(110)의 자세를 결정하는 과정을 도면을 참조로 보다 상세하게 설명한다.
- [0056] 도 2는 도 1의 옵티컬 트래킹 시스템의 처리부가 마커부의 자세를 결정하기 위해 필요한 문제해결 과정을 개략적으로 나타낸 흐름도이다.
- [0057] 도 2를 참조하면, 먼저 상술한 구성을 갖는 상기 옵티컬 트래킹 시스템(100)에 대하여 시스템 모델링을 수행한다(S100).
- [0058] 도 1에 도시된 바와 같은 옵티컬 트래킹 시스템(100)에서, 상기 패턴(112)의 패턴면 상의 좌표와 상기 패턴(112)의 이미지 상의 픽셀좌표 사이의 좌표변환은 상기 옵티컬 트래킹 시스템(100)의 광학계에 의해 이루어지므로, 상기 옵티컬 트래킹 시스템(100)의 광학계에 따른 좌표변환을 모델링함으로써 상기 좌표변환식을 설정할 수 있다. 이때, 상기 옵티컬 트래킹 시스템(100)의 광학계에 따른 좌표변환은 상기 마커부(110) 및 상기 결상부(120) 각각의 광학계 및 이들 사이의 관계에 의해 모델링될 수 있다.
- [0059] 이어서, 시스템 모델링의 결과로 획득된 좌표변환식 중 후술되는 제1 및 제2 변환행렬들을 캘리브레이션(calibration)한다(S200).
- [0060] 도 1에 도시된 상기 패턴(112)의 패턴면 상의 좌표를 제1 좌표, 상기 제1 좌표의 상기 제1 렌즈(114)에 대한 3차원적 좌표를 제2 좌표, 상기 제2 좌표의 상기 제2 렌즈(122)에 대한 3차원적 좌표를 제3 좌표, 그리고 상기 결상부(120)의 상기 패턴(112)의 이미지 상의 픽셀좌표를 제4 좌표라 각각 정의할 때, 상기 제1 변환행렬은 상기 제1 좌표를 상기 제2 좌표로 변환하는 행렬이고, 상기 제2 변환행렬은 상기 제3 좌표를 상기 제4 좌표로 변환하는 행렬이다.
- [0061] 상기 시스템 모델링의 결과로 획득된 좌표변환식은 도 1에 도시된 상기 마커부(110) 및 상기 결상부(120)의 광학계의 각종 파라미터들에 대한 식으로 정해지지만, 상기 파라미터들을 정확히 획득할 수 없거나 기구적인 배치 상태 등에 의해 값이 변할 수 있으므로, 상기 제1 및 제2 변환행렬들을 캘리브레이션함으로써 보다 정확한 시스템 모델링이 가능할 수 있다.
- [0062] 다음으로, 캘리브레이션 결과를 이용하여 자세정의행렬을 획득한다(S300)
- [0063] 여기서, 자세는 상기 마커부(110)가 향하고 있는 방향을 의미하며, 상기 자세정의행렬은 상기 마커부(110)의 자세에 대한 정보를 제공하는 행렬로서, 상기 자세정의행렬로부터 상기 마커부(110)의 롤(roll), 피치(pitch), 요(yaw) 등을 파악할 수 있다.
- [0064] 이하, 도 2에 나타난 각 단계에 대해서 도면을 참조로 보다 구체적으로 설명한다.
- [0065] 도 3은 도 2의 문제해결 과정 중 시스템 모델링을 하는 과정을 나타낸 흐름도이고, 도 4는 도 3의 시스템 모델링을 하는 과정을 설명하기 위한 개념도이다.
- [0066] 도 3 및 도 4를 참조하면, 먼저 상기 마커부(110)와 상기 결상부(120) 사이의 광경로에 따른 3개의 직선의 방정식을 획득한다(S110).
- [0067] 구체적으로, 상기 제1 렌즈(114)의 중심점을 제1 중심점 A, 상기 제2 렌즈(122)의 중심점을 제2 중심점 O라 하며, 상기 패턴(112) 상의 임의의 점을 B라 한다. 상기 임의의 점 B에 대한 광이 상기 제1 렌즈(114)의 제1 중심점 A를 통과하는 광은 직진하며, 상기 제1 중심점 A를 통과한 광이 상기 제2 렌즈(122)와 만나는 점을 D라 하고, 상기 D점에서 상기 제2 렌즈(122)에 의해 굴절되어 상기 결상유닛(124)에 결상되는 점을 E라 한다. 또한, 상기 제1 렌즈(114)의 제1 중심점 A를 지나서 상기 제2 렌즈(122)의 제2 중심점 O를 통과하는 광은 직진하며, 이 광이 선분 DE의 연장선과 만나는 점을 C라 한다.
- [0068] 이때, 선분 AO(또는 선분 AC)에 대한 직선의 방정식, 선분 AD에 대한 직선의 방정식, 및 선분 DC에 대한 직선의 방정식을 도 4에 도시된 바와 같이 각각 L1, L2, 및 L3라 정의한다.
- [0069] 월드좌표계(world coordinate system)에서, 상기 제1 중심점 A의 좌표는 (X,Y,Z), 상기 제2 중심점 O의 좌표는 원점인 (0,0,0)으로 설정한다. 상기 제2 렌즈(122)의 제2 중심점 O의 좌표를 원점으로 설정하므로, 상기 제2 렌즈(122)에 대한 3차원적 로컬좌표계는 상기 월드좌표계와 동일하다.

- [0070] 또한, 상기 패턴(112) 상의 임의의 점(B점에 대응)의 좌표를 (u,v), 상기 패턴(112)의 중심점의 좌표를 (u_c,v_c), 상기 결상유닛(124)에 결상되는 상기 패턴(112)의 이미지의 픽셀(E점에 대응)의 좌표를 (u',v')로 정한다. 상기 좌표들 (u,v), (u_c,v_c)는 일 예로 상기 패턴(112)의 좌상측을 기준으로 설정될 수 있으며, 상기 좌표 (u',v')는 일 예로 상기 패턴(112)의 이미지의 좌상측을 기준으로 설정될 수 있다.
- [0071] 한편, 상기 결상유닛(124)을 상기 제2 렌즈(122)의 초점거리 f_c에 위치시키면 상기 결상유닛(124)의 z축 좌표는 -f_c가 된다.
- [0072] 이상의 정보를 이용하여 상기 세 개의 직선의 방정식들을 차례로 획득한다.
- [0073] 직선 L1의 방정식은 선분 A0로부터 구하고, 여기서 C점의 위치를 획득한다. 직선 L2의 방정식은 선분 AB로부터 구하고, 여기서 D점의 위치를 획득한다. 직선 L3의 방정식은 선분 DC로부터 구한다. 이때, A점과 O점의 월드좌표를 알기 때문에 B점의 월드좌표만 알면 상기 세 개의 직선의 방정식들을 알 수 있다.
- [0074] 상기 마커부(110)의 자세를 정의하는 자세정의행렬을 3*3 행렬 [R]이라 정의하고, 행렬 [R]의 각 성분을 각각 r₁₁, r₁₂, r₁₃, r₂₁, r₂₂, r₂₃, r₃₁, r₃₂, r₃₃라 정의하면, B점의 월드좌표는 B점의 패턴상 좌표 (u,v)를 행렬 [R]과 상기 제1 렌즈(114)의 초점거리 f_b를 기초로 변환된 (r₁₁u+r₁₂v+r₁₃f_b+X, r₂₁u+r₂₂v+r₂₃f_b+Y, r₃₁u+r₃₂v+r₃₃f_b+Z)로 정할 수 있다.
- [0075] 따라서, A점, O점 및 B점의 월드좌표로부터 세 개의 직선의 방정식들을 획득할 수 있다.
- [0076] 이어서, 상기 획득된 세 개의 직선의 방정식들로부터 상기 패턴(112) 및 패턴의 이미지 사이의 관계식을 유도한다(S120).
- [0077] 앞서 구한 직선 L3의 방정식에서 E점의 위치(E점의 월드좌표)를 획득할 수 있으므로, 이로부터 E점의 픽셀좌표 (u',v')를 알 수 있다.
- [0078] 이에 따라, E점의 픽셀좌표 (u',v')를 B점의 패턴상 좌표 (u,v)로 나타낼 수 있으므로, B점에 대응하는 상기 패턴(112) 및 E점에 대응하는 패턴의 이미지 사이의 관계식을 정할 수 있다.
- [0079] 다음으로, 상기 관계식을 행렬 방정식으로 표현하여 상기 좌표변환식으로 설정한다(S130).
- [0080] 상기 관계식은 하기 수학식 1과 같은 행렬 방정식으로 표현할 수 있으며, 이러한 좌표변환에 관한 행렬 방정식을 상기 좌표변환식으로 설정할 수 있다.

수학식 1

$$s \begin{bmatrix} u'_i \\ v'_i \\ 1 \end{bmatrix} = [A][R][C] \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -\frac{f_c}{pw.} & 0 & u'_c \\ 0 & -\frac{f_c}{ph.} & v'_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -u_c \\ 0 & 1 & -v_c \\ 0 & 0 & f_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$(s = r_{31}u_i + r_{32}v_i + r_{33}f_b)$$

- [0081]
- [0082] 여기서, (u,v)는 상기 제1 좌표, (u',v')는 상기 제4 좌표, [C]는 상기 제1 변환행렬, [A]는 상기 제2 변환행렬, 그리고 [R]은 상기 자세정의행렬을 의미한다. 또한, (u_c,v_c)는 상기 패턴의 중심의 패턴면 상의 좌표, f_b는 상기 제1 초점거리, f_c는 상기 제2 초점거리, pw는 상기 패턴의 이미지의 픽셀의 폭, ph는 상기 패턴의 이미지의 픽셀의 높이이다. 또한, (u_i,v_i), (u'_i,v'_i)에서 i는 소정의 i번째 패턴임을 의미한다.
- [0083] 상기 좌표변환식은 도 1에서 설명한 상기 제1 및 제2 변환행렬 및 상기 자세정의행렬의 곱으로 이루어져 있음을 알 수 있다.

[0084] 구체적으로, 상기 좌표변환식을 개념적으로 살펴보면, 도 1에서 설명한 바와 같이, 상기 패턴(112)의 패턴면 상의 실제좌표를 제1 좌표((u,v)), 상기 제1 좌표의 상기 제1 렌즈(114)에 대한 3차원적 로컬좌표를 제2 좌표, 상기 제2 좌표의 상기 제2 렌즈(122)에 대한 3차원적 로컬좌표(월드좌표와 동일)를 제3 좌표, 그리고 상기 결상부(120)의 상기 패턴(112)의 이미지 상의 픽셀좌표를 제4 좌표((u',v'))라 각각 정의할 때, 상기 좌표변환식은 상기 제1 좌표를 상기 제2 좌표로 변환하는 제1 변환행렬 [C], 상기 제2 좌표를 상기 제3 좌표로 변환하는 자세정의행렬 [R] 및 상기 제3 좌표를 상기 제4 좌표로 변환하는 제2 변환행렬 [A]의 곱인 [A][R][C]로 나타남을 알 수 있다.

[0085] 다음으로, 상기 시스템 모델링의 결과로 획득된 좌표변환식 중 상기 제1 및 제2 변환행렬들을 캘리브레이션하는 과정(S200)을 도면을 참조로 보다 상세하게 설명한다.

[0086] 상기 캘리브레이션은 상기 제2 변환행렬에 대해서 먼저 수행하고, 이어 상기 제1 변환행렬에 대해서 수행한다.

[0087] 도 5는 도 2의 문제해결 과정 중 제2 변환행렬을 캘리브레이션하는 과정을 나타낸 흐름도이다.

[0088] 도 5를 참조하면, 먼저 캘리브레이션을 위한 수학적 해석이 용이하도록, 행렬 [B]와 행렬 [H]를 정의한다(S210).

[0089] 구체적으로, 상기 제2 변환행렬([A])을 이용하여 행렬 [B]를 정의하면 수학식 2와 같고, 상기 제1 변환행렬([C]), 상기 제2 변환행렬([A]) 및 상기 자세정의행렬([R])을 이용하여 행렬 [H]를 정의하면 수학식 3과 같다.

수학식 2

[0090]
$$[B]=[A]^{-T}*[A]^{-1}$$

수학식 3

[0091]
$$[H]=[A][R][C]$$

[0092] 여기서, 각 행렬 [A], [B], [C], [H], [R]은 모두 3*3 형태를 가지며, [H]=[h1, h2, h3], [R]=[r1, r2, r3]로 나타낼 수 있다.

[0093] 수학식 3의 양변에 A⁻¹를 곱하면 수학식 4가 획득된다.

수학식 4

[0094]
$$A^{-1}[h_1 h_2 h_3] = [r_1 r_2 T]$$

[0095] 이어서, 행렬 [R]의 정규직교성(orthonormality)을 이용하여 [H]와 [B]의 성분으로 이루어진 방정식을 설정한다(S220).

[0096] 구체적으로, 회전행렬(rotation matrix)에 해당하는 자세정의행렬([R])의 정규직교성을 이용하면, 행렬 [B]를 수학식 5와 같이 정의할 수 있다.

수학식 5

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{1}{\alpha^2} & 0 & -\frac{u'_c}{\alpha^2} \\ 0 & \frac{1}{\beta^2} & -\frac{v'_c}{\beta^2} \\ -\frac{u'_c}{\alpha^2} & -\frac{v'_c}{\beta^2} & \frac{u'^2_c}{\alpha^2} + \frac{v'^2_c}{\beta^2} + 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & 0 & B_{13} \\ 0 & B_{22} & B_{23} \\ B_{13} & B_{23} & B_{33} \end{bmatrix}$$

[0097]

[0098] 여기서, $\alpha = -f_c/pw$, $\beta = -f_c/ph$ 이며, f_c 는 상기 결상부(120)의 제2 렌즈(122)의 초점거리, pw 와 ph 는 각각 픽셀의 폭과 높이를 의미한다.

[0099] 행렬 [B]의 0이 아닌 성분을 이용하여 열벡터 b 와 v_{ij} 를 수학식 6과 같이 정의한다.

수학식 6

$$b = [B_{11} \ B_{22} \ B_{13} \ B_{23} \ B_{33}]^T$$

$$v_{ij} = [h_{i1}h_{j1}, h_{i2}h_{j2}, h_{i3}h_{j1} + h_{i1}h_{j3}, h_{i3}h_{j2} + h_{i2}h_{j3}, h_{i3}h_{j3}]^T$$

[0100]

[0101] 수학식 6에 행렬 [R]의 정규직교성을 이용하면 수학식 7을 얻을 수 있다.

수학식 7

$$\begin{bmatrix} v_{12}^T \\ (v_{11} - v_{22})^T \end{bmatrix} b = 0$$

$$\begin{bmatrix} h_{11}h_{21}, h_{12}h_{22}, h_{13}h_{21} + h_{11}h_{23}, h_{13}h_{22} + h_{12}h_{23}, h_{13}h_{23} \\ h_{11}h_{11} - h_{21}h_{21}, h_{12}h_{12} - h_{22}h_{22}, h_{13}h_{11} + h_{11}h_{13} - (h_{23}h_{21} + h_{21}h_{23}), h_{13}h_{12} + h_{12}h_{13} - (h_{23}h_{22} + h_{22}h_{23}), h_{13}h_{13} - h_{23}h_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_{11} \\ B_{22} \\ B_{13} \\ B_{23} \\ B_{33} \end{bmatrix}$$

[0102] = 0

[0103] 다음으로, 3장 이상의 영상 데이터들 [H]에 적용하여 [B]의 해를 구한다(S230).

[0104] 구체적으로, 적어도 3장 이상의 영상을 수학식 7에 적용한 후, 일 예로 특이값 분해(singular value decomposition, SVD)와 같은 방법을 이용하여 열벡터 b 를 구할 수 있다. 열벡터 b 를 구하면 행렬 [B]의 모든 성분을 알 수 있다.

[0105] 이어서, 최종적으로 캘리브레이션된 [A]를 획득한다(S240).

[0106] 구체적으로, 행렬 [B]의 모든 성분을 알면 하기 수학식 8을 통해 v'_c , α , β , u'_c 를 구할 수 있다(λ , γ 를 파라미터로 표현).

수학식 8

$$v'_c = \frac{B_{12}B_{13} - B_{11}B_{23}}{B_{11}B_{22} - B_{12}^2}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\lambda}{B_{11}}}, \beta = \sqrt{\frac{\lambda B_{11}}{B_{11}B_{22} - B_{12}^2}}$$

$$u'_c = \frac{\gamma v'_c}{\beta} - \frac{B_{13}\alpha^2}{\lambda}$$

$$\lambda = B_{33} - \frac{[B_{13}^2 + v'_c(B_{12}B_{13} - B_{11}B_{23})]}{B_{11}}$$

$$\gamma = -B_{12}\alpha^2\beta/\lambda$$

[0107]

[0108] 따라서, 수학식 9로부터 행렬 [A]의 모든 성분을 알 수 있다.

수학식 9

$$[A] = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & u'_c \\ 0 & \beta & v'_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; (\alpha = -\frac{f_c}{pw.}, \beta = -\frac{f_c}{ph.})$$

[0109]

[0110] 다음으로, 앞서 캘리브레이션한 제2 변환행렬([A])을 이용하여 제1 변환행렬([C])을 캘리브레이션한다.

[0111] 도 6은 도 2의 문제해결 과정 중 제1 변환행렬을 캘리브레이션하는 과정을 나타낸 흐름도이다.

[0112] 도 6을 참조하면, 먼저 캘리브레이션된 행렬 [A]를 행렬 [H]에 대입 정리하여 행렬 [R]을 획득한다(S250).

[0113] 구체적으로, 수학식 9의 상기 제2 변환행렬 [A]를 수학식 3에 대입하고, 수학식 1의 [R][C]를 정리하여 수학식 10을 획득한다.

수학식 10

$$\begin{aligned} [H] &= [A][R][C] = [A][RC] \\ &= \begin{bmatrix} \alpha & 0 & u'_c \\ 0 & \beta & v'_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & -u_c r_{11} - v_c - u_c r_{12} + f_b r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & -u_c r_{21} - v_c - u_c r_{22} + f_b r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & -u_c r_{31} - v_c - u_c r_{32} + f_b r_{33} \end{bmatrix} \\ &= [h_1 \quad h_2 \quad h_3] \end{aligned}$$

[0114]

[0115] 수학식 10에서 행렬 [R]을 [R]=[r1 r2 r3]로 두면, [R]은 수학식 11에서 열벡터 성분별로 획득할 수 있다.

수학식 11

$$r_1 = [A]^{-1}h_1, \quad r_2 = [A]^{-1}h_2, \quad r_3 = r_1 \times r_2$$

[0116]

이어서, 행렬 [HK]를 [HK]=[A][R]로 정의하여 상기 좌표변환식에 대입하여 정리한다(S260).

[0117]

구체적으로, 행렬 [A]와 행렬 [R]의 곱을 행렬 [HK]로 정의하여 수학식 1의 좌표변환식에 대입하고 행렬 [HK]와 행렬 [C]의 성분들로 이루어지도록 정리한다.

[0118]

이때, 수학식 9에서 구한 행렬 [A]와 수학식 11에서 구한 행렬 [R]을 이용하여 행렬 [HK]를 구할 수 있고, 이를 수학식 1의 좌표변환식에 적용하면 행렬 [HK]와 행렬 [C]의 성분들로 이루어진 수학식 12가 얻어진다.

[0119]

수학식 12

$$s \begin{bmatrix} u' \\ v' \\ 1 \end{bmatrix} = [A][R][C] \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = [HK][C] \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = [HK] \begin{bmatrix} 1 & 0 & -u_c \\ 0 & 1 & -v_c \\ 0 & 0 & f_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}$$

[0120]

다음으로, 정리된 식을 [AA][CC]=[BB] 형태로 변형한다(S270).

[0121]

구체적으로, 정리된 식에서 행렬 [C]의 성분들만으로 이루어진 행렬을 [CC]로 정의하여 분리한 후, 정리된 식을 [AA][CC]=[BB] 형태로 변형한다. 이때, 행렬 [HK]를 알고 있으므로, 행렬 [HK]를 이용하여 행렬 [AA], 행렬 [BB] 및 행렬 [CC]를 수학식 13과 같이 정의할 수 있다.

[0122]

수학식 13

$$[AA] = \begin{bmatrix} HK(2,1) - HK(3,1)v'_i & HK(2,2) - HK(3,2)v'_i & -HK(2,3) + HK(3,3)v'_i \\ -HK(1,1) + HK(3,1)u'_i & -HK(1,2) + HK(3,2)u'_i & HK(1,3) - HK(3,3)u'_i \end{bmatrix}$$

$$[BB] = \begin{bmatrix} HK(2,1)u_i + HK(2,2)v_i - HK(3,1)v'_i u_i - HK(3,2)v'_i v_i \\ -HK(1,1)u_i - HK(1,2)v_i + HK(3,1)u'_i u_i + HK(3,2)u'_i v_i \end{bmatrix}$$

$$[CC] = \begin{bmatrix} u_c \\ v_c \\ f_b \end{bmatrix}$$

[0123]

이어서, [CC]=[AA]⁻¹[BB]로부터 [CC]를 구하여 캘리브레이션된 행렬 [C]를 획득한다(S280).

[0124]

구체적으로, 식 [AA][CC]=[BB]를 변형한 [CC]=[AA]⁻¹[BB]로부터 [CC]의 성분들을 획득하여 최종적으로 캘리브레이션된 상기 제1 변환행렬 [C]를 획득한다.

[0125]

다음으로, 상기 캘리브레이션된 제1 및 제2 변환행렬들을 이용하여 상기 자세정의행렬을 획득하는 과정(S300)을 도면을 참조로 보다 상세하게 설명한다.

[0126]

도 7은 도 2의 문제해결 과정 중 자세정의행렬을 획득하는 과정의 일 예를 나타낸 흐름도이다.

[0127]

도 7을 참조하면, 상기 자세정의행렬 [R]을 획득하는 일 예로, 먼저 양변에 자기자신을 외적인 방정식을 설정한다(S310).

[0128]

구체적으로, 상기 수학식 1의 양변에 자기자신을 외적하면 0이 되므로, 이를 방정식으로 설정하면 수학식 14를 얻을 수 있다.

[0129]

수학식 14

$$\begin{bmatrix} u'_i \\ v'_i \\ 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u'_i \\ v'_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & v'_i \\ 1 & 0 & -u'_i \\ -v'_i & u'_i & 0 \end{bmatrix} [A][R][C] \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix} = 0$$

[0130]

[0131] 이어서, 행렬 [H]를, 일 예로 특이값 분해(SVD)와 같은 방법을 이용하여 획득한다(S320a).

[0132] 구체적으로, 수학식 14에 수학식 3의 [H]=[A][R][C]를 적용한 후 행렬 [H]의 각 성분들(H1, H2, ..., H9)에 관한 방정식으로 정리하여 수학식 15를 획득한다.

수학식 15

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & u_1 & v_1 & -1 & u_1 v'_1 & v_1 v'_1 & v'_1 \\ u_1 & v_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & u_1 u'_1 & v_1 u'_1 & u'_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & u_n & v_n & -1 & u_n v'_n & v_n v'_n & v'_n \\ u_n & v_n & 1 & 0 & 0 & 0 & u_n u'_n & v_n u'_n & u'_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ H_4 \\ H_5 \\ H_6 \\ H_7 \\ H_8 \\ H_9 \end{bmatrix} = 0$$

[0133]

[0134] 수학식 15의 2n개의 식을 일 예로 특이값 분해(SVD)와 같은 방법을 이용하여 획득한다.

[0135] 다음으로, [R]=[A]⁻¹[H][C]⁻¹로부터 [R]을 획득한다(S330a).

[0136] 구체적으로, 수학식 3의 [H]=[A][R][C]를 변형한 [R]=[A]⁻¹[H][C]⁻¹로부터 [R]을 획득한다

[0137] 상기 자세정의행렬은 다른 방법으로 획득될 수도 있다.

[0138] 도 8은 도 2의 문제해결 과정 중 자세정의행렬을 획득하는 과정의 다른 예를 나타낸 흐름도이다.

[0139] 도 8을 참조하면, 상기 자세정의행렬 [R]을 획득하는 다른 예로, 먼저 양변에 자기자신을 외적한 방정식을 설정한다(S310). 본 과정은 도 7의 과정과 동일하므로 중복되는 설명은 생략한다.

[0140] 이어서, r11~r33에 대한 방정식으로 정리한다(S320b).

[0141] 구체적으로, 수학식 14로부터 상기 자세정의행렬 [R]의 각 성분 r11, r12, r13, r21, r22, r23, r31, r32, r33에 대한 방정식으로 정리하여 수학식 16을 획득한다.

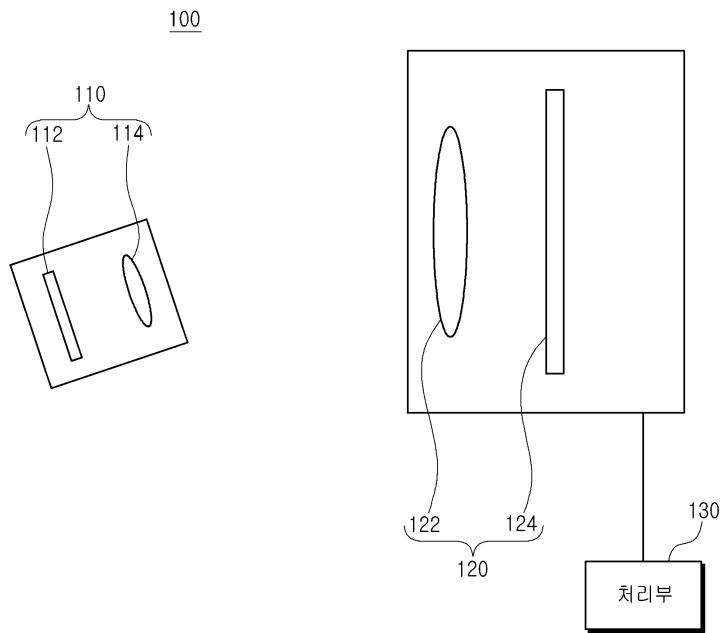
수학식 16

$$\begin{bmatrix} \frac{f_c}{pw} u_1 & \frac{f_c}{pw} v_1 & \frac{f_c}{pw} f_b & 0 & 0 & 0 & (u'_1 - u'_c)u_1 & (u'_1 - u'_c)v_1 & (u'_1 - u'_c)f_b \\ 0 & 0 & 0 & \frac{f_c}{ph} u_1 & \frac{f_c}{ph} v_1 & \frac{f_c}{ph} f_b & (v'_1 - v'_c)u_1 & (v'_1 - v'_c)v_1 & (v'_1 - v'_c)f_b \\ & & & & & \vdots & & & \\ \frac{f_c}{pw} u_n & \frac{f_c}{pw} v_n & \frac{f_c}{pw} f_b & 0 & 0 & 0 & (u'_n - u'_c)u_n & (u'_n - u'_c)v_n & (u'_n - u'_c)f_b \\ 0 & 0 & 0 & \frac{f_c}{ph} u_n & \frac{f_c}{ph} v_n & \frac{f_c}{ph} f_b & (v'_n - v'_c)u_n & (v'_n - v'_c)v_n & (v'_n - v'_c)f_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} \\ r_{12} \\ r_{13} \\ r_{21} \\ r_{22} \\ r_{23} \\ r_{31} \\ r_{32} \\ r_{33} \end{bmatrix} = 0$$

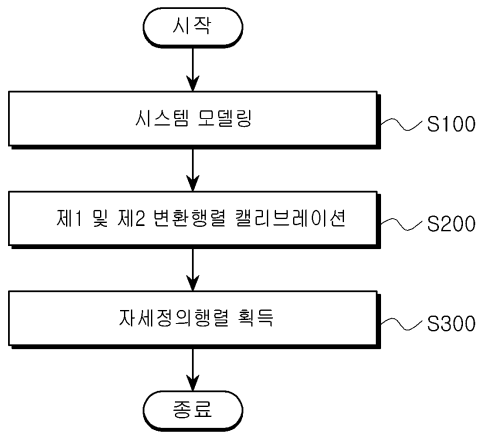
[0142]

도면

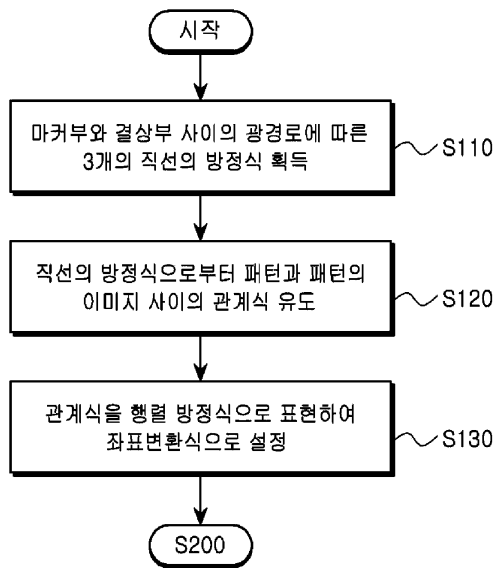
도면1



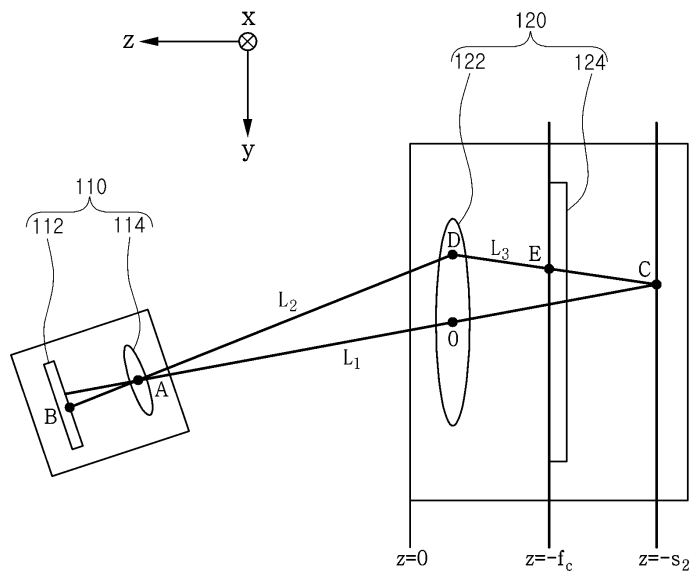
도면2



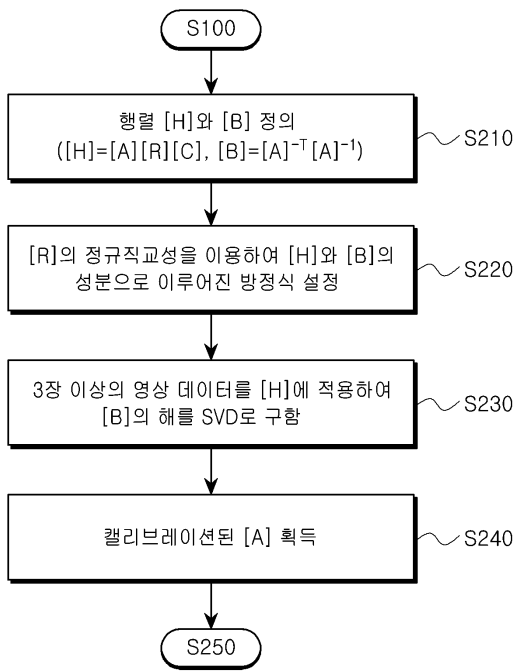
도면3



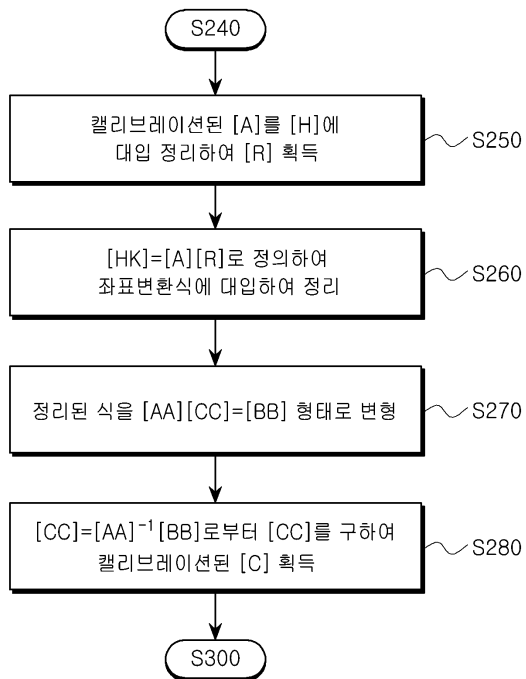
도면4



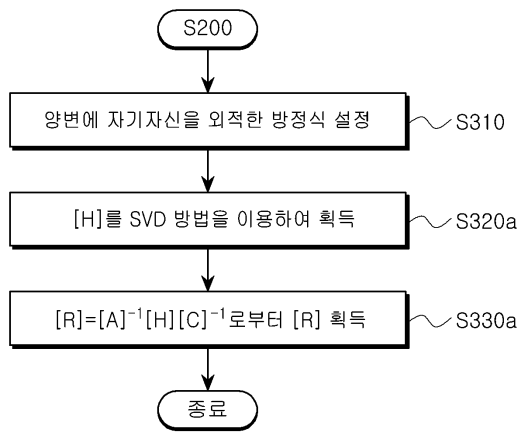
도면5



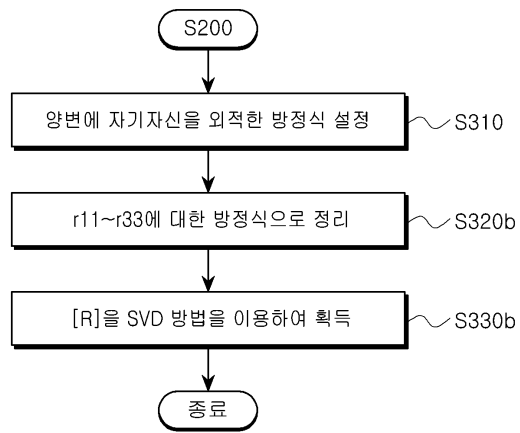
도면6



도면7



도면8



도면9

