

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2024-0095964
(43) 공개일자 2024년06월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61G 5/10 (2006.01) A61G 5/04 (2006.01)
G05D 13/00 (2023.01)
(52) CPC특허분류
A61G 5/10 (2013.01)
A61G 5/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0178131
(22) 출원일자 2022년12월19일
심사청구일자 2022년12월19일

(71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 갯벌로 27, 인천대학교 이노베이션센터(송도동)
(72) 발명자
강창목
인천광역시 연수구 컨벤시아대로252번길 10, 1601동 2004호(송도동, 송도 더샵 파크애피뉴 아파트)
안대용
인천광역시 미추홀구 수봉로151번길 20(주안동)
(74) 대리인
특허법인충정

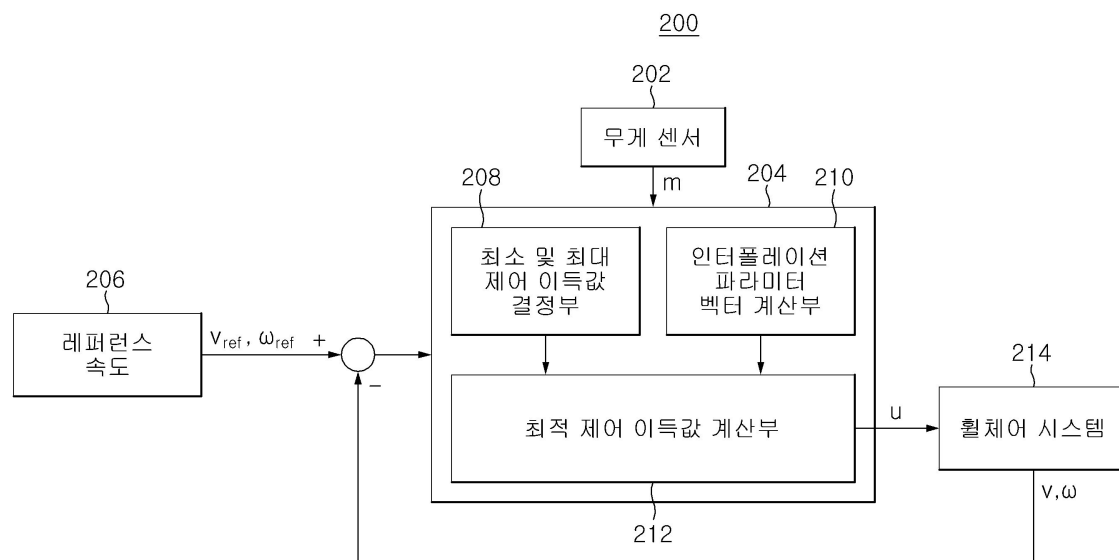
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 장치는, 탑승자의 무게를 센싱하여 전동 휠체어의 총 질량을 획득하는 무게 센서; 및 상기 전동 휠체어의 총 질량에 기반하여 상기 전동 휠체어의 속도를 제어하기 위한 최적 제어 이득값을 계산하는 선형 파라미터 가변(LPV: Linear Parameter Varying) 제어를 포함한다.

대표도



(52) CPC특허분류

G05D 13/00 (2023.01)

A61G 2200/34 (2013.01)

A61G 2203/10 (2013.01)

A61G 2203/44 (2013.01)

A61G 2203/70 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1615012635
과제번호	150648
부처명	국토교통부
과제관리(전문)기관명	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	(이관)혁신성장동력프로젝트(R&D)
연구과제명	데이터 기반 스마트시티 Use Case 개발(대구시)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	(재)대구테크노파크
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 장치에 의해 수행되는 방법으로서,

(A) 탑승자의 무게를 센싱하여 전동 휠체어의 총 질량을 획득하는 단계; 및

(B) 상기 전동 휠체어의 총 질량에 기반하여 상기 전동 휠체어의 속도를 제어하기 위한 최적 제어 이득값을 계산하는 단계를 포함하는, 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 단계 (B)는,

(B-1) 상기 전동 휠체어의 총 질량이 최소일 때의 제어 이득값 및 상기 전동 휠체어의 총 질량이 최대일 때의 제어 이득값을 결정하는 단계;

(B-2) 선형 매개변수 가변(LPV: Linear Parameter Varying) 제어 시스템에서의 인터폴레이션 파라미터 벡터를 계산하는 단계; 및

(B-3) 상기 전동 휠체어의 총 질량이 최소일 때의 제어 이득값, 상기 전동 휠체어의 총 질량이 최대일 때의 제어 이득값 및 상기 인터폴레이션 파라미터 벡터에 기반하여, 상기 전동 휠체어의 속도를 제어하기 위한 최적 제어 이득값을 계산하는 단계를 포함하는, 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 방법.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 전동 휠체어는 수학적 식 8에 기반하는 상태공간 모델로 표현되고,

[수학적 식 8]

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{A}(\theta)\mathbf{x} + \mathbf{B}(\theta)\mathbf{u} \\ \mathbf{A}(\theta) &= \begin{bmatrix} -2B_w\theta & 0 \\ 0 & -\frac{W^2B_w}{2JR^2 + W^2J_w} \end{bmatrix} \\ \mathbf{B}(\theta) &= \begin{bmatrix} \frac{R\theta}{W(2JR^2 + W^2J_w)} & \frac{R\theta}{W(2JR^2 + W^2J_w)} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

상기에서 $\theta = \frac{1}{mR^2 + 2J_w}$ 이고, $\mathbf{x}$ 는 상태변수로서 $\mathbf{x}^T = [v \ \omega]$ 이고, $\mathbf{u}$ 는 입력으로서 $\mathbf{u}^T = [\tau_r \ \tau_l]$ 이며,

B_w 는 마찰 계수, W 는 휠 간의 거리, J 는 휠체어의 관성 모멘트, J_w 는 휠의 관성 모멘트, R 은 휠 반경, m 은 전동 휠체어의 총 질량, v 는 휠체어의 선형 속도, ω 는 휠체어의 각속도, τ_r 는 우측 휠의 토크, τ_l 는 좌측 휠의 토크를 나타내는, 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 방법.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 인터폴레이션 파라미터 벡터($\xi_1(\theta)$, $\xi_2(\theta)$)는 수학식 11에 기반하여 계산되고,

[수학식 11]

$$\begin{bmatrix} \theta \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_{\min} & \theta_{\max} \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1(\theta) \\ \xi_2(\theta) \end{bmatrix},$$

$\theta_{\min}$ 은 m 이 최소일 때의 θ 값이고, $\theta_{\max}$ 은 m 이 최대일 때의 θ 값이며, m 의 최소값과 최대값은 각각 소정의 값으로 미리 결정되는, 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 방법.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 전동 휠체어의 속도를 제어하기 위한 최적 제어 이득값($K(\theta)$)은 수학식 12에 기반하여 계산되고,

[수학식 12]

$$K(\theta) = K(\underline{\theta})\xi_1(\theta) + K(\overline{\theta})\xi_2(\theta),$$

$K(\underline{\theta})$ 는 m 이 최소일 때의 제어 이득값이며, $K(\overline{\theta})$ 는 m 이 최대일 때의 제어 이득값인, 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 방법.

청구항 6

탑승자의 무게를 센싱하여 전동 휠체어의 총 질량을 획득하는 무게 센서; 및

상기 전동 휠체어의 총 질량에 기반하여 상기 전동 휠체어의 속도를 제어하기 위한 최적 제어 이득값을 계산하는 선형 파라미터 가변(LPV: Linear Parameter Varying) 제어기를 포함하는, 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 장치.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 선형 파라미터 가변(LPV: Linear Parameter Varying) 제어기는,

상기 전동 휠체어의 총 질량이 최소일 때의 제어 이득값 및 상기 전동 휠체어의 총 질량이 최대일 때의 제어 이득값을 결정하는 최소 및 최대 제어 이득값 결정부;

선형 매개변수 가변(LPV: Linear Parameter Varying) 제어 시스템에서의 인터폴레이션 파라미터 벡터를 계산하는 인터폴레이션 파라미터 벡터 계산부; 및

상기 전동 휠체어의 총 질량이 최소일 때의 제어 이득값, 상기 전동 휠체어의 총 질량이 최대일 때의 제어 이득값 및 상기 인터폴레이션 파라미터 벡터에 기반하여, 상기 전동 휠체어의 속도를 제어하기 위한 최적 제어 이득값을 계산하는 최적 제어 이득값 계산부를 포함하는, 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 장치.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 전동 휠체어는 수학식 8에 기반하는 상태공간 모델로 표현되고,

[수학식 8]

$$\dot{\mathbf{x}} = A(\theta)\mathbf{x} + B(\theta)u$$

$$A(\theta) = \begin{bmatrix} -2B_w\theta & 0 \\ 0 & -\frac{W^2B_w}{2JR^2 + W^2J_w} \end{bmatrix}$$

$$B(\theta) = \begin{bmatrix} \frac{R\theta}{W(2JR^2 + W^2J_w)} & \frac{R\theta}{W(2JR^2 + W^2J_w)} \end{bmatrix},$$

상기에서 $\theta = \frac{1}{mR^2 + 2J_w}$ 이고, $\mathbf{x}$ 는 상태변수로서 $\mathbf{x}^T = [v \ \omega]$ 이고, u 는 입력으로서 $\mathbf{u}^T = [\tau_r \ \tau_l]$ 이며,

B_w 는 마찰 계수, W 는 휠 간의 거리, J 는 휠체어의 관성 모멘트, J_w 는 휠의 관성 모멘트, R 은 휠 반경, m 은 전동 휠체어의 총 질량, v 는 휠체어의 선형 속도, ω 는 휠체어의 각속도, τ_r 는 우측 휠의 토크, τ_l 는 좌측 휠의 토크를 나타내는, 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 장치.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 인터폴레이션 파라미터 벡터($\xi_1(\theta)$, $\xi_2(\theta)$)는 수학적 11에 기반하여 계산되고,

[수학적 11]

$$\begin{bmatrix} \theta \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_{\min} & \theta_{\max} \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1(\theta) \\ \xi_2(\theta) \end{bmatrix},$$

$\theta_{\min}$ 은 m 이 최소일 때의 θ 값이고, $\theta_{\max}$ 는 m 이 최대일 때의 θ 값이며, m 의 최소값과 최대값은 각각 소정의 값으로 미리 결정되는, 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 장치.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 전동 휠체어의 속도를 제어하기 위한 최적 제어 이득값($K(\theta)$)은 수학적 12에 기반하여 계산되고,

[수학적 12]

$$K(\theta) = K(\underline{\theta})\xi_1(\theta) + K(\overline{\theta})\xi_2(\theta),$$

$K(\underline{\theta})$ 는 m 이 최소일 때의 제어 이득값이며, $K(\overline{\theta})$ 는 m 이 최대일 때의 제어 이득값인, 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 전기를 동력으로 하는 1인용 교통수단인 전동 휠체어, 전동 킥보드, 전기 자전거 등의 개인형 이동수단

(PM: Personal Mobility)은 관심도와 사용자가 급격하게 증가하고 있다. 그 중 전동 휠체어는 거동이 불편한 고령자, 사회적 약자, 장애인 등의 이동수단으로 널리 사용되고 있으며 최근 수년간에 걸쳐서 모터, 브레이크, 배터리 등의 여러 기술이 많이 개발되고 있다.

[0003] 하지만 기존의 전동 휠체어는 크기와 무게 때문에 휴대가 편리하지 않은 단점이 있어 교통약자들이 주 거주공간 이외에서 전동 휠체어를 사용하는 것이 상당한 어려움으로 다가오고 있다. 그에 따라서 병원 등의 의료기관과 여러 관광지에서 사회적 약자에게 휠체어를 대여하는 사업이 활발하게 진행되고 있다.

[0004] 또한 조이스틱을 이용하여 수동으로 조종하는 휠체어와 더불어 휠체어 탑승자가 휠체어를 조작하기 힘들거나 휠체어 조작의 편의성을 증가시키기 위해 탑승자의 개입 없이 이동할 수 있도록 자율주행 기술이 들어간 자율주행 전동 휠체어 개발도 여러 분야에서 연구 중에 있다.

[0005] 자율주행 전동 휠체어 제어전략 중에서 휠체어의 속도 제어는 휠체어 자율주행 제어 성능에 직접적으로 연관되어 있으므로 매우 중요한 요소이다. 휠체어의 속도 제어 전략 중 동역학을 고려한 상태 공간 제어를 설계할 경우 휠체어의 총 무게는 속도 제어에 직접적인 영향을 미칠 수 있다.

[0006] 공공기관, 의료시설, 관광지 등에서 대여할 수 있는 휠체어의 특성상 탑승하는 사람이 변경되고 탑승자의 체중은 각각 상이하기 때문에 전동 휠체어의 총 무게가 변할 수 있다. 전동 휠체어의 총 무게는 속도 제어에 있어서 큰 영향을 미치는 요소 중 하나이기 때문에 탑승자에 따라 전동 휠체어의 총 무게가 변한다면 전동 휠체어의 제어 성능에 있어 악영향을 미칠 수 있다.

[0007] 따라서, 전동 휠체어의 총 무게 변경에 따른 최적화된 속도 제어 전략을 구상해야 할 필요성이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) KR 10-1476507 B1

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 전동 휠체어의 속도 제어를 위한 동역학과 제어기 이득을 LPV 시스템을 이용해 구성하여 탑승자의 무게 변화에 따른 최적화된 속도 제어를 제공할 수 있는 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 방법은, 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 장치에 의해 수행되는 방법으로서,

[0011] (A) 탑승자의 무게를 센싱하여 전동 휠체어의 총 질량을 획득하는 단계; 및

[0012] (B) 상기 전동 휠체어의 총 질량에 기반하여 상기 전동 휠체어의 속도를 제어하기 위한 최적 제어 이득값을 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 방법에 있어서, 상기 단계 (B)는,

[0014] (B-1) 상기 전동 휠체어의 총 질량이 최소일 때의 제어 이득값 및 상기 전동 휠체어의 총 질량이 최대일 때의 제어 이득값을 결정하는 단계;

[0015] (B-2) 선형 매개변수 가변(LPV: Linear Parameter Varying) 제어 시스템에서의 인터폴레이션 파라미터 벡터를 계산하는 단계; 및

[0016] (B-3) 상기 전동 휠체어의 총 질량이 최소일 때의 제어 이득값, 상기 전동 휠체어의 총 질량이 최대일 때의 제어 이득값 및 상기 인터폴레이션 파라미터 벡터에 기반하여, 상기 전동 휠체어의 속도를 제어하기 위한 최적 제

어 이득값을 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 방법에 있어서, 상기 전동 휠체어는 수학적 식 8에 기반하는 상태공간 모델로 표현되고,

[수학적 식 8]

$$\dot{\mathbf{x}} = A(\theta)\mathbf{x} + B(\theta)u$$

$$A(\theta) = \begin{bmatrix} -2B_w\theta & 0 \\ 0 & -\frac{W^2B_w}{2JR^2 + W^2J_w} \end{bmatrix}$$

$$B(\theta) = \begin{bmatrix} \frac{R\theta}{R} & \frac{R\theta}{R} \\ \frac{W(2JR^2 + W^2J_w)}{W(2JR^2 + W^2J_w)} & -\frac{W(2JR^2 + W^2J_w)}{W(2JR^2 + W^2J_w)} \end{bmatrix},$$

상기에서 $\theta = \frac{1}{mR^2 + 2J_w}$ 이고, $\mathbf{x}$ 는 상태변수로서 $\mathbf{x}^T = [v \ \omega]$ 이고, u 는 입력으로서 $\mathbf{u}^T = [\tau_r \ \tau_l]$ 이며,

B_w 는 마찰 계수, W 는 휠 간의 거리, J 는 휠체어의 관성 모멘트, J_w 는 휠의 관성 모멘트, R 은 휠 반경, m 은 전동 휠체어의 총 질량, v 는 휠체어의 선형 속도, ω 는 휠체어의 각속도, τ_r 는 우측 휠의 토크, τ_l 는 좌측 휠의 토크를 나타낼 수 있다.

또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 방법에 있어서, 상기 인터플레이션 파라미터 벡터($\xi_1(\theta)$, $\xi_2(\theta)$)는 수학적 식 11에 기반하여 계산되고,

[수학적 식 11]

$$\begin{bmatrix} \theta \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_{\min} & \theta_{\max} \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1(\theta) \\ \xi_2(\theta) \end{bmatrix},$$

$\theta_{\min}$ 은 m 이 최소일 때의 θ 값이고, $\theta_{\max}$ 는 m 이 최대일 때의 θ 값이며, m 의 최소값과 최대값은 각각 소정의 값으로 미리 결정될 수 있다.

또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 방법에 있어서, 상기 전동 휠체어의 속도를 제어하기 위한 최적 제어 이득값($K(\theta)$)은 수학적 식 12에 기반하여 계산되고,

[수학적 식 12]

$$K(\theta) = K(\underline{\theta})\xi_1(\theta) + K(\overline{\theta})\xi_2(\theta),$$

$K(\underline{\theta})$ 는 m 이 최소일 때의 제어 이득값이며, $K(\overline{\theta})$ 는 m 이 최대일 때의 제어 이득값일 수 있다.

상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 장치는,

탑승자의 무게를 센싱하여 전동 휠체어의 총 질량을 획득하는 무게 센서; 및

상기 전동 휠체어의 총 질량에 기반하여 상기 전동 휠체어의 속도를 제어하기 위한 최적 제어 이득값을 계산하는 선형 파라미터 가변(LPV: Linear Parameter Varying) 제어를 포함할 수 있다.

본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 장치에 있어서, 상기 선형 파라미터 가변(LPV: Linear Parameter Varying) 제어기는,

[0034] 상기 전동 휠체어의 총 질량이 최소일 때의 제어 이득값 및 상기 전동 휠체어의 총 질량이 최대일 때의 제어 이득값을 결정하는 최소 및 최대 제어 이득값 결정부;

[0035] 선형 매개변수 가변(LPV: Linear Parameter Varying) 제어 시스템에서의 인터폴레이션 파라미터 벡터를 계산하는 인터폴레이션 파라미터 벡터 계산부; 및

[0036] 상기 전동 휠체어의 총 질량이 최소일 때의 제어 이득값, 상기 전동 휠체어의 총 질량이 최대일 때의 제어 이득값 및 상기 인터폴레이션 파라미터 벡터에 기반하여, 상기 전동 휠체어의 속도를 제어하기 위한 최적 제어 이득값을 계산하는 최적 제어 이득값 계산부를 포함할 수 있다.

[0037] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 장치에 있어서, 상기 전동 휠체어는 수학식 8에 기반하는 상태공간 모델로 표현되고,

[0038] [수학식 8]

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{A}(\theta)\mathbf{x} + \mathbf{B}(\theta)\mathbf{u} \\ \mathbf{A}(\theta) &= \begin{bmatrix} -2B_w\theta & 0 \\ 0 & -\frac{W^2B_w}{2JR^2 + W^2J_w} \end{bmatrix} \\ \mathbf{B}(\theta) &= \begin{bmatrix} \frac{R\theta}{R} & \frac{R\theta}{R} \\ \frac{W(2JR^2 + W^2J_w)}{W(2JR^2 + W^2J_w)} & -\frac{W(2JR^2 + W^2J_w)}{W(2JR^2 + W^2J_w)} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

[0039]

[0040] 상기에서 $\theta = \frac{1}{mR^2 + 2J_w}$ 이고, $\mathbf{x}$ 는 상태변수로서 $\mathbf{x}^T = [v \ \omega]$ 이고, $\mathbf{u}$ 는 입력으로서 $\mathbf{u}^T = [\tau_r \ \tau_l]$ 이며,

[0041] B_w 는 마찰 계수, W 는 휠 간의 거리, J 는 휠체어의 관성 모멘트, J_w 는 휠의 관성 모멘트, R 은 휠 반경, m 은 전동 휠체어의 총 질량, v 는 휠체어의 선형 속도, ω 는 휠체어의 각속도, τ_r 는 우측 휠의 토크, τ_l 는 좌측 휠의 토크를 나타낼 수 있다.

[0042] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 장치에 있어서, 상기 인터폴레이션 파라미터 벡터($\xi_1(\theta)$, $\xi_2(\theta)$)는 수학식 11에 기반하여 계산되고,

[0043] [수학식 11]

$$\begin{bmatrix} \theta \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_{\min} & \theta_{\max} \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1(\theta) \\ \xi_2(\theta) \end{bmatrix}$$

[0044]

[0045] $\theta_{\min}$ 은 m 이 최소일 때의 θ 값이고, $\theta_{\max}$ 는 m 이 최대일 때의 θ 값이며, m 의 최소값과 최대값은 각각 소정의 값으로 미리 결정될 수 있다.

[0046] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 장치에 있어서, 상기 전동 휠체어의 속도를 제어하기 위한 최적 제어 이득값($K(\theta)$)은 수학식 12에 기반하여 계산되고,

[0047] [수학식 12]

$$K(\theta) = K(\underline{\theta})\xi_1(\theta) + K(\overline{\theta})\xi_2(\theta)$$

[0048]

[0049] $K(\underline{\theta})$ 는 m 이 최소일 때의 제어 이득값이며, $K(\overline{\theta})$ 는 m 이 최대일 때의 제어 이득값일 수 있다.

발명의 효과

[0050] 본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 방법 및 장치에 의하면, 전동 휠체어의 탑승자가 변경되었을 경우에도 최적화된 속도 제어를 제공할 수 있기 때문에 적절한 성능의 휠체어 속도 제어가 가능하다.

[0051] 본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 방법 및 장치에 의하면, 탑승자의 무게 변경에 따라 최적화된 속도 제어를 제공할 수 있기 때문에 전동 휠체어의 제어에 있어 안전성과 탑승감이 향상될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0052] 도 1은 전동 휠체어의 운동학 모델을 도시한 도면.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 장치의 블록도.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 방법의 흐름도.

도 4는 LQR 제어기와 LPV 제어기의 비교를 도시한 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0053] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 명세서에 개시된 실시예를 상세히 설명하되, 도면 부호에 관계없이 동일하거나 유사한 구성요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 이하의 설명에서 사용되는 구성요소에 대한 접미사 "모듈" 및 "부"는 명세서 작성의 용이함만이 고려되어 부여되거나 혼용되는 것으로서, 그 자체로 서로 구별되는 의미 또는 역할을 갖는 것은 아니다. 즉, 본 발명에서 사용되는 '부'라는 용어는 소프트웨어, FPGA 또는 ASIC과 같은 하드웨어 구성요소를 의미하며, '부'는 어떤 역할들을 수행한다. 그렇지만 '부'는 소프트웨어 또는 하드웨어에 한정되는 의미는 아니다. '부'는 어드레싱할 수 있는 저장 매체에 있도록 구성될 수도 있고 하나 또는 그 이상의 프로세서들을 재생시키도록 구성될 수도 있다. 따라서, 일 예로서 '부'는 소프트웨어 구성요소들, 객체지향 소프트웨어 구성요소들, 클래스 구성요소들 및 태스크 구성요소들과 같은 구성요소들과, 프로세스들, 함수들, 속성들, 프로시저들, 서브루틴들, 프로그램 코드의 세그먼트들, 드라이버들, 펌웨어, 마이크로 코드, 회로, 데이터, 데이터베이스, 데이터 구조들, 테이블들, 어레이들 및 변수들을 포함한다. 구성요소들과 '부'들 안에서 제공되는 기능은 더 작은 수의 구성요소들 및 '부'들로 결합되거나 추가적인 구성요소들과 '부'들로 더 분리될 수 있다.

[0054] 또한, 본 명세서에 개시된 실시예를 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 명세서에 개시된 실시예의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 첨부된 도면은 본 명세서에 개시된 실시예를 쉽게 이해할 수 있도록 하기 위한 것일 뿐, 첨부된 도면에 의해 본 명세서에 개시된 기술적 사상이 제한되지 않으며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0055] 이하, 본 발명을 설명함에 있어, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 관련된 공지 기술에 대한 상세한 설명은 생략한다.

[0056] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시형태를 상세히 설명하기로 한다.

[0057] 선형 파라미터 가변(LPВ: Linear Parameter Varying) 시스템은 이득 스케줄링(gain scheduling) 문제를 분석하기 위해 처음 제시되었고 파라미터(매개변수)의 변화에 따라 강인하게 제어가 가능한 특성을 가지기 때문에 여러가지 제어 분야에서 많이 적용되고 있다.

[0058] 따라서 본 발명에서는 전동 휠체어 속도 제어를 위한 동역학과 제어기 이득을 LPV 시스템을 이용해 구성하여 탑승자의 무게 변화에 따른 최적화된 제어 전략을 제안한다.

시스템 모델링

[0061] 도 1은 전동 휠체어의 운동학 모델을 도시한 도면으로서, 전동 휠체어를 Two-wheeled mobile robot과 같이 도식화하여 표현한 도면이다. 도 1의 운동학 모델은 수학적 1과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \frac{R}{2}(\dot{\theta}_l + \dot{\theta}_r) \cos \psi \\ \dot{y} &= \frac{R}{2}(\dot{\theta}_l + \dot{\theta}_r) \sin \psi \\ \dot{\psi} &= \omega = \frac{R}{W}(\dot{\theta}_l - \dot{\theta}_r)\end{aligned}$$

[0062]

[0063] $\dot{x}$ 는 x축 속도(m/s), $\dot{y}$ 는 y축 속도(m/s), R은 휠(또는 바퀴) 반경(m), $\dot{\theta}_l$ 및 $\dot{\theta}_r$ 은 각각 좌측 휠 및 우측 휠의 각속도, ψ 는 글로벌 좌표에서의 헤딩(heading) 각도(rad), ω 는 휠체어 각속도(rad/s), W는 휠들 간의 거리(m)를 나타낸다.

[0064] 또한 수학식 2를 이용하여 휠체어의 속도(v)와 회전속도($\dot{\phi}$)를 수학식 2와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$\begin{aligned}v &= \frac{R}{2}(\dot{\theta}_l + \dot{\theta}_r) \\ \dot{\phi} &= \omega = \frac{R}{W}(\dot{\theta}_l - \dot{\theta}_r)\end{aligned}$$

[0065]

[0066] 또한, 수학식 2를 시간에 대해 미분하면 수학식 3과 같은 도함수를 얻을 수 있다.

수학식 3

$$\begin{aligned}\dot{v} &= \frac{R}{2}(\ddot{\theta}_l + \ddot{\theta}_r) \\ \dot{\omega} &= \frac{R}{W}(\ddot{\theta}_l - \ddot{\theta}_r)\end{aligned}$$

[0067]

[0068] 전동 휠체어 주행 시 미끄러짐이 발생하지 않는다고 가정한다면 휠체어의 총 질량(m), 양 바퀴(휠)의 부하 토크(τ_r , τ_l), 휠체어 관성 모멘트(J), 바퀴의 관성 모멘트(J_w)와 마찰계수(B_w)를 이용하여 휠체어 양 바퀴 가속도의 합($\ddot{\theta}_l + \ddot{\theta}_r$)과 차($\ddot{\theta}_l - \ddot{\theta}_r$)를 수학식 4와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 4

$$\ddot{\theta}_l + \ddot{\theta}_r = \frac{(\tau_r + \tau_l) - B_w(\dot{\theta}_r + \dot{\theta}_l)}{\frac{mR^2}{2} + J_w}$$

$$\ddot{\theta}_l - \ddot{\theta}_r = \frac{(\tau_r - \tau_l) - B_w(\dot{\theta}_r - \dot{\theta}_l)}{2\frac{JR^2}{W^2} + J_w}$$

[0069]

[0070] 수학식 2 내지 수학식 4를 이용하여 전동 휠체어의 속도와 회전속도에 관한 식을 수학식 5와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

$$\dot{v} = \frac{R(\tau_r + \tau_l) - B_w \frac{2}{R} v}{\frac{mR^2}{2} + J_w}$$

$$\dot{\omega} = \frac{(\tau_r - \tau_l) - B_w \frac{W}{R} \omega}{2\frac{JR^2}{W^2} + J_w}$$

[0071]

[0072] 이후 수학식 5를 이용하여 상태변수 $\mathbf{x}^T = [v \quad \omega]$, 입력 $\mathbf{u}^T = [\tau_r \quad \tau_l]$ 를 가지는 휠체어의 상태공간 모델을 수학식 6과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 6

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -\frac{2B_w}{mR^2 + 2J_w} & 0 \\ 0 & -\frac{W^2 B_w}{2JR^2 + W^2 J_w} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{R}{mR^2 + 2J_w} & \frac{R}{mR^2 + 2J_w} \\ \frac{R}{W(2JR^2 + W^2 J_w)} & -\frac{R}{W(2JR^2 + W^2 J_w)} \end{bmatrix}$$

[0073]

[0075] 선형 파라미터(매개변수) 가변 시스템

[0076] 전동 휠체어의 특성상 휠체어의 탑승자(사용자)에 따라서 휠체어의 총 질량(m) 값이 변할 수 있다. 따라서, 수학식 6의 질량(m)이 포함된 항을 시간에 따라 변할 수 있는 매개변수로 선정하여 수학식 7과 같이 정의한다면 새로운 상태공간 모델인 수학식 8과 같이 표현할 수 있다.

수학식 7

$$\theta = \frac{1}{mR^2 + 2J_w}$$

[0077]

수학식 8

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A(\theta)x + B(\theta)u \\ A(\theta) &= \begin{bmatrix} -2B_w\theta & 0 \\ 0 & -\frac{W^2B_w}{2JR^2 + W^2J_w} \end{bmatrix} \\ B(\theta) &= \begin{bmatrix} \frac{R\theta}{R} & \frac{R\theta}{R} \\ \frac{R\theta}{W(2JR^2 + W^2J_w)} & -\frac{R\theta}{W(2JR^2 + W^2J_w)} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

[0078]

[0079] 이때, 휠체어의 총 질량(m)의 최소값과 최대값을 사전에 정하면, θ 의 범위를 최소값($\underline{\theta}$)과 최대값($\bar{\theta}$)으로 제한할 수 있다.

수학식 9

$$\begin{aligned} \theta &\in [\underline{\theta} \quad \bar{\theta}] \\ \theta &= V\xi(\theta) \end{aligned}$$

[0080]

[0081] 여기서 ξ 는 컨벡스 인터폴레이션 파라미터 벡터(convex interpolation parameter vector)라고 정의하며, $\xi_i(\theta) \geq 0, \sum_{i=1}^{n_v} \xi_i(\theta) = 1$ 을 만족한다. 또한, 버텍스(vertices) V 는 $V = [v_1 \quad v_2] = [\underline{\theta} \quad \bar{\theta}]$ 로 나타낼 수 있다.

[0082] $\xi_i(\theta) \geq 0, \sum_{i=1}^{n_v} \xi_i(\theta) = 1$ 인 ξ 의 성질을 이용하여 역행렬을 계산할 수 있도록 $\hat{V}$ 와 $\hat{\theta}$ 를 수학식 10과 같은 형태로 정의할 수 있다.

수학식 10

$$\hat{V} = \begin{bmatrix} \theta_{min} & \theta_{max} \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad \hat{\theta} = \begin{bmatrix} \theta \\ 1 \end{bmatrix}$$

[0083]

[0084] θ_{min} 은 m이 최소일 때의 θ 값($\underline{\theta}$)일 수 있고, θ_{max} 은 m이 최대일 때의 θ 값($\bar{\theta}$)일 수 있다.

[0085] $\hat{V}$ 의 가역성을 만족한다면 고유한 인터폴레이션 파라미터 벡터인 $\xi(\theta)$ ($\xi_1(\theta)$, $\xi_2(\theta)$)를 수학식 11에 기반하여 구할 수 있다.

수학식 11

$$\begin{bmatrix} \Theta \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Theta_{\min} & \Theta_{\max} \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1(\Theta) \\ \xi_2(\Theta) \end{bmatrix}$$

[0086]

[0087]

$\Theta_{\min}$ 은 m 이 최소일 때의 Θ 값이고, $\Theta_{\max}$ 는 m 이 최대일 때의 Θ 값이며, m 의 최소값과 최대값은 각각 소정의 값으로 미리 결정될 수 있다.

[0088]

도 2는 본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 장치의 블록도이다.

[0089]

도 2에 도시된 본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 장치(200)는, 탑승자의 무게를 센싱하여 전동 휠체어의 총 질량(m)을 획득하는 무게 센서(202) 및 상기 전동 휠체어의 총 질량(m)에 기반하여 상기 전동 휠체어의 속도를 제어하기 위한 최적 제어 이득값을 계산하는 선형 파라미터 가변(LPV: Linear Parameter Varying) 제어기(204)를 포함할 수 있다.

[0090]

참조번호 206은 원하는 속도값인 레퍼런스 속도(v_{ref} , ω_{ref})를 제공하는 레퍼런스 속도 제공부(206)이고, 참조번호 214는 전동 휠체어 시스템을 나타낼 수 있다.

[0091]

상기 선형 파라미터 가변(LPV) 제어기(204)는, 상기 전동 휠체어의 총 질량(m)이 최소일 때의 제어 이득값 및 상기 전동 휠체어의 총 질량(m)이 최대일 때의 제어 이득값을 결정하는 최소 및 최대 제어 이득값 결정부(208), 선형 파라미터 가변(LPV: Linear Parameter Varying) 제어 시스템에서의 인터폴레이션 파라미터 벡터를 계산하는 인터폴레이션 파라미터 벡터 계산부(210), 및 상기 전동 휠체어의 총 질량이 최소일 때의 제어 이득값, 상기 전동 휠체어의 총 질량이 최대일 때의 제어 이득값 및 상기 인터폴레이션 파라미터 벡터에 기반하여, 상기 전동 휠체어의 속도를 제어하기 위한 최적 제어 이득값을 계산하는 최적 제어 이득값 계산부(212)를 포함할 수 있다.

[0092]

도 2에 도시된 본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 장치(200)는, 전동 휠체어의 속도제어 시스템으로서, 원하는 속도값(v_{ref} , ω_{ref})을 레퍼런스로서 공급하고, 원하는 속도값(v_{ref} , ω_{ref})과 전동 휠체어의 실제 속도(v , ω)와의 차이를 LPV 제어기(204)로 전달한다.

[0093]

LPV 제어기(204)에서는 가변하는 매개변수인 전동 휠체어의 총 질량(m) 및 속도의 오차 값에 따라 제어이득 값을 계산하여 전동 휠체어 시스템(214)의 입력 값을 결정한다.

[0094]

LPV 제어기(204)의 최적 제어 이득값 계산부(212)는 변화하는 매개변수에 따라 제어기 이득 $K(K(\theta))$ 를 수학식 12에 기반하여 계산한다.

수학식 12

$$K(\theta) = K(\underline{\theta})\xi_1(\theta) + K(\overline{\theta})\xi_2(\theta)$$

[0095]

$K(\underline{\theta})$ 는 m 이 최소일 때의 제어 이득값이며, $K(\overline{\theta})$ 는 m 이 최대일 때의 제어 이득값일 수 있다.

[0096]

상기 인터폴레이션 파라미터 벡터($\xi_1(\theta)$, $\xi_2(\theta)$)는 상기한 수학식 7 내지 수학식 11에 기반하여 계산될 수 있다.

[0097]

도 3은 본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 방법의 흐름도이다. 도 3에 도시된 본 발명의 일 실시예에 의한 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 방법은, 도 2에 도시된 본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 장치

[0098]

(200)에 의해 수행될 수 있거나, 하나 이상의 프로세서를 포함하는 장치에 의해 수행될 수 있다.

[0099] 단계 S300에서, 무게 센서(202)가 탑승자의 무게를 센싱하여 전동 휠체어의 총 질량(m)을 획득할 수 있다.

[0100] 단계 S302에서, 최소 및 최대 제어 이득값 결정부(208)는 상기 전동 휠체어의 총 질량(m)이 최소일 때의 제어 이득값($K(\underline{\theta})$) 및 상기 전동 휠체어의 총 질량(m)이 최대일 때의 제어 이득값($K(\overline{\theta})$)을 결정할 수 있다.

[0101] 단계 S304에서, 인터폴레이션 파라미터 벡터 계산부(210)는, 선형 파라미터 가변(LPV: Linear Parameter Varying) 제어 시스템에서의 인터폴레이션 파라미터 벡터($\xi_1(\theta)$, $\xi_2(\theta)$)를 상기한 수학식 11에 기반하여 구할 수 있다.

[0102] 단계 S306에서, 최적 제어 이득값 계산부(212)는 상기 전동 휠체어의 총 질량(m)이 최소일 때의 제어 이득값($K(\underline{\theta})$), 상기 전동 휠체어의 총 질량(m)이 최대일 때의 제어 이득값($K(\overline{\theta})$) 및 상기 인터폴레이션 파라미터 벡터($\xi_1(\theta)$, $\xi_2(\theta)$)에 기반하여, 상기한 수학식 12에 의해 상기 전동 휠체어의 속도를 제어하기 위한 최적 제어 이득값을 계산할 수 있다.

시뮬레이션 및 결과

[0105] 질량의 변화에 따른 종래의 선형 이차 조절기(LQR: Linear quadratic regulator) 제어기와 본 발명의 제안된 알고리즘인 LPV 제어기의 휠체어 속도 제어 성능을 MATLAB/Simulink를 통해 비교 및 분석하였다. LQR 제어기만 적용된 전동 휠체어의 속도 성능과 LPV와 LQR이 같이 결합된 시스템의 제어기 성능을 MATLAB/Simulink를 통해 검증하였다. 본 발명에서 제안한 LPV 속도 제어 시스템은 단일 LQR 제어 시스템보다 매개변수 변화에 강인한 제어 성능을 보였다.

[0106] 도 4는 기존의 LQR 제어기와 본 발명의 일 실시예에 의한 LPV 제어기의 성능을 비교한 그래프이다.

[0107] 도 4에서 중간 그래프는 시간에 따른 전동 휠체어의 질량(m)과 θ 의 변화를 나타낸다. 전동 휠체어의 총 질량(m)이 0초에서 30초까지는 최소값인 30kg, 30초에서 60까지는 80kg, 60초에서 90초까지는 최대값인 130kg로 변하고 있다. 상단의 그래프는 질량의 변화에 따른 LQR 제어기와 LPV 제어기의 속도 제어를 나타내고 있다. 0~30초에는 거의 비슷한 제어 성능을 보이지만, 30~90초에서는 질량 변화에 따라 시스템 매개변수가 변경되기 때문에 LQR 제어기는 속도 제어 성능이 떨어지는 반면 LPV 제어기는 LQR 제어기 대비 강인한 제어성능을 유지하는 것을 확인할 수 있다.

[0108] 하단의 그래프는 각속도 제어 성능을 나타내고 있는데, 각속도는 시스템 상 질량과의 관계를 가지지 않으므로 질량 변화에 따라 제어 성능이 변하지 않는 것을 확인할 수 있다.

[0109] 표 1은 시간의 변화에 따른 휠체어 속도의 RMSE 값을 나타낸다. 0~30초에는 시스템 매개변수가 변하지 않아 동일한 오차 값을 가지고, 30~90초에는 매개변수가 변경됨에 따라 LQR 제어기 오차 값은 증가하는 반면 LPV 제어기는 매개변수가 변경됨에 따라 제어 이득에 가중치를 주어 LQR 제어기보다 강인한 제어 성능을 보여주고 있다.

표 1

Time(s) Controller	0~30	30~60	60~90
LQR	0.0709	0.1898	0.2914
LPV-LQR	0.0709	0.0708	0.1

[0111] 본 발명에서는 대역 전동 휠체어가 가지는 특성인 탑승자가 변경됨에 따라 총 무게가 변화하는 환경에서 그에 따른 속도 제어를 LPV 제어기를 사용해 수행했다. LPV 제어기는 휠체어의 총 무게와 관련된 항을 변화하는 매개

변수로 정의하고, 그에 따른 최적의 제어 이득 값을 계산한다. 제안하는 LPV 제어기는 LQR 제어기에 비해 전동 휠체어의 총 무게가 변경되어도 비슷한 속도 제어 성능을 보인다.

[0112] 전술한 본 발명은, 프로그램이 기록된 매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 매체는, 컴퓨터로 실행 가능한 프로그램을 계속 저장하거나, 실행 또는 다운로드를 위해 임시 저장하는 것일 수도 있다. 또한, 매체는 단일 또는 수개 하드웨어가 결합된 형태의 다양한 기록수단 또는 저장수단일 수 있는데, 어떤 컴퓨터 시스템에 직접 접속되는 매체에 한정되지 않고, 네트워크 상에 분산 존재하는 것일 수도 있다. 매체의 예시로는, 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM 및 DVD와 같은 광기록 매체, 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical medium), 및 ROM, RAM, 플래시 메모리 등을 포함하여 프로그램 명령어가 저장되도록 구성된 것이 있을 수 있다. 또한, 다른 매체의 예시로, 애플리케이션을 유통하는 앱 스토어나 기타 다양한 소프트웨어를 공급 내지 유통하는 사이트, 서버 등에서 관리하는 기록매체 내지 저장매체도 들 수 있다. 따라서, 상기의 상세한 설명은 모든 면에서 제한적으로 해석되어서는 아니되고 예시적인 것으로 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 첨부된 청구항의 합리적 해석에 의해 결정되어야 하고, 본 발명의 등가적 범위 내에서의 모든 변경은 본 발명의 범위에 포함된다.

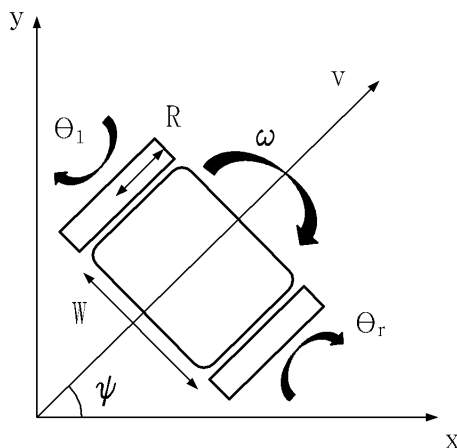
[0113] 본 발명은 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명에 따른 구성요소를 치환, 변형 및 변경할 수 있다는 것이 명백할 것이다.

부호의 설명

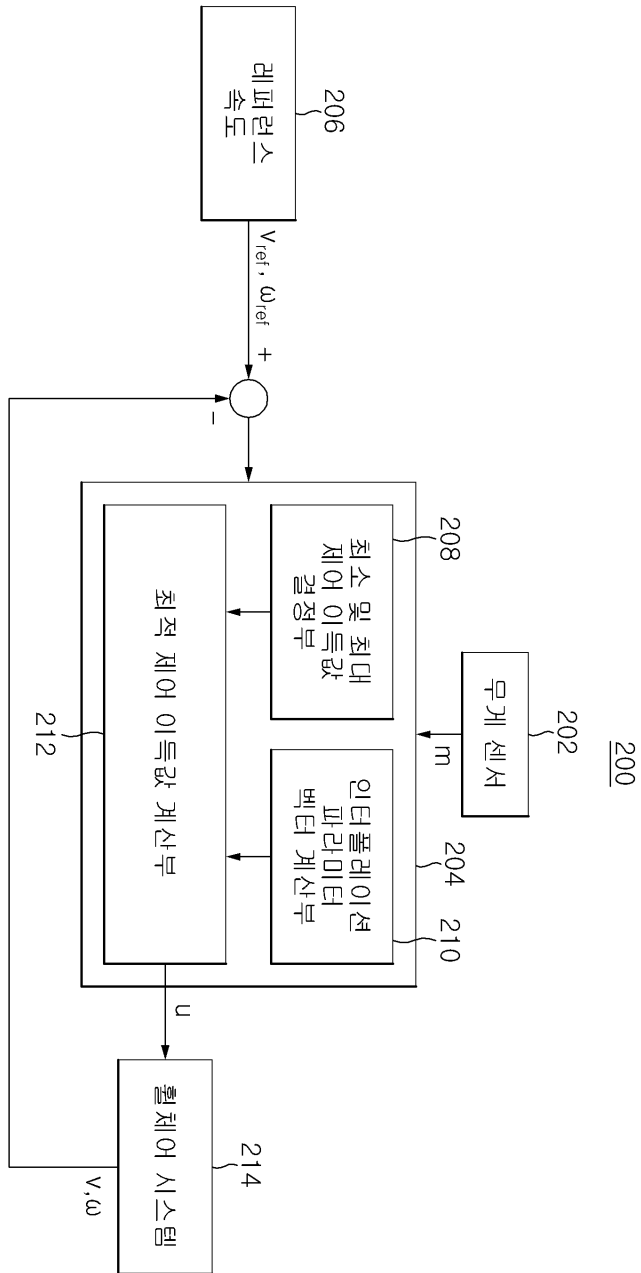
[0114] 200 : 본 발명의 일 실시예에 의한 가변하는 매개 변수가 고려된 전동 휠체어의 상태 공간 제어 장치
202 : 무게 센서 204 : 선형 파라미터 가변(LPV) 제어기
206 : 레퍼런스 속도 제공부 208 : 최소 및 최대 제어 이득값 결정부
210 : 인터폴레이션 파라미터 벡터 계산부
212 : 최적 제어 이득값 계산부

도면

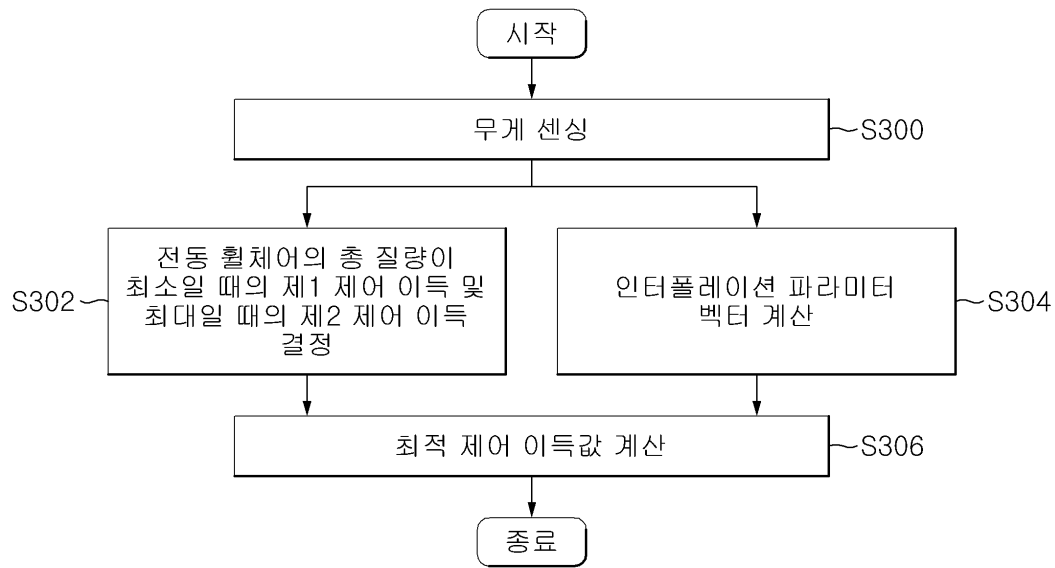
도면1



도면2



도면3



도면4

