



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년03월10일
(11) 등록번호 10-2508318
(24) 등록일자 2023년03월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06N 3/08 (2023.01) G06N 20/00 (2019.01)
G06N 3/04 (2023.01)

(52) CPC특허분류
G06N 3/08 (2023.01)
G06N 20/00 (2021.08)

(21) 출원번호 10-2020-0014024

(22) 출원일자 2020년02월06일

심사청구일자 2020년02월06일

(65) 공개번호 10-2021-0100271

(43) 공개일자 2021년08월17일

(56) 선행기술조사문헌

Wei Fang et al., "A LSTM Algorithm Estimating Pseudo Measurements for Aiding INS during GNSS Signal Outages," remote sensing (2020.01.10.)*

Yu Zhao et al., "Applying Deep Bidirectional LSTM and Mixture Density Network for Basketball Trajectory Prediction," Optik (2018.04.30.)*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

최중은

서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제3공학관 C319

용환무

서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제1공학관 N206

서주환

서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제1공학관 N206

(74) 대리인

특허법인 플러스

전체 청구항 수 : 총 4 항

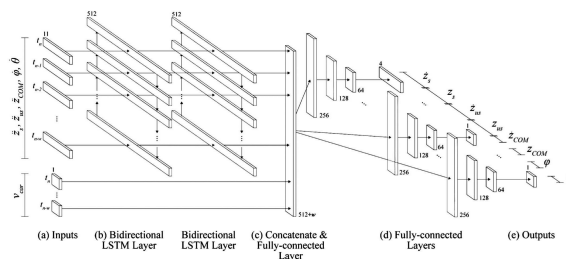
심사관 : 송근배

(54) 발명의 명칭 인공지능망을 이용한 적분산출가능물리량 추정방법

(57) 요약

본 발명의 목적은, 예를 들어 가속도와 같은 측정이 용이한 물리량을 측정하여, 상기 측정된 물리량과 적분관계에 있는, 즉 속도 및 변위와 같은 물리량을 산출하되, 적분으로 산출하는 대신 인공지능망 및 기계학습을 활용하여 높은 정확도로 추정해 낼 수 있도록 하는, 인공지능망을 이용한 적분산출가능물리량 추정방법을 제공함에 있다. 본 발명의 다른 목적은, 제어대상을 제어하기 위해 상태정보(state) 즉 변위, 속도, 가속도 등을 사용해야 하는 경우, 제어대상에 상대적으로 저렴한 가속도계만을 구비하여 가속도만을 측정하고, 이로부터 속도 및 변위를 추정함으로써 제어에 필요한 상태정보를 모두 얻어낼 수 있도록 하는, 인공지능망을 이용한 적분산출가능물리량 추정방법을 제공함에 있다.

대표도



(52) CPC특허분류
G06N 3/049 (2023.01)

명세서

청구범위

청구항 1

이동체 형태의 제어대상의 동역학적 제어에 상기 제어대상 상의 적어도 하나의 측정지점에서의 상태정보가 사용되되, 상기 상태정보 중 일부만이 상기 제어대상에 설치된 센서에 의해 측정되고 나머지 일부는 상기 센서로부터 정보를 전달받고 이를 기반으로 연산하는 인공지능망 소프트웨어가 설치된 컴퓨터에 의해 추정되어 획득되도록 하는, 인공지능망을 이용한 적분산출가능물리량 추정방법으로서,

측정되는 일부의 상기 상태정보는 측정상태정보라 하고, 추정되는 상기 상태정보는 상기 측정상태정보를 적분하여 구해지는 관계를 가지는 적분산출가능물리량으로서 추정상태정보라 할 때,

시험 운용 중의 상기 제어대상 또는 상기 제어대상과 동등한 시뮬레이터에 구비된 복수 개의 센서로부터 모든 상기 상태정보가 측정되되, 미리 결정된 복수 개의 상황조건에 대하여 발생하는 모든 상기 상태정보가 측정되어 빅데이터 형태로 획득되는 시험운용단계;

상기 측정상태정보가 인공지능망에 입력되고, 상기 인공지능망에 의하여 상기 측정상태정보가 상기 빅데이터를 기반으로 상기 추정상태정보와 매치되어 출력되는 방식으로 상기 인공지능망이 기계학습되는 기계학습단계;

실제 운용 중의 상기 제어대상에 구비된 적어도 하나의 센서로부터 상기 측정상태정보가 측정되되, 상기 측정상태정보가 기계학습이 완료된 상기 인공지능망에 입력되고, 상기 인공지능망에 의하여 상기 측정상태정보에 따라 추정된 상기 추정상태정보가 출력되는 실제운용단계;

상기 측정상태정보 및 상기 추정상태정보를 합친 모든 상기 상태정보를 칼만필터(Kalman filter)에 입력하여 보정하는 결과보정단계;

를 포함하며,

상기 상태정보는 변위, 속도, 가속도, 회전각, 각속도이며,

상기 측정상태정보는 속도, 가속도, 각속도 중 선택되는 적어도 하나이며,

상기 추정상태정보는 변위, 속도, 회전각 중 선택되는 적어도 하나이고,

상기 결과보정단계는, 상기 인공지능망으로부터 상기 추정상태정보의 예측값(estimate) 및 예측값 오차가 도출되어 칼만필터에 입력되도록 형성되거나, 또는 상기 추정상태정보의 불확도(uncertainty) 산출이 가능하도록, 상기 인공지능망으로부터 상기 추정상태정보의 예측값, 예측값 오차 및 예측값 분산이 MDN(mixture density network) 기반으로 도출되어 칼만필터에 입력되도록 형성되는 것을 특징으로 하는 인공지능망을 이용한 적분산출가능물리량 추정방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제 1항에 있어서, 상기 인공지능망은,

상기 상태정보의 시계열적 특징(temporal feature) 추출이 가능하도록, 복수의 레이어를 가지는 LSTM(Long Short-Term Memory) 기반으로 형성되는 것을 특징으로 하는 인공지능망을 이용한 적분산출가능물리량 추정방법.

청구항 4

제 3항에 있어서, 상기 인공지능망은,

복수 개의 상기 측정상태정보를 미리 결정된 시간범위만큼 묶어서 함께 시계열데이터 형태로 입력받고,
입력된 시계열데이터가 LSTM층을 지나면서 시계열적 특징에 의해 확장되도록 한 후,
복수 개의 상기 측정상태정보를 각각 별도의 브랜치(branch)로 분리하여 추정하도록 형성되는 것을 특징으로 하는 인공지능망을 이용한 적분산출가능물리량 추정방법.

청구항 5

삭제

청구항 6

제 1항에 있어서, 상기 칼만필터는,

운동학적(kinematics) 관계식을 이용한 칼만필터(kinematic Kalman filter)이거나, 또는

상기 제어대상의 동역학적 구성(dynamics model)을 기반으로 한 칼만필터(Kalman filter)인 것을 특징으로 하는 인공지능망을 이용한 적분산출가능물리량 추정방법.

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 인공지능망을 이용한 적분산출가능물리량 추정방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 차량, 드론, 위성 등과 같이 움직이는 제어대상에 대하여 예를 들어 가속도만을 측정하여 가속도를 적분해서 구해질 수 있는 속도 및 변위를 정확하게 추정할 수 있도록 하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 4차 산업혁명 시대에 들어감에 따라 다양한 분야에서의 기계장치들의 움직임은 기존에 비해 훨씬 정교해지고 있다. 차량, 드론, 위성 등과 같은 이동체의 경우에도, 과거에는 사용자가 직접 수동으로 제어할 것을 전제로 하였기 때문에 제어시스템이 그다지 정교하지 않았으나, 현재에는 사람이 미처 할 수 없는 부분까지 자동으로 제어되도록 하는 기술이 다양하게 도입되어 있다. 예를 들어 차량의 서스펜션 시스템, 차량용 자율주행 시스템, 드론이나 위성과 같은 무인비행체의 주행 시스템 등과 같은 것들이 이러한 정교한 제어기술을 요하는 장치들이다.

[0003] 제어장치가 올바르게 원활하게 제어를 수행하기 위해서는 제어대상이 충분한 가제어성(controllability) 및 가관측성(observability)을 가지고 있는지가 중요한 요인이 된다. 가관측성이란, 어떤 시스템에서 측정이 가능한 출력상태로부터 시스템을 구성하고 있는 상태변수를 평가할 수 있는가 하는 성질이다. 가관측성을 향상하기 위해서는 당연히 제어에 필요한 다양한 물리량들을 정확하게 측정해 내는 것이 필요하며, 따라서 다양하고 많은 센서가 구비될수록 가관측성이 향상된다. 상술한 차량, 드론, 위성 등과 같이 움직이는 제어대상에 대하여, 가장 주요하게 제어되어야 하는 것은 당연히 움직임과 관련되는 상태정보(state), 즉 변위(position), 속도(velocity), 가속도(acceleration) 등이다. 따라서 이러한 제어대상에서의 가관측성을 높이기 위해서는, 성능이 좋은 변위센서, 속도센서, 가속도계 등이 많이 구비될수록 유리할 것임은 자명하다.

[0004] 그런데 가속도를 측정하는 가속도계는 상대적으로 가격이 저렴한 반면, 속도센서 및 변위센서는 상대적으로 고가이며 성능이 좋아질수록 더욱 비싸진다. 단지 제어성능을 높이하고자 하는 관점만으로 보자면 제어대상에 변위센서, 속도센서, 가속도계 등을 모두 구비하는 것이 물론 가장 이상적이겠으나, 실제로 제품을 생산하는 관점을

고려하자면 이와 같이 할 경우 생산단가가 지나치게 높아지게 되는 문제가 있다. 이러한 이유로 인하여, 다양하고 정교한 제어기술들이 이미 많이 개발되었다 하더라도, 실제 산업현장이나 상용화 제품들이 이러한 제어기술들이 널리 적용되지는 못하고 있는 실정이다.

[0005] 한편 상술한 바와 같이 가속도계는 다른 상태정보 측정 센서들(속도센서, 변위센서)에 비하여 상대적으로 가격이 저렴하다. 또한 이론적으로는 가속도를 한 번 적분하면 속도를, 두 번 적분하면 변위를 얻을 수 있다. 따라서 산업현장에서는 저가의 가속도계만을 이용하여 제어대상을 원활하게 제어하기 위한 여러 상태변수들을 도출해 내는 기술들이 활발하게 도입되어 사용되고 있다. 이 때 상술한 바와 같이 가속도를 적분하여 속도 또는 변위를 얻어내기 때문에, 가속도 측정값에 오차가 존재할 경우 속도 또는 변위 도출 시 오차가 누적되어 상당히 큰 오차가 발생할 우려가 있다.

[0006] 한국특허공개 제2000-0043164호("정지판단 및 센서오차 자동 보정방법 및 이를 이용한 차량항법장치", 2000.07.15., 이하 '선행문헌')은 차속계를 이용하지 않고 가속도계, 경사각자이로, 방위각자이로만을 이용하여 차량의 정지를 자동으로 판단하는 기술로서, 선행문헌에 바로 이러한 가속도신호를 적분하여 차속도신호를 출력하는 단계가 개시된다. 선행문헌에서는 경사각신호를 근거로 가속도신호의 오차를 보정하고, 여기에 중력보정까지 더 수행한 후 가속도신호를 적분하도록 함으로써, 가속도신호를 적분하여 차속도신호를 도출할 때의 오차발생 가능성을 최소화하고자 하였다. 그러나 선행문헌의 기술은 제어변수를 '차속도'로 한정하고, 가속도를 적분하여 '차속도'를 구함에 있어서 오차를 줄이기 위한 다른 변수로서 경사각신호, 중력보정 등을 사용한 것으로서, 이를 다양한 분야에 일반화시켜 적용하기에는 극히 한계가 있다. 예를 들어 차량의 서스펜션 시스템을 제어하는 경우 서스펜션 장치의 상하방향 속도를 구해야 하며, 이를 위해 상하방향 가속도를 측정하고 이를 적분하여 상하방향 속도를 구하게 되는데, 선행문헌의 기술은 이러한 경우에는 전혀 적용이 불가능하다.

[0007] 일반적으로 현재 가속도계만을 이용하여 속도 및 변위를 도출하는 기술에는, 운동학(kinematics) 관계식을 이용한 칼만필터(Kalman filter)가 널리 사용된다. 칼만필터란 칼만(Rudolf E. Kalman)이 개발한, 잡음이 포함되어 있는 역학적 상태를 추적하는 재귀 필터로서 시간에 따라 진행된 측정을 기반으로 한다. 칼만필터는 인공위성의 항법, 미사일의 궤적추정, 레이더 등의 산업분야에 많이 이용되어 왔고 최근의 고속의 고성능 마이크로 프로세서의 발달로 칼만 필터는 매우 복잡한 실시간 처리 시스템에서도 점점 더 이용가치가 높아지고 있다. 칼만필터링 절차는 선형모델에서 상태변수들을 추정하기 위해 만들어진 것이므로 만일 모델이 비선형형이라면 필터링식을 유도하는 과정에서 선형화(Linearization Procedure)가 이루어져야 하는데, 이 때는 이전의 추정된 상태변수로 부터 실시간 선형 테일러 근사화(real time linear Taylor approximation)를 하게 되고, 여기서 얻어지는 칼만 필터를 확장칼만필터(Extended Kalman Filter)라 한다.

[0008] 이러한 칼만필터를 이용하면 측정된 가속도값에 내포된 노이즈를 잘 걸러낼 수 있다. 그런데 칼만필터링에서는, 외부의 힘이 직접적으로 외란으로 가해질 때 계산값이 발산하게 되는 문제점이 있어, 이를 실제 현장에 적용하기에 한계가 있다. 따라서 실제 현장에서는, 예를 들어 차량 서스펜션 시스템을 제어하는 경우, 가속도계로 측정된 가속도값을 적분하여 속도 및 위치를 산출하여 제어를 수행하되, 차량 정지 시마다 리셋을 해줌으로써 누적된 오차를 제거하고 다시 제어를 수행하는 등과 같은 방법을 사용하고 있는 것으로 알려져 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 1. 한국특허공개 제2000-0043164호("정지판단 및 센서오차 자동 보정방법 및 이를 이용한 차량항법장치", 2000.07.15.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 따라서, 본 발명은 상기한 바와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 본 발명의 목적은, 예를 들어 가속도와 같은 측정이 용이한 물리량을 측정하여, 상기 측정된 물리량과 적분관계에 있는, 즉 속도 및 변위와 같은 물리량을 산출하되, 적분으로 산출하는 대신 인공신경망 및 기계학습을 활용하여 높은 정확도로 추정해 낼 수 있도록 하는, 인공신경망을 이용한 적분산출가능물리량 추정방법을 제공함에 있다. 본 발명의 다른 목적은, 제어대상을 제어하기 위해 상태정보(state) 즉 변위, 속도, 가속도 등을 사용해야 하는 경우, 제어

대상에 상대적으로 저렴한 가속도계만을 구비하여 가속도만을 측정하고, 이로부터 속도 및 변위를 추정함으로써 제어에 필요한 상태정보를 모두 얻어낼 수 있도록 하는, 인공신경망을 이용한 적분산출가능물리량 추정방법을 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

- [0011] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 인공신경망을 이용한 적분산출가능물리량 추정방법은, 이동체 형태의 제어대상의 동역학적 제어에 상기 제어대상 상의 적어도 하나의 측정지점에서의 상태정보가 사용되되, 상기 상태정보 중 일부만이 측정되고 나머지 일부는 추정되어 획득되도록 하는, 인공신경망을 이용한 적분산출가능물리량 추정방법으로서, 측정되는 일부의 상기 상태정보는 측정상태정보라 하고, 추정되는 상기 상태정보는 상기 측정상태정보를 적분하여 구해지는 관계를 가지는 적분산출가능물리량으로서 추정상태정보라 할 때, 시험 운용 중의 상기 제어대상 또는 상기 제어대상과 동등한 시뮬레이터에 구비된 복수 개의 센서로부터 모든 상기 상태정보가 측정되되, 미리 결정된 복수 개의 상황조건에 대하여 발생하는 모든 상기 상태정보가 측정되어 빅데이터 형태로 획득되는 시험운용단계; 상기 측정상태정보가 인공신경망에 입력되고, 상기 인공신경망에 의하여 상기 측정상태정보가 상기 빅데이터를 기반으로 상기 추정상태정보와 매치되어 출력되는 방식으로 상기 인공신경망이 기계학습되는 기계학습단계; 실제 운용 중의 상기 제어대상에 구비된 적어도 하나의 센서로부터 상기 측정상태정보가 측정되되, 상기 측정상태정보가 기계학습이 완료된 상기 인공신경망에 입력되고, 상기 인공신경망에 의하여 상기 측정상태정보에 따라 추정된 상기 추정상태정보가 출력되는 실제운용단계; 를 포함할 수 있다.
- [0012] 이 때 상기 상태정보는 변위, 속도, 가속도, 회전각, 각속도이며, 상기 측정상태정보는 속도, 가속도, 각속도 중 선택되는 적어도 하나이며, 상기 추정상태정보는 변위, 속도, 회전각 중 선택되는 적어도 하나일 수 있다.
- [0013] 또한 상기 인공신경망은, 상기 상태정보의 시계열적 특징(temporal feature) 추출이 가능하도록, 복수의 레이어를 가지는 LSTM(Long Short-Term Memory) 기반으로 형성될 수 있다. 이 때 상기 인공신경망은, 복수 개의 상기 측정상태정보를 미리 결정된 시간범위만큼 묶어서 함께 시계열데이터 형태로 입력받고, 입력된 시계열데이터가 LSTM층을 지나면서 시계열적 특징에 의해 확장되도록 한 후, 복수 개의 상기 측정상태정보를 각각 별도의 브랜치(branch)로 분리하여 추정하도록 형성될 수 있다.
- [0014] 또한 상기 인공신경망을 이용한 적분산출가능물리량 추정방법은, 상기 측정상태정보 및 상기 추정상태정보를 합친 모든 상기 상태정보를 칼만필터(Kalman filter)에 입력하여 보정하는 결과보정단계; 를 더 포함할 수 있다. 이 때 상기 칼만필터는, 운동학적(kinematics) 관계식을 이용한 칼만필터(kinematic Kalman filter)이거나, 또는 상기 제어대상의 동역학적 구성(dynamics model)을 기반으로 한 칼만필터(Kalman filter)일 수 있다.
- [0015] 또한 이 때 상기 결과보정단계는, 상기 인공신경망으로부터 상기 추정상태정보의 예측값(estimate) 및 예측값 오차가 도출되어 칼만필터에 입력되도록 형성될 수 있다. 또는 상기 결과보정단계는, 상기 추정상태정보의 불확도(uncertainty) 산출이 가능하도록, 상기 인공신경망으로부터 상기 추정상태정보의 예측값, 예측값 오차 및 예측값 분산이 MDN(mixture density network) 기반으로 도출되어 칼만필터에 입력되도록 형성될 수 있다.

발명의 효과

- [0016] 본 발명에 의하면, 가속도와 같은 측정이 용이한 물리량을 측정하여, 상기 측정된 물리량과 적분관계에 있는, 즉 속도 및 변위와 같은 물리량을 산출하되, 적분으로 산출하는 대신 인공신경망 및 기계학습을 활용하여 높은 정확도로 추정해 낼 수 있는 효과가 있다. 구체적으로 예를 들어 설명하자면, 본 발명에서는, 시뮬레이터 등을 이용하여 다양한 환경조건에서의 가속도, 속도, 변위 등의 값을 실제로 측정하여 빅데이터를 구성한 후, 이 빅데이터를 이용하여 인공신경망을 기계학습시킴으로써, 실제 활용 시 인공신경망에 가속도만 입력해도 매우 높은 정확도로 속도 및 변위를 추정해 낼 수 있게 하는 것이다.
- [0017] 차량, 드론, 위성 등과 같이 움직이는 제어대상을 올바르게 제어하기 위해서는 모든 상태정보(all state) 즉 가속도, 속도, 변위 등의 모두를 측정해야 하는데, 가속도계에 비하여 속도센서나 변위센서는 상당히 고가라는 점이 잘 알려져 있다. 이 때 본 발명에 의하면 가속도만 측정해도 속도 및 변위를 신속하고 정확하게 추정할 수 있으므로, 제어대상에 상대적으로 저렴한 가속도계만을 구비하여도 된다. 이에 따라 본 발명에 의하면, 제어대상의 생산단가를 크게 저감함과 동시에 그럼에도 불구하고 매우 우수한 제어를 수행할 수 있어, 궁극적으로는 저가이면서도 고성능인 제어대상을 생산할 수 있게 해 주는 큰 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0018] 도 1은 차량용 서스펜션 시스템의 동역학적 구성 예시.
- 도 2는 적분 및 운동학적 기반 칼만필터링을 사용하여 변위산출 중 발산 예시.
- 도 3은 본 발명의 인공지능경망의 LSTM 구조 예시.
- 도 4는 시험운용단계 및 기계학습단계의 실시예.
- 도 5는 실제운용단계의 실시예.
- 도 6는 적분 및 운동학적 기반 칼만필터링을 사용하여 산출된 변위, 본 발명의 인공지능경망을 사용하여 추정된 변위, 실제 측정된 변위 비교 예시.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 이하, 상기한 바와 같은 구성을 가지는 본 발명에 의한 인공지능경망을 이용한 적분산출가능물리량 추정방법을 첨부된 도면을 참고하여 상세하게 설명한다.
- [0020] 이동체 형태의 제어대상, 예를 들어 차량, 드론, 위성 등과 같은 제어대상을 동역학적 제어하고자 하는 경우에, 당연히 상기 제어대상 상의 적어도 하나의 측정지점에서의 상태정보(state)가 사용된다. 여기에서 상기 상태정보란 상기 제어대상의 동역학적 상태를 알 수 있게 해 주는 정보로서, 변위, 속도, 가속도, 회전각, 각속도 등이 될 수 있다.
- [0021] 제어가 원활하고 올바르게 이루어지기 위해서는, 많은 측정지점에서 많은 상태정보를 얻을수록 유리하다는 것은 자명하다. 그런데 앞서 설명한 바와 같이, 속도센서나 변위센서는 가속도계에 비해 상당히 고가라는 문제가 있으며, 특히 상기 제어대상의 실제 형태에 따라 센서를 구비하는 것 자체가 매우 난해한 경우도 있다.
- [0022] 도 1은 차량용 서스펜션 시스템의 동역학적 구성의 예시이다. 차량용 서스펜션 시스템을 올바르게 제어하기 위해서는 차량의 롤(roll)·피치(pitch) 각(ϕ , θ) 및 차량 중앙·4개의 바퀴 지점에서의 z방향 변위·속도 값을 알아야 한다. 그런데 차량용 서스펜션 시스템의 z방향의 변위와 속도는 일반적인 센서를 이용하여 측정하기 어려우며, 측정 가능한 센서의 경우 굉장히 비싸기 때문에 대량생산제품에는 현실적으로 장착이 불가능할 뿐 아니라 센서 특성상의 문제들도 부가적으로 발생한다. 예를 들어 초음파센서를 사용할 경우, 차량의 다른 부분에서 상당한 소음이 발생하며 이 중에는 초음파영역의 소리도 있기 때문에 신호가 오염되며, 초음파센서의 근본적인 한계로서 주파수(frequency)가 제대로 나오지 않는 등의 문제가 있다. 또는 1D 라이더(Lidar)를 사용할 경우 측정은 올바르게 이루어질 수 있겠지만 지나치게 과도하게 고가의 제품이기 때문에 실험실 수준에서의 사용 외에 대량생산제품에는 현실적으로 적용할 수 없다.
- [0023] 이 때 앞서 설명한 바와 같이, 상대적으로 저렴한 가속도계, 자이로센서 등은 제어대상 상에 용이하고 저렴하게 구비할 수 있으며, 이론적으로는 가속도를 적분해서 속도 및 변위를, 각속도를 적분해서 회전각을 얻을 수 있음이 잘 알려져 있다. 즉 상기 제어대상을 동역학적으로 제어하기 위해 필요한 상기 상태정보 중 일부만이 측정되고 나머지 일부는 여러 가지 방법으로 산출되거나 추정되어도 되는 것이다.
- [0024] 이하에서는 설명을 간결하게 하기 위해, 측정되는 일부의 상기 상태정보를 측정상태정보라 한다. 상기 측정상태정보는, 사용자의 목적, 필요, 편의에 따라(예를 들어 앞서 설명한 예시에서와 같이 해당 상태정보를 측정하는 센서의 가격이 저렴하다든가 등) 적절하게 선택될 수 있는데, 구체적인 예를 들면 속도, 가속도, 각속도 등이 될 수 있다.
- [0025] 한편 가속도를 적분하면 속도를 구할 수 있고, 속도를 적분하거나 가속도를 두 번 적분하면 변위를 구할 수 있고, 각속도를 적분하면 회전각을 구할 수 있다. 즉 상기 측정상태정보를 측정해낸 뒤에 적절히 노이즈를 제거한 후 적분함으로써 나머지 상태정보를 산출할 수도 있다. 그러나 앞서 설명한 바와 같이 적분 과정에서 오차가 누적되어 산출된 상태정보의 정확도가 떨어지게 되는 문제가 있고, 또한 노이즈 제거 성능이 좋아서 현재 활발히 사용되고 있는 칼만필터(Kalman filter)조차도 외부의 힘이 직접적으로 외란으로 가해질 때 계산값이 발산하게 되는 문제점이 있다. 도 2는 적분 및 운동학적 기반 칼만필터링을 사용하여 변위산출 중 발산 예시를 도시한 것으로, 측정된 가속도를 운동학적 관계식을 이용한 칼만필터링(Kinematics Kalman Filtering, KKF)하여 보정하고 적분하여 변위를 산출할 때, 실제 측정값(Ground Truth)에 대해 적분 및 필터링으로 구해진 산출값(integrator using kinematic Kalman filter)이 초기에는 대략 잘 맞아들어가다가 시간이 지날수록 엄청나게 발산하는 사례

를 적나라하게 보여주고 있다.

- [0026] 본 발명에서는 이러한 문제를 해소하기 위하여, 상기 측정상태정보로부터 나머지 일부의 상태정보를 획득하기 위해 기계학습된 인공신경망을 이용한다. 즉 본 발명에서는, 적분을 이용하여 상기 측정상태정보로부터 나머지 일부의 상태정보를 산출하는 대신, 인공신경망을 이용하여 상기 측정상태정보로부터 나머지 일부의 상태정보를 추정하는 것이다. 이 때 추정으로 획득되는 상기 상태정보는, 상기 측정상태정보를 적분하여 구해지는 관계를 가지는 적분산출가능물리량으로서, 이하에서는 설명을 간결하게 하기 위해 이를 추정상태정보라 한다. 앞서 상기 측정상태정보가 속도, 가속도, 각속도 등이 될 수 있다고 하였으므로, 상기 추정상태정보는 이들을 적분해서 구해질 수 있는 변위, 속도, 회전각 등이 될 수 있다.
- [0027] 본 발명의 인공신경망을 이용한 적분산출가능물리량 추정방법을 이하에서 단계적으로 설명한다. 본 발명의 추정방법은 기본적으로, 시험운용단계, 기계학습단계, 실제운용단계를 포함한다.
- [0028] 상기 시험운용단계는 인공신경망을 학습시킬 빅데이터를 축적하는 단계이다. 상기 시험운용단계에서는, 시험 운용 중의 상기 제어대상 또는 상기 제어대상과 동등한 시뮬레이터에 구비된 복수 개의 센서로부터 모든 상기 상태정보가 측정되도록 한다. 특히 이 때, 미리 결정된 복수 개의 상황조건에 대하여 발생하는 모든 상기 상태정보가 측정되어 빅데이터 형태로 획득된다.
- [0029] 일반적으로 차량이나 위성 등을 개발하고 제작하는 단계에서는 수없이 다양한 시험이 이루어진다. 예를 들어 앞서 예시로 들었던 차량 서스펜션 시스템을 새롭게 또는 개선하고자 개발하는 경우, 노면의 상태 즉 다양한 거칠기, 습기나 유분 등 이물질의 존재 여부 등을 다양하게 변화시켜 가면서 시험을 수행한다. 물론 노면의 상태 뿐만 아니라 필요에 따라 동절기/하절기 성능한계 확인을 위해 주변 온도 등과 같은 환경조건도 변수로 사용될 수 있다. 즉 상술한 복수 개의 상황조건이 바로 이처럼 시험에 사용되는 다양한 조건들이 되는 것이다.
- [0030] 이러한 시험 중에는 당연히 소량의 시험용 제품만이 제작되는 바, 고가의 센서들을 다양하게 사용하는 것에 제한이 없다. 즉 앞서 설명한 제품 생산단계 상승 문제는 고려될 필요가 없다. 또한 제품의 개발 및 제작 단계에서는 상술한 바와 같이 필연적으로 다양한 시험이 수행되며, 이 과정에서 수없이 많은 상황조건에 대한 수없이 많은 측정지점의 상태정보들이 이미 획득되는 바, 실질적으로 본 발명의 추정방법을 적용하기 위해 별도의 측정을 위한 장비를 더 도입한다거나 할 필요도 별로 없다.
- [0031] 상기 기계학습단계는 상기 빅데이터를 기반으로 상기 인공신경망을 학습시키는 단계이다. 즉 상기 측정상태정보가 인공신경망에 입력되고, 상기 인공신경망에 의하여 상기 측정상태정보가 상기 빅데이터를 기반으로 상기 추정상태정보와 매치되어 출력되는 방식으로 상기 인공신경망이 기계학습되는 것이다. 이 때 어떤 방식으로 상기 인공신경망이 구성되고 기계학습되는지에 따라 상기 측정상태정보로부터 추정되는 상기 추정상태정보의 예측값의 정확도가 달라진다. 이러한 점을 고려하여 상기 인공신경망은 상기 측정상태정보를 보다 잘 처리할 수 있는 형태로 형성되어야 한다.
- [0032] 대표적으로 상기 측정상태정보로 사용될 수 있는 물리량 즉 가속도, 각속도 등은 시간에 밀접한 관련성이 있다. 따라서 상기 인공신경망은, 상기 상태정보의 시계열적 특징(temporal feature) 추출이 가능하도록, 복수의 레이어를 가지는 LSTM(Long Short-Term Memory) 기반으로 형성되는 것이 바람직하다. 도 3은 본 발명의 인공신경망의 LSTM 구조 예시로서, 도 1에 도시된 차량 서스펜션 시스템을 기반으로 한 것이다. 이를 통해 상기 인공신경망의 구성을 보다 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0033] 먼저 도 3(a)에 표시된 바와 같이, 먼저 상기 인공신경망에는 도 1의 차량 서스펜션 시스템 상의 복수 개의 측정지점에서의 가속도, 차량의 진행방향 속도, 여러 방향의 각속도가 상기 측정상태정보로서 입력된다. 특히 이 때 상기 인공신경망은, LSTM 구조를 적용할 수 있도록, 복수 개의 상기 측정상태정보를 미리 결정된 시간범위만큼 묶어서 함께 시계열데이터 형태로 입력받도록 한다.
- [0034] 다음으로 도 3(b) 및 (c)에 표시된 바와 같이, 입력된 시계열데이터가 LSTM층을 지나면서 시계열적 특징에 의해 확장된다. 도 3(b)에는 단방향의 한계를 역방향을 추가함으로써 보완하는 양방향 LSTM층(Bidirectional LSTM Layer)이 사용되고 있음이 도시된다. 이러한 양방향 LSTM층을 지난 상기 측정상태정보 전체는 도 3(c)에 도시된 바와 같이 연쇄 및 전체연결층(Concatenated & Fully-connected Layer)을 한꺼번에 통과하게 된다. 이러한 과정을 통해, 상기 인공신경망에 입력된 시계열데이터 형태의 상기 측정상태정보는 시계열적 특징에 의해 확장될 수 있게 되는 것이다.
- [0035] 이 때, 예를 들어 가속도와 각속도 등과 같이 여러 다른 타입의 상기 측정상태정보를 하나의 동일한 네트워크를 통하게 하는 경우 상호간에 간섭이 일어날 우려가 있다. 이러한 문제를 해소하기 위하여, 본 발명에서는 상기

인공신경망이 복수 개의 상기 측정상태정보를 각각 별도의 브랜치(branch)로 분리하여 추정하도록 형성되게 한다. 도 3(c)에는, 여러 측정지점에서의 가속도로부터 속도 및 변위를 추정하는 브랜치, 차량 진행속도로부터 변위를 추정하는 브랜치, 여러 회전방향으로의 각속도로부터 회전각을 추정하는 브랜치가 별도로 분리되어 나가고 있음이 잘 도시되어 있다.

[0036] 상기 실제운동단계는 상기 제어대상을 실제 운용하는 중에 상기 측정상태정보만 측정하고 기계학습이 완료된 상기 인공신경망을 이용하여 상기 추정상태정보를 추정하여 획득하는 단계이다. 상술한 바와 같이 본 발명에서는, 다양한 환경조건에서의 가속도, 속도, 변위 등의 값을 실제로 측정하여 빅데이터를 구성한 후, 이 빅데이터를 이용하여 상기 인공신경망을 기계학습시킨다. 따라서 실제 활용 시 인공신경망에 예를 들어 가속도만 입력해도 (가속도와 적분관계에 있는 물리량인) 속도 및 변위를 적분 없이 매우 높은 정확도로 추정해 낼 수 있게 된다.

[0037] 상술한 바와 같은 본 발명의 인공신경망을 이용한 적분산출가능물리량 추정방법을 도식화하면 도 4 및 도 5와 같이 나타낼 수 있다. 도 4는 상기 시험운동단계 및 상기 기계학습단계의 실시예를 도식화한 것이며, 도 5는 상기 실제운동단계의 실시예를 도식화한 것이다. 도 4 및 도 5에서 각 변수의 의미는 다음과 같다.

[0038] d : 상황조건(road input)

[0039] x : 속도 및 변위의 측정상태정보(ground truth velocity and position)

[0040] y : 노이즈를 포함하는 가속도의 측정상태정보(acceleration measurement with noise)

[0041] z : 속도 및 변위의 추정상태정보(estimated velocity and position)

[0042] e : x, z의 평균제곱오차(mean squared error of x and z)

[0043] 이 때 상기 인공신경망에서 출력된 상기 추정상태정보의 정확도를 더욱 향상하기 위하여, 상기 인공신경망을 이용한 적분산출가능물리량 추정방법은, 상기 측정상태정보 및 상기 추정상태정보를 합친 모든 상기 상태정보를 칼만필터(Kalman filter)에 입력하여 보정하는 결과보정단계를 더 포함할 수 있다. 이 때 상기 칼만필터는, 상기 제어대상의 동역학적 구성(dynamics model)을 모르는 경우 운동학적(kinematics) 관계식을 이용한 칼만필터(kinematic Kalman filter)일 수 있다. 또는 상기 칼만필터는, 예를 들어 도 1에 도시된 차량 서스펜션 시스템 예시와 같이, 상기 제어대상의 동역학적 구성을 아는 경우 이를 기반으로 한 칼만필터(Kalman filter)일 수 있다.

[0044] 상기 결과보정단계에서 상기 칼만필터에 입력되는 데이터는, 상기 측정상태정보 및 (상기 인공신경망으로부터 출력된) 상기 추정상태정보를 모두 합친 것으로서, 즉 모든 상기 상태정보이다. 이 때 측정 시나 추정 시 모두 상기 상태정보에는 노이즈가 끼어있을 수 있다. 앞서 설명한 바와 같이 칼만필터는 시계열적 데이터의 노이즈 제거에 탁월한 성능을 보이며, 이러한 결과보정단계를 거침으로써 물리적으로 불가능한 값 등이 제거되어 스무딩(smoothing)된 상기 상태정보를 얻을 수 있다. 이러한 상기 상태정보가 상기 제어대상의 동역학적 제어에 사용됨으로써, 상기 제어대상의 제어성능이 훨씬 향상될 수 있다.

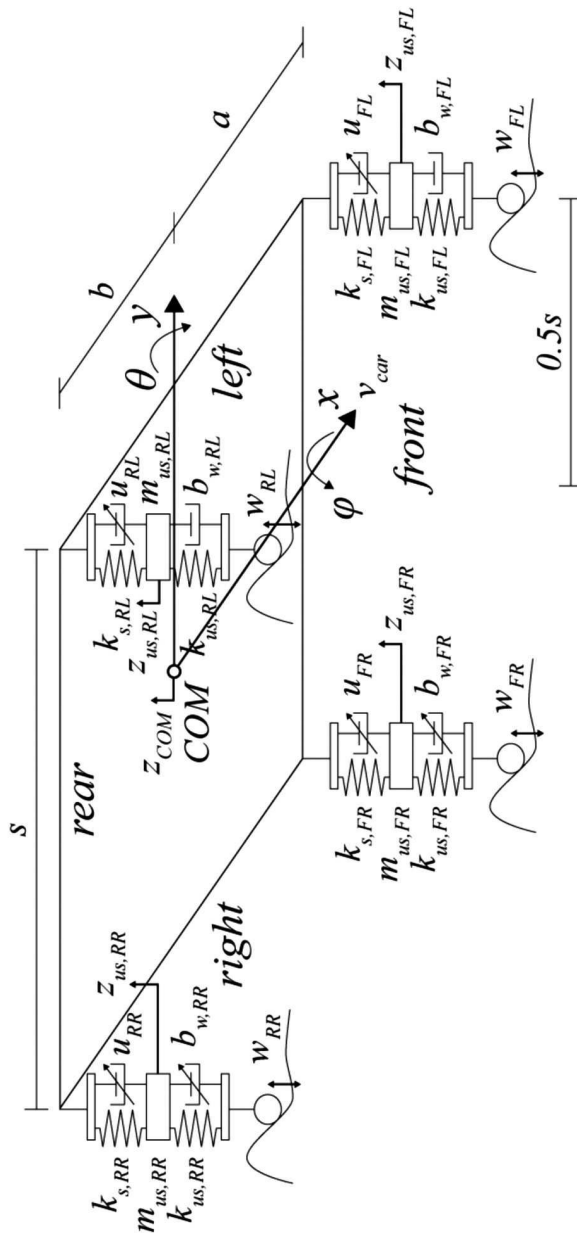
[0045] 한편 일반적으로 칼만필터에 입력되는 값은 필터링하고자 하는 값 및 그 값의 오차가 된다. 따라서 상기 결과보정단계는, 상기 인공신경망으로부터 상기 추정상태정보의 예측값(estimate) 및 예측값 오차가 도출되어 칼만필터에 입력되도록 형성될 수 있다. 본 발명에서는 여기에서 더 나아가서 상기 결과보정단계가, 상기 추정상태정보의 불확도(uncertainty) 산출이 가능하도록, 상기 추정상태정보의 예측값, 예측값 오차 및 예측값 분산을 MDN(mixture density network) 기반으로 도출되어 칼만필터에 입력되도록 형성되게 할 수도 있다.

[0046] 도 6는 적분 및 운동학적 기반 칼만필터링을 사용하여 산출된 변위, 본 발명의 인공신경망을 사용하여 추정된 변위, 실제 측정된 변위 비교 예시. 실제변위는 점선으로, 칼만필터링 및 적분 사용 산출변위는 가는 선으로, 인공신경망 사용 추정변위는 굵은 선으로 표시되어 있다. 도 6에 잘 나타나 있는 바와 같이, 적분 등을 이용하여 구해진 산출변위는 시간이 갈수록 발산하여 실제변위로부터 상당히 멀어지는 반면, 본 발명의 추정방법을 이용하여 구해진 추정변위는 시간이 지나도 실제변위를 거의 인접하게 따라가고 있음이 확인된다.

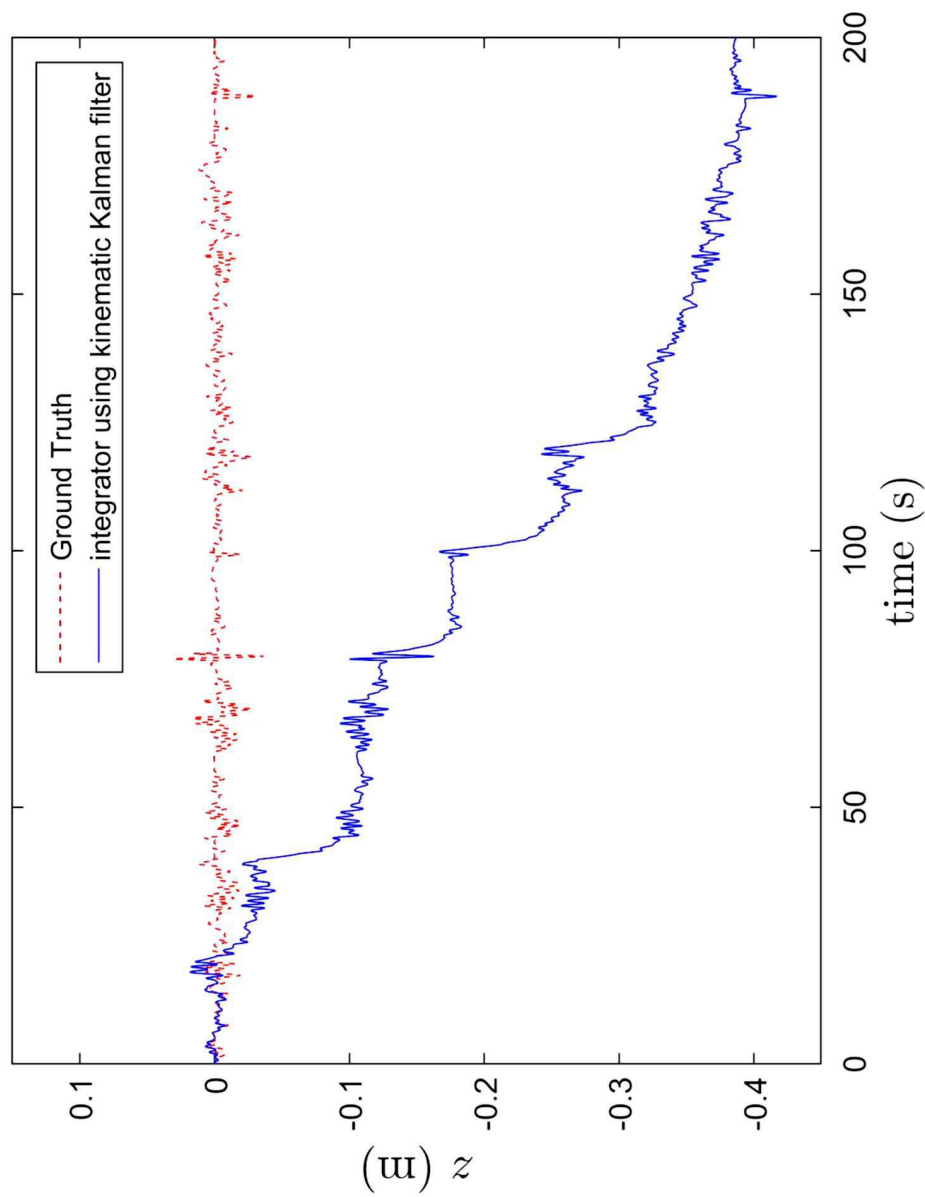
[0047] 본 발명은 상기한 실시예에 한정되지 아니하며, 적용범위가 다양함은 물론이고, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이다.

도면

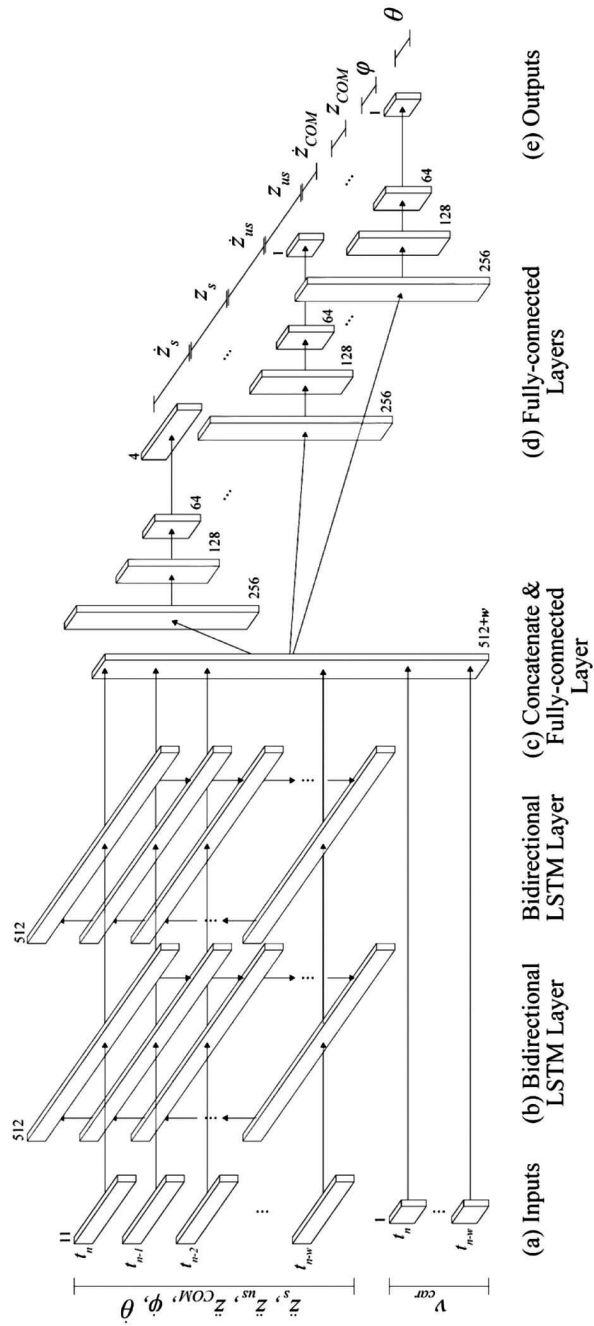
도면1



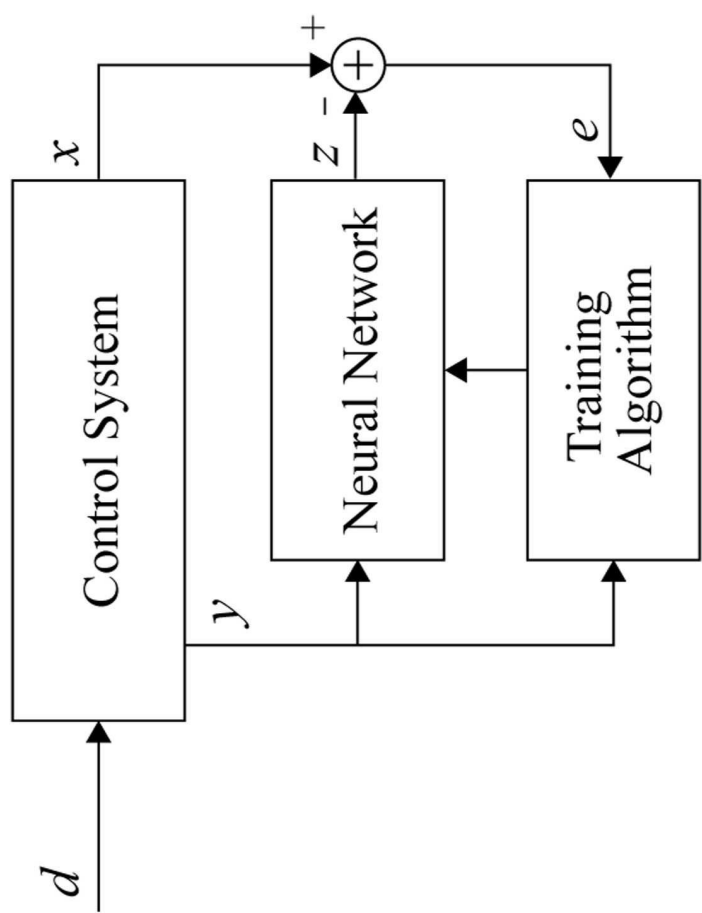
도면2



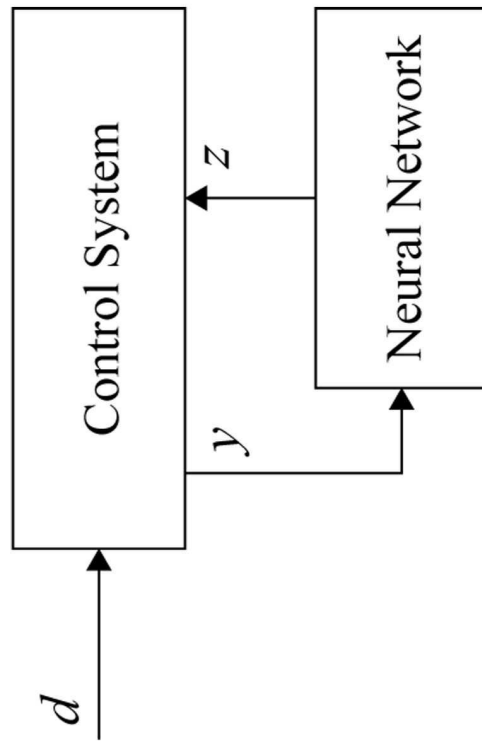
도면3



도면4



도면5



도면6

