



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년06월01일
(11) 등록번호 10-1151990
(24) 등록일자 2012년05월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B25J 9/10 (2006.01) G05D 1/02 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-0001622
(22) 출원일자 2010년01월08일
심사청구일자 2010년01월08일
(65) 공개번호 10-2011-0081452
(43) 공개일자 2011년07월14일
(56) 선행기술조사문헌
JP10291180 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
성균관대학교산학협력단
경기도 수원시 장안구 서부로 2066, 성균관대학교내 (천천동)
(72) 발명자
최혁렬
경기도 군포시 용호1로 55, 용호마을 신산본 엘리자이 1차 104동 104호 (당동)
구자춘
서울특별시 서초구 서초중앙로 200, 10동 602호 (서초동, 삼풍아파트)
(74) 대리인
나승택, 조영현

전체 청구항 수 : 총 3 항

심사관 : 하정균

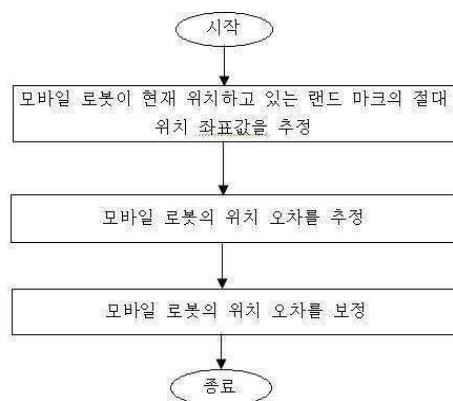
(54) 발명의 명칭 **마그네틱 랜드마크를 이용한 모바일 로봇의 전역 위치 추정 및 보정 방법**

(57) 요약

본 발명은 모바일 로봇의 위치 오차 추정 및 보정 방법에 관한 것으로, 특히 네 개의 홀 센서를 바닥면에 부착하고 있는 모바일 로봇이 자석의 배치를 변경하여 형성되는 복수 종류의 랜드마크들이 배치되어 있는 이동판을 이동하는 경우에, 상기 모바일 로봇이 특정 랜드마크 및 이웃하고 있는 랜드마크의 패턴을 인식한 후, 저장하고 있는 랜드마크 공간맵과 비교함으로써, 상기 모바일 로봇이 현재 위치하고 있는 랜드마크의 절대 위치 좌표값을 용이하게 추정할 수 있고, 상기 모바일 로봇의 위치 오차를 용이하게 보정할 수 있는 마그네틱 랜드마크를 이용한 모바일 로봇의 전역 위치 추정 및 보정 방법에 관한 것이다.

본 발명인 마그네틱 랜드마크를 이용한 모바일 로봇의 전역 위치 추정 및 보정 방법을 이루는 구성수단은, 마그네틱 랜드마크를 이용한 모바일 로봇의 전역 위치 추정 및 보정 방법에 있어서, 모바일 로봇이 위치하고 있는 특정 랜드마크의 패턴과 이웃하고 있는 랜드마크의 패턴을 인식하여 모바일 로봇이 현재 위치하고 있는 랜드마크의 절대 위치 좌표값을 추정하는 단계, 상기 추정된 랜드마크의 절대 위치 좌표값에서 벗어난 상기 모바일 로봇의 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)를 추정하는 단계, 상기 모바일 로봇이 상기 랜드마크의 절대 위치 좌표값으로 이동될 수 있도록, 상기 추정된 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)만큼 상기 모바일 로봇을 이동시켜 위치 오차를 보정하는 단계를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도10



(72) 발명자

문형필

경기도 성남시 분당구 수내로 74, 103동 303호 (수내동, 양지마을)

최병준

경상북도 경주시 현곡면 금장리 399-2 삼성강변타운 102동 303호

김범수

경기도 수원시 장안구 천천동 성균관대학교 자연과학캠퍼스 제2종합연구동 83253호

유원석

서울특별시 양천구 목동남로4길 20, 우성 3차 301동 1210호 (신정동)

특허청구의 범위

청구항 1

삭제

청구항 2

마그네틱 랜드마크를 이용한 모바일 로봇의 전역 위치 추정 및 보정 방법에 있어서,

모바일 로봇이 위치하고 있는 특정 랜드마크의 패턴과 이웃하고 있는 랜드마크의 패턴을 인식하여 모바일 로봇이 현재 위치하고 있는 랜드마크의 절대 위치 좌표값을 추정하는 단계;

상기 추정된 랜드마크의 절대 위치 좌표값에서 벗어난 상기 모바일 로봇의 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)를 추정하는 단계;

상기 모바일 로봇이 상기 랜드마크의 절대 위치 좌표값으로 이동될 수 있도록, 상기 추정된 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)만큼 상기 모바일 로봇을 이동시켜 위치 오차를 보정하는 단계를 포함하고,

상기 랜드마크의 절대 위치 좌표값을 추정하는 단계는,

상기 모바일 로봇이 위치하고 있는 특정 랜드마크에서 상기 특정 랜드마크의 패턴을 인식한 후, 이웃하고 있는 랜드마크로 이동하는 제1 과정,

상기 이동한 이웃하고 있는 랜드마크에서 랜드마크의 패턴을 인식하는 제2 과정,

상기 인식된 이웃하고 있는 랜드마크의 패턴과 상기 특정 랜드마크의 패턴을 랜드마크 공간맵과 비교하는 제3 과정;

상기 비교 결과, 상기 이웃하고 있는 랜드마크의 패턴과 특정 랜드마크의 패턴으로 구성된 랜드마크 그룹 패턴이 상기 랜드마크 공간맵에 하나만 존재한 경우에는, 상기 랜드마크 공간맵 상의 상기 모바일 로봇이 현재 위치하고 있는 랜드마크의 절대 위치 좌표값을 추출하고, 두 개 이상 존재한 경우에는 이웃하고 있는 다른 랜드마크로 이동한 후 상기 제2 과정을 수행하는 제4 과정을 포함하여 이루어진 것을 특징으로 하는 마그네틱 랜드마크를 이용한 모바일 로봇의 전역 위치 추정 및 보정 방법.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 랜드마크 공간맵은,

상기 모바일 로봇이 이동하는 공간인 이동판에 배치된 랜드마크들의 각 패턴들에 대응하여 구성되고, 상기 랜드마크의 패턴들은 각 랜드마크를 구성하는 n개의 자석 위치를 변경시켜 형성되는 P개의 패턴인 것을 특징으로 하는 마그네틱 랜드마크를 이용한 모바일 로봇의 전역 위치 추정 및 보정 방법.

$$P = m_1 H_N + \sum_{a=1}^{N-1} \left(\frac{1}{N} \sum_{l | \gcd(a, N-a)} \varphi(l) \frac{\left(\frac{N}{l}\right)!}{\left(\frac{a}{l}\right)! \left(\frac{N-a}{l}\right)!} \right)$$

여기서, 상기 P는 이고, 여기서, N은 자석의 개수이고, H_N 은 N개의 자석을 한 방향으로 놓는 경우의 수를 의미하는 중복조합이고, m은 자석의 배치 방향의 경우의 수를 의미하고, gcd(a, N-a)는 a와 N-a의 최대공약수이고, $l | \gcd(a, N-a)$ 는 l이 gcd(a, N-a)의 약수임을 의미하며, $\varphi(l)$ 는 1 이하의 l과 서로소인 자연수의 개수를 의미하는 오일러 함수임.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 모바일 로봇은 상기 P개의 랜드 마크의 패턴들과 상기 모바일 로봇이 상기 P개의 랜드 마크들에서 회전할 때의 출력 전압을 일대일 매칭하여 저장하고 있는 것을 특징으로 하는 마그네틱 랜드마크를 이용한 모바일 로봇의 전역 위치 추정 및 보정 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 모바일 로봇의 위치 오차 추정 및 보정 방법에 관한 것으로, 특히 네 개의 홀 센서를 바닥면에 부착하고 있는 모바일 로봇이 자석의 배치를 변경하여 형성되는 복수 종류의 랜드 마크들이 배치되어 있는 이동판을 이동하는 경우에, 상기 모바일 로봇이 특정 랜드 마크 및 이웃하고 있는 랜드 마크의 패턴을 인식한 후, 저장하고 있는 랜드마크 공간맵과 비교함으로써, 상기 모바일 로봇이 현재 위치하고 있는 랜드 마크의 절대 위치 좌표값을 용이하게 추정할 수 있고, 상기 모바일 로봇의 위치 오차를 용이하게 보정할 수 있는 마그네틱 랜드마크를 이용한 모바일 로봇의 전역 위치 추정 및 보정 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 최근 로봇에 대한 관심이 높아지고 기술이 발전함에 따라 실생활에 적용이 가능한 로봇이 속속 등장하고 있다. 이러한 로봇은 이동을 바탕으로 주어진 역할을 수행하는데, 이동을 위한 하드웨어적 구조는 모바일 로봇에 기반하고 있고, 이동이 주 역할인 만큼 자율 이동을 위한 위치 인식 기술이 필수적이다.

[0003] 그러나 위치 인식 기술 구현의 어려움으로 인하여 로봇이 개발된 이후 위치 인식 기술은 현재도 계속 연구되고 있다.

[0004] 일반적인 모바일 로봇은 두 바퀴가 각각 구동되는 방식으로, 오도메트리(odometry)를 이용하여 위치를 인식한다. 그러나 오도메트리는 오차를 가지며 오차 누적으로 인하여 시간이 지남에 따라 오차가 커지게 되는데, 이러한 문제를 해결하기 위하여 그동안 많은 연구가 있었으며, 대표적으로 로봇의 하드웨어적 특성을 실험을 통해 분석하여 오도메트리 오차를 제거하기 위한 UMBmark(University of Michigan Benchmark test)가 있다.

[0005] 또한 오도메트리 이외의 여러 센서를 퓨전하여 확률, 통계적 접근을 통해 위치 인식 방법을 개선해왔다. 이외에도 RFID를 이용하여 특정 위치에 직접 아이디를 부여하여 이를 인식하거나 또는 비전 카메라를 이용하여 이미지 프로세싱을 통해 위치를 분석하는 등 위치 인식 문제의 어려움을 해결하기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다.

[0006] 그러나 여전히 모바일 로봇의 정확한 위치 오차 추정 및 보정은 지속적으로 연구되어야 할 과제이고, 절대적인 위치를 정확히 파악하는 것은 어려우며, 또 다른 접근 통한 개발이 요구된다.

[0007] 한편, 모바일 로봇이 이동하는 이동 공간에서, 현재 모바일 로봇이 존재하고 있는 절대적 위치를 추정하는 방법 또한 연구 개발이 필요한 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상기와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 창안된 것으로, 네 개의 홀 센서를 바닥면에 부착하고 있는 모바일 로봇이 자석의 배치를 변경하여 형성되는 복수 종류의 랜드 마크들이 배치되어 있는 이동판을 이동하는 경우에, 상기 모바일 로봇이 특정 랜드 마크 및 이웃하고 있는 랜드 마크의 패턴을 인식한 후, 저장하고 있는 랜드마크 공간맵과 비교함으로써, 상기 모바일 로봇이 현재 위치하고 있는 랜드 마크의 절대 위치 좌표값을 용이하게 추정할 수 있고, 상기 모바일 로봇의 위치 오차를 용이하게 보정할 수 있는 마그네틱 랜드마크를 이용한 모바일 로봇의 전역 위치 추정 및 보정 방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여 제안된 본 발명인 마그네틱 랜드마크를 이용한 모바일 로봇의 전역 위치

추정 및 보정 방법을 이루는 구성수단은, 홀 센서를 이용한 모바일 로봇의 전역 위치 추정 및 보정 방법에 있어서, 모바일 로봇이 위치하고 있는 특정 랜드 마크의 패턴과 이웃하고 있는 랜드 마크의 패턴을 인식하여 모바일 로봇이 현재 위치하고 있는 랜드 마크의 절대 위치 좌표값을 추정하는 단계, 상기 추정된 랜드 마크의 절대 위치 좌표값에서 벗어난 상기 모바일 로봇의 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)를 추정하는 단계, 상기 모바일 로봇이 상기 랜드 마크의 절대 위치 좌표값으로 이동될 수 있도록, 상기 추정된 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)만큼 상기 모바일 로봇을 이동시켜 위치 오차를 보정하는 단계를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 한다.

[0010] 여기서, 상기 랜드 마크의 절대 위치 좌표값을 추정하는 단계는, 상기 모바일 로봇이 위치하고 있는 특정 랜드 마크에서 상기 특정 랜드 마크의 패턴을 인식한 후, 이웃하고 있는 랜드 마크로 이동하는 제1 과정, 상기 이동한 이웃하고 있는 랜드 마크에서 랜드 마크의 패턴을 인식하는 제2 과정, 상기 인식된 이웃하고 있는 랜드 마크의 패턴과 상기 특정 랜드 마크의 패턴을 랜드 마크 공간맵과 비교하는 제3 과정, 상기 비교 결과, 상기 이웃하고 있는 랜드 마크의 패턴과 특정 랜드 마크의 패턴으로 구성된 랜드 마크 그룹 패턴이 상기 랜드 마크 공간맵에 하나만 존재한 경우에는, 상기 랜드 마크 공간맵 상의 상기 모바일 로봇이 현재 위치하고 있는 랜드 마크의 절대 위치 좌표값을 추출하고, 두 개 이상 존재한 경우에는 이웃하고 있는 다른 랜드 마크로 이동한 후 상기 제2 과정을 수행하는 제4 과정을 포함하여 이루어진 것을 특징으로 한다.

[0011] 여기서, 상기 랜드 마크 공간맵은, 상기 모바일 로봇이 이동하는 공간인 이동판에 배치된 랜드 마크들의 각 패턴들에 대응하여 구성되고, 상기 랜드 마크의 패턴들은 각 랜드 마크를 구성하는 n 개의 자석 위치를 변경시켜 형성되는 P개의 패턴인 것을 특징으로 한다.

$$P = m_1 H_N + \sum_{a=1}^{N-1} \left(\frac{1}{N} \sum_{l | \gcd(a, N-a)} \varphi(l) \frac{\left(\frac{N}{l}\right)!}{\left(\frac{a}{l}\right)! \left(\frac{N-a}{l}\right)!} \right)$$

[0012] 여기서, 상기 P는 이고, 여기서, N은 자석의 개수이고, H_N 은 N개의 자석을 한 방향으로 놓는 경우의 수를 의미하는 중복조합이고, m은 자석의 배치 방향의 경우의 수를 의미하고, $\gcd(a, N-a)$ 는 a와 N-a의 최대공약수이고, $l | \gcd(a, N-a)$ 는 l이 $\gcd(a, N-a)$ 의 약수임을 의미하며, $\varphi(l)$ 는 1 이하의 l과 서로소인 자연수의 개수를 의미하는 오일러 함수임.

[0013] 여기서, 상기 모바일 로봇은 상기 P개의 랜드 마크의 패턴들과 상기 모바일 로봇이 상기 P개의 랜드 마크들에서 회전할 때의 출력 전압을 일대일 매칭하여 저장하고 있는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0014] 상기와 같은 과제 및 해결 수단을 가지는 본 발명인 마그네틱 랜드마크를 이용한 모바일 로봇의 전역 위치 추정 및 보정 방법에 의하면, 네 개의 홀 센서를 바닥면에 부착하고 있는 모바일 로봇이 자석의 배치를 변경하여 형성되는 복수 종류의 랜드 마크들이 배치되어 있는 이동판을 이동하는 경우에, 상기 모바일 로봇이 특정 랜드 마크 및 이웃하고 있는 랜드 마크의 패턴을 인식한 후, 저장하고 있는 랜드마크 공간맵과 비교함으로써, 상기 모바일 로봇이 현재 위치하고 있는 랜드 마크의 절대 위치 좌표값을 용이하게 추정할 수 있는 장점이 있다.

[0015] 또한, 상기 추정된 랜드 마크의 절대 위치 좌표값에서 벗어난 상기 모바일 로봇의 위치 오차를 용이하게 추정 및 보정할 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0016] 도 1은 본 발명에 적용되는 모바일 로봇의 사시도이다.
- 도 2는 본 발명에 적용되는 모바일 로봇의 바닥면을 보여주는 상세도이다.
- 도 3은 본 발명에 적용되는 홀 센서 출력전압과 홀센서 위치 관계를 설명하기 위한 이해도이다.
- 도 4는 본 발명에 적용되는 이동판의 예시도이다.
- 도 5는 본 발명에 적용되는 이동판에 복수개의 랜드 마크가 형성되고 랜드 마크에 대응하여 저장되는 랜드 마크 공간맵을 보여주는 예시도이다.

- 도 6은 본 발명에 적용되는 랜드 마크의 패턴들을 보여주는 상세도이다.
- 도 7은 본 발명에 적용되는 절대 위치 좌표값을 추출하는 절차를 설명하기 위한 예시도이다.
- 도 8은 본 발명에 적용되는 랜드 마크 좌표계를 설명하기 위한 예시도이다.
- 도 9는 본 발명에 적용되는 위치 오차 추정을 설명하기 위한 이해도이다.
- 도 10은 본 발명에 적용되는 마그네틱 랜드마크를 이용한 모바일 로봇의 전역 위치 추정 및 보정 방법의 절차도이다.
- 도 11은 본 발명에 적용되는 위치 오차 추정을 설명하기 위한 이해도이다.
- 도 12는 본 발명에 적용되는 위치 오차 값을 설명하기 위한 이해도이다.
- 도 13은 본 발명에 적용되는 위치 오차 보정 절차를 설명하기 위한 동작 절차도이다.
- 도 14는 본 발명에 적용되는 위치 오차 보정 절차를 설명하기 위한 또 다른 동작 절차도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0017] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 상기와 같은 과제, 해결 수단 및 효과를 가지는 본 발명인 마그네틱 랜드마크를 이용한 모바일 로봇의 전역 위치 추정 및 보정 방법에 관한 바람직한 실시예를 상세하게 설명한다.
- [0018] 본 발명인 마그네틱 랜드마크를 이용한 모바일 로봇의 전역 위치 추정 및 보정 방법에 관하여 설명하기 전에, 본 발명을 달성하기 위하여 갖추어야 할 환경 및 조건에 대하여 설명한다.
- [0019] 모바일 로봇은 두 바퀴 또는 네 바퀴 형태가 일반적이며, 두 바퀴 형태의 모바일 로봇이 가장 널리 이용되고 있다. 두 바퀴로 구동되는 모바일 로봇은 양쪽 바퀴의 각속도를 이용하여 로봇의 움직임을 동역학적으로 표현하는 것이 가능하다. 본 발명에서는 도 1 및 도 2에 도시된 두 바퀴가 각각 구동되는 방식(differential-drive)의 모바일 로봇을 이용한다.
- [0020] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명에 적용되는 두 바퀴를 가지는 모바일 로봇(10)은 두 개의 바퀴(1)가 바닥면 외부로 돌출되어 있다. 이 두 개의 바퀴(1)는 후술할 복수개의 랜드 마크가 형성된 이동판의 상부면에 접촉하여 상기 모바일 로봇이 이동할 수 있도록 한다.
- [0021] 한편, 상기 모바일 로봇의 바닥면에는 도 2에 도시된 바와 같이, 상기 두 개의 바퀴(1)를 연결하는 직선(이하 "두 바퀴의 중심축"이라 함)과 수직인 직선 방향(이하 "모바일 로봇 이동 방향선"이라 함)에 두 개의 볼 캐스터(2)가 장착된다. 이러한 볼 캐스터(2)에 의하여 모바일 로봇이 이동할 때, 전후 방향으로 모바일 로봇이 기울어지는 것을 방지할 수 있다.
- [0022] 한편, 상기 모바일 로봇(10)의 바닥면에는 복수 개의 홀 센서(3)가 부착된다. 도 2에서는 네 개의 홀 센서(3)가 부착된 상태를 예시한다. 상기 네 개의 홀 센서(3) 중, 두 개는 상기 두 바퀴의 중심축(두 개의 바퀴를 연결하는 직선)선 상에 부착되고, 나머지 두 개는 상기 모바일 로봇 이동 방향선으로 부착된다. 결과적으로, 상기 네 개의 홀 센서(3)들은 사각형 형태로 배치되고, 서로 대향하고 있는 각 홀 센서들 사이의 거리(두 바퀴의 중심축선 상에 부착된 두 개의 홀 센서들 사이의 거리와 모바일 로봇의 이동 방향선으로 부착된 두 개의 홀 센서들 사이의 거리)는 동일하다.
- [0023] 상기 모바일 로봇(10)의 바닥면에 부착되는 복수 개(도 2에서는 네 개의 홀센서를 예시함)의 홀 센서(3)들은 후술할 랜드 마크를 구성하는 각각의 자석의 자기장을 전압으로 검출하는 기능을 수행한다. 홀 센서(3)는 홀 효과를 기반으로 제작된 마그네틱 센서로서, 자기장 내에서 자기력선속밀도(Magnetic Flux Density)를 전압으로 검출할 수 있다. 이 홀 센서(3)는 자기장의 세기에 따라 선형적으로 반응하고, 미세한 자기장에도 안정적인 전압을 출력하여 위치 인식에 적용할 때, 정확성을 높일 수 있는 장점이 있다.
- [0024] 여기서, 본 발명에 적용되는 홀 센서(3)의 선형성을 살펴보기 위하여, 자석 상측에 위치하는 홀 센서로부터 검출된 홀 센서 출력 전압과 홀 센서의 위치(자석의 중심선(도 3에서 "c"로 표기된 선)에서 이격된 홀 센서의 위치) 관계를 나타내는 특성 그래프(도 3에 도시된 그래프)를 살펴본다.
- [0025] 본 발명에서는 두 개의 바퀴를 가진 모바일 로봇이 복수 개의 랜드 마크로 구성된 이동판을 이동하기 때문에, 상기 모바일 로봇이 상기 각각의 랜드 마크 상에 위치할 때, 상기 홀 센서(3)는 자석과 소정의 에어갭(air gap, 도 3에서 "h"로 표기됨)을 가지고, 5V의 전압 구동으로 0 ~ 5V 사이의 전압을 출력하도록 설정한다고 가

정하자.

[0026] 그러면, 도 3에 도시된 바와 같이, 홀 센서가 자기장의 영향을 받지 않는 경우(홀 센서가 자석의 중심선 상에 위치하는 경우)에는 약 2.47V, N극에서 최대 출력 전압인 약 4.7V, S극에서 최소 출력 전압인 약 0.3V가 나타남을 알 수 있다.

[0027] 도 3에 도시된 바와 같이, "l"은 자석의 중심선에서 홀 센서 사이의 수평 최단 거리를 의미한다. 이 수평 최단 거리 "l"이 도 3에 도시된 그래프에서 홀 센서 위치를 의미한다. 홀 센서 출력 전압에 관한 홀 센서 위치(자석의 중심선에서 홀 센서 사이의 수평 최단 거리) "l"은 자석 표면 위에서 자석의 너비 방향에 거의 영향을 받지 않는다. 예를 들어, 상기 자석의 위에 위치한 홀 센서가 중심선 상의 어느 위치에 있더라도, 홀 센서에서 검출한 전압은 약 2.47V이다. 결과적으로, 자석의 중심선에서 홀 센서까지의 거리인 "l"은 자석의 중심선에서 홀 센서가 위치한 길이 방향(도 3에서 "길이방향"으로 표시됨)으로 인정해도 무방하다.

[0028] 다음은 상기 모바일 로봇이 이동할 수 있는 공간을 제공하는 이동판에 대하여 살펴본다.

[0029] 도 4는 본 발명에 적용되는 이동판의 예시를 보여준다. 이동판(20)은 모바일 로봇이 이동할 수 있는 공간을 제공한다. 만약, 모바일 로봇(10)이 산업 현장에서 작업을 수행한다면, 상기 이동판(20)은 작업 공간의 바닥면에 해당한다고 볼 수 있다.

[0030] 상기 이동판(20)에는 이동하는 모바일 로봇(10)의 위치를 인식하기 위하여 제공하는 복수 개의 마그네틱 랜드마크(21)들이 도 4 및 도 5에 도시된 바와 같이 구비된다. 그리고, 각 마그네틱 랜드마크(21)는 n(자연수)개의 자석으로 구성된다.

[0031] 상기 각각의 마그네틱 랜드마크를 구성하는 자석들은 n개(여기서 n은 자연수)로 구성된다. 즉 상기 마그네틱 랜드마크는 복수개의 자석들로 구성될 수 있고, 다양한 형태로 배치된다. 상기 복수 개의 자석들로 구성되는 마그네틱 랜드마크는 다각형(삼각형(3개의 자석으로 구성하는 경우), 사각형(4개의 자석으로 구성하는 경우), 육각형(6개의 자석으로 구성하는 경우) 등) 형태로 구성되는 것이 바람직하다.

[0032] 도 4 및 도 5에서는 상기 마그네틱 랜드마크를 네 개의 자석들로 구성한 것을 예시한다. 도 4 및 도 5에 도시된 바와 같이, 상기 네 개의 자석들로 구성되는 랜드마크는 상기 자석들이 서로 대칭적으로 배치된다. 각각의 랜드마크(21)는 이동판(20) 내에서 격자 형태로 소정의 간격을 유지하며 특정한 좌표를 갖는다.

[0033] 상기 각각의 랜드마크(21)를 구성하는 자석은 이동판 내에 삽입된 형태로 구성된다. 다만, 모바일 로봇(10)의 이동에 방해가 되지 않도록, 상기 자석들이 삽입된 후 상기 이동판(20)은 평평한 상태로 가공된다.

[0034] 상기와 같이 이동판(20)에는 복수 개의 랜드마크(21)들이 서로 소정의 간격을 유지하여 배치되고, 각각의 랜드마크(21)들은 n 개(도 4 및 도 5에서는 4 개의 자석을 예시함)의 자석이 서로 대칭적으로 배열되어 구성된다.

[0035] 상기 n 개의 자석으로 이루어진 랜드마크들은 자석의 위치를 변형하여 형성될 수 있는 P개 종류의 랜드마크들이다. 이에 대하여 도 6을 참조하여 설명하면 다음과 같다.

$$P = m_1 H_N + \sum_{a=1}^{N-1} \left(\frac{1}{N} \sum_{l | \gcd(a, N-a)} \varphi(l) \frac{\left(\frac{N}{l}\right)!}{\left(\frac{a}{l}\right)! \left(\frac{N-a}{l}\right)!} \right)$$

[0036] 여기서, 상기 P는 이고, 여기서, N은 자석의 개수이고, H_N 은 N개의 자석을 한 방향으로 놓는 경우의 수를 의미하는 중복조합이고, m은 자석의 배치 방향의 경우의 수를 의미하고, gcd(a, N-a)는 a와 N-a의 최대공약수이고, $l | \gcd(a, N-a)$ 는 l이 gcd(a, N-a)의 약수임을 의미하며, $\varphi(l)$ 는 1 이하의 l과 서로소인 자연수의 개수를 의미하는 오일러 함수이다.

[0037] 상기 마그네틱 랜드마크는 n 개의 자석으로 구성되어, P개의 패턴들을 형성할 수 있다. 더 구체적으로, 3개의 자석으로 삼각형 형태의 랜드마크를 구성하는 경우, 4개(P)의 패턴을 형성할 수 있고, 4개의 자석으로 사각형 형태의 랜드마크를 구성하는 경우, 6개(P)의 패턴을 형성할 수 있고, 6개의 자석으로 육각형 형태의 랜드마크를 구성하는 경우, 14개(P)의 패턴을 형성할 수 있다. 물론 더 많은 자석들로 랜드마크를 구성하는 경우에는 P개의 패턴을 형성할 수 있다.

[0038] 3개의 자석을 사용하여 형성될 수 있는 패턴 개수 P는 다음과 같은 계산에 따라 구해질 수 있다.

$$P = 2_1H_3 + \sum_{a=1}^2 \left[\frac{1}{3} \sum_{d \in \{d, 3-a\}} \varphi(d) \frac{\binom{3}{d}}{\binom{a}{d} \binom{3-a}{d}} \right]$$

$$= 2 + \frac{1}{3} \varphi(1) \frac{(3)!}{(1)!(2)!} + \frac{1}{3} \varphi(1) \frac{(3)!}{(2)!(1)!} = 2 + 1 + 1 = 4$$

[0039]

[0040] 4개의 자석을 사용하여 형성될 수 있는 패턴 개수 P는 다음과 같은 계산에 따라 구해질 수 있다.

$$P = 2_1H_4 + \sum_{a=1}^3 \left[\frac{1}{4} \sum_{d \in \{d, 4-a\}} \varphi(d) \frac{\binom{4}{d}}{\binom{a}{d} \binom{4-a}{d}} \right]$$

$$= 2 + \frac{1}{4} \varphi(1) \frac{(4)!}{(1)!(3)!} + \left(\frac{1}{4} \varphi(1) \frac{(4)!}{(2)!(2)!} + \frac{1}{4} \varphi(2) \frac{(2)!}{(1)!(1)!} \right) + \frac{1}{4} \varphi(1) \frac{(4)!}{(3)!(1)!} = 2 + 1 + 2 + 1 = 6$$

[0041]

[0042] 6개의 자석을 사용하여 형성될 수 있는 패턴 개수 P는 다음과 같은 계산에 따라 구해질 수 있다.

$$P = 2_1H_6 + \sum_{a=1}^5 \left[\frac{1}{6} \sum_{d \in \{d, 6-a\}} \varphi(d) \frac{\binom{6}{d}}{\binom{a}{d} \binom{6-a}{d}} \right]$$

$$= 2 + \frac{1}{6} \varphi(1) \frac{(6)!}{(1)!(5)!} + \left(\frac{1}{6} \varphi(1) \frac{(6)!}{(2)!(4)!} + \frac{1}{6} \varphi(2) \frac{(3)!}{(1)!(2)!} \right)$$

$$+ \left(\frac{1}{6} \varphi(1) \frac{(6)!}{(3)!(3)!} + \frac{1}{6} \varphi(3) \frac{(2)!}{(1)!(1)!} \right) + \left(\frac{1}{6} \varphi(1) \frac{(6)!}{(4)!(2)!} + \frac{1}{6} \varphi(2) \frac{(3)!}{(2)!(1)!} \right) + \frac{1}{6} \varphi(1) \frac{(6)!}{(5)!(1)!}$$

$$= 2 + 1 + 3 + 4 + 3 + 1 = 14$$

[0043]

[0044] 이와 같은 계산에서, 1HN은 N개의 자석을 한 방향으로 놓을 수 있는 경우의 수이기 때문에, 항상 1이 되고, m은 자석의 배치 방향의 개수이기 때문에, [N/S], [S,N]로 항상 2가 된다. 단, 본 발명의 실시예에서 적용되는 바와 같이, N극과 S극을 가지는 막대 자석을 사용하는 경우에 한한다.

[0045] 도 6은 네 개의 자석들로 랜드마크를 구성하는 경우의 형성할 수 있는 패턴들을 예시한다. 이 예시를 참조하여 형성될 수 있는 패턴들에 대하여 설명한다.

[0046] 도 6에 도시된 바와 같이, 각 랜드 마크는 4개의 자석으로 구성된다. 따라서, 자석들의 배치를 변형하여 형성될 수 있는 패턴은 총 6가지이다. 각 랜드 마크를 구성하는 자석 중, 우측에 있는 자석에서부터 시계 반대 방향으로 각 자석의 극성을 나열하면, 도 6에 도시된 바와 같은 6개의 패턴을 형성할 수 있다. 예를 들어, 패턴 (Pattern) 1은 (NS SN NS SN)의 자석 나열 패턴을 가지고, 패턴 (Pattern) 2는 (NS NS NS SN)의 자석 나열 패턴을 가지고, 패턴 (Pattern) 3은 (NS SN SN SN)의 자석 나열 패턴을 가지고, 패턴 (Pattern) 4는 (SN NS NS SN)의 자석 나열 패턴을 가지고, 패턴 (Pattern) 5는 (NS NS NS NS)의 자석 나열 패턴을 가지며, 패턴 (Pattern) 6은 (SN SN SN SN)의 자석 나열 패턴을 가진다.

[0047] 상기 P개의 랜드 마크 패턴에 상기 모바일 로봇이 위치할 때, 상기 복수 개의 홀 센서에 의하여 출력되는 출력 전압 패턴도 상기 각각의 랜드 마크 패턴에 따라 상이할 것이다. 그리고, 상기 P개의 랜드 마크 패턴에서 상기 모바일 로봇이 회전할 때 또는 정지해 있을 때, 상기 복수 개의 홀 센서에 의하여 출력되는 출력 전압 패턴도 상기 각각의 랜드 마크 패턴에 따라 상이할 것이다.

[0048] 후술하겠지만, 상기 모바일 로봇은 상기 각각의 랜드 마크 패턴 상에서 회전할 때의 출력 전압 패턴과 상기 각각의 랜드 마크 패턴(P개의 패턴)을 일대일 매칭시켜 저장하고 있다. 따라서, 특정 랜드 마크에서 상기 모바일 로봇이 위치하면, 상기 모바일 로봇은 자신이 위치하고 있는 랜드 마크의 패턴이 P개 중, 어떤 패턴인지 용이하게 알 수 있다.

[0049] 한편, 상기 모바일 로봇은 사전에 자신이 이동하는 공간(작업 공간)인 이동환에 배치된 복수개의 랜드 마크의 배치 지도를 저장하고 있다. 즉, P개의 패턴들로 구성되는 복수개의 랜드 마크의 배치도를 사전에 저장하고

있다. 이를 랜드 마크 공간맵이라 칭한다.

- [0050] 상기 랜드 마크 공간맵은 도 5의 오른쪽에 보여준 바와 같다. 도 5에 도시된 바와 같이, 상기 랜드 마크 공간맵은 이동판의 특정 영역(점선으로 구획된 영역)에 배치된 32개의 랜드 마크들의 패턴들의 지도를 가지고 있다. 도 5에 도시된 바와 같이, 점선으로 구획된 영역 안에 있는 모바일 로봇은 랜드 마크 공간맵 상에서 패턴 5(4개의 자석으로 랜드마크를 구성하는 경우에 형성될 수 있는 6개의 패턴 중 하나)의 랜드 마크 상에 위치하고 있는 것임을 알 수 있다.
- [0051] 한편, 상기 모바일 로봇은 상기 랜드 마크 공간맵 상의 각 랜드 마크 패턴의 절대 위치 좌표값을 저장하고 있는 공간 절대 좌표 정보를 가지고 있다.
- [0052] 도 7에 도시된 바와 같이, 이동판의 특정 랜드 마크 상에 위치하고 있는 모바일 로봇이 (1)의 위치에 있다고 가정하자. 이때, 상기 모바일 로봇은 특정 랜드 마크((1)의 위치)에서 위치하면, 상기 특정 랜드 마크가 패턴 2(4개의 자석으로 구성되는 6개의 패턴 중 하나)임을 알 수 있다. 구체적으로, 랜드 마크에 정지해 있거나 회전하게 되면, 상기 특정 랜드 마크가 패턴 2임을 알 수 있다.
- [0053] 그리고, 이웃하고 있는 랜드 마크((위치 (2) 또는/및 위치 (3))로 이동하여 정지 또는 회전하면, 각 위치의 랜드 마크는 각각 패턴 6(위치 (2)의 랜드 마크 패턴)과 패턴 4(위치 (3)의 랜드 마크 패턴)임을 알 수 있다.
- [0054] 결과적으로 특정(위치 (1))의 랜드 마크가 패턴 2이면서, 오른쪽에 이웃하는 랜드 마크의 패턴이 패턴 6이고 전방쪽에 이웃하는 랜드 마크의 패턴이 패턴 4인 구역은 랜드 마크 공간맵 상에서 유일한 하나의 구역(노란색 및 청색으로 표시된 구역)임을 알 수 있고, 결과적으로 상기 특정 랜드 마크는 패턴 2이면서, 절대 위치 좌표 값이 (x_i, y_i) 임을 사전에 저장된 공간 절대 좌표 정보를 통하여 알 수 있다. 이에 대한 자세한 사항은 후술 하겠다.
- [0055] 한편, 본 발명은 모바일 로봇의 전역 위치를 추정하고 오차를 보정하는 방법에 관한 것이다. 즉, 모바일 로봇의 위치 오차가 발생하는 경우를 상정한 것이다. 여기서, 모바일 로봇의 위치 오차란 상기 모바일 로봇이 위치하고 있는 각 랜드 마크 좌표 원점(도 8에서 "0"으로 표기됨)에서 벗어나서 모바일 로봇이 위치하고 있을 때, 상기 모바일 로봇의 중심이 상기 랜드 마크 좌표 원점으로부터 벗어난 정도를 의미한다. 여기서, 위치 오차에 해당하는 벗어난 정도는 x축 방향 및 y축 방향으로의 벗어난 정도뿐만 아니라, 모바일 로봇의 두 바퀴의 중심축과 x축 또는 y축 사이의 이격된 각도 포함된다.
- [0056] 상기 모바일 로봇의 중심이란 복수 개의 홀 센서에 의하여 형성되는 공간의 중심점(네 개의 홀센서로 구성된 경우, 서로 대향하고 있는 홀 센서들 사이를 연결하는 각각의 가상선의 교차점)을 의미한다.
- [0057] 따라서, 모바일 로봇의 위치 오차가 없는 경우는 상기 모바일 로봇의 중심이 상기 랜드 마크 좌표계의 원점 상에 위치하고, 상기 모바일 로봇의 이동 방향선(또는 두 바퀴의 중심축)이 랜드 마크 좌표계의 x축 또는 y축에 일치할 때이다. 물론, 이와 같이 위치 오차가 없는 경우에는, 모바일 로봇의 네 개의 홀 센서들이 상기 모바일 로봇의 중심으로부터 동일한 거리에 위치하고, 각각의 자석 상에 위치하기 때문에, 상기 홀 센서들은 각각 대응되는 자석의 동일한 중심선 상에 위치할 것이다(네 개의 자석으로 랜드마크를 구성하고, 네 개의 홀센서를 사용한 경우).
- [0058] 즉, 도 9에 도시된 바와 같이, 모바일 로봇의 중심(도 9에서 " O_R "로 표기됨)이 랜드 마크 좌표계의 원점(0)과 일치하고, 모바일 로봇의 이동 방향선(도 9에서 " L_m "으로 표기됨)이 x축 또는 y축에 일치하며(도 9에서는 y축에 일치하는 것으로 예시함) 각각의 홀 센서(3)들은 각각 대응하는 자석의 중심선의 동일한 위치 상에 배치되는 경우가 위치 오차가 없는 경우이다.
- [0059] 모바일 로봇의 중심에서 각 홀 센서들까지의 거리와 랜드 마크의 원점에서 각 자석의 중심선의 중심까지의 거리는 약간 차이가 있을 수 있으나, 동일한 것이 바람직하다. 도 9에서는 모바일 로봇의 중심에서 각 홀 센서들까지의 거리와 랜드 마크의 원점에서 각 자석의 중심선의 중심까지의 거리가 동일하기 때문에, 각 홀 센서가 대응하는 자석의 중심선 중심 상에 위치하는 것을 볼 수 있다.
- [0060] 여기서, 각 홀 센서들에 대응하는 각각의 자석 또는 각 자석들에 대응하는 각각의 홀 센서란 위치 오차 추정 및 보정이 각 홀 센서가 상기 자석 상에 위치할 때에 수행되기 때문에, 서로 겹쳐지는 관계(즉 특정 홀 센서가 특정 자석 상에 존재하는 경우에 겹쳐지는 관계임)에 있는 경우에 대응한다고 정의한다.
- [0061] 한편, 본 발명은 모든 홀 센서들이 대응하는 각 자석 상에 위치하여 도 3에 도시된 "실제 사용하는 데이터 범위"를 이용하는 경우이다. 즉, 네 개의 홀 센서 중, 어느 하나라도 대응하는 자석에 벗어나서 위치하는 경우

(도 3의 그래프에서 "실제 사용하는 데이터 범위"에서 벗어나서 위치하는 경우)에는 기본적으로 모바일 로봇 제어 시스템에 큰 문제가 있는 것이기 때문에, 오차 보정 문제로 다루지 않는다. 정리하면, 본 발명에서는 이동 중에 있는 모바일 로봇이 목적지인 특정 랜드 마크로 이동한 후 정지하면, 당연히 모든 홀 센서들은 자석 상에서 벗어나지 않고 대응하는 각 자석 위에 위치하게 된다.

- [0062] 다음은 상술한 환경 및 조건에서 본 발명인 마그네틱 랜드마크를 이용한 모바일 로봇의 전역 위치 추정 및 보정 방법에 관한 실시예에 대하여 상세하게 설명한다.
- [0063] 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 마그네틱 랜드마크를 이용한 모바일 로봇의 전역 위치 추정 및 보정 방법에 관한 절차도이다.
- [0064] 이동판을 이동하는 모바일 로봇은 특정 랜드 마크에 도착 또는 놓여지면, 다음 목적지에 해당하는 랜드 마크로 이동하기 전에, 상기 모바일 로봇이 현재 위치하고 있는 랜드 마크의 전역적인 절대 위치 좌표값을 추정하고, 상기 절대 위치 좌표값에서 상기 모바일 로봇이 벗어난 정도에 해당하는 위치 오차를 추정하며, 위치 오차를 보정하는 절차를 수행한다.
- [0065] 먼저 모바일 로봇이 특정 랜드 마크의 패턴과 이웃하고 있는 랜드 마크의 패턴을 인식하여 현재 위치하고 있는 랜드 마크의 절대 위치 좌표값을 추정한다.
- [0066] 상기 모바일 로봇이 현재 위치하고 있는 랜드 마크의 절대 위치 좌표값을 추정하는 과정은 다음과 같다.
- [0067] 상기 모바일 로봇이 이동판에 놓여지면, 특정 랜드 마크 상에 위치하게 된다. 상기 모바일 로봇이 특정 랜드 마크에서, 상기 특정 랜드 마크의 패턴을 인식한 후, 이웃하고 있는 랜드 마크로 이동한다. 상기 특정 랜드 마크의 패턴 인식은 상기 랜드 마크 위에 정지한 상태로 인식할 수도 있고, 회전 동작에 의하여 인식될 수도 있다.
- [0068] 앞에서 설명한 바와 같이, 모바일 로봇은 복수 개의 서로 다른 랜드 마크의 패턴들과, 각 패턴들에서 정지해 있는 경우 또는 회전하는 경우 출력되는 전압 출력 패턴을 대응시켜 저장하고 있다. 따라서, 상기 특정 랜드 마크에서 회전하게 되면, 홀 센서를 통하여 출력 전압이 발생하는데, 상기 모바일 로봇은 발생하는 출력 전압과, 저장하고 있는 출력 전압 패턴들을 비교한다. 비교 결과, 상기 발생하는 출력 전압과 유사한 패턴의 출력 전압 패턴을 찾을 수 있고, 상기 찾은 출력 전압 패턴과 대응되어 저장되는 랜드 마크 패턴을 상기 특정 랜드 마크의 패턴으로 인식하게 된다.
- [0069] 예를 들어, 도 7에서 상기 모바일 로봇이 (1)의 위치의 특정 랜드 마크에 놓여지고, 이 특정 랜드 마크에서 회전하면, 이 특정 랜드 마크의 패턴이 패턴 2임을 인식할 수 있다.
- [0070] 상기와 같이 특정 랜드 마크의 패턴을 인식한 후에는 이웃하고 있는 랜드 마크로 이동하고, 상기 이동한 이웃하고 있는 랜드 마크에서, 랜드 마크의 패턴을 인식한다. 이 이웃하고 있는 랜드 마크의 패턴을 인식하는 방법은 상기 특정 랜드 마크의 패턴을 인식하는 과정과 동일하다.
- [0071] 예를 들어, 도 7에서 상기 모바일 로봇이 상기 특정 랜드 마크에서 (2)의 위치에 있는 이웃하고 있는 랜드 마크로 이동한 후, 정지 상태에서 또는 회전을 통하여, (2)의 위치의 이웃하고 있는 랜드 마크의 패턴은 패턴 6임을 인식할 수 있다.
- [0072] 그런 다음, 상기 인식된 이웃하고 있는 랜드 마크의 패턴과 상기 특정 랜드 마크의 패턴을 랜드 마크 공간맵과 비교한다. 예를 들어, 도 7에서 특정 랜드 마크의 패턴 2와 이웃하고 있는 랜드 마크의 패턴 6을 모바일 로봇이 저장하고 있는 랜드 마크 공간맵에 대응시켜 비교한다.
- [0073] 상기 비교 결과, 상기 이웃하고 있는 랜드 마크의 패턴과 특정 랜드 마크의 패턴으로 구성된 랜드 마크 그룹 패턴이 상기 랜드 마크 공간맵에 하나만 존재한 경우에는, 상기 랜드 마크 공간맵 상의 상기 모바일 로봇이 현재 위치하고 있는 랜드 마크의 위치 좌표값을 추출하고, 두개 이상 존재한 경우에는, 하나만 존재할 때까지, 이웃하고 있는 다른 랜드 마크로 이동한 후 상기 이웃하고 있는 랜드 마크에서, 랜드 마크의 패턴을 인식하는 과정과 랜드 마크의 패턴들을 랜드 마크 공간맵과 비교하는 과정을 반복 수행한다.
- [0074] 상기 랜드 마크 그룹 패턴이란 모바일 로봇이 정지 상태에서 인식한 또는 회전을 통하여 인식된 랜드 마크들의 패턴 그룹을 의미한다. 즉, 도 7에서 특정 랜드 마크(위치 (1)에 있는 랜드 마크)의 패턴 2와, 이 특정 랜드 마크에서 양의 x축 방향으로 이웃하고 있는 랜드 마크(위치 (2)에 있는 랜드 마크)의 패턴 6을 랜드 마크 그룹 패턴이라 한다.

- [0075] 상기와 같이 비교한 결과, 상기 이웃하고 있는 랜드 마크의 패턴과 특정 랜드 마크의 패턴으로 구성된 랜드 마크 그룹 패턴이 상기 랜드 마크 공간맵에 하나만 존재한다면, 상기 랜드 마크 공간맵 상의 상기 모바일 로봇이 현재 위치하고 있는 랜드 마크의 절대 위치 좌표값을 추출한다.
- [0076] 예를 들어, 도 7에서 상기와 같이 특정 랜드 마크의 패턴 2와, 양의 x축 방향으로 이웃하고 있는 랜드 마크의 패턴 6으로 구성되는 랜드 마크 그룹 패턴과 도 7에 도시된 랜드 마크 공간맵을 비교한 결과, 일치되는 랜드 마크 그룹 패턴이 상기 랜드 마크 공간맵에 하나만 존재한다면, 상기 모바일 로봇이 현재 위치하고 있는 랜드 마크(이 경우에는 도 7에서 위치 (2)의 랜드 마크)의 절대 위치 좌표값을 추출한다. 상기 모바일 로봇은 상기 랜드 마크 공간맵을 구성하는 패턴들의 위치에 대한 절대 좌표값을 저장하고 있다.
- [0077] 그런데, 상기와 같이 비교한 결과, 상기 이웃하고 있는 랜드 마크의 패턴과 특정 랜드 마크의 패턴으로 구성된 랜드 마크 그룹 패턴이 상기 랜드 마크 공간맵에 두 개 이상 존재한다면, 하나만 존재할 때까지, 이웃하고 있는 다른 랜드 마크로 이동한 후 상기 이웃하고 있는 랜드 마크에서, 랜드 마크의 패턴을 인식하는 과정과 인식한 랜드 마크의 패턴들을 랜드 마크 공간맵과 비교하는 과정을 반복 수행한다.
- [0078] 즉, 도 7에서, 랜드 마크 패턴 2와, 이 랜드 마크 패턴 2의 양의 x축 방향에 있는 랜드 마크 패턴 6으로 구성되는 랜드 마크 그룹 패턴은 실제 복수개 존재한다. 이 경우, 모바일 로봇은 다른 이웃하는 랜드 마크로 이동한다. 예를 들어, 도 7에서 위치 (3)에 있는 랜드 마크로 이동한다. 그런 다음, 정지 상태에서 랜드 마크 패턴을 인식하거나 회전하여 랜드 마크 패턴을 인식한다. 도 7에서는 위치 (3)의 랜드 마크의 패턴이 패턴 4로 인식하고 있다.
- [0079] 그러면, 모바일 로봇은 상기 특정 랜드 마크의 패턴(패턴 2)과 이웃하고 있는 랜드 마크의 패턴들, 즉 도 7에서 위치 (2)의 랜드 마크 패턴(패턴 6) 및 위치 (3)의 랜드 마크 패턴(패턴 4)들로 구성되는 랜드 마크 패턴 그룹이 상기 랜드 마크 공간맵에 하나만 존재하는지 확인한다.
- [0080] 확인 결과, 특정 랜드 마크 패턴 2와, 양의 x축 방향으로 이웃하는 랜드 마크 패턴 6 및 양의 y축 방향으로 이웃하고 있는 랜드 마크 패턴 4로 구성되는 랜드 마크 패턴 그룹은 도 7에 도시된 랜드 마크 공간맵에 하나만 존재한다.
- [0081] 따라서, 모바일 로봇은 모바일 로봇이 현재 위치하고 있는 랜드 마크(이 경우에는 위치 (3)의 랜드 마크)의 절대 위치 좌표값을 추출한다. 이와 같이, 랜드 마크 공간맵에 해당 랜드 마크 그룹 패턴이 하나만 존재하게 되면, 모바일 로봇은 현재 위치하고 있는 랜드 마크의 절대 위치 좌표값뿐만 아니라, 모든 랜드 마크의 절대 위치 좌표값을 알 수 있다. 왜냐하면, 상기 모바일 로봇은 랜드 마크 공간맵을 구성하는 모든 패턴들에 대응하여 절대 위치 좌표값을 저장하고 있기 때문이다.
- [0082] 이상에서 설명한 절차에 의하여 모바일 로봇이 현재 위치하고 있는 랜드 마크의 절대 위치 좌표값뿐만 아니라, 다른 랜드 마크의 절대 위치 좌표값도 알 수 있기 때문에, 전역 절대 위치 좌표값을 알 수 있게 되는 것이다.
- [0083] 한편, 상기 모바일 로봇이 특정 랜드 마크에서 랜드 마크 패턴을 인식한 후, 이웃하는 랜드 마크로 이동하는 과정 및 이웃하는 랜드 마크에서 다른 이웃하는 랜드 마크로 이동하는 과정에서, 위치 오차를 추정하고 보정하는 절차를 추가 수행할 수 있다.
- [0084] 즉, 특정 랜드 마크의 패턴을 인식한 후, 이웃하는 랜드 마크로 이동하기 전에, 상기 특정 랜드 마크에 위치하는 모바일 로봇의 위치 오차를 추정하고 보정하는 절차를 수행하거나, 이웃하는 랜드 마크의 패턴을 인식한 후, 다른 이웃하는 랜드 마크로 이동하기 전에, 상기 이웃하는 랜드 마크에 위치하는 모바일 로봇의 위치 오차를 추정하고 보정하는 절차를 수행할 수 있다. 이와 같은 모바일 로봇의 위치 오차를 추정하고 보정하는 절차는 이하에서 설명하는 위치 오차 추정 및 보정 절차를 적용할 수 있다.
- [0085] 상기와 같은 절차에 의하여, 상기 모바일 로봇이 현재 위치하고 있는 랜드 마크의 절대 위치 좌표값을 추정할 후에는 위치 오차를 추정하고 보정하는 절차를 수행한다.
- [0086] 상기 모바일 로봇이 현재 위치하고 있는 랜드 마크(도 7에 도시된 상황을 예시하면 위치 (3)의 랜드 마크) 상에 모바일 로봇이 위치하면, 복수 개의 홀 센서는 각각 홀 센서 출력 전압을 발생한다. 즉, 네 개의 자석으로 구성된 랜드 마크 상에 정지한 상기 모바일 로봇의 바닥면에 부착된 복수 개의 홀 센서 각각은 대응하는 자석에서 발생하는 자기장의 영향을 받아 전압을 검출한다.

[0087] 그런 다음, 상기 복수 개의 홀 센서에서 검출된 전압들과 사전에 실험에 의하여 결정된 홀 센서 출력 전압-홀 센서 위치 관계식을 이용하여 랜드 마크 좌표계의 원점에서 벗어난 상기 모바일 로봇의 위치 오차를 추정한다.

[0088] 도 7에서는 네 개의 홀 센서를 사용하여 전압을 검출하는 것을 예시하고 있고, 이 경우, 상기 홀 센서 출력 전압-홀 센서 위치 관계식은 아래 수식 (1)과 같다.

[0089]
$$l_i = k_i V_i \quad (i = 1, 2, 3, 4)$$
 수식 (1)

[0090] 이 수식은 각 홀 센서에서 검출한 전압과 앞에서 살펴본 자석의 중심선에서 홀 센서까지의 수평 최단 거리에 대한 관계식이다. 여기서 k_i 는 전압(V_i)과 수평 최단 거리(l_i)의 선형 비례 상수이다. 그리고, 각 랜드 마크를 구성하는 자석이 네 개이고, 홀 센서가 네 개이므로, i 는 1 ~ 4의 범위 내에 있는 자연수이다.

[0091] 상기 k_i 값은 사전에 실험을 통하여 결정되는 값이다. 따라서, V_i 값이 검출되면 수평 최단 거리인 l_i 가 상기 홀 센서 출력 전압-홀 센서 위치 관계식에 의하여 결정된다.

[0092] 구체적으로, 상기 홀 센서 출력 전압-홀 센서 위치 관계식은 도 3에 도시된 그래프(홀 센서 출력 전압과 홀 센서 위치에 관한 특성 그래프)를 통하여 결정된다. 즉, 도 3에 도시된 그래프를 통하여, 센서 출력 전압(V_i)와 수평 최단 거리(l_i)를 알 수 있고, 이 때 상기 센서 출력 전압과 수평 최단 거리 사이의 비례 상수 k_i 를 결정할 수 있다.

[0093] 상기와 같이 네 개의 홀 센서들이 대응하고 있는 각 자석의 자기장 영향을 받아, 홀 센서 출력 전압을 발생한 후, 상기 홀 센서 출력 전압-홀 센서 위치 관계식을 이용하면, 각각의 홀 센서와, 이 각각의 홀 센서에 대응하는 각 자석의 중심선 사이의 수평 최단 거리들(l_1, l_2, l_3, l_4)을 구할 수 있다.

[0094] 상기 수평 최단 거리들(l_1, l_2, l_3, l_4)이 구해지면, 이들을 이용하여 랜드 마크 좌표계의 원점에서 벗어난 상기 모바일 로봇의 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)를 추정할 수 있다.

[0095] 상기 위치 오차의 성분 중, x_e 는 랜드 마크 좌표계의 원점에서 랜드 마크 좌표계의 x축으로 상기 모바일 로봇의 중심이 벗어난 정도를 의미하고, y_e 는 랜드 마크 좌표계의 원점에서 랜드 마크 좌표계의 y축으로 상기 모바일 로봇의 중심이 벗어난 정도를 의미하며, θ_e 는 상기 랜드 마크 좌표계의 x축 또는 y축을 기준으로 상기 모바일 로봇의 두 바퀴 중심축이 기울어진 정도를 의미한다.

[0096] 상기와 같은 단계를 통하여, 수평 최단 거리들을 이용하여 랜드 마크 좌표계의 원점에서 벗어난 상기 모바일 로봇의 오차를 추정하면, 상기 모바일 로봇이 상기 랜드 마크 좌표계의 원점으로 이동될 수 있도록, 상기 추정된 위치 오차만큼 상기 모바일 로봇을 구동 이동시켜 위치 오차를 보정하는 단계를 수행한다.

[0097] 상술한 단계들을 통하여 현재 모바일 로봇이 위치하는 랜드 마크에서 모바일 로봇의 위치를 추정하고 보정한 후에는 다음 목적지(랜드 마크)로 이동한 후, 다시 위치 오차를 추정하고 보정하는 단계를 수행할 수 있다.

[0098] 그런데, 상기 단계에서 추정된 위치 오차 값이 무시할 정도가 작은 경우에는 상기와 같은 단계들을 수행하는 것보다 그냥 다음 목적지(랜드 마크)로 이동한 후, 위치 추정 및 보정 단계를 수행하는 것이 소비 전력, 작업 속도, 위치 추정 및 보정의 한계 등을 고려할 때, 더 바람직하다.

[0099] 따라서, 상기 모바일 로봇의 위치 오차를 추정하는 단계와 상기 위치 오차를 보정하는 단계 사이에 위치 오차 확인 단계를 더 포함시키는 것이 바람직하다.

[0100] 즉, 상기 단계를 통해 위치 오차 값이 추정되면, 추정된 위치 오차가 사전에 정해진 오차 허용 기준값의 이하 인지를 판단한다. 상기 오차 허용 기준값은 사전의 실험을 통하여 결정되는 값으로, 위치 오차를 무시해도 될 만한 위치 오차의 경계값이다. 이와 같은 오차 허용 기준값은 매우 정밀한 위치 인식이 필요한 경우에는 상대적으로 매우 작아질 것이고, 상대적으로 정밀도가 떨어져도 되는 위치 인식 시스템에서는 상대적으로 크게 결정할 수 있다.

[0101] 상기와 같이 추정된 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)가 사전에 결정된 오차 허용 기준값 이하인지를 판단하여, 상기 추정된 위치 오차가 상기 오차 허용 기준값 이하인 경우에는 오차 보정 없이 다음 목적지(랜드 마크)로 이동한

후, 상술한 단계를 수행하고, 만약 상기 추정된 위치 오차가 상기 오차 허용 기준값 이하가 아닌 경우(초과하는 경우)에는 위치 오차를 보정해야 하기 때문에, 위치 오차를 보정하는 단계인 단계를 수행한다.

[0102] 여기서, 추정된 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)가 사전에 결정된 오차 허용 기준값 이하이라는 의미는, 추정된 위치 오차의 성분 모두가 성분에 대한 오차 허용 기준값 이하인 경우를 의미한다. 예를 들어, 위치 오차의 각 성분 (x_e, y_e, θ_e)에 대한 오차 허용 기준값이 각각 (5mm, 5mm, 5°)로 결정했다면, 추정된 위치 오차의 각 성분은 상기 오차 허용 기준값의 각 성분 이하인 경우(예를 들어 (3mm, 3mm, 4°)인 경우)를 의미한다.

[0103] 상술한 모바일 로봇의 위치 오차(x_e, y_e, θ_e) 추정은 다양한 수식에 의하여 구해질 수 있다. 본 발명에서는 도 11을 참조하여 상기 모바일 로봇의 오차 추정 방법에 대하여 구체적으로 설명한다. 참고로, 도 11은 도 6에 도시된 6개의 패턴 중에, 패턴 1에 대응하는 자석 배치인 경우에 오차 추정을 설명하기 위한 예시도이다.

[0104] 도 11에 도시된 바와 같이, 모바일 로봇이 랜드 마크 상에 위치하되, 모바일 로봇의 중심이 상기 모바일 로봇이 현재 위치하고 있는 랜드 마크의 원점(O)에서 벗어나서 정지하고 있다고 하자. 이 때, 모바일 로봇의 중심은 랜드 마크 좌표계의 좌표 값 (x_e, y_e)에 위치하고 있고, 모바일 로봇의 바닥면에 부착된 네 개의 홀 센서(3)들은 각각 도 11에 도시된 바와 같이, 대응되는 각 자석 상에 위치한다(대응하는 자석의 중심선에서 벗어난 상태로 자석 상에 위치한다).

[0105] 그리고, 상기 모바일 로봇의 두 바퀴(1) 중심축은 랜드 마크 좌표계의 x축으로부터 θ_e 만큼 틀어져 있다. 따라서, 상기 모바일 로봇의 위치 오차는 (x_e, y_e, θ_e)가 된다.

[0106] 상기 모바일 로봇의 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)를 추정하기 위하여, 상기 홀 센서들에 의하여 검출된 전압들과, 사전에 결정된 수식 (1)의 홀 센서 출력 전압-홀 센서 위치 관계식을 이용하여 각 자석의 중심선에서 홀 센서까지의 수평 최단 거리를 구한다.

[0107] 도 11에서, 양의 x축에 위치하고 있는 자석의 자기장에 의하여, 이 x축에 위치하고 있는 자석 상에 위치하고 있는 홀 센서가 검출한 전압이 V_1 이고, 양의 y축에 위치하고 있는 자석의 자기장에 의하여, 이 y축에 위치하고 있는 자석 상에 위치하고 있는 홀 센서가 검출한 전압이 V_2 이고, 음의 x축에 위치하고 있는 자석의 자기장에 의하여, 이 x축에 위치하고 있는 자석 상에 위치하고 있는 홀 센서가 검출한 전압이 V_3 이며, 음의 y축에 위치하고 있는 자석의 자기장에 의하여, 이 y축에 위치하고 있는 자석 상에 위치하고 있는 홀 센서가 검출한 전압이 V_4 라 하자.

[0108] 그러면, 수식 (1)의 홀 센서 출력 전압-홀 센서 위치 관계식에 의하여 각 자석의 중심선과, 이 각 자석에 대응하고 있는 홀 센서까지의 수평 최단 거리를 구할 수 있다. 이 때, 구해진 수평 최단 거리는 각각 순서대로 l_1, l_2, l_3, l_4 가 된다.

[0109] 그런 다음, 상기 l_1, l_2, l_3, l_4 를 이용하여 상기 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)를 다음 수식 (2) ~ (4)를 통하여 추정한다.

[0110]
$$x_e = \frac{k_2 l_2 + k_4 l_4}{2},$$
 수식 (2)

[0111]
$$y_e = \frac{k_1 l_1 + k_3 l_3}{2},$$
 수식 (3)

[0112]
$$\theta_e = \sin^{-1} \left(\frac{k_2 l_2 - k_4 l_4}{d} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{k_1 l_1 - k_3 l_3}{d} \right)$$
 수식 (4)

[0113] 상기 수식에서, x축의 오차인 x_e 를 구하기 위하여 사용되는 l_2 및 l_4 는 랜드 마크 좌표계의 y축과, 이 y축 상에 위치하고 있는 두 개의 자석에 각각 대응하는 홀 센서 사이의 수평 최단 거리이다. 즉, l_2 는 양의 y축과, 이 y축 상에 놓여 있는 자석에 대응하는 홀 센서 사이의 수평 최단 거리이고, l_4 는 음의 y축과, 이 y축 상에 놓여 있는 자석에 대응하는 홀 센서 사이의 수평 최단 거리이다.

- [0114] 또한, y 축의 오차인 y_e 를 구하기 위하여 사용되는 l_1 및 l_3 는 랜드 마크 좌표계의 x 축과, 이 x 축 상에 위치하고 있는 두 개의 자석에 각각 대응하는 홀 센서 사이의 수평 최단 거리이다. 즉, l_1 는 양의 x 축과, 이 x 축 상에 놓여 있는 자석에 대응하는 홀 센서 사이의 수평 최단 거리이고, l_3 는 음의 x 축과, 이 x 축 상에 놓여 있는 자석에 대응하는 홀 센서 사이의 수평 최단 거리이다.
- [0115] 또한, x 축 또는 y 축을 기준으로 모바일 로봇의 두 바퀴(1)의 중심선이 이격된 각에 해당하는 오차 θ_e 를 구하기 위하여 사용되는 d 는 도 11에 도시된 바와 같이, 서로 대향하고 있는(대각선 방향에 있는) 홀 센서들 사이의 거리이다. 그리고, l_1, l_2, l_3, l_4 는 상기 x_e, y_e 를 추정할 때 사용한 수평 최단 거리이다.
- [0116] 상기와 같이, 상기 θ_e 는 상기 모바일 로봇의 두 바퀴의 중심축(도 12에서 "w"로 표기됨)과 랜드 마크 좌표계의 x 축 또는 y 축 사이의 각인데, 도 12에 도시된 바와 같이, 상기 모바일 로봇의 두 바퀴(1)의 중심축(w)과 랜드 마크 좌표계의 x 축 사이의 각과, 상기 모바일 로봇의 두 바퀴(1)의 중심축(w)과 랜드 마크 좌표계의 y 축 사이의 각 중, 절대값이 더 작은 각에 해당한다. 따라서, 도 12의 경우에는 모바일 로봇의 두 바퀴(1)의 중심축(w)과 랜드 마크 좌표계의 x 축 사이의 각을 θ_e 로 선택한다.
- [0117] 상기 수식 (2) 내지 수식 (4)에서 k_1, k_2, k_3, k_4 는 랜드 마크에서의 모바일 로봇의 이동할 방향에 따라 1 또는 -1의 값을 가진다. 따라서, 상기 k_1, k_2, k_3, k_4 의 값은 각 랜드 마크의 패턴 및 각 랜드 마크에서의 모바일 로봇의 이동할 방향에 따라 1 또는 -1의 값을 가진다. 이에 대해서 설명하면 다음과 같다.
- [0118] 먼저, 자석 상에 위치한 홀 센서의 위치에 따른 출력 전압 관계는 도 3에 도시된 그래프를 따른다고 가정하자. 즉, 자석의 N극에서 최대 출력 전압값이 감지되고, 자석의 S극에서 최소 출력 전압값이 감지되는 것으로 한다.
- [0119] 먼저, 도 6에 도시된 랜드 마크 패턴들 중에, 패턴 1의 자석 배치인 경우에 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)를 구하는 수식에 대하여 살펴본다. 이 경우에도 기본적으로 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)는 상기 수식 (2) 내지 수식 (4)를 통하여 계산된다.
- [0120] 그러나, 모바일 로봇의 이동할 방향에 따라 k_1, k_2, k_3, k_4 의 값은 달라진다. 먼저, 자석 배치의 특성 상, 두 가지의 경우로 나뉘어 진다. 첫 번째는 모바일 로봇의 이동 방향이 도 6에 도시된 패턴들 중, 패턴 1에서 x 축 방향(도 11에서 좌우 방향)으로 이동할 경우에는 $k_1=1, k_2=1, k_3=1, k_4=1$ 의 값을 가지고, 두 번째는 모바일 로봇의 이동 방향이 도 6에 도시된 패턴들 중, 패턴 1에서 y 축 방향(도 11에서 전후 방향)으로 이동할 경우에는 $k_1=1, k_2=-1, k_3=1, k_4=1$ 의 값을 가진다.
- [0121] 다음은, 도 6에 도시된 랜드 마크 패턴들 중에, 패턴 2의 자석 배치인 경우에 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)를 구하는 수식에 대하여 살펴본다. 이 경우에도 기본적으로 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)는 상기 수식 (2) 내지 수식 (4)를 통하여 계산된다.
- [0122] 그러나, 모바일 로봇의 이동할 방향에 따라 k_1, k_2, k_3, k_4 의 값은 달라진다. 먼저, 자석 배치의 특성 상, 네 가지의 경우로 나뉘어 진다. 첫 번째는 모바일 로봇의 이동 방향이 도 6에 도시된 패턴들 중, 패턴 2에서 x 축 양의 방향(도 11에서 오른쪽 방향)으로 이동할 경우에는 $k_1=-1, k_2=1, k_3=1, k_4=1$ 의 값을 가지고, 두 번째는 패턴 2에서 y 축 양의 방향(도 11에서 윗 방향)으로 이동할 경우에는 $k_1=1, k_2=1, k_3=-1, k_4=1$ 의 값을 가지고, 세 번째는 패턴 2에서 x 축 음의 방향(도 11에서 왼쪽 방향)으로 이동할 경우에는 $k_1=1, k_2=1, k_3=1, k_4=-1$ 의 값을 가지며, 네 번째는 패턴 2에서 y 축 음의 방향(도 11에서 아랫 방향)으로 이동할 경우에는 $k_1=-1, k_2=-1, k_3=1, k_4=1$ 의 값을 가진다.
- [0123] 다음은, 도 6에 도시된 랜드 마크 패턴들 중에, 패턴 3의 자석 배치인 경우에 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)를 구하는 수식에 대하여 살펴본다. 이 경우에도 기본적으로 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)는 상기 수식 (2) 내지 수식 (4)를 통하여 계산된다.
- [0124] 그러나, 모바일 로봇의 이동할 방향에 따라 k_1, k_2, k_3, k_4 의 값은 달라진다. 먼저, 자석 배치의 특성 상, 네

가지의 경우로 나누어 진다. 첫 번째는 모바일 로봇의 이동 방향이 도 6에 도시된 패턴들 중, 패턴 3에서 x축 양의 방향(도 11에서 오른쪽 방향)으로 이동할 경우에는 $k_1=1, k_2=-1, k_3=-1, k_4=1$ 의 값을 가지고, 두 번째는 패턴 3에서 y축 양의 방향(도 11에서 윗 방향)으로 이동할 경우에는 $k_1=1, k_2=1, k_3=-1, k_4=-1$ 의 값을 가지고, 세 번째는 패턴 3에서 x축 음의 방향(도 11에서 왼쪽 방향)으로 이동할 경우에는 $k_1=-1, k_2=1, k_3=1, k_4=-1$ 의 값을 가지며, 네 번째는 패턴 3에서 y축 음의 방향(도 11에서 아랫 방향)으로 이동할 경우에는 $k_1=1, k_2=-1, k_3=1, k_4=-1$ 의 값을 가진다.

[0125] 다음은, 도 6에 도시된 랜드 마크 패턴들 중에, 패턴 4의 자석 배치인 경우에 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)를 구하는 수식에 대하여 살펴본다. 이 경우에도 기본적으로 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)는 상기 수식 (2) 내지 수식 (4)를 통하여 계산된다.

[0126] 그러나, 모바일 로봇의 이동할 방향에 따라 k_1, k_2, k_3, k_4 의 값은 달라진다. 먼저, 자석 배치의 특성 상, 네 가지의 경우로 나누어 진다. 첫 번째는 모바일 로봇의 이동 방향이 도 6에 도시된 패턴들 중, 패턴 4에서 x축 양의 방향(도 11에서 오른쪽 방향)으로 이동할 경우에는 $k_1=-1, k_2=1, k_3=-1, k_4=1$ 의 값을 가지고, 두 번째는 패턴 4에서 y축 양의 방향(도 11에서 윗 방향)으로 이동할 경우에는 $k_1=1, k_2=-1, k_3=-1, k_4=-1$ 의 값을 가지고, 세 번째는 패턴 4에서 x축 음의 방향(도 11에서 왼쪽 방향)으로 이동할 경우에는 $k_1=-1, k_2=1, k_3=-1, k_4=-1$ 의 값을 가지며, 네 번째는 패턴 4에서 y축 음의 방향(도 11에서 아랫 방향)으로 이동할 경우에는 $k_1=-1, k_2=-1, k_3=1, k_4=-1$ 의 값을 가진다.

[0127] 다음은, 도 6에 도시된 랜드 마크 패턴들 중에, 패턴 5의 자석 배치인 경우에 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)를 구하는 수식에 대하여 살펴본다. 이 경우에도 기본적으로 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)는 상기 수식 (2) 내지 수식 (4)를 통하여 계산된다.

[0128] 그러나, 모바일 로봇의 이동할 방향에 따라 k_1, k_2, k_3, k_4 의 값은 달라진다. 이 경우에는, 자석 배치의 특성 상, 모바일 로봇의 이동할 방향에 무관하게 한 가지 경우의 k_1, k_2, k_3, k_4 의 값만 존재한다. 즉, $k_1=-1, k_2=-1, k_3=-1, k_4=1$ 의 값을 가진다.

[0129] 다음은, 도 6에 도시된 랜드 마크 패턴들 중에, 패턴 6의 자석 배치인 경우에 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)를 구하는 수식에 대하여 살펴본다. 이 경우에도 기본적으로 위치 오차(x_e, y_e, θ_e)는 상기 수식 (2) 내지 수식 (4)를 통하여 계산된다.

[0130] 그러나, 모바일 로봇의 이동할 방향에 따라 k_1, k_2, k_3, k_4 의 값은 달라진다. 이 경우에도, 자석 배치의 특성 상, 모바일 로봇의 이동할 방향에 무관하게 한 가지 경우의 k_1, k_2, k_3, k_4 의 값만 존재한다. 즉, $k_1=-1, k_2=-1, k_3=-1, k_4=-1$ 의 값을 가진다.

[0131] 상기와 같이, 추정된 위치 오차를 이용하여 위치를 보정(모바일 로봇의 중심을 랜드 마크 좌표계의 원점으로 이동시킴과 동시에 모바일 로봇의 이동 방향선을 랜드 마크 좌표계의 x축 또는 y축에 일치시키는 보정)하는 방법은 크게 두 가지가 있다.

[0132] 도 13을 참조하여 첫 번째 위치 오차 보정 방법에 대하여 설명한다.

[0133] 먼저, 도 13의 (a)에 도시된 바와 같이, 모바일 로봇이 랜드 마크 상에 정지한 상태에서 위치 오차를 추정했다고 가정하자. 그런 다음, 추정된 위치 오차를 이용하여 위치 오차 보정을 수행한다.

[0134] 위치 오차 보정을 위하여, 먼저 도 13의 (b)에 도시된 바와 같이, 상기 추정된 위치 오차 값들을 이용하여 상기 모바일 로봇의 이동 방향선이 상기 랜드 마크 좌표계의 원점을 지나도록(향하도록), 상기 모바일 로봇을 회전시킨다. 이 때의 회전 방향은 회전각이 작은 방향으로 회전한다. 따라서, 도 13의 (b)는 도 13의 (a)에서 시계 반대 방향으로 회전한 상태이다. 이 때의 회전 각도는 추정된 위치 오차 값들을 이용하여 다양한 수식에 따라 계산될 수 있다.

[0135] 다음은, 상기 추정된 위치 오차 값들을 이용하여, 도 13의 (c)에 도시된 바와 같이, 상기 모바일 로봇을 상기

랜드 마크 좌표계의 원점으로 이동시킨다. 즉, 모바일 로봇의 중심을 상기 랜드 마크 좌표계의 원점으로 이동시킨다. 상기 랜드 마크 좌표계의 원점에서 좌표점 (x_e, y_e) 까지의 거리는 상기 추정된 위치 오차 값들을 이용한 다양한 수식에 의하여 계산될 수 있다.

[0136] 그런 다음, 상기 추정된 위치 오차 값들을 이용하여, 도 13의 (d)에 도시된 바와 같이, 상기 모바일 로봇의 이동 방향선이 상기 랜드 마크 좌표계의 x축 또는 y축에 일치하도록, 상기 모바일 로봇을 회전시킨다. 이 때의 회전은 모바일 로봇의 이동 방향선이 모바일 로봇의 다음 목적지(랜드 마크) 이동 방향(도 13의 (a)에서 M_0 로 표기됨)과 일치하도록(향하도록) 회전하는 것이다. 이 경우의 회전 방향 역시, 작은 회전각을 가지는 방향으로 회전한다. 따라서, 도 13의 (d)는 도 13의 (c)가 시계 방향으로 회전한 상태이다.

[0137] 도 13에 도시된 위치 오차 보정 단계는 x축 및 y축 상의 위치 오차를 한 번의 이동으로 보정하는 단계이다. 즉, 랜드 마크 좌표계의 좌표점 (x_e, y_e) 에서 랜드 마크 좌표계의 원점으로 이동하기 위하여, x축 이동 및 y축 이동을 따로 수행하지 않고, 바로 랜드 마크 좌표계의 원점으로 이동하여 위치 오차를 보정하는 단계이다.

[0138] 다음은 도 14를 참조하여 두 번째 위치 오차 보정 방법에 대하여 설명한다.

[0139] 먼저, 도 14의 (a)에 도시된 바와 같이, 모바일 로봇이 랜드 마크 상에 정지한 상태에서 위치 오차를 추정했다고 가정하자. 그런 다음, 추정된 위치 오차를 이용하여 위치 오차 보정을 수행한다.

[0140] 상기 추정된 위치 오차 값(x_e, y_e, θ_e)들 중, θ_e 를 이용하여, 도 14의 (b)에 도시된 바와 같이, 상기 모바일 로봇의 이동 방향선이 상기 랜드 마크 좌표계의 x축에 수평하도록, 상기 모바일 로봇을 회전시킨다.

[0141] 회전 각도는 $(90^\circ - \theta_e)$ 를 이용하여 구할 수 있다. 예를 들어, θ_e 가 30° 라면 회전 각도는 60° 가 될 것이다. 이와 같은 결과는, 도 14의 (a)의 상태에서 도 14의 (b)의 상태로 변동되기 위해서는, 시계 방향 또는 시계 반대 방향으로 회전할 수 있는데, 두 방향 중에 작은 각만큼 회전하여 도 14의 (b) 상태로 간다는 것을 의미한다. 도 14의 (b)는 도 14의 (a) 상태에서 시계 방향으로 회전한 상태이다.

[0142] 도 14의 (b)에 도시된 상태가 되면, x축 방향의 보정을 수행한다. 즉, 상기 모바일 로봇을 x축 방향으로 x_e 만큼 이동시켜 x축 방향으로 위치 오차를 보정한다. 그러면, 도 14의 (c)에 도시된 상태가 된다. 여기서 x축 방향으로 이동이란 당연히 랜드 마크 좌표계의 x축의 보정을 위한 이동으로서, 도 14의 (c)에 도시된 바와 같이, 모바일 로봇의 두 바퀴의 중심축이 y축과 일치되도록 하는 이동을 의미한다.

[0143] x축 보정이 수행되었기 때문에, 다음은 y축 보정을 수행한다. 이를 위하여 상기 모바일 로봇의 이동 방향선이 y축과 일치하도록, 상기 모바일 로봇을 90° 회전시킨다. 그러면 도 14의 (d)에 도시된 상태가 된다. 그런 다음, 상기 모바일 로봇을 y축 방향으로 y_e 만큼 이동시켜 y축 방향의 위치를 보정한다. 그러면, 도 14의 (e)에 도시된 상태가 된다. 여기서 y축 방향으로 이동이란 당연히 랜드 마크 좌표계의 y축의 보정을 위한 이동으로서, 도 14의 (e)에 도시된 바와 같이, 모바일 로봇의 두 바퀴의 중심축이 x축과 일치되도록 하는 이동을 의미한다.

[0144] 이와 같은 과정을 통하여, 모바일 로봇의 중심을 랜드 마크 좌표계의 원점으로 이동하여 위치 오차를 보정할 수 있다. 또한, 이와 같은 위치 오차 보정 과정을 수행하면, 모바일 로봇의 이동 방향선이 x축 또는 y축에 일치되기 때문에, 모바일 로봇의 두 바퀴 중심축도 x축 또는 y축에 일치한 상태가 된다.

[0145] 상술한 절차는 x축 보정을 먼저 수행한 후에 y축 보정을 수행함으로써, 위치 오차 보정을 수행하는 과정이다. 물론 y축 보정을 먼저 수행한 후에 x축 보정을 수행함으로써, 위치 오차 보정을 수행할 수도 있다. 이에 대하여 간략하게 살펴보면 다음과 같다.

[0146] 즉, 상기 추정된 위치 오차 값(x_e, y_e, θ_e)들 중, θ_e 를 이용하여, 상기 모바일 로봇의 이동 방향선이 상기 랜드 마크 좌표계의 y축에 수평하도록, 상기 모바일 로봇을 회전시킨다. 그러면, 도 14의 (a)에서 모바일 로봇이 θ_e 만큼 시계 반대 방향으로 회전한 상태가 될 것이다. 이 경우에도 최소 각도로 회전하여 상기 모바일 로봇의 이동 방향선이 상기 랜드 마크 좌표계의 y축에 수평하도록 하기 위하여 시계 반대 방향으로 모바일 로봇을 회전하도록 하는 것이다.

[0147] 그런 다음, y축 방향의 보정을 수행한다. 즉, 상기 상태에서 상기 모바일 로봇을 y축 방향으로 y_e 만큼 이동시켜 y축 방향으로 위치 오차를 보정한다. 여기서 y축 방향으로 이동이란 당연히 랜드 마크 좌표계의 y축의 보

정을 위한 이동으로서, 모바일 로봇의 두 바퀴의 중심축이 x축과 일치되도록 하는 이동을 의미한다.

- [0148] y축 보정이 수행되었기 때문에, 다음은 x축 보정을 수행한다. 이를 위하여 상기 모바일 로봇의 이동 방향선이 x축과 일치하도록, 상기 모바일 로봇을 90° 회전시킨다. 그런 다음, 상기 모바일 로봇을 x축 방향으로 x_e 만큼 이동시켜 x축 방향의 위치를 보정한다. 여기서 x축 방향으로 이동이란 당연히 랜드 마크 좌표계의 x축의 보정을 위한 이동으로서, 모바일 로봇의 두 바퀴의 중심축이 y축과 일치되도록 하는 이동을 의미한다.
- [0149] 이와 같은 과정을 통하여, 모바일 로봇의 중심을 랜드 마크의 원점으로 이동하여 위치 오차를 보정할 수 있다. 또한, 이와 같은 위치 오차 보정 과정을 수행하면, 모바일 로봇의 이동 방향선이 x축 또는 y축에 일치되기 때문에, 모바일 로봇의 두 바퀴 중심축도 x축 또는 y축에 일치한 상태가 된다.
- [0150] 상기와 같이 y축 위치 오차 보정을 수행한 후에 x축 위치 오차 보정을 수행한 경우에, 모바일 로봇의 최종 상태는, 위치 오차 보정이 완료된 상태에서 모바일 로봇의 이동 방향선이 x축과 일치된 상태에 있다.
- [0151] 상술한 바와 같이, 위치 오차 보정은 x축 보정 후에 y축 보정 순서로 수행할 수도 있고, y축 보정 후에 x축 보정 순서로 수행할 수도 있다. 다만, 위치 오차 보정 과정 중에, 모바일 이동 로봇의 총 회전각을 최소화시킴으로써, 전력 소모를 감소시키고 모바일 로봇의 작업 속도 또는 이동 속도를 향상시킬 필요가 있다.
- [0152] 따라서, 위치 오차 보정을 수행하는 현재의 랜드 마크에서 다음 목적지(랜드 마크) 이동 방향(도 14의 (a)에서 M_0 로 표기됨)을 고려하여 위치 오차 보정 순서를 결정하는 것이 바람직하다.
- [0153] 만약, 다음 목적지 이동 방향(M_0)이 x축 방향이라면, y축 방향의 위치 오차 보정을 먼저 수행한 후, x축 방향의 위치 오차 보정을 수행하고, 다음 목적지 이동 방향(M_0)이 y축 방향이라면, x축 방향의 위치 오차 보정을 먼저 수행한 후, y축 방향의 위치 오차 보정을 수행한다.
- [0154] 이와 같이, 다음 목적지 이동 방향을 고려하여 위치 오차 보정 순서를 결정함으로써, 위치 오차 보정 과정에서의 모바일 로봇의 총 회전각을 최소화할 수 있다. 예를 들어, 도 14의 (a)에 도시된 바와 같이, 다음 목적지 이동 방향(M_0)이 y축 방향이라면, 도 14에 도시된 절차대로, x축 방향으로 위치 오차 보정을 먼저 수행한 후에 y축 방향으로 위치 오차 보정을 수행하여, 최종 위치 오차 보정을 수행하는 것이 바람직하다.
- [0155] 상기 도 14에 도시된 절차대로(x축 보정 후 y축 보정) 보정을 수행하면, θ_e 가 30° 라 가정할 때, 위치 오차 보정 과정에서 상기 모바일 로봇은 총 150° 만큼 회전하여 위치 오차 보정을 완료하고, 다음 목적지로 이동할 수 있다. 즉, x축 보정을 하기 위하여 회전하는 각이 60° (도 14의 (a)에서 도 12의 (b)로 가기 위한 회전각)이고 y축 보정을 하기 위하여 회전하는 각이 90° (도 14의 (c)에서 도 14의 (d)로 가기 위한 회전각)이며, 위치 오차 보정이 완료되면, 별도의 회전 없이 다음 목적지로 이동하면 되기 때문에, 총 회전각은 150° 가 된다.
- [0156] 그러나, 반대로, y축 방향으로 위치 오차 보정을 먼저 수행하고, x축 방향으로 위치 오차 보정을 수행하여 최종 위치 오차 보정을 완료한 후, 다음 목적지로 이동하기 위해서는 총 210° 만큼 상기 모바일 로봇은 회전하게 된다. 즉, 최초 y축 보정을 수행하기 위하여 회전하는 각이 30° 이고, 다음 x축 보정을 수행하기 위하여 회전하는 각이 90° 이며, 다음 목적지 이동 방향으로 상기 모바일 로봇의 이동 방향선을 향하게 하기 위하여 회전하는 각이 90° 이기 때문에, 모바일 로봇의 총 회전각은 210° 가 된다.
- [0157] 이와 같이, 위치 오차 보정과 다음 목적지(랜드 마크)로 이동을 반복하는 모바일 로봇의 위치 오차 보정은 상술한 바와 같은 규칙에 따라 수행하는 것이 전력 소모 등을 최소화할 수 있는 장점이 있다.

부호의 설명

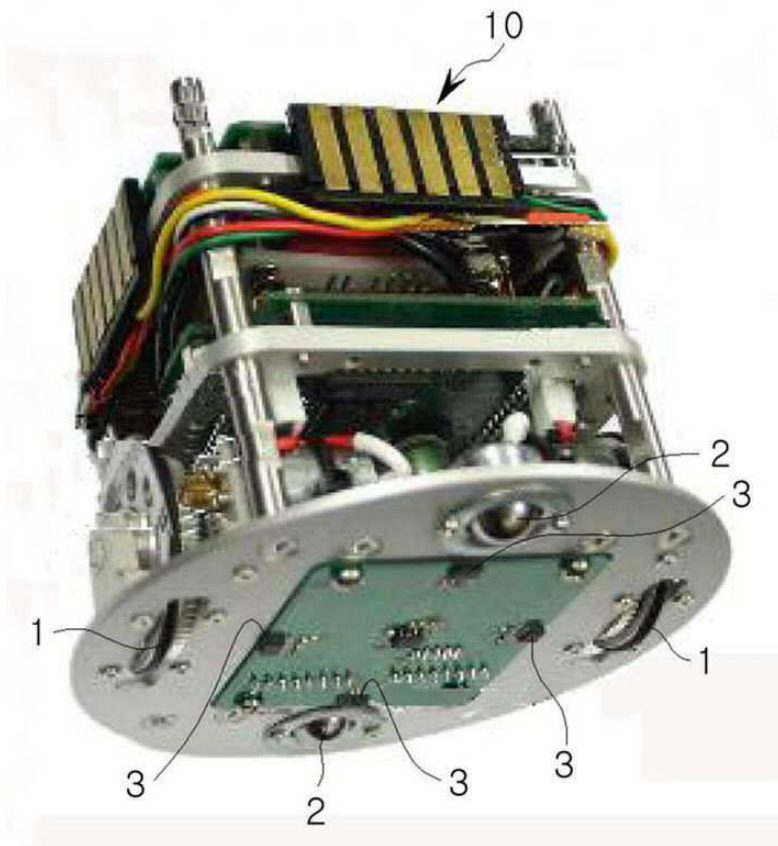
- [0158] 1 : 바퀴 2 : 볼 캐스터 3 : 홀 센서
- 10 : 모바일 로봇 20 : 이동판 21 : 마그네틱 랜드마크

도면

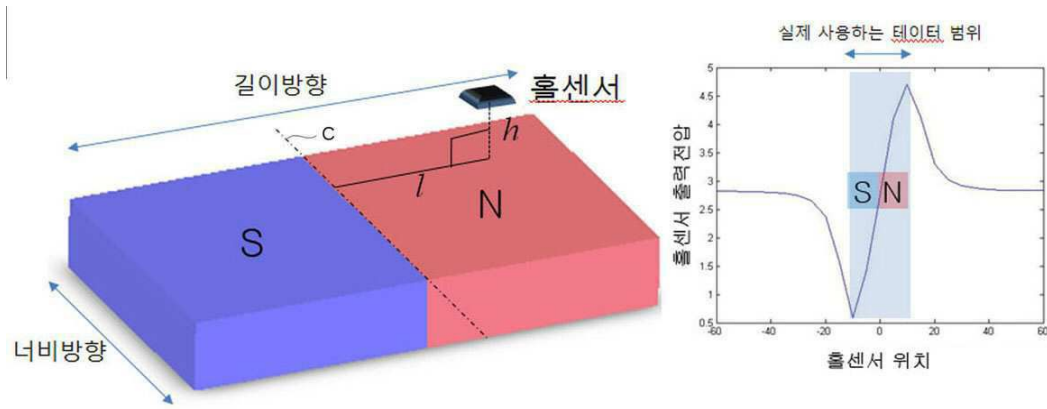
도면1



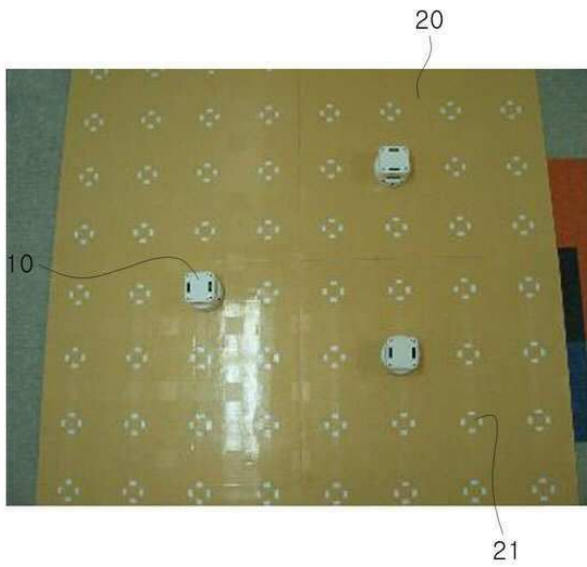
도면2



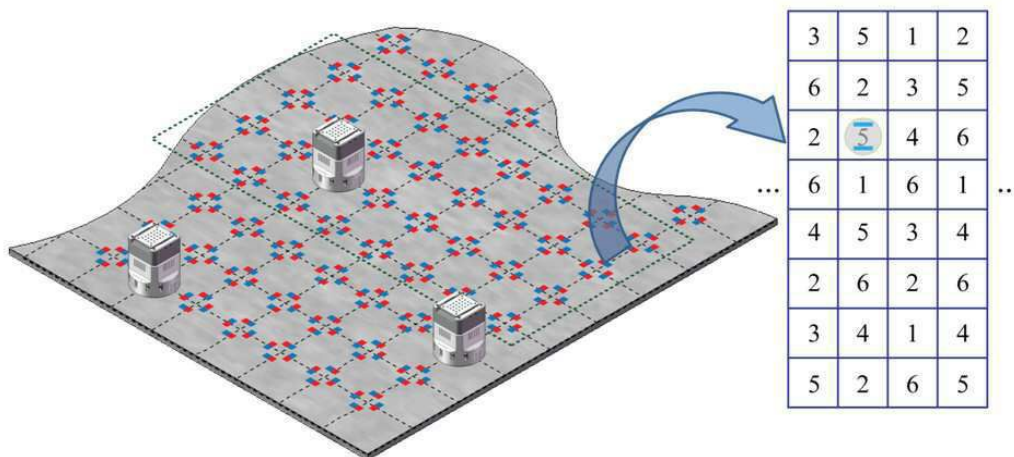
도면3



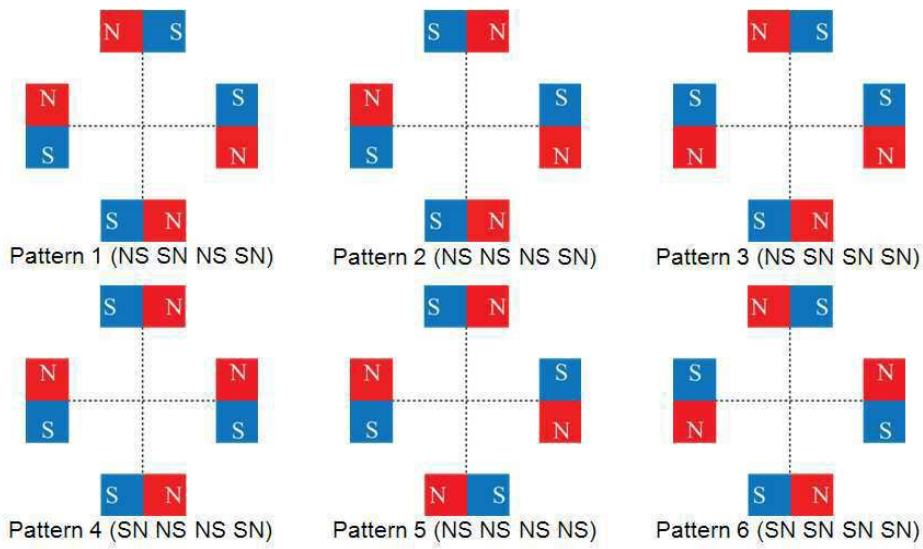
도면4



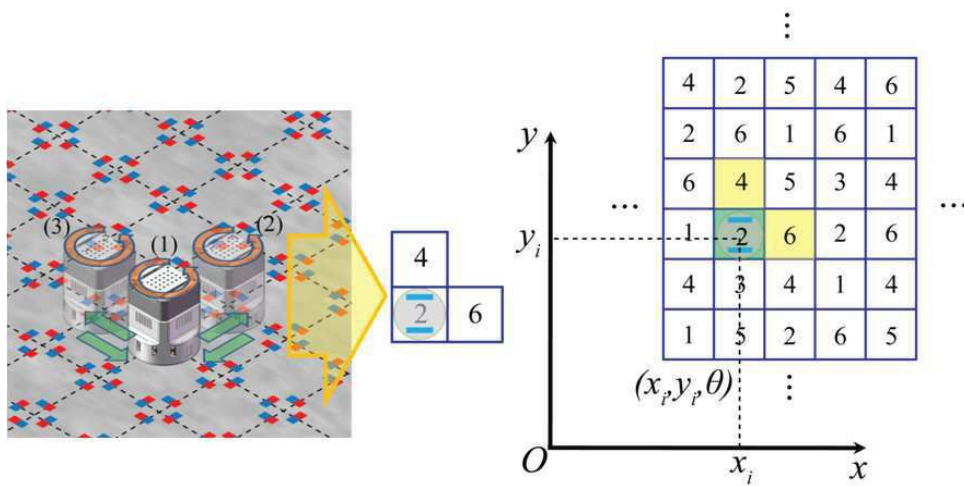
도면5



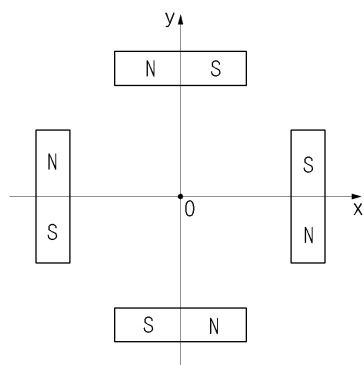
도면6



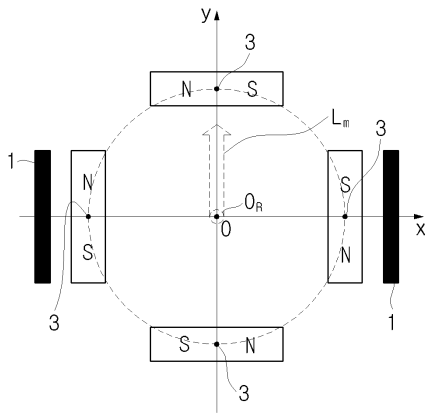
도면7



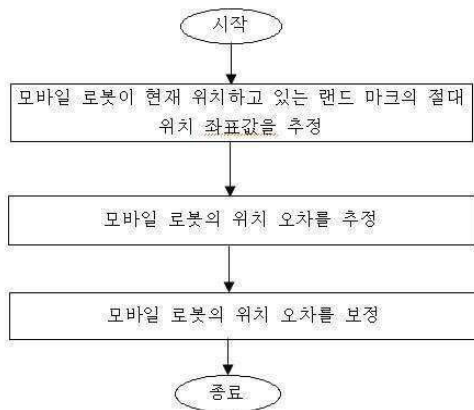
도면8



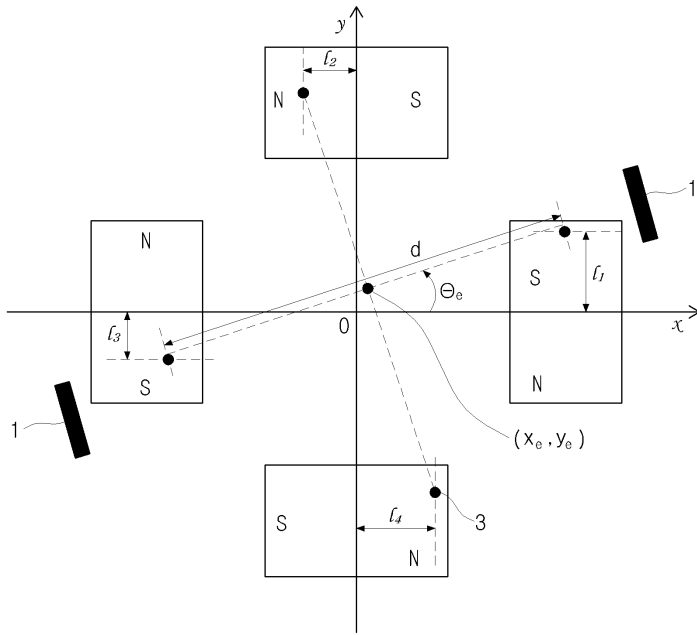
도면9



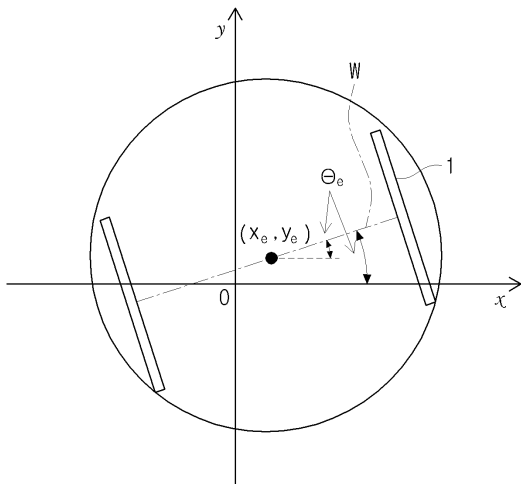
도면10



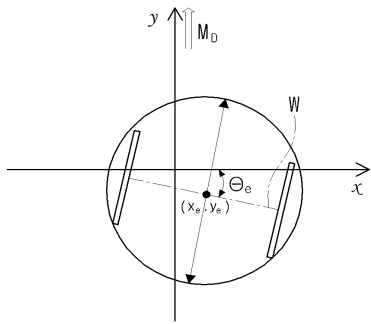
도면11



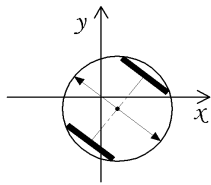
도면12



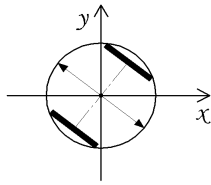
도면13



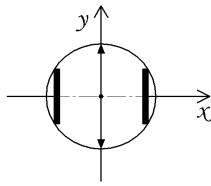
(a)



(b)

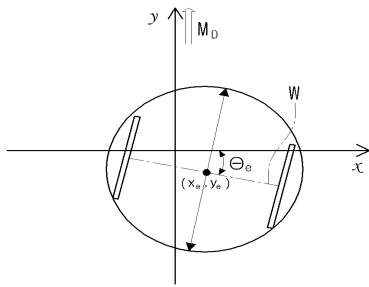


(c)

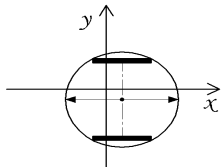


(d)

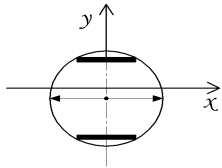
도면14



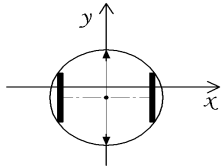
(a)



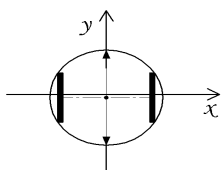
(b)



(c)



(d)



(e)