



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년05월14일
(11) 등록번호 10-2253184
(24) 등록일자 2021년05월11일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01C 21/20 (2006.01) G01C 21/16 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G01C 21/206 (2013.01)
G01C 21/166 (2020.08)
- (21) 출원번호 10-2020-0171036
- (22) 출원일자 2020년12월09일
심사청구일자 2020년12월09일
- (56) 선행기술조사문헌
JP2009128239 A*
KR1020150029820 A*
KR1020170090630 A*
US20080294342 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
- (72) 발명자
송진우
서울특별시 강남구 도곡로 306 래미안그레이트 105동 1201호
김용훈
서울특별시 광진구 능동로19길 7-10 정익제이타워 502호
권영서
서울특별시 노원구 중계로 230 중계5단지주공아파트 501동 1307호
- (74) 대리인
김현승

전체 청구항 수 : 총 14 항

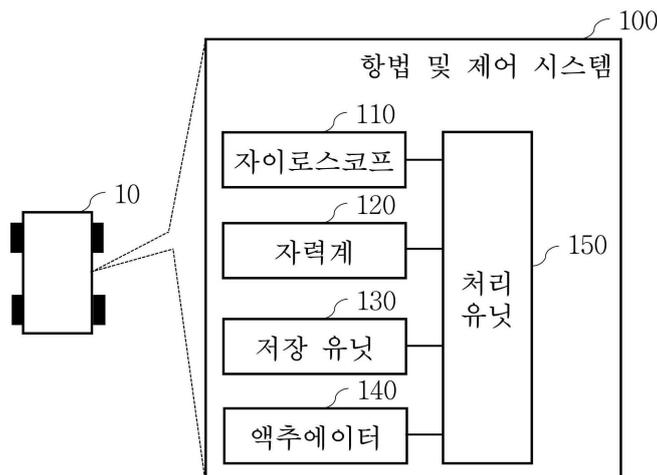
심사관 : 이세경

(54) 발명의 명칭 실내 환경에서 이동하는 무인 지상 이동체의 위치의 추정

(57) 요약

실내 환경에서 제어 입력에 따라 제어된 속도로 이동하는 무인 지상 이동체(Unmanned Ground Vehicle: UGV)의 위치를 추정하는 방법이 제공된다. 개시된 방법은, UGV의 요 각 및 제어된 속도를 기반으로 위치의 데드 레커닝(Dead Reckoning: DR) 추정을 수행하여 위치의 DR 기반 추정치를 산출하는 단계와, 이동 동안의 자기장의 측정을 나타내는 데이터 세트를 실내 환경 내의 복수의 지점에서의 자기장의 사전측정을 나타내는 자기장 지도와 매칭하여 위치의 지도 매칭 기반 추정치를 산출하는 단계와, DR 기반 추정치 및 지도 매칭 기반 추정치 간의 차이를 처리하는 필터링을 수행하여 DR 기반 추정치의 오차를 추정하는 단계를 포함한다.

대표도



(52) CPC특허분류

G01C 21/183 (2020.08)

G01C 21/188 (2020.08)

G01C 21/32 (2020.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711116145
과제번호	2018-0-01423-003
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	정보통신방송혁신인재양성(R&D)
연구과제명	지능형 비행로봇 융합기술 연구
기여율	50/100
과제수행기관명	세종대학교 산학협력단
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345321135
과제번호	2020R1A6A1A03038540
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공학학술연구기반구축(R&D)
연구과제명	자율지능무인비행체연구소
기여율	50/100
과제수행기관명	세종대학교
연구기간	2020.06.01 ~ 2021.02.28

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

실내 환경에서 제어 입력에 따라 제어된 속도로 이동하는 무인 지상 이동체(Unmanned Ground Vehicle: UGV)의 위치를 추정하는 방법으로서,

상기 UGV의 요(yaw) 각 및 상기 제어된 속도를 기반으로 상기 위치의 데드 레커닝(Dead Reckoning: DR) 추정을 수행하여 상기 위치의 DR 기반 추정치를 산출하는 단계와,

상기 이동 동안에 상기 UGV의 자력계(magnetometer)로부터 수신된 자기장 측정 데이터를 기반으로, 상기 이동의 궤적을 따른 자기장의 측정을 나타내는 데이터 세트를 구성하는 단계와,

상기 데이터 세트를 상기 실내 환경 내의 복수의 지점에서의 상기 자기장의 사전측정을 나타내는 자기장 지도와 매칭하여 상기 위치의 지도 매칭 기반 추정치를 산출하는 단계와,

상기 DR 기반 추정치 및 상기 지도 매칭 기반 추정치 간의 차이를 처리하는 필터링을 수행하여 상기 DR 기반 추정치의 오차를 추정하는 단계를 포함하는,

방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 UGV는 좌측 바퀴 및 우측 바퀴를 포함하고, 상기 제어 입력은 상기 좌측 바퀴로 하여금 제1 병진 속도로 운행하도록 제어하고 상기 우측 바퀴로 하여금 제2 병진 속도로 운행하도록 제어하며, 상기 방법은 상기 제1 병진 속도 및 상기 제2 병진 속도를 기반으로 상기 제어된 속도를 계산하는 단계를 더 포함하는,

방법.

청구항 3

삭제

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 매칭은, 상기 이동의 상기 궤적을 식별하는 것과, 상기 식별된 궤적에 부합하는 복수의 후보 궤적을 식별하는 것 - 상기 복수의 후보 궤적 각각은 상기 복수의 지점 중의 각자의 지점을 시작점으로 가진 - 과, 상기 자기장 지도로부터 상기 각각의 후보 궤적을 따른 상기 자기장의 사전측정을 나타내는 각자의 데이터 세트를 식별하는 것과, 상기 데이터 세트 및 상기 각자의 데이터 세트를 비교하여 상기 위치를 상기 복수의 지점 중 특정한 것으로 추정하는 것을 포함하는,

방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 UGV의 자이로스코프(gyroscope)로부터 수신된 각속도 측정 데이터를 기반으로 상기 요 각을 계산하는 단계를 더 포함하는

방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 필터링은 상기 요 각 및 상기 제어된 속도를 사용하여 수행되는, 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 필터링을 수행하는 것은 상기 오차를 상태로 갖는 상태 공간 모델 및 상기 차이를 상기 오차의 추정치로서 취하는 추정 모델을 사용하는 확장 칼만 필터(Extended Kalman Filter: EKF)를 구동하는 것을 포함하는, 방법.

청구항 8

컴퓨터 프로세서에 의해 실행되는 경우 상기 컴퓨터 프로세서로 하여금 제1항, 제2항 및 제4항 내지 제7항 중 어느 한 항에 기재된 방법을 수행하게 하는 컴퓨터 실행가능 명령어가 저장된 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 9

컴퓨팅 장치로서,

프로세서와,

메모리를 포함하되, 상기 메모리는 실내 환경에서 제어 입력에 따라 제어된 속도로 이동하는 무인 지상 이동체(Unmanned Ground Vehicle: UGV)의 위치를 추정하기 위해 상기 프로세서에 의해 실행가능한 컴퓨터 프로그램 명령어의 세트로서 인코딩되되, 상기 세트는,

상기 UGV의 요 각 및 상기 제어된 속도를 기반으로 상기 위치의 데드 레커닝(Dead Reckoning: DR) 추정을 수행하여 상기 위치의 DR 기반 추정치를 산출하는 명령어와,

상기 이동 동안에 상기 UGV의 자력계로부터 수신된 자기장 측정 데이터를 기반으로, 상기 이동의 궤적을 따른 자기장의 측정을 나타내는 데이터 세트를 구성하는 명령어와,

상기 데이터 세트를 상기 실내 환경 내의 복수의 지점에서의 상기 자기장의 사전측정을 나타내는 자기장 지도와 매칭하여 상기 위치의 지도 매칭 기반 추정치를 산출하는 명령어와,

상기 DR 기반 추정치 및 상기 지도 매칭 기반 추정치 간의 차이를 처리하는 필터링을 수행하여 상기 DR 기반 추정치의 오차를 추정하는 명령어를 포함하는,

컴퓨팅 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 UGV는 좌측 바퀴 및 우측 바퀴를 포함하고, 상기 제어 입력은 상기 좌측 바퀴로 하여금 제1 병진 속도로 운행하도록 제어하고 상기 우측 바퀴로 하여금 제2 병진 속도로 운행하도록 제어하며, 상기 세트는 상기 제1 병진 속도 및 상기 제2 병진 속도를 기반으로 상기 제어된 속도를 계산하는 명령어를 더 포함하는,

컴퓨팅 장치.

청구항 11

삭제

청구항 12

제9항에 있어서,

상기 매칭은, 상기 이동의 상기 궤적을 식별하는 것과, 상기 식별된 궤적에 부합하는 복수의 후보 궤적을 식별하는 것 - 상기 복수의 후보 궤적 각각은 상기 복수의 지점 중의 각자의 지점을 시작점으로 가짐 - 과, 상기 자기장 지도로부터 상기 각각의 후보 궤적을 따른 상기 자기장의 사전측정을 나타내는 각자의 데이터 세트를 식별

하는 것과, 상기 데이터 세트 및 상기 각자의 데이터 세트를 비교하여 상기 위치를 상기 복수의 지점 중 특정한 것으로 추정하는 것을 포함하는,

컴퓨팅 장치.

청구항 13

제9항에 있어서,

상기 세트는 상기 UGV의 자이로스코프로부터 수신된 각속도 측정 데이터를 기반으로 상기 요 각을 계산하는 명령어를 더 포함하는,

컴퓨팅 장치.

청구항 14

제9항에 있어서,

상기 필터링은 상기 요 각 및 상기 제어된 속도를 사용하여 수행되는,

컴퓨팅 장치.

청구항 15

제9항에 있어서,

상기 필터링을 수행하는 것은 상기 오차를 상태로 갖는 상태 공간 모델 및 상기 차이를 상기 오차의 측정치로서 취하는 측정 모델을 사용하는 확장 칼만 필터(Extended Kalman Filter: EKF)를 구동하는 것을 포함하는,

컴퓨팅 장치.

청구항 16

제9항, 제10항 및 제12항 내지 제15항 중 어느 한 항에 기재된 컴퓨팅 장치를 포함하는 무인 지상 이동체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 실내 환경에서 이동하는 무인 지상 이동체(Unmanned Ground Vehicle: UGV)의 위치의 추정에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 제조를 위한 공장 환경, 물류를 위한 창고 환경 등의 다양한 산업 환경에서 무인 이동체, 특히 모바일 로봇(mobile robot)과 같은 무인 지상 이동체(Unmanned Ground Vehicle: UGV)를 활용하여 작업 효율을 증진하려는 시도가 계속되고 있다. UGV의 정위(localization)를 위해 레이저, 자력선, 특수 마크 등과 같은 가이딩 구조가 이용될 수 있다. 그러한 인프라스트럭처(infrastructure) 기반 기술과 달리, 센서 기반 방법은 UGV가 탐색 및 검출을 통해 자율 경로 계획으로써 운행할 수 있게 한다. 자율 주행 기술의 개발과 함께, 산업 환경에서 UGV가 적용되는 사례가 더더욱 늘어나고 있다.

[0003] UGV의 항법 시스템은 현재의 항법 정보(이는, 예컨대, UGV의 위치, 속도 및 자세를 나타냄)를 자이로스코프(gyroscope)나 가속도계(accelerometer)와 같은 관성 센서로부터의 측정 정보 및 이전의 항법 정보에 기반하여 산출하는 관성 항법에 기반할 수 있다. 몇몇 관성 항법 시스템은 UGV의 위치를 추정하기 위해 주행기록계(odometry)의 출력을 함께 사용하기도 한다.

[0004] 관성 항법에서는 적분이 거듭되므로 시간이 지남에 따라 항법 오차가 점점 더 누적되기 마련이다. 이러한 항법 오차는 외부 항법 시스템, 예컨대, 글로벌 항법 위성 시스템(Global Navigation Satellite System: GNSS)과 같은 위성 항법 시스템의 보조로써 완화 또는 제거될 수가 있다. 대안적으로, 위성 항법 시스템을 이용하기가 쉽지 않은 실내 환경에서 무인 이동체를 운행할 경우에, 비전(vision) 기술, 라이다(LiDAR: Light Detection And Ranging) 기술, 무선 로컬 영역 네트워크(Wireless Local Area Network: WLAN) 기술 등이 더욱 정확한 측위를

위해 사용될 수 있다. 이들과 별개로 또는 함께, 자기장 지도 매칭(magnetic map matching)이 사용될 수 있는데, 이는 여러 위치에서 미리 측정된 자기장 수치를 기반으로 자기장 지도가 구성되면, 이후에 지자기 센서(geomagnetic sensor)(이는 자력계(magnetometer)로도 지칭됨)에 의해 제공되는 자기장 측정 데이터를 자기장 지도 데이터와 비교함으로써 위치를 추정하는 기법이다. 그런데, 다른 센서에 비해, 지자기 센서는 주변 환경의 영향을 크게 받는다. 예를 들어, 지자기 센서로부터 출력된 자기장 측정 데이터에는 지구 자력 외에 다른 자력을 야기하는 주변 물체 또는 기존의 자력의 방향을 바꾸는 주변 물체로 인해 왜곡(distortion)이 생길 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 실내 환경에서 이동하는 UGV의 위치의 추정이 본 문서에 개시된다.

과제의 해결 수단

[0006] 예 1에서, 실내 환경에서 제어 입력에 따라 제어된 속도로 이동하는 무인 지상 이동체(Unmanned Ground Vehicle: UGV)의 위치를 추정하는 방법은 다음을 포함한다: 상기 UGV의 요(yaw) 각 및 상기 제어된 속도를 기반으로 상기 위치의 데드 레커닝(Dead Reckoning: DR) 추정을 수행하여 상기 위치의 DR 기반 추정치를 산출하는 단계; 상기 이동 동안의 자기장의 측정을 나타내는 데이터 세트를 상기 실내 환경 내의 복수의 지점에서의 상기 자기장의 사전측정을 나타내는 자기장 지도와 매칭하여 상기 위치의 지도 매칭 기반 추정치를 산출하는 단계; 및 상기 DR 기반 추정치 및 상기 지도 매칭 기반 추정치 간의 차이를 처리하는 필터링을 수행하여 상기 DR 기반 추정치의 오차를 추정하는 단계.

[0007] 예 2는 예 1의 주제(subject matter)를 포함하는데, 상기 UGV는 좌측 바퀴 및 우측 바퀴를 포함하고, 상기 제어 입력은 상기 좌측 바퀴로 하여금 제1 병진 속도로 운행하도록 제어하고 상기 우측 바퀴로 하여금 제2 병진 속도로 운행하도록 제어하며, 상기 방법은 상기 제1 병진 속도 및 상기 제2 병진 속도를 기반으로 상기 제어된 속도를 계산하는 단계를 더 포함한다.

[0008] 예 3은 예 1 또는 예 2의 주제를 포함하는데, 상기 방법은 상기 이동 동안에 상기 UGV의 자력계(magnetometer)로부터 수신된 자기장 측정 데이터를 기반으로 상기 데이터 세트를 구성하는 단계를 더 포함한다.

[0009] 예 4는 예 1 내지 예 3 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 상기 매칭은 다음을 포함한다: 상기 이동의 궤적을 식별하는 것; 상기 식별된 궤적에 부합하는 복수의 후보 궤적을 식별하는 것(상기 복수의 후보 궤적 각각은 상기 복수의 지점 중의 각자의 지점을 시작점으로 가짐); 상기 자기장 지도로부터 상기 각각의 후보 궤적을 따른 상기 자기장의 사전측정을 나타내는 각자의 데이터 세트를 식별하는 것; 및 상기 데이터 세트 및 상기 각자의 데이터 세트를 비교하여 상기 위치를 상기 복수의 지점 중 특정한 것으로 추정하는 것.

[0010] 예 5는 예 1 내지 예 4 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 상기 방법은 상기 UGV의 자이로스코프(gyroscope)로부터 수신된 각속도 측정 데이터를 기반으로 상기 요 각을 계산하는 단계를 더 포함한다.

[0011] 예 6은 예 1 내지 예 4 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 상기 필터링은 상기 요 각 및 상기 제어된 속도를 사용하여 수행된다.

[0012] 예 7은 예 1 내지 예 6 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 상기 필터링을 수행하는 것은 상기 오차를 상태로 갖는 상태 공간 모델 및 상기 차이를 상기 오차의 측정치로서 취하는 측정 모델을 사용하는 확장 칼만 필터(Extended Kalman Filter: EKF)를 구동하는 것을 포함한다.

[0013] 예 8에서, 컴퓨터 프로세서에 의해 실행되는 경우 상기 컴퓨터 프로세서로 하여금 예 1 내지 예 7 중 임의의 것에 기재된 방법을 수행하게 하는 컴퓨터 실행가능 명령어가 저장된 컴퓨터 판독가능 저장 매체가 제공된다.

[0014] 예 9에서, 컴퓨팅 장치는 프로세서와, 메모리를 포함하되, 상기 메모리는 실내 환경에서 제어 입력에 따라 제어된 속도로 이동하는 무인 지상 이동체(Unmanned Ground Vehicle: UGV)의 위치를 추정하기 위해 상기 프로세서에 의해 실행가능한 컴퓨터 프로그램 명령어의 세트로서 인코딩되고, 상기 세트는 다음을 포함한다: 상기 UGV의 요 각 및 상기 제어된 속도를 기반으로 상기 위치의 데드 레커닝(Dead Reckoning: DR) 추정을 수행하여 상기 위치의 DR 기반 추정치를 산출하는 명령어; 상기 이동 동안의 자기장의 측정을 나타내는 데이터 세트를 상기 실내 환경 내의 복수의 지점에서의 상기 자기장의 사전측정을 나타내는 자기장 지도와 매칭하여 상기 위치의 지도 매칭 기반 추정치를 산출하는 명령어; 및 상기 DR 기반 추정치 및 상기 지도 매칭 기반 추정치 간의 차이를 처리

하는 필터링을 수행하여 상기 DR 기반 추정치의 오차를 추정하는 명령어.

- [0015] 예 10은 예 9의 주제를 포함하는데, 상기 UGV는 좌측 바퀴 및 우측 바퀴를 포함하고, 상기 제어 입력은 상기 좌측 바퀴로 하여금 제1 병진 속도로 운행하도록 제어하고 상기 우측 바퀴로 하여금 제2 병진 속도로 운행하도록 제어하며, 상기 세트는 상기 제1 병진 속도 및 상기 제2 병진 속도를 기반으로 상기 제어된 속도를 계산하는 명령어를 더 포함한다.
- [0016] 예 11은 예 9 또는 예 10의 주제를 포함하는데, 상기 세트는 상기 이동 동안에 상기 UGV의 자력계로부터 수신된 자기장 측정 데이터를 기반으로 상기 데이터 세트를 구성하는 명령어를 더 포함한다.
- [0017] 예 12는 예 9 내지 예 11 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 상기 매칭은 다음을 포함한다: 상기 이동의 궤적을 식별하는 것; 상기 식별된 궤적에 부합하는 복수의 후보 궤적을 식별하는 것(상기 복수의 후보 궤적 각각은 상기 복수의 지점 중의 각자의 지점을 시작점으로 가짐); 상기 자기장 지도로부터 상기 각각의 후보 궤적을 따른 상기 자기장의 사전측정을 나타내는 각자의 데이터 세트를 식별하는 것; 및 상기 데이터 세트 및 상기 각자의 데이터 세트를 비교하여 상기 위치를 상기 복수의 지점 중 특정한 것으로 추정하는 것.
- [0018] 예 13은 예 9 내지 예 12 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 상기 세트는 상기 UGV의 자이로스코프로부터 수신된 각속도 측정 데이터를 기반으로 상기 요 각을 계산하는 명령어를 더 포함한다.
- [0019] 예 14는 예 9 내지 예 12 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 상기 필터링은 상기 요 각 및 상기 제어된 속도를 사용하여 수행된다.
- [0020] 예 15는 예 9 내지 예 14 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 상기 필터링을 수행하는 것은 상기 오차를 상태로 갖는 상태 공간 모델 및 상기 차이를 상기 오차의 측정치로서 취하는 측정 모델을 사용하는 확장 칼만 필터(Extended Kalman Filter: EKF)를 구동하는 것을 포함한다.
- [0021] 예 16에서, 예 9 내지 예 15 중 임의의 것에 기재된 컴퓨팅 장치를 포함하는 무인 지상 이동체가 제공된다.
- [0022] 전술된 개요는 상세한 설명에서 추가로 후술되는 몇몇 양상을 단순화된 형태로 소개하기 위해 제공된다. 이 개요는 청구된 주제의 중요 특징 또는 필수적 특징을 식별하도록 의도되지 않고, 청구된 주제의 범위를 정하는 데 사용되도록 의도되지도 않는다. 나아가, 청구된 주제는 본 명세서에서 논의되는 임의의 또는 모든 이점을 제공하는 구현에 한정되지 않는다.

발명의 효과

- [0023] 본 개시에 따르면, 실내 환경에서 제어 입력에 따라 제어된 속도로 이동하는 UGV의 위치를 데드 레커닝(Dead Reckoning: DR) 방식으로 추정하면서도 자기장 지도 매칭을 통해 오차를 추정하여 보상함으로써 더 정확한 항법을 가능하게 할 수 있다.
- [0024] 본 개시에 따르면, UGV의 항법 시스템은 자이로스코프 및 자력계를 사용하되 주행기록계를 사용하지 않을 수 있는바, 저비용으로 UGV를 구현할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0025] 도 1은 실내 환경에서의 운행을 위한 예시적인 무인 지상 이동체(Unmanned Ground Vehicle: UGV)의 항법 시스템의 예를 보여주는 블록도이다.
- 도 2는 도 1의 UGV의 위치를 추정하기 위한 자기장 지도 매칭의 예시적인 흐름을 보여준다.
- 도 3은 도 1의 UGV가 이동하는 궤적의 프로파일(profile)의 예를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 4는 도 1의 UGV의 이동 궤적에 부합하는 후보 궤적의 프로파일의 예를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 5는 도 1의 UGV의 위치를 추정하는 프로세스의 예를 보여주는 흐름도이다.
- 도 6 내지 도 8은 도 5의 프로세스의 성능을 평가하는 실험의 결과를 보여주는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0026] 본 개시에서 사용되는 다양한 용어는 본 문서에서의 기능을 고려하여 상용 용어의 용어법으로부터 선택되는데, 이는 당업자의 의도, 준례, 또는 새로운 기술의 출현에 따라서 달리 인식될 수 있다. 특정한 사례에서, 몇몇 용

어에는 상세한 설명에서 개진된 바와 같이 의미가 주어질 수 있다. 따라서, 본 문서에서 사용되는 용어는, 단순히 그 명칭에 의해서가 아니라, 본 개시의 맥락에서 그 용어가 갖는 의미와 일관되게 정의되어야 한다.

- [0027] 본 문서에서 용어 "포함하다", "가지다" 등은 이후에 열거된 요소, 예컨대, 어떤 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 정보 또는 이들의 조합의 존재를 명시하는 경우에 사용된다. 달리 표시되지 않는 한, 이런 용어 및 이의 변형은 다른 요소의 존재 또는 추가를 배제하도록 의도되지 않는다.
- [0028] 본 문서에서 사용되는 바와 같이, 용어 "제1", "제2" 등은 몇 개의 서로 닮은 요소를 식별하도록 의도된다. 달리 기재되지 않는 한, 그러한 용어는 이들 요소의 또는 이들의 사용의 특정한 순서와 같은 한정을 부과하도록 의도된 것이 아니라, 단지 여러 요소를 따로따로 지칭하기 위해 사용된다. 예를 들면, 어떤 요소가 일례에서 용어 "제1"로써 참조될 수 있는 한편 동일한 요소가 다른 예에서 "제2" 또는 "제3"과 같은 상이한 서수로써 참조될 수 있다. 그러한 예에서, 이들 용어는 본 개시의 범위를 한정하지 않는 것이다. 또한, 여러 요소의 리스트에서 용어 "및/또는"을 사용하는 것은 열거된 항목 중 임의의 하나 또는 복수 개를 비롯하여 이들 항목의 모든 가능한 조합을 포함한다. 나아가, 단수 형태의 표현은 명확하게 달리 사용되지 않는 한, 복수 형태의 의미를 포함한다.
- [0029] 첨부된 도면을 참조하여 본 개시의 소정의 예가 이제 상세히 기술될 것이다. 다만, 본 개시는 많은 상이한 형태로 체현될 수 있으며, 본 문서에 개진된 예에 한정되는 것으로 해석되어서는 안 된다. 오히려, 이들 예는 본 개시의 범위의 더 나은 이해를 제공하기 위해서 주어지는 것이다.
- [0030] 도 1은 실내 환경에서의 운행을 위한 예시적인 UGV(10)의 항법 및 제어 시스템(100)의 예를 보여주는 블록도이다. UGV(10)의 예는 바퀴 달린(wheeled) 모바일 로봇(가령, 좌측 및 우측에 각각 2개의 바퀴를 가진 4륜 모바일 로봇), 다리 달린(legged) 모바일 로봇(가령, 좌측 및 우측에 각각 2개의 다리를 가진 4족 모바일 로봇) 및 다른 타입(가령, 연속궤도(continuous track) 또는 하이브리드(hybrid) 타입)의 발동 메커니즘(locomotive mechanism)을 가진 모바일 로봇을 포함한다.
- [0031] 도 1의 예시적인 항법 및 제어 시스템(100)은 UGV(10)로 하여금 제어된 속도로 실내 환경에서 이동하게 하는 제어 입력(control input)을 제공하고, UGV(10)를 위한 제어 입력 및 UGV(10)의 동적 모델을 사용하여 데드 레커닝(Dead Reckoning: DR) 방식으로 항법 정보를 산출한다. 몇몇 예에서, 항법 및 제어 시스템(100)은 외부의 항법 시스템(가령, 글로벌 포지셔닝 시스템(Global Positioning System: GPS)과 같은 GNSS)으로부터 보조 정보를 수신하고 이를 사용하는 메커니즘을 갖지 않을 수 있다.
- [0032] 도 1의 예에서, 항법 및 제어 시스템(100)은 자이로스코프(110), 자력계(120), 저장 유닛(storage unit)(130), 액추에이터(actuator)(140) 및 처리 유닛(processing unit)(150)을 포함한다. 항법 및 제어 시스템(100)의 다른 예시적인 구현이 또한 고려된다. 예를 들어, 항법 및 제어 시스템(100)은 도시되지 않은 추가적인 컴포넌트를 또한 포함할 수 있고/거나, 도 1에 도시된 컴포넌트 중 일부를 포함하나 전부를 포함하지는 않을 수 있다.
- [0033] 도시된 예에서, 자이로스코프(110)는 각속도 측정 데이터를 제공한다. 그러면, 처리 유닛(150)은 자이로스코프(110)로부터 수신된 각속도 측정 데이터를, UGV(10)의 요(yaw) 각(즉, 방위각) ψ 을 계산하는 데에 사용할 수 있다. 예를 들어, 자이로스코프(110)는 3축 자이로스코프일 수 있다.
- [0034] 도시된 예에서, 자력계(120)는 자기장 측정 데이터를 제공한다. 그러면, 후술되는 바와 같이, 처리 유닛(150)은 UGV(10)가 이동하는 동안에 자력계(120)로부터 수신된 자기장 측정 데이터를, 그러한 이동의 궤적에 따른 자기장의 측정을 나타내는 데이터 세트를 구성하는 데에 사용할 수 있다. 예를 들어, 자력계(120)는 3축 자력계일 수 있다.
- [0035] 도시된 예에서, 저장 유닛(130)은 다양한 정보, 특히 자기장 지도 매칭에서 사용될 자기장 지도를 저장하는데, 이는 실내 환경 내의 복수의 지점에 대해 정의될 수 있다. 다시 말해, 자기장 지도는 그러한 지점 각각에서의 자기장의 사전측정을 나타낼 수 있다. 예를 들어, 자기장 지도는 이들 사전측정된 자기장 값의 데이터베이스로서 구성될 수 있다. 실내 자기장 지도 매칭은 건물 내에서 지구 자기장을 측정하는 경우에 해당 건물의 철골 구조와 같은 건축 구조물로 인해 다양한 왜곡이 발생할 수 있고, 이 구조물은 변하지 않는다고 취급될 수 있는바, 건물의 여러 구역에서의 자기장 측정은 각 구역에서의 왜곡 특성에 따라 고유한 정보를 제공한다는 점을 활용하는 것이다. 따라서, 그러한 정보를 기반으로 자기장 지도가 구성되면, 이후의 측정에 기반한 데이터를 자기장 지도 데이터와 비교함으로써 실내의 위치를 추정하는 것이 가능하게 된다. 항법 및 제어 시스템(100)이 어떻게 자기장 지도 매칭을 수행하는지에 대해 아래에서 상세히 논의될 것이다.

[0036] 도시된 예에서, 액추에이터(140)는 UGV(10)는 제어된 속도로 실내 환경에서 이동할 수 있도록 제어 입력에 따라 UGV(10)의 발동 메커니즘(가령, 바퀴)을 제어한다. 예를 들어, UGV(10)는 좌측 바퀴 및 우측 바퀴를 포함할 수 있고, 액추에이터(140)는 좌측 바퀴를 그것의 축에 대해 회전시키는 모터 및 우측 바퀴를 그것의 축에 대해 회전시키는 모터를 포함할 수 있다. 또한, UGV(10)로의 제어 입력은 이들 모터를 각각 구동하는 입력을 포함할 수 있다. 예를 들어, 각각의 모터를 구동하는 입력에 따라, 해당 모터에 대응하는 바퀴는 각자의 병진 속도(translational velocity)를 갖도록 제어될 수 있다.

[0037] 몇몇 예시적인 구현에서, 각각의 모터는 펄스 폭 변조(Pulse Width Modulation: PWM) 신호를 제어 입력으로서 인가하여 동작시키는 DC 모터일 수 있다. 예를 들어, 0% 및 100% 사이의 C_{PWM} 의 듀티 사이클(duty cycle)을 갖는 PWM 신호로써 이 DC 모터가 다음 수학적식과 같이 표현될 수 있는 회전 속도(rotational velocity) M_v 를 갖도록 제어할 수 있다.

수학적식 1

$$M_v = M_{vmax} \cdot \frac{C_{PWM}}{100}$$

[0038]

[0039] 여기서 M_{vmax} 는 DC 모터의 최대 회전 속도이다. C_{PWM} 이 100%인 경우에 모터는 최대 회전 속도로 회전하고, C_{PWM} 이 0%인 경우에 모터는 정지한다. 이들 구현에서, DC 모터에 대응하는 바퀴의 병진 속도 V 는 다음 수학적식과 같이 계산될 수 있다.

수학적식 2

$$V = \frac{M_v \cdot D \cdot \pi}{\Delta t}$$

[0040]

[0041] 여기서 D 는 바퀴의 지름이고, Δt 는 제어 입력이 인가되는 주기이다. 그러면, UGV(10)의 제어된 속도는 각 바퀴의 제어된 병진 속도를 기반으로, 예컨대, 이들 바퀴의 병진 속도의 평균으로서, 주어질 수 있다. 특정한 예에서, UGV(10)는 2개의 좌측 바퀴 및 2개의 우측 바퀴를 포함하는 4륜 이동체일 수 있다. 이 예에서, UGV(10)의 제어된 속도는 다음 수학적식과 같이 \hat{V} 로서 계산될 수 있다.

수학식 3

$$\hat{V} = \frac{\tilde{V}_L + \tilde{V}_R}{2}$$

$$\tilde{V}_L = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

$$\tilde{V}_R = \frac{V_3 + V_4}{2}$$

[0042]

[0043] 여기서 \tilde{V}_L 및 \tilde{V}_R 는 각각 UGV(10)의 좌측 및 우측 부분의 평균 속도이고, V_1 및 V_2 는 각각 2개의 좌측 바퀴의 병진 속도이고, V_3 및 V_4 는 각각 2개의 우측 바퀴의 병진 속도이다.

[0044] 도 1의 예에서, 처리 유닛(150)은 UGV(10)의 위치를 추정한다. 그러한 위치 추정은 UGV(10)의 위치를 DR 방식으로 추정하는 것과, UGV(10)의 위치를 자기장 지도 매칭을 통해 추정하는 것과, 이들 위치 추정치의 차이로부터 오차를 추정하여 이를 보상하는 것을 수반할 수 있다.

[0045] 몇몇 예시적인 구현에서, 처리 유닛(150)은 UGV(10)의 요 각 및 제어된 속도를 기반으로 UGV(10)의 위치의 DR 추정을 다음 수학식에 표현된 바와 같이 수행할 수 있다.

$$P_{j+1}(x) = P_j(x) + \cos(\psi_j)\hat{V}_j \Delta t$$

$$P_{j+1}(y) = P_j(y) + \sin(\psi_j)\hat{V}_j \Delta t$$

[0046]

[0047] 여기서 ψ_j 는 시간 j 에서의 UGV(10)의 요 각이고, \hat{V}_j 는 시간 j 에서의 UGV(10)의 제어된 속도이고, 지점 $(P_j(x), P_j(y))$ 은 시간 j 에서의 UGV(10)의 위치의 DR 기반 추정치이다.

[0048] 특정한 예에서, 정렬 오차가 없다고 가정하면, 처리 유닛(150)은 UGV(10)의 요 각을 다음 수학식에 따라 계산할 수 있다.

수학식 5

$$\psi_{j+1} = \psi_j + \Omega_z \Delta t$$

[0049]

[0050] 여기서 Ω_z 는 자이로스코프(110)에 의해 측정된 z축 각속도 성분이다.

[0051] 특정한 예에서, 처리 유닛(150)은 UGV(10)의 제어된 속도 \hat{V}_j 를, 제어 입력에 기반하여, (가령, 수학식 3에

관해서 전술된 바와 마찬가지로) 시간 j 에서의 UGV(10)의 좌측 부분의 평균 속도 $\widetilde{V}_{L,j}$ 및 우측 부분의 평균 속도 $\widetilde{V}_{R,j}$ 의 평균으로서 계산할 수 있다.

수학식 6

$$\widehat{V}_j = \left(\frac{\widetilde{V}_{R,j} + \widetilde{V}_{L,j}}{2} \right)$$

[0052]

[0053]

몇몇 예시적인 구현에서, UGV(10)는 주행기록계를 포함하지 않을 수 있고, 처리 유닛(150)은 주행기록계 없는 DR 방법을 수행할 수 있다. UGV(10)의 주행기록계 비장착 구현은 UGV(10)의 제조 비용의 측면에서 효율적일 수 있다. 다만, 전술된 속도 계산에는 노면 여건(road surface condition), 바퀴의 재료 등으로 인한 미끄럼(slip) 오차를 비롯하여 제어 사이클의 오차, 모터 출력의 오차 등등의 다양한 오차가 감안되지 않았음에 유의하여야 한다. 그러한 오차는 아래에서 논의되는 바와 같이 자기장 지도 매칭을 통해 추정되고 보상될 수 있다.

[0054]

우선, 도 2 내지 도 4를 참조하여, UGV(10)의 위치를 추정하기 위한 자기장 지도 매칭에 대해 상세히 설명된다. 그러한 자기장 지도 매칭의 예시적인 흐름이 도 2에 도시된다.

[0055]

도 2에서 볼 수 있듯이, 처리 유닛(150)은 실내 환경에서 UGV(10)가 이동하는 동안에 이동의 궤적(trajjectory)을 따라서 측정된 자기장의 값의 데이터 세트를 사전에 구성된 자기장 지도와 매칭할 수 있다. 특히, 처리 유닛(150)은, 새로운 자기장이 측정될 때마다 위치를 계산하는 순차적(sequential) 프로세스 방식보다는, 어떤 수의 자기장 값 샘플을 수집하고 그것을 자기장 지도와 비교하는 배치(batch) 프로세스 방식으로 자기장 지도 매칭을 수행할 수 있다. 순차적 방식에 비해 상대적으로 더 많은 계산상 부하가 요구되기는 하나, 배치 방식에서는 축적된 자기장 측정 데이터가 그렇지 않은 경우보다 더 독특할 것이므로, 예를 들어, 자기장 지도 내에 국부적인 데이터 유사성이 존재하더라도, 또한 공장 환경과 같은 실내 환경에는 고정적인 구조물 외에도 일시적으로 그리고/또는 무작위로 적재된 물건이 자기장 왜곡을 유발하는 것을 비롯하여, 사전에 예측되지 않은 요인으로 실내 환경에서 국부적으로 자기장이 왜곡되더라도, 더 정확한 측위가 가능하다.

[0056]

예를 들어, UGV(10)의 이동 중에 실내 환경 내의 어떤 지점 (i, j) 에서 측정된 자기장 값 $\rho_{meas}(i, j)$ 및 자기장 지도 내의 사전측정된 자기장 값(즉, 실내 환경 내의 어떤 지점 (p, q) 에서의 자기장의 사전측정된 값) $\rho_{DB}(p, q)$ 은 모두 벡터 형태로 될 수 있고, 이들 간의 비교는 다음 수학식에서와 같이 평균 제곱 차이(Mean Squared Difference: MSD)를 계산하는 것일 수 있다(만일 자기장 지도가 실내 환경 내의 $n \times m$ 개의 2차원 격자의 격자점에 대해 정의된다고 가정하면, $0 \leq i \leq n, 0 \leq j \leq m, 0 \leq p \leq n, 0 \leq q \leq m$ 이다).

수학식 7

$$MSD_{(p,q)} = \|\rho_{meas}(i, j) - \rho_{DB}(p, q)\|$$

[0057]

[0058]

그러면, MSD가 계산된 후, UGV(10)가 위치된 지점으로 간주될 수 있는 후보 위치 P_{MSD} 는, 다음 수학식에 표현된 바와 같이, $MSD_{(p,q)}$ 를 최소로 하는 지점이다.

수학식 8

$$P_{MSD} = \arg \min_{p,q} MSD_{(p,q)}$$

[0059]

[0060]

특정한 예에서, 블록(210)에 의해 나타내어진 바와 같이, 배치 프로세스 기반 자기장 지도 매칭을 수행하기 위해, 처리 유닛(150)은 UGV(10)의 이동의 궤적을 식별할 수 있다. 예를 들어, 처리 유닛(150)은 UGV(10)의 이동의 궤적을 다음의 수학식에 표현된 바와 같은 궤적 프로파일 \mathbf{pr} 로서 식별할 수 있다.

수학식 9

$$\mathbf{pr} = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)\}$$

[0061]

[0062]

도 3에 도시된 바와 같이, UGV(10)가 어떤 궤적을 따라서 이동하는 동안에, 처리 유닛(150)은 DR 추정을 계속하면서 UGV(10)의 위치의 추정치(이는, 예컨대, DR 기반 추정치로서, 가능하다면 DR 추정에서의 오차가 보상된 것일 수 있음)의 세트인 프로파일 \mathbf{pr} 을 생성할 수 있다. UGV(10)의 이동의 궤적을 따른 자기장의 측정을 나타내는 데이터 세트는 $\mathbf{mag}\{\mathbf{pr}\}$ 로 표기될 수 있다.

[0063]

특정한 예에서, 블록(220)에 의해 나타내어진 바와 같이, 처리 유닛(150)은 식별된 궤적에 부합하는 복수의 후보 궤적을 식별할 수 있는데, 복수의 후보 궤적 각각은 자기장 지도가 정의된 복수의 지점 중의 각자의 지점을 시작점으로서 가질 수 있다. 예를 들어, 도 3을 계속해서 참조하면, 처리 유닛(150)은 궤적 프로파일 \mathbf{pr} 내의 샘플 지점 (x_i, y_i) 에 대해 각도 θ_i 및 거리 D_i 를 계산할 수 있다.

수학식 10

$$\theta_i = \text{atan}\left(\frac{y_i - y_1}{x_i - x_1}\right), \quad i \neq 1, \quad \theta_1 = 0$$

$$D_i = \|(x_i, y_i) - (x_1, y_1)\|, \quad i = 1, \dots, N$$

[0064]

[0065]

나아가, 도 4를 참조하면, 자기장 지도가 실내 환경 내의 $n \times m$ 개의 2차원 격자의 격자점에 대해 정의된 경우에, 처리 유닛(150)은 후보 궤적의 시작점 (X, Y) 에 대한 프로파일 $\mathbf{mappr}_{X,Y}$ 을 다음과 같이 획득할 수 있다($0 \leq X < n, 0 \leq Y < m$).

수학식 11

$$\mathbf{mappr}_{X,Y} = \{(X + \cos(\theta_i) \cdot D_i, Y + \sin(\theta_i) \cdot D_i) | i = 1, 2, \dots, N\}$$

[0066]

[0067]

특정한 예에서, 블록(230)에 의해 나타내어진 바와 같이, 처리 유닛(150)은 자기장 지도로부터 각각의 후보 궤

적에 따른 자기장의 사전측정을 나타내는 각자의 데이터 세트를 식별할 수 있다. 예를 들어, 그러한 데이터 세트를 식별하기 위하여, 처리 유닛(150)은 후보 궤적 프로파일 $\text{mappr}_{X,Y}$ 내의 샘플 지점이 자기장 지도가 정의된 지점이면 자기장 지도로부터 그 지점에서의 자기장의 사전측정을 나타내는 데이터를 식별할 수 있고, 그렇지 않으면 자기장 지도가 정의된 주위의 지점(가령, 주위의 4개의 격자점)에서의 자기장의 사전측정을 나타내는 데이터를 자기장 지도로부터 식별하고 이를 기반으로 보간(가령, 양선형 보간(bilinear interpolation))을 수행할 수 있다. 이와 같이 식별된 데이터 세트는 $\text{mag}\{\text{mappr}_{X,Y}\}$ 로 표기될 수 있다.

[0068] 특정한 예에서, 블록(240)에 의해 나타내어진 바와 같이, 처리 유닛(150)은 UGV(10)의 이동의 궤적을 따른 자기장의 측정을 나타내는 데이터 세트 및 각각의 후보 궤적에 따른 자기장의 사전측정을 나타내는 데이터 세트를 비교함으로써 UGV(10)의 위치를 자기장 지도가 정의된 지점 중 특정한 것으로 추정할 수 있다. 예를 들어, $\text{mag}\{\text{pr}\}$ 및 $\text{mag}\{\text{mappr}_{X,Y}\}$ 은 모두 벡터 형태로 될 수 있고, 처리 유닛(150)은 다음 수학적 예시와 같이 $\text{MSD}_{(X,Y)}$ 를 계산함으로써 이들을 비교할 수 있다.

수학적 식 12

$$\text{MSD}_{(X,Y)} = \|\text{mag}\{\text{pr}\} - \text{mag}\{\text{mappr}_{X,Y}\}\|$$

[0069]

[0070] 따라서, 다음 수학적식에 표현된 바와 같이, 처리 유닛(150)은 $\text{MSD}_{(X,Y)}$ 를 최소로 하는 위치를 식별할 수 있고, 이에 따라 UGV(10)의 위치의 지도 매칭 기반 추정치 \hat{P}_{MSD} 를 산출할 수 있다.

수학적 식 13

$$\hat{P}_{\text{MSD}} = \arg \min_{X,Y} \text{MSD}_{(X,Y)} + (\cos(\theta_N) \cdot D_N, \sin(\theta_N) \cdot D_N)$$

[0071]

[0072] 다음으로, UGV(10)의 위치를 추정하는 데에서 발생하는 오차를 추정하기 위한 필터링에 대해 상세히 설명된다.

[0073] 몇몇 예시적인 구현에서, 처리 유닛(150)은 UGV(10)의 위치의 DR 기반 추정치 및 지도 매칭 기반 추정치 간의 차이를 처리하는 필터링을 수행하여 DR 기반 추정치의 오차를 추정할 수 있다. 예를 들어, 그러한 필터링은 UGV(10)의 계산된 요 각 및 제어된 속도를 사용하여, 그리고 가능하게는 자이로스코프(110)의 바이어스(bias)에 관련된 상수도 함께 사용하여, 수행될 수 있다. 특정한 예에서, 이 필터링은 간접 피드백(indirect feedback)을 위해 확장 칼만 필터(Extended Kalman Filter: EKF)를 구동하는 것을 포함할 수 있다.

[0074] 전술된 바와 같이, UGV(10)의 위치의 DR 추정에서는 다양한 요인으로부터 오차가 야기될 수 있다. 이들 오차는 (가령, 수학적 식 6에서와 같이) UGV(10)의 속도를 계산하는 데에서의 오차로, 그리고 결국 (가령, 수학적 식 4에서와 같이) DR 방식으로 UGV(10)의 위치를 추정하는 데에서의 오차로 이어질 수 있다. 구체적으로, 전술된 바와 같이 UGV(10)가 2개의 좌측 바퀴 및 2개의 우측 바퀴를 포함하는 4륜 이동체인 예에서, UGV(10)의 좌측 부분 및 우측 부분의 실제 속도를 각각 \hat{V}_L 및 \hat{V}_R 이라고 할 때, UGV(10)의 좌측 및 우측 부분의 속도 계산에서 노면 여건이나 바퀴의 재료로 인한 미끄럼 오차를 각각 나타내는 δS_L 및 δS_R 은 다음의 수학적식에서 표현된 바와 같이 1차 마코프 프로세스(Markov process)로서 모델링될 수 있다.

수학식 14

$$\hat{V}_L = \tilde{V}_L + \delta S_L$$

$$\hat{V}_R = \tilde{V}_R + \delta S_R$$

[0075]

[0076] 이에 따라, 위치 오차 모델이 다음 수학식과 같이 수립될 수 있다.

수학식 15

$$\delta P_{j+1}(x) = \delta P_j(x) + \cos(\psi_j) \left(\frac{\delta S_{R,j}}{2} \right) + \cos(\psi_j) \left(\frac{\delta S_{L,j}}{2} \right) - \sin(\psi_j) \left(\frac{\tilde{V}_{R,j} + \tilde{V}_{L,j}}{2} \right) \delta \psi_j$$

[0077]

$$\delta P_{j+1}(y) = \delta P_j(y) + \sin(\psi_j) \left(\frac{\delta S_{R,j}}{2} \right) + \sin(\psi_j) \left(\frac{\delta S_{L,j}}{2} \right) + \cos(\psi_j) \left(\frac{\tilde{V}_{R,j} + \tilde{V}_{L,j}}{2} \right) \delta \psi_j$$

[0078]

[0079] 또한, UGV(10)의 요 각의 계산에서의 오차 및 자이로스코프(110)의 바이어스(bias)도 다음의 수학식과 같이 모델링될 수 있다.

수학식 16

$$\delta \psi_{j+1} = \delta \psi_j + b g_j$$

$$b g_{j+1} = (1 - \gamma) b g_j$$

[0080]

[0081] 여기서 상수 γ 는 자이로스코프 바이어스의 마코프 프로세스 모델의 시상수(time constant)이다. 또한, 이 상수는 오차 δS_L 및 δS_R 각각의 마코프 프로세스 모델의 시상수와 같을 수 있다.

[0082] 그러면, 다음의 수학식과 같이, EKF의 상태 공간 모델이 정의될 수 있는데, 오차 상태 벡터는 $\delta x = [\delta P(x) \ \delta P(y) \ \delta \psi \ \delta S_L \ \delta S_R \ b g]^T$ 로 정의된다(즉, 이 모델은 위치 추정에서의 오차 $\delta P(x)$ 및 $\delta P(y)$, 요 각 계산에서의 오차 $\delta \psi$, 속도 계산에서의 미끄럼 오차 δS_L 및 δS_R , 자이로스코프 바이어스 $b g$ 를 상태 변수로서 갖는다).

수학식 17

$$\delta \mathbf{x}_{j+1} = \mathbf{F} \delta \mathbf{x}_j + \mathbf{w}$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\sin(\psi) \left(\frac{\widetilde{V}_R + \widetilde{V}_L}{2} \right) & \left(\frac{\cos(\psi)}{2} \right) & \left(\frac{\cos(\psi)}{2} \right) & 0 \\ 0 & 1 & \cos(\psi) \left(\frac{\widetilde{V}_R + \widetilde{V}_L}{2} \right) & \left(\frac{\sin(\psi)}{2} \right) & \left(\frac{\sin(\psi)}{2} \right) & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 - \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 - \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 - \gamma \end{bmatrix}$$

[0083]

[0084] 여기서 \mathbf{w} 는 평균이 0이고 공분산이 \mathbf{Q} 인 백색 가우시안 잡음 벡터이다(즉, $\mathbf{w} \sim N(0, \mathbf{Q})$).

[0085] EKF의 측정 모델은 다음의 수학식과 같이 주어질 수 있는데, 이 모델은 DR 기반 추정치 및 지도 매칭 기반 추정치 간의 차이를 위치 추정에서의 오차의 측정치로서 취할 수 있다.

수학식 18

$$\mathbf{z} = \mathbf{H} \delta \mathbf{x} + \boldsymbol{\eta}$$

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \mathbf{0}_{1 \times 4} \\ 0 & 1 & \mathbf{0}_{1 \times 4} \end{bmatrix}$$

[0086]

[0087] 여기서 $\boldsymbol{\eta}$ 는 평균이 0이고 공분산이 \mathbf{R} 인 백색 잡음이다(즉, $\boldsymbol{\eta} \sim N(0, \mathbf{R})$). 공분산 \mathbf{R} 은 자기장 지도가 정의된 인접한 지점(가령, 격자점) 간의 거리 및 자기장의 사전측정의 품질에 따라 달라질 수 있다.

[0088] 나아가, 위와 같은 필터링을 통해서 DR 기반 추정치의 오차가 추정되면, 처리 유닛(150)은 이 오차를 보상하여 UGV(10)의 위치를 추정할 수 있다. 예를 들어, 처리 유닛(150)은 추정된 오차를 DR 기반 추정치에서 감산함으로써 UGV(10)의 위치의 오차 보상된 DR 기반 추정치를 획득할 수 있다.

[0089] 이와 같이, UGV(10)의 항법 및 제어 시스템(100)은 인프라스트럭처의 추가 없이, 그리고 주행기록계가 UGV(10)에 장착되지 않더라도, 자력계를 이용한 자기장 지도 매칭을 수행하고 매칭의 결과를 EKF에 활용하는바, 이로써 비용 효율적인 방식으로 항법의 정확성을 향상시킬 수 있다.

[0090] 도 5는 UGV(10)의 위치를 추정하는 프로세스(500)의 예를 보여주는 흐름도이다. 전술된 바와 같이, UGV(10)는 실내 환경에서 제어 입력에 따라 제어된 속도로 이동할 수 있다. 예를 들어, 도 5의 프로세스(500)는 UGV(10)의 항법 및 제어 시스템(100)(특히, 처리 유닛(150))에 의해 수행될 수 있다. 또한, 예로서, 도 5의 프로세스(500)는 외부의 항법 시스템으로부터의 보조 정보의 사용 없이 수행될 수 있다. 프로세스(500)의 다른 예시적인 흐름이 또한 고려된다. 예를 들어, 프로세스(500)는 도시되지 않은 추가적인 동작을 또한 포함할 수 있고/거나, 도 5에 도시된 동작 중 일부를 포함하나 전부를 포함하지는 않을 수 있다.

[0091] 동작(510)에서, UGV(10)의 요 각 및 UGV(10)의 속도를 기반으로 UGV(10)의 위치의 DR 기반 추정치가 산출되는

DR 추정이 수행된다. 전술된 바와 같이, UGV(10)의 요 각은 UGV(10)의 자이로스코프(110)로부터 수신된 각속도 측정 데이터를 기반으로 계산될 수 있다. 또한, 전술된 바와 같이, UGV(10)의 속도는 제어 입력에 따라 제어될 수 있다. 예를 들어, UGV(10)는 좌측 바퀴 및 우측 바퀴를 포함할 수 있고, 제어 입력은 UGV(10)의 좌측 바퀴로 하여금 제1 병진 속도로 운행하도록 제어하고 UGV(10)의 우측 바퀴로 하여금 제2 병진 속도로 운행하도록 제어할 수 있다. 이 예에서, UGV(10)의 제어된 속도는 제1 병진 속도 및 제2 병진 속도를 기반으로 계산될 수 있다.

[0092] 동작(520)에서, UGV(10)의 이동 동안의 자기장의 측정을 나타내는 데이터 세트가 UGV(10)가 이동하는 실내 환경 내의 복수의 지점에서의 자기장의 사전측정을 나타내는 자기장 지도와 매칭된다. 그러한 자기장 지도 매칭을 통해서 UGV(10)의 위치의 지도 매칭 기반 추정치가 산출된다. 전술된 바와 같이, 그러한 데이터 세트는 UGV(10)의 이동 동안에 UGV(10)의 자력계(120)로부터 수신된 자기장 측정 데이터를 기반으로 구성될 수 있다. 예로서, UGV(10)의 이동의 궤적이 식별될 수 있고, 그러한 궤적에 부합하는 복수의 후보 궤적이 식별될 수 있는데, 각각의 후보 궤적의 시작점은 자기장 지도가 정의된 복수의 지점 중의 각각의 지점일 수 있다. 이후에, 각각의 후보 궤적을 따른 자기장의 사전측정을 나타내는 각각의 데이터 세트가 식별될 수 있다. UGV(10)의 위치의 지도 매칭 기반 추정치는 UGV(10)의 이동 동안의 궤적을 따른 자기장의 측정을 나타내는 데이터 세트 및 후보 궤적을 따른 자기장의 사전측정을 나타내는 데이터 세트의 비교의 결과에 따라 산출될 수 있다.

[0093] 동작(530)에서, DR 기반 추정치 및 지도 매칭 기반 추정치 간의 차이를 처리함으로써 DR 기반 추정치의 오차를 추정하는 필터링이 수행된다. 이 필터링은 UGV(10)의 요 각 및 UGV(10)의 속도를 사용하여, 그리고 가능하게는 자이로스코프(110)의 바이어스에 관련된 상수를 함께 사용하여, 수행될 수 있다. 예를 들어, 그러한 필터링을 수행하는 것은, 수학식 17 및 수학식 18에서 볼 수 있는 바와 같이, DR 기반 추정치의 오차를 상태로 갖는 상태 공간 모델 및 DR 기반 추정치 및 지도 매칭 기반 추정치 간의 차이를 DR 기반 추정치의 오차의 측정치로서 취하는 측정 모델을 사용하는 EKF를 구동하는 것을 포함할 수 있다.

[0094] 도 5의 프로세스(500)의 추가적인 세부사항에 대해, UGV(10)의 항법 및 제어 시스템(100)에 관해 전술된 설명이 참조될 수 있다.

[0095] 이제, 도 6 내지 도 8을 참조하여, 예시적인 프로세스(500)에 따른 위치 추정의 성능이 논의된다. 도 6 내지 도 8은 각각 궤적 1, 궤적 2 및 궤적 3을 따라 UGV(10)가 이동하는 경우에 (i) UGV(10)의 속도를 제어하는 제어 입력만을 기반으로("방안 1"), (ii) 그러한 제어 입력 및 자이로스코프(110)로부터 출력된 측정 데이터를 기반으로("방안 2"), (iii) 자기장 지도 매칭을 통해("방안 3"), 그리고 (iv) 예시적인 프로세스(500)에 따라("제안된 방안") 위치를 추정하는 실험의 결과를 보여준다.

[0096] 방안 1의 실험 결과는 UGV(10)가 직선으로 이동하는 동안에는 그다지 크지 않은 오차가 발생하나, UGV(10)가 이동 방향을 바꾸면 노면 여건 및 미끄럼으로 인해 큰 오차가 생긴다는 것을 보여준다. 방안 2의 경우, 시간이 별로 경과하지 않은 동안에는 자이로스코프(110)로부터의 측정 데이터의 기여로 오차가 비교적 작지만 시간이 흐르면서 자이로스코프(110)의 바이어스로 인해 오차가 누적되어 위치 추정치가 발산한다. 방안 3의 자기장 지도 매칭의 결과는 제안된 방안에서 EKF를 위해 위치 추정의 측정치로서 사용된다. 제안된 방안의 실험 결과는 오차의 보상으로 시간에 걸쳐 안정적이다. 아래에 제시된 표 1은 위치 추정에서의 제곱 평균 제곱근(Root Mean Square: RMS) 오차를 보여준다.

표 1

	RMS 위치 오차 (단위: m)		
	방안 1	방안 2	제안된 방안
궤적 1	13.870	27.385	0.588
궤적 2	4.432	9.899	0.794
궤적 3	3.141	6.2545	0.756

[0097]

[0098] 특정한 예에서, 본 문서에서 언급된 장치, 디바이스, 시스템, 머신 등은 임의의 적합한 유형은 컴퓨팅 장치이거나, 이를 포함하거나, 이에 구현될 수 있다. 컴퓨팅 장치는 프로세서 및 프로세서에 의해 관독가능한 컴퓨터 관독가능 저장 매체를 포함할 수 있다. 프로세서는 컴퓨터 관독가능 저장 매체 내에 저장된 하나 이상의 명령어를

실행할 수 있다. 프로세서는 또한 컴퓨터 판독가능 저장 매체 내에 저장된 다른 정보를 판독할 수 있다. 추가로, 프로세서는 컴퓨터 판독가능 저장 매체 내에 새로운 정보를 저장할 수 있고 컴퓨터 판독가능 저장 매체 내에 저장된 어떤 정보를 갱신할 수 있다. 프로세서는, 예컨대, 중앙 처리 유닛(Central Processing Unit: CPU), 디지털 신호 프로세서(Digital Signal Processor: DSP), 그래픽 처리 유닛(Graphics Processing Unit: GPU), 프로세서 코어(processor core), 마이크로프로세서(microprocessor), 마이크로제어기(microcontroller), 필드 프로그램가능 게이트 어레이(Field-Programmable Gate Array: FPGA), 애플리케이션 특정 집적 회로(Application Specific Integrated Circuit: ASIC), 다른 하드웨어 및 로직 회로, 또는 이의 임의의 적합한 조합을 포함할 수 있다. 컴퓨터 판독가능 저장 매체는 다양한 정보, 예컨대, 프로세서에 의해 수행될 수 있는 프로세서 실행가능(processor executable) 명령어의 세트 및/또는 다른 정보로써 인코딩된다. 예를 들어, 컴퓨터 판독가능 저장 매체는 프로세서에 의해 실행되는 경우 컴퓨팅 장치(가령, 프로세서)로 하여금 본 문서에 개시된 몇몇 동작을 수행하게 하는 컴퓨터 프로그램 명령어 및/또는 그러한 동작에서 사용되는 정보, 데이터, 변수, 상수, 데이터 구조, 기타 등등이 내부에 저장될 수 있다. 컴퓨터 판독가능 저장 매체는, 예컨대, 판독 전용 메모리(Read-Only Memory: ROM), 랜덤 액세스 메모리(Random-Access Memory: RAM), 휘발성(volatile) 메모리, 비휘발성(non-volatile) 메모리, 착탈가능(removable) 메모리, 비착탈가능(non-removable) 메모리, 플래시(flash) 메모리, 솔리드 스테이트(solid-state) 메모리, 다른 타입의 메모리 디바이스, 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM, DVD와 같은 광 기록 매체, 플롭티컬 디스크와 같은 자기-광 매체, 다른 타입의 저장 디바이스 및 저장 매체, 또는 이의 임의의 적합한 조합을 포함할 수 있다.

[0099] 특정한 예에서, 본 문서에 기술된 동작, 기법, 프로세스, 또는 이의 어떤 양상이나 부분은 컴퓨터 프로그램 제품 내에 체현될 수 있다. 그러한 컴퓨터 프로그램은 컴퓨터에 의해 실행될 수 있는 어떤 유형의 (가령, 컴파일 형(compiled) 또는 해석형(interpreted)) 프로그래밍 언어, 예컨대, 어셈블리(assembly), 기계어(machine language), 프로시저형(procedural) 언어, 객체지향(object-oriented) 언어 등등으로 구현될 수 있고, 하드웨어 구현과 조합될 수 있다. 컴퓨터 프로그램 제품은 컴퓨터 판독가능 저장 매체의 형태로 배포될 수 있거나 온라인으로 배포될 수 있다. 온라인 배포를 위해, 컴퓨터 프로그램 제품의 일부 또는 전부가 서버(가령, 서버의 컴퓨터 판독가능 저장 매체) 내에 일시적으로 저장되거나 일시적으로 생성될 수 있다.

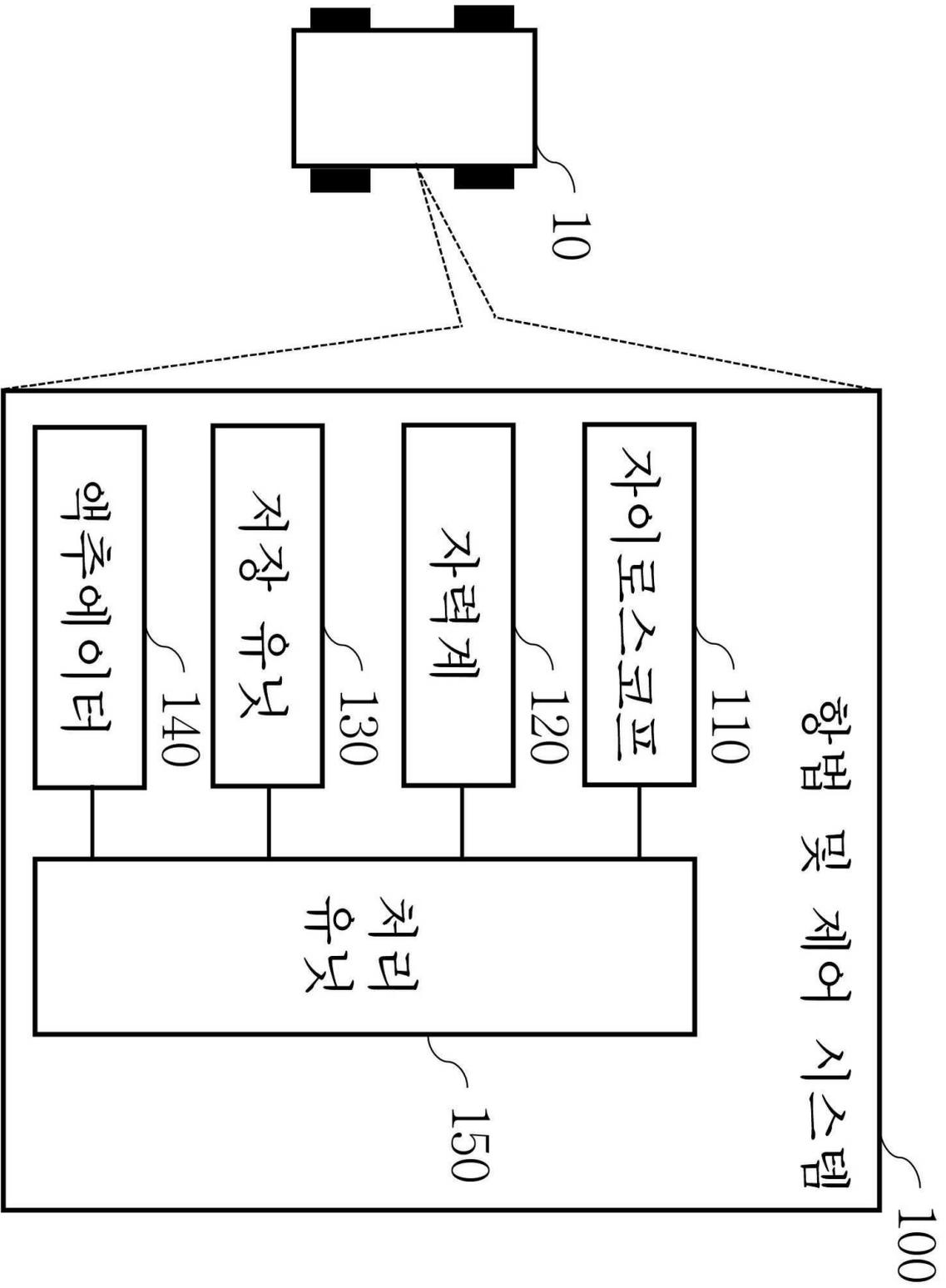
[0100] 이상의 설명은 상세하게 몇몇 예를 예시하고 기술하기 위해 제시되었다. 본 개시의 범주에서 벗어나지 않고서 위의 교시에 비추어 많은 수정 및 변형이 가능함을 당업자는 응당 이해할 것이다. 다양한 예에서, 전술된 기법이 상이한 순서로 수행되고/거나, 전술된 시스템, 아키텍처, 디바이스, 회로 및 유사한 것의 컴포넌트 중 일부가 상이한 방식으로 결합 또는 조합되거나, 다른 컴포넌트 또는 이의 균등물에 의해 대치 또는 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

[0101] 그러므로, 본 개시의 범주는 개시된 그 형태에 한정되어서는 안 되며, 후술하는 청구항 및 이의 균등물에 의해 정해져야 한다.

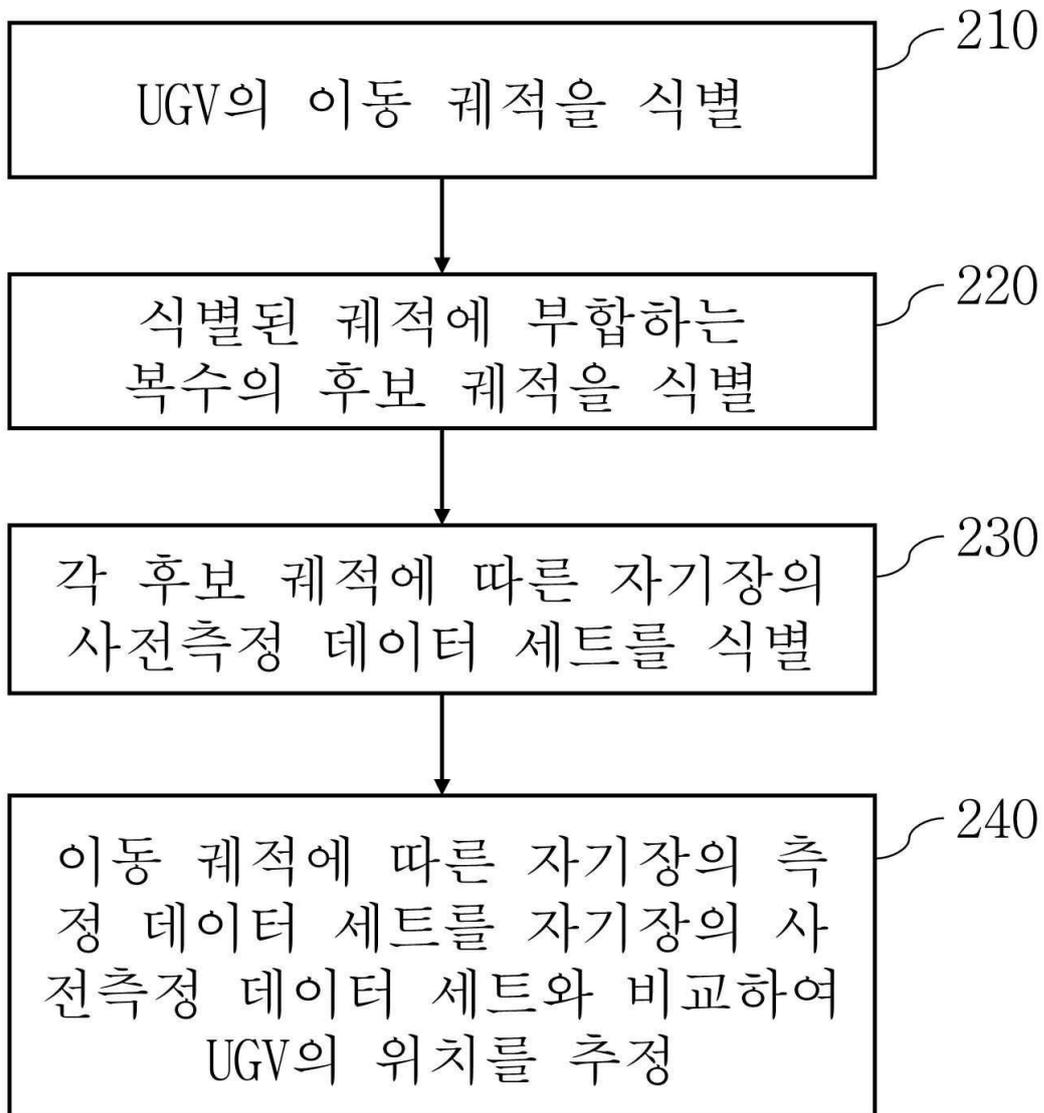
부호의 설명

- [0102] 10: 무인 지상 이동체
- 100: 항법 및 제어 시스템
- 110: 자이로스코프
- 120: 자력계
- 130: 저장 유닛
- 140: 액추에이터
- 150: 처리 유닛

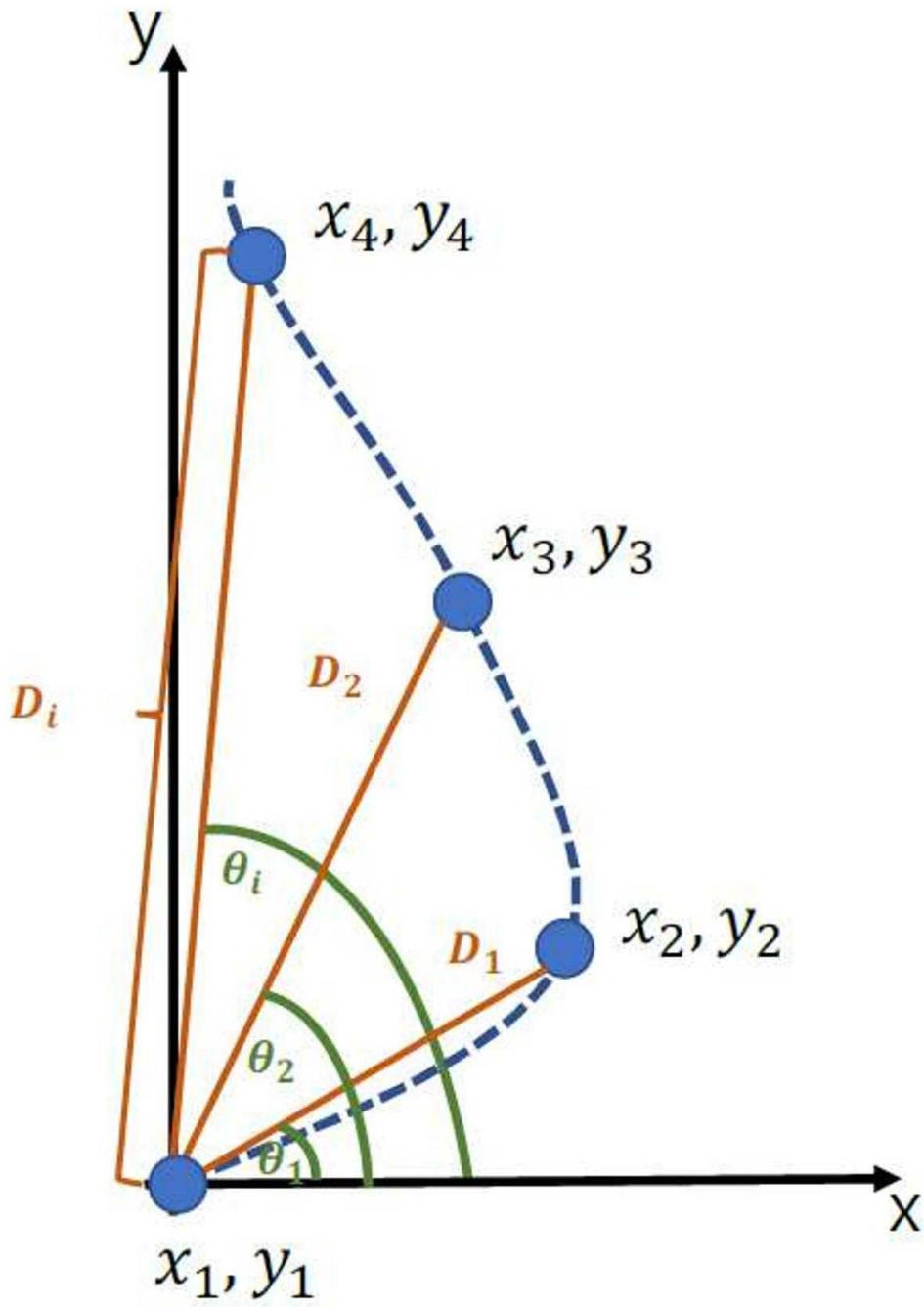
도면
도면1



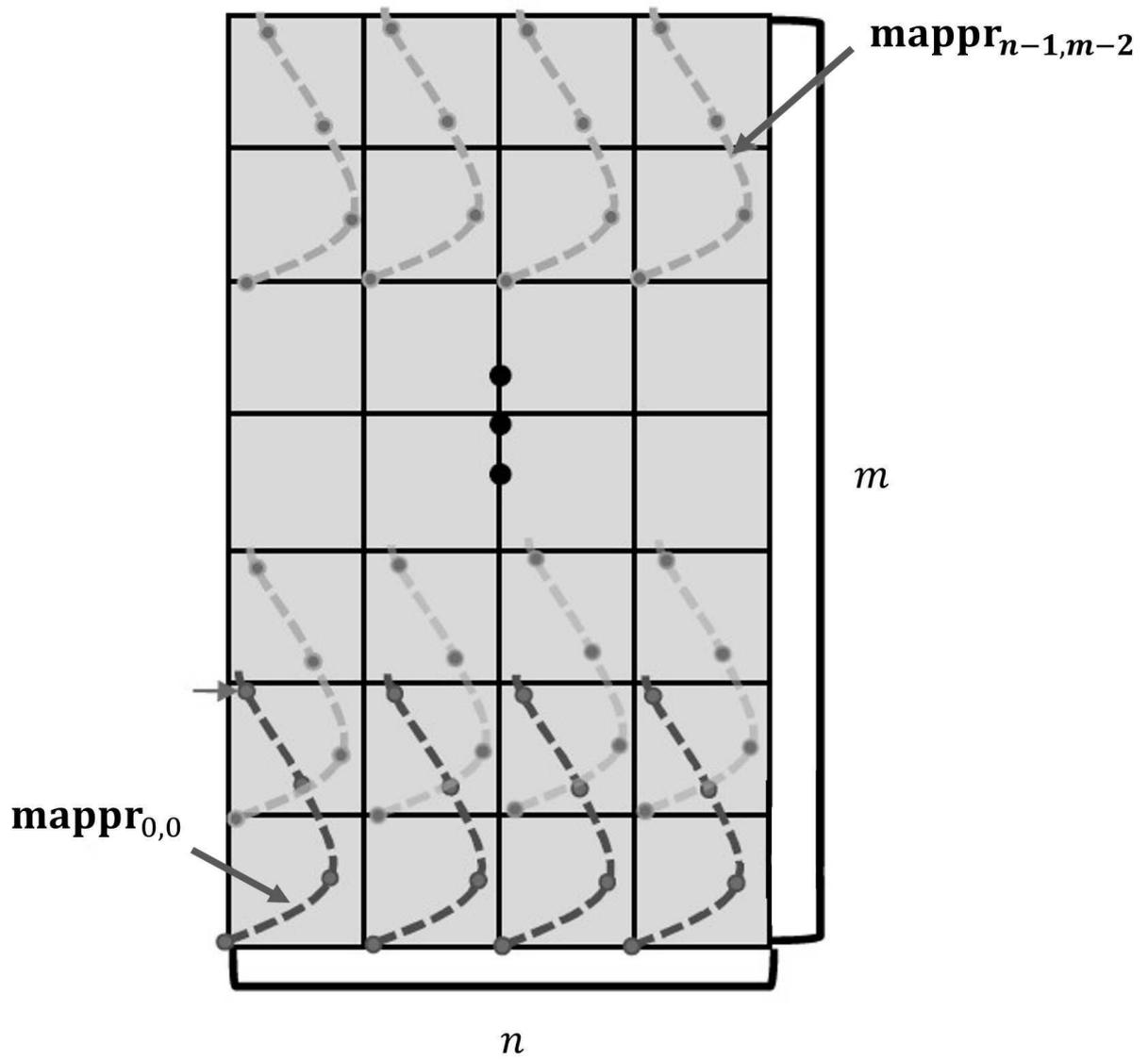
도면2



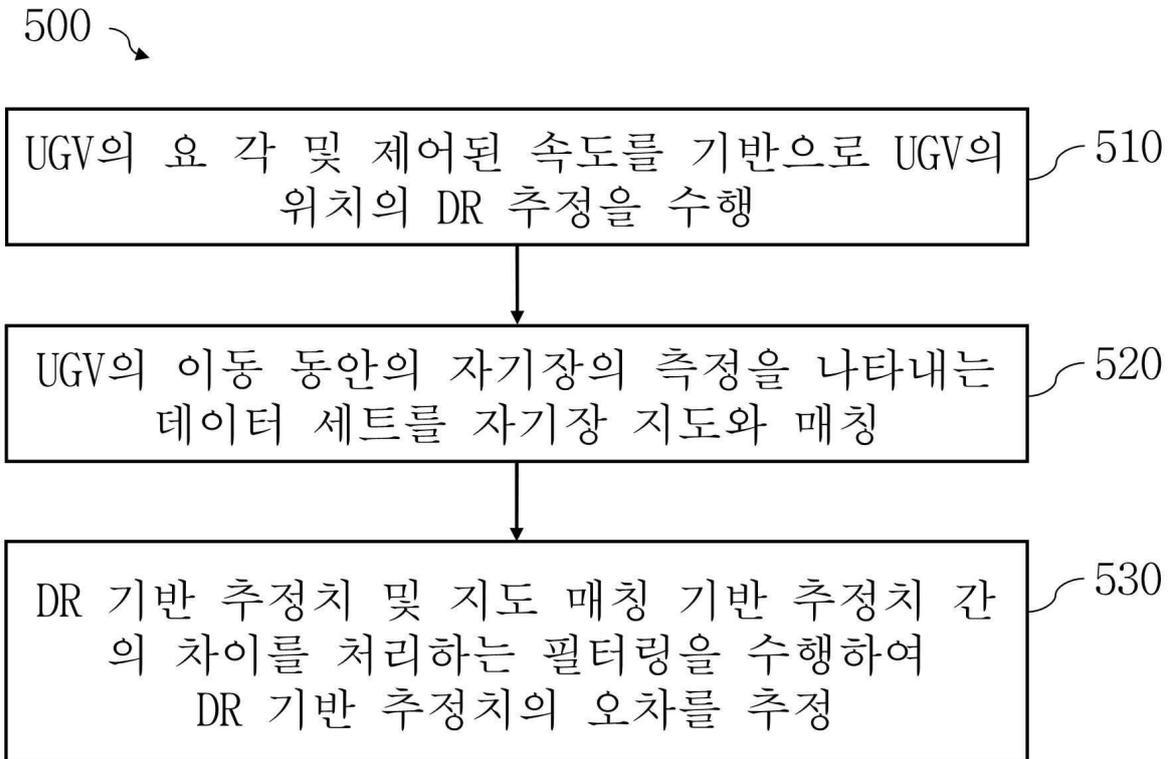
도면3



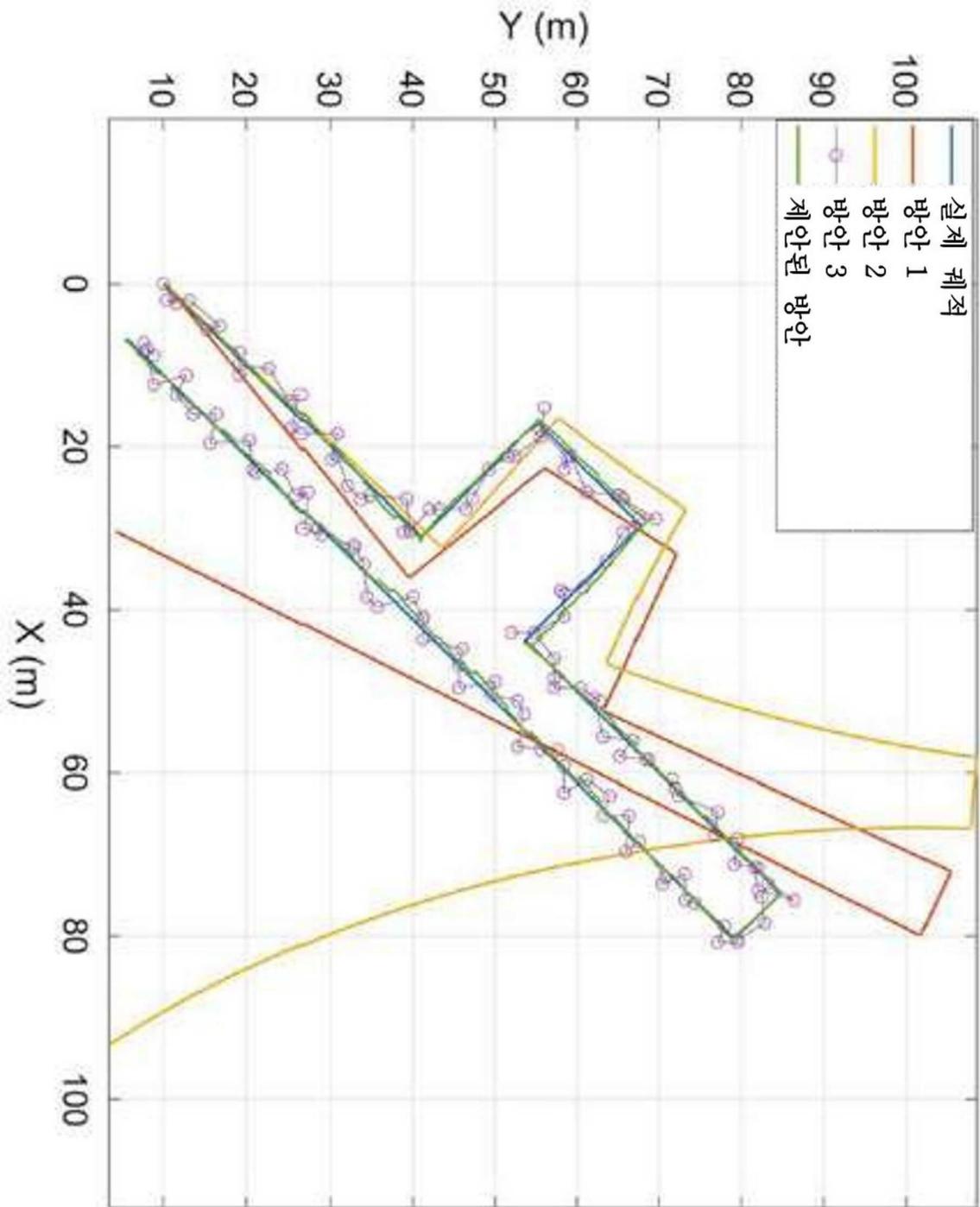
도면4



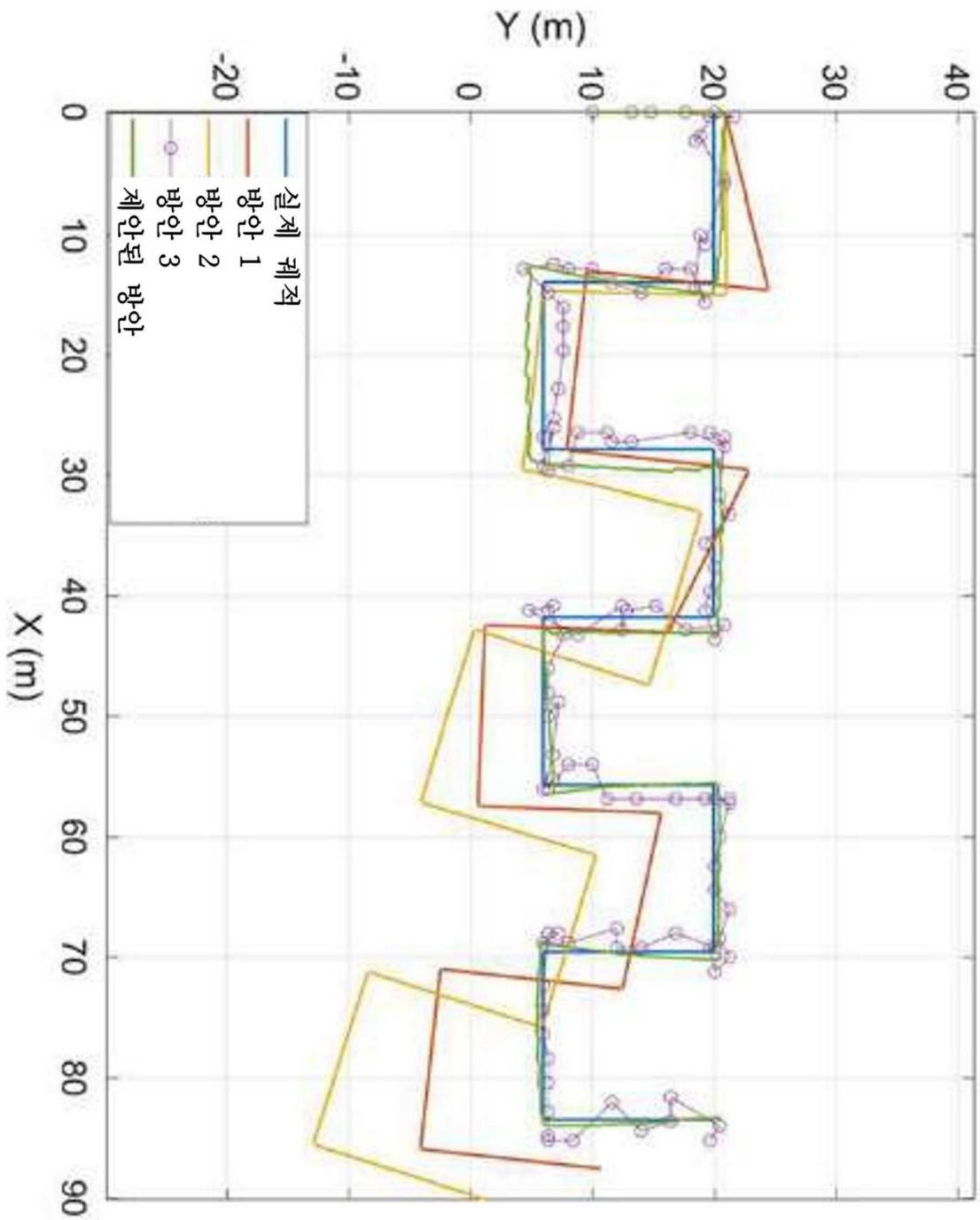
도면5



도면6



도면7



도면8

