(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0025839
(43) 공개일자 2012년03월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B25J 9/16 (2006.01) *B25J 5/00* (2006.01)
G05D 1/08 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-0087985
(22) 출원일자 2010년09월08일
심사청구일자 2010년09월08일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가 1
(72) 발명자
정우진
서울특별시 종로구 사직로8길 4, 광화문스페이스본 105-509 (사직동)
정창배
서울특별시 동대문구 고산자로 534, 103동 902호 (제기동, 한신아파트)
이국태
서울특별시 동작구 사당로2길 2-32, 102동 702호 (상도동, 상도현대아파트)
(74) 대리인
특허법인남촌

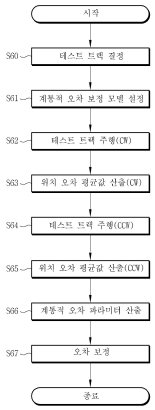
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 **2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법**

(57) 요 약

본 발명은 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법에 관한 것으로, (a) 적어도 하나의 직진 구간과 적어도 하나의 방향 전환 구간을 갖는 테스트 트랙의 주행에 따른 2-륜 이동 로봇의 휠 간격 오차와 휠 직경 오차에 대해 모델링된 계통적 오차 보정 모델이 설정되는 단계와, (b) 상기 테스트 트랙을 따라 보정 대상 2-륜 이동 로봇이 주행하는 단계와, (c) 상기 테스트 트랙 상의 테스트 종료 지점과 상기 보정 대상 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 상의 오도메트리 종료 지점 간의 위치 오차에 기초하여 계통적 오차 파라미터를 산출하는 단계와, (d) 상기 산출된 계통적 오차 파라미터가 상기 계통적 오차 보정 모델에 적용되어 상기 보정 대상 2-륜 이동 로봇의 계통적 오차가 보정되는 단계를 포함하며; 상기 계통적 오차 보정 모델은 상기 휠 간격 오차와 상기 휠 직경 오차에 의해 발생하는 상기 2-륜 이동 로봇의 주행 방향에 대한 오차의 보정을 위한 제1 타입 오차 보정 모델을 포함하는 것을 특징으로 한다. 이에 따라, 2-륜 이동 로봇에서 발생하는 오도메트리 오차 중 계통적 오차, 즉 휠 직경 오차와 휠 간격 오차가 동시에 발생하는데 기인한 오도메트리 오차를 오도메트리 오차 보정에 반영함으로써, 보다 정확한 오차 보정이 가능하게 된다.

대 표 도 - 도6



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	ITAC7000100100050001000100100
부처명	정보통신산업진흥원
연구사업명	융복합형 로봇 전문인력 양성
연구과제명	실내외 로봇자율주행 기술개발을 통한 수요지향적 글로벌 리더 양성
주관기관	고려대학교산학협력단
연구기간	2010.05.01 ~ 2011.04.30이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호	20100000267
부처명	한국연구재단
연구사업명	중견연구자지원-핵심연구
연구과제명	재구성 가능한 모듈형 로봇시스템의 설계 및 제어
주관기관	고려대학교산학협력단
연구기간	2010.03.01 ~ 2011.02.28

특허청구의 범위

청구항 1

2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법에 있어서,

(a) 적어도 하나의 직진 구간과 적어도 하나의 방향 전환 구간을 갖는 테스트 트랙의 주행에 따른 2-륜 이동 로봇의 휠 간격 오차와 휠 직경 오차에 대해 모델링된 계통적 오차 보정 모델이 설정되는 단계와,

(b) 상기 테스트 트랙을 따라 보정 대상 2-륜 이동 로봇이 주행하는 단계와,

(c) 상기 테스트 트랙 상의 테스트 종료 지점과 상기 보정 대상 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 상의 오도메트리 종료 지점 간의 위치 오차에 기초하여 계통적 오차 파라미터를 산출하는 단계와,

(d) 상기 산출된 계통적 오차 파라미터가 상기 계통적 오차 보정 모델에 적용되어 상기 보정 대상 2-륜 이동 로봇의 계통적 오차가 보정되는 단계를 포함하며;

상기 계통적 오차 보정 모델은 상기 휠 간격 오차와 상기 휠 직경 오차에 의해 발생하는 상기 2-륜 이동 로봇의 주행 방향에 대한 오차의 보정을 위한 제1 타입 오차 보정 모델을 포함하는 것을 특징으로 하는 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 계통적 오차 보정 모델은 상기 휠 직경 오차에 의해 상기 직선 구간에서 발생하는 오차의 보정을 위한 제2 타입 오차 보정 모델을 더 포함하며;

상기 제2 타입 오차 보정 모델은 UMBmark 오차 보정 모델의 Type B 오차 보정 모델로 설정되는 것을 특징으로 하는 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 (b) 단계는,

(b1) 상기 보정 대상 2-륜 이동 로봇이 제1 방향으로 상기 테스트 트랙을 따라 주행하는 단계와,

(b2) 상기 보정 대상 2-륜 이동 로봇이 상기 제1 방향의 반대의 제2 방향으로 상기 테스트 트랙을 따라 주행하는 단계를 포함하며;

상기 제1 타입 오차 보정 모델 및 상기 제2 타입 오차 보정 모델은 상기 제1 방향 및 상기 제2 방향으로의 상기 테스트 트랙의 주행에 따른 상기 2-륜 이동 로봇의 위치 오차에 대해 모델링되는 것을 특징으로 하는 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법.

청구항 4

제2항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 타입 오차 보정 모델은 상기 휠 직경 오차에 따라 상기 직선 구간과 상기 방향 전환 구간에서 발생하는 상기 2-륜 이동 로봇의 주행 방향에 대한 오차와 상기 휠 간격 오차에 따라 상기 방향 전환 구간에서 발생하는 상기 2-륜 이동 로봇의 주행 방향에 대한 오차가 반영되어 모델링되는 것을 특징으로 하는 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 휠 간격 오차에 따라 상기 방향 전환 구간에서 발생하는 상기 2-륜 이동 로봇의 주행 방향에 대한 오차는 상기 UMBmark 오차 보정 모델의 Type A 오차 보정 모델에 기초하여 모델링되는 것을 특징으로 하는 2-륜 이동

로봇의 오도메트리 오차 보정 방법.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 (c) 단계에서 산출되는 상기 계통적 오차 파라미터는 상기 제1 타입 보정 모델에 적용되는 제1 타입 오차 파라미터와, 상기 제1 타입 보정 모델에 적용되는 제2 타입 오차 파라미터를 포함하며;

상기 제1 타입 오차 파라미터는 수학식

$$\alpha = \frac{x_{cw} + x_{ccw}}{-4L} + \frac{\pi b}{4\left(\frac{-4L^2}{x_{cw} - x_{ccw}} - \frac{b}{2}\right)}$$

(여기서, α는 상기 제1 타입 오차 파라미터이고, x_{cw}는 상기 위치 오차 중 상기 제1 방향에 대한 제1 방향 x축 위치 오차이고, x_{ccw}는 상기 위치 오차 중 상기 제2 방향에 대한 제2 방향 x축 위치 오차이고, L은 정사각형 형태로 마련된 상기 테스트 트랙의 하나의 직선 구간의 길이이고, b는 보정 전의 휠 간격이다)

와, 수학식

$$\alpha = \frac{y_{cw} - y_{ccw}}{-4L} + \frac{\pi b}{4\left(\frac{-4L^2}{y_{cw} + y_{ccw}} - \frac{b}{2}\right)}$$

(여기서, y_{cw}는 상기 위치 오차 중 상기 제1 방향에 대한 제1 방향 y축 위치 오차이고, y_{ccw}는 상기 위치 오차 중 상기 제2 방향에 대한 제2 방향 y축 위치 오차이다) 중 어느 하나에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 2-륜 이동 로봇에서 발생하는 오도메트리 오차(Odometry error) 중 계통적 오차(Systematic error), 즉 휠 직경 오차(Wheel diameter error)와 휠 간격 오차(Wheelbase error)가 동시에 발생하는데 기인한 오도메트리 오차를 보다 정확히 보정할 수 있는 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 2-륜(2-Wheel) 이동 로봇에 대한 포즈 인식 방법에 대한 연구는 다양하게 진행되고 있으며, 이러한 포즈 인식 방법 중 이동 로봇의 휠에 설치된 휠 엔코더(Wheel encoder)를 이용한 오도메트리(Odometry)가 널리 알려져 있다. 순수 오도메트리에 의한 이동 로봇의 포즈 추정은 환경적인 변화나 환경에 대한 이전 지식을 요구하지 않는 특성이 있다.

[0003] 이동 로봇 분야에서 오도메트리의 포즈 추정에 오류를 발생시키는 오차의 원인은 일반적으로 2가지 유형으로 분류되고 있다. 첫 번째 오차 원인은 계통적 오차(Systematic error)로, 이는 오차 원인이 이동 로봇에 내재되어 결정된 상태의 원인에 해당한다. 계통적 오차의 원인으로는 2개의 휠 직경의 불일치, 휠의 미스얼라인먼트(Misalignment), 그리고 기구학적인 모델링 오차(Kinematic modeling error) 등이 있다.

[0004] 나머지 하나의 오차 원인은 비계통적 오차(Non-systematic error)이며, 이는 확률적 오차에 속한다. 비계통적 오차의 원인으로는 불규칙한 지면과 같은 환경적인 원인이나, 휠의 미끄러짐(Slippage) 현상 등이 있다. 이와 같은 비계통적 오차는 즉각적인 보정이 불가능하다. 만약, 비계통적 오차가 증가하게 되면, 이동 로봇의 포즈

추정을 위한 학문적인 오도메트리의 실제 적용은 어려워진다.

[0005] 순수 오도메트리(Pure odometry)는 상기와 같은 오차가 발생할 때, 오차가 누적되는 문제점을 갖고 있다. 그러나, 오도메트리 오차의 누적에도 불구하고, 계통적 오차의 보정은 계통적 오차가 이동 로봇에 내재되어 결정된 상태의 원인이라는 점에서 오차의 보정이 가능하다. 따라서, 계통적 오차를 감소시키기 위한 노력은 오도메트리의 정확성을 향상시키는데 즉각적으로 영향을 미치게 되므로, 근래에 이에 대한 연구가 활발해지고 있다.

[0006] J. Borenstein과 L. Feng는 논문 『Correction of Systematic Odometry Errors in Mobile Robots, IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 569-574, Pittsburgh, PA, August, 1995.』에서 2-륜 차동 이동 로봇(Two-wheeled differential drive mobile robot)에 대한 실질적인 보정 방법을 제안하고 있다. 이 논문에서는, 도 1에 도시된 바와 같이, 2-륜 이동 로봇이 사각 경로를 따라 주행한 후, 최종적인 위치 오차를 모니터링하여 오도메트리 오차를 보정하고 있다. 일반적으로 상기 논문에 게시된 오도메트리 오차 보정 모델을 UMBmark 오차 보정 모델이라 한다.

[0007] UMBmark 오차 보정 모델은 계통적 오차를 비교적 정확하게 보정해낸다는 유용성이 입증되었다. 그러나, 계통적 오차를 보정하기 위해 고려하여야 하는 중요한 문제는 휠 직경 오차와 휠 간격 오차가 동시에 발생한다는 점이다. UMBmark 오차 보정 모델은 휠 직경 오차와 휠 간격 오차가 완전히 독립적으로 발생한다는 가정에서 수립되어, 부정확성을 일정 부분 안고 있는 문제점이 있다.

[0008] 보다 구체적으로 설명하면, UMBmark 오차 보정 모델은 2-륜 이동 로봇을 미리 정의된 사각형 경로를 따라 시계방향과 반시계방향으로 주행시킨 뒤 최종 위치만을 측정하여 계통적 오차를 보정하는 기법이다. 여기서, 오도메트리를 부정확하게 하는 계통적 오차는 상술한 바와 같이, 휠 간격 오차와 휠 직경 오차이며, 휠 간격 오차와 휠 직경 오차에 의해 테스트 트랙을 돌고 난 후의 이동 로봇의 최종 위치는 초기 출발 위치로부터 벗어나게 된다.

[0009] 이 때, 이동 로봇의 실제 움직임에 있어, 휠 간격 오차와 휠 직경 오차는 서로 커플(couple)되어 최종 위치 오차를 유발하게 되지만, UMBmark 오차 보정 모델에서는 최종 위치 오차에 대한 영향이 휠 간격 오차와 휠 직경 오차에 의한 영향이 독립적으로 발생한다고 가정하게 된다. 이러한 가정을 기반으로, UMBmark 오차 보정 모델에서는 휠 간격 오차와 휠 직경 오차 각각이 최종 위치에 미치는 영향을 구하고, 이를 합산함으로써 두 원인에 의한 계통적 오차를 보정하게 된다. UMBmark 오차 보정 모델에서는 휠 간격 오차와 휠 직경 오차에 의한 영향을 각각 타입 A 오차(Type A error)와 타입 B 오차(Type B error)로 정의하고 있다.

[0010] 도 2는 타입 A 오차를 설명하기 위한 도면이고, 도 3은 타입 B 오차를 설명하기 위한 도면이다. 타입 A 오차는 계통적 오차 중 휠 간격 오차만이 존재하고 휠 직경 오차는 발생하지 않은 상태를 가정하고, 반대로 타입 B 오차는 계통적 오차 중 휠 직경 오차만이 존재하고 휠 간격 오차는 발생하지 않은 상태를 가정한다.

[0011] 그러나, 상술한 바와 같이, UMBmark 오차 보정 모델에서는 휠 간격 오차와 휠 직경 오차가 독립적으로 발생한다고 가정하고 있기 때문에 실제 이동 로봇의 움직임에 있어서 계통적 오차를 발생시키는 주요 원인인 휠 간격 오차와 휠 직경 오차가 서로 커플되어 동시에 이동 로봇의 최종 위치 오차에 미치는 영향을 반영하지 못하는 문제점이 있다.

[0012] 일반적으로 UMBmark 오차 보정 모델에서 이동 로봇의 오도메트리 계산은 아래의 [수학식 1] 내지 [수학식 4]를 이용한다.

[0013] [수학식 1]

$$x_k = x_{k-1} + \Delta d \cdot \cos(\theta_{k-1} + \Delta\theta/2)$$

$$y_k = y_{k-1} + \Delta d \cdot \sin(\theta_{k-1} + \Delta\theta/2)$$

$$\theta_k = \theta_{k-1} + \Delta\theta$$

[0014]

[0015] [수학식 2]

$$\Delta d = \frac{\Delta d_R + \Delta d_L}{2}$$

[0016]

[0017] [수학식 3]

$$\Delta\theta = \frac{\Delta d_R - \Delta d_L}{b}$$

[0018]

[0019] [수학식 4]

$$\Delta d_{R(L)} = \pi D_{R(L)} \frac{N_{R(L)}}{\mathrm{Re}_{R(L)}}$$

[0020]

[0021] 상기 [수학식 1] 내지 [수학식 4]에서, x_k는 시간 k에서 이동 로봇의 x 방향에서의 위치이고, y_k는 시간 k에서 이동 로봇의 y 방향에서의 위치이고, Θ_k는 시간 k에서 이동 로봇의 증가 주행 방향(Heading direction)이다. 그리고, Δd_R과 Δd_L은 각각 우측 휠과 좌측 휠에 대한 주행 변위(Incremental travel displacement)이고, $\Delta\Theta$는 이동 로봇에 대한 증가 각도(Incremental angle)이다.

[0022] 또한, D_R과 D_L은 각각 우측 휠과 좌측 휠의 명목 직경(Nominal diameter)이고, N_R과 N_L은 각각 우측 휠과 좌측 휠의 증가된 엔코더 펄스이며, Re_R과 Re_L은 각각 우측 휠과 좌측 휠의 엔코더 해상도(Encoder resolution)이다.

[0023] 만약, 이동 로봇의 좌측 휠과 우측 휠의 휠 직경이 동일하지 않고, 도 5에 도시된 바와 같이, 우측 바퀴의 직경이 미세하게 크다고 가정, 즉 휠 직경 오차가 존재하는 것으로 가정하고, 휠 직경의 측정 오차로 인해 이동 로봇에 휠 직경이 동일하다고 설정되는 경우에는, 이동 로봇을 직진으로 주행시키기 위해선 좌측 휠과 우측 휠의 회전 속도를 동일하게 입력하게 된다.

[0024] 이 경우, 양쪽 바퀴의 각속도가 동일하고 휠 직경이 동일하다고 설정되어 있기 때문에, 오도메트리 계산에서는 휠 간격 오차의 유무와 무관하게 이동 로봇이 직진하는 것으로 나타나는데, 이동 로봇의 실제 움직임에서는 우측 휠이 미세하기 크기 때문에 우측 바퀴의 이동량이 많아져, 도 4에 도시된 바와 같이, 이동 로봇의 움직임이 왼쪽으로 치우치게 된다.

[0025] 여기서, 휠 간격 오차가 존재하는 것으로 가정하면, [수학식 1] 내지 [수학식 4]를 이용한 오도메트리 계산에서 휠 직경 오차에 의한 위치 오차가 나타나지 않게 되며, 이는 [수학식 3]에서 방향, 이동 로봇에 대한 증가 각도인 $\Delta\Theta$를 계산하는데 있어 좌측 휠과 우측 휠의 이동량이 동일해서 로봇의 주행 방향이 변하지 않는 것으로 계산되기 때문이다. 따라서, 이러한 결과는 정확한 오도메트리 오차 보정을 저해하는 요인으로 작용하게 된다.

[0026] 또한, UMBmark 오차 보정 모델에서의 타입 B 오차(Type B error)에서는 휠 직경 오차만 존재하고, 휠 간격 오차는 없는 것으로 가정하는데, 휠 간격의 측정 오차가 없다고 하더라도, 도 5에 도시된 바와 같이, 직진 주행 후 90° 회전하는 주행 제어시, 이동 로봇의 실제 움직임은 90°가 아닌 다른 각도로 회전하게 된다. 이는 2-륜 이동 로봇이 휠의 구름 운동에 의하여 방향을 전환하는데 있어 좌측 휠과 우측 휠 간격이 휠의 구름 운동으로 전환되는데 있어 휠 직경 오차로 인해, 도 5에 도시된 바와 같이 오차가 나타나기 때문이다.

[0027] 따라서, UMBmark 오차 보정 모델을 이용하여서는 계통적 오차인 휠 간격 오차와 휠 직경 오차가 동시에 발생하는 경우를 정확히 보정하는 데에는 한계가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0028] 이에, 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 안출된 것으로서, 2-륜 이동 로봇에서 발생하는 오도메트리 오차 중 계통적 오차, 즉 휠 직경 오차와 휠 간격 오차가 동시에 발생하는데 기인한 오도메트리 오차를 보다 정확히 보정할 수 있는 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0029] 상기 목적은 본 발명에 따라, 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법에 있어서, (a) 적어도 하나의 직진 구간과 적어도 하나의 방향 전환 구간을 갖는 테스트 트랙의 주행에 따른 2-륜 이동 로봇의 휠 간격 오차와 휠 직경 오차에 대해 모델링된 계통적 오차 보정 모델이 설정되는 단계와, (b) 상기 테스트 트랙을 따라 보정 대상 2-륜 이동 로봇이 주행하는 단계와, (c) 상기 테스트 트랙 상의 테스트 종료 지점과 상기 보정 대상 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 상의 오도메트리 종료 지점 간의 위치 오차에 기초하여 계통적 오차 파라미터를 산출하는 단계와, (d) 상기 산출된 계통적 오차 파라미터가 상기 계통적 오차 보정 모델에 적용되어 상기 보정 대상 2-륜 이동 로봇의 계통적 오차가 보정되는 단계를 포함하며; 상기 계통적 오차 보정 모델은 상기 휠 간격 오차와 상기 휠 직경 오차에 의해 발생하는 상기 2-륜 이동 로봇의 주행 방향에 대한 오차의 보정을 위한 제1 타입 오차 보정 모델을 포함하는 것을 특징으로 하는 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법에 의해서 달성된다.

[0030] 여기서, 상기 계통적 오차 보정 모델은 상기 휠 직경 오차에 의해 상기 직선 구간에서 발생하는 오차의 보정을 위한 제2 타입 오차 보정 모델을 더 포함하며; 상기 제2 타입 오차 보정 모델은 UMBmark 오차 보정 모델의 Type B 오차 보정 모델로 설정될 수 있다.

[0031] 그리고, 상기 (b) 단계는 (b1) 상기 보정 대상 2-륜 이동 로봇이 제1 방향으로 상기 테스트 트랙을 따라 주행하는 단계와, (b2) 상기 보정 대상 2-륜 이동 로봇이 상기 제1 방향의 반대의 제2 방향으로 상기 테스트 트랙을 따라 주행하는 단계를 포함하며; 상기 제1 타입 오차 보정 모델 및 상기 제2 타입 오차 보정 모델은 상기 제1 방향 및 상기 제2 방향으로의 상기 테스트 트랙의 주행에 따른 상기 2-륜 이동 로봇의 위치 오차에 대해 모델링될 수 있다.

[0032] 또한, 상기 제1 타입 오차 보정 모델은 상기 휠 직경 오차에 따라 상기 직선 구간과 상기 방향 전환 구간에서 발생하는 상기 2-륜 이동 로봇의 주행 방향에 대한 오차와 상기 휠 간격 오차에 따라 상기 방향 전환 구간에서 발생하는 상기 2-륜 이동 로봇의 주행 방향에 대한 오차가 반영되어 모델링될 수 있다.

[0033] 그리고, 상기 휠 간격 오차에 따라 상기 방향 전환 구간에서 발생하는 상기 2-륜 이동 로봇의 주행 방향에 대한 오차는 상기 UMBmark 오차 보정 모델의 Type A 오차 보정 모델에 기초하여 모델링될 수 있다.

[0034] 여기서, 상기 (c) 단계에서 산출되는 상기 계통적 오차 파라미터는 상기 제1 타입 보정 모델에 적용되는 제1 타입 오차 파라미터와, 상기 제1 타입 보정 모델에 적용되는 제2 타입 오차 파라미터를 포함하며; 상기 제1 타입 오차 파라미터는 수학식

$$\alpha = \frac{x_{cw} + x_{ccw}}{-4L} + \frac{\pi b}{4\left(\frac{-4L^2}{x_{cw} - x_{ccw}} - \frac{b}{2}\right)}$$

(여기서, α는 상기 제1 타입 오차 파라미터이고, x_{cw}는 상기 위치 오차 중 상기 제1 방향에 대한 제1 방향 x축 위치 오차이고, x_{ccw}는 상기 위치 오차 중 상기 제2 방향에 대한 제2 방향 x축 위치 오차이고, L은 정사각형 형태로 마련된 상기 테스트 트랙의 하나의 직선 구간의 길이이고, b는 보정 전의 휠 간격이다)와, 수학식

$$\alpha = \frac{y_{cw} - y_{ccw}}{-4L} + \frac{\pi b}{4\left(\frac{-4L^2}{y_{cw} + y_{ccw}} - \frac{b}{2}\right)}$$

(여기서, y_{cw}는 상기 위치 오차 중 상기 제1 방향에 대한 제1 방향 y축 위치 오차이고, y_{ccw}는 상기 위치 오차 중 상기 제2 방향에 대한 제2 방향 y축 위치 오차이다) 중 어느 하나에 의해 산출될 수 있다.

발명의 효과

[0035] 상기와 같은 구성을 통해, 2-륜 이동 로봇에서 발생하는 오도메트리 오차 중 계통적 오차, 즉 휠 직경 오차와 휠 간격 오차가 동시에 발생하는데 기인한 오도메트리 오차를 오도메트리 오차 보정에 반영함으로써, 보다 정확한 오차 보정이 가능한 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법이 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0036] 도 1은 J. Borenstein과 L. Feng의 논문에 개시된 UMBmark 오차 보정 모델의 개념을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 UMBmark 오차 보정 모델의 타입 A 오차를 설명하기 위한 도면이고,

도 3은 UMBmark 오차 보정 모델의 타입 B 오차를 설명하기 위한 도면이고,

도 4는 휠 직경 오차가 존재할 때의 2-륜 이동 로봇의 주행 예를 도시한 도면이고,

도 5는 방향 전환 구간에서 계통적 오차에 따라 발생하는 2-륜 이동 로봇의 주행 방향에 대한 오차를 설명하기 위한 도면이고,

도 6은 본 발명에 따른 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법을 설명하기 위한 도면이고,

도 7 내지 도 9는 본 발명에 따른 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법의 효과를 설명하기 위한 시뮬레이션 결과를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0037] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명을 상세히 설명한다. 여기서, 본 발명에 따른 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법을 설명하는데 있어, 도 6 내지 도 9을 참조하여 설명한다.

[0038] 도 6을 참조하여 설명하면, 먼저, 본 발명에 따른 오도메트리 오차 보정 방법을 적용하기 위한 테스트 트랙을 결정한다(S60). 여기서, 본 발명에 따른 오도메트리 오차 보정 방법에서는 직선 구간과 방향 전환 구간을 갖는 테스트 트랙이 적용되는 것을 예로 하며, 도 1에 도시된 바와 같이, UMBmark 오차 보정 모델에 사용된 정사각형 형태의 테스트 트랙이 적용되는 것을 예로 한다.

[0039] 상기와 같이 테스트 트랙이 결정되면, 테스트 트랙의 주행에 따른 계통적 오차에 관한 계통적 오차 보정 모델이 모델링되어 설정된다(S61). 여기서, 본 발명에 따른 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법에 적용되는 계통적 오차 보정 모델에 대한 상세한 설명은 후술한다.

[0040] 계통적 오차 모델이 설정되면, 테스트 트랙을 따라 보정 대상이 되는 2-륜 이동 로봇이 주행한다. 여기서, 본 발명에서는 보정 대상 2-륜 이동 로봇이 제1 방향, 예를 들어 시계 방향을 따라 테스트 트랙을 주행하는 과정(S62)과, 제1 방향과 반대인 제2 방향, 예컨대 반시계 방향을 따라 테스트 트랙을 주행하는 과정(S64)을 거쳐, 2-륜 이동 로봇의 최종 위치에서의 위치 오차를 측정한다.

[0041] 여기서, 본 발명에 따른 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법에서는 시계 방향으로 테스트 트랙을 다수 회 주행한 후 위치 오차의 평균값을 산출하고(S63), 동일하게 반시계 방향으로 테스트 트랙을 다수 회 주행한 후 위치 오차의 평균값을 산출(S65)하여, 산출된 평균값을 이용하는 것을 예로 한다.

[0042] 그런 다음, 테스트 트랙의 주행에 따라 측정된 위치 오차, 즉 상술한 평균값을 이용하여 계통적 오차 파라미터를 산출한다(S66). 그리고, 산출된 계통적 오차 파라미터를 계통적 오차 보정 모델에 적용하여 2-륜 이동 로봇의 계통적 오차를 보정하게 된다(S67).

[0043] 이하에서는 본 발명에 따른 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법에 적용되는 계통적 오차 모델에 대해 상세히 설명한다.

[0044] 본 발명에 따른 2-륜 이동 로봇의 오차 보정 모델은 휠 간격 오차와 휠 직경 오차에 의해 발생하는 2-륜 이동 로봇의 주행 방향에 대한 오차의 보정을 위한 제1 타입 오차 보정 모델을 포함한다.

[0045] 여기서, 제1 타입 오차 보정 모델은 휠 직경 오차에 따라 테스트 트랙의 직선 구간과 방향 전환 구간에서 발생하는 2-륜 이동 로봇의 주행 방향에 대한 오차와, 휠 간격 오차에 따라 방향 전환 구간에서 발생하는 2-륜 이동 로봇의 주행 방향에 대한 오차가 반영되어 모델링된다. 즉, 휠 직경 오차와 휠 간격 오차, 두가지가 동시에 발생함에 따라 테스트 트랙의 주행 중에 발생하는 2-륜 이동 로봇의 주행 방향에 대한 오차가 함께 반영된다.

[0046] 도 5를 참조하여 보다 구체적으로 설명하면, 2-륜 이동 로봇이 초기 위치에서 출발하여 직선 구간(예를 들어, 4m)을 이동한 후, 방향 전환 구간에서 90° 의 회전을 하게 되면, 좌측 휠과 우측 휠이 각각 이동하는 거리 δ_L 및 δ_R의 크기는 휠 직경 오차에 의해 달라진다. 따라서, 도 5에 도시된 바와 같이, 우측 휠의 직경이 좌측 휠보다 큰 경우에는 90° 보다 더 회전하게 되며, 회전 종료 후의 최종 각도는 다음과 같이 유도될 수 있다.

[0047] 먼저, UMBmark 오차 보정 모델의 타입 B 오차와 같이, 휠 직경 오차 의해 우측 휠이 좌측 휠보다 큰 경우, 이동

로봇이 초기 출발 위치에서 4m의 직선 구간을 이동할 때, 실제 이동 로봇은 도 5의 (a)에 도시된 바와 같이, β 만큼의 각도로 주행 방향에 대한 오차가 발생한다.

[0048] 이후, 이동 로봇이 반시계 방향으로 90° 회전할 때, 좌측 휠과 우측 휠의 이동량으로부터 계산된 이동 로봇의 주행 방향(Heading direction)은 UMBmark 오차 보정 모델의 [수학식 3]을 이용하여 [수학식 5]와 같이 나타낼 수 있다.

[0049] [수학식 5]

[0050]
$$\theta_{90^\circ} = \beta + \sum_{i}^{n} \frac{((\Delta d_R + \varepsilon) - (-\Delta d_L))}{b}$$

[0051] 여기서, 우측 휠과 좌측 휠 각각의 주행 변위인 Δd_R과 Δd_L은 [수학식 4]를 이용하여 계산 가능하고, 우측 휠이, 도 5에 도시된 바와 같이, 미세하게 크다고 가정하였으므로, 양측 휠이 동일한 각속도로 회전하게 되면 우측 휠의 이동량이 더 커지게 된다. [수학식 5]는 다시 [수학식 6]과 같이 표현될 수 있다.

[0052] [수학식 6]

[0053]
$$\theta_{90^\circ} = \beta + \sum_{i}^{n} \frac{(\Delta d_R - (-\Delta d_L))}{b} + \sum_{i}^{n} \frac{\varepsilon}{b} = \beta - 90^\circ + \frac{\varepsilon \cdot n}{b}$$

[0054] [수학식 6]의 세 번째 항은 우측 휠이 미세하게 커서 발생하는 각도 γ(도 5의 (b) 참조)를 의미하며 [수학식 7]과 같이 표현될 수 있다.

[0055] [수학식 7]

[0056]
$$\gamma = \frac{\varepsilon \cdot n}{b}$$

[0057] 또한, [수학식 6]에서 두 번째 항은 좌측 휠과 우측 휠의 직경이 동일하다고 가정했을 때 90° 회전에 대한 값으로, [수학식 8]과 같이 표현될 수 있다.

[0058] [수학식 8]

[0059]
$$\sum_{i}^{n} \frac{(\Delta d_R + \Delta d_L)}{b} = \frac{2\Delta d \cdot n}{b} = -90^\circ$$

$$\therefore n = -90^\circ \cdot \frac{b}{2\Delta d}$$

[0060] 여기서, [수학식 7]의 휠 직경 오차로부터 발생하는 90° 회전시의 오차를 구하기 위해 이동 로봇이 직선 구간의 거리 L을 이동할 동안에 계산되는 이동 거리와, 이때 각도 오차 β를 [수학식 9]를 통해 산출할 수 있다.

[0061] [수학식 9]

[0062]
$$L = \sum_{i}^{m} \frac{((\Delta d_r + \varepsilon) + \Delta d_l)}{2} = (\Delta d + \frac{\varepsilon}{2}) \cdot m$$

$$\beta = \sum_{i}^{m} \frac{((\Delta d_r + \varepsilon) - \Delta d_l)}{b} = \sum_{i}^{m} \frac{\varepsilon}{b} = \frac{\varepsilon \cdot m}{b}$$

[0063] 그리고, [수학식 9]를 정리하면 [수학식 10]과 같이 표현될 수 있다.

[0064] [수학식 10]

$$m = \frac{b\beta}{\varepsilon}$$

$$L = \frac{\Delta d}{\varepsilon} \cdot b\beta + \frac{b\beta}{2}$$

[0065]

[0066] 결과적으로, [수학식 8]과 [수학식 10]을 이용해서 [수학식 7]에서 산출한 각도 γ에 대해 풀이하면 [수학식 11]과 같이 표현될 수 있다.

[0067] [수학식 11]

$$\gamma = -\frac{\pi}{4} \cdot \frac{b\beta}{(L - \frac{b\beta}{2})}$$

[0068]

[0069] 상기 [수학식 11]이 휠 직경이 다를 때, 90° 회전 입력에 대해 정확히 90° 회전보다 더 돌게 되는 회전 오차 각도를 나타내며, 이를 이용한 계통적 오차의 보정을 위한 계통적 오차 파라미터 중 제1 타입 오차 보정 모델에 적용되는 제1 타입 오차 파라미터는 [수학식 12]와 [수학식 13]과 같이 표현될 수 있다.

[0070] [수학식 12]

$$\alpha = \frac{x_{cw} + x_{ccw}}{-4L} + \frac{\pi b}{4\left(\frac{-4L^2}{x_{cw} - x_{ccw}} - \frac{b}{2}\right)}$$

[0071]

[0072] [수학식 13]

$$\alpha = \frac{y_{cw} - y_{ccw}}{-4L} + \frac{\pi b}{4\left(\frac{-4L^2}{y_{cw} + y_{ccw}} - \frac{b}{2}\right)}$$

[0073]

[0074] 여기서, [수학식 12] 및 [수학식 13]의 첫 번째 항은 UMBmark 오차 보정 모델에서 유도되는 오차 파라미터이고, 두 번째 항은, 도 5에 도시된 바와 같이, 휠 직경 오차에 따라 발생하는 이동 로봇의 주행 방향에 대한 오차가 반영된 것이다.

[0075] [수학식 12]에서 α는 제1 타입 오차 파라미터이고, x_{cw}는 테스트 트랙을 시계 방향으로 주행하였을 때 발생하는 x축 위치 오차이고, x_{ccw}는 테스트 트랙을 반시계 방향으로 주행하였을 때 발생하는 x축 위치 오차이고, L은 상술한 바와 같이 테스트 트랙의 직선 구간의 길이이며, b는 보정 전의 휠 간격, 즉 명목 휠 간격이다.

[0076] 또한, [수학식 13]에서 y_{cw}는 테스트 트랙을 시계 방향으로 주행하였을 때 발생하는 y축 위치 오차이고, y_{ccw}는 테스트 트랙을 반시계 방향으로 주행하였을 때 발생하는 y축 위치 오차이다.

[0077] 상기와 같이, [수학식 12] 및 [수학식 13]을 통해 산출되는 제1 타입 오차 파라미터 중 어느 하나를 UMBmark 오차 보정 모델의 타입 A 오차에 대한 보정 파라미터로 적용함으로써, UMBmark 오차 보정 모델 상에서의 타입 A 오차, 즉 휠 간격 오차의 보정에 휠 직경 오차가 함께 반영됨으로써, 보다 정확한 오도메트리 오차의 보정이 가능하게 된다.

[0078] 한편, 본 발명에 따른 계통적 오차 보정 모델은 휠 직경 오차에 의해 직선 구간에서 발생하는 위치 오차의 보정을 위한 제2 타입 오차 보정 모델을 포함할 수 있다. 여기서, 제2 타입 오차 보정 모델은 UMBmark 오차 보정 모델의 Type B 오차 보정 모델이 설정되는 것을 예로 한다.

[0079] 여기서, 본 발명에 따른 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법의 제2 타입 오차 보정 모델은 직선 구간에서의 주행시 휠 간격 오차에 의해 발생하는 오차를 반영하고 있지 않으나, UMBmark 오차 보정 모델의 Type B 오차 보정 모델의 적용시, 도 2 및 도 3에 도시된 바와 같이, 휠 간격 오차의 경우 직선 구간에서 유발하는 오

차가 휠 직경 오차에 의해 유발되는 오차에 비해 상대적으로 작으므로 본 발명에서는 제2 타입 오차 보정 모델로 UMBmark 오차 보정 모델의 Type B 오차 보정 모델을 적용한다.

[0080] 상기와 같이, 제1 타입 오차 보정 모델을 통해 2-륜 이동 로봇의 계통적 오차 중 휠 간격 오차를 보정하고, 제2 타입 오차 보정 모델을 통해 2-륜 이동 로봇의 계통적 오차 중 휠 직경 오차를 보정함으로써, 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정이 가능하게 된다.

[0081] 이하에서는, 도 7 내지 도 9를 참조하여 본 발명에 따른 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법에 따른 오도메트리 오차 보정의 정확성에 대해 설명한다.

[0082] 도 7은 테스트 트랙의 길이를 변화시키면서 2-륜 이동 로봇을 주행시켰을 때, 최종 위치로부터 계산된 휠 간격 오차(E_b)와 휠 직경 오차(E_d)를 나타낸 그래프이다. 도 7은 시뮬레이션 결과이므로, 초기에 설정된 휠 간격 오차(E_b)와 휠 직경 오차(E_d)의 값은 정확하게 설정 가능하다.

[0083] 도 7의 그래프에서 x축은 테스트 트랙의 하나의 직선 구간의 길이, 즉 테스트 트랙의 사이즈를 나타내며, y축은 최종 위치로부터 계산된 오차, 즉 휠 간격 오차(E_b) 및 휠 직경 오차(E_d)와, 초기 설정된 휠 간격 오차(E_b) 및 휠 직경 오차(E_d) 각각 간의 오차 비율을 나타내고 있다. 즉, 그래프 상에서의 y값이 커질수록 측정된 오차가 실제 오차와 차이가 있음을 나타내게 된다.

[0084] 그리고, 도 7에서는 휠 간격 오차(E_b)가 1.01이고, 휠 직경 오차(E_d)가 0.995로 초기 설정된 상태에서의 시뮬레이션 결과이다. 도 7의 (a)는 테스트 트랙의 직선 구간에서는 휠 직경 오차만이 발생하고 방향 전환 구간에서는 휠 간격 오차만이 발생하는 것으로 가정하여 시뮬레이션한 결과를 도시한 도면이다. 즉, UMBmark 오차 보정 모델이 가정하는 것과 같은 조건에서의 시뮬레이션 결과로, 테스트 트랙의 사이즈가 커질수록 실제 측정된 오차와 초기 설정된 오차 간의 차이가 커지는 것을 확인할 수 있다.

[0085] 이러한 결과는 테스트 트랙의 크기가 작으면 작을수록 2-륜 이동 로봇을 주행시키고 난 후 최종 위치 오차를 이용해 시스템 오차를 보정하려고 할 때, 테스트 트랙 사이즈를 최소화해야 함을 의미한다. 테스트 트랙의 크기가 커지면 커질수록 보정값의 오차가 커지는 것은 UMBmark 오차 보정 모델에 따라 최종 위치로부터 파라미터 보정을 구하는 과정 중에 사용되는 $\sin\gamma = \gamma$, $\cos\gamma = 1$ 이라는 수학적 근사식 때문이며, 테스트 트랙의 사이즈가 커질수록 휠 간격 오차와 휠 직경 오차에 의해 발생하는 각도 오차, 즉 2-륜 이동 로봇의 주행 방향에 대한 오차가 커지므로, 테스트 트랙 사이즈의 증가에 따라 근사화 오차가 커지는 현상이 반영된 것이다.

[0086] 그러나, 실제 2-륜 이동 로봇의 움직임에서는 휠 간격 오차와 휠 직경 오차가 동시에 발생하는 것은 상술한 바와 같다. 도 7의 (b)는 휠 간격 오차와 휠 직경 오차가 동시에 발생하는 조건에서의 시뮬레이션 결과로, 휠 간격 오차와 휠 직경 오차가 동시에 발생할 때 UMBmark 오차 보정 모델을 적용한 결과를 도시한 도면이다. 도 7의 (a)와 비교할 때, UMBmark 오차 보정 모델에서의 가정, 즉 직선 구간에서는 휠 직경 오차만 발생하고, 방향 전환 구간에서는 휠 간격 오차만이 발생한다는 가정에서의 시뮬레이션 결과인 도 7의 (a)와 다르다는 것을 확인할 수 있다. 특히, 도 7의 (b)에 도시된 바와 같이, 휠 간격 오차에서 많은 차이가 나타남을 확인할 수 있다.

[0087] 반면, 도 7의 (c)는 본 발명에 따른 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법을 적용한 결과를 나타낸 그래프로, 2-륜 이동 로봇의 최종 위치로부터 [수학식 12] 또는 [수학식 13]을 이용하여 계산된 휠 간격 오차와 휠 직경 오차를 이용한 것이다.

[0088] 본 발명에 따른 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법에서는 방향 전환 구간에서 휠 직경 오차에 의한 2-륜 이동 로봇의 주행 방향에 대한 오차가 포함되고, 직진 구간에서의 동시오차가 포함되어 있지 않음에도 불구하고 도 7의 (a)의 결과와 매우 유사하고, 도 7의 (b)에 나타낸 UMBmark 오차 보정 모델 보다 보다 정확함을 확인할 수 있다.

[0089] 상기와 같은 시뮬레이션 결과를 통해, 2-륜 이동 로봇의 계통적 오차를 보정하기 위해서는 휠 간격 오차와 휠 직경 오차가 동시에 발생하는 것을 고려하여야 보다 정확한 오도메트리 오차의 보정이 가능함을 알 수 있으며, 동시오차를 고려한 본 발명에 따른 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법이 효과적임을 확인할 수 있다.

[0090] 도 8 및 도 9는 휠 간격 오차와 휠 직경 오차의 초기 설정값을 달리하여 시뮬레이션 한 결과를 도시한 도면이다. 도 8은 휠 간격 오차(E_b)가 0.99이고, 휠 직경 오차(E_d)가 0.99로 초기 설정된 상태에서의 시뮬레이

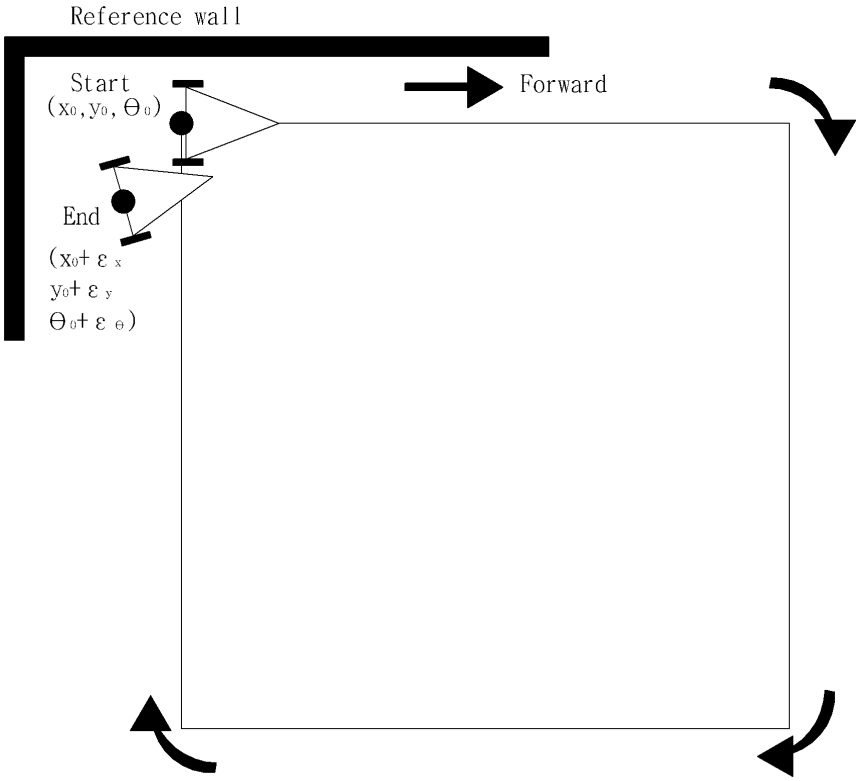
션 결과이고, 도 9는 휠 간격 오차(E_b)가 0.99이고, 휠 직경 오차(E_d)가 1.01로 초기 설정된 상태에서의 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.

[0091] 그리고, 도 8 및 도 9의 (a)가 UMBmark 오차 보정 모델이 적용된 그래프이고, 도 8 및 도 9의 (b)가 본 발명에 따른 2-륜 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법이 적용된 그래프이다. 도 8 및 도 9를 통해서도 본 발명에 따른 오도메트리 오차 보정 방법이 보다 정확한 오도메트리 오차 보정 성능을 나타냄을 확인할 수 있다.

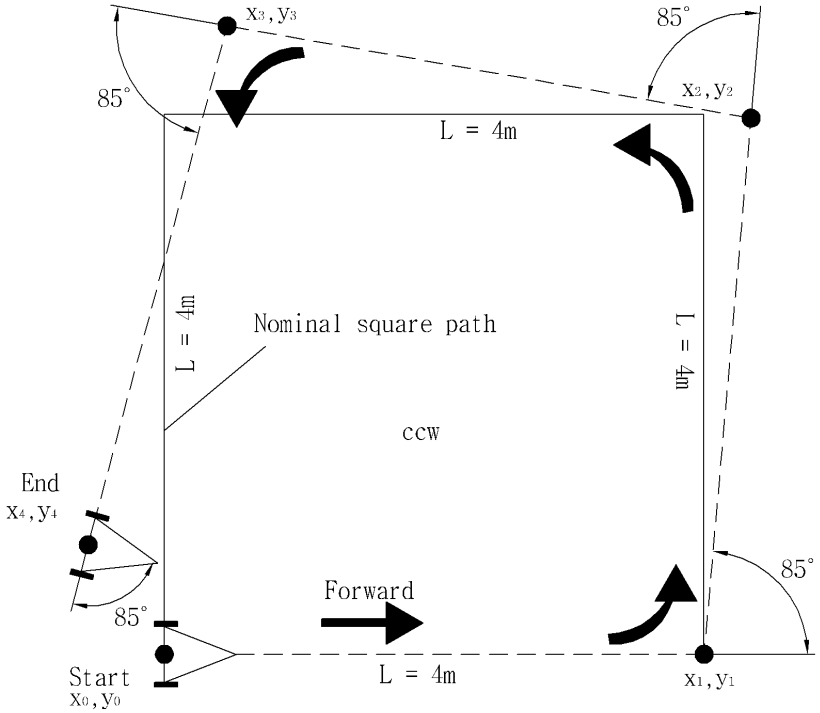
[0092] 비록 본 발명의 몇몇 실시예들이 도시되고 설명되었지만, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 당업자라면 본 발명의 원칙이나 정신에서 벗어나지 않으면서 본 실시예를 변형할 수 있음을 알 수 있을 것이다. 별명의 범위는 첨부된 청구항과 그 균등물에 의해 정해질 것이다.

도면

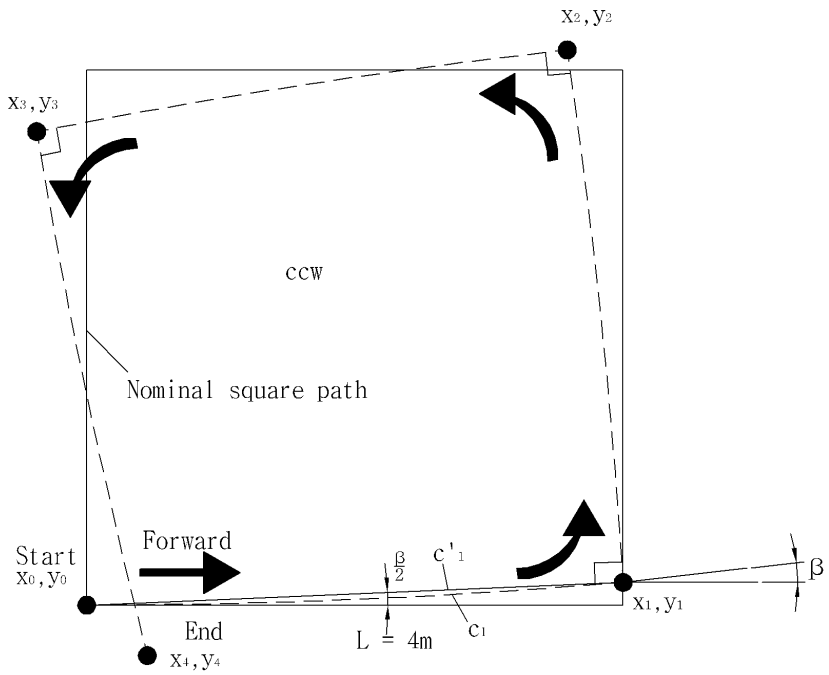
도면1



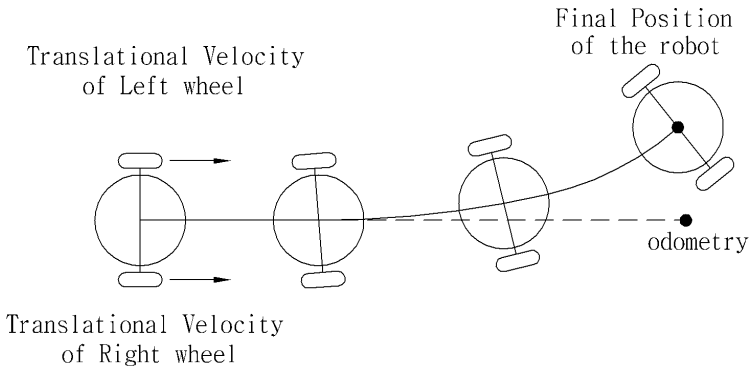
도면2


x3, y3
85°
85°
x2, y2
L = 4m
L = 4m
Nominal square path
L = 4m
ccw
End
x4, y4
85°
Forward
85°
Start
x0, y0
L = 4m
x1, y1

도면3

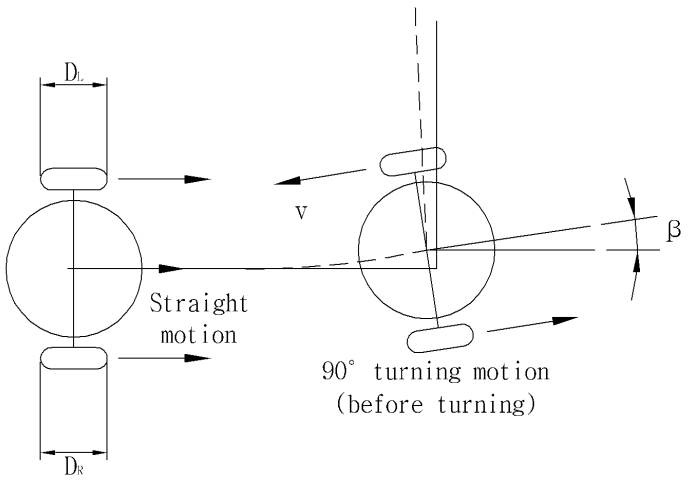

x2, y2
x3, y3
ccw
Nominal square path
Start
x0, y0
Forward
β/2
c'1
β
x1, y1
End
x4, y4
L = 4m
c1

도면4

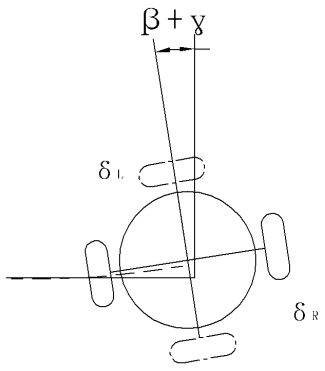


도면5

(a)

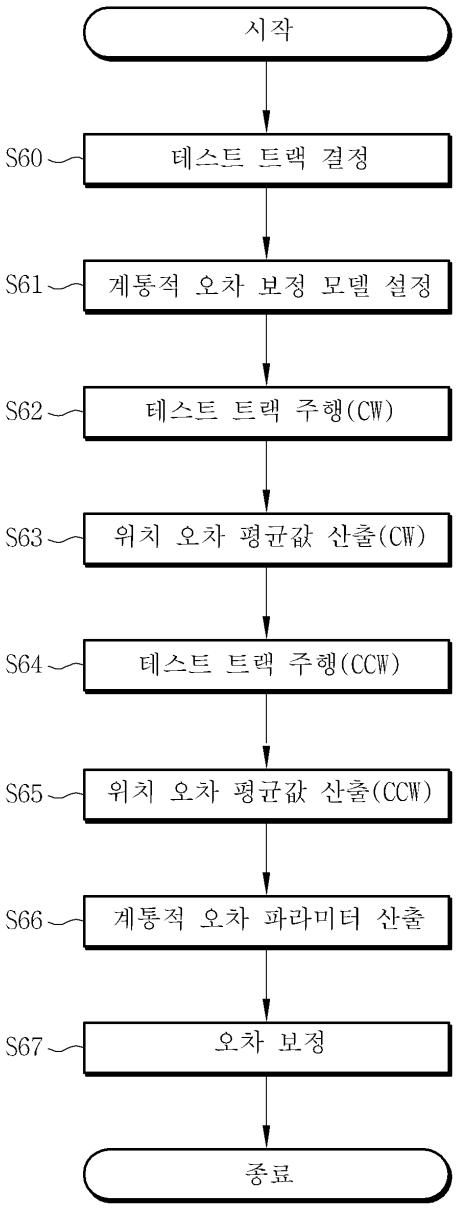


(b)



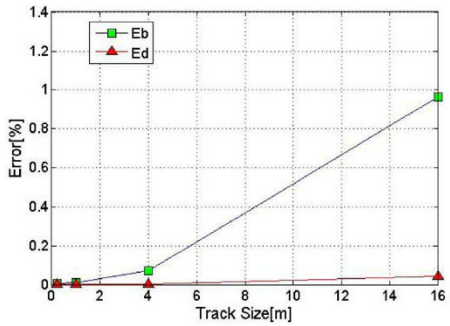
90° turning motion
(after turning)

도면6

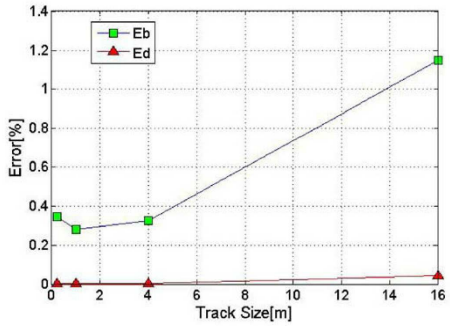

시작
S60
테스트 트랙 결정
S61
계통적 오차 보정 모델 설정
S62
테스트 트랙 주행(CW)
S63
위치 오차 평균값 산출(CW)
S64
테스트 트랙 주행(CCW)
S65
위치 오차 평균값 산출(CCW)
S66
계통적 오차 파라미터 산출
S67
오차 보정
종료

도면7

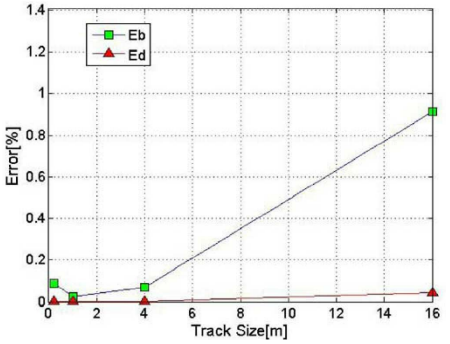
(a)


Eb
Ed
Error[%]
Track Size[m]

(b)

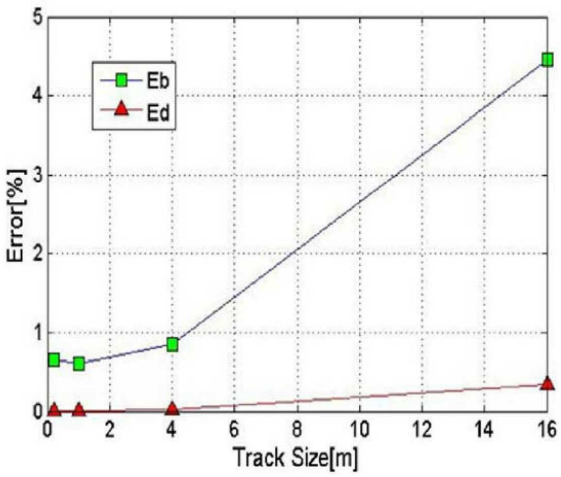

Eb
Ed
Error[%]
Track Size[m]

(c)

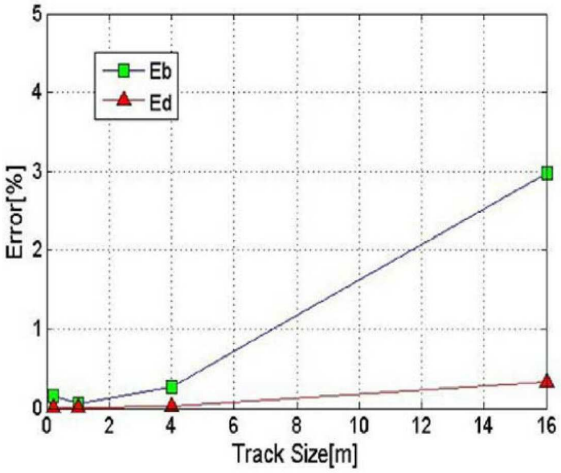

Eb
Ed
Error[%]
Track Size[m]

도면8

(a)

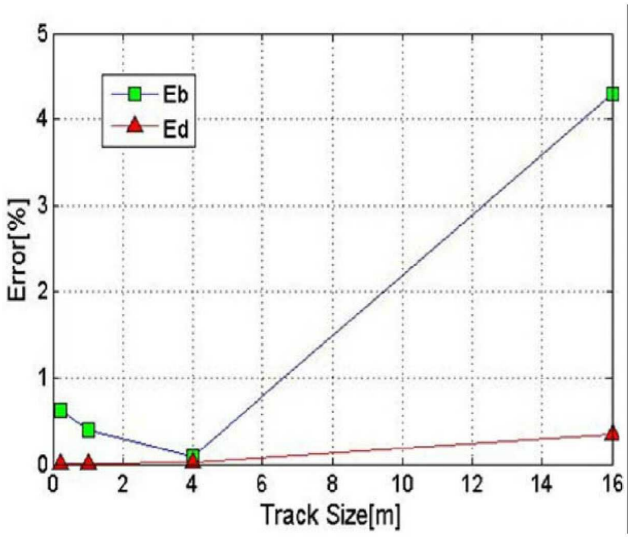

Eb
Ed
Error[%]
Track Size[m]
0
1
2
3
4
5
0
2
4
6
8
10
12
14
16

(b)

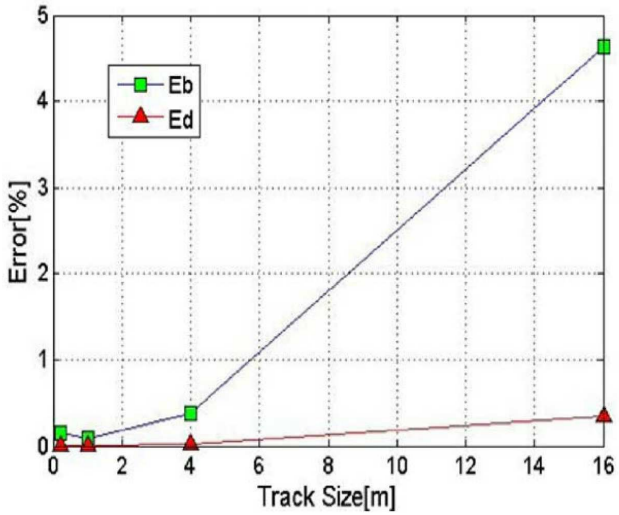

Eb
Ed
Error[%]
Track Size[m]
0
1
2
3
4
5
0
2
4
6
8
10
12
14
16

도면9

(a)


Eb
Ed
Error[%]
Track Size[m]
0
1
2
3
4
5
0
2
4
6
8
10
12
14
16

(b)


Eb
Ed
Error[%]
Track Size[m]
0
1
2
3
4
5
0
2
4
6
8
10
12
14
16