



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년11월05일
(11) 등록번호 10-1900673
(24) 등록일자 2018년09월14일

- | | |
|---|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 $B60G\ 17/018$ (2006.01) $B60G\ 17/015$ (2006.01)
 $B60G\ 17/0165$ (2006.01) $B60G\ 17/019$ (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
 $B60G\ 17/018$ (2013.01)
 $B60G\ 17/0157$ (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2017-0033850
 (22) 출원일자 2017년03월17일
 심사청구일자 2017년03월17일</p> <p>(56) 선행기술조사문헌
 KR100716426 B1*
 KR100121133 B1*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌</p> | <p>(73) 특허권자
 고려대학교 산학협력단
 서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)</p> <p>(72) 발명자
 임묘택
 서울특별시 노원구 섬발로 229 벽산아파트 10동 301호
 최현덕
 서울특별시 성북구 인촌로11길 23 해든빌라 401호</p> <p>(74) 대리인
 특허법인주원</p> |
|---|--|

전체 청구항 수 : 총 11 항

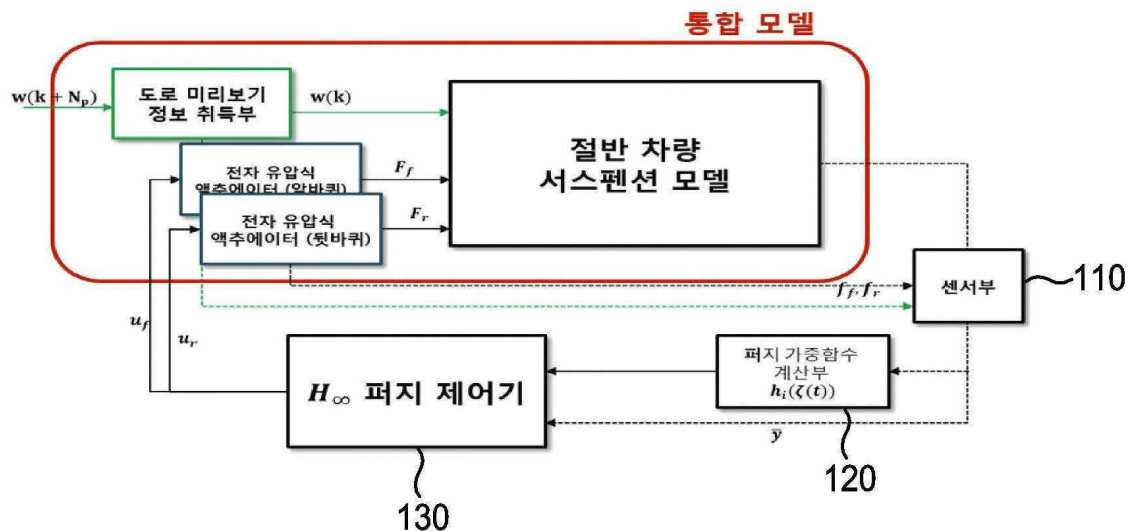
심사관 : 이창원

(54) 발명의 명칭 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 시스템, 방법, 및 상기 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 기록 매체

(57) 요약

전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 시스템, 방법, 및 상기 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 기록 매체가 개시된다. 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 시스템은 센서부, 퍼지 가중함수 산출부, 및 제어 입력 산출부를 포함한다. 센서부는 미리 설정된 차량 상태 정보, 및 차량의 전자 유압식 액추에이터 상태 정보를 측정하고, 퍼지 가중함수 산출부는 전자 유압식 액추에이터 상태 정보를 이용하여 미리 설정된 퍼지 규칙에 대응하는 퍼지 가중함수를 산출하며, 제어 입력 산출부는 차량의 주행 상태 정보, 퍼지 가중함수, 및 퍼지 가중함수에 대응하여 미리 설정된 이득 행렬을 이용하여 전자 유압식 액추에이터의 제어 입력을 산출한다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

B60G 17/0165 (2013.01)

B60G 17/019 (2013.01)

B60G 2400/8424 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

미리 설정된 차량 상태 정보, 및 상기 차량의 전자 유압식 액추에이터 상태 정보를 측정하는 센서부;

상기 전자 유압식 액추에이터 상태 정보를 이용하여 미리 설정된 퍼지 규칙에 대응하는 퍼지 가중함수를 산출하는 퍼지 가중함수 산출부; 및

상기 차량의 주행 상태 정보, 상기 퍼지 가중함수, 및 상기 퍼지 가중함수에 대응하여 미리 설정된 이득 행렬을 이용하여 상기 전자 유압식 액추에이터의 제어 입력을 산출하는 제어 입력 산출부를 포함하는 것을 특징으로 하는 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 시스템으로서,

상기 미리 설정된 이득 행렬은 상기 차량의 주행 상태 정보 및 상기 전자 유압식 액추에이터 상태 정보를 이용하여 미리 설정되는 것을 특징으로 하는 능동형 현가장치 제어 시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 센서부는 미리 설정된 노면 상태 정보를 더 측정하고,

상기 제어 입력 산출부는 상기 노면 상태 정보를 더 이용하여 상기 제어 입력을 산출하는 것을 특징으로 하는 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 시스템.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 전자 유압식 액추에이터 상태 정보는 상기 전자 유압식 액추에이터의 제어력과 스톱밸브 변위 정보인 것을 특징으로 하는 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 시스템.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 제어 입력 산출부는 상기 센서부에서 전송된 정보를 이용하여 상태 변수를 구성하고, 상기 이득행렬에 적용하여 상기 차량의 전자 유압식 액추에이터의 입력 전압을 산출하는 것을 특징으로 하는 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 시스템.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 제어 입력 산출부는 수학적식

$$u(t) = \sum_{j=1}^4 h_j C_{C_j} x_C(k),$$

에 의해 상기 전자 유압식 액추에이터의 제어 입력(u(t))을 산출하며, h_j 는 상기 퍼지 가중함수, C_{C_j} 는 상기 이

득 행렬, $x_c(k)$ 는 상기 제어 시스템의 상태 벡터인 것을 특징으로 하는 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 시스템.

청구항 6

전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 시스템이,

미리 설정된 차량 상태 정보, 및 상기 차량의 전자 유압식 액추에이터 상태 정보를 측정하는 센싱 단계;

상기 전자 유압식 액추에이터 상태 정보를 이용하여 미리 설정된 퍼지 규칙에 대응하는 퍼지 가중합수를 산출하는 퍼지 가중합수 산출 단계; 및

상기 차량의 주행 상태 정보, 상기 퍼지 가중합수, 및 상기 퍼지 가중합수에 대응하여 미리 설정된 이득 행렬을 이용하여 상기 전자 유압식 액추에이터의 제어 입력을 산출하는 제어 입력 산출 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 방법으로서,

상기 미리 설정된 이득 행렬은 상기 차량의 주행 상태 정보 및 상기 전자 유압식 액추에이터 상태 정보를 이용하여 미리 설정되는 것을 특징으로 하는 능동형 현가장치 제어 방법.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 센싱 단계는 미리 설정된 노면 상태 정보를 더 측정하고,

상기 제어 입력 산출 단계는 상기 노면 상태 정보를 더 이용하여 상기 제어 입력을 산출하는 것을 특징으로 하는 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 전자 유압식 액추에이터 상태 정보는 상기 전자 유압식 액추에이터의 제어력과 스톱밸브 변위 정보인 것을 특징으로 하는 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 방법.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 제어 입력 산출 단계는 센서부에서 전송된 정보를 이용하여 상태 변수를 구성하고, 상기 이득행렬에 적용하여 상기 차량의 전자 유압식 액추에이터의 입력 전압을 산출하는 것을 특징으로 하는 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 방법.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 제어 입력 산출 단계는 수학적식

$$u(t) = \sum_{j=1}^4 h_j C_{C_j} x_C(k),$$

에 의해 상기 전자 유압식 액추에이터의 제어 입력($u(t)$)을 산출하며, h_j 는 상기 퍼지 가중합수, C_{C_j} 는 상기 이

득 행렬, $x_c(k)$ 는 상기 제어 시스템의 상태 벡터인 것을 특징으로 하는 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 방법.

청구항 11

청구항 6 내지 청구항 10 중 어느 한 항의 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 기록매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 자동차 제어 시스템, 및 제어 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 자동차의 바퀴에 설치된 전자 유압식 액추에이터의 감쇠력을 제어하는 능동형 현가장치 제어 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 기술이 발전과 더불어 자동차의 안전과 승차감에 관한 고객의 요구가 끊임없이 증가하고 있으며, 이에 따라 차량 현가장치 제어 시스템이 점점 주목을 받고 있다. 차량 현가장치 제어 시스템은 차량 세시 시스템의 중요한 부분으로서, 차량의 전체 라이딩 특성, 차량 핸들링, 및 안정성에 큰 영향을 미친다.

[0004] 차량의 서스펜션 성능을 향상시키기 위해 새로운 제어 기술들이 계속해서 개발되고 있으며, 대표적인 기술로서 차량의 주행 상태 정보를 파악하여 차량의 서스펜션을 능동적으로 제어하는 능동형 현가장치 시스템을 제어하는 기술이다.

[0006] 그런데 종래의 능동형 현가장치의 제어는, 상위 제어기와 하위 제어기를 구분하여, 상위 제어기는 액추에이터의 목표 감쇠력 궤적을 산출하고, 하위 제어기는 이를 추종하는 추적제어를 수행하는 방식으로 수행되었다.

[0007] 그런데, 전자 유압식 액추에이터의 동역학 모델은 그 비선형성으로 인해 선형 제어기로는 추적제어가 매우 어려울 뿐만 아니라, 하위 제어기의 추적제어의 품질에 따라 능동형 현가장치의 성능이 크게 저하되는 문제점이 있었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) KR 100158165 B1

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 상술한 종래의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 비선형 동역학 모델 특성을 가지는 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치를 보다 용이하고 효과적으로 제어할 수 있는 제어 시스템 및 제어 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명에 따른 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 시스템은 센서부, 퍼지 가중합수 산출부, 및 제어 입력 산출부를 포함한다.

[0013] 센서부는 미리 설정된 차량 상태 정보, 및 차량의 전자 유압식 액추에이터 상태 정보를 측정하고, 퍼지 가중합수 산출부는 전자 유압식 액추에이터 상태 정보를 이용하여 미리 설정된 퍼지 규칙에 대응하는 퍼지 가중합수를 산출하며, 제어 입력 산출부는 차량의 주행 상태 정보, 퍼지 가중합수, 및 퍼지 가중합수에 대응하여 미리 설정

된 이득 행렬을 이용하여 전자 유압식 액추에이터의 제어 입력을 산출한다.

[0014] 이와 같은 구성에 의하면, 서스펜션 시스템과 액추에이터 시스템의 소속 함수가 퍼지 규칙을 공유하는 병렬 분산 보상기를 사용하여 설계함으로써 복잡한 비선형 시스템을 하위 선형 시스템들의 가중치된 합으로 근사화시킬 수 있고 선형 시스템 이론들을 차용한 제어 시스템을 구현할 수 있게 되어, 비선형 동역학 모델 특성을 가지는 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치를 보다 용이하고 효과적으로 제어할 수 있게 된다.

[0015] 또한, 서스펜션 시스템과 액추에이터 시스템의 제어부를 나누지 않고 통합된 모델을 사용함으로써, 서스펜션 시스템과 액추에이터 시스템을 포함한 전체 시스템의 안정성을 엄밀히 보장할 수 있다.

[0017] 이때, 센서부는 미리 설정된 노면 상태 정보를 더 측정하고, 제어 입력 산출부는 측정된 노면 상태 정보를 더 이용하여 제어 입력을 산출할 수 있다. 이와 같은 구성에 의하면, 미리보기(preview) 정보를 사용하여 액추에이터를 제어하기 때문에 액추에이터의 지연(delay) 문제를 해결할 수 있을 뿐만 아니라, 보다 우수한 제어 성능을 제공할 수 있게 된다.

[0019] 또한, 전자 유압식 액추에이터 상태 정보는 전자 유압식 액추에이터의 제어력과 스톱밸브 변위 정보일 수 있다.

[0021] 또한, 제어 입력 산출부는 센서부에서 전송된 정보를 이용하여 상태 변수를 구성하고, 미리 설정된 이득행렬에 적용하여 차량의 전자 유압식 액추에이터의 입력 전압을 산출할 수 있다.

[0023] 또한, 제어 입력 산출부는 수학적

$$u(t) = \sum_{j=1}^4 h_j C_{C_j} x_C(k),$$

[0024]

[0025] 에 의해 전자 유압식 액추에이터의 제어 입력(u(t))을 산출하며, h_j 는 퍼지 가중함수, C_{C_j} 는 이득 행렬, $x_C(k)$ 는 제어 시스템의 상태 벡터일 수 있다.

[0027] 이하, 상기 시스템을 방법의 형태로 구현한 발명과 상기 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 기록 매체가 함께 개시된다.

발명의 효과

[0029] 본 발명에 의하면, 서스펜션 시스템과 액추에이터 시스템의 소속 함수가 퍼지 규칙을 공유하는 병렬 분산 보상기를 사용하여 설계함으로써 복잡한 비선형 시스템을 하위 선형 시스템들의 가중치된 합으로 근사화시킬 수 있고 선형 시스템 이론들을 차용한 제어 시스템을 구현할 수 있게 되어, 비선형 동역학 모델 특성을 가지는 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치를 보다 용이하고 효과적으로 제어할 수 있게 된다.

[0031] 또한, 서스펜션 시스템과 액추에이터 시스템의 제어부를 나누지 않고 통합된 모델을 사용함으로써, 서스펜션 시스템과 액추에이터 시스템을 포함한 전체 시스템의 안정성을 엄밀히 보장할 수 있다.

[0033] 또한, 미리 보기(preview) 정보를 사용하여 액추에이터를 제어하기 때문에 액추에이터의 지연(delay) 문제를 해결할 수 있을 뿐만 아니라, 보다 우수한 제어 성능을 제공할 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

[0035] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 시스템의 개략적인 블록도.

도 2는 각각의 퍼지규칙에 대한 퍼지 가중함수를 나타낸 표.

도 3은 새로 증강된(augmented) 시스템 접근법에 대한 개요(outline)를 도시한 도면.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 방법을 수행하기 위한 개략적인 흐름도.

도 5 내지 도 7은 본 발명의 제어 특성을 도시한 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0036] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명한다.
- [0037] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 시스템의 개략적인 블록도이다. 도 1에서, 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 시스템(100)은 센서부(110), 퍼지 가중합수 산출부(120), 및 제어 입력 산출부(140)를 포함한다.
- [0038] 도 1에서, 능동형 현가장치 제어 시스템(100)의 각 구성 요소들은 하드웨어만으로도 구현할 수 있겠으나, 하드웨어 및 하드웨어상에서 동작하는 소프트웨어를 이용하여 구현될 수 있다.
- [0039] 또한, 능동형 현가장치 제어 시스템(100)의 각 구성 요소들은 하나의 ECU에 통합되거나 각각 개별적으로 구성될 수 있으며, 제어기 및 제어로직을 저장한 ECU의 형태로 구현될 수도 있다.
- [0041] 센서부(110)는 미리 설정된 차량 상태 정보, 및 차량의 전자 유압식 액추에이터 상태 정보, 및 미리 설정된 노면 상태 정보를 측정한다. 이때, 전자 유압식 액추에이터 상태 정보는 전자 유압식 액추에이터의 제어력과 스톱밸브 변위 정보일 수 있다.
- [0042] 보다 구체적으로, 차량 상태 정보는 능동형 현가장치에서 일반적으로 사용되는 정보로서, 차량의 서스펜션 제어에 필요한 어떠한 형태의 정보도 사용 가능하며, 차량의 수직방향 속도나 가속도 정보를 예로 들 수 있다.
- [0043] 또한, 전자 유압식 액추에이터 상태 정보는 전자 유압식 액추에이터가 발생시키는 힘과 전자유압식 액추에이터의 스톱밸브 변위이고, 미리 설정된 노면 상태 정보는 차량의 앞쪽에 도로 표면을 감지할 수 있는 초음파 펄스방식의 음파탐지 센서(sonar sensor) 등을 이용하여 감지된 바퀴가 지나갈 노면의 상태에 대한 정보일 수 있다.
- [0045] 퍼지 가중합수 산출부(120)는 전자 유압식 액추에이터 상태 정보를 이용하여 미리 설정된 퍼지 규칙에 대응하는 퍼지 가중합수를 산출한다. 즉, 전자 유압식 액추에이터가 발생시키는 힘과 전자유압식 액추에이터의 스톱밸브 변위를 검출하여 이를 바탕으로 퍼지 가중합수를 산출한다.
- [0047] 제어 입력 산출부(130)는 차량의 주행 상태 정보, 퍼지 가중합수, 및 퍼지 가중합수에 대응하여 미리 설정된 이득 행렬을 이용하여 전자 유압식 액추에이터의 제어 입력을 산출한다.
- [0048] 보다 상세하게, 제어 입력 산출부(130)는 센서부(110)에서 취득한 노면상태 정보, 퍼지 가중합수 산출부(120)에서 취득한 퍼지 멤버십 함수값 등을 사용하여 리아푸노브 안정성 법칙과 선형 행렬 부등식방법으로 산출된 제어 시스템의 이득행렬을 계산한다.
- [0049] 제어 시스템의 이득 행렬을 구하기 위해서는 시스템 모델이 필요한데, 이는 전자 유압식 액추에이터와 현가장치 동역학 및 도로 노면상태에 관한 미리보기 정보를 포함한 새로운 시스템 모델을 사용한다. 새로운 모델은 전자 유압식 액추에이터 동역학을 포함하고 있기 때문에 비선형 모델이 된다. 새로운 모델의 비선형성을 효과적으로 다루기 위해 “nonlinearity” 방법을 통해 Takagi-Sugeno(T-S) 퍼지 모델로 변형한다.
- [0050] 이와 같이, 서스펜션 시스템과 제어기의 소속 함수가 퍼지 규칙을 공유하는 병렬 분산 보상기를 사용하여 설계함으로써 복잡한 비선형 시스템을 하위 선형 시스템들의 가중치된 합으로 근사화시킬 수 있고 선형 시스템 이론들을 차용한 제어기를 구현할 수 있다.
- [0052] 이하, 보다 구체적인 예와 함께 본 발명을 더욱 상세하게 설명한다.
- [0053] 제안하는 제어 시스템을 구현하기 위해서는 절반차량(half-vehicle) 서스펜션 동역학, 전자 유압식 액추에이터 동역학, 및 도로 미리보기 정보 동역학이 포함된 새로운 상태 공간 모델을 구성해야한다.
- [0054] 가장 기본적인 선형 시불변 절반 차량 서스펜션 시스템의 상태 공간 모델은 식(1)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + B_u u(t) + B_w w(t), \\ z_1(t) &= C_1 x(t) + D_{1u} u(t), \\ z_2(t) &= C_2 x(t) + D_{2u} u(t), \\ y(t) &= Cx(t) + D_u u(t),\end{aligned}$$

[0056] 식(1)

[0058] 여기에서 변수 x , u , w , y 는 각각 시스템의 상태(state), 입력(input), 외란(external disturbance), 출력(output)을 의미한다. 또한, A , B_u , B_w 는 앞의 변수들 간의 상관관계를 표현하는 행렬들이다.

[0060] 전자 유압식 액추에이터 동역학은 유압 실린더 부분과 스톱밸브 변위 부분으로 구성되며 식(2)와 같이 표현될

수 있다.

$$\begin{aligned}\dot{F}_i(t) &= -\beta F_i(t) - \alpha A_s^2 (\dot{z}_{si}(t) - \dot{z}_{ui}(t)) \\ &\quad + \gamma_a A_s \sqrt{P_s - \frac{\text{sgn}(x_{vi}(t)) F_i(t)}{A_s}} x_{vi}(t), \\ \dot{x}_{vi}(t) &= \frac{1}{\tau} (-x_{vi}(t) + K_v u_i(t)),\end{aligned}$$

[0062]

식(2)

[0064]

식(2)의 전자 유압식 액추에이터 동역학 방정식은 식(3)과 같은 상태 공간 모델로 다시 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned}\dot{x}_a(t) &= A_a x_a(t) + B_a u_a(t) + \Delta_a x(t), \\ x_a(t) &= \begin{bmatrix} F_f(t) & F_r(t) & x_{vf}(t) & x_{vr}(t) \end{bmatrix}^T, \\ u_a &= \begin{bmatrix} u_f(t) & u_r(t) \end{bmatrix}^T, \\ A_a(t) &= \begin{bmatrix} -\beta & 0 & \gamma A_s f_f(t) & 0 \\ 0 & -\beta & 0 & \gamma A_s f_r(t) \\ 0 & 0 & -\frac{1}{\tau} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\tau} \end{bmatrix}, \\ B_a &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{K_c}{\tau} & 0 \\ 0 & \frac{K_c}{\tau} \end{bmatrix}, \\ \Delta_a &= \begin{bmatrix} 0_{1 \times 4} & -\alpha A_s^2 & 0 & \alpha A_s^2 & 0 \\ 0_{1 \times 4} & 0 & -\alpha A_s^2 & 0 & \alpha A_s^2 \\ 0_{1 \times 4} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0_{1 \times 4} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \\ f_f(t) &= \sqrt{P_s - \frac{\text{sgn}(x_{vf}(t)) F_f(t)}{A_s}}, \\ f_r(t) &= \sqrt{P_s - \frac{\text{sgn}(x_{vr}(t)) F_r(t)}{A_s}}.\end{aligned}$$

[0066]

식(3)

[0068]

식(1)의 절반 차량 서스펜션 시스템의 상태 공간 모델과 식(3)의 전자 유압식 액추에이터 상태 공간 모델을 병합하면 식(4)와 같은 상태 공간 모델을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}\dot{\bar{x}}(t) &= \bar{A}(t) \bar{x}(t) + \bar{B} u(t) + \bar{B}_w w(t), \\ \bar{y}(t) &= \bar{C} \bar{x}(t), \quad \bar{z}_1(t) = \bar{C}_1 \bar{x}(t), \quad \bar{z}_2(t) = \bar{C}_2 \bar{x}(t), \\ \bar{x}(t) &= \begin{bmatrix} x(t) & x_a(t) \end{bmatrix}^T, \\ \bar{A}(t) &= \left[\begin{array}{c|c} A & B_u \\ \hline \Delta_a & A_a(t) \end{array} \right], \quad \bar{B}_w = \begin{bmatrix} B_w \\ 0_{4 \times 2} \end{bmatrix}, \quad \bar{B} = \begin{bmatrix} 0_{8 \times 2} \\ B_a \end{bmatrix}, \\ \bar{C}_1 &= \begin{bmatrix} C_1 & D_{1u} & 0_{2 \times 2} \end{bmatrix}, \quad \bar{C}_2 = \begin{bmatrix} C_2 & D_{2u} & 0_{4 \times 2} \end{bmatrix}, \\ \bar{C} &= \begin{bmatrix} C & D_u & 0_{3 \times 2} \end{bmatrix}.\end{aligned}$$

[0070]

식(4)

[0072]

이때 상기 모델은 전자유압식 액추에이터 항목 때문에 비선형 모델이 된다. 따라서 이러한 비선형성을 효과적으로 다루기 위해 “nonlinearity” 방법을 통해 Takagi-Sugeno (T-S) 퍼지 모델로 변형한다. 액추에이터 힘 $F_i(t)$ (여기서 i 는 각각 f 와 r 을 나타냄, f =앞바퀴, r =뒷바퀴)은 실제로 최소값 $F_{i,min}$ 및 최대값 $F_{i,max}$ 에 의해 제한된다. 따라서, 비선형 함수 $f_i(t)$ 는 또한 최소값 $f_{i,min}$ 및 최대값 $f_{i,max}$ 에 의해 제한된다.

[0073] 이를 이용해 f_i 를 퍼지 변수로 대체하여 식(5)와 같은 멤버십 함수에 의해 T-S 퍼지 모델로 변형될 수 있다. 도 2는 각각의 퍼지규칙에 대한 퍼지 가중함수를 나타낸 표이다.

$$f_i = M_{1i}(\zeta_i(t))f_{i,max} + M_{2i}(\zeta_i(t))f_{i,min},$$

$$M_{1i}(\zeta_i(t)) = \frac{f_i(t) - f_{i,min}}{f_{i,max} - f_{i,min}},$$

$$M_{2i}(\zeta_i(t)) = \frac{f_{i,max} - f_i(t)}{f_{i,max} - f_{i,min}},$$

식(5)

[0075]

[0077] 도 2에 표시된 퍼지 가중함수를 포함하고, 식(1)과 식(3)의 상태방정식을 결합한 T-S퍼지 상태 방정식은 식(6)과 같다.

$$\dot{\bar{x}}(t) = \sum_{i=1}^4 h_i(\zeta(t))\bar{A}_i\bar{x}(t) + \bar{B}u(t) + \bar{B}_w w(t),$$

$$\bar{y}(t) = \bar{C}\bar{x}(t), \quad \bar{z}_1(t) = \bar{C}_1\bar{x}(t), \quad \bar{z}_2(t) = \bar{C}_2\bar{x}(t),$$

식(6)

[0079]

[0081] 디지털 컴퓨터를 통해 제어기를 구성하고 도로의 미리보기 정보를 포함한 동역학을 결합하기 위해서는 상기 모델을 zero order hold(ZOH) 방법을 통해 이산시간 모델로 변환해야 한다. 새롭게 얻어진 이산시간 상태방정식은 식(7)과 같다.

$$\bar{x}(k+1) = \sum_{i=1}^4 h_i\bar{A}_{d,i}\bar{x}(k) + \bar{B}_d u(k) + \bar{B}_{d,w} w(k),$$

$$\bar{y}(k) = \bar{C}_d \bar{x}(k), \quad \bar{z}_1(k) = \bar{C}_{d,1} \bar{x}(k),$$

$$\bar{z}_2(k) = \bar{C}_{d,2} \bar{x}(k),$$

식(7)

[0083]

[0085] 이때 제어기를 구성하는 전자제어 유닛(electronic control unit; ECU)의 샘플링 시간은 T_s 이다.

[0087]

차량의 앞쪽에 도로 표면을 감지할 수 있는 음파탐지 센서(sonar sensor)를 설치하여 음파에 의해 도로 표면의 상태를 감지하고 센서부(110)에서 취득한 뒤 이를 분석하여 장애물의 속도로 변환한다. 센서부(110)에서는 현재 시간 t 보다 T_p 시간 앞선 ($t+T_p$) 시간의 도로 장애물의 속도를 측정할 수 있다고 가정한다. $N_p = T_p/T_s$ 라고 정의하면, 도로 불규칙의 미리보기 정보로서 상태 $x_p(k)$ 를 식(8)과 같이 표시할 수 있다.

$$x_p(k) = [w_f(k) \ w_r(k) \ w_f(k+1) \ w_r(k+1) \\ \cdots \ w_f(k+N_p) \ w_r(k+N_p)]^T,$$

식(8)

[0089]

[0091] 따라서 도로의 불규칙성에 대한 상태공간방정식은 식(9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$x_p(k+1) = A_p x_p(k) + B_{p,w} w(k+N_p+1),$$

$$y_p(k) = C_p x_p(k) = w(k+N_p),$$

$$A_p = \left[\begin{array}{c|ccc} 0_{1 \times 2} & & & \\ \vdots & & & \\ 0_{1 \times 2} & & \mathbf{I} & \\ \hline 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 1} & \cdots & 0_{2 \times 1} \end{array} \right], \quad B_{p,w} = \left[\begin{array}{c} 0_{1 \times 2} \\ \vdots \\ 0_{1 \times 2} \\ \hline \mathbf{I} \end{array} \right],$$

$$C_p = [\ 0_{2 \times 1} \quad 0_{2 \times 1} \quad \cdots \quad \mathbf{I} \],$$

식(9)

[0093]

[0095] 상기 모델을 앞서서 구한 T-S 퍼지 모델과 병합한다. 식(1)에 나타난 절반 차량 서스펜션 시스템의 상태 공간 모델과 식(3)에 나타난 전자 유압식 액추에이터 상태 공간 모델 그리고 식(9)에 나타나는 도로 불규칙성에 대한 상태 공간 모델을 통합한 최종 모델은 식(10)과 같은 T-S 퍼지 모델로 표현된다.

$$\begin{aligned}
 \tilde{x}(k+1) &= \sum_{i=1}^4 h_i \tilde{A}_i \tilde{x}(k) + \tilde{B}u(k) + \tilde{B}_w w(k + N_p + 1), \\
 \tilde{y}(k) &= \tilde{C} \tilde{x}(k), \quad \tilde{z}_1(k) = \tilde{C}_1 \tilde{x}(k), \quad \tilde{z}_2(k) = \tilde{C}_2 \tilde{x}(k), \\
 \tilde{A}_i &= \left(\begin{array}{c|cc} \bar{A}_{d,i} & \bar{B}_{d,w} & 0 \\ \hline 0 & \bar{A}_p & \end{array} \right), \quad \tilde{C} = \left(\begin{array}{c|cc} \bar{C}_d & 0 & 0 \\ \hline 0 & & C_p \end{array} \right), \\
 \tilde{B}_w &= \left(\begin{array}{c} 0 \\ \hline \bar{B}_{p,w} \end{array} \right), \quad \tilde{B} = \left(\begin{array}{c} \bar{B}_d \\ \hline 0 \end{array} \right), \\
 \tilde{C}_1 &= (\bar{C}_{d,1} \mid 0 \quad 0), \quad \tilde{C}_2 = (\bar{C}_{d,2} \mid 0 \quad 0).
 \end{aligned}$$

[0097]

[0099]

이때 병렬 분산 보상 (PDC)의 개념은 식(10)에 나타난 T-S 퍼지 시스템을 위한 적절한 컨트롤러를 설계하는데 사용된다. 식(11)의 퍼지 제어기는 식(10)의 퍼지 시스템과 동일한 퍼지 집합을 공유한다고 가정한다.

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_C(k) &= \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 h_i h_j \{ A_{C_{ij}} x_C(k) + B_{C_j} \tilde{y}(k) \}, \\
 u(t) &= \sum_{j=1}^4 h_j C_{C_j} x_C(k),
 \end{aligned}$$

[0101]

[0103]

여기서 x_C 는 제어기 i 의 상태 벡터이며 $i, j = 1, 2, 3, 4$ 값을 가진다. 적절한 차원의 $A_{C_{ij}}$, B_{C_j} 및 C_{C_j} 는 구해야 하는 제어기 이득행렬이다.

[0105]

퍼지 시스템과 제어기를 포함한 폐루프 T-S 퍼지 시스템(closed-loop system)은 식(12)와 같다.

$$\begin{aligned}
 \dot{\tilde{x}}_{CL}(k) &= \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 h_i h_j \left\{ A_{CL_{ij}} \tilde{x}_{CL}(k) \right. \\
 &\quad \left. + B_{CL_{ij}} w(k + N_p + 1) \right\}, \\
 \tilde{z}_1(k) &= \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 h_i h_j C_{1,CL_{ij}} \tilde{x}_{CL}(k), \\
 \tilde{z}_2(k) &= \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 h_i h_j C_{2,CL_{ij}} \tilde{x}_{CL}(k), \\
 \tilde{x}_{CL}(k) &:= [\tilde{x}^T(k) \quad x_C^T(k)]^T \\
 A_{CL_{ij}} &:= \begin{bmatrix} \tilde{A}_i & \tilde{B}C_{C_j} \\ B_{C_j}\tilde{C} & A_{C_{ij}} \end{bmatrix}, \quad B_{CL_{ij}} := \begin{bmatrix} \tilde{B}_w \\ 0 \end{bmatrix}, \\
 C_{1,CL_{ij}} &:= [\tilde{C}_1 \quad 0], \quad C_{2,CL_{ij}} := [\tilde{C}_2 \quad 0].
 \end{aligned}$$

[0107]

[0109]

상기 폐루프 T-S 퍼지 시스템이 점근적으로 안정하며, $w(k+N_p+1)$ 가 $z_1(k)$ 에 미치는 영향을 최소화하는, 즉, 전 달함수의 이득값을 최소화하는 제어기는 식(13)에 나타난 LMI 조건을 해결함으로써 얻어질 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & \begin{pmatrix} \hat{R} & I \\ * & \hat{S} \end{pmatrix} > 0, \\
 & \Xi_{H,ii} > 0 \\
 & \Xi_{H,ij} + \Xi_{H,ji} > 0, \quad i < j \\
 & \Xi_{L,ii} > 0 \\
 & \Xi_{L,ij} + \Xi_{L,ji} > 0, \quad i < j, \\
 & \begin{pmatrix} \gamma_L I & \tilde{C}_2 & \tilde{C}_2 \hat{S} \\ * & \hat{R} & I \\ * & * & \hat{S} \end{pmatrix} > 0, \\
 & \Xi_{H,ij} = \begin{pmatrix} \hat{R} & I & 0 \\ * & \hat{S} & 0 \\ * & * & \gamma_H I \\ * & * & * \\ * & * & * \\ * & * & * \end{pmatrix} \\
 & \begin{pmatrix} \hat{R}\tilde{A}_i + \hat{B}_{c_j}\tilde{C} & \hat{A}_{c_{ij}} & \hat{R}\tilde{B}_w \\ \tilde{A}_i & \tilde{A}_i\hat{S} + \tilde{B}\hat{C}_{c_j} & \tilde{B}_w \\ \tilde{C}_1 & \tilde{C}_1\hat{S} & 0 \\ \hat{R} & 0 & 0 \\ * & \hat{S} & 0 \\ * & * & \gamma_H I \end{pmatrix} \\
 & \Xi_{L,ij} = \begin{pmatrix} \hat{R} & I & \hat{R}\tilde{A}_i + \hat{B}_{c_j}\tilde{C} & \hat{A}_{c_{ij}} & \hat{R}\tilde{B}_w \\ * & \hat{S} & \tilde{A}_i & \tilde{A}_i\hat{S} + \tilde{B}\hat{C}_{c_j} & \tilde{B}_w \\ * & * & \hat{R} & I & 0 \\ * & * & * & \hat{S} & 0 \\ * & * & * & * & I \end{pmatrix}, \quad \text{식(13)}
 \end{aligned}$$

[0111]

[0113]

이는 Matlab에서 제공하는 LMI Solver 툴박스를 통해 구해질 수 있다. 최종적으로 총 4개의 이득행렬(Acij, Bci 및 Cci)을 얻게 된다. 식(13)의 LMI 조건을 풀어서 얻어진 4개의 이득행렬(Acij, Bci 및 Cci)은 식(11)에 나타난 퍼지 동적출력력제환 제어기에 적용된다.

[0115]

도 3은 새로 증강된(augmented) 시스템 접근법에 대한 개요(outline)를 도시한 도면이다. 새롭게 오그멘티드된 시스템은 다음과 같이 하프비하를 서스펜션 모델, 앞바퀴와 뒷바퀴에 대한 전자 유압식(electro-hydraulic) 액추에이터 그리고 도로 프로파일에 대한 프리뷰 정보를 포함한다.

[0116]

새로운 모델은 전자 유압식 액추에이터를 포함하고 있어서 비선형(nonlinear) 시스템이 되는데 이를 효과적으로 다루기 위해 퍼지 제어를 개발한다.

[0117]

제안하는 제어기는 입력시간 지연을 어느 정도 대처할 수 있게 되며, 프리뷰 제어를 사용함으로써 서스펜션 성능을 더 향상시킬 수 있게 된다. 또한, LMI 기반으로 제어를 개발하기 때문에 다양한 서스펜션 요구 조건을 쉽게 충족시킬 수 있다. 또한, 강인제어 기법, H 인피니티 제어기이기 때문에 기존의 최적제어 기법에 비해 모델링 에러나 외부 외란에 대해 강인한 성능을 가지고 있다.

[0119]

위의 모든 과정은 오프라인으로 진행되며, 위의 절차를 통해 4개의 이득행렬만 얻은 다음 ECU에 이 값을 저장해 놓기만 하면 된다. 이 과정은 제안하는 전자 유압식 능동형 현가장치 미리보기 제어 시스템의 개략도를 나타낸 도 3에서 빨간 박스로 표시되어 있으며, 새롭게 제안한 통합모델을 사용하여 제어기 이득행렬을 얻음을 나타낸다.

[0121]

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 방법을 수행하기 위한 개략적인 흐름도이다. 도 4에서 먼저, 센서부에서 제어에 필요한 절반차량 서스펜션 모델의 상태 변수를

적절한 센서로 취득한 정보, 앞/뒷바퀴의 전자 유압식 액추에이터의 제어력과 스톱밸브 변위를 적절한 센서로 취득한 정보, 및 도로 표면을 감지할 수 있는 음파탐지 센서를 사용하여 취득한 도로 미리보기 정보를 저장 및 제어에 필요한 변수로 변환한다(S110).

[0122] 이어서, 센서부에서 저장한 전자 유압식 액추에이터의 제어력값과 스톱밸브 변위값을 퍼지 가중함수 산출부에 전송하면 퍼지 가중함수 산출부에서 식(5)와 도 2에 표시된 식을 통해 퍼지 가중함수를 계산한 후 퍼지 입력 계산부로 전송한다(S120).

[0123] 마지막으로, 센서부에서 저장한 절반차량 서스펜션 모델의 상태변수 및 도로 미리보기 정보를 제어 입력 산출부에 전송하면 이를 바탕으로 상태 변수를 구성하고 퍼지 가중함수 산출부에서 전송한 퍼지 가중함수 및 오프라인 과정에서 구한 4개의 이득행렬 값과 결합하여 제어 입력을 계산한다(S130). 이때, 산출된 출력값은 앞/뒤 바퀴의 전자유압식 액추에이터의 입력 전압 값이며, 이 값을 통해 전자 유압식 액추에이터가 작동하게 된다.

[0124] 도 5 내지 도 7은 본 발명의 제어 특성을 도시한 그래프이다. 도 5는 본 발명에 따른 요철 응답(Bump response)을, 도 6은 험로 응답(Rough road response)을 각각 도시하고 있다. 도 5와 도 6에서 본 발명은 안정적인 제어 품질을 보장하고, 요철(bump)과 험로(rough road)에 대해 모두 서스펜션 특성이 개선되는 것을 확인할 수 있다.

[0125] 도 7은 본 발명의 상하동요 가속(heave acceleration) 특성을 도시하고 있다. 도 7에서 본 발명은 4~8Hz에 걸쳐 전달함수의 이득이 종래에 비해 더 낮은 것을 확인할 수 있다. 인체는 4~8Hz의 주파수에 대해 민감하기 때문에, 본 발명에 의하면 인체가 보다 차량 운행 중 편안함을 느끼게 된다.

[0127] 정리하자면, 본 발명에서 제안하는 제어 시스템은 크게 새로운 통합모델 및 제어로 구성할 수 있다. 통합모델은 전자 유압식 액추에이터가 장착된 능동형 서스펜션 미리보기 제어 시스템의 제어기 이득 행렬을 구하기 위해 사용되며, 절반차량 서스펜션 동역학, 앞/뒤 바퀴의 전자 유압식 액추에이터의 동역학 및 도로 미리보기 정보를 포함한다. 새로운 통합모델은 비선형 모델이기 때문에 “nonlinearity” 방법을 통해 Takagi-Sugeno (T-S) 퍼지 모델로 변형해야 한다.

[0128] 제어기는 센서부, 퍼지 가중함수 산출부, 제어 입력 산출부로 구성될 수 있다. 이는 하나의 ECU에 통합되거나 개별적으로 구성될 수 있다. 센서부는 절반차량 서스펜션 모델의 상태 변수를 적절한 센서로 취득한 정보, 앞/뒤 바퀴의 전자 유압식 액추에이터의 제어력과 스톱밸브 변위를 적절한 센서로 취득한 정보, 도로 표면을 감지할 수 있는 음파탐지 센서를 사용하여 취득한 도로 미리보기 정보를 저장, 제어에 필요한 변수로 변환하고, 퍼지 가중함수 산출부 및 제어 입력 산출부에 전송한다.

[0129] 퍼지 가중함수 산출부는 센서부에서 전송된 전자 유압식 액추에이터의 제어력값과 스톱밸브 변위 값을 식(5)와 도 2에 표시된 식을 통해 퍼지 가중함수를 산출한다.

[0130] 제어 입력 산출부는 센서부와 퍼지 가중함수 산출부에서 전송된 정보를 바탕으로 상태 변수를 구성하고, 제시된 통합모델을 통해 오프라인 과정으로 구한 4개의 이득행렬 값과 결합하며 앞/뒤 바퀴의 전자 유압식 액추에이터의 입력 전압 값을 계산하고 이를 액추에이터에 전송한다.

[0131] 본 발명에 의하면, 서스펜션 시스템과 액추에이터의 제어부를 나누지 않고 전자 유압식 액추에이터와 현가장치를 포함한 통합모델을 사용하여 제어함으로써 시스템과 액추에이터를 포함한 전체 시스템의 안정성을 보다 엄밀히 보장할 뿐만 아니라 제어 품질의 신뢰성을 보장한다.

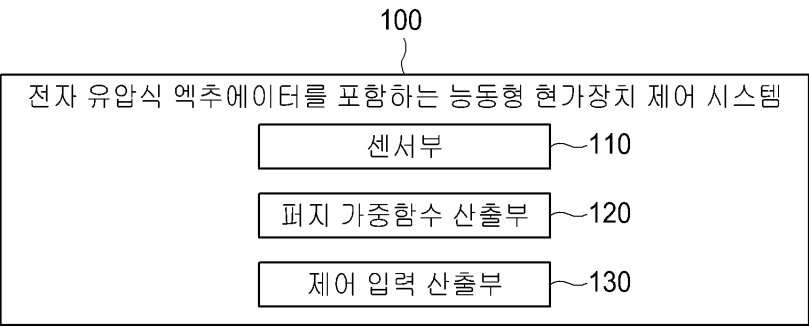
[0133] 본 발명이 비록 일부 바람직한 실시예에 의해 설명되었지만, 본 발명의 범위는 이에 의해 제한되어서는 아니되고, 특허청구범위에 의해 뒷받침되는 상기 실시예의 변형이나 개량에도 미쳐야 할 것이다.

부호의 설명

- [0135] 100: 전자 유압식 액추에이터를 포함하는 능동형 현가장치 제어 시스템
- 110: 센서부
- 120: 퍼지 가중함수 산출부
- 130: 제어 입력 산출부

도면

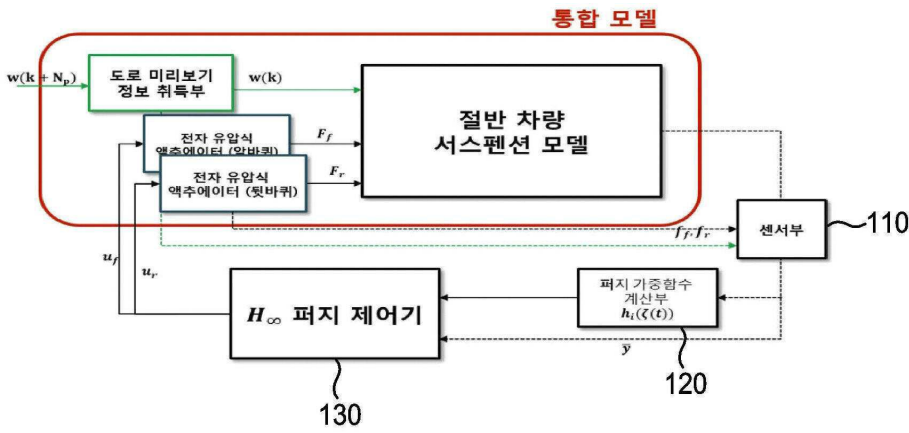
도면1



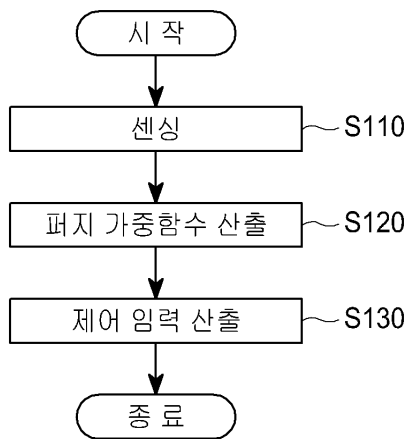
도면2

Rule	$\zeta_f(t)$	$\zeta_r(t)$	Fuzzy weight
1	Big	Big	$h_1(\zeta(t)) = M_{1f}(\zeta_f(t)) \times M_{1r}(\zeta_r(t))$
2	Big	Small	$h_2(\zeta(t)) = M_{1f}(\zeta_f(t)) \times M_{2r}(\zeta_r(t))$
3	Small	Big	$h_3(\zeta(t)) = M_{2f}(\zeta_f(t)) \times M_{1r}(\zeta_r(t))$
4	Small	Small	$h_4(\zeta(t)) = M_{2f}(\zeta_f(t)) \times M_{2r}(\zeta_r(t))$

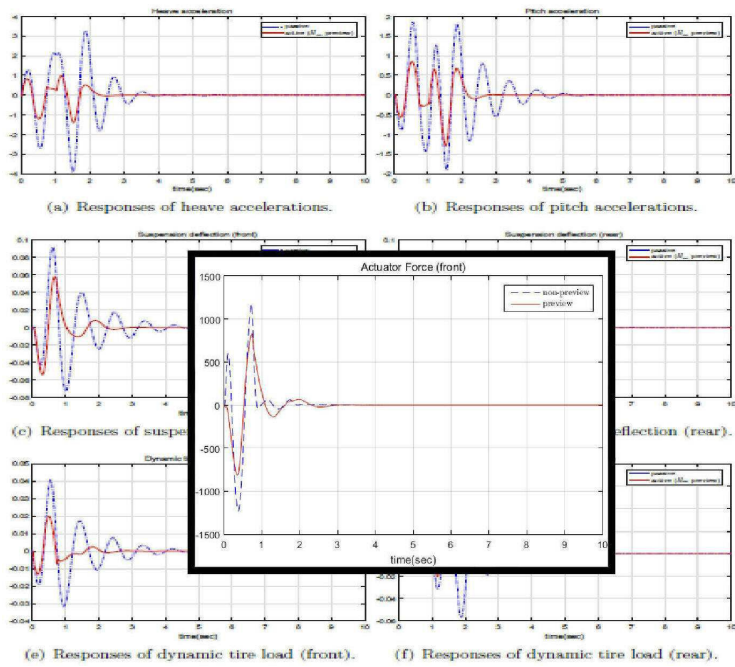
도면3



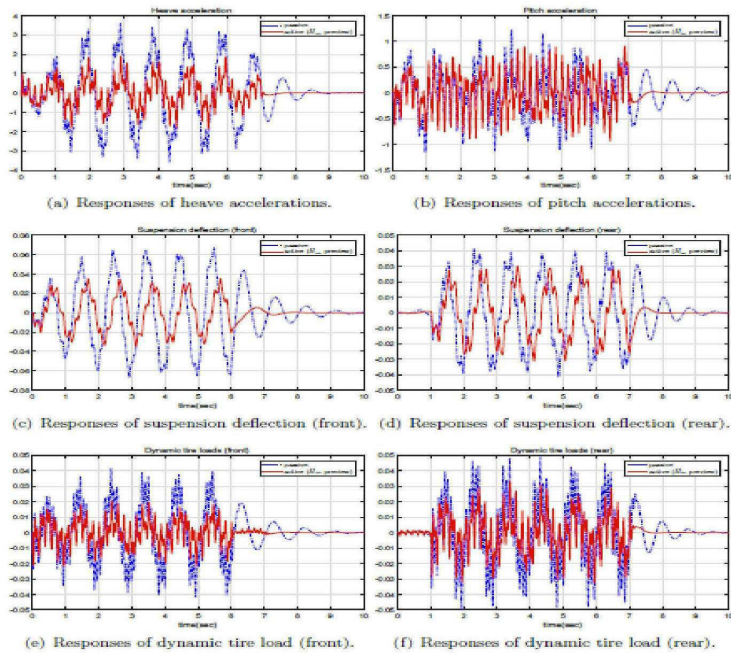
도면4



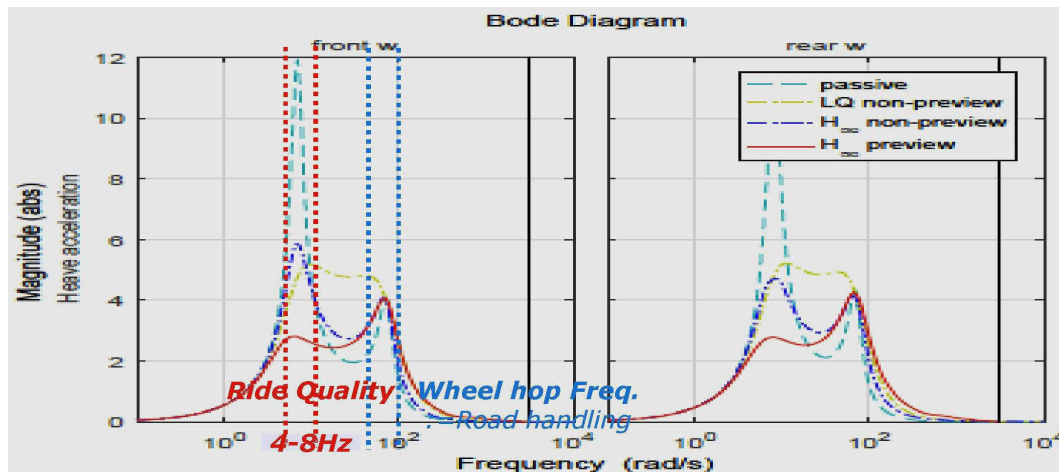
도면5



도면6



도면7



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 9

【변경전】

상기 센서부에서

【변경후】

센서부에서