



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0035142
(43) 공개일자 2017년03월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B60W 40/12 (2006.01) B60W 40/10 (2006.01)
B60W 40/101 (2012.01) B60W 40/105 (2012.01)
B60W 50/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

B60W 40/12 (2013.01)
B60W 40/10 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-0133863

(22) 출원일자 2015년09월22일

심사청구일자 2015년09월22일

(71) 출원인

울산대학교 산학협력단

울산광역시 남구 대학로 93(무거동)

(72) 발명자

김병우

울산광역시 남구 신북로22번길 28, 509 (무거동, 현대프리빌)

윤재우

서울특별시 노원구 공릉로34길 74, 2동 404호(공릉동, 태능현대아파트)

(74) 대리인

특허법인 아이퍼스

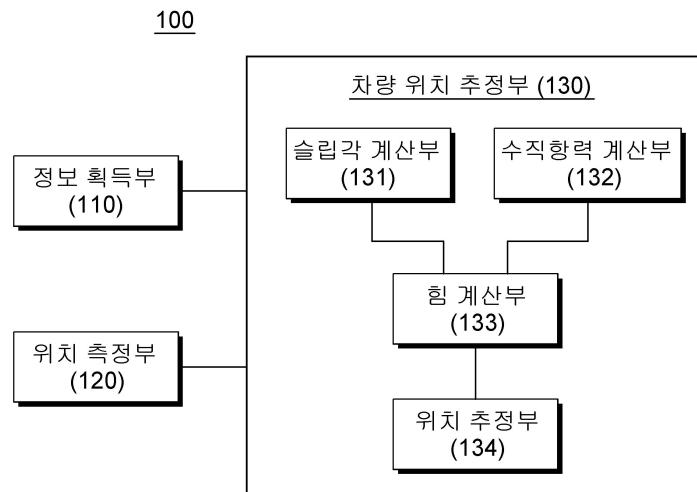
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치 및 방법

(57) 요약

본 명세서는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치 및 방법에 관한 것으로서, 본 명세서의 실시예에 따른 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치는 차량의 상태 정보를 획득하는 정보 획득부; 차량의 GPS 위치를 측정하는 위치 측정부; 및 상기 획득된 차량의 상태 정보와 상기 측정된 차량의 GPS 위치를 타이어별 슬립각이 반영된 비선형 타이어 모델에 적용하여 차량의 위치를 추정하는 차량 위치 추정부를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B60W 40/101 (2013.01)

B60W 40/105 (2013.01)

B60W 2050/0052 (2013.01)

B60W 2050/0078 (2013.01)

B60W 2422/70 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

차량의 상태 정보를 획득하는 정보 획득부;

차량의 GPS 위치를 측정하는 위치 측정부; 및

상기 획득된 차량의 상태 정보와 상기 측정된 차량의 GPS 위치를 타이어별 슬립각이 반영된 비선형 타이어 모델에 적용하여 차량의 위치를 추정하는 차량 위치 추정부

를 포함하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 정보 획득부는

차량 내부에서 설치된 센서들로부터 종 및 횡 방향의 가속도, 요 레이트, 각 바퀴의 휠속도 및 조향각을 차량의 상태 정보로 획득하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 차량 위치 추정부는

상기 획득된 차량의 상태 정보를 이용하여 타이어별 종 및 횡 방향의 슬립각을 계산하는 슬립각 계산부;

타이어 및 노면의 접촉점에 대한 타이어별 수직 항력을 계산하는 수직 항력 계산부;

상기 계산된 타이어별 종 및 횡 방향의 슬립각과 상기 타이어별 수직 항력을 타이어별 슬립각이 반영된 비선형 타이어 모델에 적용하여 각 타이어의 종 및 횡 방향의 힘을 계산하는 힘 계산부; 및

상기 계산된 각 타이어의 종 및 횡 방향의 힘을 타이어별 힘이 반영된 4휠 차량 모델(FWVM: Four Wheel Vehicle Model)에 적용하여 차량의 위치를 추정하는 위치 추정부

를 포함하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 슬립각 계산부는

상기 획득된 차량의 상태 정보 중에서 휠 중심에서의 각속도, 타이어 및 노면의 접촉점에 대한 종 및 횡 방향 속도를 이용하여 종 방향의 슬립각을 계산하고, 상기 획득된 차량의 상태 정보 중에서 조향각, 타이어 및 노면의 접촉점에 대한 종 및 횡 방향 속도를 이용하여 횡 방향의 슬립각을 각각 계산하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 수직 항력 계산부는

차량의 무게중심으로부터 전륜 및 후륜까지의 길이, 좌륜 및 우륜 간의 너비, 종 및 횡 방향의 가속도를 토크 밸런스를 고려하여 타이어 및 노면의 접촉점에 대한 타이어별 수직 항력을 계산하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 차량 위치 추정부는

상기 획득된 차량의 GPS 위치와 4휠 차량 모델로부터 추정된 차량의 위치를 확률적으로 융합하는 확장형 칼만 필터를 기초로 하여 차량의 위치를 추정하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 차량 위치 추정부는

$k+1$ 번째 시스템 상태와 $k+1$ 번째 오류 공분산을 계산하는 시간 업데이트 모듈; 및

상기 획득된 차량의 상태 정보를 이용하여 k 번째 상태-추정과 k 번째 오류 공분산을 업데이트하는 측정 업데이트 모듈

을 더 포함하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 시간 업데이트 모듈은

1차 오일러 근사화를 적용하여 차량 동역학 모델을 이산화하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 시간 업데이트 모듈은

비선형 시스템 모델의 자코비안으로 매트릭스 A 를 계산하고, 상기 계산된 매트릭스 A 를 이용하여 $k+1$ 번째 오류 공분산을 계산하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 측정 업데이트 모듈은

차량의 GPS 위치, 종 및 횡 방향의 가속도, 요 레이트가 포함되어 설정된 측정 모델을 기초로 하여, 매트릭스 H 를 자코비안으로 계산하고, 상기 계산된 매트릭스 H 로부터 칼만 이득을 계산하여 k 번째 상태-추정을 계산하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치.

청구항 11

차량의 상태 정보를 획득하는 단계;

차량의 GPS 위치를 측정하는 단계; 및

상기 획득된 차량의 상태 정보와 상기 측정된 차량의 GPS 위치를 타이어별 슬립각이 반영된 비선형 타이어 모델에 적용하여 차량의 위치를 추정하는 단계

를 포함하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 차량의 상태 정보를 획득하는 단계는

차량 내부에서 설치된 센서들로부터 종 및 횡 방향의 가속도, 요 레이트, 각 바퀴의 휠속도 및 조향각을 차량의 상태 정보로 획득하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 방법.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 차량의 위치를 추정하는 단계는

상기 획득된 차량의 상태 정보를 이용하여 타이어별 종 및 횡 방향의 슬립각을 계산하는 단계;

타이어 및 노면의 접촉점에 대한 타이어별 수직 항력을 계산하는 단계;

상기 계산된 타이어별 종 및 횡 방향의 슬립각과 상기 타이어별 수직 항력을 타이어별 슬립각이 반영된 비선형 타이어 모델에 적용하여 각 타이어의 종 및 횡 방향의 힘을 계산하는 단계; 및

상기 계산된 각 타이어의 종 및 횡 방향의 힘을 타이어별 힘이 반영된 4휠 차량 모델(FWVM: Four Wheel Vehicle Model)에 적용하여 차량의 위치를 추정하는 단계

를 포함하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 슬립각을 계산하는 단계는

상기 획득된 차량의 상태 정보 중에서 휠 중심에서의 각속도, 타이어 및 노면의 접촉점에 대한 종 및 횡 방향 속도를 이용하여 종 방향의 슬립각을 계산하고, 상기 획득된 차량의 상태 정보 중에서 조향각, 타이어 및 노면의 접촉점에 대한 종 및 횡 방향 속도를 이용하여 횡 방향의 슬립각을 각각 계산하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 방법.

청구항 15

제13항에 있어서,

상기 수직 항력을 계산하는 단계는

차량의 무게중심으로부터 전륜 및 후륜까지의 길이, 좌륜 및 우륜 간의 너비, 종 및 횡 방향의 가속도를 토크 밸런스를 고려하여 타이어 및 노면의 접촉점에 대한 타이어별 수직 항력을 계산하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 방법.

청구항 16

제11항에 있어서,

상기 차량의 위치를 추정하는 단계는

상기 획득된 차량의 GPS 위치와 4휠 차량 모델로부터 추정된 차량의 위치를 확률적으로 융합하는 확장형 칼만 필터를 기초로 하여 차량의 위치를 추정하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 방법.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 차량의 위치를 추정하는 단계는

k+1번째 시스템 상태와 k+1번째 오류 공분산을 계산하여 시간을 업데이트하는 단계; 및

상기 획득된 차량의 상태 정보를 이용하여 k번째 상태-추정과 k번째 오류 공분산을 업데이트하여 측정을 업데이트하는 단계

을 더 포함하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 시간을 업데이트하는 단계는

1차 오일러 근사화를 적용하여 차량 동역학 모델을 이산화하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 방법.

청구항 19

제17항에 있어서,

상기 시간을 업데이트하는 단계는

비선형 시스템 모델의 자코비안으로 매트릭스 A를 계산하고, 상기 계산된 매트릭스 A를 이용하여 k+1번째 오류 공분산을 계산하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 방법.

청구항 20

제17항에 있어서,

상기 측정을 업데이트하는 단계는

차량의 GPS 위치, 중 및 횡 방향의 가속도, 요 레이트가 포함되어 설정된 측정 모델을 기초로 하여, 매트릭스 H를 자코비안으로 계산하고, 상기 계산된 매트릭스 H로부터 칼만 이득을 계산하여 k번째 상태-추정을 계산하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 명세서는 차량의 위치 추정 장치 및 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근, 운전자의 편의성과 안정성을 향상시키기 위한 운전자 보조 시스템(ADAS, Advanced Driver Assistance System)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 시스템을 안정적으로 구동하기 위해서는 정확한 차량의 위치정보를 제공해 주는 기술이 필요하다.

[0003] 일반적으로 차량의 위치정보는 GPS(Global Positioning System)에 의존하고 있다. 하지만, GPS는 위성신호를 사용하기 때문에 주변환경에 의한 위치정보의 신뢰성이 떨어지는 한계점을 갖고 있다. 이러한 한계점을 극복하기 위해 차량 내부의 센서정보와 융합하는 정보융합기술이 많이 연구되고 있다.

[0004] 추측항법(DR, Dead Reckoning) 기법은 차량에 관성 측정 유닛(IMU, Inertial Measurement Unit)과 GPS 위치정보를 융합하는 방법이다. DR 기법은 연속적으로 정확한 위치정보를 얻을 수 있는 장점이 있지만, 시간에 따라 IMU의 적분 오차가 누적되는 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 모델기반의 위치 정보융합(Sensor fusion) 알고리즘이 사용되고 있다. 특히, 베이시안 필터(Bayesian filter)를 기반으로 하는, 비선형 모델도 바로 적용할 수 있는 확장 칼만 필터(EKF, Ex-tended Kalman Filter)가 널리 사용되고 있다.

[0005] 한편, 높은 위치 정확도를 얻기 위해서는 융합 알고리즘도 중요하지만, 차량의 모델 선정도 중요하다. 위치 추정을 위한 차량 모델로는 키너매틱(kinematic) 모델과 동역학(dynamic) 모델이 많이 사용되고 있다. 키너매틱 모델은 차량의 타이어 슬립을 고려하지 않은 간단한 모델로서, 저속 주행 조건(low-speed driving condition)에 사용이 적합하다. 반면, 동역학 모델은 차량의 타이어 슬립을 고려한 복잡한 모델로 고속 주행 조건(high-speed driving condition)에 사용이 적합하다.

[0006] 차량의 위치를 추정하는 동역학 모델로는 주로 바이시클(bicycle) 모델을 사용하여 연구가 진행되어 왔다. 바이시클 모델은 2개 바퀴인 이륜차로 근사화시킨 모델로써, 휠 각(wheel angle)은 차량의 좌측, 우측 앞바퀴 휠 각의 평균값으로 근사화하고, 앞바퀴 힘은 좌측, 우측 앞바퀴 힘의 평균값으로 근사화하고, 뒷바퀴 힘도 좌측, 우

측 뒷바퀴 힘의 평균값으로 근사화한다. 이 모델은 4휠 차량 모델(FWVM, Four wheel vehicle model)보다 간단하게 표현되어 연산 속도에 강점을 갖지만, 각 타이어의 슬립각을 반영하지 못하는 한계를 갖는다. 그로 인해 위치 오차가 발생하는 것을 알 수 있다.

[0007] 또한, 작은 슬립각 상태(small slip angle) 상태로 근사화한 타이어 모델(tire model)을 주로 사용하고 있다. 이 모델을 적용한 차량 동역학 모델(vehicle dynamic model)은 큰 타이어 슬립각(large tire slip angle)인 상태에서 위치 오차가 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서, 큰 타이어 슬립각 상태에서도 사용 가능한 타이어 모델 선정이 필요한 상황이다. 비선형성이 강한 타이어는 경험적 방법(empirical method)을 통해 모델링하며, 다양한 타이어 모델이 제안되고 있다. 이러한 비선형 타이어 모델을 이용하여 단지 차량의 속도, 가속도, 슬립각 등에 대한 특성 해석만에만 이용되고 있다.

[0008] 상기와 같이, 종래의 차량 위치 추정 시스템은 고가의 관성 센서(IMU, Inertial Measurement Unit)와 고가의 DGPS(Differential Global Position System)를 사용하여 추측항법(DR, Dead Reckoning) 알고리즘을 이용하기 때문에, 고가의 관성 센서와 고가의 DGPS가 필수적으로 요구된다. 예를 들어, 위치 오차가 3m 이내인 고정밀의 DGPS가 사용되는 경우에만 정확도가 높아지게 된다.

[0009] 종래의 차량 위치 추정 시스템은 차량 모델 기반의 정보융합 알고리즘을 사용하고 있지만, 이륜차(Bicycle) 모델로 근사한 모델만을 사용함으로써 정확도가 떨어지게 된다.

[0010] 또한, 종래의 차량 위치 추정 시스템에서는 비선형성이 강한 타이어 및 도로의 미끄러짐(slip)을 간단하게 근사화시킨 선형모델을 사용하기 때문에 고속 및 과격한 코너링인 주행 상황일 경우 위치오차가 커지게 된다. 일례로, 이러한 종래의 차량 위치 추정 시스템에서의 위치 오차가 평균 3m 이상이 발생하게 된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 명세서의 실시 예들은 차량의 상태 정보와 차량의 GPS 위치를 비선형 타이어 모델이 적용된 4휠 차량 모델(FWVM)을 적용하여 차량의 위치를 추정함으로써, 큰 슬립 각이 발생하는 고속 주행 또는 코너링 상태에서도 높은 정확도의 위치를 추정할 수 있는, 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치 및 방법을 제공하고자 한다.

[0012] 구체적으로 살펴보면, 본 명세서의 실시 예들은 이륜차(Bicycle) 모델이 아닌 각 바퀴의 힘을 고려한 4휠 차량 모델(Four Wheel Vehicle Model)를 이용함으로써, 위치 추정의 위치 정밀도를 높일 수 있는, 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치 및 방법을 제공하고자 한다.

[0013] 본 명세서의 실시 예들은 타이어 및 도로의 미끄러짐(slip)이 모델링된 비선형 모델(예컨대, 더그오프(Dugoff model))을 이용함으로써, 타이어 및 도로의 미끄러짐(slip)을 정확하게 고려하여 타이어별 종 및 횡 방향의 힘을 정확하게 계산할 수 있는, 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치 및 방법을 제공하고자 한다.

[0014] 본 명세서의 실시 예들은 차량에 기본적으로 설치되어 있는 각종 모듈(예컨대, ABS(Anti-lock Brake System), ESC(Electronic Stability Control), EPS(Electric Power Steering))로부터 각 바퀴의 속도, 차량속도 및 가속도, 핸들 각도 등의 차량의 상태 정보들을 차량의 기본 통신망(예컨대, CAN(Controller Area Network) 버스)를 통해 획득하여 위치 추정에 이용함으로써, 추가적인 장치나 부품의 설치 없이도 차량의 위치를 정확하게 추정할 수 있는, 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치 및 방법을 제공하고자 한다.

[0015] 본 명세서의 실시 예들은 각종 차량의 상태 정보와 비선형 타이어 모델이 적용된 4휠 차량 모델(FWVM)을 확률적으로 융합하는 확장형 칼만 필터(EKF, Extended Kalman Filter)를 이용함으로써, 고정밀의 DGPS에 비해 위치 오차가 큰 GPS(예컨대, 위치 오차 10m)를 이용하더라도 정확하게 차량의 위치를 추정할 수 있는, 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치 및 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0016] 본 명세서의 제1 측면에 따르면, 차량의 상태 정보를 획득하는 정보 획득부; 차량의 GPS 위치를 측정하는 위치 측정부; 및 상기 획득된 차량의 상태 정보와 상기 측정된 차량의 GPS 위치를 타이어별 슬립각이 반영된 비선형 타이어 모델에 적용하여 차량의 위치를 추정하는 차량 위치 추정부를 포함하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치가 제공될 수 있다.

- [0017] 상기 정보 획득부는 차량 내부에서 설치된 센서들로부터 종 및 횡 방향의 가속도, 요 레이트, 각 바퀴의 휠속도 및 조향각을 차량의 상태 정보로 획득할 수 있다.
- [0018] 상기 차량 위치 추정부는 상기 획득된 차량의 상태 정보를 이용하여 타이어별 종 및 횡 방향의 슬립각을 계산하는 슬립각 계산부; 타이어 및 노면의 접촉점에 대한 타이어별 수직 항력을 계산하는 수직 항력 계산부; 상기 계산된 타이어별 종 및 횡 방향의 슬립각과 상기 타이어별 수직 항력을 타이어별 슬립각이 반영된 비선형 타이어 모델에 적용하여 각 타이어의 종 및 횡 방향의 힘을 계산하는 힘 계산부; 및 상기 계산된 각 타이어의 종 및 횡 방향의 힘을 타이어별 힘이 반영된 4휠 차량 모델(FWVM: Four Wheel Vehicle Model)에 적용하여 차량의 위치를 추정하는 위치 추정부를 포함할 수 있다.
- [0019] 상기 슬립각 계산부는 상기 획득된 차량의 상태 정보 중에서 휠 중심에서의 각속도, 타이어 및 노면의 접촉점에 대한 종 및 횡 방향 속도를 이용하여 종 방향의 슬립각을 계산하고, 상기 획득된 차량의 상태 정보 중에서 조향각, 타이어 및 노면의 접촉점에 대한 종 및 횡 방향 속도를 이용하여 횡 방향의 슬립각을 각각 계산할 수 있다.
- [0020] 상기 수직 항력 계산부는 차량의 무게중심으로부터 전륜 및 후륜까지의 길이, 좌륜 및 우륜 간의 너비, 종 및 횡 방향의 가속도를 토크 밸런스를 고려하여 타이어 및 노면의 접촉점에 대한 타이어별 수직 항력을 계산할 수 있다.
- [0021] 상기 차량 위치 추정부는 상기 획득된 차량의 GPS 위치와 4휠 차량 모델로부터 추정한 차량의 위치를 확률적으로 융합하는 확장형 칼만 필터를 기초로 하여 차량의 위치를 추정할 수 있다.
- [0022] 상기 차량 위치 추정부는 $k+1$ 번째 시스템 상태와 $k+1$ 번째 오류 공분산을 계산하는 시간 업데이트 모듈; 및 상기 획득된 차량의 상태 정보를 이용하여 k 번째 상태-추정과 k 번째 오류 공분산을 업데이트하는 측정 업데이트 모듈을 더 포함할 수 있다.
- [0023] 상기 시간 업데이트 모듈은 1차 오일러 근사화를 적용하여 차량 동역학 모델을 이산화할 수 있다.
- [0024] 상기 시간 업데이트 모듈은 비선형 시스템 모델의 자코비안으로 매트릭스 A 를 계산하고, 상기 계산된 매트릭스 A 를 이용하여 $k+1$ 번째 오류 공분산을 계산할 수 있다.
- [0025] 상기 측정 업데이트 모듈은 차량의 GPS 위치, 종 및 횡 방향의 가속도, 요 레이트가 포함되어 설정된 측정 모델을 기초로 하여, 매트릭스 H 를 자코비안으로 계산하고, 상기 계산된 매트릭스 H 로부터 칼만 이득을 계산하여 k 번째 상태-추정을 계산할 수 있다.
- [0026] 한편, 본 명세서의 제2 측면에 따르면, 차량의 상태 정보를 획득하는 단계; 차량의 GPS 위치를 측정하는 단계; 및 상기 획득된 차량의 상태 정보와 상기 측정된 차량의 GPS 위치를 타이어별 슬립각이 반영된 비선형 타이어 모델에 적용하여 차량의 위치를 추정하는 단계를 포함하는 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 방법이 제공될 수 있다.
- [0027] 상기 차량의 상태 정보를 획득하는 단계는 차량 내부에서 설치된 센서들로부터 종 및 횡 방향의 가속도, 요 레이트, 각 바퀴의 휠속도 및 조향각을 차량의 상태 정보로 획득할 수 있다.
- [0028] 상기 차량의 위치를 추정하는 단계는 상기 획득된 차량의 상태 정보를 이용하여 타이어별 종 및 횡 방향의 슬립각을 계산하는 단계; 타이어 및 노면의 접촉점에 대한 타이어별 수직 항력을 계산하는 단계; 상기 계산된 타이어별 종 및 횡 방향의 슬립각과 상기 타이어별 수직 항력을 타이어별 슬립각이 반영된 비선형 타이어 모델에 적용하여 각 타이어의 종 및 횡 방향의 힘을 계산하는 단계; 및 상기 계산된 각 타이어의 종 및 횡 방향의 힘을 타이어별 힘이 반영된 4휠 차량 모델(FWVM: Four Wheel Vehicle Model)에 적용하여 차량의 위치를 추정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0029] 상기 슬립각을 계산하는 단계는 상기 획득된 차량의 상태 정보 중에서 휠 중심에서의 각속도, 타이어 및 노면의 접촉점에 대한 종 및 횡 방향 속도를 이용하여 종 방향의 슬립각을 계산하고, 상기 획득된 차량의 상태 정보 중에서 조향각, 타이어 및 노면의 접촉점에 대한 종 및 횡 방향 속도를 이용하여 횡 방향의 슬립각을 각각 계산할 수 있다.
- [0030] 상기 수직 항력을 계산하는 단계는 차량의 무게중심으로부터 전륜 및 후륜까지의 길이, 좌륜 및 우륜 간의 너비, 종 및 횡 방향의 가속도를 토크 밸런스를 고려하여 타이어 및 노면의 접촉점에 대한 타이어별 수직 항력을 계산할 수 있다.
- [0031] 상기 차량의 위치를 추정하는 단계는 상기 획득된 차량의 GPS 위치와 4휠 차량 모델로부터 추정한 차량의 위치

를 확률적으로 융합하는 확장형 칼만 필터를 기초로 하여 차량의 위치를 추정할 수 있다.

- [0032] 상기 차량의 위치를 추정하는 단계는 $k+1$ 번째 시스템 상태와 $k+1$ 번째 오류 공분산을 계산하여 시간을 업데이트하는 단계; 및 상기 획득된 차량의 상태 정보를 이용하여 k 번째 상태-추정과 k 번째 오류 공분산을 업데이트하여 측정을 업데이트하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0033] 상기 시간을 업데이트하는 단계는 1차 오일러 근사화를 적용하여 차량 동역학 모델을 이산화할 수 있다.
- [0034] 상기 시간을 업데이트하는 단계는 비선형 시스템 모델의 자코비안으로 매트릭스 A 를 계산하고, 상기 계산된 매트릭스 A 를 이용하여 $k+1$ 번째 오류 공분산을 계산할 수 있다.
- [0035] 상기 측정을 업데이트하는 단계는 차량의 GPS 위치, 종 및 횡 방향의 가속도, 요 레이트가 포함되어 설정된 측정 모델을 기초로 하여, 매트릭스 H 를 자코비안으로 계산하고, 상기 계산된 매트릭스 H 로부터 칼만 이득을 계산하여 k 번째 상태-추정을 계산할 수 있다.

발명의 효과

- [0036] 본 명세서의 실시 예들은 차량의 상태 정보와 차량의 GPS 위치를 비선형 타이어 모델이 적용된 4휠 차량 모델(FWVM)을 적용하여 차량의 위치를 추정함으로써, 큰 슬립 각이 발생하는 고속 주행 또는 코너링 상태에서도 높은 정확도의 위치를 추정할 수 있다.
- [0037] 본 명세서의 실시 예들은 이륜차(Bicycle) 모델이 아닌 각 바퀴의 힘을 고려한 4휠 차량 모델(Four Wheel Vehicle Model)를 이용함으로써, 위치 추정의 위치 정밀도를 높일 수 있다.
- [0038] 본 명세서의 실시 예들은 타이어 및 도로의 미끄러짐(slip)이 모델링된 비선형 모델(예컨대, 더그오프(Dugoff model))을 이용함으로써, 타이어 및 도로의 미끄러짐(slip)을 정확하게 고려하여 타이어별 종 및 횡 방향의 힘을 정확하게 계산할 수 있다.
- [0039] 본 명세서의 실시 예들은 차량에 기본적으로 설치되어 있는 각종 모듈(예컨대, ABS(Anti-lock Brake System), ESC(Electronic Stability Control), EPS(Electric Power Steering))로부터 각 바퀴의 속도, 차량속도 및 가속도, 핸들 각도 등의 차량의 상태 정보들을 차량의 기본 통신망(예컨대, CAN(Controller Area Network) 버스)를 통해 획득하여 위치 추정에 이용함으로써, 추가적인 장치나 부품의 설치 없이도 차량의 위치를 정확하게 추정할 수 있다.
- [0040] 본 명세서의 실시 예들은 각종 차량의 상태 정보와 비선형 타이어 모델이 적용된 4휠 차량 모델(FWVM)을 확률적으로 융합하는 확장형 칼만 필터(EKF, Extended Kalman Filter)를 이용함으로써, 고정밀의 DGPS에 비해 위치 오차가 큰 GPS(예컨대, 위치 오차 10m)를 이용하더라도 정확하게 차량의 위치를 추정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0041] 도 1은 본 명세서의 일 실시 예에 따른 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치의 구성도이다.
- 도 2는 본 명세서의 일 실시 예에 따른 차량 위치 추정부에 적용된 4휠 차량 모델에 대한 설명도이다.
- 도 3은 본 명세서의 일 실시 예에 따른 차량 위치 추정부에 적용되는 확장 칼만 필터의 설명도이다.
- 도 4는 본 명세서의 실시 예에 따른 차량 위치 추정이 적용된 시뮬레이션을 위한 도로 환경의 설명도이다.
- 도 5는 본 명세서의 일 실시 예에 따른 종 및 횡 방향의 궤적에 대한 시뮬레이션 결과도이다.
- 도 6 내지 도 8은 본 명세서의 일 실시 예에 따른 차량의 위치 추정에 대한 시뮬레이션 결과도이다.
- 도 9 및 도 10은 본 명세서의 실시 예에 따른 추정된 종 및 횡 방향의 타이어별 슬립각들에 대한 시뮬레이션 결과도이다.
- 도 11 및 도 12는 본 명세서의 실시 예에 따른 추정된 종 및 횡 방향의 타이어별 슬립 오차들에 대한 시뮬레이션 결과도이다.
- 도 13은 본 명세서의 일 실시 예에 따른 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 방법에 대한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0042] 이하, 본 명세서의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0043] 실시 예를 설명함에 있어 본 명세서가 속하는 기술 분야에 익히 알려져 있고 본 명세서와 직접적으로 관련이 없는 기술 내용에 대해서는 설명을 생략한다. 이는 불필요한 설명을 생략함으로써 본 명세서의 요지를 흐리지 않고 더욱 명확히 전달하기 위함이다.
- [0044] 마찬가지로 이유로 첨부 도면에 있어 일부 구성요소는 과장되거나 생략되거나 개략적으로 도시되었다. 또한, 각 구성요소의 크기는 실제 크기를 전적으로 반영하는 것이 아니다. 각 도면에서 동일한 또는 대응하는 구성요소에는 동일한 참조 번호를 부여하였다.
- [0045] 도 1은 본 명세서의 일 실시 예에 따른 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치의 구성도이다.
- [0046] 도 1은 본 명세서의 일 실시 예에 따른 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치(100)는 정보 획득부(110), 위치 측정부(120) 및 차량 위치 추정부(130)를 포함한다.
- [0047] 이하, 도 1의 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 장치(100)의 각 구성요소들의 구체적인 구성 및 동작을 설명한다.
- [0048] 정보 획득부(110)는 차량의 상태 정보를 획득한다. 정보 획득부(110)는 종 및 횡 방향의 가속도, 요 레이트, 각 바퀴의 휠 속도 및 조향각을 차량의 상태 정보로 획득한다. 여기서, 정보 획득부(110)는 차량에 기본적으로 설치된 ABS(Anti-lock Brake System) 모듈, ESC(Electronic Stability Control) 모듈, EPS(Electric Power Steering) 모듈을 포함할 수 있다. 따라서, 정보 획득부(110)는 차량에 설치된 각 모듈에 포함된 휠 속도 센서, 차량 속도 센서, 가속도 센서, 요 레이트 센서, 조향각 센서들로부터 각각 휠 속도(wheel speed), 차량 속도(vehicle speed), 가속도(acceleration), 요 레이트(yaw rate) 및 조향각(steering angle)을 획득할 수 있다. 정보 획득부(110)는 차량의 부품이 전자화됨에 따라 이러한 차량에 설치된 각 센서 정보들을 CAN(controller area network) 버스를 통하여 획득할 수 있다.
- [0049] 위치 측정부(120)는 저가의 GPS 모듈을 이용하여 차량의 X 좌표 및 Y 좌표가 포함된 GPS 위치를 측정한다. 여기서, 저가의 GPS 모듈은 오차 범위가 고정밀 GPS에 비해 넓지만, 낮은 가격과 편리성 때문에 이용되는 GPS를 기반으로 하는 내비게이션 시스템이다.
- [0050] 차량 위치 추정부(130)는 정보 획득부(110)에서 획득된 차량의 상태 정보와 위치 측정부(120)에서 측정된 차량의 GPS 위치를 타이어별 슬립각이 반영된 비선형 타이어 모델에 적용하여 차량의 위치를 추정한다.
- [0051] 구체적으로 살펴보면, 차량 위치 추정부(130)는 확장 칼만 필터(EKF, Extended Kalman Filter)를 기반으로 4휠 차량 모델(FWVM)과 더그오프(dugoff)의 비선형 타이어 모델을 이용하여 차량의 위치를 추정한다. 여기서, 4휠 차량 모델(FWVM)과 더그오프(dugoff)의 비선형 타이어 모델은 모듈 단위로 이루어지기 때문에, 다양한 차량의 상태 정보를 이용한 위치 추정 방식에 적용될 수 있다. 또한, 저가의 MCU(micro-controller unit)에 기능별로 설계할 수 있는 장점이 있다.
- [0052] 차량 위치 추정부(130)는 휠별 힘(Force)을 반영한 4휠 차량 모델(FWVM, Four Wheel Vehicle Model)을 이용하여 차량의 위치를 추정한다. 또한, 차량 위치 추정부(130)는 비선형성이 강한 타이어별 슬립각(Slip angle)을 반영한 타이어 모델(Tire model)을 이용하여 차량의 위치를 추정한다. 4휠 차량 모델(FWVM)에 따른 위치 추정 방법은 높은 성능을 발휘할 수 있다.
- [0053] 일례로, 차량 위치 추정부(130)는 도 1에 도시된 바와 같이, 슬립각 계산부(131), 수직 항력 계산부(132), 힘 계산부(133) 및 위치 추정부(134)를 포함할 수 있다.
- [0054] 이하, 도 1에 도시된 차량 위치 추정부(130)의 각 구성요소들의 구체적인 구성 및 동작을 설명한다.
- [0055] 슬립각 계산부(131)는 정보 획득부(110)에서 획득된 차량의 상태 정보를 이용하여 타이어별 종 및 횡 방향의 슬립각을 계산한다.
- [0056] 구체적으로 살펴보면, 슬립각 계산부(131)는 하기의 [수학식 1]과 같이 타이어별 종 및 횡 방향의 슬립각을 계산할 수 있다. 슬립각 계산부(131)는 휠 중심에서의 각속도, 타이어 및 노면의 접촉점에 대한 종 및 횡 방향 속도를 이용하여 종 방향의 슬립각을 계산할 수 있다. 또한, 슬립각 계산부(131)는 조향각, 타이어 및 노면의 접촉점에 대한 종 및 횡 방향 속도를 이용하여 횡 방향의 슬립각을 각각 계산할 수 있다.
- [0057] 여기서, 종 방향의 슬립각 및 횡 방향의 사이드 슬립각(longitudinal slip and sideslip angle)은 하기의 [수

학식 1]과 같이 계산될 수 있다.

수학식 1

$$\begin{cases} \sigma_i = \frac{Rv_{w_i} - v_{x_i}}{\max(Rv_{w_i}, v_{x_i})} \\ \alpha_i = \delta - A \tan 2(v_{y_i}, v_{x_i}) \end{cases}$$

[0059]

[0060] 여기서, σ_i , α_i 는 각 타이어의 종 및 횡 방향의 종 방향의 슬립각 및 횡 방향의 사이드 슬립각, R 은 타이어의 반지름, v_{x_i} , v_{y_i} 는 각각 타이어 및 도로의 접촉점(tire/road contact point)의 종 및 횡 방향(longitudinal, lateral)의 속도, v_{w_i} 는 각 휠 중심에서의 각속도, δ 는 조향각, $A \tan 2(v_{y_i}, v_{x_i})$ 는 차량 CG에서의 종 및 횡방향 속도를 이용하여 슬립각을 계산하는 것으로 atan2는 tan의 역함수를 나타낸다.

[0061] 수직 항력 계산부(132)는 타이어 및 노면의 접촉점에 대한 타이어별 수직 항력을 계산한다. 수직 항력 계산부(132)는 차량의 무게중심으로부터 전륜 및 후륜까지의 길이, 좌륜 및 우륜 간의 너비, 종 및 횡 방향의 가속도를 토크 밸런스를 고려하여 타이어 및 노면의 접촉점에 대한 타이어별 수직 항력을 하기의 [수학식 2]와 같이 계산한다.

수학식 2

$$\begin{cases} F_{z_1} = m \left(\frac{l_r g - h a_x}{l_f + l_r} \right) \left(\frac{1}{2} - \frac{h a_y}{b g} \right) \\ F_{z_2} = m \left(\frac{l_r g - h a_x}{l_f + l_r} \right) \left(\frac{1}{2} + \frac{h a_y}{b g} \right) \\ F_{z_3} = m \left(\frac{l_r g + h a_x}{l_f + l_r} \right) \left(\frac{1}{2} - \frac{h a_y}{b g} \right) \\ F_{z_4} = m \left(\frac{l_r g + h a_x}{l_f + l_r} \right) \left(\frac{1}{2} + \frac{h a_y}{b g} \right) \end{cases}$$

[0063]

[0064] 여기서, F_{z_i} 는 각 타이어 및 도로의 접촉점의 수직 항력(Normal forces), a_x , a_y 는 종 및 횡 방향의 가속도, l_f 는 CG로부터 전방 휠까지의 길이, l_r 는 CG로부터 후방 휠까지의 길이, b 는 좌측 및 우측 휠 간의

너비, g 는 중력 가속도(9.8m/s^2), h 는 지면에서 차량의 CG까지의 높이를 나타낸다.

[0065] 차량의 롤(roll), 피치(pitch)와 서스펜션 동역학(suspension dynamics)의 효과가 없다고 한다면, 차량의 CG에 서의 수직 항력(F_z)은 CG에서의 종 및 횡 방향의 가속도(a_x, a_y)에 의해 결정되고, 수직 항력(F_z)은 각 타이어의 수직 항력(normal force)의 합과 같게 된다. 따라서 각 타이어의 수직 항력은 토크 밸런스(Torque balance)에 의해 상기의 [수학식 2]와 같이 계산될 수 있다.

[0066] 힘 계산부(133)는 슬립각 계산부(131)에서 계산된 타이어별 종 및 횡 방향의 슬립각과 수직 항력 계산부(132)에서 계산된 타이어별 수직 항력을 이용하여 각 타이어의 종 및 횡 방향의 힘을 계산한다.

[0067] 힘 계산부(133)는 각 타이어의 종 및 횡 방향 힘을 계산하기 위해서 타이어 모델을 이용한다. 타이어는 비선형성이 매우 강하다. 그렇기 때문에, 본 명세서의 실시 예에 따른 위치 추정부(134)는 준-적정 타이어 모델(Quasi-static tire model)들 중에서 적은 수의 파라미터(parameter)만으로도 실험 결과와 유사한 성능을 보여주는 더그오프의 타이어 모델(dugoff tire model)을 이용한다. 힘 계산부(133)는 더그오프의 타이어 모델을 통한 각 타이어의 종 및 횡 방향에 대한 힘을 하기의 [수학식 3]과 같이 계산할 수 있다.

수학식 3

$$\begin{cases} F_{x_i} = C_\sigma \frac{\sigma_i}{1-\sigma_i} f(\lambda_i) \\ F_{y_i} = C_\alpha \frac{\tan \alpha_i}{1-\sigma_i} f(\lambda_i) \end{cases}$$

[0069]

[0070] 여기서, C_σ 는 타이어의 종 방향의 강성(longitudinal stiffness), C_α 는 타이어의 코너링의 강성(cornering stiffness), σ_i, α_i 는 각 타이어의 종 및 횡 방향의 종 방향의 슬립각 및 횡 방향의 사이드 슬립각을 나타낸다. 또한, $f(\lambda_i)$ 는 미끄러짐에 따라 그 영역을 구분하는 인자(Sliding Boundary Point)로 λ_i 에 따라 $f(\lambda_i)$ 가 결정되며, 각각 하기의 [수학식 4] 및 [수학식 5]와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 4

$$f(\lambda_i) = \begin{cases} (2-\lambda_i) & \text{if } \lambda_i < 1 \\ 1 & \text{if } \lambda_i \geq 1 \end{cases}$$

[0072]

수학식 5

$$\lambda_i = \frac{(1-\sigma_i)\mu F_{z_i}}{2\sqrt{C_\sigma^2 \sigma_i^2 + C_\alpha^2 \tan^2 \alpha_i}}$$

[0074]

[0075] 여기서, F_{z_i} 는 i번째 각 타이어 및 도로의 접촉점의 수직 항력(Normal forces), 여기서, C_σ 는 타이어의 종 방향의 강성(longitudinal stiffness), C_α 는 타이어의 코너링의 강성(cornering stiffness), σ_i, α_i 는 각 타이어의 종 및 횡 방향의 종 방향의 슬립각 및 횡 방향의 사이드 슬립각, μ 는 타이어와 도로간 접촉면의 마찰 계수(tire/road friction coefficient)를 나타낸다.

[0076] 한편, 위치 추정부(134)는 힘 계산부(133)에서 계산된 각 타이어의 종 및 횡 방향의 타이어별 힘이 반영된 4휠 차량 모델(FWVM: Four Wheel Vehicle Model)에 적용하여 차량의 위치를 추정한다.

[0077] 도 2는 본 명세서의 일 실시 예에 따른 차량 위치 추정부(130)에 적용된 4휠 차량 모델에 대한 설명도이다.

[0078] 본 명세서의 일 실시 예에 따른 차량 위치 추정부(130)는 각 타이어의 슬립과 힘을 고려하기 위해, 도 2에 도시된 동역학 모델(Dynamic model)을 이용하여 차량의 위치를 추정한다. 도 2에 도시된 동역학 모델(Dynamic model)로부터 타이어별 힘은 하기의 [수학식 6]과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 6

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^4 F_{x_i} = ma_x = m(\dot{v}_x - \dot{\phi}v_y) \\ \sum_{i=1}^4 F_{y_i} = ma_y = m(\dot{v}_y + \dot{\phi}v_x) \\ \sum_{i=1}^4 M_{z_i} = I_z \ddot{\phi} \end{cases}$$

[0080]

[0081] 여기서, F_{x_i}, F_{y_i} 는 각 휠의 종 및 횡 방향의 힘, m 은 차량의 무게 중심점(CG, Center of Gravity)에서의 질량, $\dot{\phi}$ 는 무게 중심점에서의 요 레이트, v_x, v_y 는 각각 차량의 CG에서의 종 및 횡 방향 속도, a_x, a_y 는 차량의 CG에서의 종 및 횡 방향 가속도, M_{z_i} 은 CG에서 Z축 방향의 모멘트(moment), I_z 는 CG에서의 관성모멘트 상수를, $\ddot{\phi}$ 는 CG에서의 요 가속도를 나타낸다.

[0082] 여기서, 각 타이어의 힘들의 합은 하기의 [수학식 7]과 같이 계산될 수 있다.

수학식 7

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^4 F_{x_i} = (F_{x_1} + F_{x_2})\cos\delta - (F_{y_1} + F_{y_2})\sin\delta + F_{x_3} + F_{x_4} \\ \sum_{i=1}^4 F_{y_i} = (F_{x_1} + F_{x_2})\sin\delta + (F_{y_1} + F_{y_2})\cos\delta + F_{y_3} + F_{y_4} \\ \sum_{i=1}^4 M_{z_i} = l_f \{ (F_{x_1} + F_{x_2})\sin\delta + (F_{y_1} + F_{y_2})\cos\delta \} - l_r (F_{y_3} + F_{y_4}) \\ \quad + \frac{b}{2} \{ (F_{y_1} - F_{y_2})\sin\delta - (F_{x_1} - F_{x_2})\cos\delta \} + \frac{b}{2} (F_{y_3} - F_{y_4}) \end{cases}$$

[0084]

[0085] 여기서, F_{x_i} , F_{y_i} 는 각 휠의 종 및 횡 방향의 힘, 조향각으로 좌측 및 우측 모두 동일하다고 가정한다. l_f 는 CG로부터 전방 휠까지의 길이, l_r 는 CG로부터 후방 휠까지의 길이, b 는 좌측 및 우측 휠 간의 너비, δ 는 조향각을 나타낸다.

[0086] 도 3은 본 명세서의 일 실시 예에 따른 차량 위치 추정부(130)에 적용되는 확장 칼만 필터의 설명도이다.

[0087] 차량 위치 추정부(130)에 적용되는 확장 칼만 필터(EKF, Extended Kalman Filter)는 베이시안(Bayesian) 필터를 기반으로 다양한 차량의 상태 정보를 융합할 수 있다. 여기서, 확장 칼만 필터는 비선형 시스템에서도 특별한 선형화 작업 없이 바로 적용할 수 있다.

[0088] 도 3에 도시된 바와 같이, 확장 칼만 필터는 크게 시간 업데이트(Time Update) 모듈과 측정 업데이트(Measurement Update) 모듈로 구분된다.

[0089] 시간 업데이트(Time Update) 모듈부터 살펴보면, 시간 업데이트 모듈은 k+1번째의 시스템 상태(system state ahead)($\hat{x}_{k+1}^-$)와 k+1번째의 오류 공분산(error covariance ahead)(P_{k+1}^-)을 계산한다. 여기서, k+1번째의 시스템 상태($\hat{x}_{k+1}^-$)와 k+1번째의 오류 공분산(P_{k+1}^-)는 시간 스텝(time step) k마다 계산되는 이산 시스템을 나타낸다. 따라서, 상기의 [수학식 6 및 7]과 같이 나타난 동역학 모델(dynamic model)이 실시간으로 동작하기 위해서는 이산-시간 시스템(discrete-time system) 모델로 변환되어야 한다. 시간 업데이트 모듈은 하기의 [수학식 8]과 같이, 1차 오일러 근사화(first-order Euler approximation)를 적용하여 차량의 동역학 모델에 대한 수학적(Vehicle dynamic model equation)들을 이산화할 수 있다.

수학식 8

$$x_k \approx x_{k-1} + \dot{x} \cdot \Delta t$$

[0091]

[0092] 여기서, x_k 는 k번째 상태공간벡터(State Space Vector), x_{k-1} 는 k-1번째 상태공간벡터, $\dot{x}$ 는 상태공간벡터의 미분치, Δt 는 시스템의 샘플링 구간(sampling period)을 나타낸다.

[0093] 따라서, 연속 차량 모델(continuous vehicle model)을 오일러 근사화(Euler approximation) 방법을 이용하여 이산 차량 모델(discrete vehicle model)로 근사화하면 하기의 [수학식 9]와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 9

$$f(x_{k-1}) = \begin{bmatrix} \hat{x} + \dot{x} \cdot \Delta t \\ \hat{v}_x + \dot{v}_x \cdot \Delta t \\ \hat{y} + \dot{y} \cdot \Delta t \\ \hat{v}_y + \dot{v}_y \cdot \Delta t \\ \hat{\phi} + \dot{\phi} \cdot \Delta t \\ \hat{\phi} + \ddot{\phi} \cdot \Delta t \end{bmatrix}_{k-1} = \begin{bmatrix} \hat{x} + (v_x \cos \varphi - v_y \sin \varphi) \cdot \Delta t \\ \hat{v}_x + \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^4 F_{x_i} + \dot{\phi} v_y \right) \cdot \Delta t \\ \hat{y} + (v_x \sin \varphi + v_y \cos \varphi) \cdot \Delta t \\ \hat{v}_y + \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^4 F_{y_i} - \dot{\phi} v_x \right) \cdot \Delta t \\ \hat{\phi} + \dot{\phi} \cdot \Delta t \\ \hat{\phi} + \left(\frac{1}{I_z} \sum_{i=1}^4 M_{z_i} \right) \cdot \Delta t \end{bmatrix}_{k-1}$$

[0095]

[0096]

여기서, F_{x_i} , F_{y_i} 는 각 휠의 종 및 횡 방향의 힘, m 은 차량의 무게 중심점(CG, Center of Gravity)에서의 질량, $\dot{\phi}$ 는 무게 중심점에서의 요 레이트, v_x , v_y 는 각각 차량의 CG에서의 종 및 횡 방향 속도, M_{z_i} 은 CG에서 Z축 방향의 모멘트(moment), I_z 는 CG에서 Z축 방향의 관성모멘트(moment of inertia), $\ddot{\phi}$ 는 CG에서의 요 가속도, $\dot{x}$ 는 x축 방향의 차량위치의 미분치, $\dot{v}_x$ 는 x축 방향의 차량속도의 미분치, $\dot{y}$ 는 y축 방향의 차량위치의 미분치, $\dot{v}_y$ 는 y축 방향의 차량속도의 미분치, $\hat{x}$ 는 x축 방향의 추정된 차량위치, $\hat{v}_x$ 는 x축 방향의 추정된 차량속도, $\hat{y}$ 는 y축 방향의 추정된 차량위치, $\hat{v}_y$ 는 y축 방향의 추정된 차량속도, $\hat{\phi}$ 는 추정된 요 각도, $\dot{\phi}$ 는 추정된 요레이트, Δt 는 시스템의 샘플링 구간(sampling period)을 나타낸다.

[0097]

그리고 이산 상태 벡터(discrete state vector)로 표현한 시스템 모델(x_k)은 하기의 [수학식 10]과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 10

$$x_k = \begin{bmatrix} x & v_x & y & v_y & \varphi & \dot{\phi} \end{bmatrix}_k^T$$

[0099]

[0100]

여기서, x , y 는 각각 차량 CG의 종 및 횡 방향 위치, v_x , v_y 는 각각 차량 CG의 종 및 횡 방향 속도, φ 는 차량 CG의 요 각도, $\dot{\phi}$ 는 차량 CG의 요 레이트를 나타낸다.

[0101]

k+1번째 오류 공분산(error covariance ahead)(P_{k+1}^-)를 구하기 위해서는 매트릭스 A(matrix A)가 필요하다. 매트릭스 A는 비선형 시스템 모델의 자코비안(Jacobian)으로 하기의 [수학식 11]과 같이 계산될 수 있다.

수학식 11

$$A = \frac{\partial f}{\partial x} \Big|_{x=x_k} = \begin{bmatrix} 0 & \cos \varphi & 0 & -\sin \varphi & -v_x \sin \varphi - v_y \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dot{\varphi} & 0 & v_y \\ 0 & \sin \varphi & 0 & \cos \varphi & v_x \cos \varphi - v_y \sin \varphi & 0 \\ 0 & -\dot{\varphi} & 0 & 0 & 0 & -v_x \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

[0103]

[0104] 여기서, A 는 비선형 시스템 모델의 자코비안(Jacobian), v_x, v_y 는 각각 차량의 CG에서의 종 및 횡 방향 속도, φ 는 차량 CG의 요 각도(진행방향), $\dot{\varphi}$ 는 차량 CG의 요 레이트를 나타낸다.

[0105] 한편, 측정 업데이트 모듈에 대해서 살펴보기로 한다.

[0106] 차량 위치 추정부(130)의 측정 업데이트 모듈은 센서 데이터(sensor data)를 이용하여 상태-추정(state-estimate)($\hat{x}_k$)과 오류 공분산(error covariance)(P_k)을 업데이트한다. 측정 벡터(measurement vector)(z_k)는 하기의 [수학식 12]와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 12

$$z_k = [X \quad Y \quad a_x \quad a_y \quad \dot{\varphi}]^T$$

[0108]

[0109] 여기서, X, Y 는 GPS로부터 차량의 종 및 횡방향 GPS 위치, a_x, a_y 는 ESC로부터 획득된 종 및 횡 방향의 가속도, $\dot{\varphi}$ 는 ESC로부터 요 레이트를 나타낸다. 측정 업데이트 모듈에 적용되는 측정 모델(measurement model)($h(x_k)$)은 하기의 [수학식 13]과 같이 설정될 수 있다.

수학식 13

$$h(x_k) = \left[X \quad Y \quad \frac{1}{m} \sum_{i=1}^4 F_{x_i} \quad \frac{1}{m} \sum_{i=1}^4 F_{y_i} \quad \dot{\varphi} \right]^T$$

[0111]

[0112] 여기서, $h(x_k)$ 는 측정 모델(measurement model), X, Y 는 GPS로부터 차량의 GPS 위치, F_{x_i}, F_{y_i} 는 각 휠의 종 및 횡 방향의 힘, $\dot{\varphi}$ 는 ESC로부터 획득된 요 레이트를 나타낸다.

[0113] 측정 업데이트 모듈은 칼만 이득(Kalman gain)(K_k)을 계산하고, 그 계산된 칼만 이득을 통해 상태-추정(State-estimate)($\hat{x}_k$)를 계산할 수 있다.

[0114] 칼만 이득(Kalman gain)을 계산하기 위해서는 매트릭스 H (matrix H)가 필요하다. H 는 측정 모델의 자코비안(Jacobian)으로 하기의 [수학식 14]와 같다.

수학식 14

$$H = \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x=x_k} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0116]

[0117] 여기서, 측정모델 $h(x_k)$ 를 시스템 모델 x_k 로 편미분한 매트릭스를 나타낸다.

[0118] 도 4는 본 명세서의 실시 예에 따른 차량 위치 추정이 적용된 시뮬레이션을 위한 도로 환경의 설명도이다.

[0119] 본 명세서의 실시 예에 따른 차량의 위치 추정 방법은 몬테 카를로(Monte Carlo) 시뮬레이션을 통해 분석한다. 몬테 카를로 시뮬레이션은 상용 프로그램인 "ASM(Automotive Simulation Models)"을 이용한다. "ASM"은 24 자유도의 멀티-바디 시스템(multi-body system)으로 구성되어 있는 차량의 동력학적 모델이다. 시뮬레이션 차량의 파라미터는 하기의 [표 1]과 같이 설정한다. 차량에 부착된 센서의 파라미터 및 노이즈는 하기의 [표 2]와 같이 설정한다. 각 센서들의 노이즈(noise)는 가우시안 화이트 노이즈(Gaussian white noise)로 가정한다. 또한, 위치추정 알고리즘이 수행되는 샘플 레이트(sample rate)는 50Hz로 설정한다.

[0120] 시뮬레이션 시나리오는 "ASM"의 도로 모델 중, 3000m의 핸들링 트랙(Handling Track)에서 실시한다.

[0121] 차량이 트랙을 주행할 때, 큰 슬립각 및 비율(large slip angle and ratios)를 발생시키기 위해서 차량의 종 및 횡 방향의 가속도(longitudinal과 lateral acceleration)를 최대 5m/s²가 되도록 설정한다. 또한, 차량이 코스 이탈이 되지 않도록 차량의 최고 속도는 80km/h로 제한된다.

표 1

Vehicle parameter	Value	Unit
Vehicle mass, m	1418	kg
Yaw moment of inertia, I_z	1850	Kgm ²
Distance from CG. to front wheel, l_f	1.064	m
Distance from C.G. to rear wheel, l_r	1.596	m
Track width, b	1.49	m
Longitudinal stiffness of each tire, C_σ	63000	N
Cornering stiffness of each tire, C_a	50000	N/rad

[0123]

[0124] 상기의 [표 1]에 표시된 바와 같이, 차량 파라미터(Vehicle parameter)는 차량 질량(Vehicle), 요 모멘트(Yaw moment of inertia), 무게 중심점으로부터 전륜까지의 거리(Distance from CG. to front wheel), 무게 중심점으로부터 후륜까지의 거리(Distance from CG. to rear wheel), 트랙 넓이(Track width), 각 타이어의 종 방향의 강성(Longitudinal stiffness of each tire), 각 타이어의 코너링 방향의 강성(Cornering stiffness of

each tire)을 포함한다.

표 2

Sensor	Noise	Unit
Wheel speed sensor	0.1	rad/s
Acceleration sensor	1.0	m/s ²
Gyro sensor	0.1	rad/s
GPS sensor	10	m

[0126]

[0127] 상기의 [표 2]에 표시된 바와 같이, 휠 속도 센서(Wheel speed sensor), 가속도 센서(Acceleration sensor), 자이로 센서(Gyro sensor), GPS 센서(GPS sensor)는 각각 0.1rad/s, 1.0m/s², 0.1rad/s, 10m의 노이즈를 포함하고 있다.

[0128] 도 5는 본 명세서의 일 실시 예에 따른 종 및 횡 방향의 궤적에 대한 시뮬레이션 결과도이다.

[0129] 도 5에 도시된 바와 같이, 본 명세서의 실시 예에 따른 차량의 위치 추정 장치(100)는 큰 슬립각 및 비율이 발생하도록 핸들링 트랙에서 시뮬레이션을 실시한다. GPS 신호는 레퍼런스(reference) 신호 주위에 분포하는 것을 볼 수 있다. 본 명세서의 실시 예에 따른 위치 추정 장치(100)에서 추정된 차량의 위치는 레퍼런스 신호와 유사함을 알 수 있다.

[0130] 도 6 내지 도 8은 본 명세서의 일 실시 예에 따른 차량의 위치 추정에 대한 시뮬레이션 결과도이다.

[0131] 추정된 각 차량 상태(Estimated the vehicle state) 및 추정된 차량의 상태 오류(Estimated the vehicle state error)에 대한 시뮬레이션 결과는 도 6 및 도 7에 도시된 바와 같다.

[0132] 도 6의 (a), (b)에 도시된 바와 같이, 종 및 횡 방향 위치(Longitudinal position, Lateral position)는 레퍼런스 신호를 잘 추정하는 것을 알 수 있다.

[0133] 도 7의 (a), (b)에 도시된 바와 같이, 종 및 횡 방향의 위치 오차((Longitudinal position error, Lateral position error)는 약 1m 내외로 발생하는 것을 알 수 있다.

[0134] 도 6의 (c), (d)에 도시된 바와 같이, 종 및 횡 방향의 속도(Longitudinal velocity, Lateral velocity)도 또한 레퍼런스 신호를 잘 추정하는 것을 알 수 있다.

[0135] 도 7의 (c), (d)에 도시된 바와 같이, 종 및 횡 방향의 위치 오차(Longitudinal velocity error, Lateral velocity error)는 약 1m/s 내외임을 알 수 있다.

[0136] 도 6의 (e), (f)에 도시된 바와 같이, 요 및 요 레이트(Yaw, Yaw rate)는 레퍼런스 신호를 유사하게 추정하고 있는 것을 알 수 있다.

[0137] 도 7의 (e), (f)에 도시된 바와 같이, 요 및 요 레이트(Yaw, Yaw rate)는 약 20deg/s 내외의 노이즈를 갖고 있는 것을 알 수 있다.

[0138] 하지만, 도 8의 (a), (b)에 도시된 바와 같이, 추정된 요(Estimated yaw)는 22s까지 최대 -30deg의 오차가 발생하는 것을 볼 수 있다. 그러나 2초 이후부터는 약 5deg 이내로 수렴하는 것을 볼 수 있다. 초기에 요 에러(yaw error)가 크게 발생하는 이유는 단순히 요 레이트($\dot{\phi}$)를 1차 오일러 근사화로 적분하는 모델이기 때문이다. 1차 오일러 근사화(first-order Euler approximation)으로 적분하는 모델이기 때문이다.

[0139] 도 9 및 도 10은 본 명세서의 실시 예에 따른 추정된 종 및 횡 방향의 타이어별 슬립각들에 대한 시뮬레이션 결과도이다.

[0140] 도 9의 (a), (b)와 도 10의 (a), (b)에 도시된 바와 같이, 전방 타이어(Front tire)의 종 방향의 슬립각(longitudinal slip angle)과 횡 방향의 슬립각(lateral slip angle)은 5deg의 범위에서 발생하는 것을 확인할

수 있다.

- [0141] 한편, 도 9의 (c), (d)에 도시된 바와 같이, 후방 타이어(rear tire)의 종 방향의 슬립은 최대 50deg가 발생한다.
- [0142] 또한, 도 10의 (c), (d)에 도시된 바와 같이, 후방 슬립(lateral slip)은 10deg의 범위에서 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과를 통해 차량이 급격하게 주행하고 있음을 확인할 수 있다.
- [0143] 도 11 및 도 12는 본 명세서의 실시 예에 따른 추정된 종 및 횡 방향의 타이어별 슬립 오차들에 대한 시뮬레이션 결과도이다.
- [0144] 도 11의 (a), (b), (c), (d)와 도 12의 (a), (b), (c), (d)에 도시된 바와 같이, 추정된 종 및 횡 방향의 타이어별 슬립 오차들은 시뮬레이션 결과에 따르면 종 및 횡 방향 모두 4deg 정도의 슬립 각(slip angle) 오차들이 있다.
- [0145] 하지만, 차량이 정지하고 있는 경우 각 타이어(tire)의 슬립각(slip angle)이 증가하는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 타이어의 슬립각(tire slip angle)을 추정하는 모델이 갖고 있는 한계 때문이다. 즉, 타이어의 슬립각을 추정하는 모델은 상기의 [수학식 1]과 같이 나타낼 수 있다.
- [0146] 상기의 [수학식 1]은 타이어 및 도로의 접촉점의 속도를 나누어 계산한다. 따라서 타이어 및 도로의 접촉점의 속도가 0이 되면 발산하게 된다. 본 명세서에서는 이와 같은 수적 불안정(numeric instability) 문제를 해결하기 위해 타이어 및 도로의 접촉점의 속도가 0이 되지 않도록 엡실론(ϵ)을 더해주었다. 여기서, 엡실론(ϵ)은 시스템에 영향을 주지 않는 범위 내에서, 시뮬레이션을 통해 구한 것이다.
- [0147] 도 13은 본 명세서의 일 실시 예에 따른 비선형 타이어 모델을 이용한 차량의 위치 추정 방법에 대한 흐름도이다.
- [0148] 차량의 위치 추정 장치(100)에서의 정보 획득부(110)는 차량의 상태 정보를 획득한다(S1302). 또한, 차량의 위치 추정 장치(100)에서의 위치 측정정부는 차량의 GPS 위치를 측정한다.
- [0149] 그리고 위치 추정 장치(100)에서의 차량 위치 추정부(130)는 정보 획득부(110)에서 획득된 차량의 상태 정보와 GPS 위치를 이용하여 각 바퀴별 종/횡 방향의 슬립각을 계산한다(S1304).
- [0150] 또한, 위치 추정 장치(100)에서의 차량 위치 추정부(130)는 정보 획득부(110)에서 획득된 차량의 상태 정보와 GPS 위치를 이용하여 각 바퀴별 수직항력을 계산한다(S1306).
- [0151] 이후, 차량 위치 추정부(130)는 계산된 각 바퀴별 종/횡 방향의 슬립각과 각 바퀴별 수직항력으로부터 비선형 타이어 모델을 이용하여 각 타이어의 종/횡 방향 힘을 계산한다(S1308).
- [0152] 차량 위치 추정부(130)는 확장 칼만 필터를 이용하여 차량의 위치를 추정한다(S1310).
- [0153] 한편, 도 1 내지 도 3에 설명한 바와 같이, 본 명세서의 실시 예에 따른 차량의 위치 추정 장치(100)는 ADAS가 안정적으로 구동되기 위해서 필요한 차량의 위치 추정 방법에 따라 차량의 위치를 추정한다. 차량의 위치 추정 장치(100)는 끊임 없이 높은 정밀도의 위치를 추정하기 위해서 고가의 센서를 사용하는 것이 아닌, 차량에 부착된 센서정보와 저가의 GPS 센서를 이용하여 위치를 추정한다. 또한, 차량 동역학 모델인 FWVM과 높은 비선형적인 특징을 갖는 타이어를 적은 수의 파라미터로 모델링한 더그오프 타이어 모델(Dugoff tire model)을 기반으로 확장형 칼만 필터(EKF) 알고리즘에 적용하였다.
- [0154] 도 4 내지 도 12에 설명한 바와 같이, 상용 시뮬레이션인 ASM을 이용하여 제안한 알고리즘의 성능을 평가하였다. 그 결과 종 및 횡 방향 위치는 1m 내외의 오차로 추정하는 것을 확인하였다. 종 및 횡 방향 속도 또한 1m/s 내외의 오차로 추정하는 것을 확인할 수 있었다.
- [0155] 시뮬레이션 결과를 살펴보면, 요(Yaw)는 주행 초반 위치 오차가 최대 -30deg로 발생하였지만, 시간이 지남에 따라 5deg 내외의 오차로 추정하는 것을 확인할 수 있다. 요 레이트(yaw rate)는 20deg/s의 오차로 추정하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 종 및 횡 방향의 타이어 슬립각(tire slip angle)도 각각 6deg와 4deg 범위의 오차로 추정하는 것을 확인할 수 있다.
- [0156] 본 명세서의 실시 예에 따른 차량의 위치 추정 장치(100)는 비선형 차량 모델을 적용하여 차량의 위치 정확도를 높일 수 있다.

[0157] 본 명세서가 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 명세서가 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시 예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 본 명세서의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구의 범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구의 범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 명세서의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

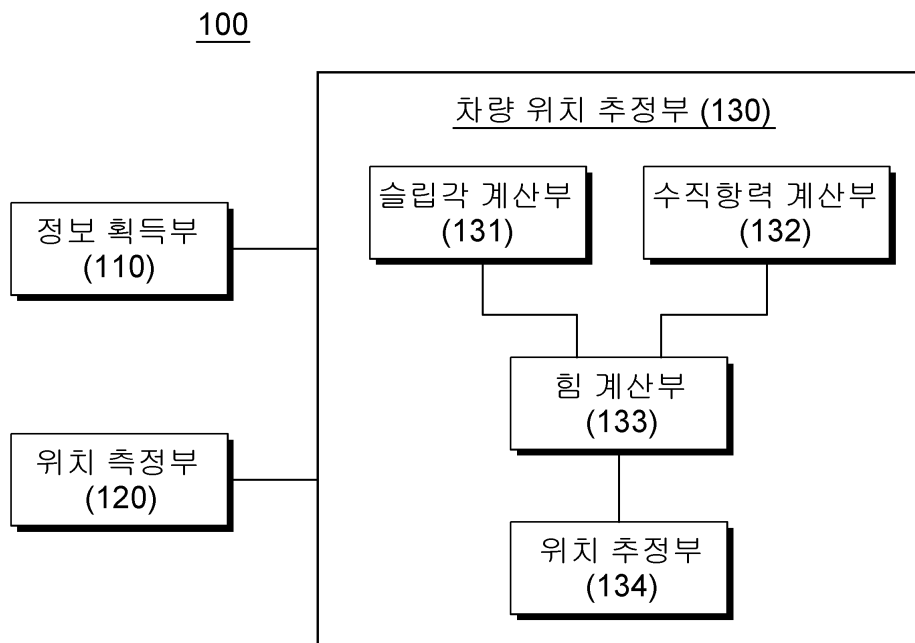
[0158] 한편, 본 명세서와 도면에는 본 명세서의 바람직한 실시 예에 대하여 개시하였으며, 비록 특정 용어들이 사용되었으나, 이는 단지 본 명세서의 기술 내용을 쉽게 설명하고 발명의 이해를 돕기 위한 일반적인 의미에서 사용된 것이지, 본 명세서의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다. 여기에 개시된 실시 예 외에도 본 명세서의 기술적 사상에 바탕을 둔 다른 변형 예들이 실시 가능하다는 것은 본 명세서가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것이다.

부호의 설명

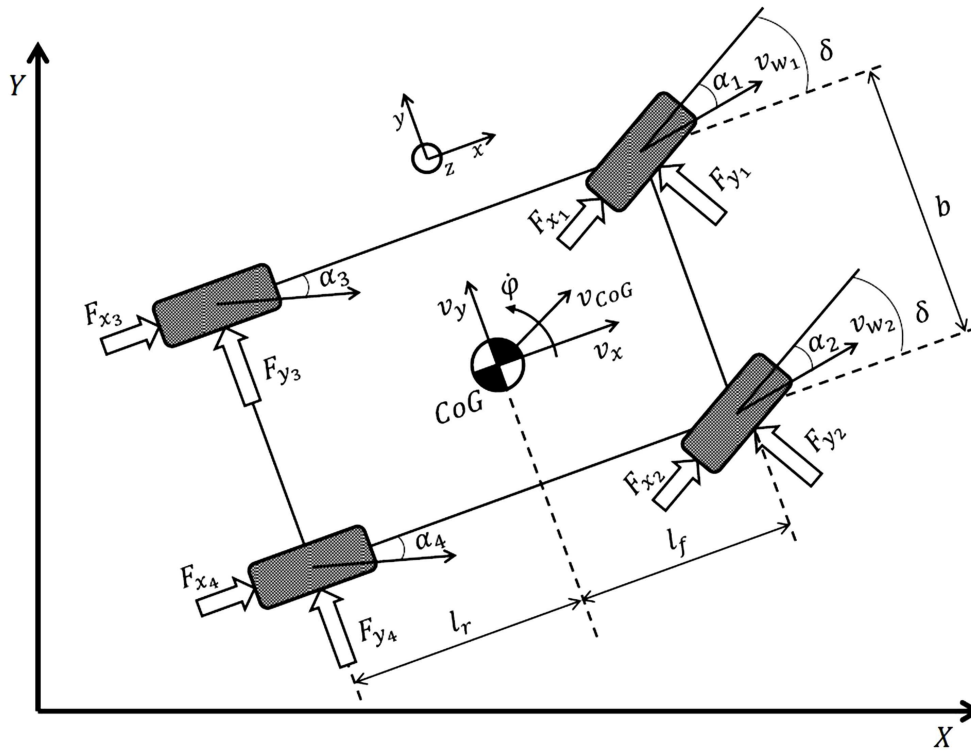
- [0159]
- 100: 위치 추정 장치
 - 110: 정보 획득부
 - 120: 위치 측정부
 - 130: 차량 위치 추정부
 - 131: 슬립각 계산부
 - 132: 수직 항력 계산부
 - 133: 힘 계산부
 - 134: 위치 추정부

도면

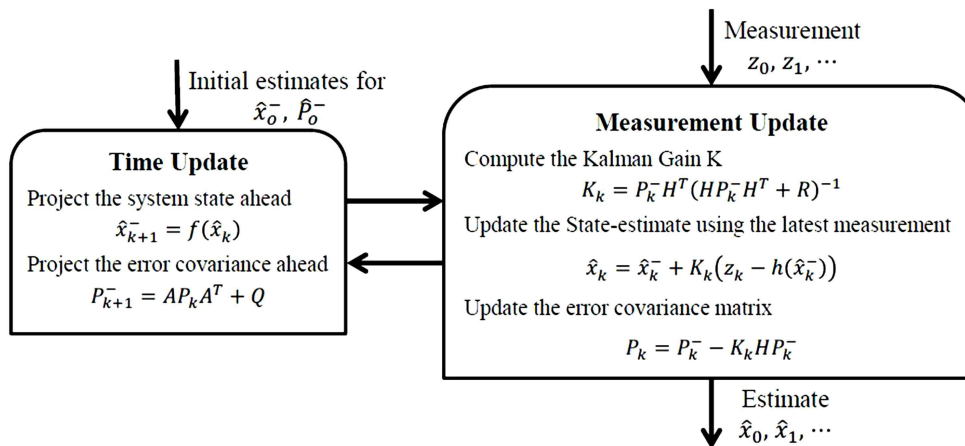
도면1



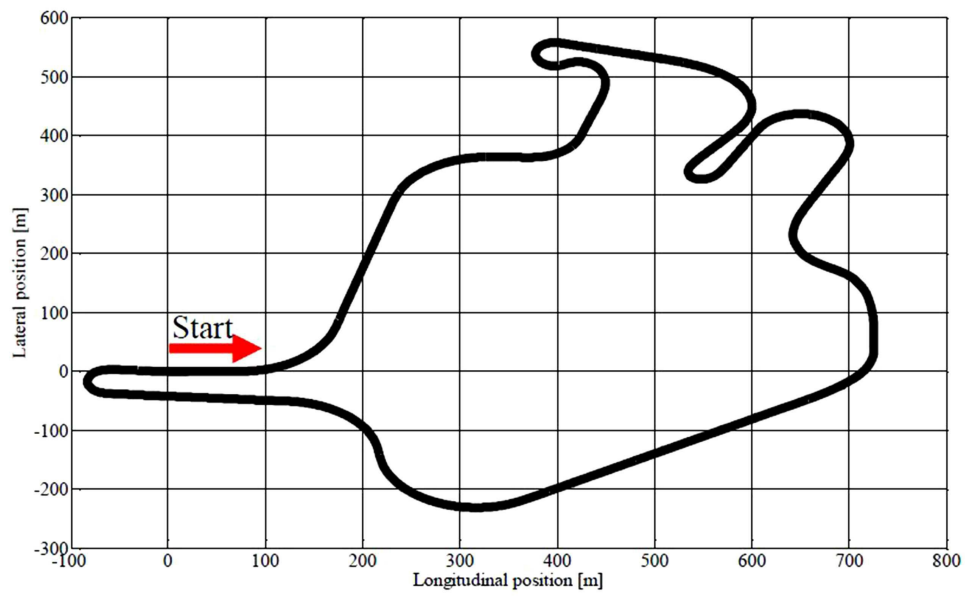
도면2



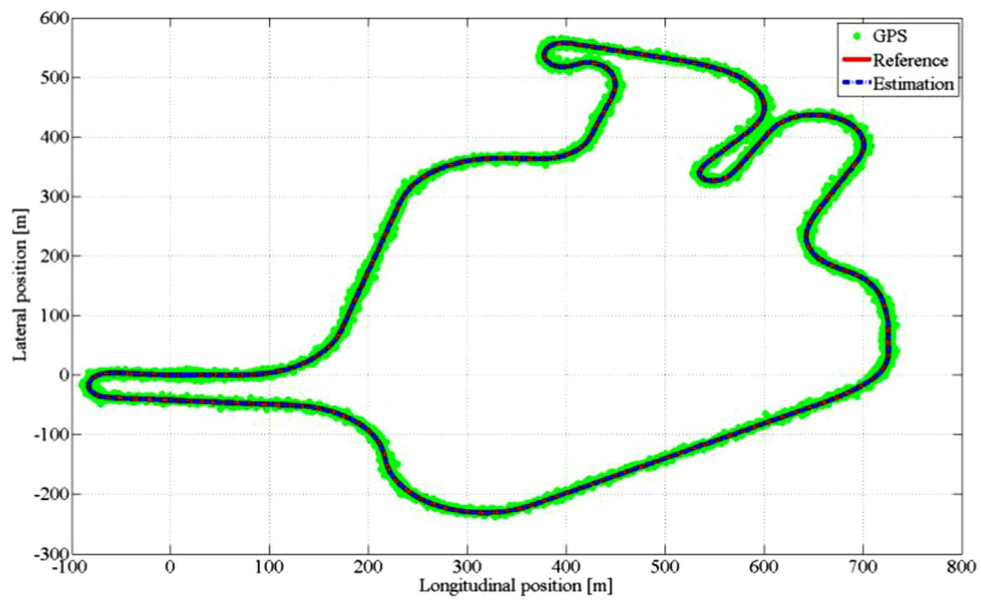
도면3



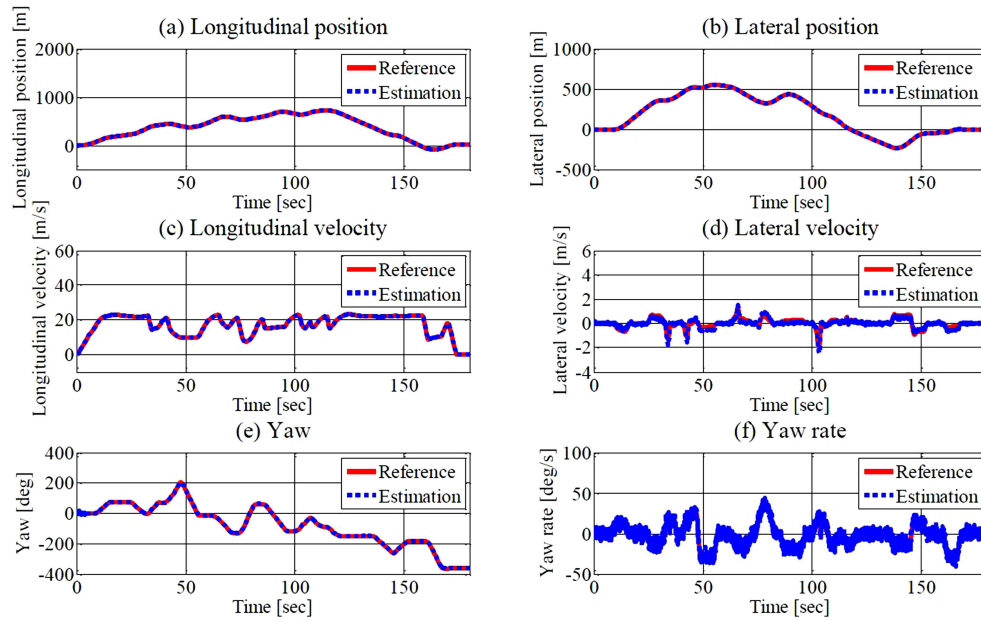
도면4



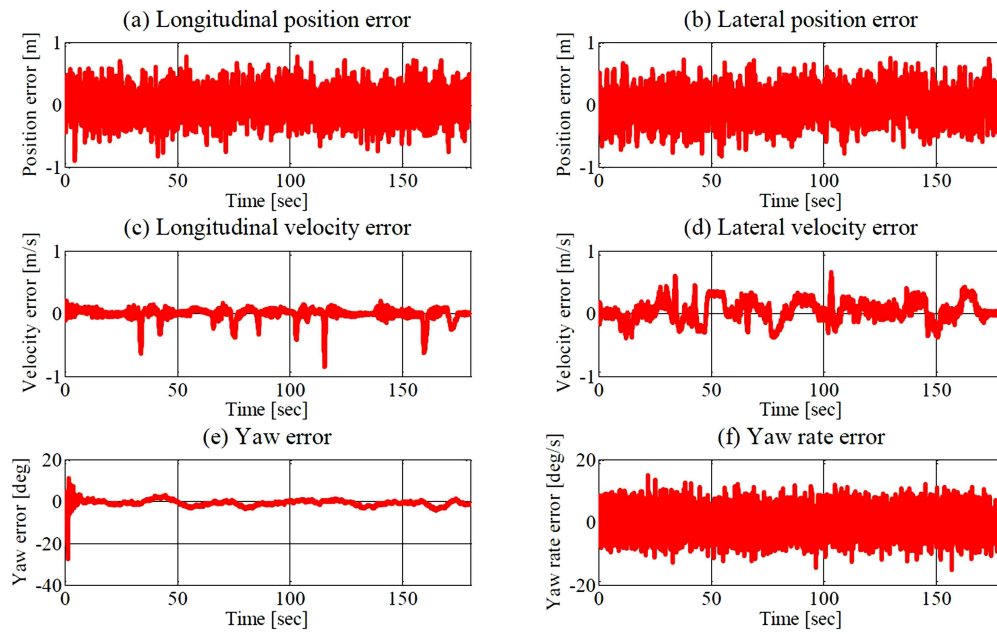
도면5



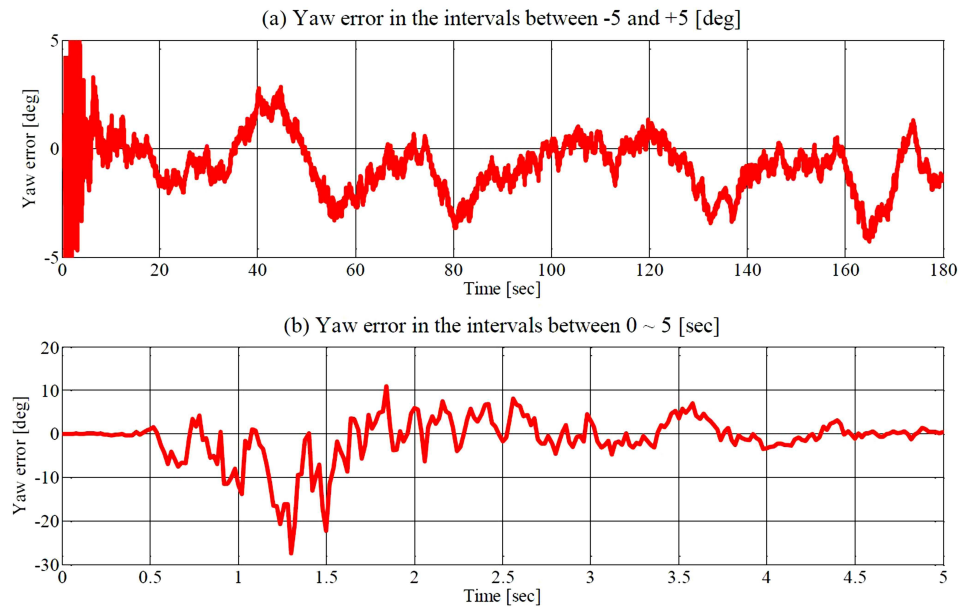
도면6



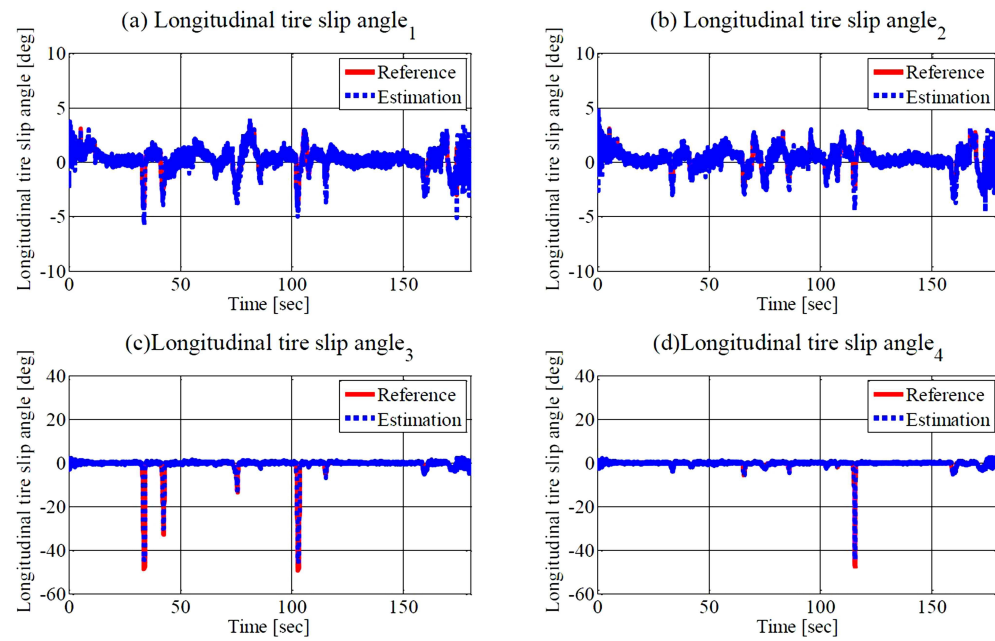
도면7



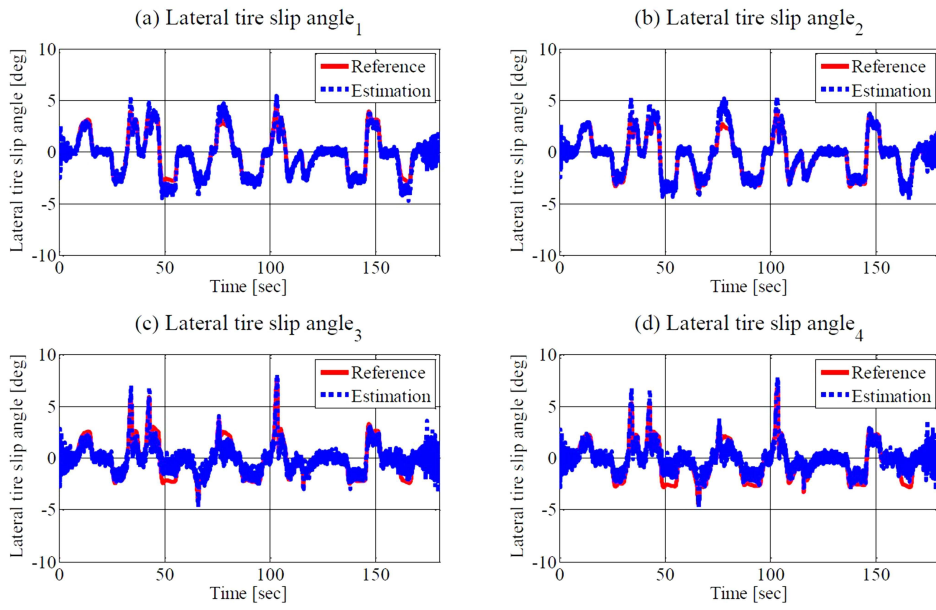
도면8



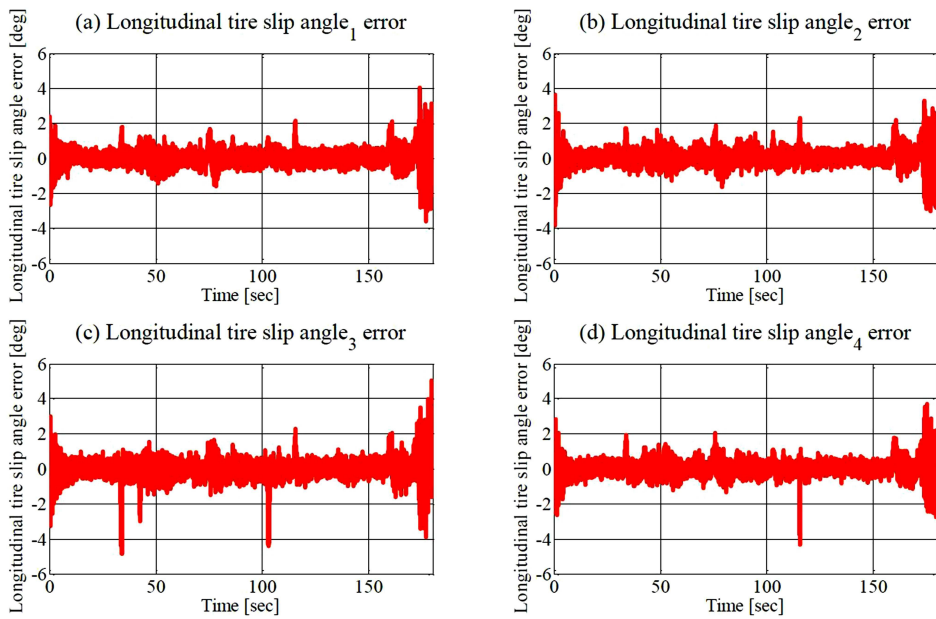
도면9



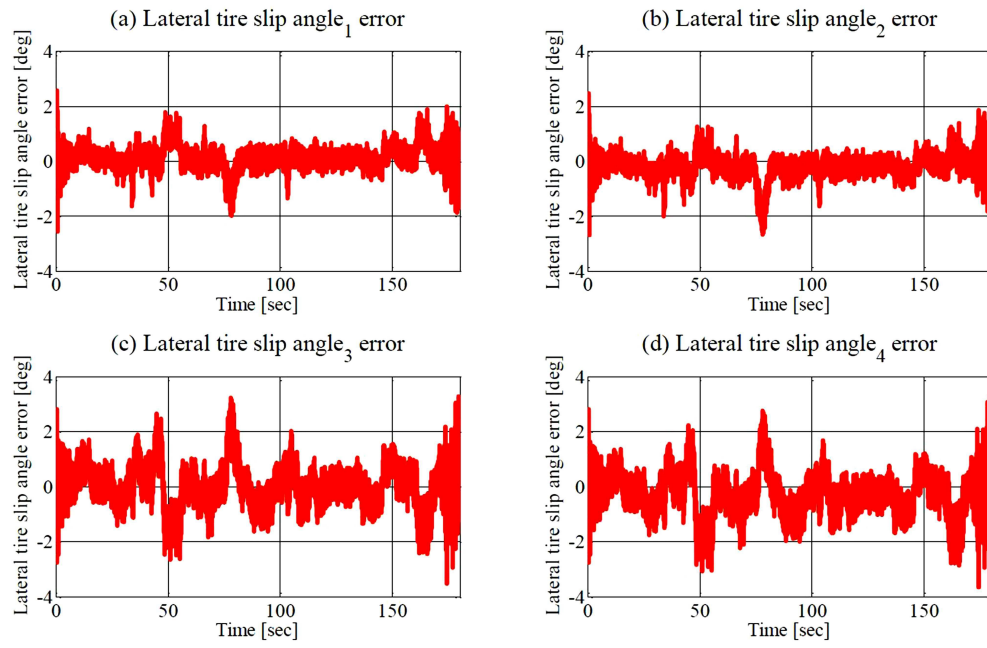
도면10



도면11



도면12



도면13

