

**(19) 대한민국특허청(KR)**
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0037939

(43) 공개일자 2025년03월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B60W 40/068 (2012.01) **B60W 40/114** (2012.01)

(52) CPC특허분류

B60W 40/068 (2013.01)**B60W 40/114** (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0120363

(22) 출원일자 2023년09월11일

심사청구일자 2023년09월11일

(71) 출원인

한국기술교육대학교 산학협력단

충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1600 (한국기술교육대학교내)

(72) 발명자

유승한

서울특별시 강남구 삼성로51길 37 112동 2006호

조완기

경기도 수원시 영통구 청명북로 33 삼성래미안 436동 402호

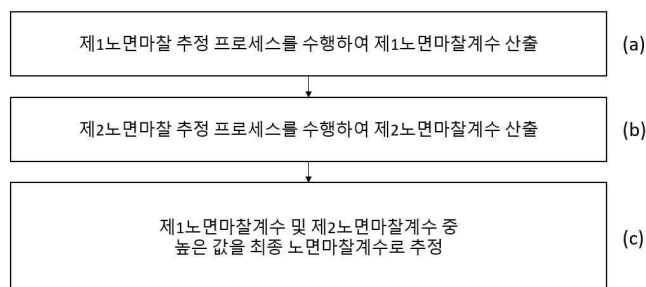
(74) 대리인

이관호, 문중화

전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **최대 노면마찰계수 추정방법****(57) 요약**

본 발명에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법은, 제1노면마찰 추정 프로세스를 수행하여 제1노면마찰계수를 산출하는 (a)단계, 제2노면마찰 추정 프로세스를 수행하여 제2노면마찰계수를 산출하는 (b)단계 및 상기 제1노면마찰계수 및 상기 제2노면마찰계수 중 높은 값을 최종 노면마찰계수로 추정하는 (c)단계를 포함하며, 상기 제1노면마찰 추정 프로세스는, 차량의 주행 중 전륜, 후륜, 무게중심 위치에서 산출된 증가속도값의 절대값을 가공하여 상기 제1노면마찰계수를 산출하며, 상기 제2노면마찰 추정 프로세스는, 차량의 횡가속도를 통해 계산된 차량의 정상 상태 요 레이트를 통해 마찰계수 별 노면 기준 요 레이트를 산출하고, 확률적으로 상기 제2노면마찰계수를 산출한다.

대표도 - 도1

(52) CPC특허분류

B60W 2520/14 (2013.01)

B60W 2552/40 (2020.02)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345370650
과제번호	LINC3.0-2023-31
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	산학연협력고도화지원
연구과제명	3단계산학연협력선도대학육성사업(LINC3.0)(0.5)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국기술교육대학교
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

컴퓨터의 프로세서를 통해 수행되는 최대 노면마찰계수 추정방법에 있어서,
제1노면마찰 추정 프로세스를 수행하여 제1노면마찰계수를 산출하는 (a)단계;
제2노면마찰 추정 프로세스를 수행하여 제2노면마찰계수를 산출하는 (b)단계; 및
상기 제1노면마찰계수 및 상기 제2노면마찰계수 중 높은 값을 최종 노면마찰계수로 추정하는 (c)단계;
를 포함하며,
상기 제1노면마찰 추정 프로세스는,
차량의 주행 중 전륜, 후륜, 무게중심 위치에서 산출된 총가속도값의 절대값을 가공하여 상기 제1노면마찰계수를 산출하며,
상기 제2노면마찰 추정 프로세스는,
차량의 횡가속도를 통해 계산된 차량의 정상 상태 요 레이트를 통해 마찰계수 별 노면 기준 요 레이트를 산출하고, 확률적으로 상기 제2노면마찰계수를 산출하는,
최대 노면마찰계수 추정방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 (a)단계는,
차량의 주행 중 전륜, 후륜, 무게중심 위치에서의 시간에 따른 총가속도값을 산출하는 (a-1)단계;
상기 (a-1)단계에 의해 산출된 차량의 주행 중 전륜, 후륜, 무게중심 위치에서의 시간에 따른 총가속도값 각각에 대한 절대값을 산출하는 (a-2)단계;
상기 (a-2)단계에 의해 산출된 차량의 주행 중 전륜, 후륜, 무게중심 위치에서의 시간에 따른 총가속도값의 각 절대값 중 최대값을 취하는 (a-3)단계;
상기 (a-3)단계에 의해 취한 시간에 따른 최대값의 감소구간에 대한 기울기 제한 처리를 수행하는 (a-4)단계; 및
상기 (a-4)단계에 의해 감소구간에 대한 기울기 제한 처리가 이루어진 시간에 따른 최대값을 통해 상기 제1노면마찰계수를 기 설정된 고마찰력값 또는 기 설정된 저마찰력값 중 어느 하나로 추정하는 (a-5)단계;
최대 노면마찰계수 추정방법.

청구항 3

제2항에 있어서,
상기 (a-1)단계는,
차량의 주행 중 전륜, 후륜, 무게중심 위치에서의 횡가속도 및 종가속도를 통해 차량의 주행 중 전륜, 후륜, 무게중심 위치에서의 총가속도를 산출하는,
최대 노면마찰계수 추정방법.

청구항 4

제3항에 있어서,
상기 (a-1)단계는,

$$a_{T.front} = \sqrt{a_{y.f}^2 + a_x^2} / g$$

$$a_{T.rear} = \sqrt{a_{y.r}^2 + a_x^2} / g$$

$$a_{T.CG} = \sqrt{a_{y.CG}^2 + a_x^2} / g$$

의 수학적식을 통해 총가속도를 산출하는,
최대 노면마찰계수 추정방법.

청구항 5

제2항에 있어서,
상기 (a-5)단계는,

감소구간에 대한 기울기 제한 처리가 이루어진 시간에 따른 최대값이 기 설정된 보정가속도 이상인 경우 상기 제1노면마찰계수를 상기 고마찰력값으로 추정하고,

감소구간에 대한 기울기 제한 처리가 이루어진 시간에 따른 최대값이 기 설정된 보정가속도 미만인 경우 상기 제1노면마찰계수를 상기 저마찰력값으로 추정하는,

최대 노면마찰계수 추정방법.

청구항 6

제1항에 있어서,
상기 (b)단계는,

차량의 정상 상태 요 레이트를 산출하는 (b-1)단계;

상기 (b-1)단계에서 산출된 차량의 정상 상태 요 레이트를 기반으로, 기 설정된 고마찰력값을 적용하여 고마찰 노면 기준 요 레이트를 산출하고, 기 설정된 저마찰력값을 적용하여 저마찰 노면 기준 요 레이트를 산출하는 (b-2)단계;

차량의 횡가속도 기반 요 레이트를 입력받고, 상기 차량의 횡가속도 기반 요 레이트를 기반으로 상기 고마찰 노면 기준 요 레이트 및 상기 저마찰 노면 기준 요 레이트를 비교하여, 현재 노면이 고마찰 노면일 확률인 제1가중치 및 현재 노면이 저마찰 노면일 확률인 제2가중치를 산출하는 (b-3)단계; 및

상기 제1가중치 및 상기 제2가중치를 합산하여 상기 제2노면마찰계수를 추정하는 (b-4)단계;

를 포함하는,

최대 노면마찰계수 추정방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 (b-1)단계는,

$$\gamma_{ss} = \frac{1}{1 - \frac{m(L_f C_f - L_R C_r) V_x^2}{2 C_f C_f (L_f + L_r)^2}} \frac{V_x}{L_f + L_r} \delta_f$$

의 수학적식을 통해 차량의 정상 상태 요 레이트를 산출하는,
최대 노면마찰계수 추정방법.

청구항 8

제6항에 있어서,
상기 (b-2)단계는,

$$\gamma_i = \text{sign}(\gamma_{ss}) \cdot \min\left(|\gamma_{ss}|, \frac{\mu_i g}{V_x}\right)$$

의 수학적식을 통해 상기 고마찰 노면 기준 요 레이트 및 상기 저마찰 노면 기준 요 레이트를 산출하는,
최대 노면마찰계수 추정방법.

청구항 9

제6항에 있어서,
상기 (b-3)단계는,

$$w_k^i = \frac{p\{Z_k | Z_{k-1}, i\} w_{k-1}^i}{\sum_{j=Low}^{High} p\{Z_k | Z_{k-1}, j\} w_{k-1}^j}$$

의 수학적식을 통해 상기 제1가중치 및 상기 제2가중치를 산출하는,
최대 노면마찰계수 추정방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 “3단계산학연협력선도대학육성사업(LINC3.0)(0.5)”의 연구결과로 고안(안출)된 것으로서, 본 발명의 목적은 노면마찰계수 추정 장치를 제공하는 것이다.

[0002] 보다 상세하게는 서로 다른 프로세스를 통해 제1노면마찰계수 및 제2노면마찰계수를 산출하고, 그 중 높은 값을 최종 노면마찰계수로 추정함에 따라 각 프로세스 간의 단점을 보완할 수 있는 최대 노면마찰계수 추정방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 최대 노면마찰계수는 타이어에서 발생하는 힘을 결정하는데 지배적인 역할을 하므로, 최대 노면마찰계수의 파악은 차량의 안정성 제어 측면에서 매우 중요한 요소이다.

[0004] 즉, 타이어-노면 간의 최대 노면마찰계수를 산출할 경우 차량이 최대로 발휘할 수 있는 중항력을 미리 정할 수 있다. 따라서, 최대 노면마찰계수의 정확한 추정이 가능하다면 첨단 운전자 지원시스템(Advanced Driver Assistance System, ADAS) 등과 같은 차량 제어 시스템은 보다 높은 성능을 가지게 될 수 있다.

- [0005] 특히 목표 요 레이트를 도출하는 차량용 모듈에서 사용되는 최대 노면마찰계수 추정치는 차량용 제어량 분배기에서 사용되는 최대 노면마찰계수 추정치는 그 요구사항이 다르다.
- [0006] 구체적으로, 목표 요 레이트를 도출하는 차량용 모듈에서 사용될 최대 노면마찰계수는 일부 추정 오차가 존재하더라도 거동의 일관성을 위해 일정하게 추정되어야 할 필요가 있다.
- [0007] 또한 차량용 제어량 분배기에서 사용될 최대 노면마찰계수는 민감하더라도 비교적 정확히 추정되어야 할 필요가 있다.
- [0008] 이 중에서도 표 요 레이트를 도출하는 차량용 모듈에서 사용될 최대 노면마찰계수를 추정하기 위한 많은 연구들이 이루어지고 있으나, 아직까지는 다양한 상황 별로 신뢰도 높은 최대 노면마찰계수 추정값을 도출하는 데 어려움과 제한점이 많다.
- [0009] 따라서 이와 같은 문제점들을 해결하기 위한 방법이 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0010] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2022-0134940호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 본 발명은 상술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 발명으로서, 다양한 차량 제어 모듈 중 목표 요 레이트 산출 모듈에서 사용될 최대 노면마찰계수를 높은 신뢰도로 추정하기 위한 목적을 가진다.
- [0012] 본 발명의 과제들은 이상에서 언급한 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0013] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 최대 노면마찰계수 추정방법은, 제1노면마찰 추정 프로세스를 수행하여 제1노면마찰계수를 산출하는 (a)단계, 제2노면마찰 추정 프로세스를 수행하여 제2노면마찰계수를 산출하는 (b)단계 및 상기 제1노면마찰계수 및 상기 제2노면마찰계수 중 높은 값을 최종 노면마찰계수로 추정하는 (c)단계를 포함하며, 상기 제1노면마찰 추정 프로세스는, 차량의 주행 중 전륜, 후륜, 무계중심 위치에서 산출된 종가속도값의 절대값을 가공하여 상기 제1노면마찰계수를 산출하며, 상기 제2노면마찰 추정 프로세스는, 차량의 횡가속도를 통해 계산된 차량의 정상 상태 요 레이트를 통해 마찰계수 별 노면 기준 요 레이트를 산출하고, 확률적으로 상기 제2노면마찰계수를 산출한다.
- [0014] 이때 상기 (a)단계는, 차량의 주행 중 전륜, 후륜, 무계중심 위치에서의 시간에 따른 종가속도값을 산출하는 (a-1)단계, 상기 (a-1)단계에 의해 산출된 차량의 주행 중 전륜, 후륜, 무계중심 위치에서의 시간에 따른 종가속도값 각각에 대한 절대값을 산출하는 (a-2)단계, 상기 (a-2)단계에 의해 산출된 차량의 주행 중 전륜, 후륜, 무계중심 위치에서의 시간에 따른 종가속도값의 각 절대값 중 최대값을 취하는 (a-3)단계, 상기 (a-3)단계에 의해 취한 시간에 따른 최대값의 감소구간에 대한 기울기 제한 처리를 수행하는 (a-4)단계 및 상기 (a-4)단계에 의해 감소구간에 대한 기울기 제한 처리가 이루어진 시간에 따른 최대값을 통해 상기 제1노면마찰계수를 기 설정된 고마찰력값 또는 기 설정된 저마찰력값 중 어느 하나로 추정하는 (a-5)단계를 포함할 수 있다.
- [0015] 그리고 상기 (a-1)단계는, 차량의 주행 중 전륜, 후륜, 무계중심 위치에서의 횡가속도 및 종가속도를 통해 차량의 주행 중 전륜, 후륜, 무계중심 위치에서의 종가속도를 산출할 수 있다.

[0016] 이를 위해 상기 (a-1)단계는,

$$a_{T.front} = \sqrt{a_{y.f}^2 + a_x^2} / g$$

$$a_{T.rear} = \sqrt{a_{y.r}^2 + a_x^2} / g$$

$$a_{T.CG} = \sqrt{a_{y.CG}^2 + a_x^2} / g$$

[0017]

[0018] 의 수학적식을 통해 총가속도를 산출할 수 있다.

[0019] 더불어 상기 (a-5)단계는, 감소구간에 대한 기울기 제한 처리가 이루어진 시간에 따른 최대값이 기 설정된 보정 가속도 이상인 경우 상기 제1노면마찰계수를 상기 고마찰력값으로 추정하고, 감소구간에 대한 기울기 제한 처리가 이루어진 시간에 따른 최대값이 기 설정된 보정가속도 미만인 경우 상기 제1노면마찰계수를 상기 저마찰력값으로 추정할 수 있다.

[0020] 또한 상기 (b)단계는, 차량의 정상 상태 요 레이트를 산출하는 (b-1)단계, 상기 (b-1)단계에서 산출된 차량의 정상 상태 요 레이트를 기반으로, 기 설정된 고마찰력값을 적용하여 고마찰 노면 기준 요 레이트를 산출하고, 기 설정된 저마찰력값을 적용하여 저마찰 노면 기준 요 레이트를 산출하는 (b-2)단계, 차량의 횡가속도 기반 요 레이트를 입력받고, 상기 차량의 횡가속도 기반 요 레이트를 기반으로 상기 고마찰 노면 기준 요 레이트 및 상기 저마찰 노면 기준 요 레이트를 비교하여, 현재 노면이 고마찰 노면일 확률인 제1가중치 및 현재 노면이 저마찰 노면일 확률인 제2가중치를 산출하는 (b-3)단계 및 상기 제1가중치 및 상기 제2가중치를 합산하여 상기 제2 노면마찰계수를 추정하는 (b-4)단계를 포함할 수 있다.

[0021] 여기서 상기 (b-1)단계는,

$$\gamma_{ss} = \frac{1}{1 - \frac{m(L_f C_f - L_r C_r) V_x^2}{2 C_f C_f (L_f + L_r)^2}} \frac{V_x}{L_f + L_r} \delta_f$$

[0022]

[0023] 의 수학적식을 통해 차량의 정상 상태 요 레이트를 산출할 수 있다.

[0024] 그리고 상기 (b-2)단계는,

$$\gamma_i = \text{sign}(\gamma_{ss}) \cdot \min\left(|\gamma_{ss}|, \frac{\mu_i g}{V_x}\right)$$

[0025]

[0026] 의 수학적식을 통해 상기 고마찰 노면 기준 요 레이트 및 상기 저마찰 노면 기준 요 레이트를 산출할 수 있다.

[0027] 이와 함께 상기 (b-3)단계는,

$$w_k^i = \frac{p\{Z_k | Z_{k-1}, i\} w_{k-1}^i}{\sum_{j=Low}^{High} p\{Z_k | Z_{k-1}, j\} w_{k-1}^j}$$

[0028]

[0029] 의 수학적식을 통해 상기 제1가중치 및 상기 제2가중치를 산출할 수 있다.

발명의 효과

[0030] 상기한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 최대 노면마찰계수 추정방법은, 목표 요 레이트를 도출하기 위한 차량

용 목표 요 레이트 산출 모듈에서 사용될 최대 노면마찰계수를 일정하게 추정할 수 있도록 하여 차량 거동의 안정성을 확보할 수 있다는 장점을 가진다.

[0031] 특히 본 발명은 제1노면마찰 추정 프로세스를 통해 제1노면마찰계수를 산출하고, 이와 같은 제1노면마찰 추정 프로세스와 다른 방식인 제2노면마찰 추정 프로세스를 통해 제2노면마찰계수를 산출한 뒤, 보다 높은 값을 최종 노면마찰계수로 추정함에 따라 각 프로세스 간의 단점을 상호 보완할 수 있다는 장점을 가진다.

[0032] 본 발명의 효과들은 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 청구범위의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법의 전체 과정을 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법에 있어서, 제1노면마찰 추정 프로세스의 세부 과정을 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법에 있어서, 제1노면마찰 추정 프로세스를 수행하는 과정을 그래프화한 도면이다.

도 4 및 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법에 있어서, 제1노면마찰 추정 프로세스의 시뮬레이션 검증 결과를 그래프화한 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법에 있어서, 제2노면마찰 추정 프로세스의 세부 과정을 나타낸 도면이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법에 있어서, 제2노면마찰 추정 프로세스를 개념적으로 그래프화하여 나타낸 도면이다.

도 8 및 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법에 있어서, 제2노면마찰 추정 프로세스의 시뮬레이션 검증 결과를 그래프화한 도면이다.

도 10 내지 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법에 있어서, 최종 노면마찰계수 추정 프로세스의 시뮬레이션 검증 결과를 그래프화한 도면이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법에 있어서, 최종 노면마찰계수를 활용한 안정성 제어 검증 결과를 그래프화한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0034] 본 명세서에서, 어떤 구성요소(또는 영역, 층, 부분 등)가 다른 구성요소 "상에 있다", "연결된다", 또는 "결합된다"고 언급되는 경우에 그것은 다른 구성요소 상에 직접 배치/연결/결합될 수 있거나 또는 그들 사이에 제3의 구성요소가 배치될 수도 있다는 것을 의미한다.

[0035] 동일한 도면부호는 동일한 구성요소를 지칭한다. 또한, 도면들에 있어서, 구성요소들의 두께, 비율, 및 치수는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다.

[0036] "및/또는"은 연관된 구성들이 정의할 수 있는 하나 이상의 조합을 모두 포함한다.

[0037] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.

[0038] 또한, "아래에", "하측에", "위에", "상측에" 등의 용어는 도면에 도시된 구성들의 연관관계를 설명하기 위해 사용된다. 상기 용어들은 상대적인 개념으로, 도면에 표시된 방향을 기준으로 설명된다.

[0039] 다르게 정의되지 않는 한, 본 명세서에서 사용된 모든 용어 (기술 용어 및 과학 용어 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야의 당업자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 갖는다. 또한, 일반적으로 사용되는 사전에서 정의된 용어와 같은 용어는 관련 기술의 맥락에서 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하고,

이상적인 또는 지나치게 형식적인 의미로 해석되지 않는 한, 명시적으로 여기에서 정의된다.

- [0040] "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0041] 더불어 본 명세서에서 제1구성요소가 제2구성요소 상(ON)에서 동작 또는 실행된다고 언급될 때, 제1구성요소는 제2구성요소가 동작 또는 실행되는 환경에서 동작 또는 실행되거나 또는 제2구성요소와 직접 또는 간접적으로 상호 작용을 통해서 동작 또는 실행되는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0042] 어떤 구성요소, 장치, 또는 시스템이 프로그램 또는 소프트웨어로 이루어진 구성요소를 포함한다고 언급되는 경우, 명시적인 언급이 없더라도, 그 구성요소, 장치, 또는 시스템은 그 프로그램 또는 소프트웨어가 실행 또는 동작하는데 필요한 하드웨어(예를 들면, 메모리, CPU 등)나 다른 프로그램 또는 소프트웨어(예를 들면 운영체제나 하드웨어를 구동하는데 필요한 드라이버 등)를 포함하는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0043] 또한, 어떤 구성요소가 구현됨에 있어서 특별한 언급이 없다면, 그 구성요소는 소프트웨어, 하드웨어, 또는 소프트웨어 및 하드웨어 어떤 형태로도 구현될 수 있는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0044] 또한, 본 명세서에서 사용된 용어는 실시 예들을 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 구성요소는 하나 이상의 다른 구성요소의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [0045] 또한, 본 명세서에서 '부', '장치' 등의 용어는 하드웨어 및 해당 하드웨어에 의해 구동되거나 하드웨어를 구동하기 위한 소프트웨어의 기능적, 구조적 결합을 지칭하는 것으로 의도될 수 있다. 예를 들어, 여기서 하드웨어는 CPU 또는 다른 프로세서(processor)를 포함하는 데이터 처리 기기일 수 있다. 또한, 하드웨어에 의해 구동되는 소프트웨어는 실행중인 프로세스, 객체(object), 실행파일(executable), 실행 스레드(thread of execution), 프로그램(program) 등을 지칭할 수 있다.
- [0046] 또한, 상기 용어들은 소정의 코드와 상기 소정의 코드가 수행되기 위한 하드웨어 리소스의 논리적인 단위를 의미할 수 있으며, 반드시 물리적으로 연결된 코드를 의미하거나, 한 종류의 하드웨어를 의미하는 것이 아님은 본 발명의 기술분야의 평균적 전문가에게는 용이하게 추론될 수 있다.
- [0047] 이하, 본 발명에서 실시하고자 하는 구체적인 기술내용에 대해 첨부도면을 참조하여 상세하게 설명하기로 한다.
- [0048] 본 발명은 컴퓨터의 프로세서를 통해 수행되는 최대 노면마찰계수 추정방법으로서, 여기서 컴퓨터라 함은 프로세서를 통해 연산을 수행하는 모든 단말기일 수 있다. 예컨대, 본 발명의 일 실시예에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법은 차량에 구비되는 목표 요 레이트 산출 모듈에 의해 수행될 수도 있으며, 또는 별도의 서버, PC, 모바일 단말기 등에서 구현될 수도 있음은 물론이다.
- [0050] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법의 전체 과정을 나타낸 도면이다.
- [0051] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법은 (a)단계 내지 (c)단계를 포함한다.
- [0052] (a)단계는 제1노면마찰 추정 프로세스를 수행하여 제1노면마찰계수를 산출하는 과정이다.
- [0053] 그리고 (b)단계는 제2노면마찰 추정 프로세스를 수행하여 제2노면마찰계수를 산출하는 과정이다.
- [0054] 여기서 제1노면마찰 추정 프로세스 및 제2노면마찰 추정 프로세스는 서로 상이한 과정을 통해 노면마찰계수를 추정할 수 있다.
- [0055] 구체적으로, 본 실시예에서 제1노면마찰 추정 프로세스는 차량의 주행 중 전륜, 후륜, 무게중심 위치에서 산출된 추가속도값의 절대값을 가공하여 제1노면마찰계수를 산출한다.
- [0056] 또한 본 실시예에서 제2노면마찰 추정 프로세스는 차량의 횡가속도를 통해 계산된 차량의 정상 상태 요 레이트를 통해 마찰계수 별 노면 기준 요 레이트를 산출하고, 확률적으로 제2노면마찰계수를 산출한다.
- [0057] 그리고 (c)단계에서는, (a)단계에 의해 추정된 제1노면마찰계수와, (b)단계에 의해 추정된 제2노면마찰계수 중

높은 값을 최종 노면마찰계수로 추정하게 된다.

[0058] 이하에서는, 제1노면마찰 추정 프로세스 및 제2노면마찰 추정 프로세스의 세부적인 과정에 대해 자세히 설명하도록 한다.

[0061] 제1노면마찰계수 추정 프로세스

[0063] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법에 있어서, 제1노면마찰 추정 프로세스의 세부 과정을 나타낸 도면이다.

[0064] 그리고 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법에 있어서, 제1노면마찰 추정 프로세스를 수행하는 과정을 그래프화한 도면이다.

[0065] 전술한 바와 같이, 제1노면마찰 추정 프로세스는 차량의 주행 중 전륜, 후륜, 무게중심 위치에서 산출된 총가속도값의 절대값을 가공하여 제1노면마찰계수를 산출하게 된다.

[0066] 차량의 가속도는 노면마찰계수의 영향을 가장 직접적으로 받는 신호임을 아래의 수학식 1로부터 알 수 있다.

[0068] <수학식 1>

$$\sqrt{a_x^2 + a_y^2} \leq \mu \cdot g$$

[0071] 그리고 이와 같은 수학식 1과 더불어 이하 첨부되는 수학식 2 내지 수학식 12에 포함되어 있는 파라미터의 정의는 다음과 같다. 즉 이하의 파라미터 정의는 본 명세서의 모든 수학식에서 공통적으로 적용된다.

[0073]

a_x	: 종 가속도
a_y	: 횡 가속도
g	: 중력 가속도
L_f	: 차량 무게중심부터 전륜 축까지의 거리
L_r	: 차량 무게중심부터 후륜 축까지의 거리
C_f	: 전륜 타이어 코너링 강성
C_r	: 후륜 타이어 코너링 강성
V_x	: 차량 종 속도
V_y	: 차량 횡 속도
δ_f	: 전륜 타이어 각
μ	: 노면 마찰계수
ϕ	: 차량 롤각

[0075] 수학식 1에서 알 수 있듯이 차량이 낼 수 있는 총가속도는 노면마찰계수의 크기를 초과할 수 없다. 따라서 차량의 총가속도의 크기가 노면마찰계수라 할 수 있다.

[0076] 하지만 이 방식은 차량이 마찰 한계까지 주행해야 추정 정확도를 보장할 수 있으며, 또한 마찰 한계까지 주행하더라도 Single Lane Change나 Slalom 같은 일시적인 주행일 경우 좌(우) 선회에서 우(좌) 선회로 바뀌는 상황에

서는 차량의 횡가속도는 0을 지나게 되어 추정의 정확도가 떨어지게 된다.

[0077] 따라서 제1노면마찰 추정 프로세스에서는 이러한 문제점들을 보완하여 노면마찰계수를 추정한다.

[0078] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 실시예에서 제1노면마찰 추정 프로세스는 (a-1)단계 내지 (a-5)단계를 포함할 수 있다.

[0079] (a-1)단계는 차량의 주행 중 전륜, 후륜, 무게중심 위치에서의 시간에 따른 총가속도값을 산출하는 과정이다.

[0080] 이와 같은 (a-1)단계는, 차량의 주행 중 전륜, 후륜, 무게중심 위치에서의 횡가속도를 통해 차량의 주행 중 전륜, 후륜, 무게중심 위치에서의 총가속도를 산출하는 방식으로 수행될 수 있다.

[0081] 이를 위해, 차량의 센서부로부터 횡가속도, 차속, 요 레이트 센서 신호를 입력받아 전륜과 후륜의 횡가속도를 연산한다. 전륜 횡가속도는 빠른 노면마찰계수를 추정하기 위한 것이며, 후륜 횡가속도는 일시적인 주행 시 횡가속도 감소를 늦추기 위한 것이다.

[0082] 그리고 전륜과 후륜의 횡가속도는 아래의 수학적식 2를 통해 계산할 수 있다.

[0084] <수학적식 2>

$$a_{y.front} = a_y + L_f \cdot \dot{\gamma}$$

$$a_{y.rear} = a_y - L_r \cdot \dot{\gamma}$$

[0087] 이와 같이 연산된 전륜/후륜 횡가속도와 센서로 측정된 횡가속도, 그리고 종가속도를 이용하여 전륜, 후륜, 그리고 무게 중심에서의 총가속도를 각각 계산한다.

[0088] 전륜, 후륜, 그리고 무게 중심에서의 총가속도는 중력가속도 단위(g)로 다음의 수학적식 3을 통해 계산할 수 있다.

[0090] <수학적식 3>

$$a_{T.front} = \sqrt{a_{y.f}^2 + a_x^2} / g$$

$$a_{T.rear} = \sqrt{a_{y.r}^2 + a_x^2} / g$$

$$a_{T.CG} = \sqrt{a_{y.CG}^2 + a_x^2} / g$$

[0093] 그리고 이와 같은 (a-1)단계를 수행한 결과의 그래프는 도 3의 (A)와 같이 표현될 수 있다.

[0094] (a-2)단계는 (a-1)단계에 의해 산출된 차량의 주행 중 전륜, 후륜, 무게중심 위치에서의 시간에 따른 총가속도값 각각에 대한 절대값을 산출하는 과정이다.

[0095] 그리고 (a-3)단계는, (a-2)단계에 의해 산출된 차량의 주행 중 전륜, 후륜, 무게중심 위치에서의 시간에 따른 총가속도값의 각 절대값 중 최대값을 취하는 과정이다.

[0096] 이후 (a-4)단계에서는 (a-3)단계에 의해 취한 시간에 따른 최대값의 감소구간에 대한 기울기 제한 처리를 수행

하게 된다.

- [0097] 이와 같이 하는 이유는 고마찰 노면을 저마찰 노면으로 잘못 추정하는 것을 최대한 방지하기 위한 것이다. 본 실시예에서는 $1g/sec$ 로 기울기를 제한하였으나, 이는 본 실시만으로 한정되는 것은 아니다.
- [0098] 그리고 이와 같은 (a-4)단계를 수행한 결과의 그래프는 도 3의 (B)와 같이 표현될 수 있다.
- [0099] 다음으로 (a-5)단계에서는 (a-4)단계에 의해 감소구간에 대한 기울기 제한 처리가 이루어진 시간에 따른 최대값을 통해, 제1노면마찰계수를 기 설정된 고마찰력값 또는 기 설정된 저마찰력값 중 어느 하나로 추정하는 과정이 이루어진다.
- [0100] 본 과정은 감소구간에 대한 기울기 제한 처리가 이루어진 시간에 따른 최대값이 기 설정된 보정가속도 이상인 경우 제1노면마찰계수를 고마찰력값으로 추정하고, 감소구간에 대한 기울기 제한 처리가 이루어진 시간에 따른 최대값이 기 설정된 보정가속도 미만인 경우 제1노면마찰계수를 저마찰력값으로 추정하는 방식으로 수행될 수 있다.
- [0101] 본 실시예에서 보정가속도는 $0.7g$ 인 것으로 설정하였으며, 총가속도값이 보정가속도 이상인 경우 고마찰력값은 0.85 로, 총가속도값이 보정가속도 미만인 경우 저마찰력값은 0.4 로 설정하였다. 이와 같은 설정값들은 하나의 예시로서 제시된 것임은 물론이다.
- [0102] 그리고 이와 같은 (a-5)단계를 수행한 결과의 그래프는 도 3의 (C)와 같이 표현될 수 있다.

[0105] 제1노면마찰계수 추정 프로세스의 시뮬레이션 성능 검증

- [0107] 제1노면마찰 추정 프로세스의 성능을 확인하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다.
- [0108] 도 4 및 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법에 있어서, 제1노면마찰 추정 프로세스의 시뮬레이션 검증 결과를 그래프화한 도면이다.
- [0109] 도 4에 나타난 시뮬레이션 시나리오는 고마찰력값($\mu=0.85$)을 가지는 노면이고 차량 속도가 $120kph$ 인 상황에서 Single Sine 조향($\pm 80\ deg$)을 한 경우로 안정성 제어가 필요한 한계 주행 상황이다.
- [0110] 도 4의 (A)는 주행 시나리오로 차속과 운전자 조향각을 나타내고, 도 5의 (B)는 종/횡가속도를, (C)는 전/후륜 그리고 무게 중심에서의 총가속도와 이를 보정한 총 가속도를, (D)는 보정된 총가속도를 통해 추정된 노면마찰계수를, 그리고 (E)는 추정된 노면마찰계수를 통해 연산된 목표 요 레이트를 나타내고 있다.
- [0111] 도 4의 (D)를 통해, 차량이 마찰 한계까지 주행을 하면 안정적으로 고마찰력값을 가지는 노면을 추정함을 확인할 수 있다.
- [0112] 하지만, 본 방식은 마찰 한계까지 주행을 해야 정확한 추정이 가능하기 때문에, 해당 방식으로 추정된 노면마찰계수를 활용하여 목표 요레이트를 연산할 경우 선회 초반(2~3초 사이) 고마찰 노면을 저마찰 노면으로 잘못 추정하여 정상적인 목표 요 레이트를 연산하지 못하는 것을 도 4의 (E)를 통해 확인할 수 있다.
- [0113] 도 5에 나타난 시뮬레이션 시나리오는 도 4에 나타난 시뮬레이션 시나리오와 동일한 조건 하에서 저마찰력값($\mu=0.4$)을 가지는 노면에서 시뮬레이션을 수행한 경우이다.
- [0114] 본 시뮬레이션 시나리오는 차량이 스핀아웃(Spin-Out)되어 차량이 직진으로 수렴하지 못함을 도 5의 (A)에 나타난 총가속도 결과를 통해 확인할 수 있다.
- [0115] 그리고 차량이 스핀아웃 되더라도 저마찰 노면 상황에서는 해당 방식이 전 주행 구간에서 노면마찰계수를 정확히 추정하여 목표 요 레이트가 정상적으로 연산됨을 확인할 수 있다.

[0118] 제2노면마찰계수 추정 프로세스

[0120] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법에 있어서, 제2노면마찰 추정 프로세스의 세부 과정을 나타낸 도면이다.

[0121] 전술한 바와 같이, 제1노면마찰 추정 프로세스는 차량의 횡가속도를 통해 계산된 차량의 정상 상태 요 레이트를 통해 마찰계수 별 노면 기준 요 레이트를 산출하고, 확률적으로 제2노면마찰계수를 산출하게 된다.

[0122] 도 6에 도시된 바와 같이, 본 실시예에서 제2노면마찰 추정 프로세스는 (b-1)단계 내지 (b-4)단계를 포함할 수 있다.

[0123] (b-1)단계는, 차량의 정상 상태 요 레이트를 산출하는 과정이다.

[0124] 차량의 정상 상태 요레이트는 이하의 수학적식 4를 통해 산출할 수 있다.

[0126] <수학적식 4>

$$\gamma_{ss} = \frac{1}{1 - \frac{m(L_f C_f - L_R C_r) V_x^2}{2 C_f C_f (L_f + L_r)^2}} \frac{V_x}{L_f + L_r} \delta_f$$

[0127]

[0129] 그리고 (b-2)단계는, 고마찰 노면 기준 요 레이트 및 저마찰 노면 기준 요 레이트를 각각 산출하는 과정이다.

[0130] 본 과정에서 고마찰 노면 기준 요 레이트는 (b-1)단계에서 산출된 차량의 정상 상태 요 레이트를 기반으로, 기 설정된 고마찰력값을 적용하여 산출할 수 있다.

[0131] 또한 저마찰 노면 기준 요 레이트는 (b-1)단계에서 산출된 차량의 정상 상태 요 레이트를 기반으로, 기 설정된 저마찰력값을 적용하여 산출할 수 있다.

[0132] 그리고 고마찰 노면 기준 요 레이트 및 저마찰 노면 기준 요 레이트는 상술한 수학적식 4를 적용하여, 이하의 수학적식 5를 통해 산출할 수 있다.

[0134] <수학적식 5>

$$\gamma_i = \text{sign}(\gamma_{ss}) \cdot \min\left(|\gamma_{ss}|, \frac{\mu_i g}{V_x}\right)$$

[0135]

[0137] 이와 같은 수학적식 5에서, i는 고마찰 노면과 저마찰 노면을 의미한다.

[0138] 본 실시예에서 고마찰 노면의 고마찰력값은 0.85, 저마찰 노면의 저마찰력값은 0.4로 제1노면마찰 추정 프로세스와 동일하게 설정할 수 있으며, 이를 통해 마찰계수 별 차별화된 크기 제한을 가진 기준 요 레이트를 계산할 수 있다.

[0139] 다음으로 (b-3)단계는 제1가중치 및 제2가중치를 각각 산출하는 과정이다.

[0140] 이를 위해, 본 과정에서는 차량의 횡가속도 기반 요 레이트를 입력받는다. 이와 같은 횡가속도 기반 요 레이트는 아래와 같이 횡가속도의 운동학적인(Kinematic) 관계식인 수학적식 6을 통해 계산할 수 있다.

[0142] <수학식 6>

$$a_y = \dot{V}_y + V_x \cdot \gamma + g \cdot \phi$$

[0143]

[0145] 그리고 수학식 6에서 물각(ϕ)과 횡속도 미분 값($\dot{V}_y$)을 작다고 가정하면, 횡가속도 기반 요 레이트는 아래의 수학식 7과 같이 간단히 계산될 수 있다.

[0147] <수학식 7>

$$\gamma_{ay} = a_y / V_x$$

[0148]

[0150] 이후 이와 같은 차량의 횡가속도 기반 요 레이트를 기반으로, 고마찰 노면 기준 요 레이트 및 상기 저마찰 노면 기준 요 레이트를 비교하여, 현재 노면이 고마찰 노면일 확률인 제1가중치 및 현재 노면이 저마찰 노면일 확률인 제2가중치를 산출한다.

[0151] 그리고 이와 같은 제1가중치 및 제2가중치는 현재까지 측정된 횡가속도 기반 요 레이트로부터 확률적으로 아래의 수학식 8을 통해 계산할 수 있다.

[0153] <수학식 8>

$$w_k^i = p\{i|Z_k\}$$

[0154]

[0156] 여기에서, i는 고마찰 노면과 저마찰 노면을 의미한다.

[0157] 또한 Z_k 는 현재까지 측정된 횡가속도 기반 요 레이트를 의미한다. 따라서 위 수학식 8은 횡가속도 기반 요 레이트를 입력받았을 경우 i번째 모델일 확률을 의미한다. 이와 같은 수학식 8을 재귀함수(Recursive Form)로 표현하면 아래의 수학식 9와 같다.

[0159] <수학식 9>

$$w_k^i = p\{i|z_k Z_{k-1}\}$$

[0160]

[0162] 그리고 수학식 9에 베이즈 정리(Bayes' s Rule)를 적용하여 정리하면 아래와 같은 수학식 10으로 표현되며, 이를 통해 제1가중치 및 제2가중치를 계산할 수 있다.

[0164] <수학식 10>

$$w_k^i = \frac{p\{Z_k|Z_{k-1}, i\}w_{k-1}^i}{\sum_{j=Low}^{High} p\{Z_k|Z_{k-1}, j\}w_{k-1}^j}$$

[0165]

[0167] 이와 같은 수학식 9 및 수학식 10에서, i 는 고마찰 노면과 저마찰 노면을 의미한다.

[0168] 위 수학식 10에서 $p\{Z_k|Z_{k-1}, j\}$ 는 조건부확률밀도함수(Conditional Probability Function)로 i 번째 모델에서 Z_k 가 나올 확률로 아래 수학식 11과 같이 가우시안(Gaussian)으로 가정할 수 있다.

[0170] <수학식 11>

$$p\{Z_k|Z_{k-1}, i\} = \frac{1}{|2\pi S|} e^{\left\{-\frac{1}{2}(Z_k - \hat{x}_k^i)S^{-1}(Z_k - \hat{x}_k^i)\right\}}$$

[0171]

[0173] 여기에서 $\hat{x}_k^i$ 는 마찰계수 별 기준 요 레이트를, S 는 오차 공분산(Error Covariance)의 범위를 의미한다.

[0174] 그리고 (b-4)단계는, 제1가중치 및 제2가중치를 합산하여 제2노면마찰계수를 추정하는 과정이다.

[0175] 즉 제2노면마찰계수는 제1가중치 및 제2가중치의 합으로 추정할 수 있다. 이는 이하의 수학식 12를 통해 표현될 수 있다.

[0177] <수학식 12>

$$\hat{\mu}_{M2} = \mu_{High} \cdot w_k^{High} + \mu_{Low} \cdot w_k^{Low}$$

[0178]

[0180] 그리고 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법에 있어서, 이상과 같은 제2노면마찰 추정 프로세스를 개념적으로 그래프화하여 나타낸 도면이다.

[0181] 도 7에 나타난 바와 같이, 현재 횡가속도 기반 요 레이트와 저마찰 노면 기준 요 레이트가 가깝기 때문에 확률값이 높고(빨간색), 고마찰 노면은 멀리 있어 확률값이 낮은(파란색) 것을 확인할 수 있다.

[0184] 제2노면마찰계수 추정 프로세스의 시뮬레이션 성능 검증

[0186] 제2노면마찰 추정 프로세스의 성능을 확인하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다.

[0187] 도 8 및 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법에 있어서, 제2노면마찰 추정 프로세스의 시뮬레이션 검증 결과를 그래프화한 도면이다.

[0188] 도 8에 나타난 시뮬레이션 시나리오는 고마찰력값($\mu=0.85$)을 가지는 노면이고 차량 속도가 120kph인 상황에서 Single Sine 조향(± 80 deg)을 한 경우로 안정성 제어가 필요한 한계 주행 상황이다.

- [0189] 도 8의 (A)는 횡가속도 기반 요 레이트와 마찰계수 별 요 레이트를 나타내고 있다. 고마찰 노면이기 때문에 횡가속도 기반 요 레이트와 고마찰 노면에 대한 기준 요 레이트가 크기 면에서 유사한 경향이 있음을 알 수 있다.
- [0190] 하지만, 선회 중반 이후로 갈수록 이 두 신호 간 위상 차이가 크게 발생하며 마찰계수 추정에 오차가 발생함을 도 8의 (B)를 통해 알 수 있다.
- [0191] 또한 이러한 추정 오차로 인해 정상적인 목표 요 레이트를 연산하지 못함을 도 8의 (C)를 통해 확인할 수 있다.
- [0192] 도 9는 도 8에 나타난 시뮬레이션 시나리오와 동일한 조건 하에서 저마찰력값($\mu=0.4$)을 가지는 노면에서 시뮬레이션을 수행한 경우이다.
- [0193] 도 9에 나타난 그래프들은, 선회 초반 순간적으로(0.5초 내외) 저마찰 노면을 고마찰 노면으로 잘못 추정하는 결과를 보이는 것을 확인할 수 있다.
- [0194] 이는 저마찰 노면을 순간적으로 고마찰 노면으로 오잘못 추정해도 된다는 요구사항에 만족되는 결과로서, 추정 성능에 문제가 없다고 간주할 수 있다.

[0197] 최종 노면마찰계수 추정 프로세스

- [0199] 전술한 제1노면마찰계수 추정 프로세스 및 제2노면마찰계수 추정 프로세스의 성능 결과를 정리하면 다음과 같다.
- [0200] 우선 고마찰 노면 상황에서 제1노면마찰계수 추정 프로세스의 경우 차량이 마찰 한계까지 주행을 해야 정확한 마찰계수가 추정이 가능하기 때문에, 선회 초반 고마찰 노면을 마찰 노면으로 잘못 추정하게 된다.
- [0201] 반면 제2노면마찰계수 추정 프로세스는 선회 초반 추정에는 문제가 없으나, 선회 중반 이후 추정 오차가 발생하는 문제를 보이고 있다.
- [0202] 또한 저마찰 노면 상황에서 제1노면마찰계수 추정 프로세스는 전 구간 정확히 저마찰 노면으로 추정함을 확인하였고, 제2노면마찰계수 추정 프로세스는 선회 초반 순간적으로 저마찰 노면을 고마찰 노면으로 잘못 추정하나 이는 추정 요구사항을 만족하는 성능임을 알 수 있다.
- [0203] 상술한 각 과정들 이후, 제1노면마찰계수 추정 프로세스에 의해 산출된 제1노면마찰계수 및 제1노면마찰계수 추정 프로세스에 의해 산출된 제2노면마찰계수 중 높은 값을 최종 노면마찰계수로 추정하는 (c)단계가 수행된다.
- [0204] 이는 전술한 각 프로세스 별 성능 결과들을 바탕으로, 두 가지 추정 노면마찰계수 중 중 큰 값을 사용할 경우 추정 요구사항을 모두 만족함을 알 수 있다.
- [0205] 따라서 (c)단계에서는 제1노면마찰계수 및 제2노면마찰계수 중 높은 값을 최종 노면마찰계수로 산출할 수 있다.

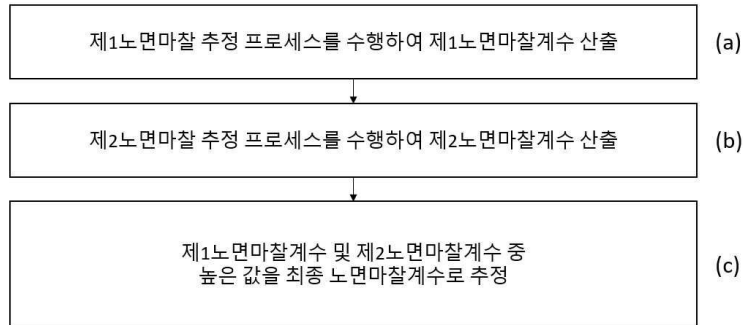
[0208] 최종 노면마찰계수 추정 프로세스의 시뮬레이션 성능 검증

- [0210] 최종 노면마찰계수 추정 프로세스의 성능을 확인하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다.
- [0211] 도 10 내지 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법에 있어서, 최종 노면마찰계수 추정 프로세스의 시뮬레이션 검증 결과를 그래프화한 도면이다.
- [0212] 도 10에 나타난 시뮬레이션 시나리오는 고마찰력값($\mu=0.85$)을 가지는 노면이고 차량 속도가 120kph인 상황에서 Single Sine 조향(± 80 deg)을 한 경우로 안정성 제어가 필요한 한계 주행 상황이다.
- [0213] 도 10의 (A)는 추정된 최종 노면마찰계수의 결과를, 그리고 (B)는 추정된 최종 노면마찰계수를 이용해 연산된 목표 요 레이트를 나타내고 있다.

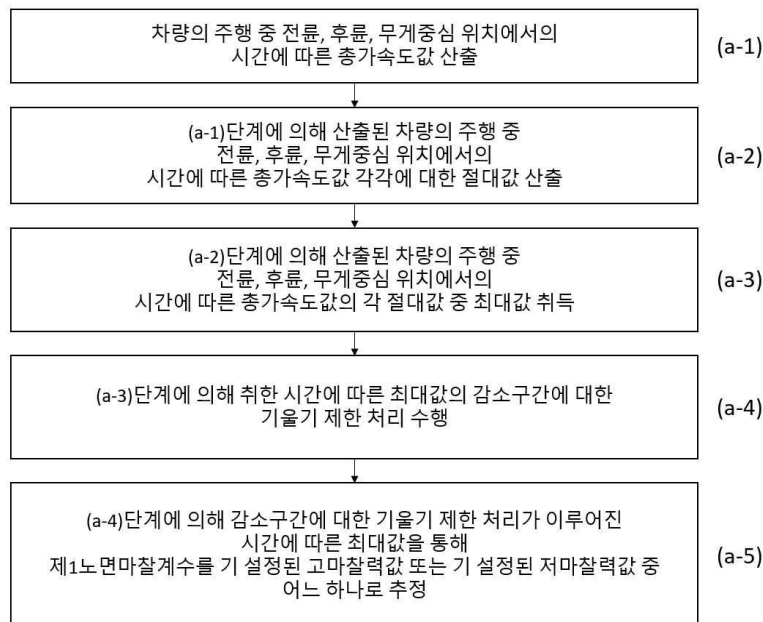
- [0214] 도 10에 따르면, 추정된 최종 노면마찰계수는 실제 노면마찰계수와 정확히 일치되어 목표 요 레이트를 정상적으로 연산함을 확인할 수 있다.
- [0215] 그리고 도 12은 도 10에 나타난 시뮬레이션 시나리오와 동일한 조건 하에서 저마찰력값($\mu=0.4$)을 가지는 노면에서 시뮬레이션을 수행한 경우이다.
- [0216] 도 11에 따르면, 선회 초반 저마찰 노면을 고마찰 노면으로 잘못 추정하여 추정값을 이용해 연산한 목표 요 레이트가 이상적인 목표 요 레이트 보다 크게 연산되지만, 0.5초 내에 이상적인 목표 요 레이트와 동일해지는 것을 확인할 수 있다.
- [0217] 그리고 도 12에 나타난 시뮬레이션 시나리오는 μ Jump, 즉 고마찰력을 가지는 노면, 저마찰력을 가지는 노면, 고마찰력을 가지는 노면으로 바뀌는 상황에 대한 시뮬레이션을 수행한 경우이다. 이외의 나머지 조건은 도 9 및 도 10에 나타난 시뮬레이션 시나리오와 동일하다.
- [0218] 도 12의 (A)는 제1노면마찰 추정 프로세스에 사용된 총 가속도를, (B)는 제1노면마찰 추정 프로세스에 사용된 요 레이트를, (C)는 추정된 최종 노면마찰계수를, 그리고 (D)는 목표 요 레이트를 각각 나타내고 있다.
- [0219] 앞선 결과와 동일하게 고마찰 노면인 경우 오차 없이 바로 추정이 되는 것을 확인할 수 있으며, 저마찰 노면으로 바뀌는 경우 초반에 잘못 추정이 되지만 0.5초 내에 정상 추정이 되어 μ Jump 상황에서도 목표 요 레이트 연산에 문제가 발생하지 않는 것을 확인할 수 있다.
- [0220] 그리고 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 최대 노면마찰계수 추정방법에 있어서, 최종 노면마찰계수를 활용한 안정성 제어 검증 결과를 그래프화한 도면이다.
- [0221] 도 13의 (A)는 고마찰 노면에서의 결과를, (B)는 저마찰 노면에서의 결과를, 그리고 (C)는 μ Jump 상황에서의 결과를 각각 나타내고 있다.
- [0222] 각각의 그래프에 나타난 얇은 회색 실선 2개는 이상적인 목표 요 레이트와 추정된 최종 노면마찰계수를 이용해 연산된 목표 요 레이트를 나타낸다.
- [0223] 또한 검은색 실선은 미제어 시의 차량 요 레이트이고, 빨간색 실선은 이상적인 목표 요 레이트로 제어했을 때의 요 레이트, 그리고 파란색 점선은 추정된 최종 노면마찰계수를 이용해 연산한 목표 요 레이트로 제어했을 때의 요 레이트를 나타내고 있다.
- [0224] 고마찰 노면 상황에서는 이상적 목표 요 레이트와 연산된 목표 요 레이트가 동일하기 때문에 제어된 요 레이트의 성능이 동일함을 확인할 수 있다.
- [0225] 그리고 저마찰 노면이나 μ Jump 상황에서는 저 마찰 노면 초반에 순간적인 오추정으로 인해 이상적인 제어 결과보다 오버슈트(Overshoot)가 크게 발생해 약간 불안정한 모습을 보이나, 바로 정상 추정이 되며 안정성이 확보됨을 확인할 수 있다.
- [0227] 이상과 같이 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 살펴보았으며, 앞서 설명된 실시예 이외에도 본 발명이 그 취지나 범주에서 벗어남이 없이 다른 특정 형태로 구체화될 수 있다는 사실은 해당 기술에 통상의 지식을 가진 이들에게는 자명한 것이다. 그러므로, 상술된 실시예는 제한적인 것이 아니라 예시적인 것으로 여겨져야 하고, 이에 따라 본 발명은 상술한 설명에 한정되지 않고 첨부된 청구항의 범주 및 그 동등 범위 내에서 변경될 수도 있다.

도면

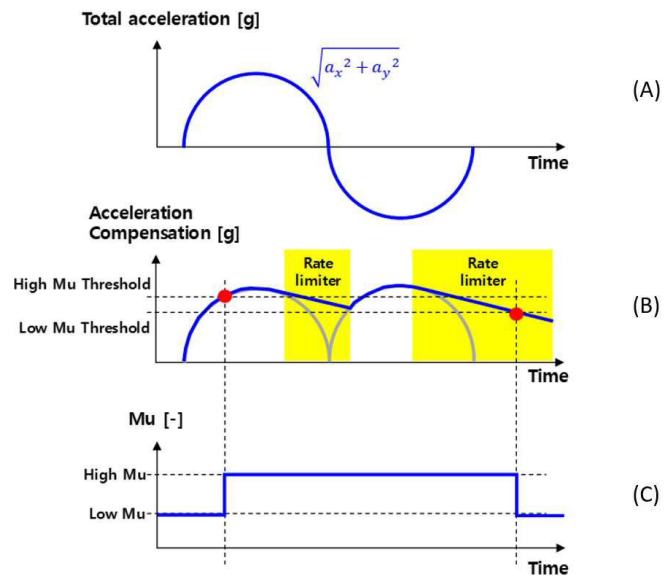
도면1



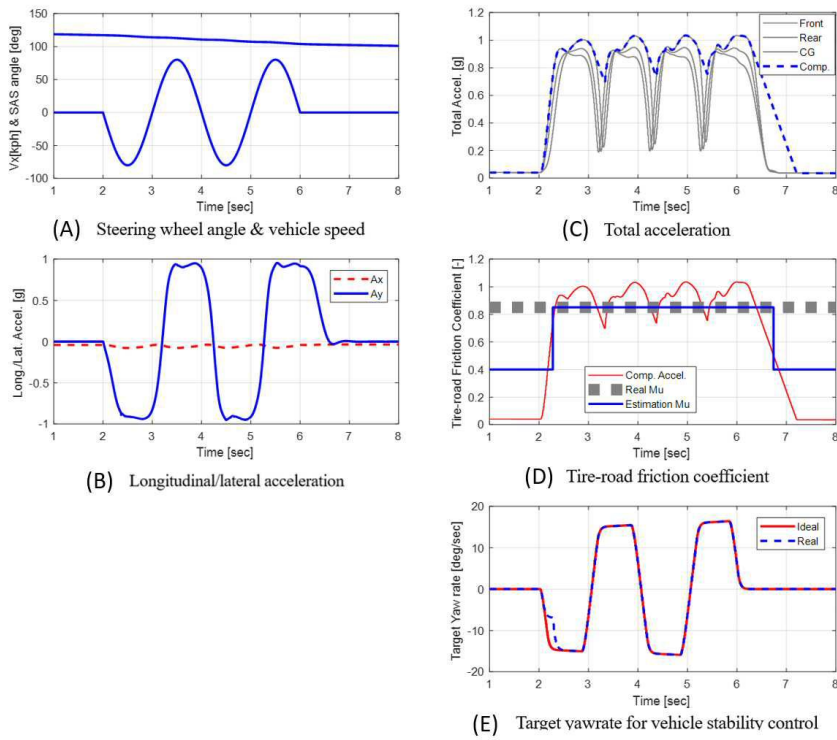
도면2



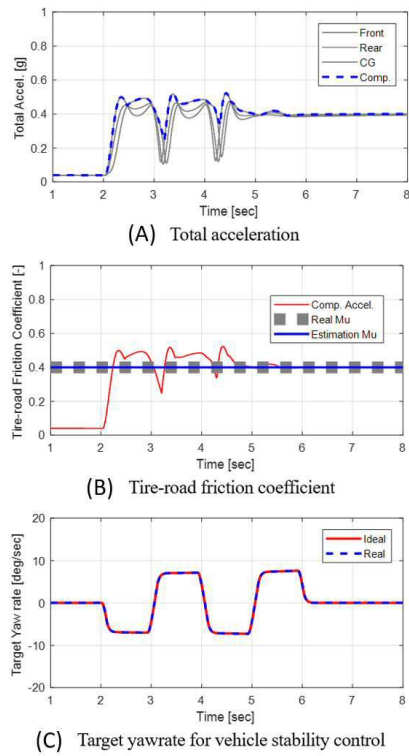
도면3



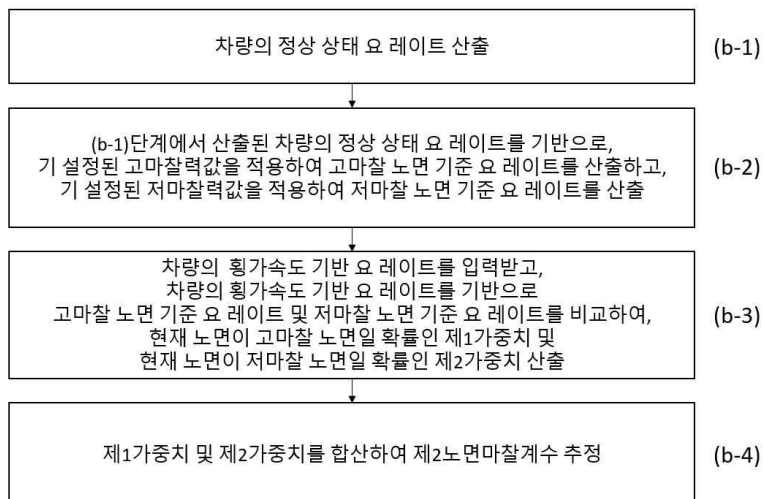
도면4



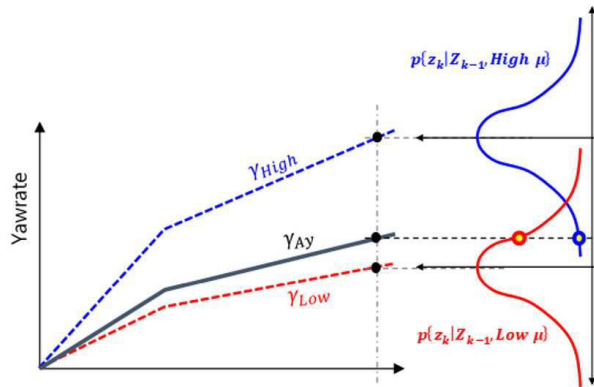
도면5



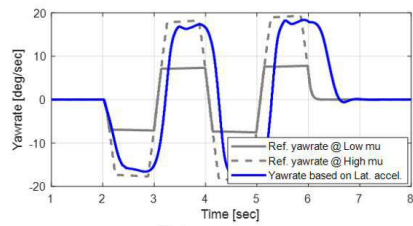
도면6



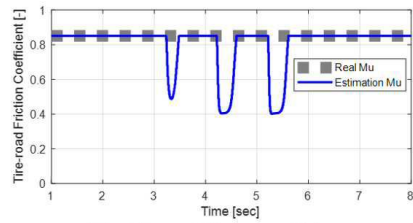
도면7



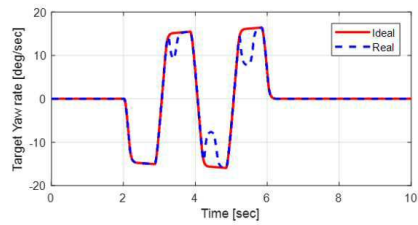
도면8



(A) Yaw rate

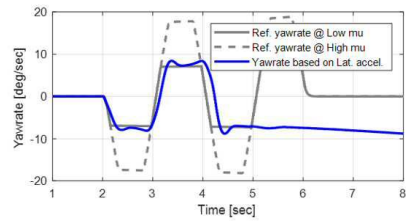


(B) Tire-road friction coefficient

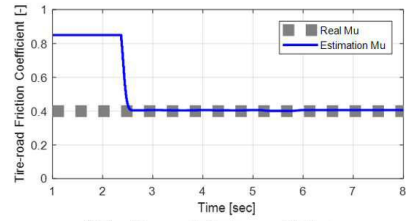


(C) Target yawrate for vehicle stability control

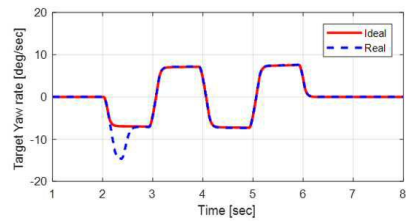
도면9



(A) Yaw rate

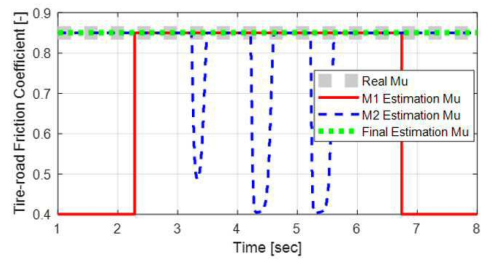


(B) Tire-road friction coefficient

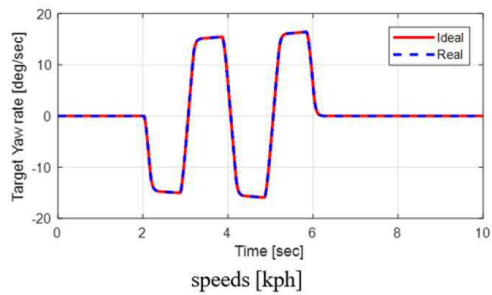


(C) Target yawrate for vehicle stability control

도면10

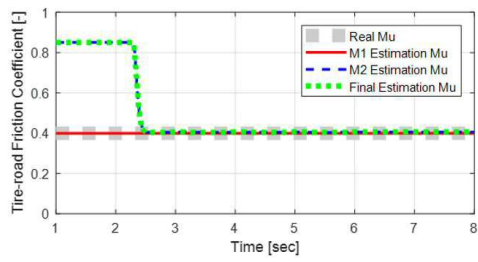


(A) Tire-road friction coefficient

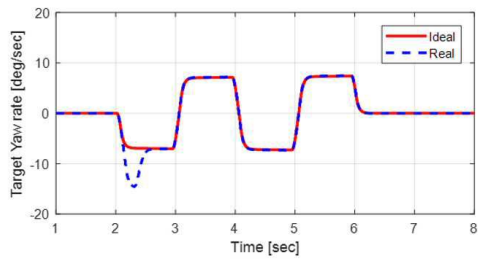


(B) Target yawrate for vehicle stability control

도면11

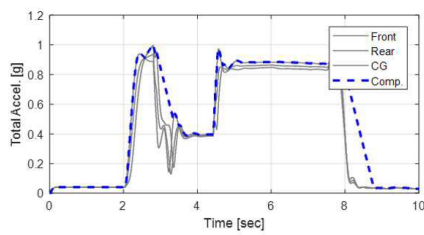


(A) Tire-road friction coefficient

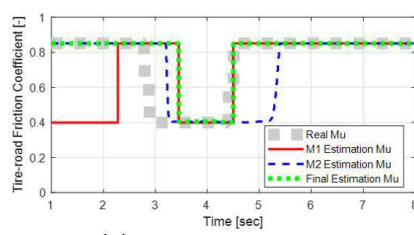


(B) Target yawrate for vehicle stability control

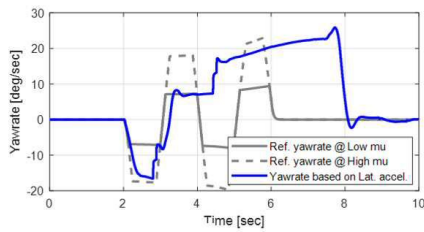
도면12



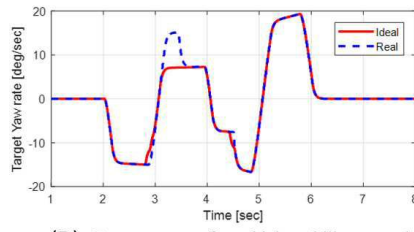
(A) Total acceleration



(C) Tire-road friction coefficient

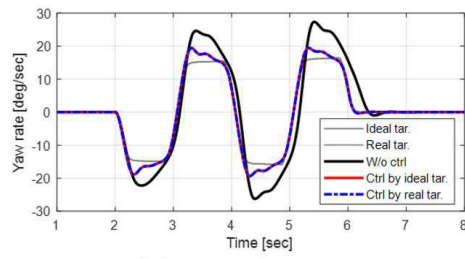


(B) Yaw rate

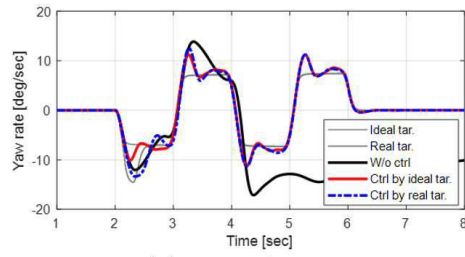


(D) Target yawrate for vehicle stability control

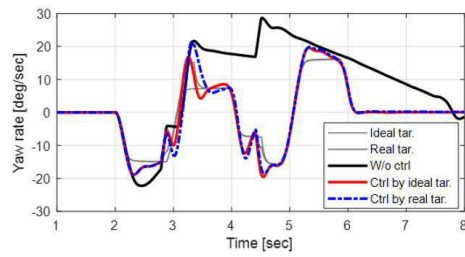
도면13



(A) Yawrate for $\mu=0.85$



(B) Yawrate for $\mu=0.4$



(C) Yawrate for μ jump