(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0010175
(43) 공개일자 2016년01월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B25J 9/10 (2006.01) *B25J 5/00* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0091226
(22) 출원일자 2014년07월18일
심사청구일자 2014년07월18일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
정우진
서울시 종로구 경희궁길 57, 106-701 (사직동, 광화문스페이스본)
정다운
강원도 영월군 영월읍 중리1길 108, 103동401호 (금융아파트)
(74) 대리인
특허법인남촌

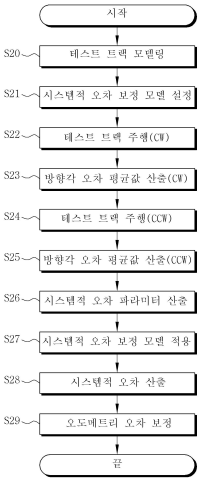
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 **방향각 오차를 이용한 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법**

(57) 요 약

본 발명은 방향각 오차를 이용한 차량형 이동 로봇의 오차 보정 방법에 관한 것으로, (a) 곡선 구간과 직선 구간을 갖는 테스트 트랙의 주행에 따른 차량형 이동 로봇의 시스템적 오차에 대해 모델링된 시스템적 오차 보정 모델이 설정되는 단계와; (b) 상기 테스트 트랙을 따라 보정 대상 차량형 이동 로봇이 주행하는 단계와; (c) 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇의 상기 테스트 트랙 상의 실제 종료 지점에서의 방향각 오차에 기초하여 기구학적 오차 파라미터가 산출되는 단계와; (d) 상기 산출된 기구학적 오차 파라미터가 상기 시스템적 오차 보정 모델에 적용되어 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇의 시스템적 오차가 보정되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다. 이에 따라, 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차를 보정하는데 있어 근사식의 사용을 배제함으로써, 보다 정확한 오도메트리 보정이 가능하게 된다.

대 표 도 - 도2



명 세 서

청구범위

청구항 1

(a) 곡선 구간과 직선 구간을 갖는 테스트 트랙의 주행에 따른 차량형 이동 로봇의 시스템적 오차에 대해 모델링된 시스템적 오차 보정 모델이 설정되는 단계와;

(b) 상기 테스트 트랙을 따라 보정 대상 차량형 이동 로봇이 주행하는 단계와;

(c) 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇의 상기 테스트 트랙 상의 실제 종료 지점에서의 방향각 오차에 기초하여 기구학적 오차 파라미터가 산출되는 단계와;

(d) 상기 산출된 기구학적 오차 파라미터가 상기 시스템적 오차 보정 모델에 적용되어 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇의 시스템적 오차가 보정되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방향각 오차를 이용한 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 시스템적 오차 보정 모델은 후방 휠 직경 오차와 후방 휠 간격 오차에 대해 모델링되며;

상기 기구학적 오차 파라미터는 상기 후방 휠 직경 오차에 대한 휠 직경 오차 파라미터와, 상기 후방 휠 간격 오차에 대한 휠 간격 오차 파라미터를 포함하는 것을 특징으로 하는 방향각 오차를 이용한 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 (b) 단계는,

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

(b2) 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇이 상기 제1 방향의 반대인 제2 방향으로 상기 테스트 트랙을 따라 주행하는 단계를 포함하며;

상기 휠 간격 오차 파라미터는 수학식 $$\alpha = \frac{\theta_{CW} - \theta_{CCW}}{-4}$$ 에 의해 산출되고, 상기 휠 직경 오차 파라미터는 수학식 $$\beta = \frac{\theta_{CW} + \theta_{CCW}}{2(2+\pi)}$$ (여기서, Θ_{CW}는 상기 방향각 오차 중 상기 제1 방향으로의 주행에 따른 방향각 오차이고, Θ_{CCW}는 상기 방향각 오차 중 상기 제2 방향으로의 주행에 따른 방향각 오차이다)에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 방향각 오차를 이용한 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 시스템적 오차 보정 모델은 상기 제1 방향 및 상기 제2 방향으로의 상기 테스트 트랙의 주행에 따른 차량형 이동 로봇의 시스템적 오차에 대해 모델링되는 것을 특징으로 하는 방향각 오차를 이용한 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 시스템적 오차 보정 모델은

상기 보정 대상 차량형 이동 로봇의 보정 전 후방 휠 간격과 상기 휠 간격 오차 파라미터에 기초하여 상기 후방 휠 간격 오차를 보정하기 위한 휠 간격 오차 보정 모델과;

상기 보정 대상 차량형 이동 로봇의 후방 휠 간격과 상기 휠 직경 오차 파라미터에 기초하여 상기 후방 휠 직경 오차를 보정하기 위한 휠 직경 오차 보정 모델을 포함하는 것을 특징으로 하는 방향각 오차를 이용한 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 휠 간격 오차 보정 모델은 수학식 $$\frac{b_{actual}}{b_{nominal}} = \frac{\pi}{\pi - \alpha}$$ (여기서, b_{actual}은 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇의 보정 후 후방 휠 간격이고, b_{actual}은 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇의 보정 전 후방 휠 간격이고, α는 상기 간격 오차 파라미터이다)로 설정되고;

상기 휠 직경 오차 보정 모델은 수학식 $$\frac{D_R}{D_L} = \frac{R - \frac{b}{2}}{R + \frac{b}{2}}$$ (여기서, D_R은 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇의 보정 후 후방 우측 휠 직경이고, D_L은 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇의 보정 후 후방 좌측 휠 직경이고, R은 수학식 $$R = \frac{\rho}{\sin(\beta/2)}$$ (여기서, β는 상기 휠 직경 오차 파라미터이고, 상기 ρ는 상기 테스트 트랙의 상기 곡선 구간의 회전 반경이다)에 의해 산출되며, b는 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇의 후방 휠 간격이다)로 설정되는 것을 특징으로 하는 방향각 오차를 이용한 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 (b) 단계는 상기 제1 방향과 상기 제2 방향 각각에 대해 복수 회 수행되며;

상기 (c) 단계에서 방향각 오차는 복수 회 수행되는 상기 (b) 단계의 평균값에 의해 결정되는 것을 특징으로 하는 방향각 오차를 이용한 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 방향각 오차를 이용한 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하

게는 CLMR(Car-Like Mobile Robot)이나 차량과 같이 4휠 타입의 차량형 이동 로봇에서 발생하는 오도메트리 오차(Odometry error)를 보다 정확히 보정하여 차량형 이동 로봇의 정확한 위치 추정이 가능하게 하는 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 근래에 이동 로봇의 자율 주행과 관련된 많은 연구가 수행되고 있는데, 자동 청소 로봇, 창고 관리용 AGVS(Autonomous guided vehicle system), 공공 서비스 로봇과 같은 다양한 목적의 자율 주행 기술이 연구되어 왔다. 또한, 무인 자율 주행 차량이 이동 로봇 분야에서 중요한 이슈로 대두되고 있다.

[0003] 이동 로봇의 자율 주행을 위해 요구되는 기술은 크게 3가지로 분류될 수 있는데, 위치 추정(Localization) 기술, 경로 계획(Path planning) 기술, 그리고 모션 제어(Motion control) 기술이 그것이다. 여기서, 위치 추정 기술은 이동 로봇의 정확한 포즈, 즉 위치와 방향을 추정하는 것으로, 이동 로봇의 정확한 포즈를 추정하는 것은 경로 계획 기술과 모션 제어 기술에 있어서도 기본이 되기 때문에 위치 추정 기술은 매우 중요한 부분이 된다.

[0004] 위치 추정 기술 중 증분의 휠 엔코더 센서를 이용하는 오도메트리(Odometry) 기법은 휠을 갖는 이동 로봇의 포즈 추정에 있어서 기본적인 기술 중의 하나이다. 오도메트리 기법은 엔코더 데이터를 축적하고, 이미 알고 있는 초기 포즈로부터 현재의 상대적인 포즈를 계산하게 된다.

[0005] 그러나, 오도메트리 기법은 이미 알려진 바와 같이, 기구학적 모델링 오차(Kinematic modeling error)가 이동 로봇의 주행 과정에서 축적되는 문제점을 안고 있다. 따라서, 적절한 오차 보정 기법을 이용하여 오도메트리 오차를 감소시킬 필요가 있다.

[0006] 외장 센서와 랜드 마크를 이동 로봇에 설치하여 이동 로봇의 절대 위치를 측정하는 방법이 이동 로봇의 위치추정에 빈번하게 사용되는 방법인데, 오도메트리를 이용한 위치 추정의 정확성이 향상된다면 외장 센서와 랜드 마크의 설치와 관리에 필요한 비용을 절감할 수 있다. 또한, 오도메트리 기법의 정확성은 날씨나 주변 환경에 따라 외부 센서를 사용할 수 없을 때, 추정된 포즈의 불확실성을 감소시키게 되는 바, 오도메트리 기법 자체의 정확성은 이동 로봇의 위치 추정에 있어 중요한 요소가 된다.

[0007] 이와 같은 오도메트리 오차의 원인은 시스템적 오차(Systematic error)와 비시스템적 오차(nonsystematic error)로 분류된다. 시스템적 오차는 이동 로봇 자체에서 기인하는 문제로, 일반적으로 이동 로봇의 주행 중에는 변하지 않는다. 시스템적 오차의 예로는 휠 직경 오차, 즉 좌측 휠과 우측 휠의 직경 간의 불일치에서 야기되는 오차와, 휠 간격 오차, 즉 실제 이동 로봇의 좌측 휠과 우측 휠 간의 간격이 잘못 설정되어 야기되는 오차가 있다.

[0008] 반면, 비시스템적 오차의 원인은 이동 로봇의 주행하는 환경과 이동 로봇의 상호 작용에서 야기되는 오차로, 이는 확률적으로 발생한다. 비시스템적 오차의 예로, 불균일한 바닥, 바닥 상에 존재하는 예기치 않은 장애물, 그리고 휠 미끄러짐 등이 있다.

[0009] 오도메트리 보정과 관련된 유용한 보정 기법으로는 UMBmark 기법이 있다. UMBmark 기법은 2륜 차동 이동 로봇에서 발생하는 오도메트리 오차를 보정하기 위한 기법으로, 휠 직경 오차와 휠 간격 오차에 의해 야기되는 오도메트리 오차를 보정하는 기법이다. UMBmark 기법 이외에도 2륜 차동 이동 로봇에서 발생하는 오도메트리 오차를 보정하기 위한 다양한 기법들이 제안되고 있다.

[0010] 그런데, 오도메트리 오차를 보정하기 위한 기존의 연구들은 CLMR(Car-Like Mobile Robot)이나 차량과 같이 4휠 타입의 차량형 이동 로봇에 실제 적용하기에는 문제점이 있다. 이는 2휠 타입과 4휠 타입의 휠 메커니즘의 차이에 기안하게 된다.

[0011] 도 1을 참조하여 보다 구체적으로 설명하면, 2휠 이동 로봇과 4휠의 차량형 이동 로봇(이하, '차량형 이동 로봇'이라 함)이 모두 좌측 휠이 우측 휠보다 ε만큼 큰 상태이고, 이와 같은 휠 직경 오차가 보정되지 않은 상태에서 주행하는 것으로 가정한다.

[0012] 도 1의 (a)는 2휠 이동 로봇의 두 휠이 동일한 각속도로 구동하는 상태의 예를 도시한 도면으로, 2휠 이동 로봇이 주행하는 경우 불일치하는 휠 직경에 의해 이동 로봇의 실제 주행 궤적이 실선으로 표시된 바와 같이 곡선 형태를 나타내게 되며, 불일치하는 휠 직경은 2휠 이동 로봇에서 항상 경로 추종 오차를 야기시키게 된다. 그

러나, 휠의 각속도에 기반한 오도메트리에 의해 추정된 경로는 두 휠이 동일한 각속도로 구동한다는 가정에 따라 점섬으로 나타난 바와 같은 오른쪽으로 휘어지는 경로를 나타내게 된다.

[0013] 반면, 차량형 이동 로봇은, 도 1의 (b)에 도시된 바와 같이, 불일치하는 휠 직경에 무관하게 실선으로 나타낸 바와 같은, 직선 궤적을 따라 주행하기 된다. 차량의 실제 주행 방향은 휠 직경의 일치 여부와 무관하게 조향 방향에 종속하게 되는데, 이는 후방 좌측 휠의 반경이 후방 우측 휠의 반경보다 큰 경우에도 차동 기어에 의해 후방 좌측 휠의 각속도가 후방 우측 휠의 각속도보다 작아지기 때문이다. 그러나, 휠의 각속도에 기반한 오도메트리에 의해 추정된 경로는, 도 1의 (b)에 도시된 점선과 같이 곡선 형태를 따르게 된다.

[0014] 2휠 이동 로봇과 차량형 이동 로봇의 주행 메커니즘의 차이로 인해 차등 휠의 각속도를 기반으로 하는 순수 오도메트리에 대한 상술한 보정 방법을 차량형 이동 로봇에는 적용할 수 없게 된다.

[0015] 이와 같은 문제점을 해소하기 위해, 본 발명의 출원인은 한국공개특허공보 제10-2011-0121129호에 개시된 "4-륜 차량의 오도메트리 오차 보정 방법"을 통해, 4-륜 차량에서 발생하는 시스템적 오차에 의한 오도메트리 오차를 보정하는 방법을 제안하였다.

[0016] 상기 한국공개특허공보에 개시된 오도메트리 오차 보정 방법은 테스트 트랙을 주행한 후, 차량형 이동 로봇의 최종 위치에서의 위치 오차를 이용하는 방법을 제안하고 있다.

[0017] 그런데, 상기 한국공개특허공보에 개시된 오도메트리 오차 보정 방법은 보정식의 간소화를 위해 작은 각도에서 근사식, 예를 들어, $\sin\phi = \phi$ 또는 $\cos\phi=1$이라는 근사식을 사용하고 있어, 근사식의 사용에 따른 오차가 발생하는 분제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0018] 이에, 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해소하기 위해 안출된 것으로서, 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차를 보정하는데 있어 근사식의 사용을 배제함으로써, 보다 정확한 오도메트리 보정이 가능한 방향각 오차를 이용한 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0019] 상기 목적은 본 발명에 따라, (a) 곡선 구간과 직선 구간을 갖는 테스트 트랙의 주행에 따른 차량형 이동 로봇의 시스템적 오차에 대해 모델링된 시스템적 오차 보정 모델이 설정되는 단계와; (b) 상기 테스트 트랙을 따라 보정 대상 차량형 이동 로봇이 주행하는 단계와; (c) 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇의 상기 테스트 트랙 상의 실제 종료 지점에서의 방향각 오차에 기초하여 기구학적 오차 파라미터가 산출되는 단계와; (d) 상기 산출된 기구학적 오차 파라미터가 상기 시스템적 오차 보정 모델에 적용되어 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇의 시스템적 오차가 보정되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방향각 오차를 이용한 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법에 의해서 달성된다.

[0020] 여기서, 상기 시스템적 오차 보정 모델은 후방 휠 직경 오차와 후방 휠 간격 오차에 대해 모델링되며; 상기 기구학적 오차 파라미터는 상기 후방 휠 직경 오차에 대한 휠 직경 오차 파라미터와, 상기 후방 휠 간격 오차에 대한 휠 간격 오차 파라미터를 포함할 수 있다.

[0021] 그리고, 상기 (b) 단계는, (b1) 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇이 제1 방향으로 상기 테스트 트랙을 따라 주행하는 단계와, (b2) 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇이 상기 제1 방향의 반대인 제2 방향으로 상기 테스트 트랙을 따라 주행하는 단계를 포함하며; 상기 휠 간격 오차 파라미터는 수학식 $$\alpha = \frac{\theta_{CW} - \theta_{CCW}}{-4}$$ 에 의해 산출되고, 상기 휠 직경 오차 파라미터는 수학식 $$\beta = \frac{\theta_{CW} + \theta_{CCW}}{2(2+\pi)}$$ (여기서, Θ_{CW}는 상기 방

향각 오차 중 상기 제1 방향으로의 주행에 따른 방향각 오차이고, Θ_{CCW}는 상기 방향각 오차 중 상기 제2 방향으로의 주행에 따른 방향각 오차이다)에 의해 산출될 수 있다.

[0022] 그리고, 상기 시스템적 오차 보정 모델은 상기 제1 방향 및 상기 제2 방향으로의 상기 테스트 트랙의 주행에 따른 차량형 이동 로봇의 시스템적 오차에 대해 모델링될 수 있다.

[0023] 또한, 상기 시스템적 오차 보정 모델은 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇의 보정 전 후방 휠 간격과 상기 휠 간격 오차 파라미터에 기초하여 상기 후방 휠 직경 오차를 보정하기 위한 휠 간격 오차 보정 모델과; 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇의 후방 휠 간격과 상기 휠 직경 오차 파라미터에 기초하여 상기 후방 휠 직경 오차를 보정하기 위한 휠 직경 오차 보정 모델을 포함할 수 있다.

[0024] 그리고, 상기 휠 간격 오차 보정 모델은 수학식 $\frac{b_{actual}}{b_{nominal}} = \frac{\pi}{\pi - \alpha}$ (여기서, b_{actual}은 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇의 보정 후 후방 휠 간격이고, b_{actual}은 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇의 보정 전 후방 휠 간격이고, α는 상기 간격 오차 파라미터이다)로 설정되고; 상기 휠 직경 오차 보정 모델은 수학식 $\frac{D_R}{D_L} = \frac{R - \frac{b}{2}}{R + \frac{b}{2}}$ (여기서, D_R은 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇의 보정 후 후방 우측 휠 직경이고, D_L은 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇의 보정 후 후방 좌측 휠 직경이고, R은 수학식 $R = \frac{\rho}{\sin(\beta/2)}$ (여기서, β는 상기 휠 직경 오차 파라미터이고, 상기 ρ는 상기 테스트 트랙의 상기 곡선 구간의 회전 반경이다)에 의해 산출되며, b는 상기 보정 대상 차량형 이동 로봇의 후방 휠 간격이다)로 설정될 수 있다.

[0025] 그리고, 상기 (b) 단계는 상기 제1 방향과 상기 제2 방향 각각에 대해 복수 회 수행되며; 상기 (c) 단계에서 방향각 오차는 복수 회 수행되는 상기 (b) 단계의 평균값에 의해 결정될 수 있다.

발명의 효과

[0026] 상기와 같은 구성에 따라, 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차를 보정하는데 있어 근사식의 사용을 배제함으로써, 보다 정확한 오도메트리 보정이 가능한 방향각 오차를 이용한 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법이 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 2휠 이동 로봇과 차량형 이동 로봇의 시스템적 에러에 따른 주행 경로의 변화를 설명하기 위한 도면이고,

도 2는 본 발명에 따른 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법을 설명하기 위한 도면이고,

도 3은 본 발명에 따른 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법에 적용되는 테스트 트랙의 예를 도시한 도면이고,

도 4는 휠 간격 오차에 의해 야기되는 방향각 오차를 설명하기 위한 도면이고,

도 5는 휠 직경 오차에 의해 야기되는 방향각 오차를 설명하기 위한 도면이고,

도 6은 차량형 이동 로봇이 테스트 트랙을 따라 주행할 때 휠 간격 오차에 의해 야기되는 방향각 오차를 나타낸 도면이고,

도 7은 차량형 이동 로봇이 테스트 트랙을 따라 주행할 때 휠 직경 오차에 의해 야기되는 방향각 오차를 나타낸

도면이고,

도 8 내지 도 11은 본 발명에 따른 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법의 효과를 설명하기 위한 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 이하에서는 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 실시예들에 대해 상세히 설명한다.

[0029] 본 발명에 따른 방향각 오차를 이용한 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법을 설명하기에 앞서, 차량형 이동 로봇에서 발생하는 시스템적 오차의 원인에 대해 설명한다.

[0030] 차량형 이동 로봇에서 발생하는 시스템적 오차는 휠 직경의 불일치에서 야기되는 휠 직경 오차, 좌측 휠과 우측 휠 간의 잘못된 간격에서 야기되는 휠 간격 오차, 전방 휠과 후방 휠 간의 잘못된 간격에서 야기되는 휠베이스 오차, 그리고 조향각 오차를 포함한다.

[0031] 여기서, 휠베이스 오차는 조향각 오차로 전환될 수 있다. 차량형 이동 로봇이 반경 ρ의 곡선 경로를 따라 이동할 때, 조향각은 [수학식 1]과 같이 표현될 수 있다.

[0032] [수학식 1]

[0033] $$\tan\phi = \frac{L}{\rho}$$

[0034] 여기서, ϕ는 조향각이고, L은 휠베이스이고, ρ는 곡선 경로의 반경이다.

[0035] [수학식 1]을 통해, 조향각에 대한 사전 실험이 수행된다면, 휠베이스 오차와 조향각 오차는 보정이 가능하게 되며, 결과적으로 휠 직경 오차와 휠 간격 오차 만이 본 발명에 따른 오도메트리 오차 보정 방법에서 보정 대상이 되는 시스템적 오차가 된다.

[0036] 이하에서는 본 발명에 따른 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법을 도 2를 참조하여 상세히 설명한다.

[0037] 먼저, 본 발명에 따른 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법을 적용하기 위한 테스트 트랙이 모델링된다(S20). 도 3은 본 발명에 따른 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법에 적용되는 테스트 트랙의 예를 도시한 도면이다.

[0038] 도 3에 도시된 바와 같이, 휠 직경 오차와 휠 간격 오차 모두를 고려하기 위해, 테스트 트랙은 직선 구간과 곡선 구간을 포함하도록 형성되는데, 본 발명에서는 400m의 레이스 트랙 형상을 갖는 것을 예로 한다. 또한, 본 발명에서는 하나의 직선 구간의 길이는 하나의 곡선 구간의 회전 반경(ρ)의 2 배로 설정되는 것을 예로 하고 있다.

[0039] 상기와 같이 테스트 트랙이 모델링되면, 테스트 트랙의 주행에 따란 차량형 이동 로봇의 시스템적 오차에 대한 시스템적 오차 보정 모델이 모델링되어 설정된다(S21). 이하에서는 본 발명에 따른 시스템적 오차 보정 모델에 대해 상세히 설명한다.

[0040] 먼저, 본 발명에 따른 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법의 시스템적 오차 보정 모델은 상술한 바와 같이, 휠 직경 오차와 휠 간격 오차에 대해 모델링된다.

[0041] 도 4는 휠 간격 오차에 의해 야기되는 방향각 오차를 설명하기 위한 도면이다. 도 4를 참조하여 설명하면, 차량형 이동 로봇에 휠 간격 오차만이 존재하는 경우, 방향각 오차는 곡선 경로를 따라 주행할 때 발생하게 된다. 차량형 이동 로봇의 주시 방향(Heading direction)은 조향 방향에 종속하기 때문에, 차량형 이동 로봇은 반경 ρ를 갖는 곡선 경로를 따라 이동하게 된다. 반면, 오도메트리에 의해 추정되는 경로는 반경 ρ_{od}를 갖는 곡선 경로를 갖는다. 따라서, 차량형 이동 로봇이 호 길이에 따른 수학식 l=rΘ 로부터, 휠 간격 오차에 의해 야기되는 방향각 에러 α는 곡선 경로의 반경의 차이에서 발생하게 된다.

[0042] 도 5는 휠 직경 오차에 의해 야기되는 방향각 오차를 설명하기 위한 도면이다. 도 5를 참조하여 설명하면, 차량형 이동 로봇에 휠 직경 오차만이 존재하게 되면, 방향각 오차는 직선 경로와 곡선 경로 모두에서 발생하게 된다.

[0043] 직선 경로에서의 방향각 오차 β와, 곡선 경로에서의 방향각 오차 γ는 좌측 휠과 우측 휠 간의 각속도 차이에 의해 발생하게 된다. 여기서, 방향각 오치 β는 방향각 오차 β에 대해 [수학식 2]와 같이 나타낼 수 있다.

[0044] [수학식 2]

[0045] $$\gamma = \frac{\pi}{2}\beta$$

[0046] 도 6은 차량형 이동 로봇이 테스트 트랙을 따라 주행할 때 휠 간격 오차에 의해 야기되는 방향각 오차를 나타낸 것이다. 방향각 오차 α는 도 6에 도시된 바와 같이, 테스트 트랙의 곡선 경로에서 발생하게 된다. 시계 방향(도 6의 (a))과 반시계 방향(도 6의 (b))으로의 주행 후에, 휠 간격 오차에 의해 야기되는 최종 방향각 오차는 다음과 같이 계산된다.

[0047] 먼저, 차량형 이동 로봇이, 도 6의 (a)에 도시된 바와 같이, 시계 방향으로 주행할 때, 휠 간격 오차에 의해 야기되는 방향각 오차는 [수학식 3] 내지 [수학식 8]과 같이 나타낼 수 있다.

[0048] [수학식 3]

[0049] $\Theta_0 = \pi$

[0050] [수학식 4]

[0051] $\Theta_1 = \Theta_0 = \pi$

[0052] [수학식 5]

[0053] $\Theta_2 = \Theta_1 - \pi - \alpha = -\alpha$

[0054] [수학식 6]

[0055] $\Theta_3 = \Theta_2 = -\alpha$

[0056] [수학식 7]

[0057] $\Theta_4 = \Theta_3 - \pi - \alpha = -2\alpha$

[0058] [수학식 8]

[0059] $\Theta_4 - \Theta_0 = -2\alpha$

[0060] 그리고, 차량형 이동 로봇이, 도 6의 (b)에 도시된 바와 같이, 반시계 방향으로 주행할 때, 휠 간격 오차에 의해 야기되는 방향각 오차는 [수학식 9] 내지 [수학식 14]와 같이 나타낼 수 있다.

[0061] [수학식 9]

[0062] $\Theta_0 = 0$

[0063] [수학식 10]

[0064] $\Theta_1 = \Theta_0 = 0$

[0065] [수학식 11]

[0066] $\Theta_2 = \Theta_1 + \pi + \alpha = \pi + \alpha$

[0067] [수학식 12]

[0068] $\Theta_3 = \Theta_2 = \pi + \alpha$

[0069] [수학식 13]

[0070] $\Theta_4 = \Theta_3 + \pi + \alpha = 2\alpha$

[0071] [수학식 14]

[0072] $\Theta_4 - \Theta_0 = 2\alpha$

[0073] 한편, 도 7은 차량형 이동 로봇이 테스트 트랙을 따라 주행할 때 휠 직경 오차에 의해 야기되는 방향각 오차를 나타낸 것이다. 방향각 오차 β와 γ는 7 6에 도시된 바와 같이, 테스트 트랙의 직선 구간과 곡선 경로에서 발생하게 된다. 시계 방향(도 7의 (a))과 반시계 방향(도 7의 (b))으로의 주행 후에, 휠 직경 오차에 의해 야기되는 최종 방향각 오차는 다음과 같이 계산된다.

[0074] 먼저, 차량형 이동 로봇이, 도 7의 (a)에 도시된 바와 같이, 시계 방향으로 주행할 때, 휠 직경 오차에 의해 야기되는 방향각 오차는 [수학식 15] 내지 [수학식 20]과 같이 나타낼 수 있다.

[0075] [수학식 15]

[0076] $\Theta_0 = \pi$

[0077] [수학식 16]

[0078] $\Theta_1 = \Theta_0 + \beta = \pi + \beta$

[0079] [수학식 17]

[0080] $\Theta_2 = \Theta_1 - \pi + \gamma = \beta + \gamma$

[0081] [수학식 18]

[0082] $\Theta_3 = \Theta_2 + \beta = 2\beta + \gamma$

[0083] [수학식 19]

[0084] $\Theta_4 = \Theta_3 - \pi + \gamma = \pi + 2\beta + 2\gamma$

[0085] [수학식 20]

[0086] $\Theta_4 - \Theta_0 = 2\beta + 2\gamma$

[0087] 먼저, 차량형 이동 로봇이, 도 7의 (b)에 도시된 바와 같이, 반시계 방향으로 주행할 때, 휠 직경 오차에 의해 야기되는 방향각 오차는 [수학식 21] 내지 [수학식 26]과 같이 나타낼 수 있다.

[0088] [수학식 21]

[0089] $\Theta_0 = 0$

[0090] [수학식 22]

[0091] $\Theta_1 = \Theta_0 + \beta = \beta$

[0092] [수학식 23]

[0093] $\Theta_2 = \Theta_1 + \pi + \gamma = \pi + \beta + \gamma$

[0094] [수학식 24]

[0095] $\Theta_3 = \Theta_2 + \beta = \pi + 2\beta + \gamma$

[0096] [수학식 25]

[0097] $\Theta_4 = \Theta_3 - \pi + \gamma = 2\beta + 2\gamma$

[0098] [수학식 26]

[0099] $\Theta_4 - \Theta_0 = 2\beta + 2\gamma$

[0100] [수학식 2], [수학식 8], [수학식 14], [수학식 20] 및 [수학식 26]으로부터, 시계 방향 및 반시계 방향에서 휠 직경 오차와 휠 간격 오차에 의해 야기되는 최종 방향각 오차(Θ_{CW}, Θ_{CCW})는 [수학식 27] 및 [수학식 28]과 같이 나타낼 수 있다.

[0101] [수학식 27]

[0102] $\Theta_{CW} = -2\alpha + 2\beta + 2\gamma = -2\alpha + (2 + \pi)\beta$

[0103] [수학식 28]

[0104] $\Theta_{CCW} = 2\alpha + 2\beta + 2\gamma = 2\alpha + (2 + \pi)\beta$

[0105] [수학식 27] 및 [수학식 28]로부터, 방향각 오차 α 및 β는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[0106] [수학식 29]

[0107] $$\alpha = \frac{\theta_{CW} - \theta_{CCW}}{-4}$$

[0108] [수학식 30]

[0109] $$\beta = \frac{\theta_{CW} + \theta_{CCW}}{2(2+\pi)}$$

[0110] 여기서, α는 휠 간격 오차에 의해 발생하는 방향각 오차로, 본 발명에 따른 시스템적 오차 보정 모델의 기구학적 오차 파라미터 중 휠 간격 오차에 대한 휠 간격 오차 파라미터가 되고, β는 휠 직경 오차에 의해 발생하는 방향각 오차로, 본 발명에 따른 시스템적 오차 보정 모델의 기구학적 오차 파라미터 중 휠 직경 오차 파라미터가 된다.

[0111] 한편, 도 4의 (a)에 도시된 바와 같이 휠 간격 오차 E_b와, 휠 간격 오차 파라미터 간의 관계는 [수학식 31]과

같이 표현할 수 있고, 도 5의 (a)에 도시된 바와 같은 휠 직경 오차 E_b와 휠 직경 오차 파라미터 간의 관계는 [수학식 32]와 같이 나타낼 수 있다.

[0112] [수학식 31]

[0113]
$$E_b = \frac{b_{actual}}{b_{nominal}} = \frac{\pi}{\pi - \alpha}$$

[0114] [수학식 32]

[0115]
$$E_d = \frac{D_R}{D_L} = \frac{R - \frac{b}{2}}{R + \frac{b}{2}}, R = \frac{\rho}{\sin(\beta/2)}$$

[0116] 여기서, b_{actual}은 실제 휠 간격이고, $b_{nominal}$은 명목상 휠 간격이고, D_R은 우측 휠의 직경이고, D_L은 좌측 휠의 직경이다.

[0117] 상기와 같은 모델링 과정을 통해, [수학식 31]이 본 발명에 따른 시스템적 오차 보정 모델에서 휠 간격 오차를 보정하기 위한 휠 간격 오차 보정 모델이 되고, [수학식 32]가 본 발명에 따른 시스템적 오차 보정 모델에서 휠 직경 오차를 보정하기 위한 휠 직경 오차 보정 모델이 된다.

[0118] 다시, 도 2를 참조하여 설명하면, 상기와 같은 방법을 통해 휠 간격 오차 보정 모델과 휠 직경 오차 보정 모델로 구성된 시스템적 오차 보정 모델이 설정되면(S21), 본 발명에 따른 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법을 적용하여 시스템적 오차의 보정 대상이 되는 차량형 이동 로봇량(이하, '보정 대상 차량형 이동 로봇'이라 함)이 테스트 트랙을 따라 주행한다.

[0119] 먼저, 보정 대상 차량형 이동 로봇이 시계 방향을 따라 테스트 트랙을 주행한다(S22). 여기서, 보정 대상 차량형 이동 로봇의 테스트 트랙의 주행은 복수 회로 진행될 수 있으며, 복수 회의 주행을 수행하는 경우 방향각 오차는 복수 회에 대한 평균값으로 산출된다(S23).

[0120] 그리고, 보정 대상 차량형 이동 로봇이 반시계 방향을 따라 테스트 트랙을 주행한다(S24). 여기서, 반시계 방향으로의 주행도 복수 회로 진행될 수 있으며, 동일한 방법으로 방향각 오차는 복수 회에 대한 평균값으로 산출된다(S25).

[0121] 상기와 같은 시계 방향과 반시계 방향에 대한 방향각 오차(Θ_{CW}, Θ_{CCW})가 산출되면, 산출된 방향각 오차에 기초하여 시스템적 오차 파라미터가 산출된다(S26). 여기서, 본 발명에 따른 시스템적 오차 파라미터는 상술한 바와 같이, 휠 간격 오차 파라미터와 휠 직경 오차 파라미터를 포함할 수 있으며, 휠 간격 오차 파라미터는 [수학식 29]에 의해 산출되고, 휠 직경 오차 파라미터는 [수학식 30]에 의해 산출된다.

[0122] 그런 다음, 산출된 휠 간격 오차 파라미터와 휠 직경 오차 파라미터가 시스템적 오차 보정 모델에 적용되어(S27) 시스템적 오차, 즉 휠 간격 오차와 휠 직경 오차가 산출되며(S28), 산출된 시스템적 오차에 기초하여 시스템적 오차에 따른 오도메트리 오차가 보정된다(S29).

[0123] 여기서, 시스템적 오차 보정 모델은, 상술한 바와 같이, [수학식 31]과 [수학식 32]에 의해 정의된 휠 간격 오차 보정 모델과 휠 직경 오차 보정 모델을 포함하며, 휠 간격 오차 파라미터와 휠 직경 오차 파라미터가 [수학식 31]과 [수학식 32]에 대입되어 시스템적 오차가 산출된다.

[0124] 상기와 같은 과정을 통해 본 발명에 따른 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법은 테스트 트랙을 따른 테스트 주행을 이용하여 시스템적 오차가 오도메트리의 계산을 통해 쉽게 보정될 수 있다.

[0125] 또한, 기존의 위치 오차를 이용하는 방법에서 사용된 근사식을 사용하지 않음으로써, 보다 정확한 오도메트리 보정이 가능하게 된다.

[0126] 이하에서는 본 발명에 따른 차량형 오도메트리 오차 보정 방법의 효과에 대해 검증한다. 여기서, 효과의 검증은 본 발명에 따른 차량형 오도메트리 오차 보정 방법과, 한국공개특허공보 제10-2011-0121129호에 개시된 "4-륜 차량의 오도메트리 오차 보정 방법", 즉 위치 오차를 이용한 오차 보정 방법의 비교를 통해 수행한다.

[0127] 먼저, 시뮬레이션에 적용될 차량형 이동 로봇의 제원은 다음과 같다.

[0128] - 휠 간격 : 27cm

[0129] - 휠 직경이 9cm

[0130] - 휠 엔코더 해상도 : 1130 pulses/rev

[0131] - 휠 간격 오차(E_b) = 0.98

[0132] - 휠 직경 오차(E_d) = 0.98

[0133] 도 8은 오도메트리 오차 보정 전의 주행 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다. 도 8의 (a)는 시계 방향으로의 주행을 나타낸 것이고, 도 8의 (b)는 반시계 방향으로의 주행을 나타낸 것이다. 도 8에 도시된 바와 같이, 휠 간격 오차와, 휠 직경 오차에 의해 최종 목적지는 실제 목적지를 벗어나게 된다.

[0134] 오도메트리 오차 보정 전의 주행 시뮬레이션 결과에 따라 나타난 위치 오차와, 방향각 오차를 이용하여, 휠 직경 오차 및 휠 간격 오차를 산출한 결과는 [표 1]과 같다.

[0135] [표 1]

[0136]

	E_b	E_d
한국공개특허 (Lee's method)	0.9735	0.9806
본 발명 (Proposed method)	0.9805	0.9804

[0137] 도 9는 휠 간격 오차와 휠 직경 오차의 산출 결과와 실제 오차 간의 편차를 나타낸 도면으로, 도 9의 (a)는 휠 간격 오차를 나타낸 것이고, 도 9의 (b)는 휠 직경 오차를 나타낸 것이다.

[0138] [표 1] 및 도 9에 나타난 바와 같이, 본 발명에 따른 차량형 이동 로봇의 오도메트리 오차 보정 방법을 통해 산출된 휠 간격 오차 및 휠 직경 오차가 상기 한국공개특허에 개시된 방법보다 실제 시스템적 오차에 근접한 것을 확인할 수 있다.

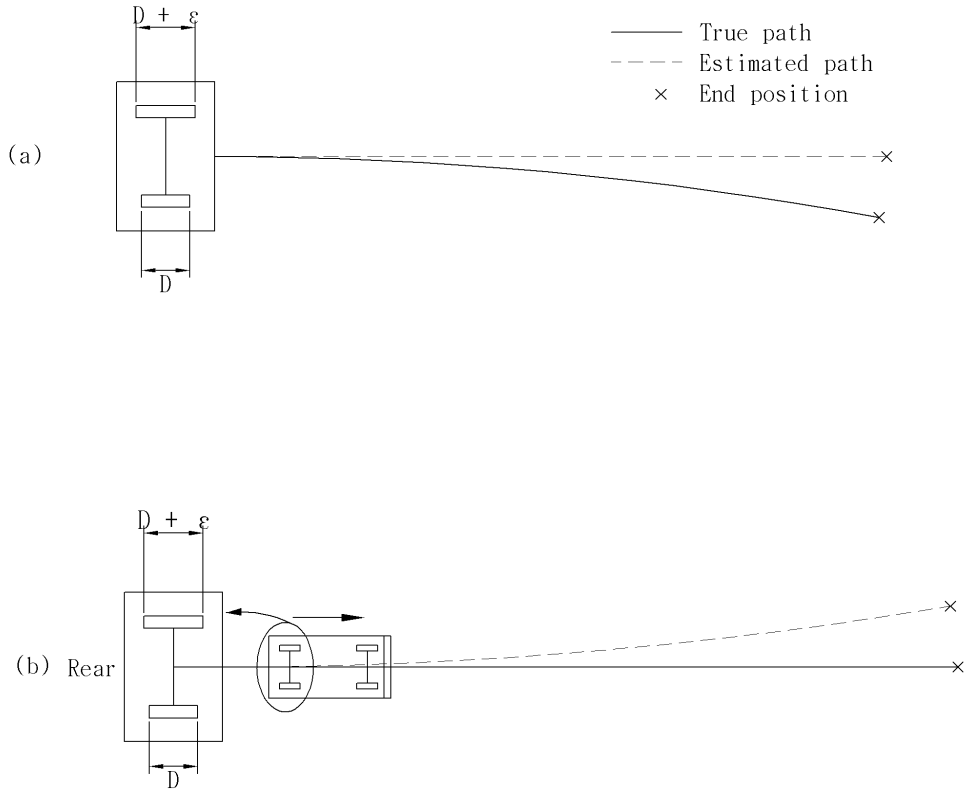
[0139] 한편, 도 10 및 도 11은 상기와 같이 산출된 휠 간격 오차 및 휠 직경 오차를 이용하여 오도메트리를 보정한 후 주행 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타낸 도면이다. 도 10 및 도 11 각각의 (a)는 전제 주행 경로를 나타낸 것이고, 도 10 및 도 11 각각의 (b)는 목적지 근방을 확대하여 나타낸 것이다.

[0140] 도 10 및 도 11에 도시된 바와 같이, 시계 방향 및 반시계 방향으로의 주행 모두에서 본 발명에 따른 보정 방법이 한국공개특허에 개시된 방법보다 좀 더 목적지에 근접하게 접근한 것을 확인할 수 있다.

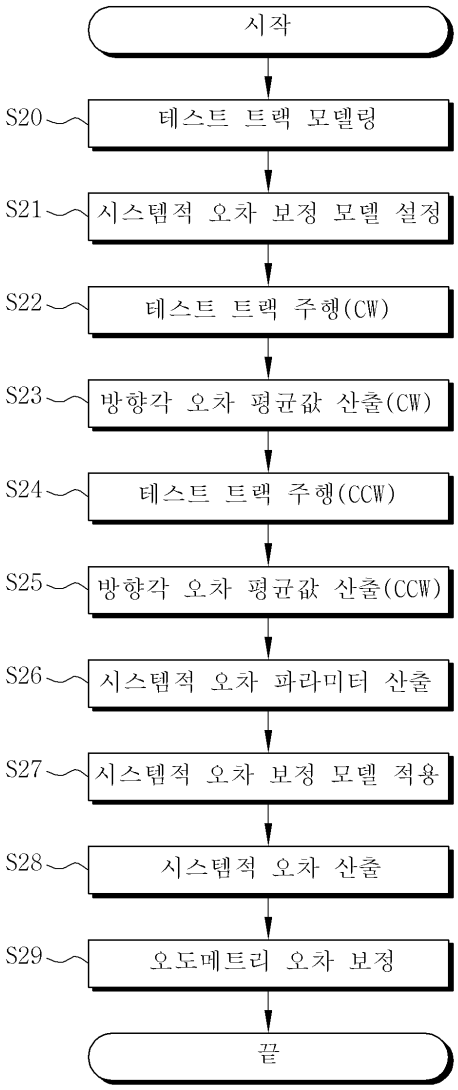
[0141] 본 실시예는 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 명확하게 나타낸 것에 불과하며, 본 발명의 명세서에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형 예와 구체적인 실시예는 모두 본 발명의 기술적 사상에 포함되는 것은 자명하다.

도면

도면1

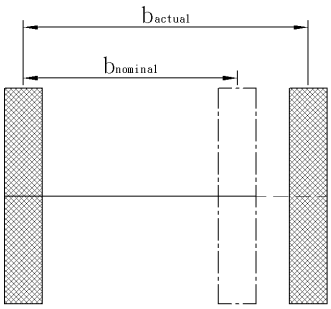


도면2

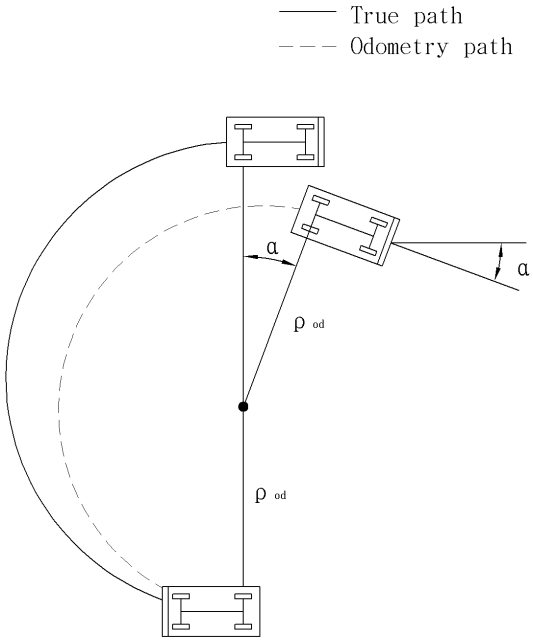

시작
S20
테스트 트랙 모델링
S21
시스템적 오차 보정 모델 설정
S22
테스트 트랙 주행(CW)
S23
방향각 오차 평균값 산출(CW)
S24
테스트 트랙 주행(CCW)
S25
방향각 오차 평균값 산출(CCW)
S26
시스템적 오차 파라미터 산출
S27
시스템적 오차 보정 모델 적용
S28
시스템적 오차 산출
S29
오도메트리 오차 보정
끝

도면3

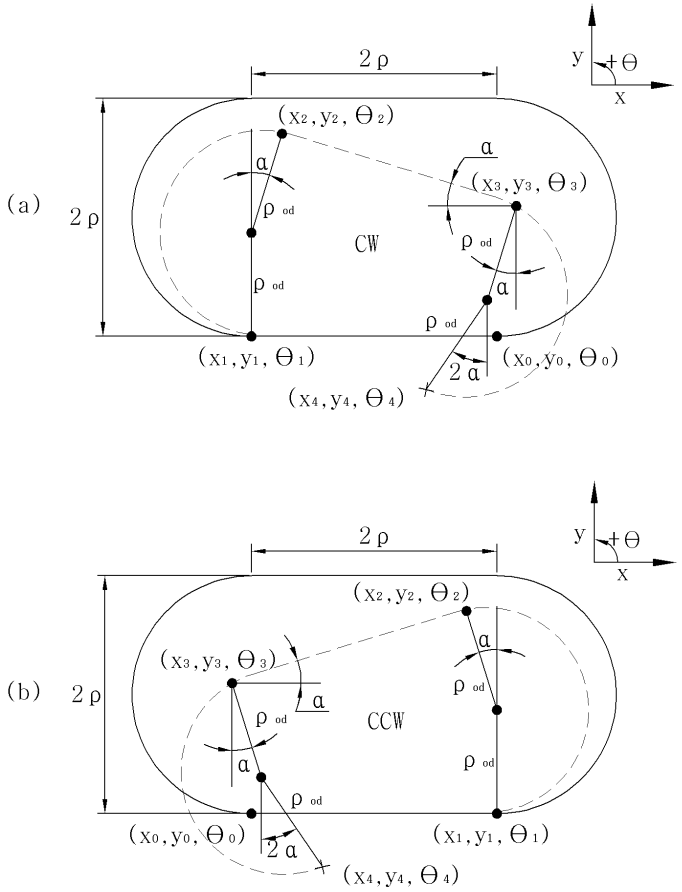
(a)



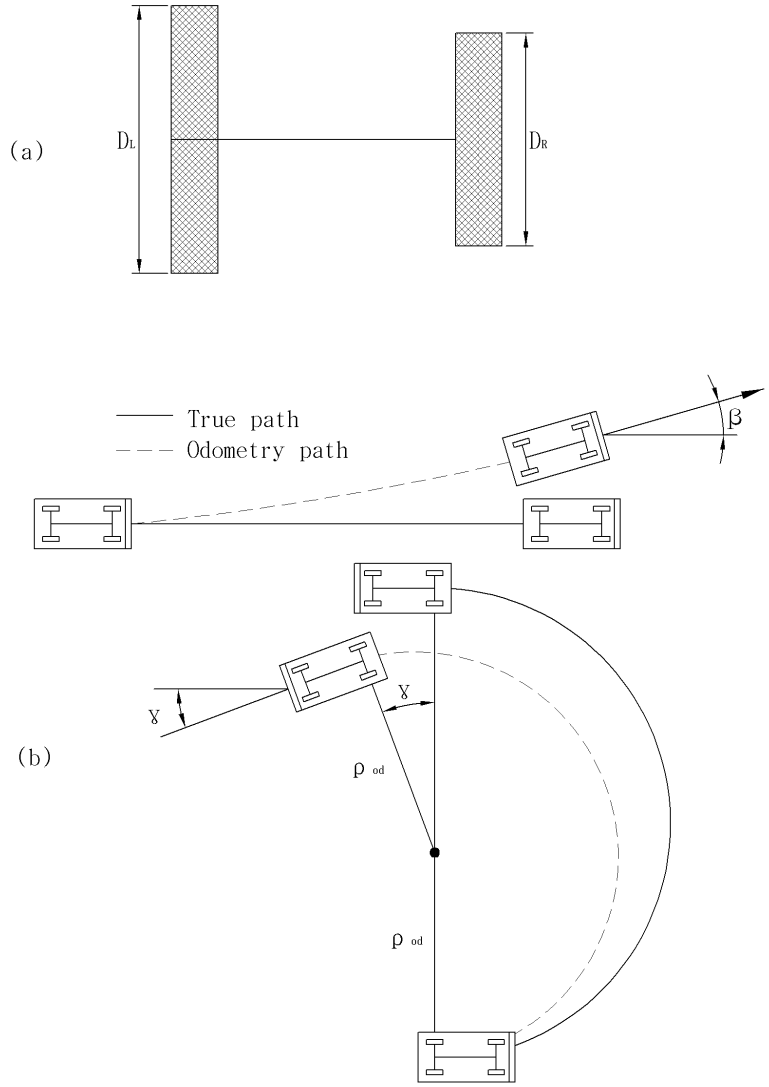
(b)



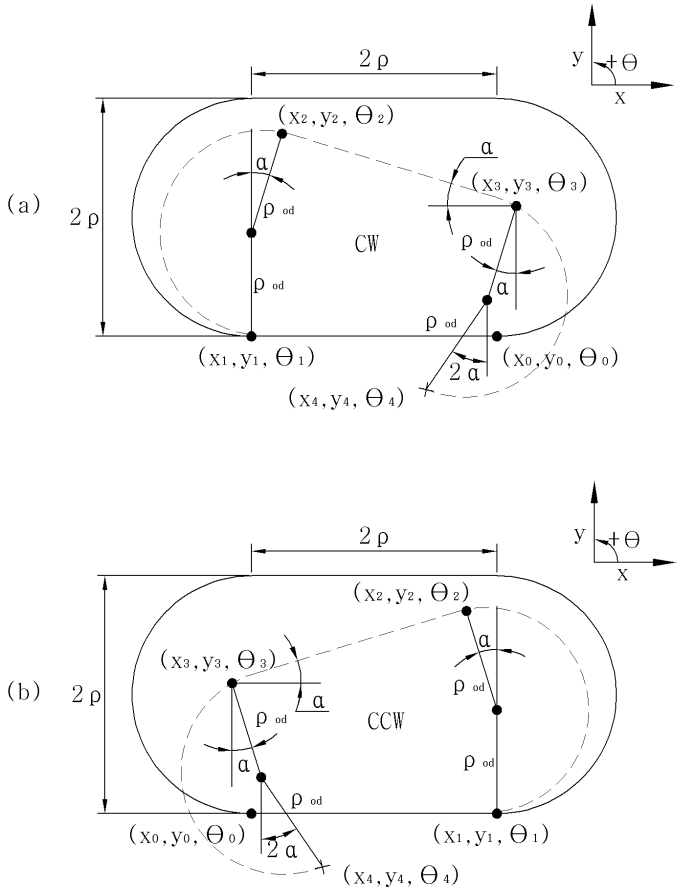
도면4


(a)
2ρ
2ρ
y
+Θ
X
(X2, y2, Θ2)
α
(X3, y3, Θ3)
ρod
CW
ρod
ρod
α
ρod
(X1, y1, Θ1)
(X0, y0, Θ0)
2α
(X4, y4, Θ4)
(b)
2ρ
2ρ
y
+Θ
X
(X2, y2, Θ2)
α
(X3, y3, Θ3)
ρod
α
ρod
CCW
α
ρod
ρod
(X0, y0, Θ0)
2α
(X1, y1, Θ1)
(X4, y4, Θ4)

도면5

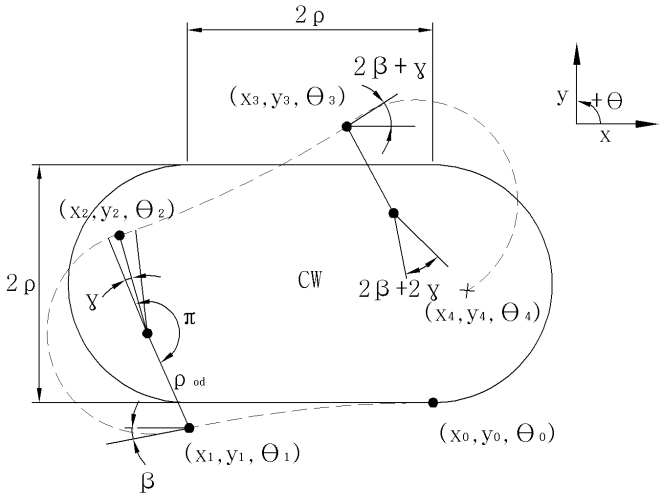


도면6

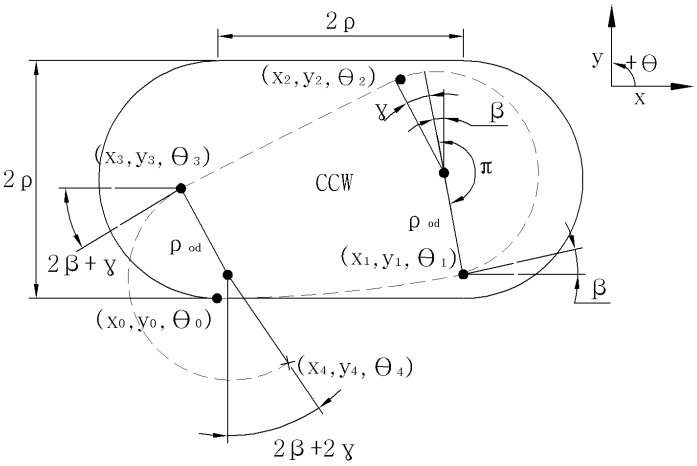

(a)
2ρ
2ρ
y
+Θ
X
(X2, y2, Θ2)
α
(X3, y3, Θ3)
ρod
CW
ρod
α
ρod
(X1, y1, Θ1)
(X0, y0, Θ0)
2α
(X4, y4, Θ4)
(b)
2ρ
2ρ
y
+Θ
X
(X2, y2, Θ2)
α
(X3, y3, Θ3)
ρod
α
CCW
ρod
α
ρod
(X0, y0, Θ0)
(X1, y1, Θ1)
2α
(X4, y4, Θ4)

도면7

(a)

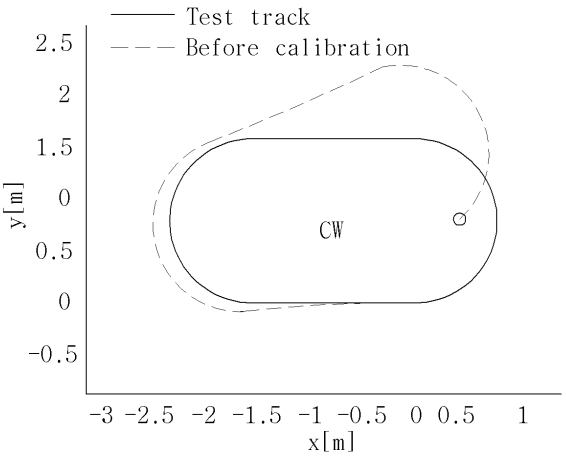

2ρ
2β+γ
(X3, y3, Θ3)
y
+Θ
x
(X2, y2, Θ2)
2ρ
γ
CW
2β+2γ
(X4, y4, Θ4)
π
ρod
(X0, y0, Θ0)
(X1, y1, Θ1)
β

(b)

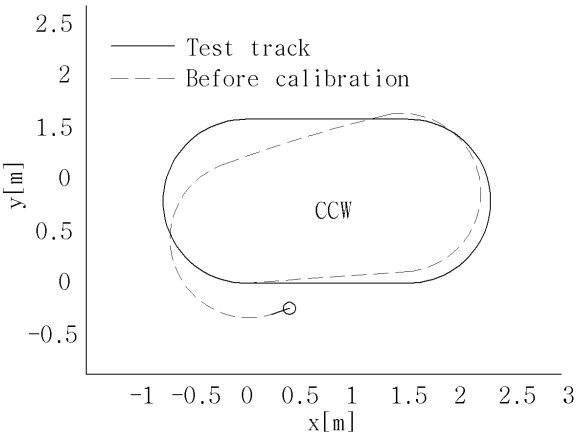

2ρ
y
+Θ
x
(X2, y2, Θ2)
γ
β
(X3, y3, Θ3)
2ρ
CCW
π
ρod
ρod
(X1, y1, Θ1)
2β+γ
β
(X0, y0, Θ0)
(X4, y4, Θ4)
2β+2γ

도면8

(a)

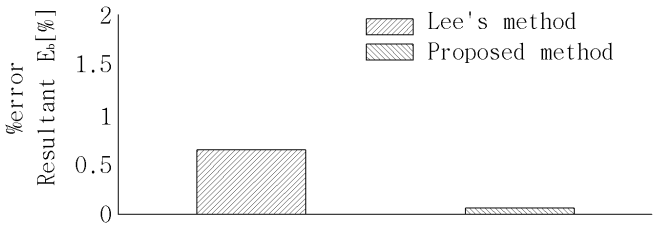

Test track
Before calibration
2.5
2
1.5
0
0.5
0
-0.5
y[m]
CW
-3 -2.5 -2 -1.5 -1 -0.5 0 0.5 1
x[m]

(b)

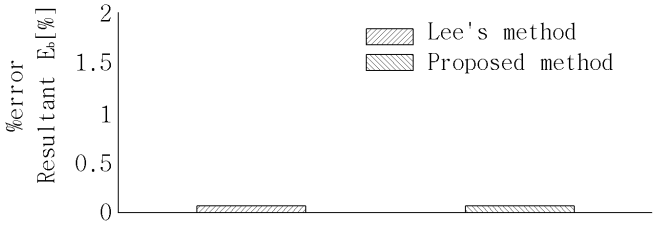

Test track
Before calibration
2.5
2
1.5
0
0.5
0
-0.5
y[m]
CCW
-1 -0.5 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3
x[m]

도면9

(a)

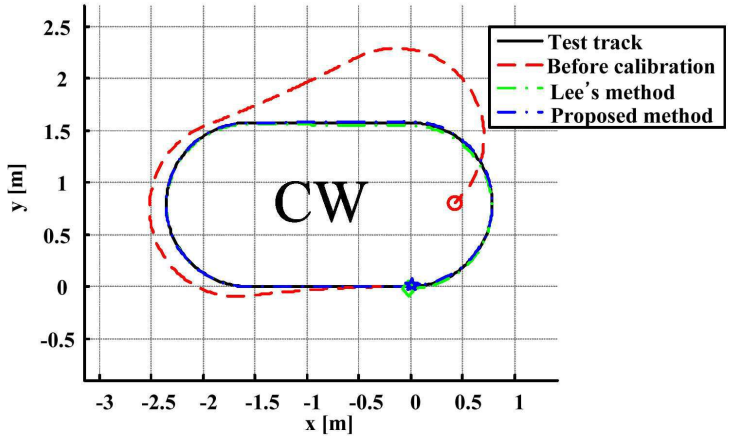

%error
Resultant Es[%]
2
1.5
1
0.5
0
Lee's method
Proposed method

(b)

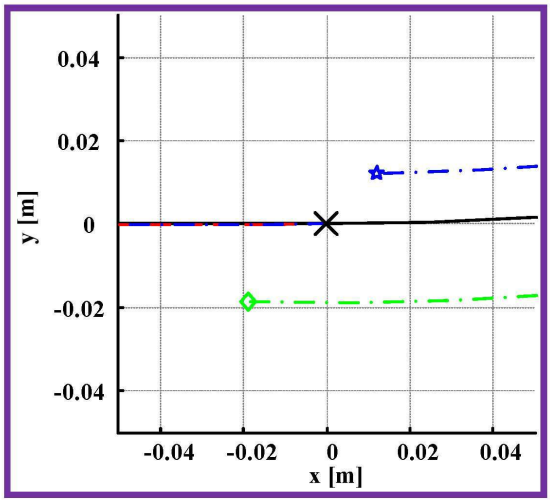

%error
Resultant Es[%]
2
1.5
1
0.5
0
Lee's method
Proposed method

도면10

(a)

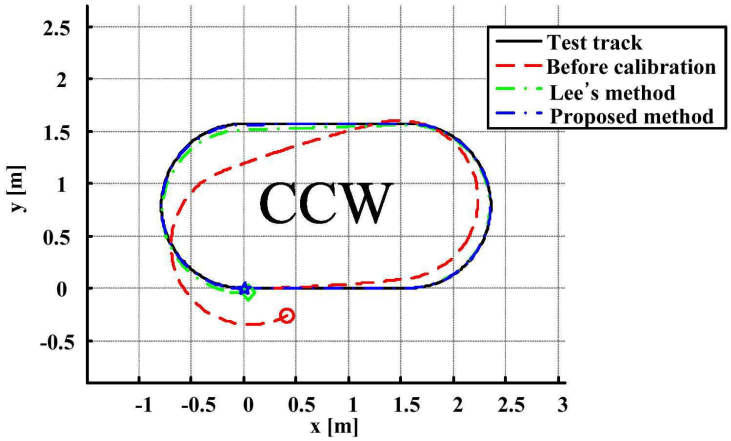

Test track
Before calibration
Lee's method
Proposed method
CW
y [m]
x [m]
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-3
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1

(b)

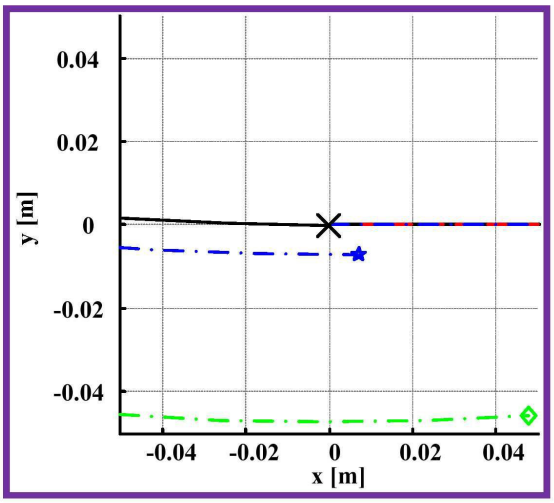

y [m]
x [m]
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.04
-0.02
0
0.02
0.04

도면11

(a)


Test track
Before calibration
Lee's method
Proposed method
CCW
y [m]
x [m]
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3

(b)


y [m]
x [m]
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.04
-0.02
0
0.02
0.04