



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0016834
(43) 공개일자 2018년02월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B25J 9/16 (2006.01) B25J 19/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B25J 9/1653 (2013.01)
B25J 19/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0100689
(22) 출원일자 2016년08월08일
심사청구일자 2016년08월08일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
재단법인 실감교류인체감응솔루션연구단
서울특별시 성북구 화랑로14길 5, 국제협력관 (하월곡동, 한국과학기술연구원)
(72) 발명자
도락주
서울특별시 성북구 종암로21길 127, 104동 303호
조현기
서울특별시 동대문구 왕산로19마길 30, 303호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
심경식, 홍성욱

전체 청구항 수 : 총 15 항

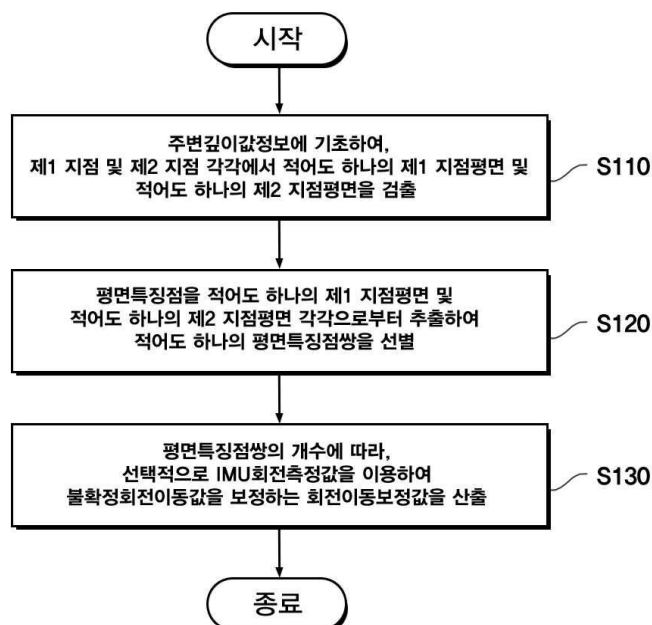
(54) 발명의 명칭 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 방법 및 장치

(57) 요약

3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 방법을 제공한다. 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 방법은 로봇이 3차원 공간 상의 제1 지점에서 제2 지점으로 이동할 때, 상기 2개 지점 간의 위치 추정에 이용되는 회전이동값을 추정하는 방법에 있어서, 상기 2개 지점 각

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



각에서 거리센서를 이용하여 깊이값을 측정한 결과인 주변깊이값정보에 기초하여, 상기 제1 지점 및 상기 제2 지점 각각에서 적어도 하나의 제1 지점평면 및 적어도 하나의 제2 지점평면을 검출하는 단계; 평면과 상기 거리센서간의 거리 및 상기 평면의 법선벡터 정보로 구성되는 평면특징점을 상기 적어도 하나의 제1 지점평면 및 상기 적어도 하나의 제2 지점평면 각각으로부터 추출하여 상호 정합의 대상이 되는 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별하는 단계; 및 상기 선별된 적어도 하나의 평면특징점쌍의 개수에 따라, 선택적으로 관성센서(IMU)에 의해 측정된 IMU회전측정값을 이용하여 상기 2개 지점 간의 불확정회전이동값을 보정하는 회전이동보정값을 산출하는 단계를 포함한다.

(52) CPC특허분류

B25J 9/162 (2013.01)

B25J 9/1664 (2013.01)

(72) 발명자

연수용

서울특별시 동대문구 무학로42길 31, 509호

최형아

경기도 안양시 동안구 부림로 13, 605동 403호

유범재

서울특별시 서초구 서초중앙로 188, B동 2003호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2015056547

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 (원천)글로벌프론티어

연구과제명 착용형 실내공간 3D 스캐너 및 자동 지도작성 기반 객체 지향적 실감환경 모델링 기술 개

발

기 여 율 1/1

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2015.09.01 ~ 2016.06.30

명세서

청구범위

청구항 1

로봇이 3차원 공간 상의 제1 지점에서 제2 지점으로 이동할 때, 상기 2개 지점 간의 위치 추정에 이용되는 회전 이동값을 추정하는 방법에 있어서,

상기 2개 지점 각각에서 거리센서를 이용하여 깊이값을 측정한 결과인 주변깊이값정보에 기초하여, 상기 제1 지점 및 상기 제2 지점 각각에서 적어도 하나의 제1 지점평면 및 적어도 하나의 제2 지점평면을 검출하는 단계;

평면과 상기 거리센서간의 거리 및 상기 평면의 법선벡터 정보로 구성되는 평면특징점을 상기 적어도 하나의 제1 지점평면 및 상기 적어도 하나의 제2 지점평면 각각으로부터 추출하여 상호 정합의 대상이 되는 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별하는 단계; 및

상기 선별된 적어도 하나의 평면특징점쌍의 개수에 따라, 선택적으로 관성센서(IMU)에 의해 측정된 IMU회전측정값을 이용하여 상기 2개 지점 간의 불확정회전이동값을 보정하는 회전이동보정값을 산출하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 불확정회전이동값을 보정하는 회전이동보정값을 산출하는 단계는

상기 평면특징점쌍의 개수가 2개 이상이면, 상기 회전이동보정값을 산출하지 않고,

상기 평면특징점쌍의 개수가 1개이면, 상기 2개 지점 간의 불확정회전이동값, 상기 평면특징점쌍에 포함된 법선 벡터 및 상기 IMU회전측정값에 기초하여 상기 회전이동보정값을 산출하는 것을 특징으로 하는 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 회전이동보정값은 수학식 1을 이용하여 산출되는 것을 특징으로 하는 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 방법.

[수학식 1]

$$\dot{q}_{\text{cmp}} = {}^{imu}_{reg} \dot{q} \otimes {}^l_r \dot{q}_{imu} \otimes {}^l_r \dot{q}_{reg}^{-1}$$

여기서, $\dot{q}_{\text{cmp}}$ 는 상기 회전이동보정값이고, r 은 상기 제1 지점에 대응되는 시점이고, l 은 상기 제2 지점에

대응되는 시점이고, ${}^{imu}_{reg} \dot{q}$ 는 상기 IMU회전측정값을 상기 로봇이 실제로 회전한 최종회전이동값으로 환

산하는 회전 정보이고, $\otimes$ 는 쿼터니언 곱이고, ${}^l_r \dot{q}_{imu}$ 는 상기 r 시점부터 상기 l 시점까지의 IMU회전측

정값이고, $\frac{l}{r} \cdot q_{reg}^{-1}$ 는 상기 r 시점부터 상기 l 시점까지의 불확정회전이동값의 역회전 정보이다.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 평면특징점쌍 및 상기 선택적으로 산출된 회전이동보정값 중 적어도 하나에 기초하여, 상기 2개 지점 간의 최종회전이동값을 산출하는 단계;

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 3차원 공간 상의 복수의 지점 각각에서 측정된 복수의 주변깊이값정보 및 상기 복수의 지점 중 인접한 2개 지점 간의 최종회전이동값 및 평행이동값으로 구성되는 복수의 로봇이동정보에 기초하여, 상기 3차원 공간의 지도를 생성하는 단계

를 더 포함하고,

상기 2개 지점 간의 평행이동값은

상기 선별된 평면특징점쌍 및 상기 관성센서에 의해 측정된 IMU이동측정값에 기초하여 산출되는 것을 특징으로 하는 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 제1 지점평면 및 적어도 하나의 제2 지점평면을 검출하는 단계는

상기 제1 지점 및 상기 제2 지점 각각에서 상기 거리센서를 이용하여 제1 주변깊이값정보 및 제2 주변깊이값정보를 측정하는 단계;

상기 제1 주변깊이값정보 및 상기 제2 주변깊이값정보 각각에 포함된 복수의 지점에 대한 제1 거리 정보 및 제2 거리 정보를 수집하는 단계; 및

상기 제1 거리 정보에 기초하여 상기 적어도 하나의 제1 지점평면을 검출하고, 상기 제2 거리 정보에 기초하여 상기 적어도 하나의 제2 지점평면을 검출하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별하는 단계는

상기 적어도 하나의 제1 지점평면 및 상기 적어도 하나의 제2 지점평면 각각에 대하여 상기 평면특징점을 산출하는 단계; 및

상기 평면특징점 각각에 포함된 상기 법선벡터 정보 및 특이값분해(SVD)를 통해 산출된 특이값에 기초하여, 상기 제1 지점평면 및 상기 제2 지점평면 간에 정합의 대상이 되는 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제1 지점평면 및 상기 제2 지점평면 간에 정합의 대상이 되는 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별하는 단

계는

상기 적어도 하나의 제1 지점평면 및 상기 적어도 하나의 제2 지점평면 각각의 평면특징점에 포함된 법선벡터에 기초하여 공분산(covariance)의 의사역행렬(pseudoinverse)을 생성하는 단계; 및

상기 의사역행렬을 특이값분해(SVD)하여 산출된 복수의 특이값 간의 비율에 기초하여, 정합의 대상이 되는 평면 특징점쌍을 선별하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 방법.

청구항 9

로봇이 3차원 공간 상의 제1 지점에서 제2 지점으로 이동할 때, 상기 2개 지점 간의 위치 추정에 이용되는 회전 이동값을 추정하는 장치에 있어서,

상기 2개 지점 각각에서 거리센서를 이용하여 깊이값을 측정한 결과인 주변깊이값정보에 기초하여, 상기 제1 지점 및 상기 제2 지점 각각에서 적어도 하나의 제1 지점평면 및 적어도 하나의 제2 지점평면을 검출하는 검출부; 평면과 상기 거리센서간의 거리 및 상기 평면의 법선벡터 정보로 구성되는 평면특징점을 상기 적어도 하나의 제1 지점평면 및 상기 적어도 하나의 제2 지점평면 각각으로부터 추출하여 상호 정합의 대상이 되는 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별하는 선별부; 및

상기 선별된 적어도 하나의 평면특징점쌍의 개수에 따라, 선택적으로 관성센서에 의해 측정된 IMU회전측정값를 이용하여 상기 2개 지점 간의 불확정회전이동값을 보정하는 회전이동보정값을 산출하는 산출부

를 포함하는 것을 특징으로 하는 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 산출부는

상기 평면특징점쌍의 개수가 2개 이상이면, 상기 회전이동보정값을 산출하지 않고,

상기 평면특징점쌍의 개수가 1개이면, 상기 2개 지점 간의 불확정회전이동값, 상기 평면특징점쌍에 포함된 법선 벡터 및 상기 IMU회전측정값에 기초하여 상기 회전이동보정값을 산출하는 것을 특징으로 하는 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 장치.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 회전이동보정값은 수학식 1을 이용하여 산출되는 것을 특징으로 하는 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 장치.

[수학식 1]

$$\dot{q}_{\text{cmp}} = \dot{q}_{\text{reg}}^{imu} \otimes_r^l \dot{q}_{\text{imu}} \otimes_r^l \dot{q}_{\text{reg}}^{-1}$$

여기서, $\dot{q}_{\text{cmp}}$ 는 상기 회전이동보정값이고, r 은 상기 제1 지점에 대응되는 시점이고, l 은 상기 제2 지점에

대응되는 시점이고, $\dot{q}_{\text{reg}}^{imu}$ 는 상기 IMU회전측정값을 상기 로봇이 실제로 회전한 최종회전이동값으로 환

산하는 회전 정보이고, $\otimes$ 는 쿼터니언 곱이고, $\otimes_r^l$ 는 상기 r 시점부터 상기 l 시점까지의 IMU회전측

정값이고, $\frac{l}{r} \cdot q_{\text{reg}}^{-1}$ 는 상기 r 시점부터 상기 l 시점까지의 불확정회전이동값의 역회전 정보이다.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 산출부는

상기 적어도 하나의 평면특징점쌍 및 상기 선택적으로 산출된 회전이동보정값 중 적어도 하나에 기초하여, 상기 2개 지점 간의 최종회전이동값을 더 산출하는 것을 특징으로 하는 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 장치.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 산출부가 상기 3차원 공간 상의 복수의 지점 각각에서 측정된 복수의 주변깊이값정보에 기초하여, 상기 복수의 지점 중 인접한 2개 지점 간의 최종회전이동값 및 평행이동값으로 구성되는 복수의 로봇이동정보를 더 산출할 때,

상기 복수의 로봇이동정보에 기초하여, 상기 3차원 공간의 지도를 생성하는 지도생성부

를 더 포함하고,

상기 2개 지점 간의 평행이동값은

상기 선별된 평면특징점쌍 및 상기 관성센서에 의해 측정된 IMU이동측정값에 기초하여 산출되는 것을 특징으로 하는 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 장치.

청구항 14

제9항에 있어서,

상기 선별부는

상기 적어도 하나의 제1 지점평면 및 상기 적어도 하나의 제2 지점평면 각각에 대하여 상기 평면특징점을 산출하고,

상기 평면특징점 각각에 포함된 상기 법선벡터 정보 및 특이값분해를 통해 산출된 특이값에 기초하여, 상기 제1 지점평면 및 상기 제2 지점평면 간에 정합의 대상이 되는 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별하는 것을 특징으로 하는 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 장치.

청구항 15

제13항에 있어서,

상기 선별부는

상기 제1 지점평면 및 상기 제2 지점평면 간에 정합의 대상이 되는 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별할 때,

상기 적어도 하나의 제1 지점평면 및 상기 적어도 하나의 제2 지점평면 각각의 평면특징점에 포함된 법선벡터에 기초하여 공분산의 의사역행렬을 생성하고,

상기 의사역행렬을 특이값분해하여 산출된 복수의 특이값 간의 비율에 기초하여, 정합의 대상이 되는 평면특징점쌍을 선별하는 것을 특징으로 하는 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 3차원 공간에서 로봇의 위치를 파악하는 방법 및 장치에 관한 것으로, 보다 구체적으로는, 3차원 공간 상의 두 지점 간을 이동한 로봇의 회전이동값을 추정하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 로봇의 수요가 일반 가정까지 확대되고, 일상 생활과도 밀접한 관련이 생기면서 활발한 연구가 진행되고 있다. 3차원 환경에서 로봇이 주어진 임무를 수행하기 위해 자기 위치를 파악하는 과정은 필수적이다. 이에 사전정보 없이 로봇이 능동적으로 위치를 인식하고 3차원 지도를 작성하는 기술에 대한 연구가 진행되고 있다.

[0003] 실내공간에서는 위성항법장치(GPS)를 활용할 수 없기 때문에 로봇은 센서로부터 입력된 원시 환경정보를 분석해서 특징점을 추출하고, 그 다음으로 연속된 이산시간 상에서 특징점을 매칭하여 공간상에서의 위치(혹은 동작)를 인지할 수 있다. 높은 정확도로 추정된 로봇 위치는 3차원 지도 작성 기술에도 그대로 적용되어, 오차가 작은 질 좋은 지도를 작성할 수 있도록 해준다.

[0004] 로봇의 위치를 추정하기 위해 영상정보나 거리정보로부터 추출 및 활용할 수 있는 다양한 특징점이 존재하지만, 평면특징점은 실내 공간에도 풍부하게 존재하는 기하학적 기초요소이며 상대적으로 다른 특징점에 비해 오차가 적은 이점이 있어 이를 활용한 연구가 활발히 진행되고 있다.

[0005] 그러나 기존 기술로는 실제 3차원 환경에서 평면특징점을 활용하여 로봇의 위치를 추정하는 도중, 공간상의 제약(물체에 의한 가림 현상) 혹은 센서시스템의 제약(시계범위, 감지거리 등)으로 인해 유효한 특징점을 충분히 수집하지 못하는 상황이 발생한다. 이러한 경우 로봇의 정확한 위치를 연속적으로 파악하는 것은 불가능하다.

[0006] 일부 제약이 존재하는 실제 환경이나 저가형 시스템으로도 인위적으로 인공물을 부착하는 등의 사전 준비 단계를 거쳐 로봇의 위치를 추정할 수는 있지만, 환경의 외관을 해칠 수 있고 공간의 규모에 비례하여 사전 준비를 위한 시간과 노력이 필요하다. 따라서, 이러한 사전 준비 단계 없이도 3차원 공간 상에서 로봇의 위치를 추정할 수 있는 강력한 알고리즘에 대한 필요성이 대두되고 있다.

[0007] 특히, 로봇의 위치를 추정하기 위하여는 3차원 공간상의 로봇의 평행이동정보와 회전이동정보가 모두 필요하다. 그러나, 유효한 특징점이 충분하지 않은 경우에, 로봇이 이동한 두 지점 간의 평행이동정보를 산출하는 방법은 이미 널리 알려져 있는데 반하여, 회전이동정보를 산출하는 방법은 뚜렷한 성과가 나타나지 않아, 이에 대한 필요성이 대두되고 있다.

[0008] 관련 선행기술로는 한국공개특허 제10-2011-0109177호(발명의 명칭: 자율주행 이동로봇의 주행제어방법, 공개일자: 2013년 5월 3일)가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 관성센서(IMU)를 선택적으로 이용하여, 3차원 공간 상의 두 지점 간을 이동한 로봇의 회전이동값을 추정하는 방법 및 장치를 제공하고자 한다.

[0010] 또한, 본 발명은 3차원 공간 상을 이동하는 로봇의 평행이동값 및 회전이동값을 반복적으로 산출함으로써, 로봇의 이동 궤적 지도를 제작하는 방법 및 장치를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기 목적을 달성하기 위해, 본 발명에서 제공하는 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 방법은 로봇이 3차원 공간 상의 제1 지점에서 제2 지점으로 이동할 때, 상기 2개 지점 간의 위치 추정에 이용되는 회전이동값을 추정하는 방법에 있어서, 상기 2개 지점 각각에서 거리센서를 이용하여 깊이값을 측정된 결과인 주변깊이값정보에 기초하여, 상기 제1 지점 및 상기 제2 지점 각각에서 적어도 하나의 제1 지점평면 및 적어도 하나의 제2 지점평면을 검출하는 단계; 평면과 상기 거리센서간의 거리 및 상기 평면의 법선벡터 정보로 구성되는 평면특징점을 상기 적어도 하나의 제1 지점평면 및 상기 적어도 하나의 제2 지점평면 각각으로부터 추출하여 상호 정합의 대상이 되는 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별하는 단계; 및 상기 선별된 적어도 하나의 평면특징점쌍의 개수에 따라, 선택적으로 관성센서(IMU)에 의해 측정된 IMU회전측정값을 이용하여 상기 2개 지점 간의 불확정회전이동값을 보정하는 회전이동보정값을 산출하는 단계를 포함한다.

[0012] 바람직하게는, 상기 불확정회전이동값을 보정하는 회전이동보정값을 산출하는 단계는 상기 평면특징점쌍의 개수

가 2개 이상이면, 상기 회전이동보정값을 산출하지 않고, 상기 평면특징점쌍의 개수가 1개이면, 상기 2개 지점 간의 불확정회전이동값, 상기 평면특징점쌍에 포함된 법선벡터 및 상기 IMU회전측정값에 기초하여 상기 회전이동보정값을 산출할 수 있다.

[0013] 바람직하게는, 상기 회전이동보정값은 수학적 식 1을 이용하여 산출될 수 있다.

[0014] [수학적 식 1]

$$\dot{q}_{cmp} = \dot{q}_{reg}^{imu} \otimes \dot{q}_r^l \otimes \dot{q}_{imu} \otimes \dot{q}_r^{l-1}$$

[0015] 여기서, $\dot{q}_{cmp}$ 는 상기 회전이동보정값이고, r 은 상기 제1 지점에 대응되는 시점(時點)이고, l 은 상기 제2

지점에 대응되는 시점이고, $\dot{q}_{reg}^{imu}$ 는 상기 IMU회전측정값을 상기 로봇이 실제로 회전한 최종회전이동값

으로 환산하는 회전 정보이고, $\otimes$ 는 쿼터니언 곱이고, $\dot{q}_r^l$ 는 상기 r 시점부터 상기 l 시점까지의

IMU회전측정값이고, $\dot{q}_r^{l-1}$ 는 상기 r 시점부터 상기 l 시점까지의 불확정회전이동값의 역회전 정보이다.

[0017] 바람직하게는, 상기 적어도 하나의 평면특징점쌍 및 상기 선택적으로 산출된 회전이동보정값 중 적어도 하나에 기초하여, 상기 2개 지점 간의 최종회전이동값을 산출하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0018] 바람직하게는, 상기 3차원 공간 상의 복수의 지점 각각에서 측정된 복수의 주변깊이값정보 및 상기 복수의 지점 중 인접한 2개 지점 간의 최종회전이동값 및 평행이동값으로 구성되는 복수의 로봇이동정보에 기초하여, 상기 3차원 공간의 지도를 생성하는 단계를 더 포함하고, 상기 2개 지점 간의 평행이동값은 상기 선별된 평면특징점쌍 및 상기 관성센서에 의해 측정된 IMU이동측정값에 기초하여 산출될 수 있다.

[0019] 바람직하게는, 상기 적어도 하나의 제1 지점평면 및 적어도 하나의 제2 지점평면을 검출하는 단계는 상기 제1 지점 및 상기 제2 지점 각각에서 상기 거리센서를 이용하여 제1 주변깊이값정보 및 제2 주변깊이값정보를 측정하는 단계; 상기 제1 주변깊이값정보 및 상기 제2 주변깊이값정보 각각에 포함된 복수의 지점에 대한 제1 거리 정보 및 제2 거리 정보를 수집하는 단계; 및 상기 제1 거리 정보에 기초하여 상기 적어도 하나의 제1 지점평면을 검출하고, 상기 제2 거리 정보에 기초하여 상기 적어도 하나의 제2 지점평면을 검출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0020] 바람직하게는, 상기 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별하는 단계는 상기 적어도 하나의 제1 지점평면 및 상기 적어도 하나의 제2 지점평면 각각에 대하여 상기 평면특징점을 산출하는 단계; 및 상기 평면특징점 각각에 포함된 상기 법선벡터 정보 및 특이값분해(SVD)를 통해 산출된 특이값에 기초하여, 상기 제1 지점평면 및 상기 제2 지점평면 간에 정합의 대상이 되는 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별하는 단계;를 포함할 수 있다.

[0021] 바람직하게는, 상기 제1 지점평면 및 상기 제2 지점평면 간에 정합의 대상이 되는 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별하는 단계는 상기 적어도 하나의 제1 지점평면 및 상기 적어도 하나의 제2 지점평면 각각의 평면특징점에 포함된 법선벡터에 기초하여 공분산(covariance)의 의사역행렬(pseudoinverse)을 생성하는 단계; 및 상기 의사역행렬을 특이값분해(SVD)하여 산출된 복수의 특이값 간의 비율에 기초하여, 정합의 대상이 되는 평면특징점쌍을 선별하는 단계를 포함할 수 있다.

[0022] 또한, 상기 목적을 달성하기 위해, 본 발명에서 제공하는 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 장치는 로봇이 3차원 공간 상의 제1 지점에서 제2 지점으로 이동할 때, 상기 2개 지점 간의 위치 추정에 이용되는 회전이동값을 추정하는 장치에 있어서, 상기 2개 지점 각각에서 거리센서를 이용하여 깊이값을 측정하

결과인 주변깊이값정보에 기초하여, 상기 제1 지점 및 상기 제2 지점 각각에서 적어도 하나의 제1 지점평면 및 적어도 하나의 제2 지점평면을 검출하는 검출부; 평면과 상기 거리센서간의 거리 및 상기 평면의 법선벡터 정보로 구성되는 평면특징점을 상기 적어도 하나의 제1 지점평면 및 상기 적어도 하나의 제2 지점평면 각각으로부터 추출하여 상호 정합의 대상이 되는 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별하는 선별부; 및 상기 선별된 적어도 하나의 평면특징점쌍의 개수에 따라, 선택적으로 관성센서에 의해 측정된 IMU회전측정값을 이용하여 상기 2개 지점 간의 불확정회전이동값을 보정하는 회전이동보정값을 산출하는 산출부를 포함한다.

[0023] 바람직하게는, 상기 산출부는 상기 평면특징점쌍의 개수가 2개 이상이면, 상기 회전이동보정값을 산출하지 않고, 상기 평면특징점쌍의 개수가 1개이면, 상기 2개 지점 간의 불확정회전이동값, 상기 평면특징점쌍에 포함된 법선벡터 및 상기 IMU회전측정값에 기초하여 상기 회전이동보정값을 산출할 수 있다.

[0024] 바람직하게는, 상기 회전이동보정값은 수학적 식 1을 이용하여 산출될 수 있다.

[0025] [수학적 식 1]

$$\dot{q}_{\text{cmp}} = \dot{q}_{\text{reg}}^{\text{imu}} \otimes_r \dot{q}_{\text{imu}} \otimes_r \dot{q}_{\text{reg}}^{-1}$$

[0026] 여기서, $\dot{q}_{\text{cmp}}$ 는 상기 회전이동보정값이고, r 은 상기 제1 지점에 대응되는 시점(時點)이고, l 은 상기 제2 지점에 대응되는 시점이고, $\dot{q}_{\text{reg}}^{\text{imu}}$ 는 상기 IMU회전측정값을 상기 로봇이 실제로 회전한 최종회전이동값

으로 환산하는 회전 정보이고, $\otimes$ 는 쿼터니언 곱이고, $\dot{q}_{\text{imu}}^l$ 는 상기 r 시점부터 상기 l 시점까지의

IMU회전측정값이고, $\dot{q}_{\text{reg}}^l$ 는 상기 r 시점부터 상기 l 시점까지의 불확정회전이동값의 역회전 정보이다.

[0028] 바람직하게는, 상기 산출부는 상기 적어도 하나의 평면특징점쌍 및 상기 선택적으로 산출된 회전이동보정값 중 적어도 하나에 기초하여, 상기 2개 지점 간의 최종회전이동값을 더 산출할 수 있다.

[0029] 바람직하게는, 상기 산출부가 상기 3차원 공간 상의 복수의 지점 각각에서 측정된 복수의 주변깊이값정보에 기초하여, 상기 복수의 지점 중 인접한 2개 지점 간의 최종회전이동값 및 평행이동값으로 구성되는 복수의 로봇이동정보를 더 산출할 때, 상기 복수의 로봇이동정보에 기초하여, 상기 3차원 공간의 지도를 생성하는 지도생성부를 더 포함하고, 상기 2개 지점 간의 평행이동값은 상기 선별된 평면특징점쌍 및 상기 관성센서에 의해 측정된 IMU이동측정값에 기초하여 산출될 수 있다.

[0030] 바람직하게는, 상기 선별부는 상기 적어도 하나의 제1 지점평면 및 상기 적어도 하나의 제2 지점평면 각각에 대하여 상기 평면특징점을 산출하고, 상기 평면특징점 각각에 포함된 상기 법선벡터 정보 및 특이값분해를 통해 산출된 특이값에 기초하여, 상기 제1 지점평면 및 상기 제2 지점평면 간에 정합의 대상이 되는 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별할 수 있다.

[0031] 바람직하게는, 상기 선별부는 상기 제1 지점평면 및 상기 제2 지점평면 간에 정합의 대상이 되는 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별할 때, 상기 적어도 하나의 제1 지점평면 및 상기 적어도 하나의 제2 지점평면 각각의 평면특징점에 포함된 법선벡터에 기초하여 공분산의 의사역행렬을 생성하고, 상기 의사역행렬을 특이값분해하여 산출된 복수의 특이값 간의 비율에 기초하여, 정합의 대상이 되는 평면특징점쌍을 선별할 수 있다.

발명의 효과

[0032] 본 발명은 로봇이 두 지점 간을 이동하면서 회전한 정도를 나타내는 회전이동값이 무한해를 갖는 경우, 로봇에 탑재된 관성센서에 의해 측정된 회전측정값을 선택적으로 이용하여 보정함으로써, 보다 정확한 회전이동의 해를

추정할 수 있게 되는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 적어도 하나의 제1 지점평면 및 적어도 하나의 제2 지점평면을 검출하는 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 회전이동보정값을 설명하기 위하여 도시한 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 지점평면 및 제2 지점평면 간의 정합의 대상이 되는 평면특징점쌍의 개수를 판단하기 위한 알고리즘이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 평면특징점쌍의 개수에 따른 제1 지점평면 및 제2 지점평면 간의 정합 관계를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 로봇의 이동 궤적을 이용하여 제작된 3차원 공간의 지도를 설명하기 위하여 도시한 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 장치를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 평면의 특징점을 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0034] 본 발명은 다양한 변형을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.
- [0035] 제1, 제2, A, B 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.
- [0036] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0037] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 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 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0038] 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 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0039] 이하, 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0040] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

- [0041] 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값은 로봇이 3차원 공간 상의 제1 지점에서 제2 지점으로 이동하면서, 그 2개 지점 간의 상대적인 위치를 추정하는데 이용될 수 있다. 이때, 상대적인 위치는 평행이동만을 고려하는 것이 아니라, 회전이동의 결과까지 함께 고려하여 결정된다. 즉, 제1 지점과 제2 지점은 동일한 위치의 지점에서 회전이동만 발생한 경우에도 상대적인 위치에 차이가 있는 것으로 해석될 수 있다.
- [0042] 한편, 회전이동값 추정 방법을 수행하는 회전이동값 추정 장치는 3차원 공간을 이동하는 로봇에 탑재될 수 있으며, 본 명세서에서는 회전이동값 추정 장치가 로봇에 탑재된 것으로 가정한다. 그러나, 회전이동값 추정 장치가 반드시 로봇에 탑재되어야 하는 것은 아니며, 예를 들어, 로봇과 유무선 네트워크를 통해 연결된 PC, 노트북, 스마트폰 및 태블릿 등에 탑재될 수 있음은 통상의 기술자에게 자명하게 이해될 수 있다.
- [0043] 여기서, 로봇은 스스로 보유한 능력에 의하여 주어진 일을 처리하는 전기 및 기계 장치일 수 있다. 보다 구체적으로는, 스스로의 판단 또는 외부의 제어 등에 의하여 3차원 공간을 스스로 이동할 수 있는 능력을 가진 장치일 수 있다.
- [0044] 단계 S110에서는, 회전이동값 추정 장치가, 로봇이 3차원 공간 상의 제1 지점에서 제2 지점으로 이동할 때, 그 2개 지점 각각에서 거리센서를 이용하여 깊이값을 측정한 결과인 주변깊이값정보에 기초하여, 제1 지점 및 제2 지점 각각에서 적어도 하나의 제1 지점평면 및 적어도 하나의 제2 지점평면을 검출한다.
- [0045] 거리센서는 3차원 물체 또는 환경의 형상이나 위치를 얻기 위한 센서로서, 로봇에 탑재될 수 있다. 보다 구체적으로, 거리센서는 관측점에서 물체까지의 전파시간으로부터 거리를 측정하는 시간 전파법과 광학적 3각측량에 의하여 거리를 측정하는 방법 등을 사용하여 깊이값을 측정할 수 있으며, 라이다(Light Detection And Ranging) 또는 키넥트 센서(Kinect sensor) 등을 이용하여 구현될 수 있다.
- [0046] 예컨대, 로봇이 미지의 3차원 공간(예, 건물 내부)에서 인접한 제1 지점과 제2 지점 간을 이동할 때, 회전이동값 추정 장치가 그 제1 지점 및 제2 지점 각각에서 거리센서를 제어하여 주변 환경의 깊이값을 측정한 결과인 주변깊이값정보를 생성할 수 있다. 그리고, 그 주변깊이값정보를 이용하여, 제1 지점에 대응되는 주변깊이값정보로부터 적어도 하나의 제1 지점평면을, 제2 지점에 대응되는 주변깊이값정보로부터 적어도 하나의 제2 지점평면을 검출할 수 있다.
- [0047] 이때, 제1 지점평면은 제1 지점에서 거리센서에 의해 측정된 깊이값 정보로부터 검출된 평면을 나타내며, 제2 지점평면은 제2 지점에서 거리센서에 의해 측정된 깊이값 정보로부터 검출된 평면을 나타낸다.
- [0048] 한편, 적어도 하나의 제1 지점평면 및 적어도 하나의 제2 지점평면을 검출하는 구체적인 방법에 대하여는 도 2에 대한 설명에서 자세하게 후술한다.
- [0049] 단계 S120에서는, 회전이동값 추정 장치가 평면과 거리센서간의 거리 및 그 평면의 법선벡터 정보로 구성되는 평면특징점을 적어도 하나의 제1 지점평면 및 적어도 하나의 제2 지점평면 각각으로부터 추출하여, 상호 정합의 대상이 되는 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별한다.
- [0050] 도 8을 참조하면, 회전이동값 추정 장치가 그 검출된 적어도 하나의 제1 지점평면 및 적어도 하나의 제2 지점평면 각각으로부터, 평면과 거리센서 간의 거리(d), 평면의 법선벡터(n)를 산출하여 평면특징점을 추출할 수 있다. 그리고, 회전이동값 추정 장치가 적어도 하나의 제1 지점평면 각각의 평면특징점과 적어도 하나의 제2 지점평면 각각의 평면특징점으로부터, 서로 정합의 대상이 되는 평면특징점의 쌍을 적어도 하나 선별할 수 있다.
- [0051] 이때, 적어도 하나의 제1 지점평면의 각 법선벡터(n) 간에 이루는 각도가 90도에 가까울수록, 회전이동값 추정 장치가 보다 유의미한 평면특징점쌍을 선별할 수 있다. 예컨대, 3개의 제1 지점평면의 3개의 법선벡터(n)가 모두 서로 직교하는 경우, 회전이동값 추정 장치가 가장 유의미한 평면특징점쌍을 선별할 수 있다.
- [0052] 이처럼 유의미한 평면특징점쌍이 선별될수록, 회전이동값이 보다 정확하게 산출될 수 있으며, 이에 대하여는 도 4에 대한 설명에서 후술한다. 한편, 적어도 하나의 제2 지점평면에 대하여도 마찬가지로 법선벡터(n) 간에 이루는 각도가 90도에 가까울수록, 회전이동값 추정 장치가 보다 유의미한 평면특징점의 쌍을 선별할 수 있다.
- [0053] 또한, 예컨대, 서로 정합의 대상이 되는 평면특징점쌍은 적어도 하나의 제1 지점평면을 평행이동 또는 회전이동한 뒤, 적어도 하나의 제2 지점평면과 겹쳐지도록 하여 온전하게 겹쳐지는지에 따라 결정될 수 있다.
- [0054] 즉, 도 5를 참조하면, 적어도 하나의 평면 A가 평행이동 또는 회전이동 된 후, 적어도 하나의 평면 B와 정합되는 것을 확인할 수 있다. 이 경우, 정합되는 제1 지점평면과 제2 지점평면 각각의 평면특징점이 하나의 평면특징점쌍을 이루게 된다. 따라서, 도 5의 (a)에는 평면특징점쌍이 3개 존재하고, (b)에는 평면특징점쌍이 2개 존

재하고, (c)에는 평면특징점쌍이 1개 존재한다.

- [0055] 보다 구체적으로는, 도 5(a)에서 3개의 서로 다른 법선벡터를 갖는 평면(A)이 3개의 평면(B)과 정합되는 평행이동과 회전이동값은 단 하나로 결정되어 있다. 한편, 도 5(b)에서 2개의 서로 다른 법선벡터를 갖는 평면(A)이 2개의 평면(B)과 정합되는 회전이동값은 단 하나이지만, 평행이동값은 하나로 결정되지 않으며, A의 2개의 평면 간의 교선을 따라 무한히 존재할 수 있다. 한편, 도 5(c)에서 1개의 법선벡터를 갖는 평면(A)이 1개의 평면(B)과 정합되는 회전이동값과 평행이동값은 하나로 결정되지 않으며, 무한히 존재할 수 있다. 이에 대하여는 표 1에 대한 설명에서 자세하게 후술한다.
- [0056] 단계 S130에서는, 회전이동값 추정 장치가 선별된 적어도 하나의 평면특징점쌍의 개수에 따라, 선택적으로 관성센서(IMU)에 의해 측정된 IMU회전측정값을 이용하여 2개 지점 간의 불확정회전이동값을 보정하는 회전이동보정값을 산출한다.
- [0057] 관성센서(inertial sensor)는 인가되는 가속도에 의해 관성체에 작용하는 관성력을 검출하는 것을 기본 원리로 하며, 어떤 정해진 방향에서의 각변위 또는 그 변화율을 측정하는 자이로 및 그 응용기기의 총칭일 수 있다.
- [0058] 첫번째로, 회전이동값 추정 장치는, 도 5(c)와 같이 평면특징점쌍이 1개만 존재하는 경우, 제1 지점평면과 제2 지점평면 간의 회전이동값을 하나로 결정할 수 없게 되는 제한을 갖게 된다. 이 경우의 회전이동값은 무한한 개수의 해를 갖게 되어, 하나로 확정될 수 없는 불확정회전이동값이 될 수 있다.
- [0059] 이때, 회전이동값 추정 장치가, 로봇이 제1 지점에서 제2 지점 간을 이동하는 동안 로봇에 탑재된 관성센서에 의해 측정된 IMU회전측정값 및 평면특징점쌍에 포함된 법선벡터를 이용하여, 제1 지점평면과 제2 지점평면 간의 불확정회전이동값을 보정하는 회전이동보정값을 산출할 수 있다.
- [0060] 두번째로, 회전이동값 추정 장치는, 도 5(a) 또는 (b)와 같이 평면특징점쌍이 2개 이상 존재하는 경우, 제1 지점평면과 제2 지점평면 간의 회전이동값을 하나로 결정할 수 있으므로, 회전이동보정값을 산출할 필요가 없다.
- [0061] 참고로, 회전이동값 추정 장치는, 평면특징점쌍이 존재하지 않는 경우, IMU회전측정값으로부터 최종회전이동값을 산출할 수 있다.
- [0062] 결과적으로, 회전이동값 추정 장치는 평면특징점쌍이 1개인 경우에만, 선택적으로 회전이동보정값을 산출하고, 평면특징점쌍이 2개 이상인 경우에는 회전이동보정값을 산출하지 않을 수 있다.

표 1

- [0063] <평면특징점쌍의 개수와 회전이동 및 평행이동의 해의 개수의 관계>

정합되는 평면특징점쌍의 개수	회전이동	평행이동
3 이상	단일해	단일해
2	단일해	무한해 (1개 축 결여)
1	무한해 (1개 축 결여)	무한해 (2개 축 결여)
0	무한해 (3개 축 결여)	무한해 (3개 축 결여)

- [0064] 표 1을 참고하면, 평면특징점쌍의 개수가 3개 이상인 경우, 2개 지점간의 회전이동 및 평행이동은 단일해로 결정(도 5(a) 참고)된다. 또한, 평면특징점쌍의 개수가 2개인 경우, 회전이동은 단일해로 결정되나, 평행이동은 1개 축에 대하여 무한해를 갖게된다.(도 5(b) 참고) 또한, 평면특징점쌍의 개수가 1개 이하인 경우, 회전이동 및 평행이동은 무한해를 갖게된다.(도 5(c) 참고)
- [0065] 다른 실시예에서는, 회전이동보정값은 아래의 수학적식 1을 이용하여 산출될 수 있다.

- [0066] [수학적식 1]

$$\dot{q}_{\text{cmp}} = \dot{q}_{\text{reg}} \otimes \dot{l}_r \otimes \dot{q}_{\text{imu}} \otimes \dot{l}_r \otimes \dot{q}_{\text{reg}}^{-1}$$

- [0067]

[0068] 여기서, $\dot{q}_{cmp}$ 는 회전이동보정값이고, r 은 제1 지점에 대응되는 시점(time)이고, l 은 제2 지점에 대응되는

시점이고, ${}^{imu}_{reg} \dot{q}$ 는 IMU회전측정값을 로봇이 실제로 회전한 최종회전이동값으로 환산하는 회전변환정보이

고, $\otimes$ 는 쿼터니언 곱이고, ${}^l_r \dot{q}_{imu}$ 는 r 시점부터 l 시점까지의 IMU회전측정값이고, ${}^l_r \dot{q}_{reg}^{-1}$ 는 r 시점부터 l 시점까지의 불확정회전이동값의 역회전 정보이다.

[0069] 이하에서는, 도 3을 참조하여, 평면특징점쌍이 1개일 때, 수학식 1을 구하는 과정을 설명한다.

[0070] 로봇이 실제로 회전한 최종회전이동값은 회전이동보정값 및 불확정회전이동값(singular solution)을 이용하여 아래의 수학식 2로부터 산출될 수 있다.

[0071] [수학식 2]

$${}^l_r \dot{q}_{sol} = \dot{q}_{cmp} \otimes {}^l_r \dot{q}_{reg}$$

[0072]

[0073] 여기서, ${}^l_r \dot{q}_{sol}$ 은 로봇이 제1 지점에서 제2 지점 간을 이동하는 동안 회전한 최종회전이동값이고,

$\dot{q}_{cmp}$ 는 불확정회전이동값을 최종회전이동값으로 보정하기 위한 회전이동보정값이고, ${}^l_r \dot{q}_{reg}$ 는 r 시점부터 l 시점까지의 회전이동의 해가 하나로 결정되지 않는 불확정회전이동값이다.

[0074] 이때, 회전변환정보는 도 3의 벡터 ${}^{lr}v$ 를 회전이동하여 벡터 ${}^l v$ 와 평행하게 만들어 주는 회전 정보를 의미하며, 관성센서로부터 측정된 정보를 왜곡하지 않도록 가장 짧은 곡선길이(shortest arc length)로 회전이동하는 값이다.

[0075] 한편, 회전변환정보는 수학식 3을 이용하여 산출될 수 있다.

[0076] [수학식 3]

$${}^{imu}_{reg} \dot{q} = \frac{[{}^{lr}v \cdot {}^l v + |{}^{lr}v| |{}^l v|; {}^{lr}v \times {}^l v]}{[{}^{lr}v \cdot {}^l v + |{}^{lr}v| |{}^l v|; {}^{lr}v \times {}^l v]}$$

[0077]

[0078] 여기서, ${}^{imu}_{reg} \dot{q}$ 는 벡터 ${}^{lr}v$ 를 벡터 ${}^l v$ 과 평행하게 되도록 회전시키는 회전변환정보이고, ${}^{lr}v$ 는 정합의 대상이 되는 제1 지점평면의 법선벡터(${}^r v$)를 IMU회전측정값으로 회전이동한 벡터이고, ${}^l v$ 는 정합의 대상이 되는 제2 지점평면의 법선벡터이다.

[0079] 이때, 벡터 ${}^r v$, ${}^l v$ 및 ${}^{lr}v$ 간에는 ${}^r v = {}^l_r \dot{q}_{reg}^{-1} \otimes {}^l v$ 및 ${}^{lr}v = {}^l_r \dot{q}_{imu} \otimes {}^r v$ 의

관계가 성립한다. 즉, ${}^r\mathbf{v}$ 는 정합의 대상이 되는 제1 지점평면의 법선벡터이고, ${}^{lr}\mathbf{v}$ 는 정합의 대상이 되는 제1 지점평면의 법선벡터(${}^r\mathbf{v}$)를 IMU회전측정값으로 회전이동한 벡터이다.

또한, 관성센서에 의해 측정된 IMU회전측정값에 회전변환정보를 적용하여, 로봇이 실제로 회전한 값으로 환산한 값이 최종회전이동값이므로, 최종회전이동값은 아래의 수학적식 4으로 정의될 수 있다.

[수학적식 4]

$${}^l_r\dot{\mathbf{q}}_{\text{sol}} = {}^{imu}_{reg}\dot{\mathbf{q}} \otimes {}^l_r\dot{\mathbf{q}}_{imu}$$

여기서, ${}^l_r\dot{\mathbf{q}}_{\text{sol}}$ 은 로봇이 제1 지점에서 제2 지점 간을 이동하는 동안 회전한 최종회전이동값이고,

${}^{imu}_{reg}\dot{\mathbf{q}}$ 는 IMU회전측정값을 로봇이 실제로 회전한 최종회전이동값으로 환산하는 회전변환정보이고, ${}^l_r\dot{\mathbf{q}}_{imu}$ 는 r 시점부터 l 시점까지의 IMU회전측정값이다.

여기서, 수학적식 2와 수학적식 4를 이용하여, 회전이동보정값($\dot{\mathbf{q}}_{\text{cmp}}$)을 계산하면, 수학적식 1과 동일한 결과를 얻을 수 있다.

또 다른 실시예에서는, 회전이동값 추정 장치가 적어도 하나의 평면특징점쌍 및 선택적으로 산출된 회전이동보정값 중 적어도 하나에 기초하여, 2개 지점 간의 최종회전이동값을 산출할 수 있다.

예컨대, 수학적식 2를 참고하면, 회전이동값 추정 장치가 산출된 회전이동보정값과 평면특징점쌍에 포함된 제1 지점평면 및 제2 지점평면의 법선벡터로부터 산출된 불확정회전이동값을 이용하여, 최종회전이동값을 산출할 수 있다.

한편, 회전이동보정값이 산출되지 않은 경우는, 제1 지점평면과 제2 지점평면 간의 회전이동이 단일해를 갖는 경우일 것이므로, 회전이동값 추정 장치가 평면특징점쌍에 포함된 제1 지점평면 및 제2 지점평면의 법선벡터로부터 곧바로 최종회전이동값을 산출할 수 있다.

또 다른 실시예에서는, 회전이동값 추정 장치가 그 3차원 공간 상의 복수의 지점 각각에서 측정된 복수의 주변 깊이값정보 및 그 복수의 지점 중 인접한 2개 지점 간의 최종회전이동값 및 평행이동값으로 구성되는 복수의 로봇이동정보에 기초하여, 3차원 공간의 지도를 생성할 수 있다. 이때, 그 2개 지점 간의 평행이동값은 선별된 평면특징점쌍 및 관성센서에 의해 측정된 IMU이동측정값에 기초하여 산출될 수 있다.

예컨대, 미지의 3차원 공간(예, 건물의 내부)을 로봇이 이동하면서, 복수의 지점에서 주변깊이정보를 측정하였을 때, 회전이동값 추정 장치가 인접한 2개 지점씩의 복수의 로봇이동정보를 이용하여 그 2개 지점 간의 상대적인 위치를 순차적으로 결정할 수 있다. 그리고, 그 복수의 지점에 대하여 인접한 2개 지점 간의 상대적인 위치를 모두 결정하고 나면, 결국 회전이동값 추정 장치는 그 3차원 공간의 지도를 생성할 수 있다. 이때, 3차원 공간의 지도는 결국 로봇의 이동 궤적을 의미할 수 있다. 한편, 평면특징점쌍 및 IMU이동측정값에 기초하여 평행이동값을 산출하는 방법은 통상의 기술자에게 자명하므로, 산출 방법에 대한 설명은 생략한다.

도 6을 참조하면, 로봇이 (a) 2층 건물의 내부를 이동하는 경우, (b) 단일층 건물의 내부를 이동하는 경우, 회전이동값 추정 장치가 평면특징점쌍의 개수에 따라 다양한 경우(0-rank, 1-rank, 2-rank, 3-rank)에 대한 로봇의 이동 궤적으로부터 그 3차원 공간의 지도를 생성할 수 있는 것을 알 수 있다.

또 다른 실시예에서는, 회전이동값 추정 장치가 다음과 같은 순서로 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별할 수

있다.

- [0092] 첫번째로, 회전이동값 추정 장치가 적어도 하나의 제1 지점평면 및 적어도 하나의 제2 지점평면 각각에 대하여 평면특징점을 산출한다.
- [0093] 예컨대, 제1 지점평면이 3개, 제2 지점평면이 4개 검출된 경우, 회전이동값 추정 장치가 총 7개의 평면 모두에 대하여 법선벡터 및 로봇(거리센서)까지의 거리로 구성되는 평면특징점을 산출할 수 있다.
- [0094] 두번째로, 회전이동값 추정 장치가 평면특징점 각각에 포함된 법선벡터 정보 및 특이값분해(SVD)를 통해 산출된 특이값에 기초하여, 제1 지점평면 및 제2 지점평면 간에 정합의 대상이 되는 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별한다.
- [0095] 특이값분해(SVD)는 평면특징점 각각에 포함된 법선벡터를 이용하여 생성된 행렬을 특이값이 산출되는 특정한 구조로 분해하는 방식을 의미하며, 특이값은 그 행렬을 특이값분해하여 얻을 수 있는 값이다.
- [0096] 이때, 회전이동값 추정 장치가 평면특징점 각각에 포함된 법선벡터 정보 및 특이값분해를 통해 산출된 특이값을 이용하여, 상호 정합 대상인 평면특징점쌍을 선별하는 구체적인 과정에 대하여는 아래의 실시예에서 자세하게 후술한다.
- [0097] 또 다른 실시예에서는, 회전이동값 추정 장치가 다음과 같은 순서로 특이값분해를 수행할 수 있다.
- [0098] 첫번째로, 회전이동값 추정 장치가 적어도 하나의 제1 지점평면 및 적어도 하나의 제2 지점평면 각각의 평면특징점에 포함된 법선벡터에 기초하여 공분산(covariance)의 의사역행렬(pseudoinverse)을 생성한다.
- [0099] 공분산은 제1 지점평면 및 제2 지점평면의 사이에 정합의 대상이 되는 두 평면특징점의 법선벡터 간의 관계, 즉, 정합의 불확실성을 나타내는 수치이며, 의사역행렬은 공분산을 이용하여 생성된 행렬로 주로 비정사각행렬의 역행렬을 계산하기 위하여 생성된다. 여기서, 공분산은 제1 지점평면 및 제2 지점평면 각각의 평면특징점의 배치 양상을 분석하여, 유의미한 평면특징점쌍을 선별하기 위한 목적으로 이용될 수 있다.
- [0100] 예컨대, 회전이동값 추정 장치가 평면특징점쌍 구성하는 두 평면특징점의 법선벡터 간의 공분산을 산출하고, 그 산출된 공분산을 이용하여 의사역행렬을 생성할 수 있다. 두번째로, 회전이동값 추정 장치가 그 의사역행렬을 특이값분해(SVD)하여 산출된 복수의 특이값 간의 비율에 기초하여, 정합의 대상이 되는 평면특징점쌍을 선별한다.
- [0101] 예컨대, 도 4를 참조하면, 회전이동값 추정 장치가 생성된 의사역행렬을 특이값분해할 수 있다. 그리고, 그에 따라 산출된 특이값(s_1 , s_2 , s_3)간의 비율(s_2/s_1 , s_3/s_1)이 미리 정해진 특이값 비율의 임계치(ρ_{th})보다 큰지 여부에 따라, 법선벡터(v_2 , v_3)의 정합 여부를 판단하여 평면특징점쌍을 선별할 수 있다.
- [0102] 만일, s_2/s_1 은 임계치(ρ_{th})보다 크고, s_3/s_1 은 임계치(ρ_{th})보다 작은 경우, 회전이동값 추정 장치가 v_2 와 동일 선상에 존재하는 법선벡터를 갖는 평면특징점쌍은 유효하고, v_3 와 동일 선상에 존재하는 법선벡터를 갖는 평면특징점쌍은 유효하지 않은 것으로 판단할 수 있다.
- [0103] 이 경우는, 표 1을 참조하면, 정합되는 평면특징점쌍의 개수가 2개인 경우에 해당하며, 회전이동의 해는 유일하게 존재하고, 평행이동의 해는 무한해를 갖게 된다.
- [0104] 이와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 방법은, 로봇이 두 지점 간을 이동하면서 측정한 회전이동값이 불확정회전이동값인 경우, 로봇에 탑재된 관성센서에 의해 측정된 IMU회전측정값을 선택적으로 이용하여 보정함으로써, 보다 정확한 최종회전이동값을 추정할 수 있게 되는 효과가 있다.
- [0105] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 적어도 하나의 제1 지점평면 및 적어도 하나의 제2 지점평면을 검출하는 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0106] 단계 S210에서는, 회전이동값 추정 장치가 제1 지점 및 제2 지점 각각에서 거리센서를 이용하여 제1 주변깊이값 정보 및 제2 주변깊이값정보를 측정한다.
- [0107] 예컨대, 회전이동값 추정 장치가 인접한 제1 지점 및 제2 지점 각각에서 깊이값을 측정할 수 있다. 이때, 제1 지점에서 측정한 깊이값은 제1 주변깊이값정보이고, 제2 지점에서 측정한 깊이값은 제2 주변깊이값정보일 수 있다.
- [0108] 단계 S220에서는, 회전이동값 추정 장치가 제1 주변깊이값정보 및 제2 주변깊이값정보 각각에 포함된 복수의 지

점에 대한 제1 거리 정보 및 제2 거리 정보를 수집한다.

- [0109] 예컨대, 회전이동값 추정 장치가 제1 주변깊이값정보에 포함된 복수의 지점에 대한 제1 거리 정보를 수집하고, 제2 주변깊이값정보에 포함된 복수의 지점에 대한 제2 거리 정보를 수집할 수 있다.
- [0110] 단계 S230에서는, 회전이동값 추정 장치가 수집된 제1 거리 정보에 기초하여 적어도 하나의 제1 지점평면을 검출하고, 수집된 제2 거리 정보에 기초하여 적어도 하나의 제2 지점평면을 검출한다.
- [0111] 예컨대, 회전이동값 추정 장치가 복수의 지점에 대한 제1 거리 정보로부터, 동일한 평면 상에 놓여있는 지점들을 분류하여 적어도 하나의 제1 지점평면을 검출할 수 있다. 마찬가지로, 적어도 하나의 제2 지점평면도 검출할 수 있다.
- [0112] 이와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 적어도 하나의 제1 지점평면 및 적어도 하나의 제2 지점평면을 검출하는 방법은, 거리센서를 이용하여 깊이값을 측정된 결과로부터 적어도 하나의 평면을 검출할 수 있는 효과가 있다.
- [0113] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 장치를 설명하기 위한 도면이다.
- [0114] 도 7을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 장치(700)는 검출부(710), 선별부(720) 및 산출부(730)를 포함한다. 또한, 선택적으로 지도생성부(미도시)를 더 포함할 수 있다.
- [0115] 이때, 회전이동값 추정 장치(700)는 로봇이 3차원 공간 상의 제1 지점에서 제2 지점으로 이동할 때, 그 2개 지점 간의 위치 추정에 이용될 수 있다.
- [0116] 검출부(710)는 그 2개 지점 각각에서 거리센서를 이용하여 깊이값을 측정된 결과인 주변깊이값정보에 기초하여, 제1 지점 및 제2 지점 각각에서 적어도 하나의 제1 지점평면 및 적어도 하나의 제2 지점평면을 검출한다.
- [0117] 선별부(720)는 평면과 거리센서간의 거리 및 그 평면의 법선벡터 정보로 구성되는 평면특징점을 적어도 하나의 제1 지점평면 및 적어도 하나의 제2 지점평면 각각으로부터 추출하여 상호 정합의 대상이 되는 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별한다.
- [0118] 다른 실시예에서는, 선별부(720)는 적어도 하나의 제1 지점평면 및 적어도 하나의 제2 지점평면 각각에 대하여 평면특징점을 산출하고, 그 평면특징점 각각에 포함된 법선벡터 정보 및 특이값분해를 통해 산출된 특이값에 기초하여, 제1 지점평면 및 제2 지점평면 간에 정합의 대상이 되는 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별할 수 있다.
- [0119] 또 다른 실시예에서는, 선별부(720)는 제1 지점평면 및 제2 지점평면 간에 정합의 대상이 되는 적어도 하나의 평면특징점쌍을 선별할 때, 적어도 하나의 제1 지점평면 및 적어도 하나의 제2 지점평면 각각의 평면특징점에 포함된 법선벡터에 기초하여 공분산의 의사역행렬을 생성하고, 그 의사역행렬을 특이값분해하여 산출된 복수의 특이값 간의 비율에 기초하여, 정합이 가능한 평면특징점쌍을 선별할 수 있다.
- [0120] 산출부(730)는 선별된 적어도 하나의 평면특징점쌍의 개수에 따라, 선택적으로 관성센서에 의해 측정된 IMU회전 측정값을 이용하여 그 2개 지점 간의 불확정회전이동값을 보정하는 회전이동보정값을 산출한다.
- [0121] 마지막으로 지도생성부(미도시)는 복수의 로봇이동정보에 기초하여, 3차원 공간의 지도를 생성한다. 이때, 산출부(730)가 3차원 공간 상의 복수의 지점 각각에서 측정된 복수의 주변깊이값정보에 기초하여, 그 복수의 지점 중 인접한 2개 지점 간의 최종회전이동값 및 평행이동값으로 구성되는 복수의 로봇이동정보를 생성할 수 있다. 한편, 2개 지점 간의 평행이동값은 선별된 평면특징점쌍 및 관성센서에 의해 측정된 IMU이동측정값에 기초하여 산출될 수 있다.
- [0122] 다른 실시예에서는, 산출부(730)는 평면특징점쌍의 개수가 2개 이상이면, 회전이동보정값을 산출하지 않고, 평면특징점쌍의 개수가 1개이면, 2개 지점 간의 불확정회전이동값, 평면특징점쌍에 포함된 법선벡터 및 IMU회전측정값에 기초하여 회전이동보정값을 산출할 수 있다.
- [0123] 또 다른 실시예에서는, 회전이동보정값은 수학적식 5를 이용하여 산출될 수 있다.

[0124] [수학식 5]

$$\dot{q}_{\text{cmp}} = \begin{matrix} imu \\ reg \end{matrix} \dot{q} \otimes \begin{matrix} l \\ r \end{matrix} \dot{q}_{\text{imu}} \otimes \begin{matrix} l \\ r \end{matrix} \dot{q}_{\text{reg}}^{-1}$$

[0125]

[0126] 여기서, $\dot{q}_{\text{cmp}}$ 는 회전이동보정값이고, r 은 제1 지점에 대응되는 시점이고, l 은 제2 지점에 대응되는 시점

이고, $\begin{matrix} imu \\ reg \end{matrix} \dot{q}$ 는 IMU회전측정값을 로봇이 실제로 회전한 최종회전이동값으로 환산하는 회전 정보이고,

$\otimes$ 는 쿼터니언 곱이고, $\begin{matrix} l \\ r \end{matrix} \dot{q}_{\text{imu}}$ 는 r 시점부터 l 시점까지의 IMU회전측정값이고, $\begin{matrix} l \\ r \end{matrix} \dot{q}_{\text{reg}}^{-1}$ 는 r 시점부터 l 시점까지의 불확정회전이동값의 역회전 정보이다.

[0127] 또 다른 실시예에서는, 산출부(730)는 적어도 하나의 평면특징점쌍 및 선택적으로 산출된 회전이동보정값 중 적어도 하나에 기초하여, 그 2개 지점 간의 최종회전이동값을 더 산출할 수 있다.

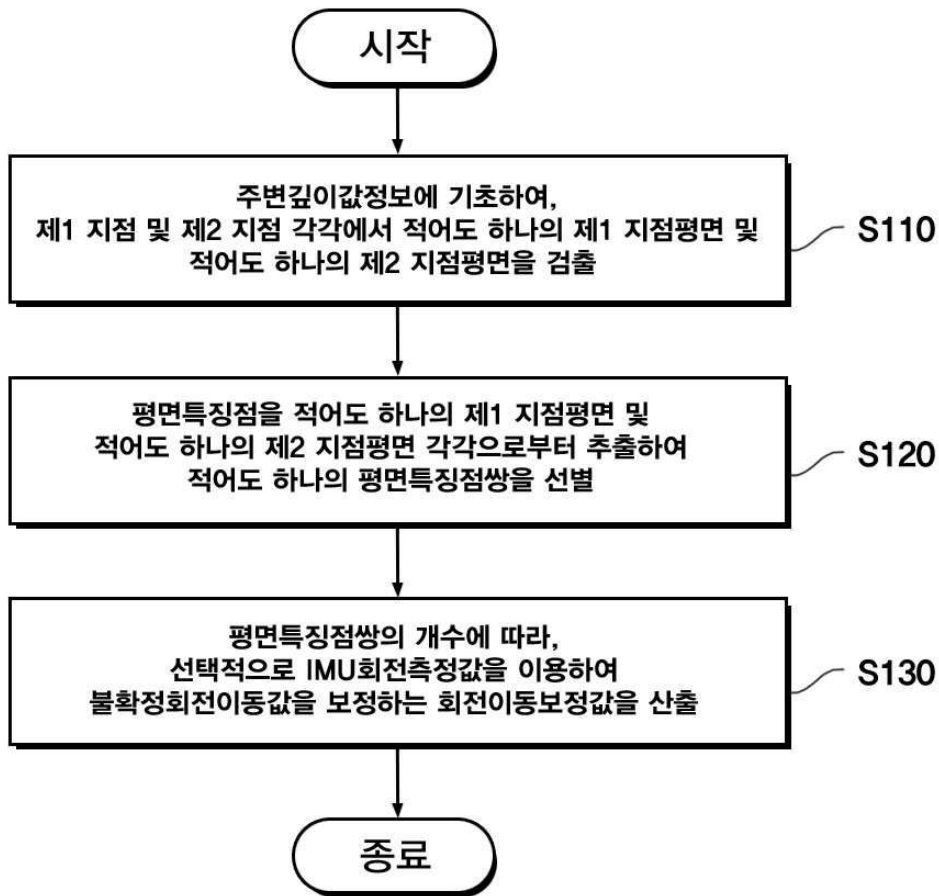
[0128] 한편, 상술한 본 발명의 실시예들은 컴퓨터에서 실행될 수 있는 프로그램으로 작성가능하고, 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 이용하여 상기 프로그램을 동작시키는 범용 디지털 컴퓨터에서 구현될 수 있다.

[0129] 상기 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체는 마그네틱 저장매체(예를 들면, 롬, 플로피 디스크, 하드디스크 등), 광학적 판독 매체(예를 들면, 시디롬, 디브이디 등)를 포함한다.

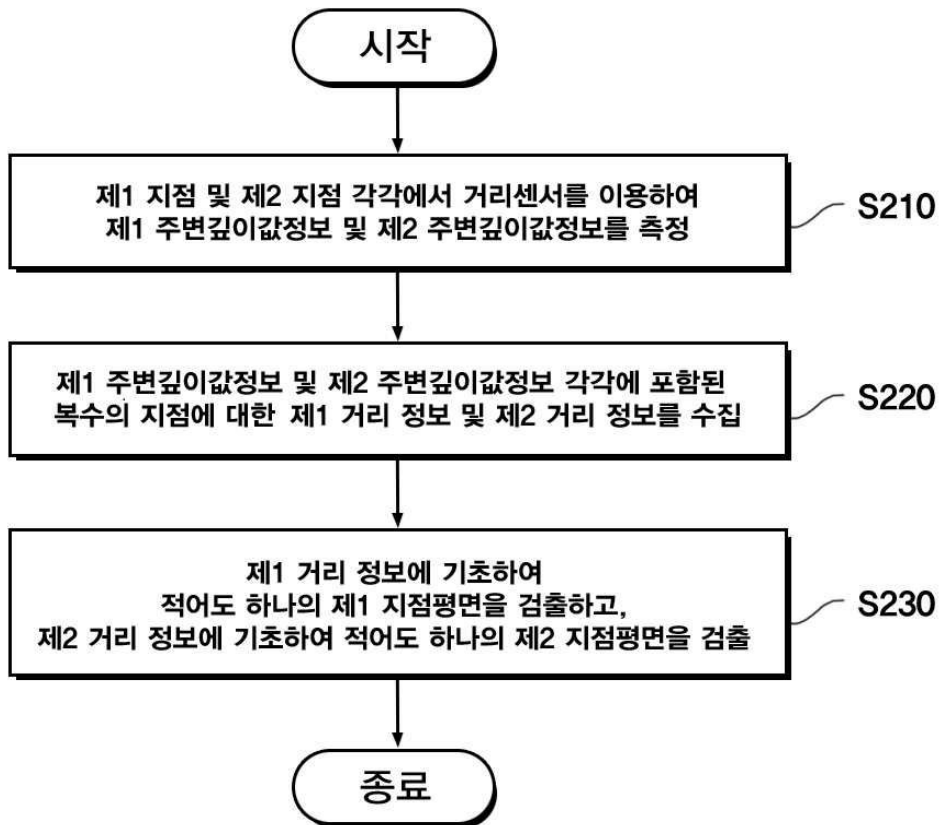
[0130] 이제까지 본 발명에 대하여 그 바람직한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

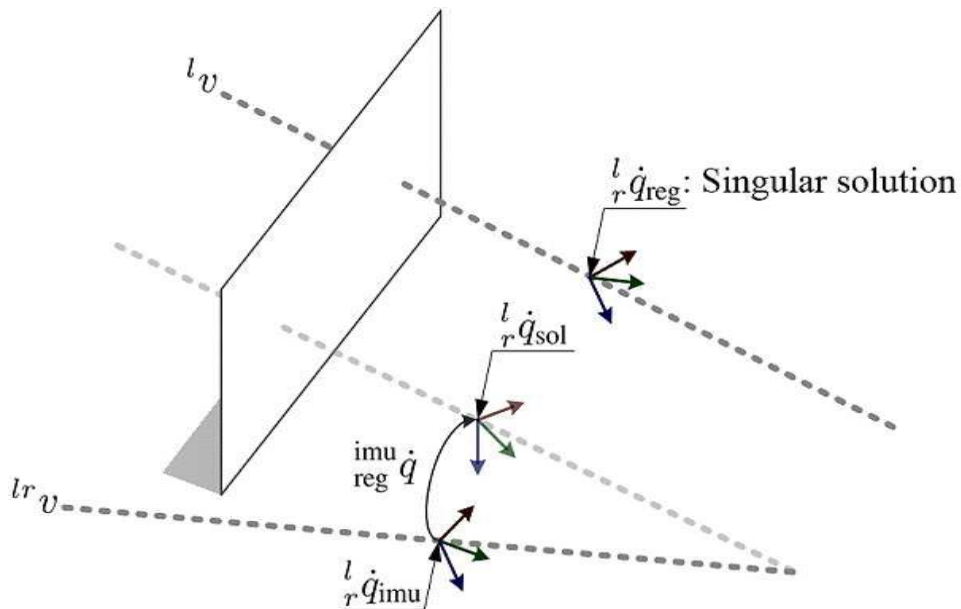
도면1



도면2



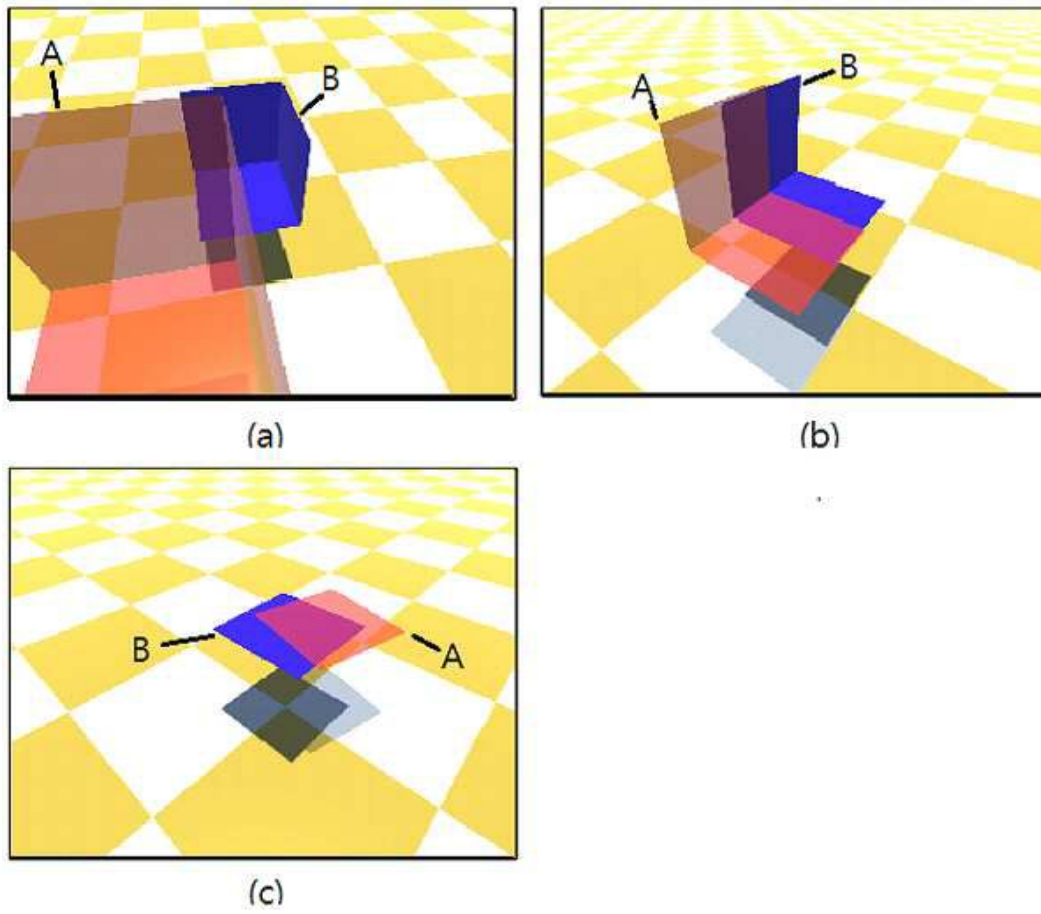
도면3



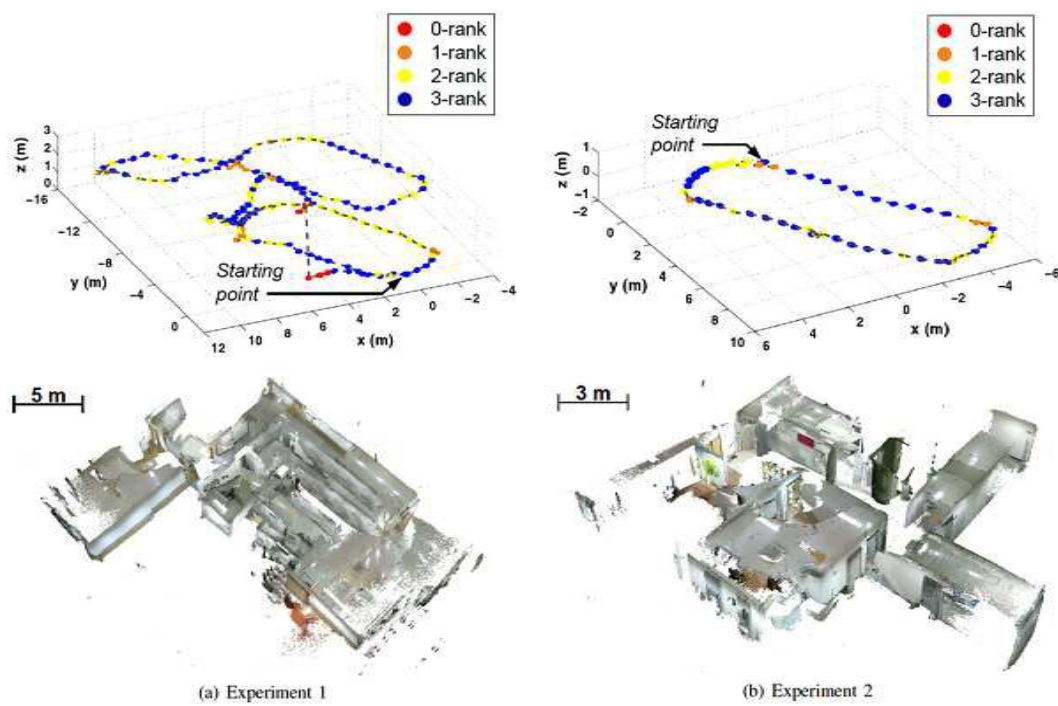
도면4

Algorithm 1: Degeneracy Type Divider	
Input: Pseudoinverse of translation covariance (Information matrix), ${}^l_r\mathbf{C}_{tt}^+$ Threshold as user parameter, ρ_{th} (<i>relative ratio</i>)	
Output: Degeneracy type	
1	$[U, S, V] \leftarrow \text{SVD}({}^l_r\mathbf{C}_{tt}^+)$
	$/* \ U \leftarrow \begin{bmatrix} & & \\ v_1 & v_2 & v_3 \\ & & \end{bmatrix}, \ S \leftarrow \begin{bmatrix} s_1 & 0 & 0 \\ 0 & s_2 & 0 \\ 0 & 0 & s_3 \end{bmatrix} \quad */$
2	$\rho_A \leftarrow s_2/s_1$
3	$\rho_B \leftarrow s_3/s_1$
4	if $S = 0$ then
	// Insufficient data on v_1, v_2, v_3
5	return 0-rank
6	else if $\rho_A < \rho_{th}$ & $\rho_B < \rho_{th}$ then
	// Insufficient data on v_2, v_3
7	return 1-rank
8	else if $\rho_A > \rho_{th}$ & $\rho_B < \rho_{th}$ then
	// Insufficient data on v_3
9	return 2-rank
10	else
	// Unique solution
11	return 3-rank
12	end

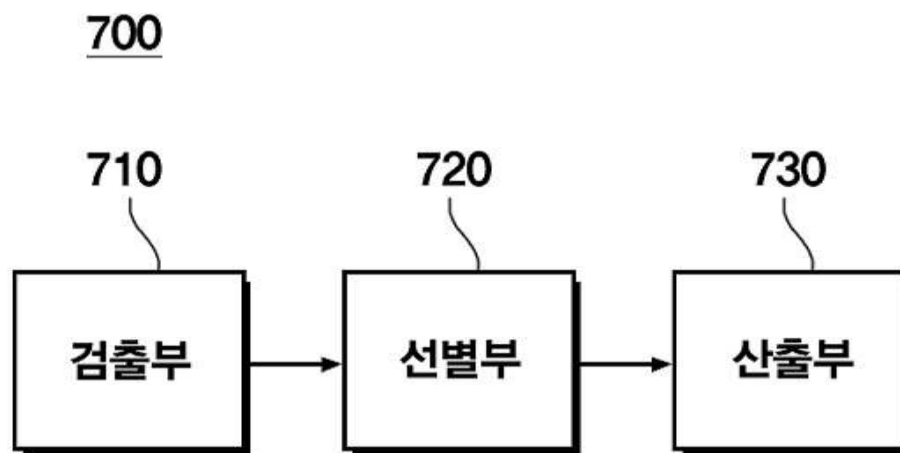
도면5



도면6



도면7



도면8

