(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0067483
(43) 공개일자 2015년06월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*G06F 17/00* (2006.01) *B25J 9/10* (2006.01)
*G05D 1/00* (2006.01) *G06T 1/00* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0152907
(22) 출원일자 2013년12월10일
심사청구일자 2013년12월10일

(71) 출원인
**고려대학교 산학협력단**
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
**정우진**
서울 종로구 경희궁길 57, 106동 701호 (사직동, 광화문풍림스페이스본)
**성지훈**
서울 성북구 안암로9나길 14, 2동 237호 (안암동3가, 대광아파트)
**김지웅**
서울 성북구 개운사1길 21, 303호 (안암동5가)
(74) 대리인
**특허법인남촌**

전체 청구항 수 : 총 10 항

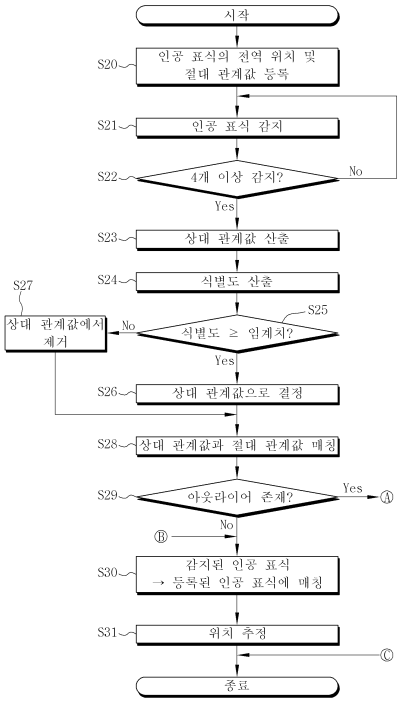
(54) 발명의 명칭 **인공 표식을 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법**

## (57) 요 약

본 발명은 인공 표식을 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법에 관한 것으로, (a) 상기 이동 로봇의 이동 경로 상에 설치된 복수의 등록된 인공 표식들 상호 간의 기하학적 관계에 대한 절대 관계값들이 등록되는 단계와; (b) 상기 이동 로봇에 설치된 거리 센서에 의해 적어도 3 이상의 인공 표식이 감지되는 단계와; (c) 상기 감지된 인

(뒷면에 계속)

*대 표 도* - 도2a



공 표식들 상호 간의 기하학적 관계에 대한 상대관계값들이 산출되는 단계와; (d) 상기 상대 관계값과 기 등록된 매칭 범위 내에서 매칭되는 적어도 하나의 절대 관계값이 각각의 상대 관계값에 대해 추출되는 단계와; (e) 하나의 상기 감지된 인공 표식이 속한 상기 상대 관계값에 매칭되는 적어도 하나의 상기 절대 관계값에 공통적으로 속한 상기 등록된 인공 표식이 추출되는 단계와; (f) 상기 (e) 단계에서의 추출 결과에 기초하여, 상기 감지된 인공 표식을 상기 등록된 인공 표식에 매칭시키는 단계와; (g) 상기 (f) 단계에서의 매칭 결과에 기초하여, 상기 이동 로봇의 위치가 추정되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다. 이에 따라, 일정한 패턴이나 전역 좌표 상의 위치에 대한 정보를 제공하지 않는 인공 표식을 이용하여 이동 로봇의 전역 좌표 상의 위치를 추정할 수 있다.

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

인공 표식을 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법에 있어서,

(a) 상기 이동 로봇의 이동 경로 상에 설치된 복수의 등록된 인공 표식들 상호 간의 기하학적 관계에 대한 절대 관계값들이 등록되는 단계와;

(b) 상기 이동 로봇에 설치된 거리 센서에 의해 적어도 3 이상의 인공 표식이 감지되는 단계와;

(c) 상기 감지된 인공 표식들 상호 간의 기하학적 관계에 대한 상대관계값들이 산출되는 단계와;

(d) 상기 상대 관계값과 기 등록된 매칭 범위 내에서 매칭되는 적어도 하나의 절대 관계값이 각각의 상대 관계값에 대해 추출되는 단계와;

(e) 하나의 상기 감지된 인공 표식이 속한 상기 상대 관계값에 매칭되는 적어도 하나의 상기 절대 관계값에 공통적으로 속한 상기 등록된 인공 표식이 추출되는 단계와;

(f) 상기 (e) 단계에서의 추출 결과에 기초하여, 상기 감지된 인공 표식을 상기 등록된 인공 표식에 매칭시키는 단계와;

(g) 상기 (f) 단계에서의 매칭 결과에 기초하여, 상기 이동 로봇의 위치가 추정되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 인공 표식을 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 절대 관계값 및 상기 상대 관계값은,

두 개의 인공 표식 간의 거리, 세 개의 인공 표식이 이루는 각도, 세 개의 인공 표식이 이루는 면적 중 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 인공 표식을 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법.

### 청구항 3

제2항에 있어서,

(c1) 상기 (c) 단계에서 산출된 상기 상대 관계값 각각에 대해 기 등록된 오차 범위가 반영된 식별도가 산출되는 단계와,

(c2) 상기 (c) 단계에서 산출된 상기 상대 관계값들 중 상기 식별도가 기 등록된 임계값을 초과하는 상대 관계값들이 추출되는 단계를 더 포함하며;

상기 (d) 단계는 상기 (c2) 단계에서 추출된 상기 상대 관계값들에 대해 수행되는 것을 특징으로 하는 인공 표식을 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법.

### 청구항 4

제3항에 있어서,

상기 오차 범위는

상기 이동 로봇의 측정 오차와, 상기 복수의 등록된 인공 표식들 간의 위치 오차에 기초하여 설정되는 것을 특징으로 하는 인공 표식을 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법.

### 청구항 5

제3항에 있어서,

상기 (e) 단계는

(e1) 각각의 상기 상대 관계값과 기 설정된 범위 내에서 근접한 적어도 하나의 절대 관계값이 추출되는 단계와;

(e2) 상기 감지된 인공 표식이 속한 적어도 하나의 상대 관계값에 대해 추출된 적어도 절대 관계값들이 각각의 상기 감지된 인공 표식에 대해 추출되는 단계와;

(e3) 상기 감지된 인공 표식에 대해 추출된 절대 관계값들에 속하는 등록된 인공 표식 중 상대 관계값에 공통적으로 속하는 등록된 인공 표식이 추출되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 인공 표식을 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법.

**청구항 6**

제3항에 있어서,

상기 (f) 단계에서는

상기 감지된 인공 표식과 상기 등록된 인공 표식의 일 대 일 매칭을 우선적으로 추출하고, 추출된 일 대 일 매칭에 기초하여 나머지의 감지된 인공 표식에 매칭되는 등록된 인공 표식을 추출하는 것을 특징으로 하는 인공 표식을 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법.

**청구항 7**

제3항에 있어서,

(e1) 상기 (e) 단계에서 하나의 상기 감지된 인공 표식이 속한 상기 상대 관계값에 매칭되는 상기 절대 관계값에 공통적으로 속한 상기 등록된 인공 표식이 추출되지 않는 경우 해당 감지된 인공 표식은 아웃라이어로 분류하되, 모든 상기 감지된 인공 표식에 대한 아웃라이어 여부를 판단하는 단계와;

(e2) 상기 아웃라이어를 하나씩, 또는 두개씩 순으로 제거하여 상기 복수의 감지된 인공 표식 중 나머지에 대해 상기 (c) 단계 내지 상기 (e) 단계가 수행되되, 하나씩 또는 두 개씩의 제거가 교대로 제거되면서 수행되는 단계를 더 포함하며;

상기 (e2) 단계의 수행 과정 중 아웃라이어가 존재하지 않은 경우에 대해 상기 (f) 단계 및 상기 (g) 단계가 수행되는 것을 특징으로 하는 인공 표식을 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법.

**청구항 8**

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 거리 센서는 레이저 거리 센서로 마련되며;

상기 (b) 단계에서 상기 레이저 거리 센서는 기 등록된 기준 강도 이상의 반사 강도를 갖는 대상 물체만을 인공 표식으로 인식하는 것을 특징으로 하는 인공 표식을 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법.

**청구항 9**

제8항에 있어서,

상기 (b) 단계에서 기 등록된 타임 스텝 동안 연속적으로 감지되지 않는 경우 상기 감지된 인공 표식으로부터 제거되는 것을 특징으로 하는 인공 표식을 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법.

**청구항 10**

제8항에 있어서,

상기 등록된 인공 표식은 원기둥 형태로 마련되며;

상기 등록된 인공 표식의 사이즈는 상기 레이저 거리 센서의 해상도, 상기 레이저 거리 센서의 측정 각도, 및 상기 레이저 거리 센서의 측정 거리에 기초하여 결정되는 것을 특징으로 하는 인공 표식을 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법.

## 발명의 설명

### 기 술 분 야

[0001] 본 발명은 인공 표식을 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 일정한 패턴이나 전역 좌표 상의 위치에 대한 정보를 제공하지 않는 인공 표식을 이용하여 이동 로봇의 전역 좌표 상의 위치를 추정할 수 있는 인공 표식을 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법에 관한 것이다.

### 배 경 기 술

[0002] 이동 로봇은 실용 방안의 지속적인 연구로 인하여 산업용으로서 뿐만 아니라 청소 로봇, 경비 로봇, 안내 로봇과 같은 일상 생활용으로서도 사용되며 실생활에서도 차지하는 비중이 점점 커지고 있다.

[0003] 이와 같은 이동 로봇이 자율 주행을 하기 위해서는 이동 로봇의 위치를 파악하는 위치 추정이 필수적으로 요구된다. 이동 로봇의 위치 추정은 환경에 대한 정보와 센서로 측정한 정보를 이용하여 이동 로봇의 위치를 추정하는 기술로써, 이동 로봇의 주행을 위한 핵심 기술이다.

[0004] 일반적으로 이동 로봇의 위치 추정은 이동 로봇이 스스로 획득하는 오도메트리 정보와, 외부 환경을 통해 획득하는 센서 정보를 바탕으로 이루어진다.

[0005] 이동 로봇의 오도메트리 정보는 휠 직경 오차와 휠 간격 오차를 포함하는 기구학적 모델링 오차와, 불규칙한 주행 환경으로 인해 발생하는 오차에 의해 주행 과정에서 지속적으로 누적되어 이동 로봇의 위치 추정의 불확실성을 가중시킨다.

[0006] 이와 같은 오도메트리 정보의 한계로 인해 외부 환경을 통해 얻는 센서 정보를 위치 추정에 반영함으로써, 이동 로봇의 위치 추정의 정확성을 높이고 있다.

[0007] 센서 정보를 획득하는 방법으로 이동 로봇의 주행 경로에 설치되는 인공 표식들을 감지하여 이동 로봇의 전역 좌표계 상의 위치를 추정하는 방법들이 제안되고 있다.

[0008] 일 예로, 한국공개특허공보 제10-2005-0020614호에 개시된 '인공 마크를 이용한 지능형 시스템의 자기위치인식 장치 및 방법과 이를 이용한 지능형 시스템'에서는 일정한 패턴을 갖는 인공 마크를 이용하여 이동 로봇의 위치를 추정하는 기술을 제안하고 있다.

[0009] 다른 예로, 한국등록특허공보 제10-0698534호에 개시된 '이동 로봇의 위치 인식용 랜드 마크와 이를 이용한 위치 인식장치 및 방법'은 좌표와 방위를 인식하기 위한 3개의 마크가 표시된 랜드 마크를 이용하여 이동 로봇의 위치를 추정하는 기술을 제안하고 있다.

[0010] 상기의 특허공보들에 개시된 위치 추정 방법은 인공 마크(또는 랜드 마크) 자체가 전역 좌표계 상의 자신의 절대 좌표값에 대한 정보를 이동 로봇에 제공하고, 이동 로봇은 주변의 3개 이상의 인공 마크(또는 랜드 마크) 간의 상대 위치에 기초하여 전역 좌표계 상의 절대 위치를 추정하게 된다.

[0011] 따라서, 상기 특허공보들에 개시된 위치 추정 방법은 인공 표식이 일정한 패턴이나 전역 좌표 상의 위치에 대한 정보를 제공할 수 있도록 제작되어야 하는 제약을 받게 된다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0012] 이에 본 발명은 일정한 패턴이나 전역 좌표 상의 위치에 대한 정보를 제공하지 않는 인공 표식을 이용하여 이동 로봇의 전역 좌표 상의 위치를 추정할 수 있는 인공 표식을 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

### 과제의 해결 수단

[0013] 상기 목적은 본 발명에 따라, 인공 표식을 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법에 있어서, (a) 상기 이동 로봇의 이동 경로 상에 설치된 복수의 등록된 인공 표식들 상호 간의 기하학적 관계에 대한 절대 관계값들이 등록되는 단계와; (b) 상기 이동 로봇에 설치된 거리 센서에 의해 적어도 3 이상의 인공 표식이 감지되는 단계와; (c) 상기 감지된 인공 표식들 상호 간의 기하학적 관계에 대한 상대관계값들이 산출되는 단계와; (d) 상기 상대 관계값과 기 등록된 매칭 범위 내에서 매칭되는 적어도 하나의 절대 관계값이 각각의 상대 관계값에 대해 추출되는 단계와; (e) 하나의 상기 감지된 인공 표식이 속한 상기 상대 관계값에 매칭되는 적어도 하나의 상기 절대 관계값에 공통적으로 속한 상기 등록된 인공 표식이 추출되는 단계와; (f) 상기 (e) 단계에서의 추출 결과에 기초하여, 상기 감지된 인공 표식을 상기 등록된 인공 표식에 매칭시키는 단계와; (g) 상기 (f) 단계에서의 매칭 결과에 기초하여, 상기 이동 로봇의 위치가 추정되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 인공 표식을 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법에 의해서 달성된다.

[0014] 여기서, 상기 절대 관계값 및 상기 상대 관계값은 두 개의 인공 표식 간의 거리, 세 개의 인공 표식이 이루는 각도, 세 개의 인공 표식이 이루는 면적 중 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0015] 또한, (c1) 상기 (c) 단계에서 산출된 상기 상대 관계값 각각에 대해 기 등록된 오차 범위가 반영된 식별도가 산출되는 단계와, (c2) 상기 (c) 단계에서 산출된 상기 상대 관계값들 중 상기 식별도가 기 등록된 임계값을 초과하는 상대 관계값들이 추출되는 단계를 더 포함하며; 상기 (d) 단계는 상기 (c2) 단계에서 추출된 상기 상대 관계값들에 대해 수행될 수 있다.

[0016] 그리고, 상기 오차 범위는 상기 이동 로봇의 측정 오차와, 상기 복수의 등록된 인공 표식들 간의 위치 오차에 기초하여 설정될 수 있다.

[0017] 그리고, 상기 (e) 단계는 (e1) 각각의 상기 상대 관계값과 기 설정된 범위 내에서 근접한 적어도 하나의 절대 관계값이 추출되는 단계와; (e2) 상기 감지된 인공 표식이 속한 적어도 하나의 상대 관계값에 대해 추출된 적어도 절대 관계값들이 각각의 상기 감지된 인공 표식에 대해 추출되는 단계와; (e3) 상기 감지된 인공 표식에 대해 추출된 절대 관계값들에 속하는 등록된 인공 표식 중 상대 관계값에 공통적으로 속하는 등록된 인공 표식이 추출되는 단계를 포함할 수 있다.

[0018] 또한, 상기 (f) 단계에서는 상기 감지된 인공 표식과 상기 등록된 인공 표식의 일 대 일 매칭을 우선적으로 추출하고, 추출된 일 대 일 매칭에 기초하여 나머지의 감지된 인공 표식에 매칭되는 등록된 인공 표식을 추출할 수 있다.

[0019] 그리고, (e1) 상기 (e) 단계에서 하나의 상기 감지된 인공 표식이 속한 상기 상대 관계값에 매칭되는 상기 절대 관계값에 공통적으로 속한 상기 등록된 인공 표식이 추출되지 않는 경우 해당 감지된 인공 표식은 아웃라이어로 분류하되, 모든 상기 감지된 인공 표식에 대한 아웃라이어 여부를 판단하는 단계와; (e2) 상기 아웃라이어를 하나씩, 또는 두개씩 순으로 제거하여 상기 복수의 감지된 인공 표식 중 나머지에 대해 상기 (c) 단계 내지 상기 (e) 단계가 수행되되, 하나씩 또는 두 개씩의 제거가 교대로 제거되면서 수행되는 단계를 더 포함하며; 상기 (e2) 단계의 수행 과정 중 아웃라이어가 존재하지 않은 경우에 대해 상기 (f) 단계 및 상기 (g) 단계가 수행될 수 있다.

[0020] 또한, 상기 거리 센서는 레이저 거리 센서로 마련되며; 상기 (b) 단계에서 상기 레이저 거리 센서는 기 등록된 기준 강도 이상의 반사 강도를 갖는 대상 물체만을 인공 표식으로 인식할 수 있다.

[0021] 그리고, 상기 (b) 단계에서 기 등록된 타임 스텝 동안 연속적으로 감지되지 않는 경우 상기 감지된 인공 표식으로부터 제거할 수 있다.

[0022] 또한, 상기 등록된 인공 표식은 원기둥 형태로 마련되며; 상기 등록된 인공 표식의 사이즈는 상기 레이저 거리 센서의 해상도, 상기 레이저 거리 센서의 측정 각도, 및 상기 레이저 거리 센서의 측정 거리에 기초하여 결정될 수 있다.

## *발명의 효과*

[0023] 상기와 같은 구성에 따라, 본 발명에 따르면 일정한 패턴이나 전역 좌표 상의 위치에 대한 정보를 제공하지 않는 인공 표식을 이용하여 이동 로봇의 전역 좌표 상의 위치를 추정할 수 있는 인공 표식을 이용한 이동 로봇의 위치 추정 방법이 제공된다.

## 도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명에 따른 이동 로봇이 주행하는 환경의 지도를 나타낸 도면이고,

도 2a 및 도 2b는 본 발명에 따른 이동 로봇의 위치 추정 방법을 설명하기 위한 도면이고,

도 3은 N개의 인공 표식이 제공하는 기하학적 정보의 예를 설명하기 위한 도면이고,

도 4 내지 도 13은 본 발명에 따른 이동 로봇의 위치 추정 방법에서 감지된 인공 표식과 등록된 인공 표식 간의 매칭 과정을 설명하기 위한 도면이고,

도 14 내지 도 16은 본 발명에 따른 이동 로봇의 위치 추정 방법에 적용되는 인공 표식의 형태 및 사이즈를 결정하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 이하에서는 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 실시예에 대해 상세히 설명한다.

[0026] 도 1은 본 발명에 따른 이동 로봇(100)이 주행하는 환경의 지도를 나타낸 도면이다. 이동 로봇(100)의 이동 경로 상에는 도 1에 도시된 바와 같이, 복수의 인공 표식(Reflector, 이하 동일)이 설치된다.

[0027] 본 발명에 따른 인공 표식은 일정한 패턴을 갖거나 전역 좌표 상의 위치에 대한 정보를 제공하지 않는 표식으로, 빛을 반사하는 반사판 형태로 마련되는 것을 예로 한다. 그리고, 본 발명에 따른 이동 로봇(100)에는 레이저 거리 센서와 같은 거리 센서가 설치되며, 이동 로봇(100)의 거리 센서로부터 방출되는 레이저가 인공 표식에 의해 반사되어 수광됨으로써, 이동 로봇(100)과 인공 표식 간의 거리를 산출하게 된다. 여기서, 인공 표식의 설치 위치에 대한 좌표, 즉 전역 좌표는 이동 로봇(100)에 등록된다.

[0028] 이하에서는 상기와 같은 인공 표식을 이용한 이동 로봇(100)의 위치 추정 방법을, 도 2a를 참조하여 설명한다.

[0029] 먼저, 이동 로봇(100)에는 도 1에 도시된 인공 표식들 상호 간의 기하학적 관계에 대한 절대 관계값들과, 인공 표식의 전역 좌표도가 등록된다(S20).

[0030] 본 발명에 따른 절대 관계값은 2 이상의 인공 표식 상호간의 기하학적 관계에 대한 정보로, 두 개의 인공 표식 간의 거리, 세 개의 인공 표식이 이루는 각도, 세 개의 인공 표식이 이루는 면적 중 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0031] 도 3을 참조하여 설명하면, N개의 인공 표식에서 두 개의 인공 표식 간의 거리에 대한 정보의 개수는 ${}_{N}C_{2}$ 개, 즉 N(N-1)/2! 개 이다. 도 3에서 6개의 인공 표식의 경우, 두 개의 인공 표식 간의 거리에 대한 정보의 개수는 15개 이다.

[0032] 그리고, N개의 인공 표식에서 세 개의 인공 표식이 이루는 각도에 대한 정보의 개수는 ${}_{N}P_{3}/2$ 개, 즉 N(N-1)(N-2)/2 개 이다. 도 3에서 6개의 인공 표식의 경우, 60 개의 각도에 대한 정보를 제공하게 된다.

[0033] 마찬가지로, N개의 인공 표식에서 세 개의 인공 표식이 이루는 면적에 대한 정보는 ${}_{N}C_{3}$ 개, 즉 N(N-1)(N-2)/3! 개 이다. 도 3에서 6개의 인공 표식의 경우, 20 개의 면적에 대한 정보를 제공하게 된다.

[0034] 상기와 같은 인공 표식들 간의 기하학적 관계에 대한 절대 관계값이 인공 표식을 설치한 후 실제로 측정 및/또는 산출되어 이동 로봇(100)에 등록된다. 본 발명에서는 절대 관계값과 후술할 상대 관계값이 두 개의 인공 표식 간의 거리값으로 등록되는 것을 예로 하여 설명한다. 또한, 절대 관계값과 관련된 실제 설치된 인공 표식을 '등록된 인공 표식'이라 정의하고, 상대 관계값과 관련된 인공 표식, 즉 이동 로봇(100)의 거리 센서에 의해 감지된 인공 표식을 '감지된 인공 표식'이라 정의하여 설명한다.

[0035] 상기와 같이 절대 관계값들이 등록된 상태에서, 이동 로봇(100)의 주행 과정에서 이동 로봇(100)의 거리 센서에 의해 인공 표식이 감지된다(S21). 여기서, 본 발명에 따른 이동 로봇(100)의 위치 추정을 위해 최소 3 이상의 인공 표식이 감지되어야 하는데, 본 발명에서는 위치 추정의 정확성을 높이기 위해 4 이상의 인공 표식이 감지되는 경우(S22), 후술할 매칭 과정이 진행되는 것을 예로 한다.

[0036] 한편, 4 이상의 인공 표식이 감지되면, 감지된 인공 표식들 상호 간의 기하학적 관계에 대한 상대 관계값이 산

출된다(S23). 여기서, 감지된 인공 표식들 상호간의 기하학적 관계는 상술한 등록된 인공 표식들 간의 기하학적 관계에 대응하며, 본 발명에서는 두 개의 감지된 인공 표식 간의 거리를 상대 관계값으로 산출하는 것을 예로 한다.

[0037] 여기서, 상대 관계값인 거리는 이동 로봇(100)과 감지된 인공 표식까지의 거리에 기초하여 산출 가능하다. 예컨대, 레이저 거리 센서의 스캔에 따라 감지되는 두 개의 감지된 인공 표식 각각과 이동 로봇(100) 간의 거리, 스캔에 따른 두 개의 감지된 인공 표식 간의 각도에 기초하여 두 개의 감지된 인공 표식 간의 거리가 산출 가능하게 된다.

[0038] 도 4는 도 1에 도시된 인공 표식들 중 4개의 인공 표식이 감지되고, 실제 인공 표식이 아니지만 금속과 같이 인공 표식으로 인식될 정도의 반사 강도를 갖는 특정 물체(Outlier, 이하 '아웃라이어'라 함)가 감지되어, 총 5개의 인공 표식이 감지된 것을 예로 하고 있다. 도 4에 도시된 바와 같이, 이동 로봇(100)에 의해 감지된 인공 표식은 이동 로봇(100)과의 상대적인 거리 정보만 가지게 되며, 전역 좌표계에서의 위치는 확인할 수 없다. 또한, 이동 로봇(100)의 관점에서 특정 반사 강도 이상의 물체는 인공 표식으로 인식하게 되므로, 아웃라이어와 인공 표식을 구분하지는 못하게 된다.

[0039] 상기와 같이 감지된 인공 표식들의 상대 관계값들이 산출되면(S23), 감지된 인공 표식과 등록된 인공 표식 간의 매칭 과정이 수행된다.

[0040] 본 발명에서는 상대 관계값들에 대한 식별도를 산출하고(S24), 산출된 식별도가 기 등록된 임계치를 초과하는지 여부에 따라(S25), 즉 임계치를 초과하는 식별도를 갖는 상대 관계값들은 매칭 과정을 위한 상대 관계값으로 결정하고(S26), 임계치 이하의 식별도를 갖는 상대 관계값들은 매칭 과정에서 제거(S27)하는 것을 예로 한다.

[0041] 여기서, 식별도는 미리 등록된 오차 범위가 반영되도록 산출된다. 본 발명에 따른 오차 범위는 이동 로봇(100)의 측정 오차와, 복수의 등록된 인공 표식들 간의 위치 오차에 기초하여 설정되는 것을 예로 한다.

[0042] 여기서, 식별도는 오차 범위가 반영될 수 있는 다양한 형태로 산출이 가능하며, [수학식 1]은 식별도 산출의 예를 나타내고 있다.

[0043] [수학식 1]

[0044] $D_{L,k}$의 식별도 = $(D_{L,k-1} - D_{L,k}) \times (D_{L,k} - D_{L,k+1})$

[0045] [수학식 1]에서 $D_{L,k}$는 k번째의 상대 관계값이고, $D_{L,k-1}$은 k-1번째의 상대 관계값이고, $D_{L,k+1}$은 k+1번째의 상대 관계값이다. [수학식 1]에 의해 산출되는 식별도에 대한 임계치는 오차 범위가 $\varepsilon$인 경우, $4\varepsilon^2$으로 설정될 수 있다.

[0046] 여기서, 산출된 식별도에 기초하여, 해당 상대 관계값의 식별도가 임계치를 초과하는 경우 해당 상대 관계값은 상대 관계값으로 결정되고(S26), 식별도가 임계치보다 작은 상대 관계값은 제거된다(S27).

[0047] 이하에서는, 도 4 내지 도 13을 참조하여 감지된 인공 표식에 대해 등록된 인공 표식을 추출하는 과정에 대해 상세히 설명한다. 여기서, 매칭 과정의 설명에는 도 4에 도시된 바와 같이, 5개의 감지된 인공 표식이 감지되는 것을 예로 하며, 하나가 아웃라이어인 것을 예로 하여 설명한다.

[0048] 또한, 도 5 내지 도 13에서 원은 인공 표식이고, 원 안의 숫자는 인공 표식의 인덱스를 나타낸다. 그리고, 감지된 인공 표식들 간을 연결하는 선은 상대 관계값인 두 표식 간의 거리 $D_L()$를 나타낸다. 또한, 도 5 내지 도 13의 (a)는 감지된 인공 표식을 나타낸 것이고, (b)는 등록된 인공 표식, 즉 전역 좌표계 상에서의 실제 인공 표식을 나타낸 것이다.

[0049] 상술한 바와 같이, 상대 관계값이 최종적으로 추출되면, 상대 관계값과 절대 관계값 간의 매칭 과정이 진행된다(S28). 매칭 과정은 인공 표식의 인덱스 순으로 진행되는 것을 예로 한다.

[0050] 먼저, 도 5의 (a)에 도시된 바와 같이, 감지된 인공 표식 1번과 감지된 인공 표식 2번 간의 상대 관계값, 즉 거리 $D_L(1,2)$와 기 설정된 범위 내에서 근접한 등록된 인공 표식들 간의 거리(즉, 절대 좌표값)가 추출된다. 도 5의 (b)에서는 등록된 인공 표식 1번과 8번, 8번과 13번, 4번과 13번, 3번과 12번이 추출된다. 등록된 인공 표

식들 간의 거리, 즉 절대 좌표값을 $D_G$()로 나타내면, 추출되는 절대 좌표값은 $D_G$[(1,8), (8,13), (4,13), (3,12)]로 추출된다. 여기서, 상대 관계값과 매칭되는 절대 좌표값은 거리의 경우 상술한 오차 범위 ε 내에서 유사한 거리를 갖는 절대 좌표값이 추출되는 것을 예로 한다.

[0051] 그런 다음, 도 6에 도시된 바와 같이, 감지된 인공 표식 1번과 5번 간의 상대 관계값 $D_L$(1,5)와 매칭되는 절대 좌표값이 도 6의 (b)에 도시된 바와 같이 추출되며, 이는 $D_G$[(1,4), (1,8), (7,13), (5,6), (6,10), (9,12)]로 나타낼 수 있다.

[0052] 여기서, 도 5 및 도 6에 도시된 감지된 인공 표식 1번과 3번, 1번과 4번, 2번과 5번에 따른 상대 관계값은 식별도 및 임계치를 이용하여 제거된 것으로, 매칭 과정에서는 적용되지 않게 된다.

[0053] 상기와 같이, 감지된 인공 표식 1번이 속하는 상대 좌표값과 매칭되는 절대 좌표값이 추출이 완료되면, [표 1]과 같이 매칭 결과를 나타낼 수 있다.

[0054] [표 1]

| 감지된 인공 표식 | 등록된 인공 표식 |
|---|---|
| $D_L$(1,2) | 1,3,4,8,12,13 |
| $D_L$(1,5) | 1,4,5,6,7,8,9,10,12,13 |
| ↓ | |
| 1 | 1,4,8,12,13 |

[0055]

[0056] [표 1]을 참조하여 설명하면, 하나의 감지된 인공 표식 1번이 속한 상대 관계값 $D_L$(1,2), $D_L$(1,5)에 매칭되는 절대 관계값 $D_G$[(1,8), (8,13), (4,13), (3,12)]와, $D_G$[(1,4), (1,8), (7,13), (5,6), (6,10), (9,12)]에 공통적으로 속하는 등록된 인공 표식 1번, 4번, 8번, 12번, 13번이 추출된다. 여기서, 추출된 등록된 인공 표식 1번, 4번, 8번, 12번, 13번이 감지된 인공 표식 1번과 매칭될 수 있는 후보가 된다.

[0057] 상기와 같이, 감지된 인공 표식 1번과 매칭될 등록된 인공 표식들의 후보들이 추출되면, 감지된 인공 표식 2번과 관련된 상대 관계값에 대한 절대 관계값이 추출되고, 추출된 절대 관계값을 이용하여 감지된 인공 표식 2번과 매칭될 등록된 인공 표식들의 후보들이 추출되며, [표 2]와 같이 나타낼 수 있다.

[0058] [표 2]

| 감지된 인공 표식 | 등록된 인공 표식 |
|---|---|
| $D_L$(1,2) | 1,3,4,8,12,13 |
| $D_L$(2,3) | 1,13 |
| $D_L$(2,4) | X |
| ↓ | |
| 2 | X |

[0059]

[0060] 도 4에 도시된 바와 같이, 감지된 인공 표식은 실제 인공 표식이 아닌 아웃라이어인 것을 예로 하였는데, 감지된 인공 표식 2번과 4번 간의 상대 관계값인 $D_L$(2,4)와 매칭되는 절대 관계값이 추출되지 않았으며, 감지된 인공 표식 2번이 속한 상대 관계값 $D_L$(1,2), $D_L$(2,3), $D_L$(2,4)에 매칭되는 절대 관계값 $D_G$[(1,8), (8,13), (4,13), (3,12)], $D_G$[(1,13)], $D_G$[X]에 공통적으로 속하는 등록된 인공 표식은 검출되지 않게 된다.

[0061] 이에 본 발명에서는, 도 2a에 도시된 바와 같이, 상대 관계값과 절대 관계값의 매칭 과정에서 아웃라이어가 존재하는지 여부를 판단하게 되며(S29), 인공 표식 2번과 같이 아웃라이어가 존재하는 경우, 도 2b에 도시된 바와 같은 아웃라이어의 제거 과정을 거치게 된다.

[0062] 이 때, 아웃라이어의 제거 과정은 모든 감지된 인공 표식에 대한 상대 관계값과 절대 관계값의 매칭 과정을 완료한 후에 진행된다. 즉, 상기와 같이 감지된 인공 표식 2번의 매칭 과정에 의해 감지된 인공 표식 2번이 아웃라이어로 판단되더라도 이는 아웃라이어의 후보로 분류되고, 모든 감지된 인공 표식에 대한 상대 관계값과 절대 관계값의 매칭 과정에서 분류되는 모든 아웃라이어에 대해 도 2b에 도시된 아웃라이어의 제거 과정이 진행된다.

[0063] 이에, 감지된 인공표식 3번, 4번 및 5번에 대한 매칭 과정을 수행한 결과는 [표 3] 및 [표 4]와 같다.

[0064] [표 3]

[0065]

| 감지된 인공 표식 | 등록된 인공 표식 |
|---|---|
| $D_L(2,3)$ | 1,13 |
| $D_L(3,4)$ | 5,9,10 |
| $D_L(3,5)$ | 5,6,12,13 |
| ⇩ | |
| 3 | X |

[0066] [표 4]

[0067]

| 감지된 인공 표식 | 등록된 인공 표식 |
|---|---|
| $D_L(2,4)$ | X |
| $D_L(3,4)$ | 5,9,10 |
| $D_L(4,5)$ | 1,4,5,6,7,9,10,13,14 |
| ⇩ | |
| 4 | X |

[0068] 상기와 같은 과정을 통해, 아웃라이어의 후보로 감지된 인공 표식 2번, 3번 및 4번의 분류되었으며, 3개의 아웃라이어 후보들을 예로 하여 아웃라이어의 제거 과정을 도 2b를 참조하여 설명한다.

[0069] 상기와 같이 아웃라이어의 개수가 3개인 경우, 3개의 아웃라이어 중 어느 하나를 먼저 제거한다(S40). 여기서, 아웃라이어의 제거 순서는 임의로 정할 수 있으며, 본 발명에서는 감지된 인공 표식의 인덱스 순으로 제거하는 것을 예로 한다. 이에 따라, S40단계에서 감지된 인공 표식 2번이 제거된다.

[0070] 그런 다음, 아웃라이어의 제거 후에 감지된 인공 표식이 4개 이상인지 여부를 판단한다(S41). 이는 본 발명에 따른 위치 추정 방법에서 위치 추정의 정확도를 높이기 위해 4개 이상의 인공 표식이 감지되는 경우에만 동작하도록 설정되었는 바, 아웃라이어의 제거 후 3개 이하가 되면 현재 감지된 인공 표식을 이용한 위치 추정이 종료된다.

[0071] 아웃라이어의 제거 후에도 감지된 인공 표식의 개수가 4개 이상인 경우, 나머지의 감지된 인공 표식을 이용하여 도 2a의 S23 단계 내지 S28 단계를 순차적으로 수행(S42)하게 된다. 그런 다음, 아웃라이어가 존재하는지 여부를 판단하고(S43), 아웃라이어가 존재하지 않는 경우, 도 2a의 S30 단계를 진행하게 된다.

[0072] 여기서, 감지된 인공 표식 2번이, 도 4에 도시된 바와 같이, 실제 아웃라이어이므로 S42 단계의 수행을 통해 아웃라이어의 존재 여부를 판단하게 되면, 아웃라이어는 존재하지 않은 것으로 판단되어 S30 단계로 진행될 수 있으며, 감지된 인공 표식 2번이 제거된 상태에서의 S42 단계의 수행, 즉 도 2a의 S23 단계 내지 S28 단계의 수행 과정에 대한 상세한 설명은 후술한다.

[0073] 다시, S43 단계에서 아웃라이어가 존재하는 것으로 판단되는 경우, 모든 아웃라이어에 대한 체크가 완료될 때까지 아웃라이어를 교체(S45)하면서 S40 단계 내지 S43 단계를 반복 수행하게 된다.

[0074] 예를 들어, 상술한 감지된 인공 표식 2번을 제거한 후 S41 단계 내지 S43 단계를 수행하여, 다시 아웃라이어가 존재하게 되면, S45 단계에서 감지된 인공 표식 2번을 매칭 과정에 다시 포함시키고, 감지된 인공 표식 3번을 제거한 후 매칭과정을 진행하게 된다.

[0075] 상기와 같은 과정을 통해 실제 아웃라이어가 제거 가능하게 되는데, S44 단계에서 모든 아웃라이어에 대해 체크한 상태에서도 아웃라이어가 존재하는 것으로 판단되면, 현재 감지된 인공 표식을 이용한 위치 추정 과정이 종료된다.

[0076] 여기서, S45 단계에서 아웃라이어의 교체, 즉 아웃라이어의 제거는 하나씩의 아웃라이어를 제거해보고, 하나씩의 아웃라이어의 제거 과정에서도 아웃라이어가 존재하게 되면 2개씩의 조합으로 교체하도록 마련될 수 있다. 예를 들어, 상기와 같이 2번, 3번, 4번이 아웃라이어의 후보로 판단되면, 2번, 3번, 4번의 순으로, 그리고, 2번과 3번의 동시 제거, 2번과 4번의 동시 제거, 3번과 4번의 동시 제거 순으로 진행하면서 아웃라이어의 제거 과정을 수행할 수 있다. 상술한 예에서는 최초 5개의 인공 표식이 감지되었는 바, 2개씩의 제거 과정은 진행되지 못하고 S41 단계에서 종료될 것이다.

[0077] 상기와 같은 과정에서 실제 아웃라이어인 인공 표식 2번이 아웃라이어로 제거된 상태로 S42 단계가 수행되는 과정에 대해 상세히 설명한다. S42 단계는 도 2a의 S23 단계 내지 S28 단계의 수행 과정인 바, 도 2a를 참조하여 설명한다.

[0078] 먼저, 나머지 4개의 감지된 인공 표식, 즉 1번, 3번, 4번, 5번을 이용하여 다시 상대 관계값이 산출된다(S23). 그런 다음, 식별도의 산출(S24)와 임계치와의 비교(S25) 과정을 통해 최종적인 상대 관계값이 결정된다(S26). 본 발명에서는 4개의 감지된 인공 표식 1번, 3번, 4번, 5번 간의 모든 거리가, 도 8에 도시된 바와 같이, 상대 관계값으로 결정되는 것을 예로 한다. 도 8에서는 감지된 인공 표식의 인덱스가 번호 순으로 다시 기재되어 표시되어 있다.

[0079] 도 8에 도시된 바와 같이, 6개의 상대 관계값이 결정되면, 상술한 바와 같이, 감지된 인공 표식의 인덱스 순으로 상대 관계값과 절대 관계값 간의 매칭 과정이 수행된다(S28).

[0080] 도 9 내지 도 12는 각각 감지된 인공 표식 1번, 2번, 3번, 4번이 속하는 상대 관계값과 이에 매칭되는 절대 관계값을 나타낸 도면이고, [표 5] 내지 [표 8]과 같이 정리될 수 있으며, 각각의 감지된 인공표식에 대한 등록된 인공 표식의 후보들이 추출된다.

[0081] [표 5]

| 감지된 인공 표식 | 등록된 인공 표식 |
|---|---|
| $D_L(1,2)$ | $D_G[(5,7)]$ |
| | 5,7 |
| $D_L(1,3)$ | $D_G[(5,7),(7,10)]$ |
| | 5,7,10 |
| $D_L(1,4)$ | $D_G[(1,4),(1,8),(7,13),(5,6),(6,10),(9,12)]$ |
| | 1,4,5,6,7,8,9,10,12,13 |
| | ⇩ |
| 1 | 5,7 |

[0082]

[0083] [표 6]

| 감지된 인공 표식 | 등록된 인공 표식 |
|---|---|
| $D_L(1,2)$ | $D_G[(5,7)]$ |
| | 5,7 |
| $D_L(2,3)$ | $D_G[(5,9),(5,10)]$ |
| | 5,9,10 |
| $D_L(2,4)$ | $D_G[(5,13),(6,12)]$ |
| | 5,6,12,13 |
| ⇩ | |
| 2 | 5 |

[0084]

[0085] [표 7]

| 감지된 인공 표식 | 등록된 인공 표식 |
|---|---|
| $D_L(1,3)$ | $D_G[(5,7),(7,10)]$ |
| | 5,7,10 |
| $D_L(2,3)$ | $D_G[(5,9),(5,10)]$ |
| | 5,9,10 |
| $D_L(3,4)$ | $D_G[(1,6),(4,10),(4,5),(7,9),(10,13),(9,14)]$ |
| | 1,4,5,6,7,9,10,13,14 |
| ⇩ | |
| 3 | 5,10 |

[0086]

[0087] [표 8]

| 감지된 인공 표식 | 등록된 인공 표식 |
|---|---|
| $D_L(1,4)$ | $D_G[(1,4),(1,8),(7,13),(5,6),(6,10),(9,12)]$ |
| | 1,4,5,6,7,8,9,10,12,13 |
| $D_L(2,4)$ | $D_G[(5,13),(6,12)]$ |
| | 5,6,12,13 |
| $D_L(3,4)$ | $D_G[(1,6),(4,10),(4,5),(7,9),(10,13),(9,14)]$ |
| | 1,4,5,6,7,9,10,13,14 |
| ⇩ | |
| 4 | 5,6,13 |

[0088]

[0089] 상기와 같은 과정을 통해, 각각의 감지된 인공표식에 대한 등록된 인공 표식의 후보들이 추출되면, 감지된 인공 표식과 등록된 인공 표식 간이 일 대 일로 매칭되는 것을 먼저 추출한다.

[0090] [표 5] 내지 [표 8]을 정리하면 [표 9]와 같다.

[0091] [표 9]

| 감지된 인공 표식 | 등록된 인공 표식 |
|---|---|
| 1 | 5,7 |
| 2 | 5 |
| 3 | 5,10 |
| 4 | 5,6,13 |

[0092]

[0093] [표 9]을 참조하여 설명하면, 감지된 인공 표식 2번과 등록된 인공 표식 5번이 일 대 일로 매칭되어, 거리 센서에 의해 감지된 인공표식 2번은 전역 좌표상에서 5번 인공 표식에 해당하게 된다.

[0094] 그리고, 등록된 인공 표식 5번이 감지된 인공 표식 2번에 매칭되었으므로, 감지된 인공 표식 1번은 등록된 인공 표식 7번에 매칭되고, 감지된 인공 표식 3번은 등록된 인공 표식 10번에 매칭된다.

[0095] 여기서, 감지된 인공 표식 1번이 등록된 인공 표식 7번과 매칭되는 방법은 등록된 인공 표식 5번이 감지된 인공 표식 2번에 일 대 일로 매칭되어 제외되었기 때문만은 아니다.

[0096] 보다 구체적으로 살펴보면, 일 대 일로 매칭된 감지된 인공 표식 2번과 3번 간의 상대 관계값 $D_L(2,3)$에 매칭되는 절대 관계값은 $D_G[(5,9),(5,10)]$이고, 감지된 인공 표식 3번의 매칭 후보인 등록된 인공 표식은 5번과 10번이다. 따라서, 상대 관계값 $D_L(2,3)$과 실질적으로 매칭되는 절대 관계값은 $D_G[(5,10)]$이 되어, 감지된 인공 표식 3번과 매칭되는 등록된 인공 표식은 10번이 된다.

[0097] 동일한 방법으로, 감지된 인공 표식 1번과 매칭되는 등록된 인공 표식은 7번이 되고, 감지된 인공 표식 4번과 매칭되는 등록된 인공 표식은 6번과 13번 중 13번이 된다.

[0098] 상기와 같은 과정을 통해, 감지된 인공 표식에 매칭되는 등록된 인공 표식의 추출이 완료되면, 해당 등록된 인공 표식의 전역 좌표에 기초하여 이동 로봇(100)의 위치가 추정된다(S31). 즉, 도 13의 (a)에 도시된 바와 같은 이동 로봇(100)을 기준으로 하는 지역 좌표가 도 13의 (b)에 도시된 바와 같은 전역 좌표로 맵핑되어, 인공 표식의 전역 좌표에 따라 이동 로봇(100)의 전역 좌표계에서의 위치가 추정 가능하게 된다.

[0099] 한편, 본 발명에 따른 이동 로봇(100)의 위치 추정 방법에서는 기 등록된 타임 스텝 동안 연속적으로 감지되지 않는 인공 표식은 감지된 인공 표식으로부터 제거함으로써, 특정 각도에서 반사 강도가 높은 인공 표식이 아닌 물체를 감지하는 경우를 배제할 수 있게 된다. 또한, 감지된 인공 표식 중에 등록된 인공 표식과 매칭되지 않는 감지된 인공 표식 또한 감지된 인공 표식으로부터 제거할 수 있다.

[0100] 한편, 본 발명에 따른 인공 표식은 원기둥 형태로 마련되는 것을 예로 한다. 도 14를 참조하여 설명하면, 도 14의 (a)에 도시된 바와 같이, 평면형의 인공 표식은 거리 센서의 위치에 따라 측정 각도(α)가 달라짐을 확인할 수 있다. 반면, 도 14의 (b)에 도시된 바와 같이, 단면이 원형의 인공 표식은 거리 센서의 위치에 따라 측정 각도(β)가 항상 동일함을 확인할 수 있다. 따라서, 인공 표식의 상대 좌표를 획득하는데 있어 원기둥 형태의 인공 표식이 유리함을 확인할 수 있다.

[0101] 여기서, 원기둥 형태의 인공 표식의 사이즈는 레이저 거리 센서의 해상도, 레이저 거리 센서의 측정 각도 및 레이저 거리 센서의 측정 거리에 기초하여 결정된다.

[0102] 도 15는 원기둥 형태의 인공 표식의 사이즈를 결정하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0103] 인공 표식의 원기둥 지름(d)는 레이저 거리 센서의 해상도(°)에 따른 측정 각도(γ)와, 측정 거리(x)를 고려하여 레이저 빔의 크기를 넘지 않은 일정 크기 이상으로 설정된다. 여기서, 그 크기는 레이저 빔 2개 이상을 포함할 수 있는 크기로 설정되는 것이 오차를 줄일 수 있어 바람직하다. [수학식 2]는 인공 표식의 직경을 산출하는 예를 나타내고 있다.

[0104] [수학식 2]

[0105] $l_b = x(mm) \times 0.0175(rad) \times 해상도(°)$

[0106] $d_b = x(mm) \times 0.005(rad) + 20(mm)$

[0107] $d_{l_min} = l_b + d_b$

[0108] [수학식 2]에서 $d_{l_min}$이 인공 표식의 최소 직경이고, $d_b$는 레이저 빔의 직경이다.

[0109] 한편, 원기둥 형태의 인공 표식의 높이는, 도 16에 도시된 바와 같이, 레이저 거리 센서의 해상도에 따른 측정 각도(γ)에 이동시 발생하는 경사각을 더한 측정 각도(β)와, 측정 거리(x)를 고려하여 레이저 빔의 이동 범위

보다 크게 설정된다. [수학식 3]는 인공 표식의 높이($h_{mim}$)를 산출하는 예를 나타내고 있다.

[0110] [수학식 3]

[0111] $h_{mim} = x(mm) \times \tan\beta + 20mm$

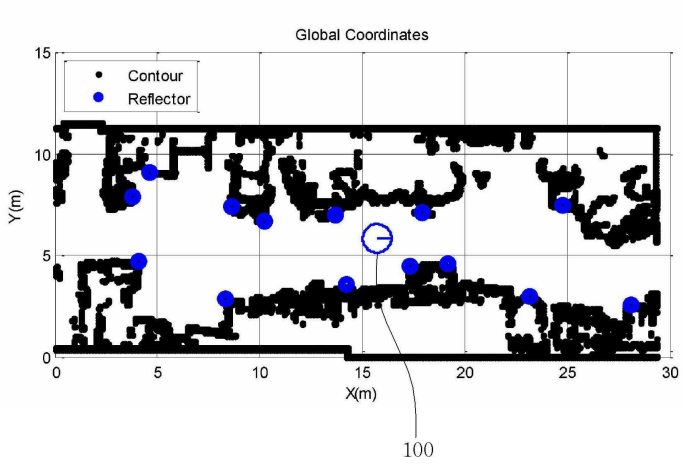
[0112] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

## *부호의 설명*

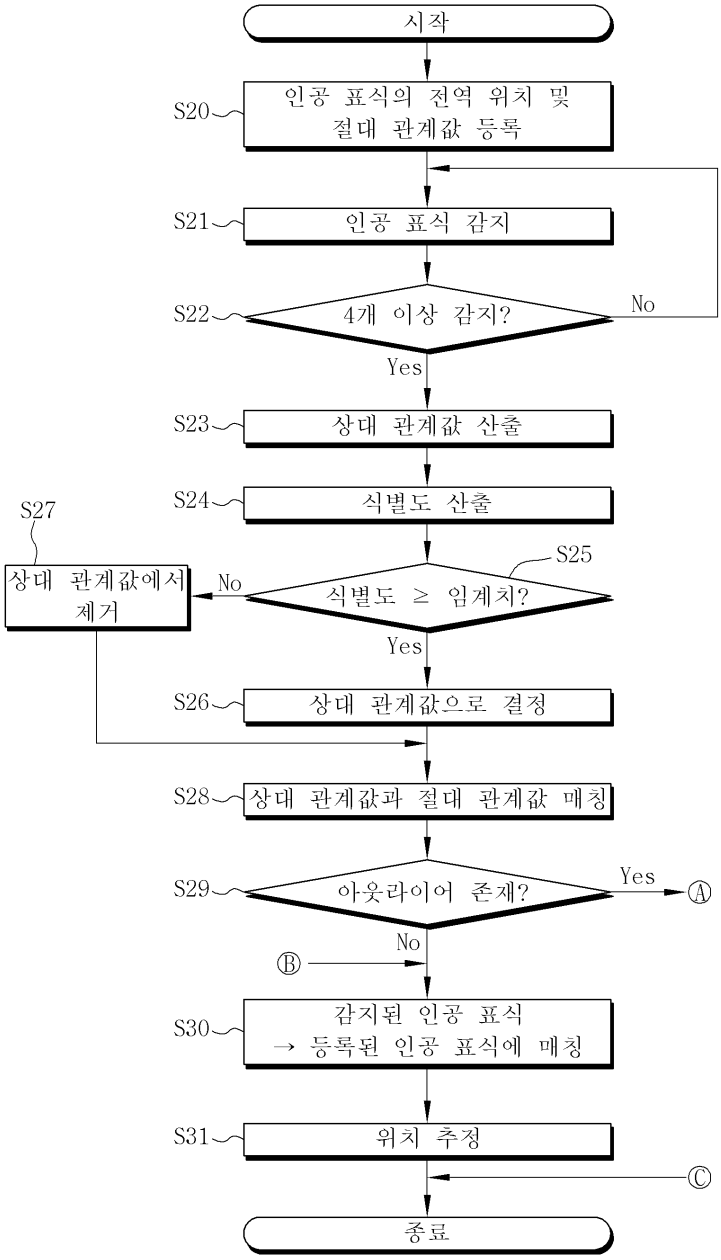
[0113] 100 : 이동 로봇

## *도면*

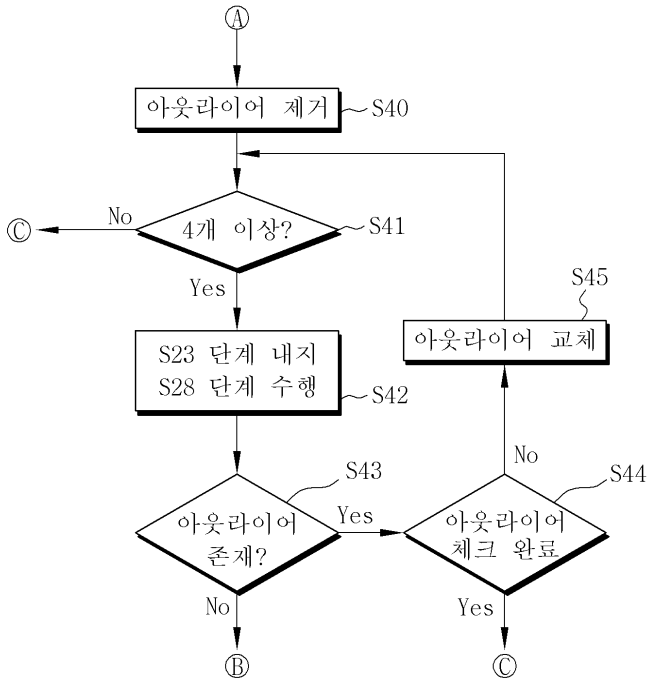
### *도면1*



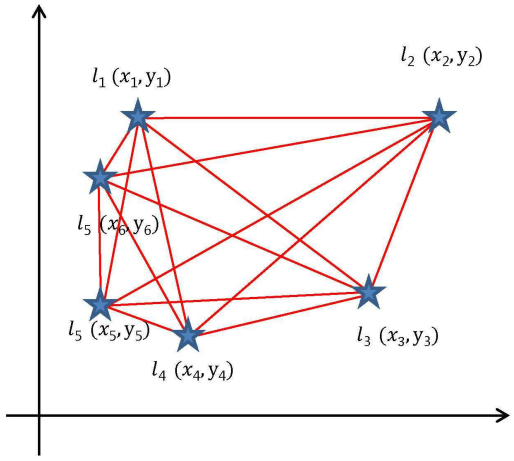
도면2a


시작
S20
인공 표식의 전역 위치 및 절대 관계값 등록
S21
인공 표식 감지
S22
4개 이상 감지?
No
Yes
S23
상대 관계값 산출
S24
식별도 산출
S25
식별도 ≥ 임계치?
No
S27
상대 관계값에서 제거
Yes
S26
상대 관계값으로 결정
S28
상대 관계값과 절대 관계값 매칭
S29
아웃라이어 존재?
Yes
Ⓐ
No
Ⓑ
S30
감지된 인공 표식 → 등록된 인공 표식에 매칭
S31
위치 추정
Ⓒ
종료

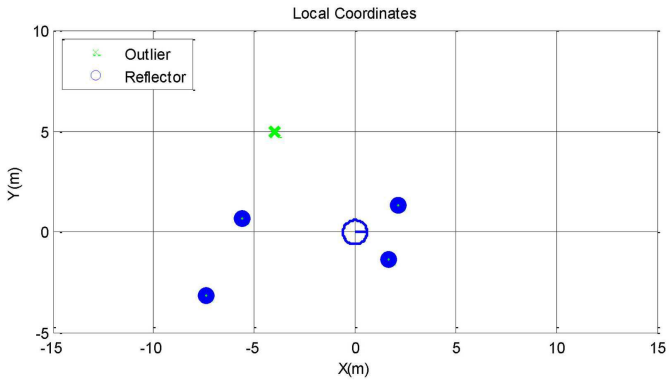
도면2b


Ⓐ
아웃라이어 제거
S40
No
Ⓒ
4개 이상?
S41
Yes
S45
아웃라이어 교체
S23 단계 내지
S28 단계 수행
S42
No
S43
S44
아웃라이어
존재?
Yes
아웃라이어
체크 완료
No
Yes
Ⓑ
Ⓒ

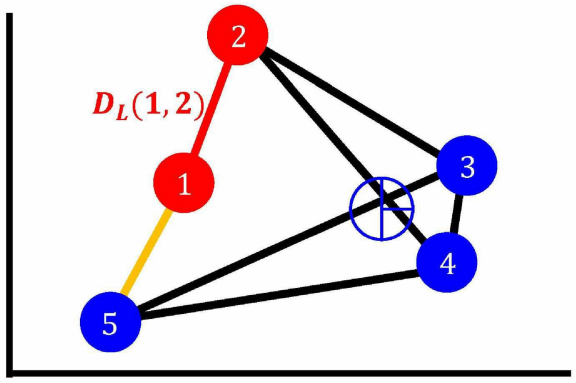
도면3


$l_1\ (x_1, y_1)$
$l_2\ (x_2, y_2)$
$l_5\ (x_6, y_6)$
$l_5\ (x_5, y_5)$
$l_3\ (x_3, y_3)$
$l_4\ (x_4, y_4)$

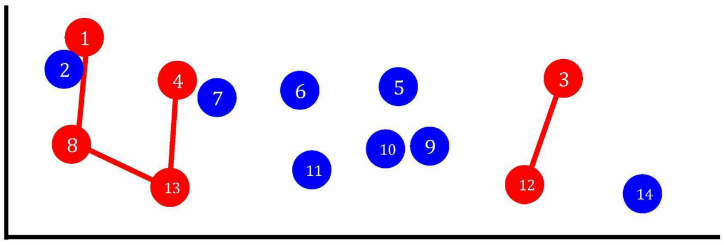
도면4


Local Coordinates
Outlier
Reflector
Y(m)
X(m)
10
5
0
-5
-15
-10
-5
0
5
10
15

도면5

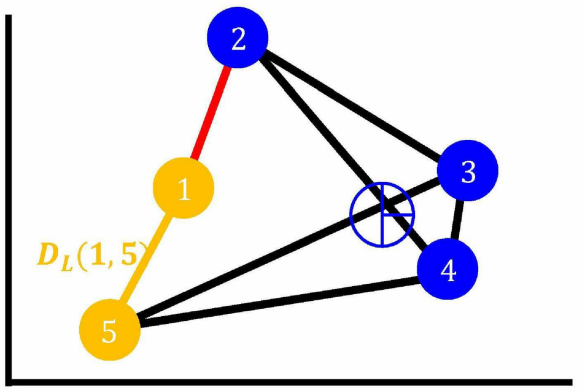

$D_L(1,2)$
1
2
3
4
5

(a)

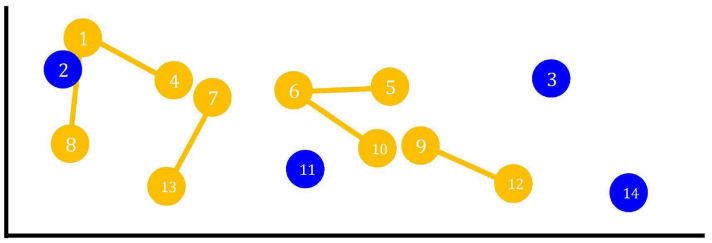

1
2
4
7
6
5
3
8
10
9
11
12
13
14

(b)

도면6

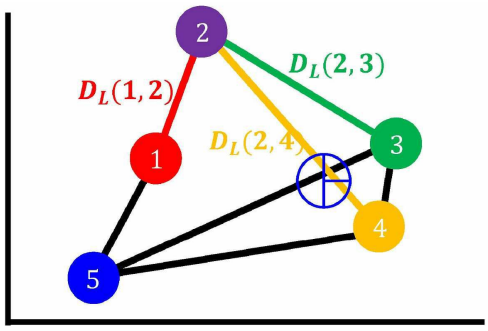

2
1
3
4
5
$D_L(1,5)$

(a)

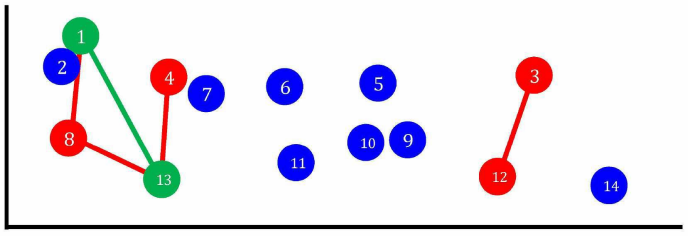

1
2
4
7
8
13
6
5
10
9
11
12
3
14

(b)

도면7

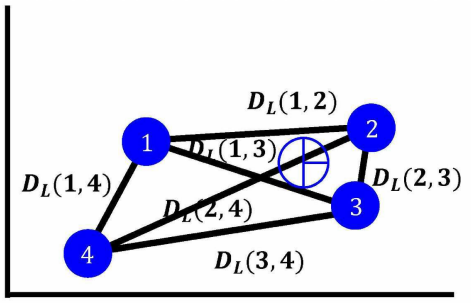

2
$D_L(1,2)$
$D_L(2,3)$
$D_L(2,4)$
1
3
4
5

(a)

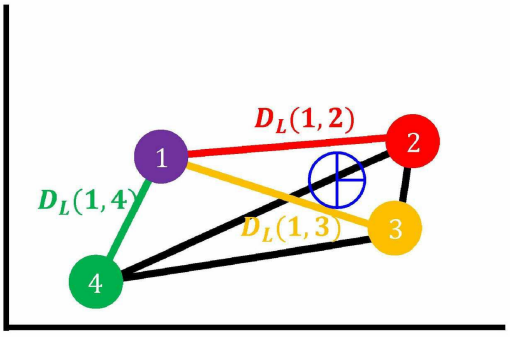

1
2
4
7
8
13
6
5
10
9
11
3
12
14

(b)

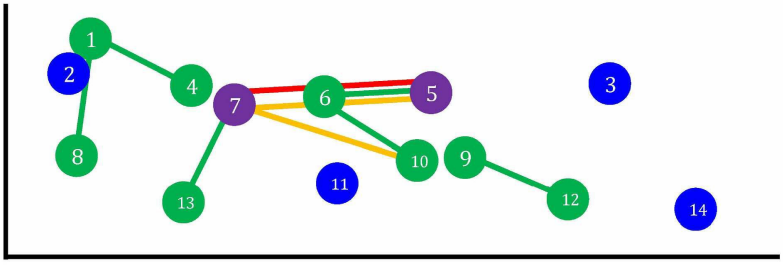
도면8


$D_L(1,2)$
$D_L(1,3)$
$D_L(1,4)$
$D_L(2,3)$
$D_L(2,4)$
$D_L(3,4)$
1
2
3
4

도면9

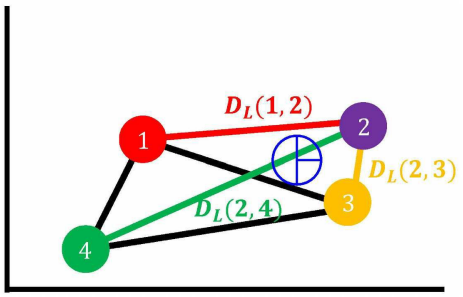

$D_L(1,2)$
$D_L(1,4)$
$D_L(1,3)$
1
2
3
4

(a)

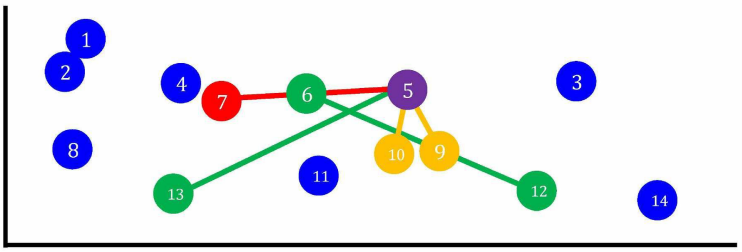

1
2
4
7
6
5
3
8
10
9
11
13
12
14

(b)

도면10

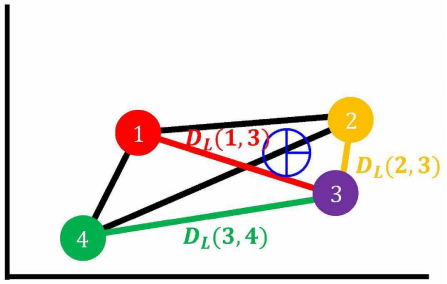



(a)

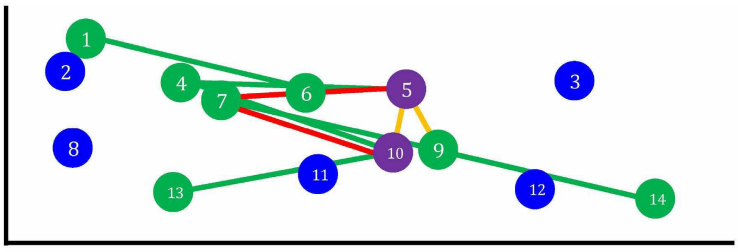



(b)

도면11

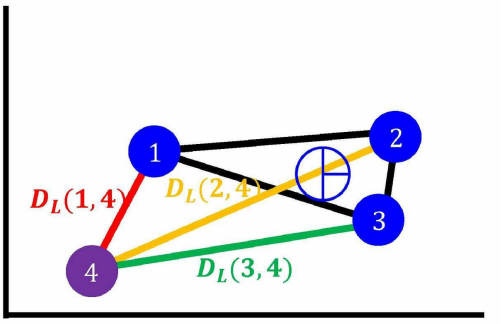



(a)

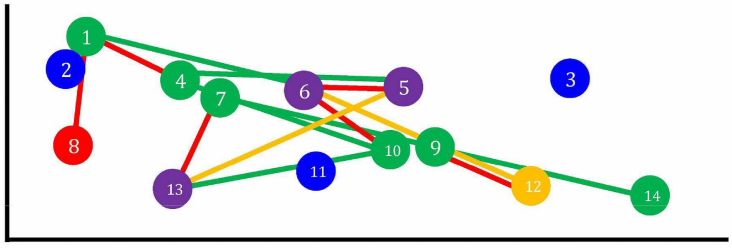



(b)

도면12

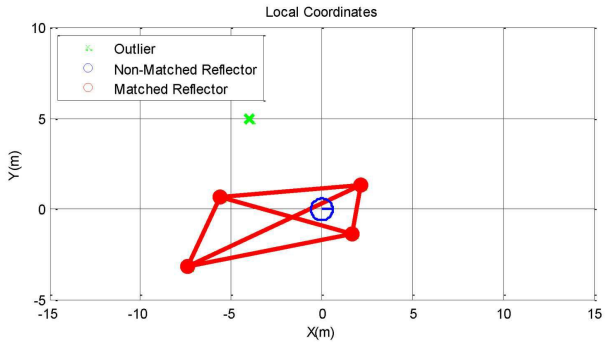



(a)

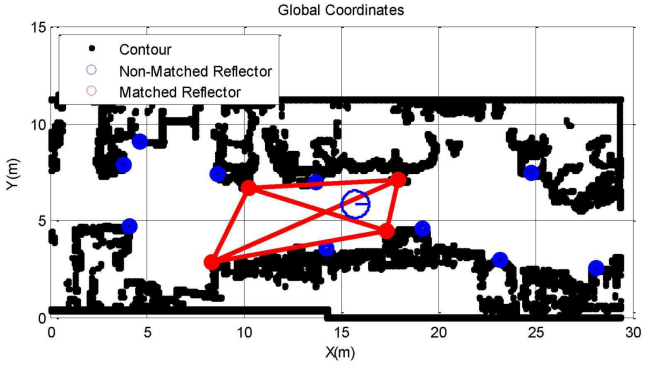



(b)

도면13

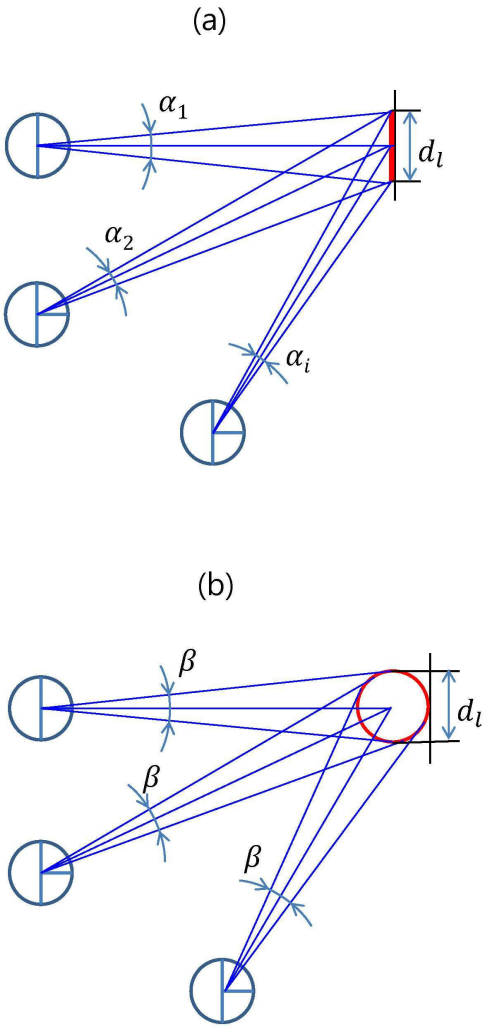



(a)

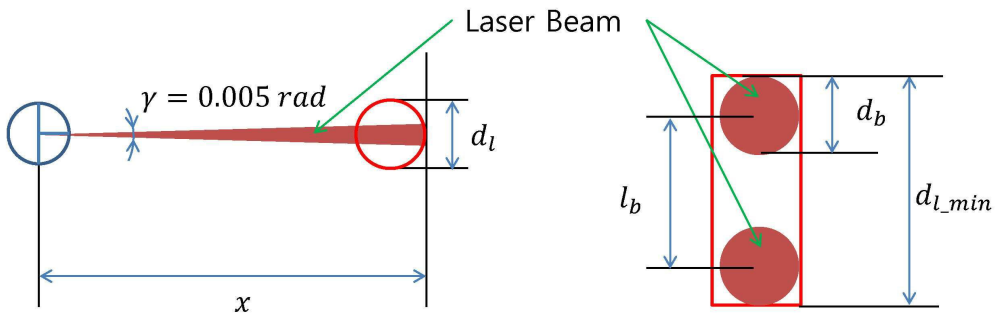



(b)

도면14


(a)
$\alpha_1$
$d_l$
$\alpha_2$
$\alpha_i$
(b)
$\beta$
$d_l$
$\beta$
$\beta$

도면15


Laser Beam
$\gamma = 0.005\ rad$
$d_l$
$x$
$d_b$
$l_b$
$d_{l_min}$

도면16

