



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년01월09일
(11) 등록번호 10-2750552
(24) 등록일자 2025년01월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01P 21/02 (2006.01) G01D 18/00 (2006.01)
G01P 15/00 (2006.01) G01S 19/13 (2010.01)
(52) CPC특허분류
G01P 21/02 (2013.01)
G01D 18/00 (2021.05)
(21) 출원번호 10-2022-0029205
(22) 출원일자 2022년03월08일
심사청구일자 2022년04월08일
(65) 공개번호 10-2023-0132104
(43) 공개일자 2023년09월15일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020180055433 A*
JP2004143974 A
JP2018509324 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국자동차연구원
충청남도 천안시 동남구 풍세면 풍세로 303
(72) 발명자
조하나
충청남도 천안시 동남구 풍세면 풍세로 303
전광기
충청남도 천안시 동남구 풍세면 풍세로 303
(74) 대리인
특허법인지명

전체 청구항 수 : 총 8 항

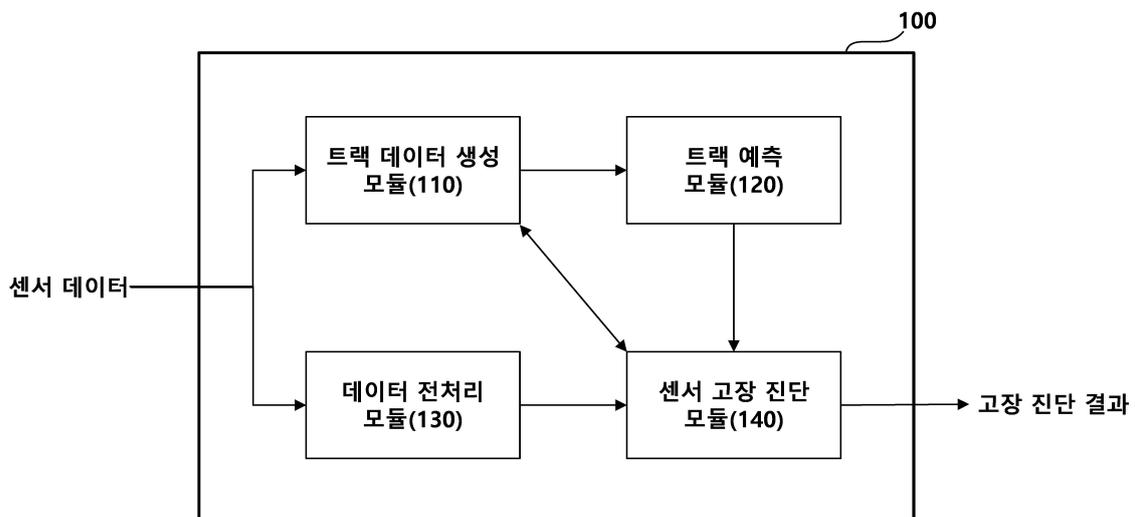
심사관 : 김창섭

(54) 발명의 명칭 **센서 융합 알고리즘과 슬라이딩 모드 관측기를 이용한 센서 고장 진단 장치 및 방법**

(57) 요약

본 발명은 센서 융합 알고리즘과 슬라이딩 모드 관측기를 이용하여 환경인지 센서 및 내부 센서의 고장을 진단하는 장치와 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따른 가속도 센서 고장 진단기는, 환경인지 센서에서 전방 차량과 자차량 간의 상대 가속도 데이터를 수집하는 트랙 데이터 생성 모듈과, GPS 센서에서 자차량의 속도 데이터를 수집하고, 상기 속도 데이터를 미분하여 제1 가속도 데이터를 생성하는 데이터 전처리 모듈과, 가속도 센서에서 자차량의 가속도 데이터(제2 가속도 데이터)를 수집하고, 상기 상대 가속도 데이터, 상기 제1 가속도 데이터 및 상기 제2 가속도 데이터를 기초로 슬라이딩 모드 관측기를 이용하여 상기 가속도 센서의 고장 여부를 판단하는 센서 고장 진단 모듈을 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01P 15/001 (2013.01)

G01S 19/13 (2013.01)

G01D 2218/10 (2021.05)

명세서

청구범위

청구항 1

환경인지 센서에서 전방 차량과 자차량 간의 상대 가속도 데이터를 수집하는 트랙 데이터 생성 모듈;

GPS 센서에서 자차량의 속도 데이터를 수집하고, 상기 속도 데이터를 미분하여 제1 가속도 데이터를 생성하는 데이터 전처리 모듈; 및

가속도 센서에서 자차량의 가속도 데이터(제2 가속도 데이터)를 수집하고, 상기 상대 가속도 데이터, 상기 제1 가속도 데이터 및 상기 제2 가속도 데이터를 기초로 상기 전방 차량의 상대 가속도를 산출하고, 상기 전방 차량의 상대 가속도를 입력 변수로서 슬라이딩 모드 관측기에 입력하며, 상기 슬라이딩 모드 관측기를 이용하여 상기 가속도 센서의 고장 여부를 판단하는 센서 고장 진단 모듈;

을 포함하고,

상기 슬라이딩 모드 관측기의 상태 방정식과 출력 방정식은,

상기 슬라이딩 모드 관측기의 추정 대상이 되는 상태 변수 벡터에 관한 상태 방정식과 출력 방정식의 선형 좌표 변환(linear transformation)으로 얻어지는 것이며,

상기 상태 변수 벡터에 관한 상태 방정식은,

상기 가속도 센서의 고장에 의한 영향을 의미하는 외란 인자를 포함하고,

상기 슬라이딩 모드 관측기의 상태 방정식은,

출력 오차의 수렴을 위한 불연속적인 입력 신호인 주입 항(injection term)을 포함하는 것

인 가속도 센서 고장 진단기.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 센서 고장 진단 모듈은,

상기 상대 가속도 데이터 및 상기 제1 가속도 데이터를 기초로 상기 전방 차량의 가속도를 산출하고, 상기 산출된 전방 차량의 가속도와 상기 제2 가속도 데이터를 기초로 상기 전방 차량의 상대 가속도를 산출하는 것

인 가속도 센서 고장 진단기.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 센서 고장 진단 모듈은,

상기 슬라이딩 모드 관측기의 출력값을 기초로 상기 주입 항을 계산하고, 상기 주입 항을 1차 지연 시스템의 전달함수에 입력하여 출력된 고장 신호를 기초로 상기 가속도 센서의 고장 여부를 판단하는 것

인 가속도 센서 고장 진단기.

청구항 4

환경인지 센서에서 전방 차량에 관한 센서 데이터를 수집하여 상기 전방 차량에 관한 트랙 데이터를 생성하는 트랙 데이터 생성 모듈;

상기 트랙 데이터를 기초로 상기 전방 차량에 관한 예측 트랙을 생성하는 트랙 예측 모듈;

가속도 센서에서 자차량의 가속도 데이터를 수집하고, 상기 가속도 센서에서 수집한 가속도 데이터를 적분하여 제1 속도 데이터를 생성하는 데이터 전처리 모듈; 및

상기 환경인지 센서에서 자차량과 상기 전방 차량 간의 상대 속도 데이터를 수집하고, 자차량의 GPS 센서에서

자차량의 속도 데이터(제2 속도 데이터)를 수집하며, 상기 상대 속도 데이터, 상기 제1 속도 데이터, 상기 제2 속도 데이터 및 상기 예측 트랙을 기초로 상기 GPS 센서의 고장 여부를 판단하는 센서 고장 진단 모듈;

을 포함하는 GPS 센서 고장 진단기.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 센서 고장 진단 모듈은,

상기 상대 속도 데이터와 상기 제1 속도 데이터를 기초로 상기 전방 차량의 속도를 산출하고, 상기 전방 차량의 속도와 상기 제2 속도 데이터를 기초로 상기 전방 차량의 상대 속도를 산출하며, 상기 산출된 전방 차량의 상대 속도와 상기 예측 트랙에 포함된 상기 전방 차량의 예측된 상대 속도를 비교하여 상기 GPS 센서의 고장 여부를 판단하는 것

인 GPS 센서 고장 진단기.

청구항 6

- (a) 환경인지 센서에서 자차량과 전방 차량 간 상대 가속도 데이터를 수집하는 단계;
- (b) GPS 센서에서 자차량의 속도 데이터를 수집하고, 상기 속도 데이터를 미분하여 제1 가속도 데이터를 생성하는 단계; 및
- (c) 가속도 센서에서 자차량의 가속도 데이터(제2 가속도 데이터)를 수집하는 단계; 및
- (d) 상기 상대 가속도 데이터, 상기 제1 가속도 데이터 및 상기 제2 가속도 데이터를 기초로 상기 전방 차량의 상대 가속도를 산출하고, 상기 전방 차량의 상대 가속도를 입력 변수로서 슬라이딩 모드 관측기에 입력하며, 상기 슬라이딩 모드 관측기를 이용하여 상기 가속도 센서의 고장 여부를 판단하는 단계;

를 포함하고,

상기 슬라이딩 모드 관측기의 상태 방정식과 출력 방정식은,

상기 슬라이딩 모드 관측기의 추정 대상이 되는 상태 변수 벡터에 관한 상태 방정식과 출력 방정식의 선형 좌표 변환(linear transformation)으로 얻어지는 것이며,

상기 상태 변수 벡터에 관한 상태 방정식은,

상기 가속도 센서의 고장에 의한 영향을 의미하는 외란 인자를 포함하고,

상기 슬라이딩 모드 관측기의 상태 방정식은,

출력 오차의 수렴을 위한 불연속적인 입력 신호인 주입 항(injection term)을 포함하는 것

인 가속도 센서 고장 진단 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 (d) 단계는,

상기 상대 가속도 데이터 및 상기 제1 가속도 데이터를 기초로 상기 전방 차량의 가속도를 산출하고, 상기 산출된 전방 차량의 가속도와 상기 제2 가속도 데이터를 기초로 상기 전방 차량의 상대 가속도를 산출하는 것

인 가속도 센서 고장 진단 방법.

청구항 8

제6항에 있어서, 상기 (d) 단계는,

상기 슬라이딩 모드 관측기의 출력값을 기초로 상기 주입 항을 계산하고, 상기 주입 항을 1차 지연 시스템의 전달함수에 입력하여 출력된 고장 신호를 기초로 상기 가속도 센서의 고장 여부를 판단하는 것

인 가속도 센서 고장 진단 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 센서 융합 알고리즘과 슬라이딩 모드 관측기를 이용하여 환경인지 센서 및 내부 센서의 고장을 진단하는 장치와 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 자율주행 자동차, 초소형 플라잉 카(flying car) 등의 새로운 교통 수단이 개발 또는 도입되고 있다. 이러한 교통 수단은 라이다, 레이더, 초음파 센서 등 다양한 센서를 이용하여 환경을 인지하며, 제어 단계에서는 인지된 환경에 따라 가속도 제어 등이 수행된다. 이러한 과정에서 환경인지 센서나 차량 내부 센서의 고장은 치명적인 사고로 이어질 수 있다. 이미 센서의 신뢰성을 높이기 위한 다양한 고장진단 기술들이 개발되고 있으나, 다른 센서의 데이터를 신뢰할 수 있다는 전제 하에 대상 센서의 고장 여부를 판단하는 것이 일반적이다. 환경 인지 센서나 제어를 위한 차량 내부 센서의 신호만으로 센서 상호 간 고장을 진단하는 경우, 별도의 센서가 추가되지 않아도 된다는 장점이 있으나, 진단을 위한 데이터를 제공하는 특정 센서의 고장에 대하여 강건성을 확보할 수 있는지 여부가 진단 결과의 신뢰성과 관련하여 문제된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 본 발명은 자율주행차, 드론, 플라잉 카 등에서 활용되는 환경인지 센서와 가속도 센서의 고장을 예측하기 위하여, 센서 융합 데이터와 상태 공간 모델을 이용하여 환경 정보를 예측하고, 예측된 정보를 기반으로 환경인지 센서에 대한 고장을 진단하고, 슬라이딩 모드 관측기를 이용하여 내부 센서에 대한 고장을 진단할 수 있는 센서 고장 진단 장치 및 방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

[0004] 본 발명의 목적은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0005] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 가속도 센서 고장 진단기는, 환경인지 센서에서 전방 차량과 자차량 간의 상대 가속도 데이터를 수집하는 트랙 데이터 생성 모듈; GPS 센서에서 자차량의 속도 데이터를 수집하고, 상기 속도 데이터를 미분하여 제1 가속도 데이터를 생성하는 데이터 전처리 모듈; 및 가속도 센서에서 자차량의 가속도 데이터(제2 가속도 데이터)를 수집하고, 상기 상대 가속도 데이터, 상기 제1 가속도 데이터 및 상기 제2 가속도 데이터를 기초로 슬라이딩 모드 관측기를 이용하여 상기 가속도 센서의 고장 여부를 판단하는 센서 고장 진단 모듈;을 포함한다.

[0006] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 센서 고장 진단 모듈은, 상기 상대 가속도 데이터 및 상기 제1 가속도 데이터를 기초로 상기 전방 차량의 가속도를 산출하고, 상기 산출된 전방 차량의 가속도와 상기 제2 가속도 데이터를 기초로 상기 전방 차량의 상대 가속도를 산출하며, 상기 산출된 상대 가속도를 상기 슬라이딩 모드 관측기에 입력할 수 있다.

[0007] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 센서 고장 진단 모듈은, 상기 슬라이딩 모드 관측기의 출력값을 기초로 주입 항(injection term)을 계산하고, 상기 주입 항을 소정의 전달함수에 입력하여 출력된 고장 신호를 기초로 상기 가속도 센서의 고장 여부를 판단할 수 있다.

[0008] 그리고, 본 발명의 일 실시예에 따른 GPS 센서 고장 진단기는, 환경인지 센서에서 전방 차량에 관한 센서 데이터를 수집하여 상기 전방 차량에 관한 트랙 데이터를 생성하는 트랙 데이터 생성 모듈; 상기 트랙 데이터를 기초로 상기 전방 차량에 관한 예측 트랙을 생성하는 트랙 예측 모듈; 가속도 센서에서 자차량의 가속도 데이터를 수집하고, 상기 가속도 센서에서 수집한 가속도 데이터를 적분하여 제1 속도 데이터를 생성하는 데이터 전처리 모듈; 및 상기 환경인지 센서에서 자차량과 상기 전방 차량 간의 상대 속도 데이터를 수집하고, 자차량의 GPS 센서에서 자차량의 속도 데이터(제2 속도 데이터)를 수집하며, 상기 상대 속도 데이터, 상기 제1 속도 데이터, 상기 제2 속도 데이터 및 상기 예측 트랙을 기초로 상기 GPS 센서의 고장 여부를 판단하는 센서 고장 진단 모듈;을 포함한다.

[0009] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 센서 고장 진단 모듈은, 상기 상대 속도 데이터와 상기 제1 속도 데이터를 기초

로 상기 전방 차량의 속도를 산출하고, 상기 전방 차량의 속도와 상기 제2 속도 데이터를 기초로 상기 전방 차량의 상대 속도를 산출하며, 상기 산출된 전방 차량의 상대 속도와 상기 예측 트랙에 포함된 상기 전방 차량의 예측된 상대 속도를 비교하여 상기 GPS 센서의 고장 여부를 판단할 수 있다.

[0010] 그리고, 본 발명의 일 실시예에 따른 가속도 센서 고장 진단 방법은, (a) 환경인지 센서에서 자차량과 전방 차량 간 상대 가속도 데이터를 수집하는 단계; (b) GPS 센서에서 자차량의 속도 데이터를 수집하고, 상기 속도 데이터를 미분하여 제1 가속도 데이터를 생성하는 단계; 및 (c) 가속도 센서에서 자차량의 가속도 데이터(제2 가속도 데이터)를 수집하는 단계; 및 (d) 상기 상대 가속도 데이터, 상기 제1 가속도 데이터 및 상기 제2 가속도 데이터를 기초로 슬라이딩 모드 관측기를 이용하여 상기 가속도 센서의 고장 여부를 판단하는 단계;를 포함한다.

[0011] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 (d) 단계는, 상기 상대 가속도 데이터 및 상기 제1 가속도 데이터를 기초로 상기 전방 차량의 가속도를 산출하고, 상기 산출된 전방 차량의 가속도와 상기 제2 가속도 데이터를 기초로 상기 전방 차량의 상대 가속도를 산출하며, 상기 산출된 상대 가속도를 상기 슬라이딩 모드 관측기에 입력하는 것일 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 (d) 단계는, 상기 슬라이딩 모드 관측기의 출력값을 기초로 주입 항(injection term)을 계산하고, 상기 주입 항을 소정의 전달함수에 입력하여 출력된 고장 신호를 기초로 상기 가속도 센서의 고장 여부를 판단하는 것일 수 있다.

발명의 효과

[0013] 본 발명을 통해, 자율주행차, 드론, 플라잉카 등에서 활용하는 환경인지 센서의 고장을 예측 가능하여 불필요한 센서 측정 데이터를 소거해 센서 융합 정확도를 높일 수 있다는 효과가 있다.

[0014] 본 발명을 통해, 전방 물체에 대한 센싱 정확도를 높여 충돌 방지, 회피 등의 시스템의 정확성을 향상시킬 수 있다는 효과가 있다.

[0015] 본 발명을 통해, 별도의 평가 장비 없이 환경인지 센서 및 내부 센서의 고장 여부를 확인할 수 있다는 효과가 있다.

[0016] 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0017] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 센서 고장 진단기의 구성을 나타낸 블록도.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 센서 고장 진단기의 동작을 설명하기 위한 참고도.
- 도 3a는 상태 공간 모델과 상대 공간 모델을 이용하여 복수의 예측 트랙을 산출하는 과정을 나타낸 도면.
- 도 3b는 상태 공간 모델을 이용하여 산출한 복수의 예측 트랙과 트랙 데이터 간의 마할라노비스 거리를 나타낸 도면.
- 도 4는 최대 예측 트랙 및 최소 예측 트랙을 기준으로 정상 범위를 설정한 모습을 나타낸 도면.
- 도 5는 환경인지 센서가 모두 정상인 경우의 센서 데이터 포인트를 나타낸 도면.
- 도 6은 비전 센서가 고장인 경우의 센서 데이터 포인트를 나타낸 도면.
- 도 7은 레이더 센서가 고장인 경우의 센서 데이터 포인트를 나타낸 도면.
- 도 8은 센서 데이터의 게이트 통과 횟수를 기반으로 비전 센서의 고장을 확정하는 과정을 설명하기 위한 도면.
- 도 9는 GPS 센서에서 수집된 속도 데이터와 트랙 데이터 중 상대 가속도 데이터를 이용하여 전방 물체의 가속도를 추정하는 과정을 나타낸 도면.
- 도 10은 슬라이딩 모드 관측기의 구성과 그 수학적 모델을 나타낸 도면.
- 도 11 및 도 12는 고장이 발생한 시스템에 관한 슬라이딩 모드 관측기의 수학적 모델을 나타낸 도면.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 가속도 센서 고장 진단 방법을 설명하기 위한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 한편, 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [0019] 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0020] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부한 도면들을 참조하여 상세히 설명한다. 본 발명을 설명함에 있어 전체적인 이해를 용이하게 하기 위하여 도면 번호에 상관없이 동일한 수단에 대해서는 동일한 참조 번호를 사용하기로 한다.
- [0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 센서 고장 진단기(100)의 구성을 나타낸 블록도이다.
- [0022] 본 발명의 일 실시예에 따른 센서 고장 진단기(100)는 트랙 데이터 생성 모듈(110), 트랙 예측 모듈(120), 데이터 전처리 모듈(130) 및 센서 고장 진단 모듈(140)을 포함한다. 도 1에 도시된 센서 고장 진단기(100)는 일 실시예에 따른 것이고, 본 발명에 따른 센서 고장 진단기(100)의 구성요소들이 도 1에 도시된 실시예에 한정되는 것은 아니며, 필요에 따라 부가, 변경 또는 삭제될 수 있다.
- [0023] 트랙 데이터 생성 모듈(110)은 환경인지 센서에서 센서 데이터를 수집하여 객체에 관한 트랙 데이터를 생성한다. 환경인지 센서가 복수 개의 센서로 구성된 경우, 트랙 데이터 생성 모듈(110)은 센서 데이터를 융합하여 트랙 데이터를 생성할 수 있다. 이때 트랙 데이터 생성 모듈(110)은 GNN(Global Nearest Neighbor) 기법을 이용하여 트랙 데이터를 산출할 수 있다.
- [0024] 트랙 데이터 생성 모듈(110)은 생성한 트랙 데이터를 센서 고장 진단기(100)의 내부 저장소에 저장하거나, 트랙 예측 모듈(120)이나 센서 고장 진단 모듈(140)에 제공할 수 있다.
- [0025] 환경인지 센서는 객체에 관한 데이터를 생성하는데, 여기서 객체는 장애물이나 이동물체 동일 수 있다. 환경인지 센서가 자율주행 장치에 탑재되는 경우, 객체는 전방 차량(선행 차량)이나 비행체 등이 될 수 있다. 환경인지 센서는 비전(vision) 센서, 레이더(RADAR) 센서, 라이다(LiDAR) 센서 등을 포함할 수 있다. 비전 센서는 감지 영역에 이미지를 생성하고 처리하는 센서이고, 레이더 센서는 물체까지의 거리(상대 거리), 상대 속도를 측정하는 센서로, 비전 센서와 레이더 센서를 포함하는 자율주행장치는 비전 센서 및 레이더 센서의 융합 데이터를 자율주행에 이용할 수 있다. 환경인지 센서가 센싱하는 객체 정보는 자율주행 자동차 또는 플라잉 카 등(이하 '자차량'으로 약칭)과 객체 간의 상대 거리, 상대 속도 및 상대 가속도 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0026] 트랙 데이터 생성 모듈(110)은 비전 센서 데이터와 레이더 센서 데이터의 융합 데이터를 이용하여 객체와의 상대 거리 데이터, 상대 속도 데이터, 및 상대 가속도 데이터를 생성하거나, 하나의 환경인지 센서에서 자차량과 객체 간의 상대 거리 데이터, 상대 속도 데이터, 및 상대 가속도 데이터를 수집할 수도 있다.
- [0027] 트랙 예측 모듈(120)은 특정한 시점을 기준으로 그 이전 시점의 트랙 데이터에서 상기 특정한 시점 이후 시점에 대한 트랙을 예측할 수 있다. 본 발명에서는 특정한 시점의 트랙 데이터(트랙 데이터 생성 모듈(110)에서 생성한 트랙 데이터를 의미함)를 기초로 상기 특정한 시점 이후 시점에 대하여 예측된 트랙을 예측 트랙(predicted track)으로 칭한다. 트랙 예측 모듈(120)은 트랙 데이터를 기초로 예측 트랙을 생성하며, 예측 트랙을 센서 고장 진단 모듈(140)에 제공한다.
- [0028] 데이터 전처리 모듈(130)은 센서 데이터를 전처리하여 센서 고장 진단 모듈(140)에 전달한다. 즉, 데이터 전처리 모듈(130)은 전처리된 센서 데이터를 센서 고장 진단 모듈(140)에 전달한다. 예를 들어, 데이터 전처리 모듈(130)은 GPS 센서에서 자차량의 속도 데이터를 수집하고, 상기 속도 데이터를 미분하여 가속도 데이터를 생성한다.

후, 생성된 가속도 데이터를 센서 고장 진단 모듈(140)에 전달할 수 있으며, 내부 센서인 가속도 센서에서 자차량의 가속도 데이터를 수집하고, 상기 가속도 센서에서 수집한 가속도 데이터를 적분하여 속도 데이터를 생성한 후, 생성된 속도 데이터를 센서 고장 진단 모듈(140)에 전달할 수 있다.

- [0029] 센서 고장 진단 모듈(140)은 센서 데이터와 전처리된 센서 데이터를 기초로 센서의 고장 여부를 판단한다. 센서 고장 진단 모듈(140)은 현재 시점에 대한 예측 트랙과 현재의 객체 정보(환경인지 센서의 센서 데이터, 예를 들어 c (상대 거리), v_{rel} (상대 속도), a_{rel} (상대 가속도))를 비교하여 환경인지 센서의 고장 여부를 판단한다.
- [0030] 또한 센서 고장 진단 모듈(140)은 GPS 센서에서 수집한 자차량의 속도 데이터와, 데이터 전처리 모듈(130)이 가속도 센서의 가속도 데이터를 적분하여 생성한 속도 데이터를 기초로 GPS 센서의 고장 여부를 판단할 수 있다.
- [0031] 또한 센서 고장 진단 모듈(140)은 내부 센서인 가속도 센서에서 수집한 자차량의 가속도 데이터, 데이터 전처리 모듈(130)이 GPS 센서의 속도 데이터를 미분하여 생성한 가속도 데이터 및 트랙 데이터 생성 모듈(110)에서 전달받은 상대 가속도 데이터를 기초로 슬라이딩 모드 관측기를 이용하여 상기 가속도 센서의 고장 여부를 판단할 수 있다. 다만, 센서 고장 진단 모듈(140)은 상기 상대 가속도 데이터를 환경인지 센서에서 직접적으로 수신할 수도 있다.
- [0032] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 센서 고장 진단기(100)의 동작을 설명하기 위한 참고도이다. 도 2를 참조하여 센서 고장 진단기(100)의 센서 고장 진단 과정을 설명한다.
- [0033] 도 2의 실시예에서, 센서 고장 진단기(100)에 데이터를 제공하는 센서는 환경인지 센서(environment sensor), GPS 센서 및 자차량의 내부 센서인 가속도 센서(acceleration sensor) 등이다.
- [0034] 환경인지 센서는 비전 센서, 레이더 센서 및 라이다 센서 등으로 구성될 수 있다. 트랙 데이터 생성 모듈(110)은 환경인지 센서에서 객체와의 상대거리(c , clearance), 상대 속도(v_{rel}), 상대 가속도(a_{rel})를 수신한다. 센서 고장 진단기(100)은 환경인지 센서의 고장 여부를 판단하기 위하여, 먼저 트랙 데이터 생성 모듈(110)을 통해 환경인지 센서에서 제공한 데이터를 기초로 객체에 관한 트랙 데이터를 생성한다. 이 경우, 트랙 데이터 생성 모듈(110)은 GNN(Global Nearest Neighbor) 기법을 이용하여 환경인지 센서 데이터를 기초로 트랙 데이터를 산출할 수 있다. GNN 기법은 트랙 데이터 산출을 위한 센서 융합(sensor fusion) 알고리즘으로서, 데이터 학습과 분류에 활용된다. GNN 기법은 이전의 학습된 데이터를 이용하여 새로운 데이터에 대한 가장 가까운 결과값을 도출한다. 여기서, 트랙 데이터(track data)는 시간에 따른 객체의 항적(경로)을 나타낸 데이터로서, 시간에 따른 전방 차량의 상대 데이터(거리, 속도, 가속도)가 포함된다. 센서 고장 진단기(100)는 객체의 트랙 데이터를 자율주행에 이용함과 동시에, 환경인지 센서의 고장여부를 판단하는데 이용할 수 있다.
- [0035] 트랙 데이터 생성 모듈(110)에서 산출된 트랙 데이터는 센서 고장 진단기(100)의 내부 저장소에 저장될 수 있다. 상기 저장소는 메모리로서, 비휘발성 또는 휘발성 메모리일 수 있다. 상기 저장소는 센서 고장 진단기(100)에서 생성되는 데이터, 센서 고장 진단기(100)가 수집한 센서 데이터를 저장하거나, 센서 고장 진단기(100)에서 수행되는 명령어 또는 프로그램 등을 저장할 수 있다.
- [0036] 트랙 예측 모듈(120)은 상태 공간 모델을 이용하여 이전 시점의 트랙 데이터에 기초하여 현재 시점의 예측 트랙을 생성할 수 있다. 또한, 트랙 예측 모듈(120)은 이전 시점의 트랙 데이터에 기초하여 현재 시점에 대한 복수의 예측 트랙을 생성할 수 있는데, 이는 예측의 정확도를 높이기 위한 것이다. 여기서, 상태 공간 모델(state-space model)은 입력변수, 출력변수 및 상태변수 간의 관계를 미분방정식으로 표현하는 모델이다(도 3a 참조). 트랙 예측 모듈(120)은 수학적 1과 같은 상태 공간 모델을 이용하여 현재 시점에 대한 복수의 트랙을 예측한다.

수학적 1

[0037]
$$X_k = A X_{k-1}$$

[0038] 수학적 1에서, X_k 는 현재 시점(k)의 상태 벡터, X_{k-1} 는 이전 상태 벡터(직전 시점(k-1)의 상태 벡터), A는 상태 행렬(시스템 행렬)이다. 트랙 예측 모듈(120)은 별도의 추가 입력 없이, 이전 상태 벡터 및 상태 행렬을 이용하여 현재 시점의 상태 벡터를 도출한다. 상태 벡터(X_k)는 X축 위치(PosX), Y축 위치(PosY), X축 속도(VelX), Y축 속도(VelY), X축 가속도(AccX), Y축 가속도(AccY)로 나타내고, 상태 행렬(A)은 도 3a에 도시된 바와 같은 행렬

을 이용할 수 있다.

[0039] 트랙 예측 모듈(120)은 직전 상태 벡터뿐만 아니라 그 이전의 상태 벡터들을 이용하여 현재 시점에 대한 복수의 예측 트랙을 생성할 수 있다. 도 3a에 도시된 바와 같이, 트랙 예측 모듈(120)은 k-1 시점의 트랙 데이터(Track_{k-1})에 상태행렬 A를 곱하고, k-2 시점의 트랙 데이터(Track_{k-2})에 상태행렬의 제곱(A²)을 곱하고, k-3 시점의 트랙 데이터(Track_{k-3})에 상태행렬의 세제곱(A³)을 곱하여 현재 시점에 대한 복수의 예측 트랙을 생성할 수 있다.

[0040] 트랙 예측 모듈(120)은 직전 시점(k-1)의 트랙 데이터를 기초로 직전 시점(k-1)의 오차공분산을 구하고, 직전 시점(k-1)의 오차공분산을 기초로 현재 시점에 대한 각각의 예측 트랙과 직전 시점(k-1)의 트랙 데이터 간의 마할라노비스 거리를 산출한다. 참고로, 마할라노비스 거리(Mahalanobis Distance)는 서로 다른 특징 간의 상관관계의 정도를 나타내는 거리로, 수학식 2에 따라 계산할 수 있다.

수학식 2

$$D(X,Y)=\sqrt{(X-Y)\Sigma^{-1}(X-Y)^T}$$

[0042] 수학식 2에서, Σ^{-1} 은 공분산 행렬의 역행렬, X와 Y는 마할라노비스 거리의 산출 대상이 되는 두 개의 값을 나타낸다. 예를 들어, X가 직전 시점(k-1)의 트랙 데이터(Track_{k-1})이고, Y가 직전 시점(k-1)을 기초로 생성된 현재 시점(k)에 대한 예측 트랙(Predicted Track_{k,k-1})인 경우, D(X,Y)는 상기 트랙 데이터와 상기 예측 트랙 간의 마할라노비스 거리이다(도 3b 참조).

[0043] 트랙 예측 모듈(120)은 직전 시점(k-1)의 트랙 데이터(Track_{k-1})와의 마할라노비스 거리가 소정의 허용 범위 이내인 복수의 예측 트랙 중에서 마할라노비스 거리가 최대인 예측 트랙(Predicted Track_{k,max}, 이하 '최대 예측 트랙')과 마할라노비스 거리가 최소인 예측 트랙(Predicted Track_{k,min}, 이하 '최소 예측 트랙')을 도출한다(도 3b 참조). 직전 시점(k-1)의 트랙 데이터(Track_{k-1})와 현재 시점에 대한 예측 트랙에 대한 마할라노비스 거리가 과도하게 길 경우, 해당 예측 트랙은 오차 범위를 벗어나는 예측 데이터일 수 있으므로, 상기 마할라노비스 거리에 대한 허용 범위를 설정하여, 허용 범위 이내인 예측 트랙만 이용한다. 여기서, 마할라노비스 거리에 대한 허용 범위는 사용자에게 의해 설정되거나, 적용환경에 따라 달라질 수 있다. 허용 범위 내인 예측 트랙 중 마할라노비스 거리가 최대인 최대 예측 트랙 및 마할라노비스 거리가 최소인 최소 예측 트랙을 도출하여, 센서의 고장 여부를 판단하는 예측 트랙으로 이용한다.

[0044] 도 3b에 도시한 바와 같이, 예측 트랙 Predicted Track_{k,k-3} 및 Predicted Track_{k,k-n}는 허용 범위를 벗어나므로, 이들을 제외한 예측 트랙 중 마할라노비스 거리가 최대인 예측 트랙(Predicted Track_{k,t-1})을 최대 예측 트랙(Predicted Track_{k,Max})으로 설정하고, 마할라노비스 거리가 최소인 예측 트랙(Predicted Track_{k,t-2})을 최소 예측 트랙(Predicted Track_{k,Min})으로 설정할 수 있다.

[0045] 이후, 센서 고장 진단 모듈(140)은 상기 최대 예측 트랙의 오차공분산을 기초로 환경인지 센서가 센싱하는 현재 시점의 객체 데이터와 최대 예측 트랙 간의 제1 마할라노비스 거리를 산출하고, 최소 예측 트랙의 오차공분산을 기초로 환경인지 센서가 센싱하는 현재 시점의 객체 데이터와 최소 예측 트랙 간의 제2 마할라노비스 거리를 산출한다. 그리고, 센서 고장 진단 모듈(140)은 제1 마할라노비스 거리가 소정의 범위(제1 범위)를 벗어나고, 제2 마할라노비스 거리가 소정의 범위(제2 범위)를 벗어나는 경우, 환경인지 센서에 고장이 있다고 판단할 수 있다.

[0046] 도 4는 최대 예측 트랙 및 최소 예측 트랙을 기준으로 정상 범위를 설정한 모습을 나타낸 도면이다. 센서 고장 진단 모듈(140)은 현재 시점의 객체 데이터에 대한 제1 마할라노비스 거리 및 제2 마할라노비스 거리가 정상 범위인지 판단하기 위해 최대 예측 트랙을 기초로 제1 범위를 설정하고, 최소 예측 트랙을 기초로 제2 범위를 설정한다. 예를 들어, 센서 고장 진단 모듈(140)은 최대 예측 트랙(Predicted Track_{k,Max})을 중심으로 제1 범위를 설정하고, 최소 예측 트랙(Predicted Track_{k,Min})을 중심으로 제2 범위를 설정할 수 있다. 제1 범위 및 제2 범위

는 사용자에게 의해 설정되거나, 적용환경에 따라 달라질 수 있다. 제1 범위나 제2 범위를 설정함에 있어서, 최대 예측 트랙 및 최소 예측 트랙을 도출 시 활용되는 허용 범위(트랙 데이터와의 거리)와 동일한 범위(거리)가 적용될 수 있다.

[0047] 센서 고장 진단 모듈(140)은 수학적 식 2에 따라 최대 예측 트랙의 오차공분산을 기초로 환경인지 센서가 센싱한 현재 시점의 객체 데이터와 최대 예측 트랙 간의 제1 마할라노비스 거리를 산출하고, 최소 예측 트랙의 오차공분산을 기초로 환경인지 센서가 센싱한 현재 시점의 객체 데이터와 최소 예측 트랙 간의 제2 마할라노비스 거리를 산출한다. 센서 고장 진단 모듈(140)은 제1 마할라노비스 거리가 제1 범위를 벗어나고, 제2 마할라노비스 거리가 제2 범위를 벗어나는 경우, 해당 센서에 고장이 있다고 판단할 수 있다. 또한, 센서 고장 진단 모듈(140)은 제1 마할라노비스 거리가 제1 범위 이내이거나, 제2 마할라노비스 거리가 제2 범위 이내인 경우, 해당 센서가 정상 동작한다고 판단할 수 있다. 또한, 센서 고장 진단 모듈(140)은 제1 마할라노비스 거리 또는 제2 마할라노비스 거리 중 하나의 마할라노비스 거리가 제1 범위 또는 제2 범위를 벗어나는 경우에는, 해당 센서가 정상 동작한다고 판단하거나, 정상적으로 동작하고 있지만 고장가능성이 있다고 판단할 수도 있다.

[0048] 환경인지 센서가 복수의 센서를 포함하는 경우, 센서 고장 진단 모듈(140)은 센서 각각의 고장여부를 판단할 수 있다. 환경인지 센서는 동종의 복수의 센서를 포함할 수도 있고, 이종의 센서를 포함할 수도 있다. 예를 들어, 환경인지 센서가 비전 센서 및 레이더 센서를 포함하는 경우, 센서 고장 진단 모듈(140)은 상기 비전 센서 및 상기 레이더 센서 각각의 고장여부를 판단할 수 있다. 센서 고장 진단 모듈(140)은 각 센서의 데이터(센서 데이터)와 각각의 제1 마할라노비스 거리 및 제2 마할라노비스 거리를 산출하여, 제1 범위 또는 제2 범위 내인지 판단하여, 센서 각각의 고장여부를 판단할 수 있다.

[0049] 도 5는 환경인지 센서가 모두 정상인 경우의 센서 데이터 포인트를 나타낸 도면이다. 도 5에 도시된 바와 같이, 비전 센서의 데이터(Vision detect)에 대한 제1 마할라노비스 거리 및 제2 마할라노비스 거리가 각각 제1 범위 및 제2 범위 이내인 경우, 센서 고장 진단 모듈(140)은 비전 센서가 정상동작한다고 판단한다. 레이더 센서의 데이터(Radar detect) 역시, 제1 마할라노비스 거리 및 제2 마할라노비스 거리가 각각 제1 범위 및 제2 범위 이내인 바, 센서 고장 진단 모듈(140)은 레이더 센서 또한 정상동작하고 있다고 판단한다.

[0050] 도 6은 비전 센서가 고장인 경우의 센서 데이터 포인트를 나타낸 도면이다. 도 6에 도시한 바와 같이, 비전 센서에 대한 제1 마할라노비스 거리 및 제2 마할라노비스 거리가 각각 제1 범위 및 제2 범위를 벗어나는 경우, 센서 고장 진단 모듈(140)은 비전 센서에 고장이 있다고 판단하되, 레이더 센서에 대한 제1 마할라노비스 거리 및 제2 마할라노비스 거리가 각각 제1 범위 및 제2 범위 이내인 바, 레이더 센서는 정상동작한다고 판단할 수 있다. 즉, 센서 고장 진단 모듈(140)은 센서마다 개별적으로 정상동작 여부를 판단할 수 있다.

[0051] 도 7은 레이더 센서가 고장인 경우의 센서 데이터 포인트를 나타낸 도면이다. 도 7의 경우, 비전 센서에 대한 제1 마할라노비스 거리는 제1 범위를 벗어났으나, 제2 마할라노비스 거리가 제2 범위 이내인 바, 센서 고장 진단 모듈(140)은 비전 센서가 정상동작한다고 판단하고, 레이더 센서에 대한 제1 마할라노비스 거리 및 제2 마할라노비스 거리가 각각 제1 범위 및 제2 범위를 벗어났으므로, 레이더 센서에 고장이 있다고 판단할 수 있다.

[0052] 센서 고장 진단 모듈(140)은 복수의 센서에 대해 각각 고장여부를 판단하고, 특정 센서에 고장이 있다고 판단한 경우, 해당 센서에 대한 고장 플래그(Fault Flag)를 트랙 데이터 생성 모듈(110)에 전달한다. 고장 플래그는 0 또는 1의 값을 가지는데, 특정 센서가 고장일 경우, 해당 센서에 대한 고장 플래그가 1로 설정된다. 트랙 데이터 생성 모듈(110)은 객체에 대한 트랙 데이터를 생성함에 있어서, 고장 플래그(Fault Flag)가 부여된 센서 데이터를 제외할 수 있다. 예를 들어, 트랙 데이터 생성 모듈(110)은 환경인지 센서에서 측정된 센서 데이터를 융합함에 있어서, 센서별 고장 플래그를 기초로 칼만 필터(Kalman Filter)를 계산할 때 활용하는 측정 노이즈 값을 변경하여, 고장이 발생한 센서에 대한 센서 데이터의 노이즈를 높여 정상적인 센서에 대한 의존도를 높일 수 있다. 이를 통해, 트랙 데이터 생성 모듈(110)은 트랙 데이터 생성에 있어서 잘못된 정보를 제외할 수 있고, 객체 정보의 신뢰성을 높일 수 있다. 센서 고장 진단기(100)는 정확하고 신뢰성 높은 객체정보를 이용하여 센서 융합의 정확도를 높일 수 있다. 이를 통해 자율주행에 있어서, 충돌 방지, 회피 등 시스템의 정확성을 향상시킬 수 있다.

[0053] 센서 고장 진단 모듈(140)은 현재 시점의 예측 트랙 데이터와 환경인지 센서가 센싱하는 현재 시점의 객체 정보가 소정의 범위를 벗어나는 경우, 고장 플래그를 생성하되, 상기 고장 플래그가 소정의 시간 이상 계속되거나, 소정의 시간 이내에 기 설정된 수 이상 생성되는 경우, 비로소 상기 센서부에 고장이 있다고 판단할 수 있다. 일시적인 오류 또는 오작동임에도 해당 센서를 이용하지 않는 경우, 객체에 대한 트랙 데이터의 정확성이 떨어질 수 있는 바, 센서 고장 진단 모듈(140)은 소정의 시간 동안의 결과를 이용하여 고장 여부

(Fault_flag_{environment sensor})를 판단할 수 있다. 여기서, 상기 '소정의 시간'은 사용자에게 의해 설정되거나, 적용 환경에 따라 달라질 수 있다.

- [0054] 도 8은 센서 데이터의 게이트 통과 횟수를 기반으로 비전 센서의 고장을 확인하는 과정을 설명하기 위한 도면이다. 본 발명에서 게이트를 통과한다는 의미는, 최대 예측 트랙과 최소 예측 트랙을 기초로 도출한 제1 범위와 제2 범위에 포함된다는 의미일 수 있다. 다른 예로, 사용자의 설정이나 적용환경에 따라 제1 범위 및 제2 범위 중 어느 하나만이 게이트 통과 기준이 될 수도 있다.
- [0055] 도 8에 도시된 바와 같이, 센서 고장 진단 모듈(140)은 5 주기동안 고장 플래그 여부를 판단하여 센서의 고장 여부를 판단할 수 있다. 본 예시에서, 비전 센서는 5회 동안 3번의 고장 플래그가 생성되었고, 레이더 센서는 1번의 고장 플래그가 생성되었는데, 센서 고장 진단 모듈(140)은 비전 센서를 고장으로 판단(확정)하고, 레이더 센서는 고장이 아닌 것으로 판단할 수 있다. 판단 횟수나 판단 시간은 사용자 또는 적용환경에 따라 달라질 수 있음은 당연하다.
- [0056] 다시 도 2로 돌아와, 센서 고장 진단기(100)의 GPS 센서에 관한 고장 진단 과정을 설명한다. 데이터 전처리 모듈(130)은 가속도 센서에서 자차량의 가속도 데이터(a_s)를 수집하고, 가속도 센서에서 수집한 가속도 데이터(a_s)를 적분하여 속도 데이터($v_{s,ACC}$)를 생성하여 센서 고장 진단 모듈(140)에 전달한다. 센서 고장 진단 모듈(140)은 GPS 센서에서 수집된 자차량의 속도 데이터($v_{s,GPS}$)와 데이터 전처리 모듈(130)이 가속도 센서에서 수집한 가속도 데이터(a_s)를 적분하여 얻은 속도 데이터($v_{s,ACC}$)를 기초로 GPS 센서의 고장 여부(Fault_flag_{GPS})를 판단한다.
- [0057] 또한, 센서 고장 진단 모듈(140)은 환경인지 센서 또는 트랙 데이터 생성 모듈(110)에서 객체에 대한 상대 속도(v_{rel})를 수신하여 GPS 센서의 고장 여부 판단에 활용할 수 있다. 예를 들어, 센서 고장 진단 모듈(140)은 가속도 센서에서 수집한 가속도 데이터(a_s)를 적분하여 얻은 속도 데이터($v_{s,ACC}$)에 객체(전방 물체)의 상대 속도(v_{rel})에 더하여 객체의 속도(v_p)를 추정할 수 있고, 객체의 속도(v_p)에서 GPS 센서에서 수집된 자차량의 속도 데이터($v_{s,GPS}$)를 차감하여 객체의 상대 속도(v_{rel}')를 구한 후, 객체의 상대 속도(v_{rel}')와 트랙 예측 모듈(120)의 예측값(객체의 예측된 상대 속도)과 비교하여 GPS 센서의 고장 여부를 판단할 수 있다.
- [0058] 하기에, 센서 고장 진단기(100)의 가속도 센서(자차량의 내부 센서)에 관한 고장 진단 과정을 설명한다. 트랙 데이터 생성 모듈(110)은 환경인지 센서에서 자차량과 객체 간 상대 가속도 데이터(a_{rel})를 수집하여 센서 고장 진단 모듈(140)에 전달한다. 다만, 자차량과 객체 간 상대 가속도 데이터(a_{rel})는 환경인지 센서에서 센서 고장 진단 모듈(140)에 직접 전달될 수도 있다. 그리고, 데이터 전처리 모듈(130)은 GPS 센서에서 자차량의 속도 데이터(v_s)를 수집하고, 상기 속도 데이터를 미분하여 가속도 데이터($a_{s,GPS}$)를 생성하여 센서 고장 진단 모듈(140)에 전달한다.
- [0059] 센서 고장 진단 모듈(140)은 가속도 센서에서 자차량의 가속도 데이터($a_{s,ACC}$)를 수집한다. 그리고 센서 고장 진단 모듈(140)은 상대 가속도 데이터(a_{rel})와 상기 두 가지의 가속도 데이터($a_{s,GPS}$, $a_{s,ACC}$)를 기초로 슬라이딩 모드 관측기(sliding mode observer)를 이용하여 가속도 센서의 고장 여부(Fault flat_{Acc_sensor})를 판단한다. 슬라이딩 모드 관측기를 활용하여 가속도 센서의 고장 여부를 판단하는 과정에 대해서는 도 9 내지 도 11을 참조하여 설명한다.
- [0060] 도 9는 GPS 센서에서 수집된 속도 데이터와 상대 가속도 데이터를 이용하여 전방 물체의 가속도를 추정하는 과정을 나타낸 도면이다. 본 발명이 자율주행에 적용될 경우, 전방 물체는 전방 차량(선행 차량)이나 전방에 위치한 비행체가 될 수 있다.
- [0061] 센서 고장 진단 모듈(140)은 전방 물체의 상대 가속도(a_{rel})를 환경인지 센서에서 직접적으로 수집하거나, 트랙 데이터 생성 모듈(110)을 통하여 수집한다. 그리고, 데이터 전처리 모듈(130)은 GPS 센서에서 자차량의 속도 데이터(v_s)를 수집하고, 상기 속도 데이터를 미분하여 가속도 데이터($a_{s,GPS}$)를 생성하여 센서 고장 진단 모듈(140)에 전달한다. 센서 고장 진단 모듈(140)은 GPS 센서에서 수집한 자차량의 속도 데이터(v_s)를 미분하여 얻은 가속도 데이터($a_{s,GPS}$)에 전방 물체의 상대 가속도(a_{rel})를 합산하여 전방 물체의 가속도(a_p)를 추정한다.

[0062] 그리고, 센서 고장 진단 모듈(140)은 가속도 센서에서 자차량의 가속도 데이터($a_{s,ACC}$)를 수집하고, 전방 물체의 가속도(a_p)에서 자차량의 가속도($a_{s,ACC}$)를 차감하여 전방 물체의 상대 가속도($a_{rel}' = a_p - a_{s,ACC}$)을 구한다. 이와 같이 구한 상대 가속도는 슬라이딩 모드 관측기의 입력($u = a_p - a_{s,ACC}$)으로 사용된다.

[0063] 도 10은 슬라이딩 모드 관측기의 구성과 그 수학적 모델을 나타낸 도면이다. 본 발명에서 슬라이딩 모드 관측기는 센서 고장 진단 모듈(140)이 자차량의 내부 센서(예:가속도 센서)의 고장을 진단하기 위해 이용한다. 도 10은 슬라이딩 모드 관측기의 일반적인 구성으로서, 센서의 고장이 발생하지 않는 경우 적용되는 수학적 모델을 도시하고 있다. 일반적인 관측기와 비교하여 슬라이딩 모드 관측기가 갖는 특징은, 좌표 변환(coordinate transformation)을 통해 상태변수와 출력변수에 대한 수렴성을 확보한다는 점이다.

[0064] 도 10에 도시된 상태 방정식에서 u 는 입력 변수이고, y 는 실제 시스템(actual system)의 출력 변수이며, \hat{y} 은 본 관측기의 출력 변수이다. 입력 변수 u 는 전술한 바와 같이 ($a_p - a_{s,ACC}$)로서, 상대 가속도(a_{rel}')이다. 본 실시예에서 상태 변수 벡터 x 는 본 관측기에서 추정하고자 하는 값으로서, 상대 거리(x_1 , clearance)와 상대 속도(x_2 , relative velocity)를 그 성분으로 한다. 즉, x 는 $[c \ v_{rel}]$ 과 같다. 관측 행렬 C 가 $[1 \ 1]$ 일 경우, y 는 $c + v_{rel}$ 이 된다. T 는 좌표 변환에 사용되는 변환 행렬을 의미한다. 변환 행렬 T 를 적용하여 좌표 변환한 결과 x 는 x_t 로 매핑되고, 상태 방정식과 출력 방정식의 각 행렬은 A_t , B_t , C_t 로 변환된다.

[0065] 한편, 좌표 변환으로 얻은, 슬라이딩 모드 관측기 상태 방정식과 출력 방정식에서 v 는 주입 항(injection term)인데, 일반적으로 주입 항(injection term)을 통해 e_y (출력오차, 즉 $\hat{y} - y$)를 0으로 수렴하게 만들어 관측기가 실제 시스템과 비슷한 상태변수를 추정하며 관측할 수 있도록 하며, 본 발명에서도 같은 이유로 사용된다. 도 10에 도시된 바와 같이 v 는 $\rho \text{sign}(e_y)$ 로 구한다. ρ 는 주입 항의 크기(magnitude of injection term)이고, $\text{sign}(e_y)$ 는 e_y 가 양수이면 +1, e_y 가 음수이면 -1, e_y 가 0이면 0의 값을 가진다. 주입 항(injection term) v 에 적절한 설계 변수를 튜닝 인자로 하는 전달 함수를 적용하여 센서의 고장 신호를 검출할 수 있다.

[0066] 도 11 및 도 12는 고장이 발생한 시스템에 관한 슬라이딩 모드 관측기의 수학적 모델을 나타낸 도면이다. 도 10에 있는 슬라이딩 모드 관측기의 수학적 모델과는 달리, 도 11 및 도 12의 수학적 모델의 상태 방정식에는 센서의 고장에 의한 영향을 의미하는 외란 인자($D_n * f$, $D_t * f$)가 더 포함되어 있다. 즉, 도 11 및 도 12의 수학적 모델은 고장이 발생한 시스템을 모델링한 것이다.

[0067] 도 11의 상태 방정식에 좌표 변환을 적용하면 \hat{x}_t 에 관한 상태 방정식(관측기 상태 방정식)을 얻을 수 있으며, 이 방정식에 $G_n v$ 항이 포함된다. 여기서 G_n 은 게인 행렬(gain matrix)이고 v 는 전술한 대로 주입 항(injection term)이다.

[0068] 도 12에 나타난 바와 같이 관측기 오차방정식(\dot{e} 에 관한 식)에서 e 와 \dot{e} 는 유한 시간 내에 0으로 수렴하며, 그 결과 고장 신호 f 와 주입 항 v 의 관계식을 유도할 수 있다. 즉, 불연속적인 입력 신호 v 로 고장 진단을 할 수 있다. (G_n/D_t)을 특정할 수 없으므로 (G_n/D_t)를 1차 지연 시스템(1st order delay system)인 전달함수($1/(\tau s+1)$)로 변환한 후, 고장 신호를 인가하여 전달함수에 포함된 설계변수인 τ 를 튜닝한다. 이 경우에 τ 는 전달함수의 출력인 f_{rec} 이 고장 신호와 대응되도록 튜닝된다. τ 의 튜닝이 완료되면, 전달함수가 정해진다. 센서 고장 진단 모듈(140)은 불연속적 입력 신호 v 를 전달함수($1/(\tau s+1)$)에 입력하여 고장 신호(f_{rec})를 출력하고, 고장 신호(f_{rec})를 확인하여 센서의 고장 여부를 판단할 수 있다.

[0069] 결국, 본 발명의 일 실시예에서 센서 고장 진단 모듈(140)은 전방 물체의 상대 가속도(a_{rel}), GPS 센서에서 수집한 자차량의 속도 데이터(v_s)를 미분하여 얻은 가속도 데이터($a_{s,GPS}$) 및 가속도 센서에서 얻은 자차량의 가속도 데이터($a_{s,ACC}$)를 기초로 슬라이딩 모드 관측기를 이용하여 불연속적인 입력 신호(v , 주입 항(injection term))를 얻은 후, 상기 불연속적인 입력 신호(v)를 전달함수에 입력하여 고장 신호(f_{rec})를 출력하고, 상기 고장 신호

(f_{rec})를 확인하여 가속도 센서의 고장 여부를 판단할 수 있다.

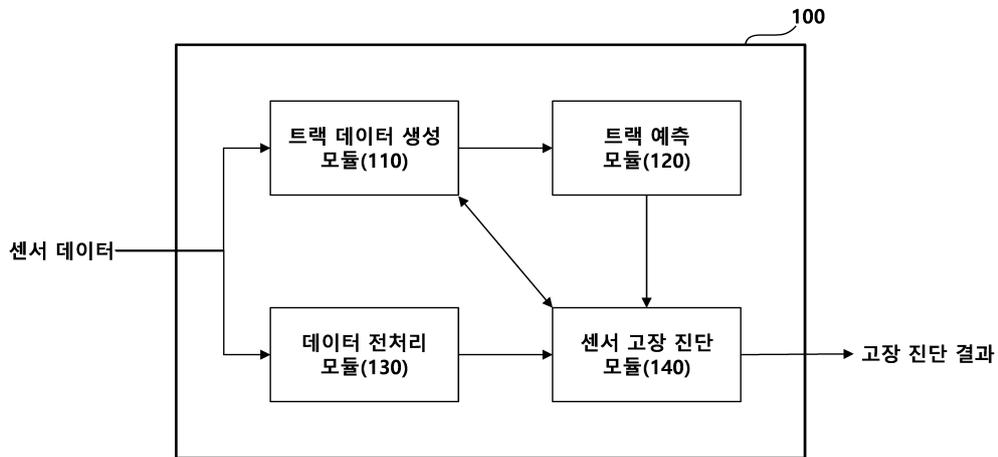
- [0070] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 가속도 센서 고장 진단 방법을 설명하기 위한 도면이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 가속도 센서 고장 진단 방법은 S210 단계 내지 S240 단계를 포함하여 구성된다. 각 단계에 대한 상세한 내용은 도 1 내지 도 12에 전술한 내용을 참조하여 이해할 수 있을 것이다.
- [0071] S210 단계는 상대 가속도 데이터를 수집하는 단계이다. 본 단계에서 센서 고장 진단기(100)는 환경인지 센서에서 자차량과 객체 간 상대 가속도 데이터를 수집한다.
- [0072] S220 단계는 제1 가속도 데이터를 생성하는 단계이다. 본 단계에서 센서 고장 진단기(100)는 GPS 센서에서 자차량의 속도 데이터를 수집하고, 상기 속도 데이터를 미분하여 제1 가속도 데이터를 생성한다.
- [0073] S230 단계는 제2 가속도 데이터를 수집하는 단계이다. 본 단계에서 센서 고장 진단기(100)는 가속도 센서에서 자차량의 가속도 데이터(제2 가속도 데이터)를 수집한다.
- [0074] S240 단계는 가속도 센서의 고장 여부를 판단하는 단계이다. 본 단계에서 센서 고장 진단기(100)는 상기 상대 가속도 데이터, 상기 제1 가속도 데이터 및 상기 제2 가속도 데이터를 기초로 슬라이딩 모드 관측기를 이용하여 상기 가속도 센서의 고장 여부를 판단한다.
- [0075] 한편 도 13을 참조한 설명에서, 각 단계는 본 발명의 구현예에 따라서, 추가적인 단계들로 더 분할되거나, 더 적은 단계들로 조합될 수 있다. 또한, 일부 단계는 필요에 따라 생략될 수도 있고, 단계 간의 순서가 변경될 수도 있다. 아울러, 기타 생략된 내용이라 하더라도 도 1 내지 도 12의 내용은 도 13의 내용에 적용될 수 있다. 또한, 도 13의 내용은 도 1 내지 도 12의 내용에 적용될 수 있다.
- [0076] 전술한 가속도 센서 고장 진단 방법은 도면에 제시된 흐름도를 참조로 하여 설명되었다. 간단히 설명하기 위하여 상기 방법은 일련의 블록들로 도시되고 설명되었으나, 본 발명은 상기 블록들의 순서에 한정되지 않고, 몇몇 블록들은 다른 블록들과 본 명세서에서 도시되고 기술된 것과 상이한 순서로 또는 동시에 일어날 수도 있으며, 동일한 또는 유사한 결과를 달성하는 다양한 다른 분기, 흐름 경로, 및 블록의 순서들이 구현될 수 있다. 또한, 본 명세서에서 기술되는 방법의 구현을 위하여 도시된 모든 블록들이 요구되지 않을 수도 있다.
- [0077] 본 실시예에서 사용되는 '~모듈'이라는 용어는 소프트웨어 또는 하드웨어 구성요소일 수 있으며, '~모듈'은 어떤 역할들을 수행한다. 그렇지만 '~모듈'은 소프트웨어 또는 하드웨어에 한정되는 의미는 아니다. '~모듈'은 어드레싱할 수 있는 저장 매체에 있도록 구성될 수도 있고 하나 또는 그 이상의 프로세서들을 재생시키도록 구성될 수도 있다. 따라서, 일 예로서 '~모듈'은 소프트웨어 구성요소들, 객체지향 소프트웨어 구성요소들, 클래스 구성요소들 및 태스크 구성요소들과 같은 구성요소들과, 프로세스들, 함수들, 속성들, 프로시저들, 서브루틴들, 프로그램 코드의 세그먼트들, 드라이버들, 펌웨어, 마이크로코드, 회로, 데이터, 데이터베이스, 데이터 구조들, 테이블들, 어레이들, 및 변수들을 포함한다. 구성요소들과 '~모듈'들 안에서 제공되는 기능은 더 작은 수의 구성요소들 및 '~모듈'들로 결합되거나 추가적인 구성요소들과 '~모듈'들로 더 분리될 수 있다.
- [0078] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

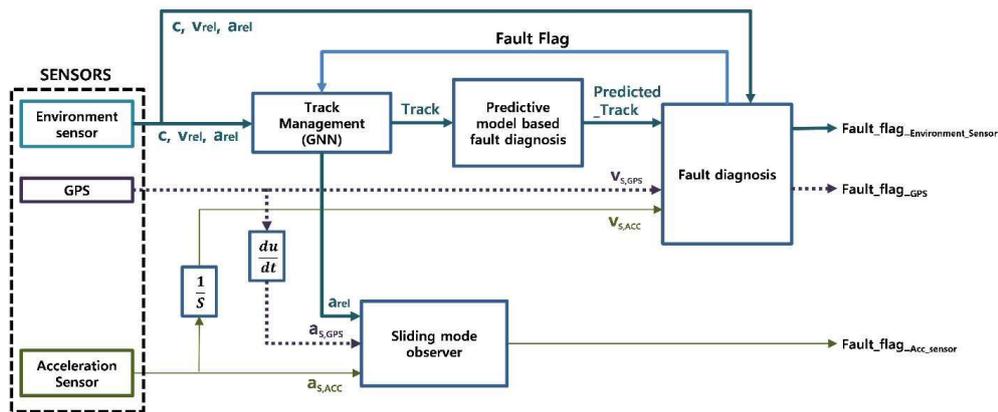
- [0079] 100: 센서 고장 진단기
- 110: 트랙 데이터 생성 모듈
- 120: 트랙 예측 모듈
- 130: 데이터 전처리 모듈
- 140: 센서 고장 진단 모듈

도면

도면1



도면2



도면3a

State-space Model (Constant Acceleration Motion)

$$X_k = AX_{k-1} + Bu_{k-1}$$

$X_k = [\text{PosX PosY VelX VelY AccX AccY}]^T$;

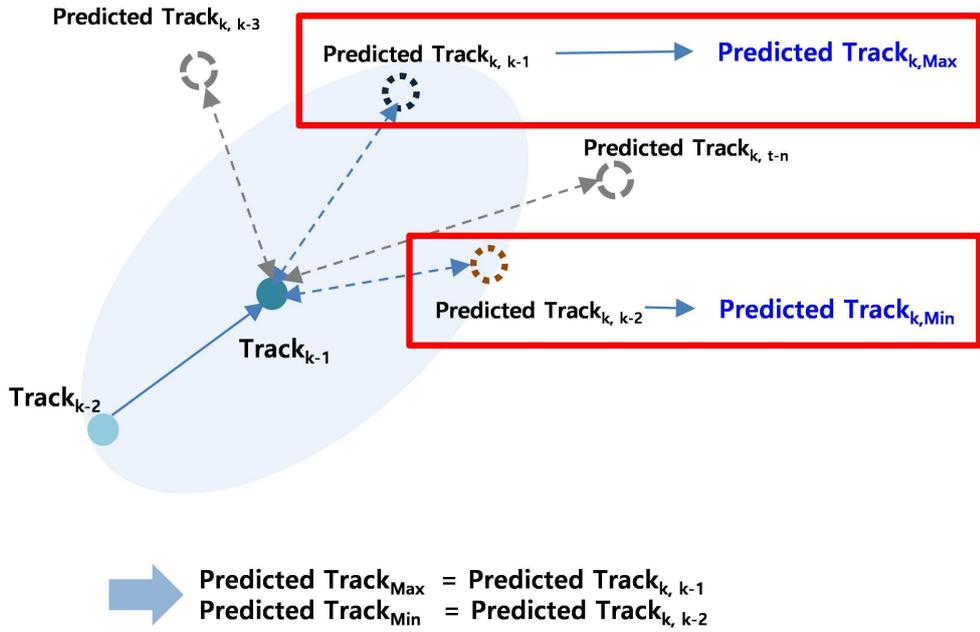
$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & dt & 0 & \frac{dt^2}{2} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & dt & 0 & \frac{dt^2}{2} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & dt & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & dt \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

time(Track)	Predicted Track _k
k-1	A * Track _{k-1}
k-2	A ² * Track _{k-2}
k-3	A ³ * Track _{k-3}
.	.
.	.
.	.
k-(n-1)	A ⁿ⁻¹ * Track _{k-n-1}
k-n	A ⁿ * Track _{k-n}

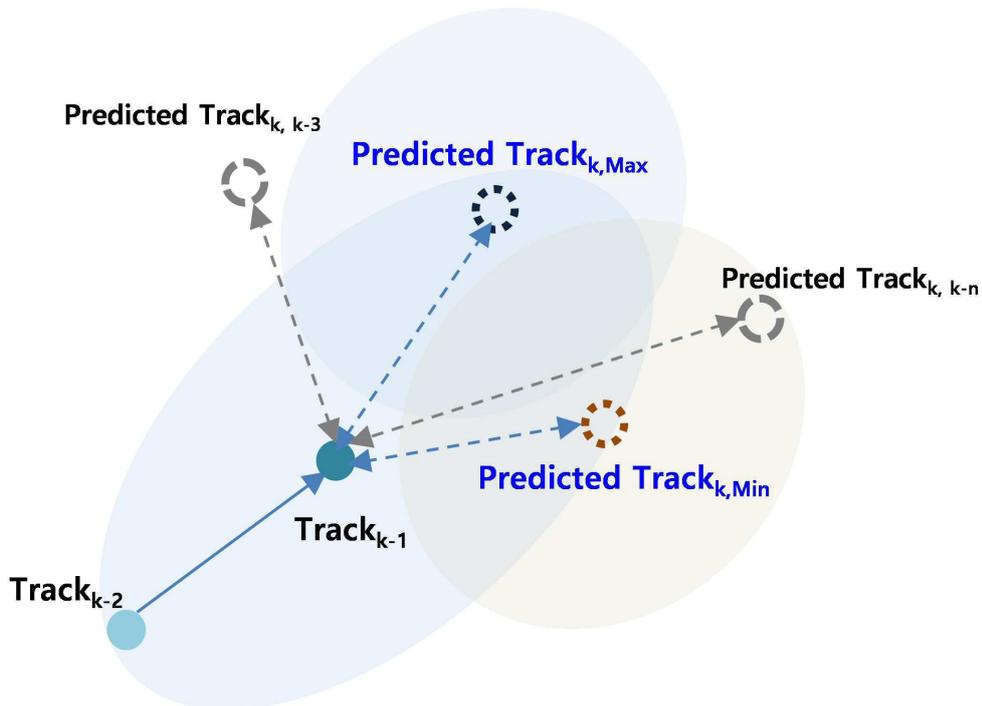
도면3b

Mahalanobis Distance

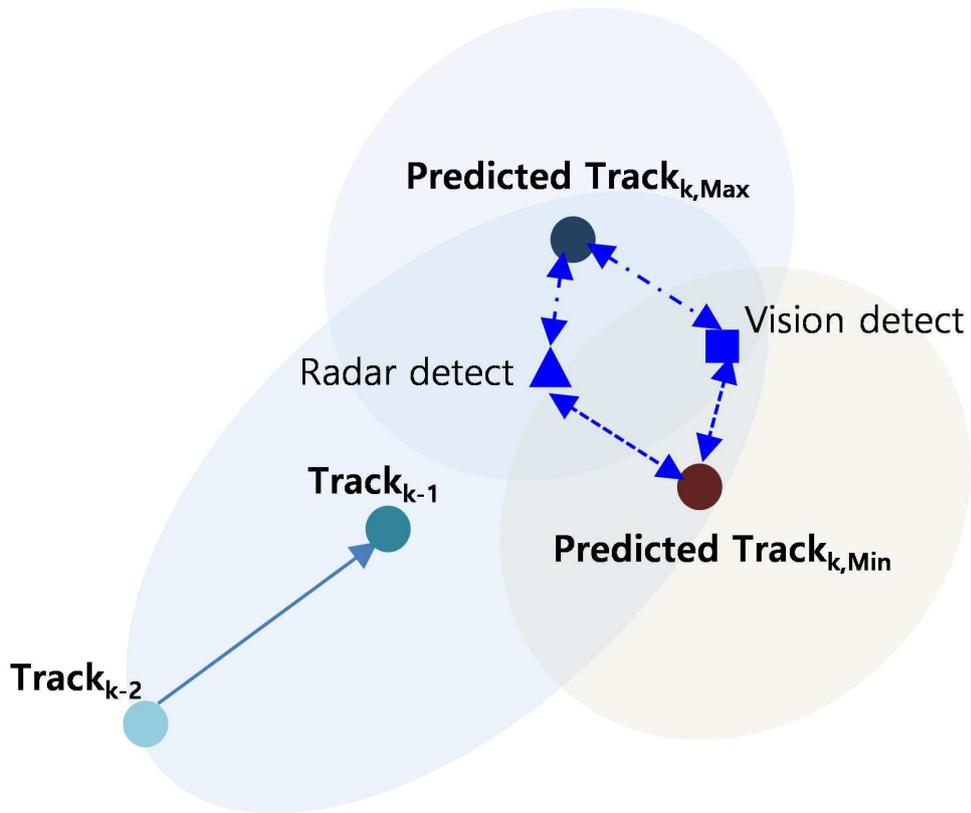
$$D(X, Y) = \sqrt{(X - Y)\Sigma^{-1}(X - Y)^T}$$



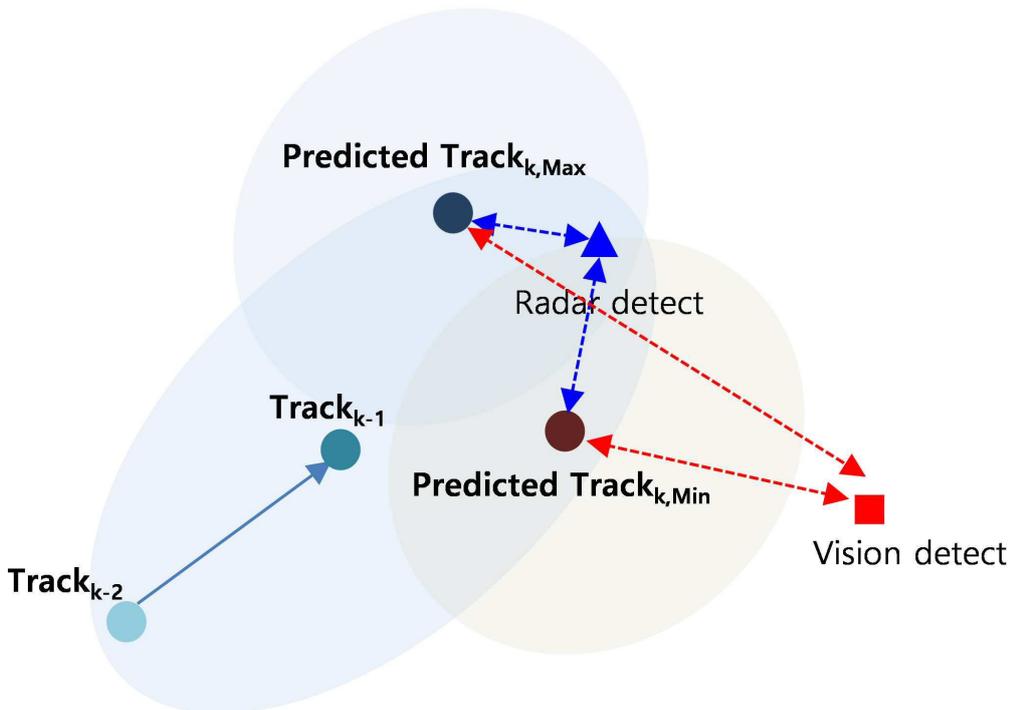
도면4



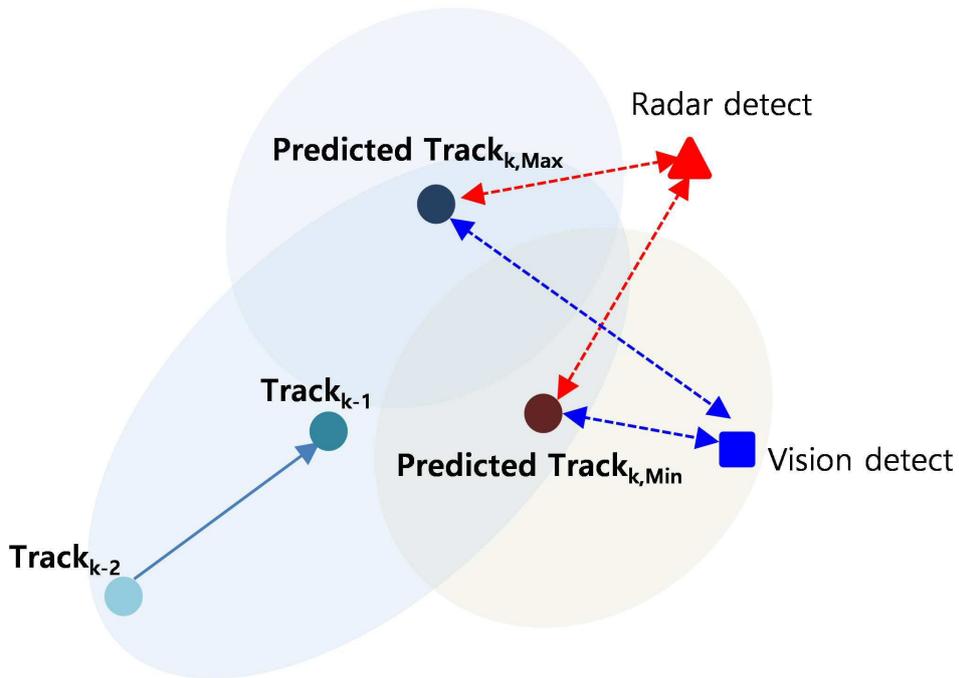
도면5



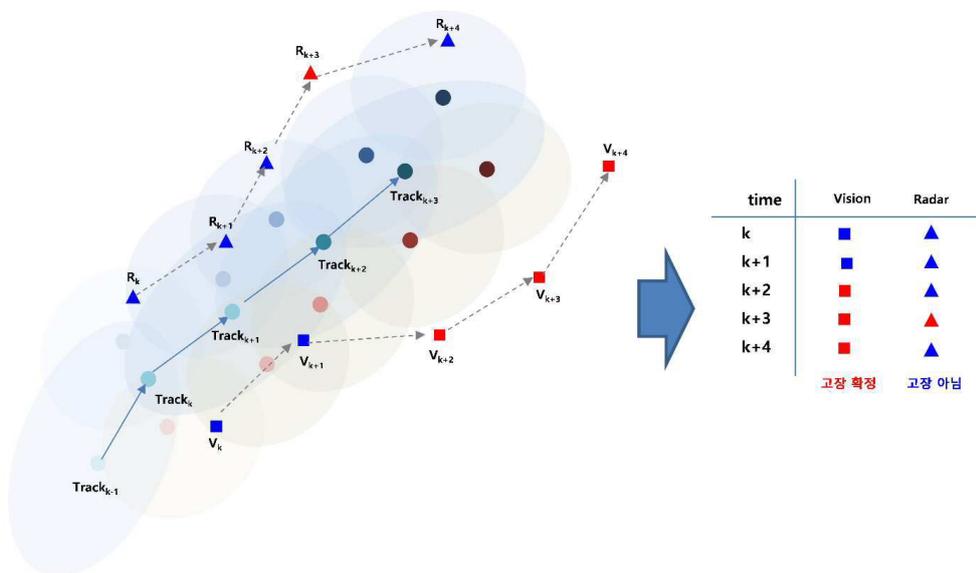
도면6



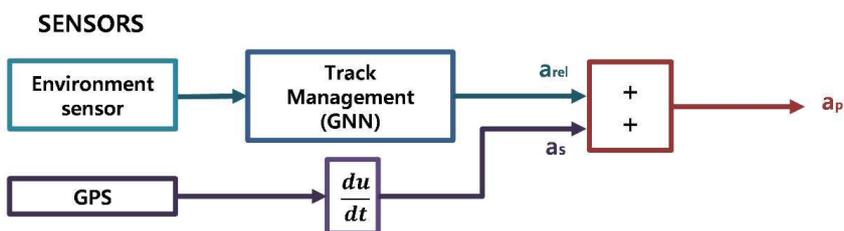
도면7



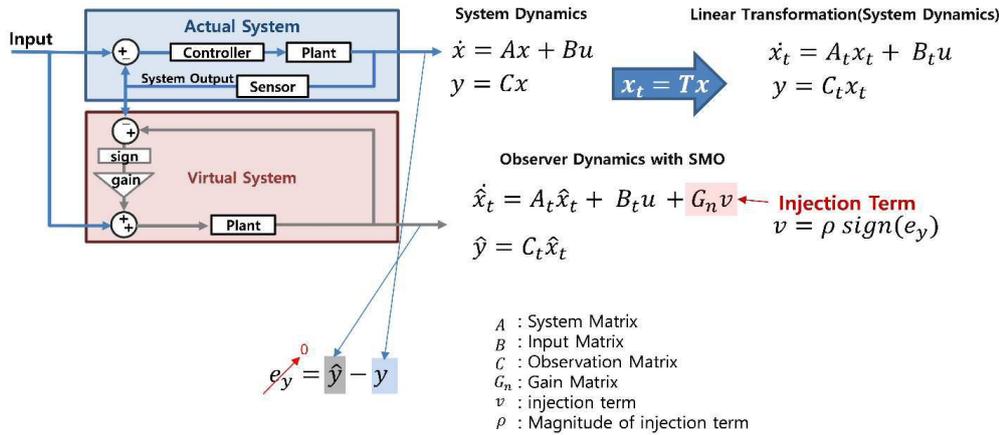
도면8



도면9



도면10



도면11

• Used System Model with Fault

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} (a_p - a_s)$$

$$\dot{x} = Ax + B(a_p - a_s) + Df$$
 ← Fault



- x_1 : clearance
- x_2 : relative velocity
- a_p : Preceding vehicle acceleration
- a_s : subject vehicle acceleration
- A : System Matrix
- B : Input Matrix
- C : Observation Matrix
- D : Fault distribution matrix
- f : Fault signal
- G_n : Gain Matrix
- v : injection term

• Observer Dynamics with Fault

$$\dot{\hat{x}}_t = A_t \hat{x}_t + B_t (a_p - a_s) + G_n v$$
 ← Injection Term

도면12

• Error dynamics with Fault in state

$$\begin{array}{l} \hat{x}_t = A_t \hat{x}_t + B_t (a_p - a_s) + G_n v \\ (-) \quad x_t = A_t x_t + B_t (a_p - a_s) + D_t f \\ \hline \dot{e} = A_t e + G_n v - D_t f \end{array}$$

$$\dot{e} = A_t e + G_n v - D_t f$$

$$0 \approx G_n v - D_t f$$

$$\therefore f \approx \frac{G_n}{D_t} v$$

• Equivalent injection term

$$v \longrightarrow \boxed{\frac{1}{\tau s + 1}} \longrightarrow f_{rec}$$

f_{rec} = reconstructed fault

도면13

